

# Hibridni sistem za planiranje i analizu ventilacije rudnika

Nikola Lilić, Ranka Stanković, Ivan Obradović

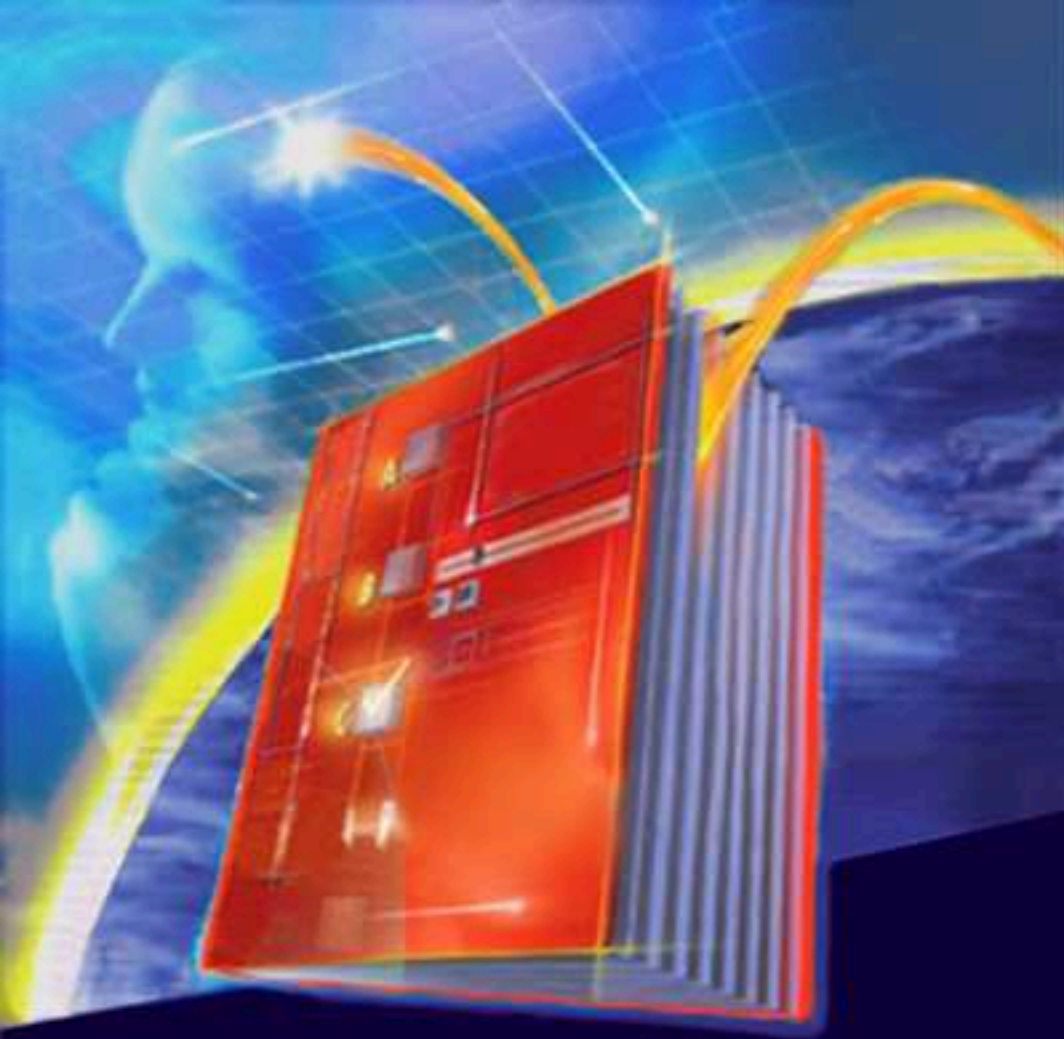


Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

**[ДР РГФ]**

Hibridni sistem za planiranje i analizu ventilacije rudnika | Nikola Lilić, Ranka Stanković, Ivan Obradović || 2000 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0005411>



**Nikola Lilić**  
**Ranka Stanković**  
**Ivan Obradović**

**HIBRIDNI SISTEM ZA PLANIRANJE  
I ANALIZU VENTILACIJE RUDNIKA**



*Onima što "idu skačući po gorama preskačući brežuljke".*



Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

I **Autori**

II **Recenzenti**

III **Izdavač**

IV **Katalogizacija**

V **About the book**

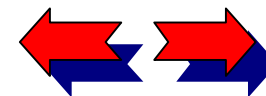
## Autori

**Nikola M. Lilić** je diplomirao 1982. godine na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, na Smeru za Podzemnu eksploataciju ležišta mineralnih sirovina. Magistrirao je iz oblasti tehničke zaštite 1985. godine na istom fakultetu. U decembru 1982. godine zapošljava se na Rudarskom odseku Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, kao asistent pripravnik. Doktorsku disertaciju iz oblasti ventilacije rudnika odbranio je 1990. godine.



Dr Lilić radi kao vanredni profesor na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, na predmetima Ventilacija i Tehnička zaštita. Njegova istraživanja su vezana za područja ventilacije rudnika, tehničke zaštite i primene matematičkih metoda i računara u rudarstvu. Istraživanja Dr Lilića su skoncentrisana i na oblast hibridnih inteligentnih sistema, i korišćenje navedenih sistema za rešavanje kompleksnih problema iz oblasti predikcije aerozagađenja.

**Ranka M. Stanković** je diplomirala na Matematičkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, 1988.godine. U julu 1989. godine zapošljava se na Rudarskom odseku, Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Njena istraživanja su vezana za područja inteligentnih sistema, informacionih sistema i baza podataka.



**Kako koristiti  
elektronsku knjigu**

**Sadržaj knjige**

**I Autori**

**II Recenzenti**

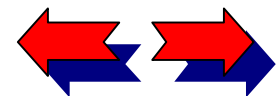
**III Izdavač**

**IV Katalogizacija**

**V About the book**

**Ivan M. Obradović** je diplomirao 1974. godine na grupi za Matematiku Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Na istom univerzitetu stekao je titulu magistra za informacione sisteme 1981. godine a 1991. godine i doktora računarskih nauka.

Vanredni profesor na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, Dr Ivan Obradović je anagažovan i na poslediplomskim studijama iz oblasti veštačke inteligencije u Centru za multidisciplinarne studije i na Matematičkom fakultetu u Beogradu. Njegova istraživačka i nastavna delatnost skoncentrisane su na oblast inteligentnih sistema, kooperacije čovek-računar i sistema za rasudjivanje na osnovu slučajeva. Bavi se istraživanjima razvoja kooperativnih sistema i mogućnostima primene ovih sistema za rešavanje složenih problema koji uključuju i višekriterijumsko odlučivanje, sa posebnim naglaskom na primene u rudarstvu i geologiji.



Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

I Autori

II Recenzenti

III Izdavač

IV Katalogizacija

V About the book

## Recenzenti

Prof. Dr Jovan Pejčinović

Prof. Dr Vladimir Srdanović

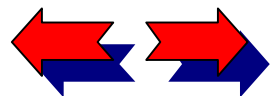
Prof. Dr Dragoslav Kuzmanović

## Izvodi iz recenzija

"... U monografiji "Hibridni sistem za planiranje i analizu ventilacije rudnika", autora N. Lilića, R. Stanković i I. Obradovića, je na savremen i za čitaoca prikladan način obrađena primena matematičkih modela u planiranju i analizi ventilacije rudnika. Može se slobodno reći da su u monografiji kompleksno obrađeni skoro svi problemi vezani za planiranje i analizu ventilacije rudnika..."

...Mislim da će ova monografija korisno poslužiti rudarskim inženjerima u rešavanju problema ventilacije rudnika a može se koristiti i na spscijalističkim, magistarskim i doktorskim studijama. Autorima se može odati priznanje za težak ali uspešan rad ..." ( **Prof. Dr Jovan Pejčinović, dipl.inž.rud.**)

"...Autori su u predočenom rukopisu na celovit način obradili jedan značajan aspekt savremene rudarske nauke i prakse. Intenzivna eksploatacija rudnih ležišta na sve većim dubinama postavlja čitav niz složenih problema vezanih za ventilaciju rudnika. Odgovor na ovaj izazov predstavlja ne samo savremen teorijski pristup ovom problemu, već i primena metoda i tehnika razvijenih u raznim oblastima savremenog rudarstva, kao i samih





## Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### I Autori

#### II Recenzenti

#### III Izdavač

#### IV Katalogizacija

#### V About the book

računara kao svojevrstih univerzalnih alatki. Rukopis odražava izuzetno dobro poznavanje i vladanje savremenim metodologijama iz ove oblasti koje su relevantne za problematiku ventilacije rudnika. Rukopisom je obuhvaćen veći broj programskih paketa koji su autori tokom višegodišnjih istraživanja koristili i sami razvijali, a koji su integrisani u okviru sistema INVENTS. Ovaj hibridni sistem kombinuje određene metode veštačke inteligencije sa klasičnim proceduralnim pristupom u rešavanju problema analize i planiranja ventilacije rudnika.

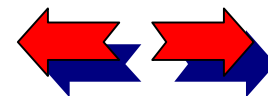
Poduhvat autora savremen je i u izdavačkom smislu, jer planira paralelno izdavanje rukopisa kako u obliku klasične knjige, tako i na CD-ROM-u, dakle u obliku koji omogućava ne samo primenu savremene računarske tehnologije kojom čitalac lakše dolazi do za njega relevantnih delova teksta, nego i neposredno korišćenje razvijenih programskih paketa..." ( **Prof. Dr Vladimir Srdanović, dipl.mat.**)

"... Vrlo interesantna knjiga, u kojoj se polazi od računске dinamike fluida (teorije koja je veoma korektno i na visokom nivou izložena), preko metoda i tehnika razvijenih u raznim oblastima savremenog računarstva, dolazi do rešavanja praktičnih primera ventilacije, a sve to uklopljeno u jednu homogenu celinu..."

... Za knjige koje obrađuju tehničke probleme teško može da se kaže da su "pitke", napisane na takav način da može lako da se prati nit izlaganja. Međutim, ovo je jedna od retkih za koju to ne važi..."

... Zadatak koji su autori sebi postavili, da se teorija koja opisuje date fizičke procese, uz pomoć računara, pretoči u koristan program za rešavanje praktičnih problema ventilacije rudnika, rešen je na opšte zadovoljstvo recenzenata i autora, a verujem i budućih čitalaca..."

...Knjigu bih preporučio ne samo ljudima od struke već i onima koji žele da nešto pročitaju i o računskoj mehanici fluida kao i o hibridnim sistemima..." ( **Prof. Dr Dragoslav Kuzmanović, dipl.meh.**)



## Izdavač

Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

I Autori

II Recenzenti

III **Izdavač**

IV Katalogizacija

V About the book



**Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu**

---

Izdavanje ove knjige odobreno je od strane Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu odlukom br. 1815/2 od 22.10.1999. god.

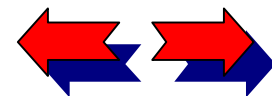
---

*Glavni i odgovorni urednik:*

Prof. Dr Andrija Lazić

*Dizajn korica:*

Aleksandra Tomašević, dipl.inž.rud.





# Katalogizacija

Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

I Autori

II Recenzenti

III Izdavač

**IV Katalogizacija**

V About the book

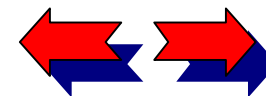
CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

.....

.....

**ISBN 86-7352-047-9**

Copyright ... 2000, Autori  
Hibridni sistem za planiranje i analizu ventilacije rudnika  
Prvo izdanje, februar 2000.god.



? Kako koristiti  
elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija  
planiranja  
ventilacije rudnika

3 Modeliranje  
procesa strujanja  
vazduha u  
rudničkim  
prostorijama  
primenom  
računske dinamike  
fluida

4 Matematičko  
definisane složenih  
ventilacionih mreža

5 Modeliranje  
distribucije protoka  
vazduha

6 Modeliranje  
promene klimatskih  
prilika u rudničkim  
ventilacionim  
mrežama

7 Modeliranje požara  
u složenim  
ventilacionim  
mrežama

8 Ekspertni sistem za  
analizu ventilacije  
rudnika

UML notacija

Index

# SADRŽAJ

## POGLAVLJE 1

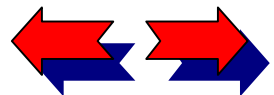
### O KNJIZI

Predgovor .....	2
Simboli i jedinice .....	6
Literatura .....	8
Od matematičkih modela do veštačke inteligencije.....	20

## POGLAVLJE 2

### METODOLOGIJA PLANIRANJA VENTILACIJE RUDNIKA

Uvodna razmatranja.....	27
Tradicionalni pristup.....	31
Savremeni pristup.....	34



? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

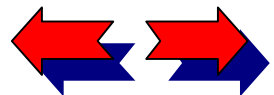
UML notacija

Index

## POGLAVLJE 3

### MODELIRANJE PROCESA STRUJANJA VAZDUHA U RUDNIČKIM PROSTORIJAMA PRIMENOM RAČUNSKE DINAMIKE FLUIDA

Teorijske osnove računске dinamike fluida .....	43
Šta je CFD ?	
Opšti oblik jednačine balansa	
Granični i početni uslovi	
Jednačine stanja	
Laminarno i turbulentno strujanje	
Rejnoldsove jednačine	
Prantlova teorija o putanji mešanja	
Standardni $k-\varepsilon$ model turbulencije	
O metodama konačnih elemenata .....	75
Aproksimacija konačnim elementima	
Algoritamski koncept metode konačnih elemenata	
Primena CFD softvera u rešavanju problema provetravanja .....	79
Karakteristike CFD softvera	
Opšti opis softvera NISA/3D – FLUID	
Pregled dosadašnjih istraživanja primene CFD modeliranja	



? Kako koristiti elektronsku knjigu

## Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## POGLAVLJE 4

### MATEMATIČKO DEFINISANJE SLOŽENIH VENTILACIONIH MREŽA

Karakteristike rudničkih ventilacionih mreža .....99

Osnovne karakteristike topografije mreža

Aerodinamički otpori ogranaka ventilacione mreže

Definisanje rudničkih ventilacionih mreža .....109

Matrice ventilacione mreže

Algoritam konstrukcije stabla mreže

Metodologija definisanja raspodele aerodinamičkih otpora u ventilacionim mrežama

Modeliranje i razvoj programskog ResNet .....130

## POGLAVLJE 5

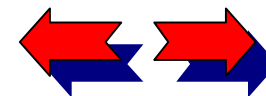
### MODELIRANJE DISTRIBUCIJE PROTOKA VAZDUHA

Raspodela protoka vazduha .....139

Zakoni ventilacionih mreža

Prirodna raspodela vazduha

Delimično regulisana raspodela



? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Regulisana raspodela vazduha

Metode rešavanja ventilacionih mreža .....154

Metoda Hardi Krosa

Primena genetskih algoritama u optimizaciji rudničkih ventilacionih mreža

Metoda kritičnog puta

Modeliranje i razvoj programskog paketa SimVent .....174

## POGLAVLJE 6

### MODELIRANJE PROMENE KLIMATSKIH PRILIKA U RUDNIČKIM VENTILACIONIM MREŽAMA

Mehanizam razmene toplote u rudničkim prostorijama .....187

Mehanizam prenosa toplote kondukcijom

Razmena toplote između stenskog masiva i vazduha

Izvori toplote u rudarskim prostorijama

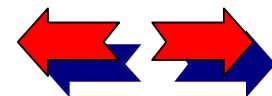
Metodologija utvrđivanja promene klimatskih faktora .....215

Algoritmi definisanja razmene toplote u rudničkim prostorijama

Promena sadržaja vlage u vazduhu

Promena temperature suvog termometra

Promena pritiska vazduha



? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Promena temperature vlažnog termometra

Relativna vlažnost i uslovi zasićenja

Razvoj programskog paketa za modeliranje klimatskih prilika .....228

## POGLAVLJE 7

### MODELIRANJE POŽARA U SLOŽENIM VENTILACIONIM MREŽAMA

Osnove modela pojave požara u složenim ventilacionim mrežama .....238

Uvodna razmatranja

Globalni simulacioni model

Metodologija rešavanja modela .....241

Razvoj programskog paketa za modeliranje pojave .....247

## POGLAVLJE 8

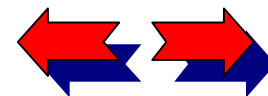
### Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

Opis problema analize rudničkih ventilacionih sistema .....256

Uvodna razmatranja

Metodologija

Formalizacija ocene stanja ventilacije rudnika





? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Ekspertni sistemi .....274

Osnovni elementi i struktura

Karakteristična svojstva

Predstavljanje znanja

Proces rasudjivanja

Softver za ES

Razvoj dijagnostičkog ekspertnog sistema VENTEX .....287

Arhitektura sistema VENTEX

Softverska implementacija sistema VENTEX

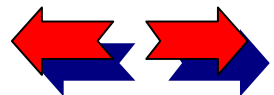
Studija primene VENTEX-a

**UML**

**KAKO KORISTITI ELEKTRONSKU KNJIGU ?**

**INDEX**

**ABOUT THE BOOK**



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

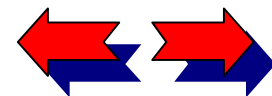
## Poglavlje 1

### O KNJIZI

U ovom poglavlju date su osnovne odrednice o knjizi kao što su predgovor, prikaz simbola i jedinica korišćenih u tekstu, pregled literaturnih jedinica i uvodno razmatranje pod naslovom od matematičkih modela do veštačke inteligencije.

#### SADRŽAJ

Predgovor.....	2
Simboli i jedinice.....	6
Literatura.....	8
Od matematičkih modela do veštačke inteligencije.....	20



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Predgovor

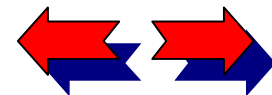
Savremena rudarska nauka i praksa suočavaju se sa rešavanjem veoma složenih problema ventilacije rudnika u uslovima intenzivne eksploatacije ležišta mineralnih sirovina na sve većim dubinama. Ovako kompleksna problematika zahteva jedan novi pristup u analizi i planiranju ventilacije rudnika.

Brz i dinamičan razvoj računarske tehnologije promenio je lice mnogih inženjerskih disciplina, pa tako i rudarstva. I pored toga, sve discipline rudarske industrije, kako kod nas tako i u svetu, nisu se podjednako prilagođavale primeni savremenih tehnologija.

Rane pedesete godine vezane su za početak primene analognih računara u simulaciji rudničkih ventilacionih mreža (Scott 1953.) koje je trajalo sve do sredine šezdesetih godina (Williams 1964.). Prema modernim standardima ovo su bili vrlo spori i glomazni računari, koji su međutim, po prvi put obezbedili mogućnost sagledavanja efekata ventilacije u procesu planiranja.

Krajem šezdesetih godina, primena digitalnih računara, sa svim njihovim prednostima, vrlo brzo je zauzela dominantno mesto u planiranju ventilacije u rudnicima širom sveta (Mc Pherson 1966.). Programe za digitalnu simulaciju ventilacije rudnika pratilo je i usavršavanje tehnike merenja ventilacije kojom se obezbeđuju ulazni podaci za simulacije.

Intenzivan razvoj programa za simulaciju različitih procesa u ventilaciji rudnika obeležile su sedamdesete godine. Zbog složenih termodinamičkih proračuna kao i potrebe za velikom brzinom



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

računanja korišćeni su main frame računari. Primena ovih računara osim zahteva za složenim hardverom postavlja i zahteve vezane za poseban način pripreme podataka i interpretaciju rezultata.

Trend rešavanja ventilacionih problema u osamdesetim godinama je napuštanje main frame računara i softvera koji zahteva visok stepen obučenosti korisnika, i primena PC i mikroracunara uz adekvatan softver.

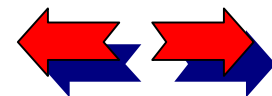
Rane devedesete godine su obeležile istraživanja mogućnosti primene raznovrsnih metoda i tehnika veštačke inteligencije u planiranju i analizi rudničkih ventilacionih sistema.

Cilj ove knjige je da prikaže rezultate razvoja hibridnog sistema INVENTS, u kome su određene metode veštačke inteligencije kombinovane sa klasičnim proceduralnim pristupom, kao i prednosti ovakvog pristupa u planiranju i analizi ventilacije rudnika.

U prvom poglavlju date su osnovne odrednice o knjizi kao što su predgovor, prikaz simbola i jedinica, pregled literaturnih jedinica i uvodno razmatranje.

Savremeni pristup pri planiranju i analizi ventilacije rudnika baziran na korišćenju svih pogodnosti računarskog hardvera i softvera koji stoje na raspolaganju rudarskim inženjerima, opisan je u drugom poglavlju. Shodno izloženoj savremenoj strategiji planiranja i analize ventilacije rudnika razvijen je hibridni sistem INVENTS čija su arhitektura i koncept tema ove knjige.

U trećem poglavlju opisane su teorijske osnove i prikazana je mogućnost primene računске dinamike fluida na konkretnom primeru modeliranja procesa provetravanja otkopa tipa komora.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

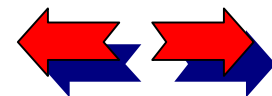
U četvrtom poglavlju prikazane su teorijske osnove definisanja složenih rudničkih ventilacionih mreža primenom teorije grafova, kao i metodologije određivanja raspodele aerodinamičkih otpora u ventilacionim mrežama. Izložena metodologija implementirana je u programski paket ResNet.

Teorijske osnove modela za definisanje prirodne, delimično regulisane i regulisane raspodele vazduha u složenim rudničkim ventilacionim mrežama date su u petom poglavlju. Pored teorijskih osnova navedenog modela dat je prikaz paketa SimVent koji je razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0 i koji u potpunosti podržava Objektno-orjentisani pristup u struktuiranju i modeliranju sistema.

U šestom poglavlju opisan je savremen, kompjuterski orjentisan, pristup modeliranju prenosa toplote ventilacionim strujama kroz podzemne rudarske prostorije. Obrađen je nestacionarni prenos toplote uključujući postojanje dopunskih izvora toplote (od mašina) kao i rashladnih uređaja duž puta vazduha.

Osnovni cilj istraživanja čiji su rezultati prikazani u sedmom poglavlju je definisanje modela za simulaciju požarnih procesa u složenim ventilacionim mrežama. Pored teorijskih osnova navedenog modela dat je prikaz programskog paketa SimVent.

U osmom poglavlju monografije opisane su najznačajnije karakteristike VENTEX-a, ekspertnog sistema za analizu i ocenu ukupnog stanja ventilacije rudnika, razvijenog na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. VENTEX je razvijen kao nadgradnja postojećeg numeričkog programskog paketa SimVent sa deklarativnim znanjima reprezentovanim pravilima i heuristikama koje pri rešavanju domenskih problema koriste eksperti iz oblasti ventilacije rudnika.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 **O knjizi** About the book

2 **Metodologija planiranja ventilacije rudnika**

3 **Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida**

4 **Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža**

5 **Modeliranje distribucije protoka vazduha**

6 **Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama**

7 **Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama**

8 **Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika**

UML notacija

Index

Knjiga je namenjena inženjerima rudarstva koji se bave ventilacijom rudnika i koji se u svom radu susreću sa potrebom korišćenja matematičko-modelskih i računarskih alata u domenu analize i planiranje ventilacije na rudnicima.

Iako monografskog karaktera, knjiga je tako koncipirana da se može koristiti u nastavnom procesu na specijalističkim, poslediplomskim i doktorskim studijama, kao i za potrebe specijalizovanih stručnih seminara za stručnjake praktičare u službama ventilacije na rudnicima.

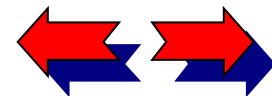
Posebnu zahvalnost dugujemo prof. dr Jovanu Pejčinoviću, prof. dr Vladimiru Srdanoviću i prof. dr Dragoslavu Kuzmanoviću, na velikom trudu koji su uložili pri recenziji ove knjige.

Grafički dizajn naslovne strane knjige uradila je gospođica Aleksandra Tomašević, dipl.inž.rud., na čemu smo joj veoma zahvalni.

Ova knjiga ne bi ugledala svetlost dana bez velike pomoći brojnih sponzora kojima se ovom prilikom najtoplije zahvaljujemo.

Unapred se zahvaljujemo svima koji nam ukažu na eventualne greške i propuste.

Autori





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Simboli i jedinice

A – površina poprečnog preseka,  $m^2$ ,

A – ekvivalentni otvor,  $m^2$ ,

B – turbulentna viskoznost, Pa s,

$B_i$  – Biov broj,

C – psihrometerska konstanta,

C – koncentracija, %,

$c_p$  – cpecifična toplota pri konstantnom pritisku, J/kgK,

$c_v$  – cpecifična toplota pri konstantnoj zapremini, J/kgK,

d – prečnik, m,

$d_{ij}$  – tenzor brzine deformacije, m/s,

e – unutrašnja energija, kg/ms<sup>2</sup>,

$e_{ijk}$  – alternativni tenzor,

f – bezdimenzionalni koeficijent trenja,

$F_o$  – Furjeov broj,

G – temperaturni gradijent, °C/m,

g – gravitaciono ubrzanje, m/s<sup>2</sup>,

h – depresija, Pa,

i – entalpija, J/kg,

K – koeficijent trenja, Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>,

k – kinetička energija turbulencije, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>,

L – latentna toplota isparavanja, J/kg,

$L_e$  – Levisov (Lewis) broj,

l – dužina, m,

$l_{12}$  – mehanička energija, J/kg,

m – masa, kg,

M – maseni protok, kg/s,

O – obim prostorije, m,

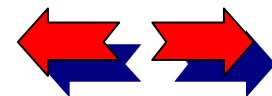
p – pritisak, Pa,

P – snaga, W,

Q – zapreminski protok, m<sup>3</sup>/s,

q – količina toplote jedinične mase, kJ/kg,

$q_i$  – toplotni fluks, W/m<sup>2</sup>,



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$R$  – aerodinamički otpor prostorije,  $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ ,

$R$  – gasna konstanta,  $\text{J/kg K}$ ,

$R_e$  – Reynoldsov broj,

$r$  – poluprečnik,  $\text{m}$ ,

$s$  – zapreminski priliv,

$T$  – temperatura,  $\text{K}$ ,

$t$  – vreme,  $\text{s}$ ,

$V$  – zapremina,  $\text{m}^3$ ,

$v_i$  – brzina,  $\text{m/s}$ ,

$W$  – mehanički rad,  $\text{J/kg}$ ,

$w$  – koeficijent vlažnosti,

$x$  – rastojanje,  $\text{m}$ ,

$z$  – visina tačke,  $\text{m}$ ,

$u$  – gustina toplotne energije,  $\text{kg/ms}^2$ ,

$\alpha$  – koeficijent prelaženja toplote,  $\text{W/m}^2 \text{K}$ ,

$\alpha_t$  – turbulentna vrtložna difuzivnost,  $\text{Pa s}$ ,

$\beta$  – koeficijent prenosa mase,  $\text{kg/m}^2 \text{K}$ ,

$\beta$  – koeficijent toplotnog širenja,  $1/\text{K}$ ,

$\gamma$  – specifična težina,  $\text{N/m}^3$ ,

$\delta_{ij}$  – Kronekerov delta simbol,

$\varepsilon$  – brzina disipacije turbulentne energije,  $\text{m}^2/\text{s}^3$ ,

$\eta$  – koeficijent iskorišćenja mašine,

$\theta$  – temperatura,  $\text{K}$ ,  $^\circ\text{C}$ ,

$\lambda$  – toplotna provodljivost,  $\text{W/m K}$ ,

$\Lambda$  – materijalna konstanta,

$\mu$  – dinamička viskoznost,  $\text{Pa s}$ ,

$\nu$  – kinematička viskoznost,  $\text{m}^2/\text{s}$ ,

$\rho$  – gustina,  $\text{kg/m}^3$ ,

$\sigma$  – sigma toplota,  $\text{J/kg}$ ,

$\sigma_{ij}$  – tenzor napona,  $\text{N/m}^2$ ,

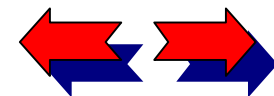
$\tau_{ij}$  – tenzor viskoznosti,  $\text{N/m}^2$ ,

$\tau$  – napon smicanja,  $\text{N/m}^2$ ,

$\Phi$  – ugao,  $\text{rad}$ ,

$\varphi$  – relativna vlažnost,  $\%$ ,

$\chi$  – apsolutna vlažnost,  $\text{kg/kg}$ ,



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

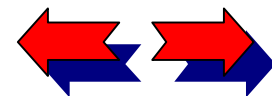
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Literatura

1. AMUNDSEN M., SMITH C., Naučite Visual Basic 5 – programiranje baza podataka, Sams Publishing, Kompjuter biblioteka, Čačak, (1998).
2. ATKINS A: S., REN T. SINGH R: N., "Application of Expert Systems in Engineering Risk Assessment in Decision Support", XXII International Symposium APCOM , Berlin, 221-232, Vol.II., (1990).
3. AVRIEL M., "Nonlinear Programming: Analysis and Methods", pp. 27-42., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, (1976).
4. AZIZ N., SRINIVASA RAO B., BAAFI E., "Aplication of Fluid Dynamics codes to develop effective gas/dust control measures in underground coal mines", Australian Coal Journal, No 42, pp 19-27, (1993).
5. BANDOPADHYAY S., RAMANI R., "Convection-diffusion equations in mine ventilation planing", Third International Mine Ventilation Congres, Harrogate, 397-404., (1984).
6. BIENIAWSKI Z. T., Design methodology in rock engineering, Theory, education and practice, Balkema, (1992).
7. BOOCH G., Object Oriented Analysis & Design with Applications, (1994).
8. BRITTON S., Computer-based expert system aids undergorund mine planning, *Coal Age*, pp.69-70, Jan. (1987).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

9. BRUNNER D.J., MICLEA P.C., McKINNEY D., MATHUR S., "Examples of the application of CFD simulation to mine and tunnel ventilation", Proc. of the 7<sup>th</sup> US Mine Ventilation Symposium, SME Littleton, Colorado, pp 479-484., (1995).

10. CARSLAW H., JAEGER J.C., Conduction of Heat in Solids, Oxford University Press, (1956).

11. COAD P., YOURDON E., *Object-Oriented Analysis*, Second edition Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1991).

12. COOK A., "Methane Safety Research for Continuous Miners in South Africa", Proceedings of the 7<sup>th</sup> US Mine Ventilation Symposium, SME Littleton, Colorado, pp 55-60., (1995).

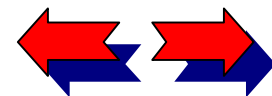
13. CROSS H., "Analysis of flow in networks of conduits or conductors", Bull. Ill. Univ. Engng. Exp. Stn., 286, pp. 32, (1936).

14. DANKO G., MOUSSET-JONES P., "Air temperature calculation in hot airways: a critique and a new solution, Computer application in the mineral industry (CAMI), 1<sup>st</sup> Canadian conference, Quebec, pp. 613-23, (1988).

15. DAVIS R. et al., The dipmeter advisor: Interpretation of geologic signals, *Proc. IJCAI-81*, pp.846-849, (1981).

16. DE JONG K.A., "An Analysis of the Behavior of Genetic Adaptive Systems", *Disertation Abstracts International*, 41(9), 3503B., (1975).

17. DURKIN J., DUSTPRO: A distributed expert system for coal mine dust control, *ESD/SMI Second Annual Expert Systems Conference*, Detroit MI, pp.337-385, Apr.12-14, (1988).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

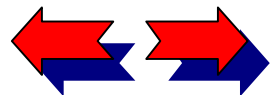
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

18. DURKIN J., *Expert Systems, Design and Development*, Macmillan Publishing Company, New York, (1994),
19. DZIURZYNSKI W., TRACZ J., TRUTWIN W., "Simulation of mine fires", Fourth International Mine Ventilation Congress, Brisbane, pp. 357-63, (1988).
20. EMRC, NISA/3D – FLUID, User Manual, (1997).
21. ERIKSSON H., PARKER M., UML Toolkit, John Wiley & Sons, Inc., (1990).
22. FENNEL D., Investigation into the King's Cross Underground Fire, HMSO, London, (1988).
23. FYTAS K., THIBAUT P., "Mine ventilation planning with EOLAVAL", Proceedings of the Sixth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, pp. 795-802., (1998).
24. GENE HUNTER - Reference Manuel, Ward Systems Group, (1996).
25. GIBSON K., "The computer simulation of climatic conditions in underground mines", PhD thesis, University of Nottingham U.K., (1976).
26. GOLDBERG D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimisation & Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, New York, (1989).
27. GORDON S.T., "Optimisation and Scheduling of Open Pits via Genetic Algorithms and Simulated Annealing", MineSim '96, (1996).
28. GREKOV S.P., KALYUSSKII A.E., "Drift of impurities in a turbulent current of variable velocity with a flow rate which varies along the mine working", Soviet Min. Sci., 8, 315-8., (1972).





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičкe fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

29. GREUER R. E., "Real-time precalculation of the distribution of combustion product and other contaminations in the ventilation system of mines, U: S. Bur. Mines Mineral Research Contact Rep. J0285002, (1981).

30. HALL J., Mine Ventilation Engineering, New York, (1981).

31. HARTMAN H.L., Mine ventilation and air conditioning, New York, (1961).

32. HARTMAN H. (ed.), *SME Mining Engineering Handbook*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 2nd Ed. Vol.1., (1992).

33. HODKINSON J.R., LEACH S.J., "The longitudinal dispersion of pulses of respirable dust and gas in ventilated mine workings, studied by a radioactive tracer technique", *Trans. Inst. Min. Engrs.*, 117, 683-702, (1958).

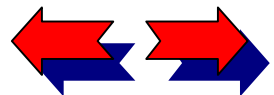
34. HOLLAND J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, (1975).

35. JOVIČIĆ V., *Ventilacija rudnika*, Beograd, (1989).

36. KOLARCZYK M. , *Wplyw struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej na wrażliwości prądów powietrza przy zmianach oporów bocznic*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice*, (1993).

37. KOWALIK J.S. (ed.), *Coupling Symbolic and Numerical Computing in Expert Systems*, North-Holland, Amsterdam, (1986).

38. LEE C., "Computational modelling of mine fires", *The Mining Engineer*, July, pp.17-21, (1994).





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

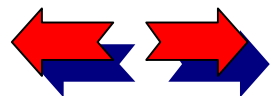
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

39. LILIĆ N., "Istraživanje gasodinamičkih pojava pri separatnom provetranju prostorija u rudnicima uglja", doktorska disertacija, Beograd, (1990).
40. LILIĆ N., "Modeliranje mehanizma prenosa toplote pri ventilaciji podzemnih rudarskih prostorija", Novembarsko Savetovanje Bor , (1992).
41. LILIĆ N., "Distribucija zagađivača vazduha pri rudničkom transportu dizel mehanizacijom", Međunarodni simpozijum o rudničkom transportu, Zbornik radova str. 220-223, Beograd, (1993).
42. LILIĆ N., BELJIĆ Č., "Simulacija klimatskih prilika u uslovima otvaranja dubljih rudnih ležišta rampom", Podzemni radovi, god. II br. 2, str. 67-74., (1993).
43. LILIĆ N., DENIĆ M., CVJETIĆ A., "Primena CFD modeliranja pri rešavanju i analizi ventilacije rudničkih prostorija", Podzemni radovi, (1998).
44. LILIĆ N., GAGIĆ D., STANKOVIĆ R., "A Knowledge-Based Approach to Coal Mines Safety Analysis", Minesafe International 1996, Pert, (1996).
45. LILIĆ N., KUZMANOVIĆ D., Matematičko modeliranje rudničkih ventilacionih mreža, Beograd, (1993).
46. LILIĆ N., KUZMANOVIĆ D., "Research into possibility of optimizing air distribution in mine ventilation networks", XIX SYM-OP-IS , Zbornik radova str. 325-328, Beograd, (1992).
47. LILIĆ N., KUZMANOVIĆ D., "Optimization of air distribution in mine ventilation networks", Yugoslav Journal of Operations Research 4, Number 1, str. 105-113, (1994).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

48. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., "Optimizacija raspodele vazduha u rudničkim ventilacionim mrežama", Podzemni radovi 1, str. 69-76, (1992).

49. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., "Air distribution optimization in mine ventilation networks", III Međunarodni simpozijum o primeni matematičkih metoda i računara u rudarstvu, geologiji, metalurgiji i srodnim oblastima, sa I. Obradovićem, Moskva, (1993).

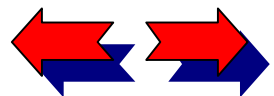
50. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., "Simulacija požara u rudničkim ventilacionim mrežama", SIM OP IS '93, Zbornik radova str. 263-266, Beograd, (1993).

51. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., STANKOVIĆ R., "Sistem za podršku u analiziranju ventilacije planova odbrane i spasavanja", Drugo naučno savetovanje iz oblasti podzemne eksploatacije ležišta mineralnih sirovina, str. 215-224, Beograd, (1994).

52. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., "Computer-aided analysis of mine ventilation for emergency plans", 1st Regional APCOM SYMPOSIUM, Zbornik radova str. 583-589, Bled Slovenia, (1994).

53. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., "An Expert System for Mine Ventilation Networks Analysis", International Scientific Conference on occasion of the 50th anniversary of VŠB - Technical University Ostrava, E8, (1995).

54. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., "A Knowledge-based Approach to Mine Ventilation Simulation", 3rd Balcan Conference on Operational Research, Thessaloniki, (1995).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

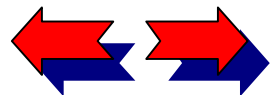
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

55. LILIĆ N., OBRADOVIĆ I., STANKOVIĆ R., "Ventex: An Expert System for Mine Ventilation Systems Analysis", Mining Technology, Vol. 79, No 915, pp. 295-302, (1997).
56. LILIĆ N., STANKOVIĆ R., OBRADOVIĆ I., "Programski paket za simulaciju ventilacije rudnika u havarnim uslovima", "EKOLOGICA" posebno izdanje 1, str. 9-12, (1994).
57. LILIĆ N., STANKOVIĆ R., "Simulacija klimatskih prilika u složenim rudničkim ventilacionim mrežama", SIM OP IS'94, Zbornik radova str. 571-574, Kotor, (1994).
58. LILIĆ N., STANKOVIĆ R., OBRADOVIĆ I., "Integralni sistem za planiranje i analizu ventilacije rudnika", I Jugoslovensko-Bugarski Rudarsko-geološki naučni simpozijum, Beograd, No. 44, (1996).
59. LILIĆ N., STANKOVIĆ R., OBRADOVIĆ I., "Knowledge-Based System for Mine Ventilation Network Analysis", 12th International Conference on Process Control and Simulation, ASRTP '96, Košice, pp 385-392, (1996).
60. LILIĆ N., STANKOVIĆ R., OBRADOVIĆ I., "Ekspertni sistem za planiranje i analizu ventilacije rudnika", INFOFEST, Budva, (1996).
61. LILIĆ N., STANKOVIĆ R., OBRADOVIĆ I., "Mine ventilation system planning using genetic algorithms", Proceedings of the Sixth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, (1998).
62. LONGSON I., TUCK M.A.: "The computer simulation of mine climate on longwall coal face", 2nd U.S. Mine Ventilation Symposium /Reno NV/ pp.439-448, (1985).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

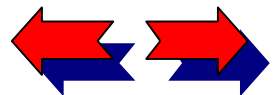
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

63. MASSEN F.: "Wetterrechnung auf einem Digitalrechner", Bergbauwissen-shaften 9, pp. 179-190, (1962).
64. MASTERS T., Practical Neural Network Recipes in C++, Academic Press, Inc., (1994).
65. McKELVY M., MARTINSEN R., WEBB J., RESELMAN B., Vodič kroz Visual Basic 6, QUE, (1997).
66. McKINNEY D., "Critical velocity of air versus detailed modelling using SFD techniques in tunnel fires", American Public Transit Conference, Sacramento, (1994).
67. McPHERSON M.J., Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman & Hall, (1993).
68. McPHERSON M.J., "Ventilation Network Analysis by Digital Computer", The mining engineer, No 73, pp. 35-51, (1966).
69. McPHERSON M.J., "Mine ventilation planning in the 1980's", Int. J. of Min. Engng., 2 pp. 185-227, (1984).
70. McPHERSON M.J., "Psychrometry: The Measurement and Study of Moisture in Air", Mining Department Magazine, University of Nottingham, Vol. No. XXXI, pp. 41-51, (1979).
71. McPHERSON M.J., "The analysis and simulation of heat flow into underground airways", Int. J. Min. and Geol. Engineering, 4, pp. 165-196, (1986).
72. McPHERSON M.J., MOUSSET-JONES P.F., "Simulating the underground mine climate using a microcomputer", 19th APCOM SYMPOSIUM, pp. 577-586.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

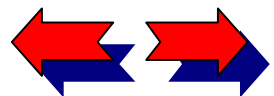
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

73. OBERHOLZER J.W., MEYER J., "Computer Modelling in the Solution of Continuous Miner Heading Ventilation Problems", APCOM XXV Conference, Brisbane, (1995).
74. ORAL M.K., DURUCAN S., "An Integrated Environment Simulation System for Mine Ventilation Management", XXIII International Symposium APCOM, Montreal, 327-334, Vol.II, (1993).
75. PRASAD K.V.K., RAMANI R.V., "An Assessment of Expert System Building Tools for Mining Applications, Proceedings of 21<sup>st</sup> APCOM, pp. 897-910, (1989).
76. RAMANI R.V., PRASAD K.V.K., SWAMINATHAN M., "Implementation of KBS for Mine Ventilation Planning and Design", XXII International Symposium APCOM, Berlin, 329-352, Vol.II., (1990).
77. Rational Rose 98, Rational Software Corporation, (1998).
78. RICH E., *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, New York, (1983).
79. SCOTT D.R., HINSLEY F.B., "Ventilation network theory". *Colliery Engng.*, 28, pp. 67-71, 159-166, 229-235, 497-500, (1951).
80. SIELER B., SPOTTS J., *Using Visual Basic 6*, Special edition, QUE, (1998).
81. SIMODE E., "Simulation of Thermal and Aerodynamic Effects of a Fire in a Complex Underground Ventilation Network", Second International Mine Ventilation Congress, Reno, NV, New York: AIME, pp. 455-9, (1980).
82. SKOBUNOV V.V., "Turbulent diffusion of exhaust gases in a transportation working", *Soviet Min. Sci.*, 6, 404-11, (1970).





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 **O knjizi** About the book

2 **Metodologija planiranja ventilacije rudnika**

3 **Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida**

4 **Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža**

5 **Modeliranje distribucije protoka vazduha**

6 **Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama**

7 **Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama**

8 **Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika**

UML notacija

Index

83. SRINIVASA RAO B., "Three dimensional modelling of air velocities and dust control techniques in longwall face", Proc. of 6<sup>th</sup> US Mine Ventilation Symposium SME, Ed. Bhaskar, R. Littleton, Colorado, pp. 287-292, (1993).

84. STEPHENS R., Visual Basic programiranje grafike, John Wiley & Sons, Inc., Kompjuter biblioteka, Čačak, (1997).

85. SULLIVAN P., HEERDEN Van J., "The Simulation Environmental Conditions in Continuous Miner Developments Using CFD", Journal of the mine Ventilation of South Africa, pp 2-11, (1993).

86. TAYLOR G.I., "The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe", Proc. R. Soc. Lond., 233, 945, (1954).

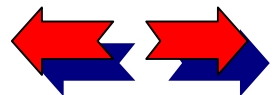
87. TOMIYAMA T., YOSHIKAWA H., Extended generaldesign theory, Design Theory for CAD, pp 95-130, North-Holland, Amsterdam, (1987).

88. UENG T.H., WANG Y.J., "Analisis of Mine Ventilation networks using Nonlinear Programming Techniques", Int. J. of Mining Engineering, Vol 2, (1984).

89. UML notation – [www.rational.com/uml](http://www.rational.com/uml), (1997)

90. VERSTEEG H.K., MALASEKERA W., An Introduction to Computational Fluid Dynamics, Longman Scientific & Technical, Essex, England, (1995).

91. VUJIĆ S., IVIĆ A., "Matematičke metode u rudarstvu i geologiji", Rudarsko-geološki fakultet u Beograd, (1990).





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

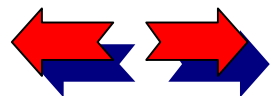
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

92. VUTUKURI V.S., LAMA R.D., Environmental engineering in mines, Cambridge University Press.
93. WACLAWIK J., MIKOLAJCZYK W., BRANNY M., "Flow of Air with Variable Density in Mine Ventilation Networks", Int. J. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abstr., Vol. 23, No 6, pp. 411-419, (1986).
- 94 WACLAWIK J., BIALAS S., BRANNY M., ROSZCZYNIANSKI W., Algorytmy i programy wentylacji i klimatyzacji koplana, "Slask" Katowice, (1983).
95. WANG Y.J., "Ventilation network theory", In: H.L. HARTMAN, J.M. MUTMANSKY Y.J. WANG (Editors), Mine Ventilation and Air Conditioning, Wiley, New York, 2nd Ed., pp. 483-516, (1982).
96. WANG Y.J., HARTMAN H.L., "Computer solution of three-dimensional mine ventilation networks with multiple fans and natural ventilation", Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.4, pp.123-154, (1967).
97. WANG Y.J., MUTMANSKY J.M., "Application of CPM procedures in mine ventilation", 1st mine ventilation symposium, pp.159-168, SME-AIME (1982).
98. WANG Y.J., HARTMAN H.L., MUTMANSKY J.M., "Recent developments in mine ventilation network theory", 2nd US Mine Ventilation Symposium /Reno NV/, pp. 667-675, (1985).
99. WANG Y.J., SAPERSTEIN L.W., "Computer-Aided Solution of Complex Ventilation Networks", Society of Mining Engineers, AIME Vol. 247, pp. 238-247, (1970).
100. WANG Y.J., "Minimizing Power Consumption in Multiple-Fan Networks by Equalizing Fan Pressure", Int. J. Rock Mech. Sci.& Geomech. Vol. 20 No.4, pp. 171-179, (1983).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 **O knjizi** About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

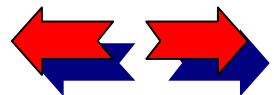
Index

101. WANG Y.J., "Characteristics of multiple-fan ventilation networks", Int. J. of Mining Engineering, 2, pp. 229-243, (1984).

102. YANG Z.Y., LOWNDES I.S., DENBY B., "Optimization of subsurface ventilation systems-application of genetic algorithms", Proceedings of 27th International symposium on computer application in the minerals industries, Institution of Mining and Metallurgy, London, pp. 753-764, (1998).

103. YANG Z.Y., LOWNDES I.S., DENBY B., "Genetic Algorithm Optimization of Large U.K. Coal Mine Ventilation Network", Proceedings of 8th US Mine Ventilation Symposium, pp. 625-632, (1998).

104. YANG Z.Y., LOWNDES I.S., DENBY B., "Application of genetic algorithms to the optimization of large mine ventilation networks", Trans. Instn Min. Metall., Sect. A: Min. industry, 107, pp. A109-A116, (1998).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

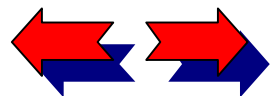
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Od matematičkih modela do veštačke inteligencije

U cilju ispitivanja pojava i procesa koji nas okružuju u svetu oko nas identifikujemo *sisteme*, odnosno skupove medjusobno povezanih komponenti (elemenata), s tim što se podrazumeva da svaki sistem ima neku svoju unutrašnju logiku po kojoj su elementi sistema medjusobno povezani, odnosno po kojoj sistem funkcioniše. Čovek proučava postojeće, realne sisteme da bi razumeo njihovu logiku i tako lakše predvideo njihovo ponašanje u različitim okolnostima, a i sam kreira različite vrste sistema. Proučavanje sistema, pre svega fizičkih i tehničkih, putem eksperimenata, može biti veoma komplikovano, skupo i dugotrajno, a ponekad i teško izvodljivo. Zbog toga se često pojave i procesi u sistemima ispituju pomoću njihovih *modela*, koji predstavljaju neki vid formalizacije posmatranog sistema. Cilj modela je da obuhvati one elemente sistema i njihove međusobne relacije koji su za onoga ko sistem ispituje od interesa, i da pritom omogući ispitivanje sistema na relativno jednostavan način. Formiranje modela se najčešće zasniva na definisanju određenih pokazatelja, kvantitativnih i kvalitativnih, vezanih za posmatrane pojave i procese u sistemu. Pri formiranju modela pribegava se aproksimacijama, što znači da model ne mora sadržati sve karakteristike sistema, već se neke od njih, koje se smatraju manje značajnim, zanemaruju. Model je, prema tome, približna, idealizovana slika sistema, ali dovoljno verna da može da posluži za ispitivanje njegovih glavnih svojstava. Postoje različiti pristupi modeliranju pa modeli sistema mogu biti *fizički* (makete i prototipovi), *deskriptivni* (opisani govornim jezikom), *simbolički* (odnosno matematički) ili *proceduralni* (odnosno simulacioni).



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

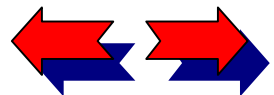
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

*Matematički model* prikazuje elemente sistema i njihove međusobne relacije pomoću odgovarajućih matematičkih pojmova. On povezuje tražene pokazatelje sa poznatim ili merljivim parametrima i promenljivim veličinama sistema pomoću matematičkih relacija. Ispitivanje pojava i procesa u sistemu predstavljenom matematičkim modelom svodi se na iznalaženje vrednosti pokazatelja, što zahteva rešavanje različitih matematičkih problema vezanih za dati model, ili, kraće, rešavanje matematičkog modela sistema. Najveći deo matematičke teorije posvećen je *analitičkim metodama* za rešavanje matematičkih problema. Međutim, da bi neka analitička metoda mogla da se primeni za rešavanje konkretnog matematičkog modela, on mora posedovati određena svojstva, odnosno zadovoljavati neke unapred zadate uslove. Matematički modeli kojima su opisani sistemi često ne ispunjavaju sve potrebne uslove za primenu analitičke metode, ili su, pak, tako složeni da je primena analitičke metode otežana ili praktično neizvodljiva. U takvim situacijama vrednosti pokazatelja sistema, odnosno rešenje modela, mogu se potražiti pomoću *numeričkih metoda*, odnosno metoda numeričke matematike. Primena numeričkih metoda se, kao i formiranje matematičkog modela, u svojoj suštini zasniva na aproksimacijama. Kao što matematički model predstavlja približnu sliku realnog sistema, tako i rezultat koji se dobija numeričkom metodom predstavlja približno rešenje matematičkog modela. Pri primeni numeričke metode se, dakle, polazi od toga da dobijeno rešenje neće biti apsolutno tačno, odnosno da će u sebi sadržati i određenu grešku. Ono što je, međutim, značajno, jeste da se greška numeričke metode može oceniti, odnosno da se može oceniti tačnost dobijenog rešenja.

Iako numerička matematika kao samostalna disciplina datira, praktično, od početka ovog veka, razvojem numeričkih metoda bavio se tokom vekova veliki broj matematičara kao što su Njutn, Ojler,



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

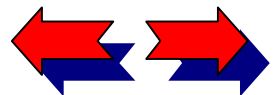
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Gaus, Lagranž i drugi. Intenzivniji razvoj ove oblasti, međutim, ometao je nedostatak praktičnih sredstava za realizaciju numeričkih metoda. Naime, rešavanje problema numeričkim metodama se po pravilu odvija kroz uzastopnu primenu velikog broja aritmetičkih operacija. Zbog toga su matematičari koji su se ovim metodama bavili tragali za tehničkim sredstvima kojima će sebi olakšati čest dugotrajan i mukotrpan proces njihove realizacije. Tako je, na primer, Paskal još u XVII veku pokušavao da konstruiše računsku mašinu koja će moći da automatski izvršava operacije sabiranja i oduzimanja. Slične pokušaje činili su i drugi što je konačno, četrdesetih godina ovog veka, dovelo do pojave *digitalnih elektronskih računskih mašina*, ili kraće, *računara*.

Od svog nastanka pa do danas osnovni princip rada računara nije se značajno menjao. Računar je bio i ostao sredstvo za izvršavanje logičkih i aritmetičkih operacija nad zadatim podacima po unapred definisanom redosledu, uz mogućnost trajnog ili privremenog čuvanja (memorisanja) rezultata i njihove prezentacije korisniku. Štaviše, svi podaci kojima se u računaru operiše predstavljeni su u binarnom obliku, kao nizovi binarnih cifara, nula i jedinica (*bitova*) grupisanih u *bajtove*, nizove od po 8 bita. Stoga su i logičke i aritmetičke operacije u računaru veoma jednostavne operacije nad nizovima binarnih cifara. Međutim, ono što se tokom više od pedeset godina razvoja računara menjalo a i dalje se menja, i to veoma velikom brzinom, jeste računarska tehnologija. Prolazeći kroz nekoliko faza, ili generacija, tehnološki razvoj obezbeđivao je sve brže obavljanje aritmetičkih i logičkih operacija, sve veći kapacitet memorije, sve manje dimenzije, i sve savršenija sredstva kako za komunikaciju između računara i njegovog korisnika tako i za međusobno povezivanje računara u mreže, pa su danas računari postali izuzetno moćno sredstvo, nezaobilazno gotovo u svim profesijama.





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

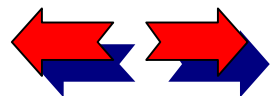
### UML notacija

### Index

Klasičan, proceduralni pristup rešavanju nekog problema pomoću računara podrazumeva definisanje procedure ili postupka kojim se opisuje kako se problem rešava, odnosno kako se na osnovu polaznih podataka dolazi do konačnog rešenja kroz sukcesivnu realizaciju konačnog broja unapred definisanih koraka. Ovaj postupak naziva se *algoritmom*, a njegovi koraci moraju biti takvi da se mogu prevesti u naredbe nekog od raspoloživih proceduralnih programskih jezika. Na taj način formira se *program* čijim se izvršavanjem na računaru dobijaju željeni rezultati.

Korišćenje računara u novije vreme više ne podrazumeva i programiranje u klasičnom smislu. Razvoj programskih jezika kao i programskih okruženja i sistema različite namene danas pružaju daleko veće mogućnosti korisniku računara. On je sve manje u obavezi da se bavi procedurom, odnosno time kako problem da se reši, već se od njega sve češće traži samo da specificira šta treba da se reši, dok kontrolu nad procesom rešavanja preuzima programski sistem posebne namene. Ovi sistemi su dakle već "obučeni" za rešavanje određene klase problema, dakle imaju neko sopstveno "znanje". Sistemi kod kojih je ovo znanje takvo da su u stanju da izvršavaju složene zadatke koji od ljudi zahtevaju korišćenje inteligencije nazivaju se inteligentni sistemi, a oblast koja se bavi razvojem ovakvih sistema naziva se *veštačka inteligencija*.

Početak razvoja veštačke inteligencije obično se vezuje za 1956. godinu kada se grupa istraživača sastala u Dartmut (Dartmouth) koledžu da bi razmenila iskustva iz oblasti automatskog dokazivanja teorema i razvoja novih programskih jezika. Tada su započeti i razgovori o simuliranju inteligentnog ponašanja pomoću računara. Razvoj računarskih programa koji ispoljavaju "inteligentno ponašanje" je apstraktan i maglovit cilj jer je i samu inteligenciju veoma teško definisati. Kao kriterijumi inteligentnog



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

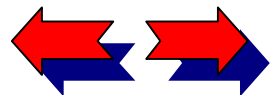
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

ponašanja, međutim, mogu se uzeti kompetentno rasuđivanje sa jedne strane, i posedovanje znanja iz određene oblasti, sa druge. Tako su se, umesto razvoju algoritama, istraživači u oblasti veštačke inteligencije posvetili pre svega razvoju mehanizama za simuliranje rasuđivanja i tehnika za prestavljanje znanja. Cilj veštačke inteligencije može se definisati i sa praktičnog stanovišta: omogućiti da računari, snabdeveni znanjem i sposobni da rasuđuju, budu još korisniji ljudima tako što će im pomagati u donošenju odluka, inteligentnom pretraživanju informacija, ili što će jednostavno sa korisnikom komunicirati na način što bliži dijalogu na prirodnom jeziku. Drugi praktični cilj, ništa manje važan, jeste doprinos razumevanju ljudske inteligencije, jer se izgradnja inteligentnih sistema bazira na modeliranju postupaka i procesa kroz koje ljudi stižu, organizuju i koriste svoja znanja.

U svom razvoju veštačka inteligencija je imala svoje uspone i padove. Ambiciozni poduhvati, kao što je bila izgradnja sistema za rešavanje problema opšte namene, imali su slabe ili vrlo ograničene rezultate a ponekad i izazivali sumnju u samu svrhu istraživanja u ovoj oblasti. To je, međutim, istovremeno usmeravalo istraživače ka manje ambicioznim zadacima, odnosno razvoju pojedinih metoda i tehnika namenjenih predstavljanju znanja, rasuđivanju, dokazivanju teorema, strategijama igara, učenju, razumevanju prirodnog jezika i govora ili vizuelnoj percepciji. Poseban uspeh veštačka inteligencija doživela je sa razvojem ekspertnih sistema, inteligentnih sistema namenjenih rešavanju problema u određenoj oblasti, koji započeo sredinom 60-tih godina sa sistemom za spektralnu analizu DENDRAL. Danas je ovo možda najrazvijenija, a svakako najpoznatija oblast u kojoj je veštačka inteligencija postigla značajne praktične rezultate. Slobodno se može reći da su pre svega ovi rezultati obezbedili definitivno priznanje i afirmaciju i dali novi impuls razvoju veštačke inteligencije.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

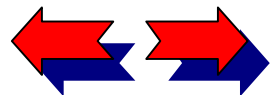
#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Sve brojnije i raznovrsnije metode i tehnike veštačke inteligencije i izuzetno brza evolucija računarske tehnologije danas omogućavaju izgradnju sistema u kojima se ove metode i tehnike kombinuju ne samo međusobno, već i sa klasičnim proceduralnim pristupom. Sistemi koji nastaju na ovaj način nazivaju se *hibridnim (intelligentnim) sistemima*. Naime, proširivanjem kruga problema za koja se rešenja traže uz pomoć računarske tehnologije, često se nailazi na kompleksne probleme koji se ne mogu rešiti samo jednom metodom. Tada se pristupa njihovom kombinovanju, koje može biti različitog karaktera, ali se često realizuje kroz nezavisne module koji međusobno razmenjuju informacije i rešavaju pojedine zadatke kako bi došli do rešenja problema. O jednom takvom hibridnom intelligentnom sistemu biće i ovde reč.



? Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija  
planiranja  
ventilacije rudnika

3 Modeliranje  
procesa strujanja  
vazduha u  
rudničkim  
prostorijama  
primenom  
računske dinamike  
fluida

4 Matematičko  
definisanje složenih  
ventilacionih mreža

5 Modeliranje  
distribucije protoka  
vazduha

6 Modeliranje  
promene klimatskih  
prilika u rudničkim  
ventilacionim  
mrežama

7 Modeliranje požara  
u složenim  
ventilacionim  
mrežama

8 Ekspertni sistem za  
analizu ventilacije  
rudnika

UML notacija

Index

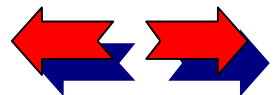
## Poglavlje 2

### METODOLOGIJA PLANIRANJA VENTILACIJE RUDNIKA

U ovom poglavlju opisan je savremeni pristup pri planiranju i analizi ventilacije rudnika baziran na korišćenju svih pogodnosti računarskog hardvera i softvera koji stoje na raspolaganju rudarskim inženjerima. Shodno izloženoj savremenoj strategiji planiranja i analize ventilacije rudnika razvijen je hibridni sistem INVENTS čija su arhitektura i koncept tema ove knjige.

#### SADRŽAJ

Uvodna razmatranja.....	27
Tradicionalni pristup .....	31
Savremeni pristup .....	34



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

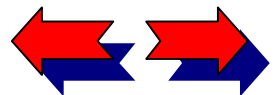
UML notacija

Index

## Uvodna razmatranja

Inženjersko planiranje i projektovanje predstavlja proces misaonog konstruisanja sistema, komponenti ili procesa sa ciljem ostvarivanja željenih potreba. To je proces donošenja odluka, često iterativan, u čijoj su osnovi matematika i inženjerske nauke koje se primenjuju radi ostvarivanja postavljenog cilja. Osnovni elementi procesa projektovanja su: ustanovljavanje ciljeva i kriterijuma, sinteza, analiza, konstrukcija, testiranje i ocena, pri čemu centralnu ulogu procesa čine sinteza i analiza.

Prema Jošikavinoj (Yoshikawa) Opštoj teoriji projektovanja (General Design Theory) /87/, /6/ sa filozofske tačke gledišta, mogu se izdvojiti tri domena ili "sveta": realni svet, u kome postoje svi nama znani konkretni entiteti, konceptualni svet, u kome osmišljavamo entitete realnog sveta, i svet logike, koji je svet simbola, logike, matematike i filozofije. Ova tri sveta su povezana različitim disciplinama koje postoje kao rezultat "preslikavanja" (mappings) između različitih svetova (slika 2.1). Teorije projektovanja se bave preslikavanjima iz konceptualnog sveta u realni svet kroz svet logike (slika 2.1). U tom smislu, projektovanje predstavlja aktivnost kreiranja entiteta u realnom svetu, od početne ideje kada je objekat rođen u konceptualnom svetu, preko sveta logike gde je slika stvorena. U kontekstu ovako usvojenog koncepta poimanja procesa projektovanja može se reći da inženjerstvo i tehnologija predstavljaju procese preslikavanja iz sveta logike u svet realnosti pri kojima se logičke deskripcije transformišu u konkretne entitete.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

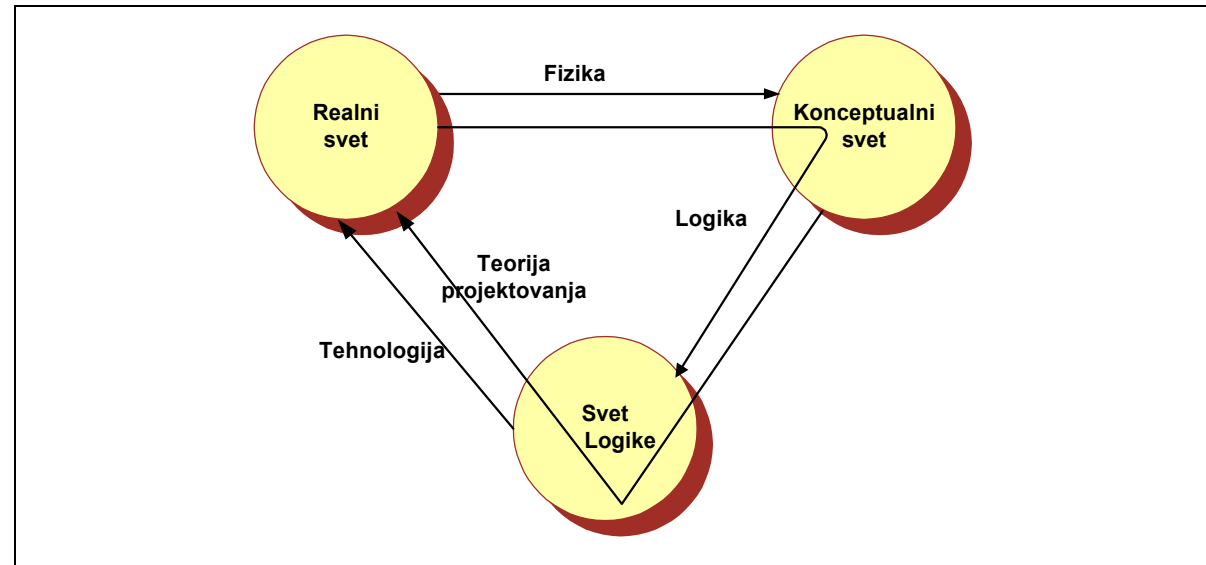
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

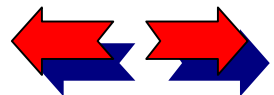
Index



Slika 2.1 Koncept teorije projektovanja

Planiranje i projektovanje rudničkih ventilacionih sistema je u osnovi inženjerski problem koji se može naučno analizirati i rešavati metodologijom prikazanom na dijagramu aktivnosti sa sl. 2.2.

Prvi korak prikazanog metodološkog pristupa se odnosi na identifikaciju, odnosno percepciju inženjerskog problema, bilo da se on odnosi na projektovanje novog, modifikaciju postojećeg ventilacionog sistema ili planiranje odluka “dan za dan” u tekućoj rudarskoj praksi.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

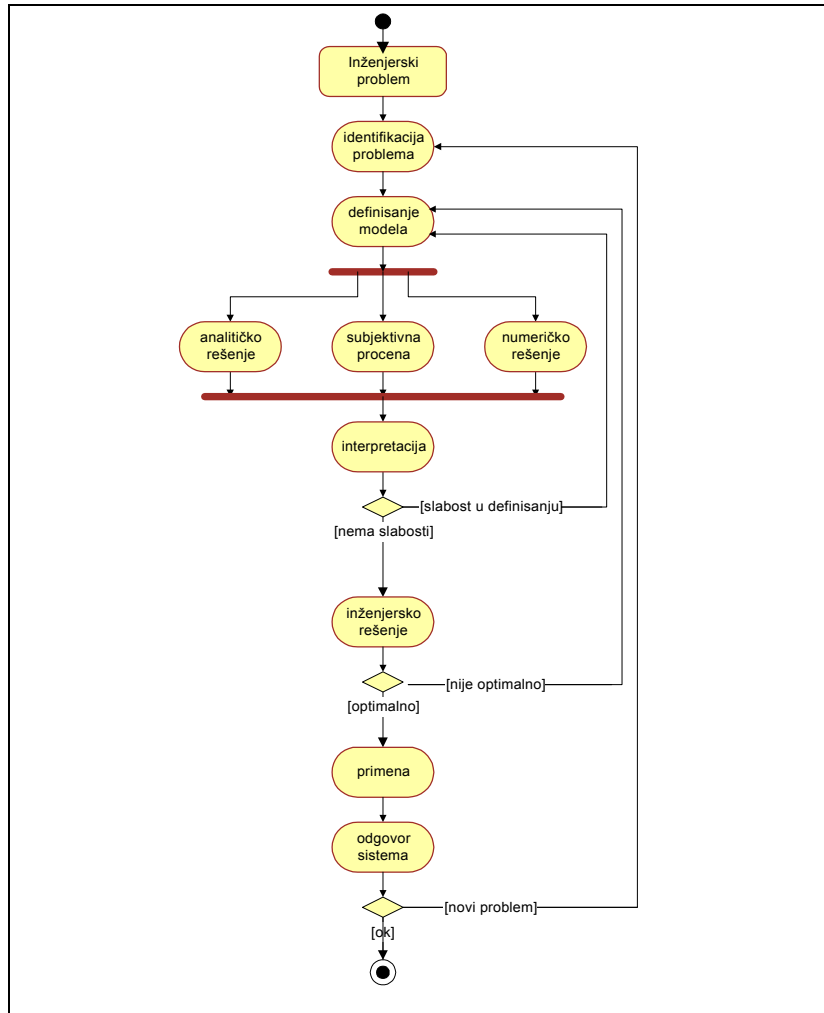
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

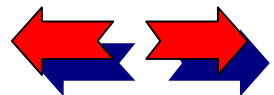
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



Sl. 2.2 Dijagram aktivnosti metodologije rešavanja inženjerskih problema



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

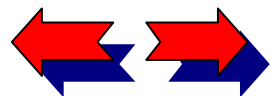
### UML notacija

### Index

Nakon identifikacije problema pristupa se definisanju koje najčešće prati idealizacija i apstrakcija problema. Najbolji primer idealizacije i uprošćavanja ventilacionih sistema je definisanje rudničke ventilacione mreže u cilju pripreme za analizu uz pomoć računara.

Sve metode rešavanja problema planiranja i projektovanja ventilacije rudnika mogu se klasifikovati u tri kategorije: subjektivnu procenu, analitičko rešenje i numeričko rešenje postavljenog modela. Rešavanje problema subjektivnom procenom eksperata iz domenske inženjerske oblasti se primenjuje isključivo za rešavanje jednostavnih problema. Analitičko rešavanje se primenjuje za analizu relativno jednostavnih ventilacionih mreža ili posle uprošćavanja složenih ventilacionih sistema. Složeni problemi zahtevaju primenu numeričkih modela za njihovo rešavanje. Ovi modeli koriste matematičku teoriju grafova i fizičke zakone za definisanje strujanja vazduha u ventilacionoj mreži. Rešavanje problema uz ravnotežne uslove vrši se primenom matematičkih metoda optimizacije kojima se postiže zadovoljavajuća aproksimacija realnog problema.

Inženjersko rešenje problema mora biti interpretirano u obliku praktičnih predloga za projektovanje i konstrukciju ventilacionog sistema. Ovaj korak može da identifikuje slabosti u definisanju problema tako da često dovodi do ponovnog definisanja modela. Rešavanje problema je iterativna procedura kojom se bira optimalno rešenje koje se može praktično izvesti. Ovakvo rešenje se mora definisati u obliku konkretnih praktičnih mera, projektovati i primeniti, nakon čega se mere i kontrolišu postignuti rezultati (odgovor sistema). Imajući u vidu da su procesi u rudarskoj tehnici najčešće kontinuirani ili se ciklično ponavljaju u vremenu, metodologija planiranja i projektovanja prikazana na slici 2.2 ovu kontinuiranost



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

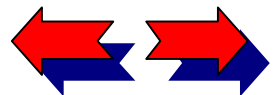
obezbeđuje povratnom spregom sa koraka odgovora sistema na korak definisanja modela ili pak identifikacije novog problema.

Opisana metodologija planiranja i projektovanja ventilacije rudnika se realizuje kroz dva pristupa: tradicionalni i savremeni.

## Tradicionalni pristup

Osnove kvantitativnog planiranja i kontrole ventilacije rudnika postavio je svojim radovima Atkinson sredinom devetnaestog veka. Do današnjih dana se u planiranju ventilacije rudnika zadržala praksa koja obiluje intuicijom u pristupu i oslanjanjem na stečena praktična iskustva. Naravno, autorima ovog materijala, takođe nije stran pomenuti metodološki pristup, ali samo u domenu procene vrednosti zapreminskih protoka vazduha i depresije ventilatora u početnoj fazi projektovanja. Ukoliko ovakvo određivanje ventilacionih parametara ne prati racionalna procedura projektovanja, utemeljena na zakonima fizike, inženjerstva i ekonomije, rezultat ovakve analize neće biti optimalan ventilacioni sistem projektovan za konkretne uslove.

Algoritam tradicionalnog pristupa u planiranju novih rudnika ili novih eksploatacionih polja starih rudnika sastoji se od sledećih koraka :



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

**Korak 1.** Odrediti potreban zapreminski protok vazduha za provetranje radnih mesta.

**Korak 2.** Odrediti gubitke vazduha u ventilacionom sistemu.

**Korak 3.** Označiti distribuciju vazduha na rudničkom planu i proveriti brzine strujanja vazduha kroz jamske prostorije.

**Korak 4.** Odrediti aerodinamičke otpore prostorija i depresije ili padove pritiska usled trenja vazduha o zidove prostorija

$$h = RQ^2,$$

gde je:

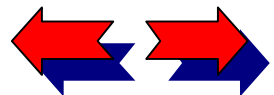
h – depresija prostorije,

R - aerodinamički otpor prostorije,

Q - zapreminski protok vazduha.

**Korak 5.** Označiti depresije prostorija na planu rudnika i odrediti njihov zbir po nizu ogranaka koji čine put vazduha sa najvećim padom pritiska od ulaza do izlaza kroz ventilacionu mrežu.

Alternativno se može koristiti dijagram hidrodinamičkog gradijenta za dobijanje vizuelne predstave o padu kumulativnog pritiska. Statički pritisak ventilatora jednak je padu pritiska duž puta najveće depresije kroz mrežu, a padovi pritiska duž zatvorenih strujnih krugova u mreži kontrolišu se regulatorima protoka vazduha (prigušivači, pomoćni ventilatori).



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

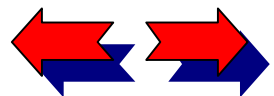
Prednost tradicionalnog pristupa u planiranju ventilacije rudnika je u njegovoj jednostavnosti i malom obimu računanja. Međutim, pored navedenih prednosti postoji i niz nedostataka koji se sastoje u sledećem:

a) Ovaj pristup je čvrsto vezan za iskustvo inženjera projektanta i njegovo empirijsko znanje iz oblasti ventilacije rudnika, posebno na polju određivanja gubitaka vazduha i distribucije vazduha u ventilacionoj mreži.

b) U velikoj meri se zanemaruju nelinearne zavisnosti koje postoje između interaktivno povezanih ventilacionih parametara. Usvajanje određenih vrednosti gubitaka vazduha ili fiksiranje odnosa raspoloživog protoka vazduha i gubitaka, najčešće dovodi do grube aproksimacije, jer u mnogim rudnicima veliki deo ukupne vazdušne struje prolazi putevima gubitaka vazduha. Greške u određivanju gubitaka se pri daljoj analizi akumuliraju, i zbog nelinearnosti zakona strujanja, mogu rezultirati velikim greškama u kumulativnom padu pritiska.

c) Postoji vrlo malo mogućnosti za određivanje alternativnih rešenja u smislu optimizacije ventilacionih sistema.

d) Pretpostavljena distribucija vazduha ne omogućava fleksibilnost u ispitivanju različitih parametara rada i lokacije ventilatora, a takođe ni premeštanje regulatora protoka vazduha ili vetrenih vrata.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

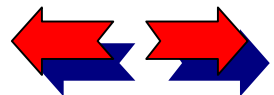
## Savremeni pristup

Metodologija planiranja i projektovanja ventilacije rudnika u savremenoj rudarskoj teoriji i praksi, bitno se razlikuje od tradicionalnog pristupa. Savremeni pristup koristi sve pogodnosti računarskog hardvera i softvera koji stoje na raspolaganju rudarskim inženjerima. Programski paketi za simulaciju ventilacije rudnika su dobili ključnu ulogu u postupku planiranja i projektovanja ventilacije rudnika.

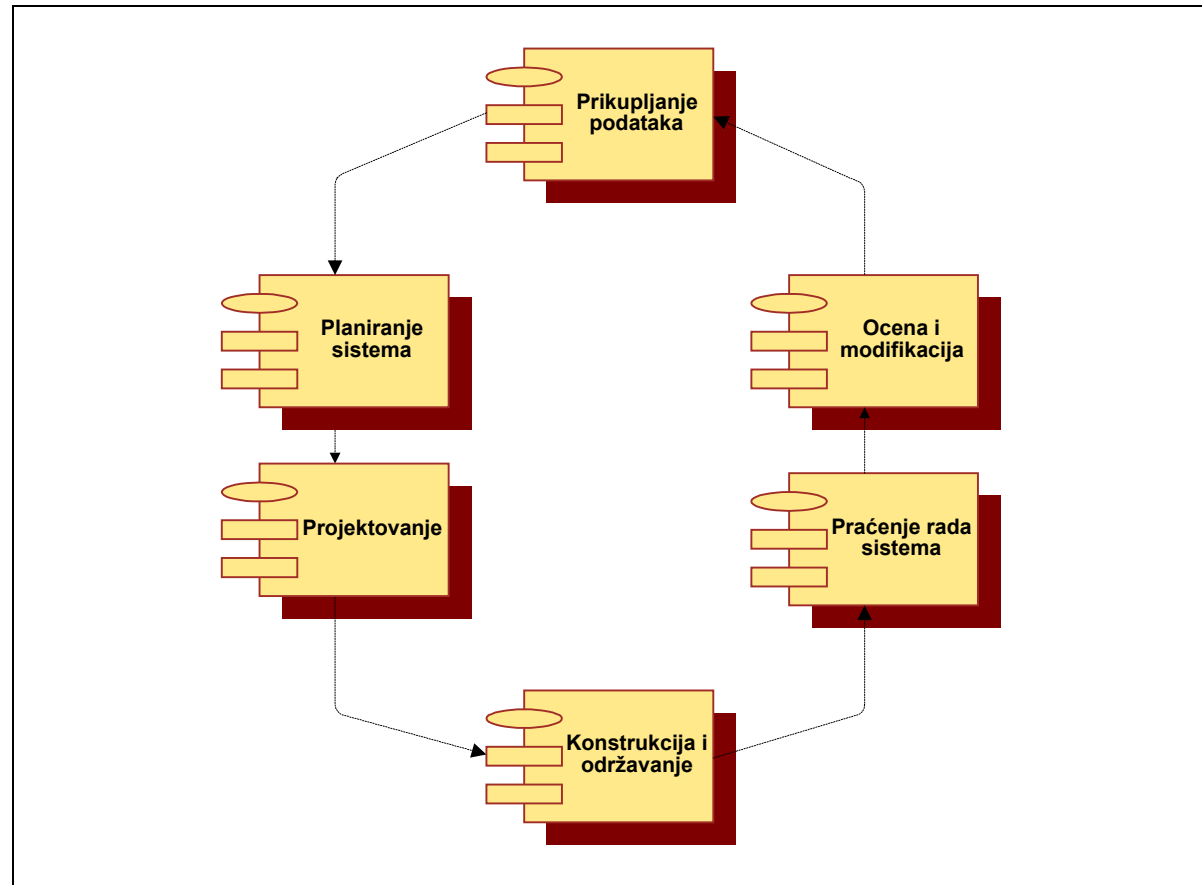
Projektovanje ventilacije je samo jedan element ili faza savremenog koncepta projektovanja. Na dijagramu komponenti sl. 2.3 prikazan je predloženi metod koji se sastoji od šest odvojenih komponenti:

- ◆ prikupljanje podataka,
- ◆ planiranje sistema,
- ◆ projektovanje,
- ◆ konstrukcija i održavanje,
- ◆ praćenje rada sistema i
- ◆ ocena i modifikacija.

Prema navedenom konceptu, proces projektovanja se ne završava početkom izgradnje sistema već se nastavlja do potpune realizacije i kontrole u toku eksploatacije. Ovakav proces projektovanja se koristi kako za projektovanje novih sistema tako i za modifikaciju postojećih.

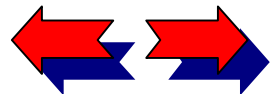






Sl. 2.3 Dijagram komponenti savremenog koncepta projektovanja

Prva faza u navedenoj metodologiji projektovanja je akvizicija podataka. U savremenoj rudarskoj praksi se sprovode kompleksna i sveobuhvatna istraživanja ležišta mineralnih sirovina u cilju dobijanja što više informacija za planiranje i projektovanje tehnološkog sistema eksploatacije ležišta.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

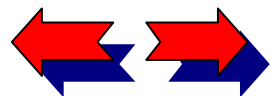
### UML notacija

### Index

Geološki faktori imaju veliki značaj u projektovanju ventilacionog sistema (gasonosnost, sklonost samozapaljenju mineralnih sirovina, eksplozivnost mineralne prašine i dr.). Savremeni postupci prikupljanja geoloških podataka omogućavaju dobijanje informacija u toku istraživanja ležišta na osnovu kojih je moguće planirati optimalni ventilacioni sistem, kontrolu masiva, odvodnjavanje itd. Na primer, jedan od prioriternih kriterijuma za određivanje potrebnog zapreminskog protoka vazduha je emisija metana, koja se može utvrditi u toku istraživanja ležišta. Diskontinuiteti u ležištu, koji se identifikuju u toku istraživanja, mogu da ukažu na regione sa većim rizikom u odnosu na pojavu gasa, vode, podzemnih pritisaka i dr.

Planiranje sistema predstavlja uvod u proces projektovanja rudnika. U procesu planiranja identifikuju se ključne relacije i odnosi koji moraju biti uzeti u obzir u fazi projektovanja rudnika. Zahtevi ventilacije i struktura ventilacionog sistema može biti definisana samo na osnovu proizvodnog plana i plana dinamike izvođenja rudarskih radova. Plan proizvodnje rudnika koji uključuje tehnologiju eksploatacije i rukovođenje sistemom je osnovna odrednica infrastrukture rudnika. Razmatrajući ventilaciju rudnika, na primer, ograničenja brzine strujanja vazduha mogu determinisati broj prostorija ulazne vazdušne struje u jamu, ili suprotno, izbor infrastrukture rudnika uslovljava predlaganje sistema ventilacije.

Početni korak u procesu planiranja i projektovanja ventilacije rudnika je uspostavljanje osnovne ili početne mreže i odgovarajuće baze podataka vezane za baznu mrežu. Podaci za navedenu bazu podataka dobijaju se prikupljanjem podataka odnosno merenjem ventilacionih parametara. Da bi obezbedili da bazna mreža predstavlja stvarnu i adekvatnu sliku rudnika važno je da se mreža verifikuje kroz proces korelacione studije. Ovo uključuje korišćenje softvera za simulaciju ventilacije rudnika na



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

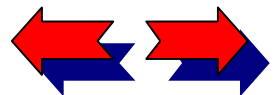
Index

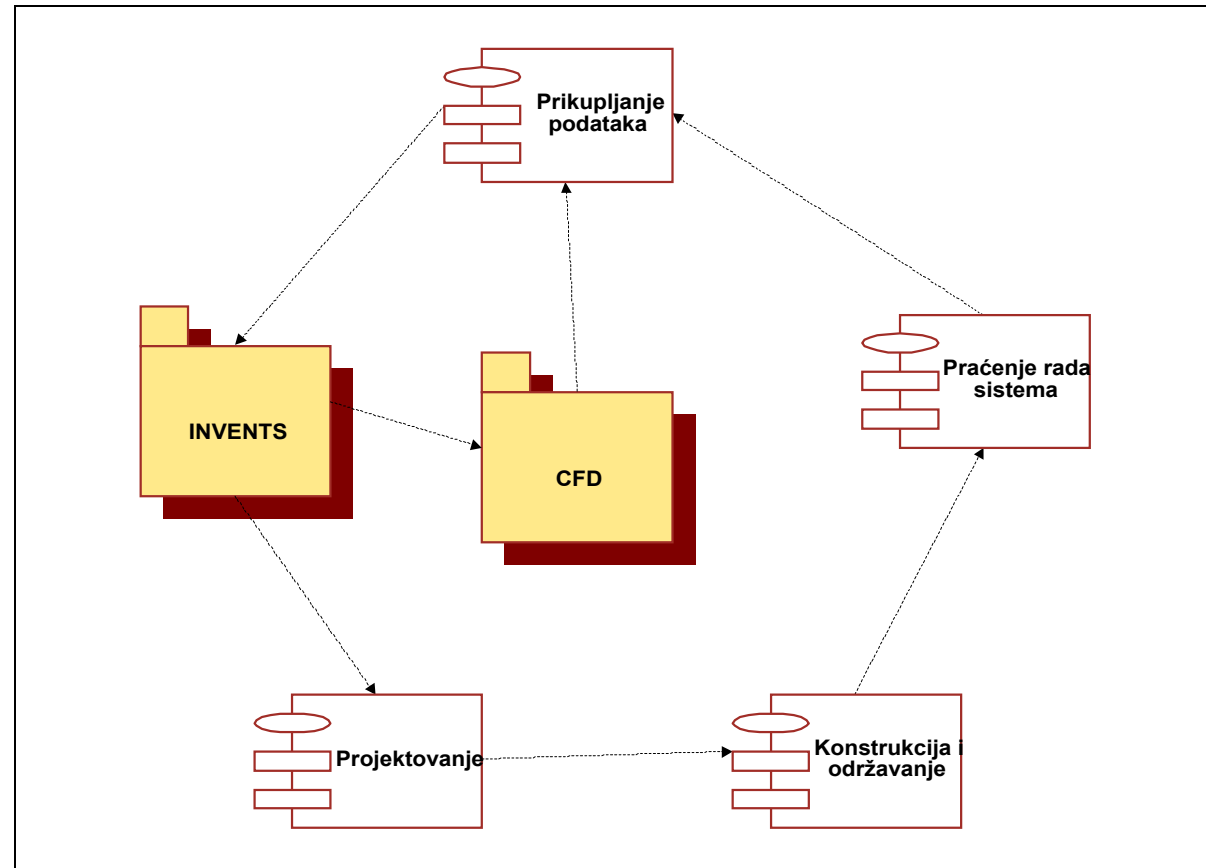
ulaznim podacima bazne mreže i upoređivanje izračunatih protoka vazduha sa izmerenim vrednostima. Ukoliko se merenja vrše organizovano i sistematski, sa pouzdanim i preciznim instrumentima, i ako nema grešaka u prevođenju bazne mreže u matrični oblik, tada su izračunati i izmereni protoci vazduha u najvećoj meri identični. Ovako idealan slučaj se retko sreće u praksi. Neophodno je naglasiti da se merenja, veoma često zbog velikih dimenzija rudnika, vrše u periodu od nekoliko nedelja do nekoliko meseci. Tokom merenja, u cilju definisanja bazne mreže, protoci vazduha se mogu menjati kao rezultat varijacije prirodne depresije ili aerodinamičkih otpora prostorija usled promena u delovima rudnika u kojima se vrši eksploatacija. Korelacija je prihvatljiva ukoliko obezbeđuje da vrednosti izračunatih protoka ne odstupaju od izmerenih vrednosti više od 10 %.

Proces projektovanja ventilacije se mora nastaviti kroz konstrukciju i izgradnju ventilacionog sistema rudnika kao i održavanje u cilju obezbeđivanja što većeg iskorišćenja sistema i njegove efikasnosti. Teškoće u određivanju koeficijenata trenja vazduha o zidove prostorija, gubitaka vazduha, protoka i pritisaka vazduha u ventilacionim mrežama, uslovljavaju neophodnost praćenja rada ventilacionog sistema radi njihovog poređenja sa planiranim i projektovanim veličinama.

Poslednja faza u predloženom procesu projektovanja je ocena sistema i modifikacija. Svi parametri ventilacije rudnika dobijeni monitoringom moraju biti upoređeni sa projektovanim parametrima, a nakon identifikovanja razlika moraju se izvršiti određene izmene u procesu planiranja.

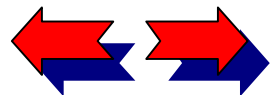
Shodno izloženoj strategiji planiranja, analize i upravljanja ventilacijom rudnika razvijen je hibridni sistem INVENTS čija su arhitektura i koncept tema ove knjige. Na slici 2.4 prikazano je mesto hibridnog sistema INVENTS u savremenom konceptu planiranja ventilacije rudnika kao i arhitektura sistema koji u





Slika 2.4 Globalni koncept planiranja i projektovanja ventilacije rudnika

interaktivnoj primeni sa CFD (*Computational Fluid Dynamics*) softverima predstavlja novi koncept u analiziranju složenih rudničkih ventilacionih mreža. Naime, sistem za podršku u planiranju i analizi ventilacije rudnika INVENTS se sastoji od nekoliko integrisanih softvera kao što su ResNet, SimVent i



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

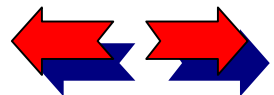
Index

VENTEX (slika 2.5) koji integrišu kako opšte poznate numeričke metode za optimizaciju tako i neke metode veštačke inteligencije pomoću kojih je omogućeno uvođenje heuristika u bazu znanja, čime su ekzaktni matematički modeli dopunjeni i određenim znanjima dobijenim na osnovu iskustava inženjerske prakse.

Predloženi sistem (slika 2.5) omogućava da se na bazi psihrometarskih snimanja postojećih ventilacionih sistema korišćenjem ResNet softvera aerodinamički definišu složene rudničke ventilacione mreže, odnosno odrede realni aerodinamički otpori rudničkih prostorija, a time i konfiguracija bazne mreže. Paralelno sa tim, primenom CFD softvera moguće je izvršiti detaljnu analizu potrebnih zapreminskih protoka vazduha za provetravanje lokaliteta pojedinih radilišta čija geometrija može biti vrlo složena. Primenom CFD softvera je u mnogome dobijeno na pouzdanosti i kvalitetu sagledavanja i proveru potrebnih količina vazduha za provetravanje radilišta, koje je do sada bilo prepušteno iskustvu inženjera ili analogiji sa sličnim primerima u praksi kojima su definisane određene empirijske relacije za određivanje potrebnih količina vazduha.

Nakon ovako detaljno analiziranih i proverenih ulaznih podataka za planiranje i analizu ventilacionog sistema u celini, sistem INVENTS nudi, primenom SimVent-a, niz mogućnosti za analizu složenih rudničkih ventilacionih mreža. Među pomenutim mogućnostima treba naglasiti sledeće:

- ♦ određivanje distribucije protoka vazduha kroz ventilacionu mrežu,
- ♦ simulaciju klimatskih prilika u rudničkim prostorijama,
- ♦ modeliranje pojave požara u složenim ventilacionim mrežama kao i
- ♦ distribuciju gasa u ventilacionoj mreži.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

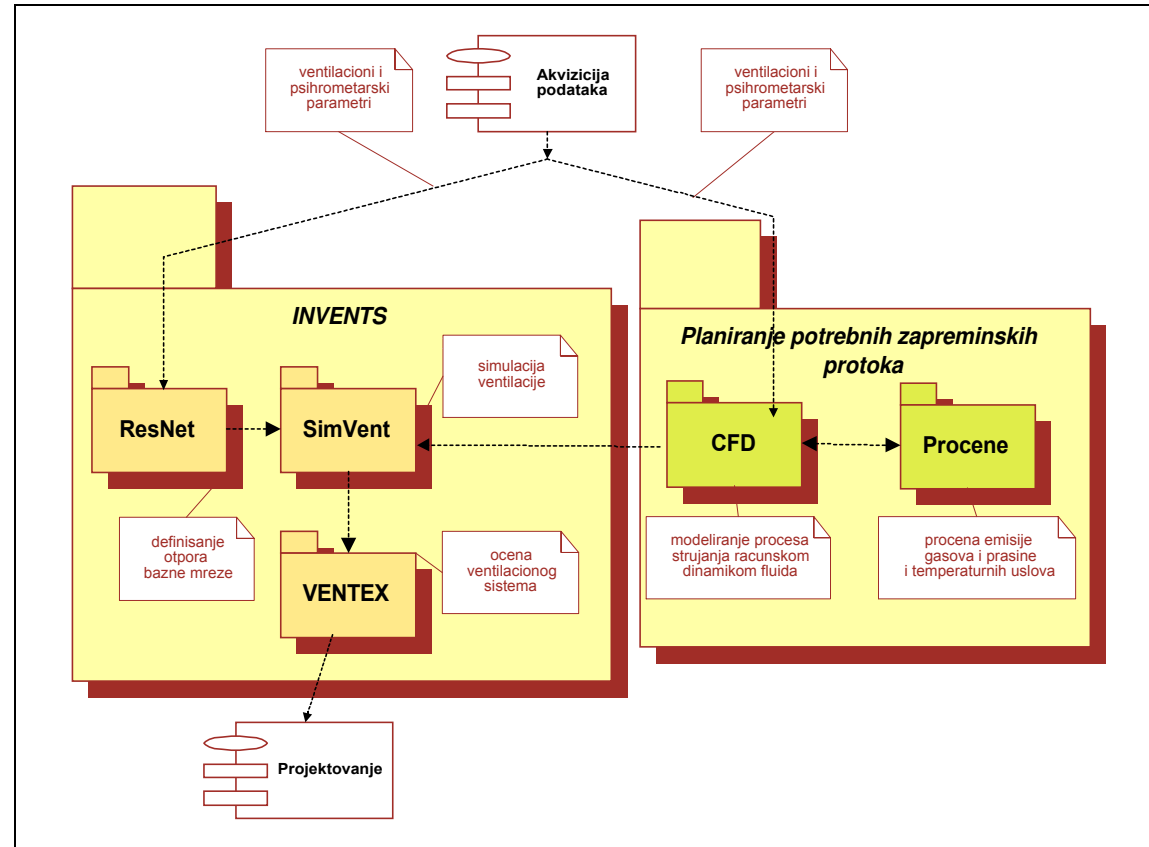
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

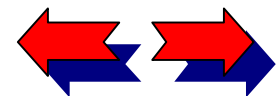
Index





Slika 2.5 Arhitektura hibridnog sistema INVENTS

Rezultati, dobijeni nakon željene analize SimVent-om, se mogu eksportovati u VENTEX - dijagnostički ekspertni sistem kojim se vrši analiza dobijenih rezultata po nizu kriterijuma. Kao rezultat ekspertne analize dobija se ocena valjanosti i efikasnosti ventilacionog sistema sa sugestijama za njegovo



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

poboljšanje. S obzirom na arhitekturu sistema i softversko okruženje u kome je sistem razvijen, moguća je dinamička komunikacija između različitih faza predloženog koncepta, a time i neograničene mogućnosti testiranja različitih modifikacija sistema do dobijanja konačnog koji bi zadovoljio sve postavljene kriterijume.

U okviru ove knjige biće data teorijska obrazloženja i detaljni opisi realizacije svih komponenti hibridnog sistema za planiranje i analizu rudničkih ventilacionih sistema (INVENTS) kao i predloženog koncepta sa slika 2.4 i 2.5.

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

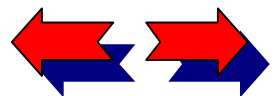
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

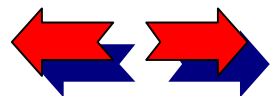
## Poglavlje 3

# MODELIRANJE PROCESA STRUJANJA VAZDUHA U RUDNIČKIM PROSTORIJAMA PRIMENOM RAČUNSKE DINAMIKE FLUIDA

U rudarskoj teoriji i praksi se već duži niz godina primenjuje računска dinamika fluida pri rešavanju problema provetravanja podzemnih rudarskih prostorija. Ovakav pristup omogućava da se sprovedu opsežna istraživanja i detaljne studije najrazličitijih problema čiju je analizu nemoguće izvesti “in situ” u podzemnim uslovima. U ovom poglavlju opisane su teorijske osnove i prikazana je mogućnost primene računсke dinamike fluida na konkretnom primeru modeliranja procesa provetravanja otkopa tipa komora.

### SADRŽAJ

Teorijske osnove računсke dinamike fluida .....	43
O metodama konačnih elemenata .....	75
Primena CFD softvera u rešavanju problema provetravanja ....	79



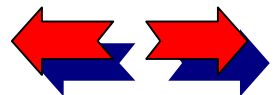
## Teorijske osnove računske dinamike fluida

### Šta je CFD ?

Prema Komitetu za računsku mehaniku (Computational Mechanics Comitee) računaska mehanika je naučna oblast koja se bavi izučavanjem fizičkih fenomena pomoću računskih metoda zasnovanih na matematičkom modeliranju i simulaciji, korišćenjem računara. Ova disciplina kombinuje teorijsku i primenjenu mehaniku, teoriju aproksimacija, numeričku analizu i računarsku nauku.

Računska dinamika fluida (*Computational Fluid Dynamics* - **CFD**) omogućava analizu sistema koja se odnosi na procese strujanja fluida i prenosa toplote, a takođe, i uključivanje pojava kao što su na primer hemijske reakcije.

CFD čini niz metoda kojima je moguće izvršiti kvalitativnu i kvantitativnu predikciju pojava vezanih za procese strujanja. Reč predikcija označava proračune zahtevane tačnosti kojima se izbegavaju opsežni eksperimenti za određivanje različitih karakteristika pojava i procesa vezanih za strujanje fluida. Veličine, koje se analiziraju korišćenjem CFD modeliranja, od interesa za predmetnu analizu su proračuni polja temperatura, brzina i pritiska, kao i proračuni polja koncentracija i glavnih produkata procesa hemijskih reakcija.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

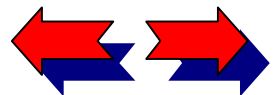
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Računska dinamika fluida ima široko polje primene, počevši od projektovanja proizvoda na primer izmenjivača toplote, pumpi, ventilatora, brodova, aviona, do uspešnog razvoja procesa kao što su višefazna strujanja, hemijske reakcije, bioprocesi i dr. Računska dinamika fluida predstavlja takođe i vrlo efikasan alat za analizu rizika u slučajevima propagacije požara, analize zagađenja vode i mora ili disperzije dima iz fabričkih dimnjaka.

Navedeni primeri ukazuju na široko polje mogućnosti primene računске dinamike fluida. Očigledno je da se navedeni primeri mogu analizirati i korišćenjem rezultata eksperimentalnih ispitivanja. Međutim, veoma često je eksperimentalno ispitivanje praktično neizvodivo ili su troškovi eksperimenata neprihvatljivo visoki. Ovo je posledica činjenice da eksperimentalna ispitivanja zahtevaju relativno dugo vreme planiranja i realizacije konstrukcije prototipa, a nakon toga i izvođenje samog ispitivanja. Ukoliko u toku eksperimentalnog ispitivanja dobijeni rezultati odstupaju od očekivanih, neophodna je rekonstrukcija prototipa i eksperiment se ponavlja dok rezultati ne dostignu očekivani nivo. Ovaj proces se u današnje vreme može veoma skratiti korišćenjem softvera koji se zasnivaju na računskoj dinamici fluida. Konstrukcija prototipa i izvođenje eksperimenta vrši se na računaru. Ukoliko su izmene neophodne, one se vrše sve dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati. Nakon ovako opsežnog testiranja vrši se konačno projektovanje prototipa.





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

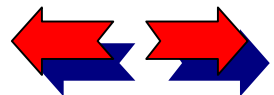
### Index

Prednosti CFD u odnosu na eksperimentalni pristup u projektovanju i analizi sistema koji se odnose na procese strujanja fluida mogu se svesti na sledeće:

- ◆ značajno smanjenje vremena i troškova novih projektovanih rešenja,
- ◆ mogućnost izučavanja sistema u uslovima u kojima je izvođenje kontrole eksperimenta teško ili neizvodljivo (npr. veoma veliki sistemi),
- ◆ mogućnost izučavanja sistema pod opasnim uslovima (npr. studije zaštite i rekonstrukcije nesreća),
- ◆ praktično neograničeni nivo detalja u analizi rezultata.

Rast troškova eksperimenta je proporcionalan broju podataka i broju konfiguracija eksperimenta. Nasuprot tome CFD softveri daju detaljne rezultate bez dodatnih troškova i veoma su pogodni za izvođenje studija parametara, na primer za optimizaciju performansi opreme.

Na osnovu svega iznetog može se konstatovati da se primenom softvera računске dinamike fluida, umesto napornog i dugotrajnog eksperimentalnog rada sa mnogim promenama i transformacijama početnog prototipa u cilju dobijanja zadovoljavajućih rezultata, problemi mogu rešiti za nekoliko dana umesto za nekoliko nedelja ili meseci. S druge strane moguće je izvršiti ispitivanja problema do najsitnijih detalja, dok se pri fizičkim eksperimentima obično mere srednje vrednosti.



## Opšti oblik jednačine balansa

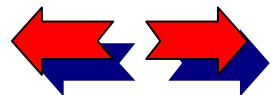
Osnovne jednačine strujanja fluida predstavljaju matematički iskaz zakona konzervacije (održanja) fizike. U ovom poglavlju biće prikazani osnovni modeli strujanja fluida i prenosa toplote, polazeći od osnovnih zakona konzervacije: mase, količine kretanja, momenta količine kretanja i energije. Neophodno je napomenuti da ovi zakoni važe ne samo za fluid, već za bilo koji kontinuum (neprekidna sredina). Međutim, kako nas u ovom trenutku interesuje samo fluid, u tekstu će se govoriti samo o fluidu.

Sistem jednačina koji definišu zakone konzervacije mase, količine kretanja i energije, nije potpun, odnosno, sadrži veći broj nepoznatih veličina nego jednačina. Da bi rešili ovaj sistem jednačina on se dopunjava jednačinama ponašanja (konstitutivne jednačine).

Pri rešavanju navedenog sistema jednačina javljaju se konstante za čije određivanje je potrebno poznavanje traženih veličina na granici posmatrane oblasti – granični uslovi i/ili u nekom trenutku, recimo početnom trenutku – početni uslovi.

Postulirajmo globalni oblik jednačine balansa (opšti zakon balansa). Neka je  $\rho$  gustina, a  $\psi$  neka veličina (skalarna, vektorska ili tenzorska) definisana u proizvoljnoj, konačnoj, oblasti tela, zapremine  $V$ , po jedinici mase. Tada je njena ukupna promena određena relacijom

$$\frac{D}{Dt} \int_V \rho \psi dV = \int_{\partial V} \phi_i dS_i = \int_V \rho s dV \quad (3.1)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

## 1 O knjizi About the book

## 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

## 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

## 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

## 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

## 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

## 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

## 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Veličina  $\phi_i = \phi_i(\psi)$  zove se fluks (protok) i označava promenu veličine  $\psi$  tokom vremena, unutar zapremine  $V$ , preko konture  $\partial V$ . Veličina  $s = s(\psi)$  predstavlja zapreminski priliv veličine  $\psi$ , ili kako se još naziva, distribucija zapreminskih izvora.

S obzirom da relacija (3.1) važi za svaku veličinu  $\psi$  bez obzira na njeno fizičko značenje, ona ima opšti karakter i naziva se opšti zakon balansa (u globalnom obliku).

Iz relacije (3.1), u oblasti u kojoj su odgovarajuće veličine neprekidne, primenom Grinove (Green) teoreme, dobijamo lokalni oblik opšteg zakona balansa /20/

$$\rho \frac{D\psi}{Dt} + A\psi = \phi_{i,i} + \rho s, \quad (3.2)$$

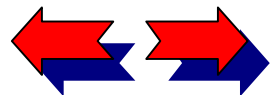
gde je:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\rho v_i)_i = A, \quad (3.3)$$

$v_i$  – brzina materijalne čestice.

Oznaka  $( )_{,j}$  predstavlja parcijalni izvod  $\frac{\partial}{\partial x_j}$ , a

$$\frac{D}{Dt} - \text{materijalni izvod} \left( \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} v_i \right).$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Napominje se da je kroz ovo poglavlje korišćena konvencija o sabiranju, prema kojoj se sabiranje vrši po ponovljenom indeksu.

Koristeći opšti zakon balansa moguće je dobiti odgovarajuće balanse posebnih veličina, kada se izvrši adekvatna “identifikacija” opštih veličina:  $\psi$ ,  $\phi_i$ ,  $s$ , što će biti prikazano u nastavku teksta.

### Balans mase

Ukupna masa fluida  $M$  je nepromenjena (ako nema ni izvora ni ponora), pa je, na osnovu jednačine (3.2) lokalni oblik balansa mase ( $A = 0$ ),

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\rho v_i)_i = 0 \quad . \quad (3.4)$$

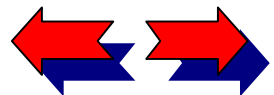
### Jednačina balansa količine kretanja

Iz opšteg zakona balansa (3.1), stavljajući da je

$$\psi = v_i \quad , \quad \phi = \sigma_{ij} \quad , \quad \rho s = \rho f_i$$

i korišćenjem lokalnog oblika (3.2) dobija se

$$\rho \frac{Dv_i}{Dt} = \rho f_i + \sigma_{ij} \quad . \quad (3.5)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Prethodna relacija predstavlja lokalni oblik zakona balansa količine kretanja pri čemu je :

$v_i$  – brzina materijalne tačke,

$\sigma_{ij}$  – tenzor napona,

$f_i$  – zapreminske sile.

### Jednačina balansa momenta količine kretanja

Polazeći od pretpostavke da je tenzor napona simetričan, odnosno da nema naponskih spregova, lokalni oblik zakona balansa količine kretanja se svodi na

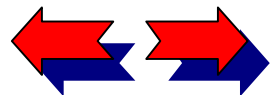
$$e_{ijk} \sigma_{kj} = 0, \text{ tj. } \sigma_{kj} = \sigma_{jk} . \quad (3.6)$$

gde je  $e_{ijk}$  - alternativni tenzor.

Relacija (3.6) predstavlja poznati stav o konjugovanim naponima i važi samo u slučaju kada se zanemare naponski spregovi. Dakle, pretpostavlja se da je tenzor napona simetričan.

### Jednačina balansa energije

Prvi aksiom termodinamike ili kako se još zove prvi zakon termodinamike, odnosno balans energije, dobija se iz (3.2) i ima oblik





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$\rho \frac{De}{Dt} = \sigma_{ij} d_{ij} + q_i + \rho u \quad , \quad (3.7)$$

gde je:

$d_{ij}$  – tenzor brzine deformacije, definisan sa

$$d_{ij} = \frac{1}{2} (v_{i,j} + v_{j,i}) \quad ,$$

$e$  - unutrašnja energija,

$q_i$  - toplotni fluks,

$u$  – gustina toplotne energije.

Član  $\sigma_{ij} d_{ij} = \sigma_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j}$  predstavlja rad površinskih sila, koji može da se predstavi u obliku

$$\sigma_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -p \frac{\partial v_k}{\partial x_k} + \Lambda \left( \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right)^2 + \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \quad , \quad (3.8)$$

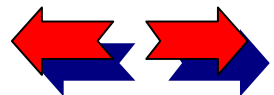
gde je:

$p$  – pritisak,

$\Lambda$  - materijalna konstanta (drugi koeficijent viskoznosti, prema NISA/3D FLUID).

Prvi član u prethodnoj relaciji,  $-p(\partial v_k / \partial x_k)$ , predstavlja reverzibilan prenos energije usled pritiska.

Ostala dva člana se zajedno nazivaju disipativni članovi i označavaju se sa  $\Phi$ , tj.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\Phi = \Lambda \left( \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right)^2 + \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial v_j}{\partial x_i} . \quad (3.9)$$

Imajući u vidu da su pri analizama procesa strujanja fluida od interesa i termički efekti, ovom skupu jednačina treba dodati i Furijeov (Fourie) zakon provođenja toplote

$$q_j = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} , \quad (3.10)$$

gde je:

T- temperatura (apsolutna),

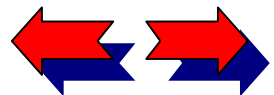
$\lambda$  – koeficijent termičke propustljivosti.

Kada se relacija (3.10) unese u (3.7), koristeći (3.8) i definiciju materijalnog izvoda, dobija se

$$\rho \left( \frac{\partial e}{\partial t} + v_i \frac{\partial e}{\partial x_i} \right) = -\rho \frac{\partial v_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \Phi + \rho u . \quad (3.11)$$

Zamenom unutrašnje energije e sa  $c_v T$  prethodna jednačina dobija sledeći konačni oblik

$$\rho c_v \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = -\rho \frac{\partial v_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \Phi + \rho u . \quad (3.12)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Napominje se da je oblik diferencijalne jednačine (3.12) isti kao i oblik diferencijalne jednačine za određivanje koncentracije  $C$ , samo formalno treba zameniti  $\lambda$  sa  $\rho\alpha_c$  i uzeti da je  $c_v=1$ , pa se dobija

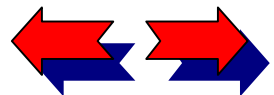
$$\rho \left( \frac{\partial C}{\partial t} + v_i \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho \alpha_c \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + q_c'' \quad (3.13)$$

pri čemu  $q_c''$  predstavlja sve preostale članove.

Na kraju treba napomenuti da prethodno opisanom skupu parcijalnih diferencijalnih jednačina treba dodati i odgovarajuće početne i/ili granične uslove, da bi rešenja jednačina odgovarala konkretno postavljenom zadatku.

## Granični i početni uslovi

Pri rešavanju parcijalnih diferencijalnih jednačina postavlja se zahtev da rešenje zadovolji određene uslove na granici. Ove uslove zovemo granični ili konturni uslovi, a odgovarajući zadatak granični (konturni zadatak). Ovaj zadatak se svodi na: poznate su vrednosti neke funkcije na površi  $S$  koja predstavlja konturu (granicu), a traže se vrednosti u unutrašnjosti  $V$ . U zavisnosti od tih uslova razlikujemo sledeće zadatke:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

### Prvi granični zadatak ili Dirihleov zadatak.

Ako je poznata vrednost funkcije  $u(x,y,z)$  na granici  $S$ , tj.  $u(x,y,z)=f_1$  na  $S$ , odrediti njenu vrednost  $u$  unutrašnjosti oblasti  $V$ .  $f_1$  je poznata funkcija.

### Drugi granični zadatak ili Nojmanov zadatak.

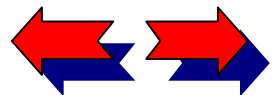
Ako je poznat izvod funkcije  $u(x,y,z)$  na granici  $S$ , tj.  $\frac{\partial u}{\partial n}=f_2$  na  $S$ , odrediti vrednosti ove funkcije  $u$  unutrašnjosti oblasti  $V$ . Funkcija  $f_2$  je poznata.

### Treći granični zadatak ili mešoviti granični zadatak.

Ovaj zadatak je kombinacija prethodna dva. Naime, ako su poznate vrednosti neke funkcije  $u(x, y, z)$  i njenog izvoda na granici  $S$ , potrebno je naći vrednost unutar oblasti  $V$ , tj.

$$\left. \frac{\partial u}{\partial n} \right|_S + h(u - f_3) = 0 \quad . \quad (3.14)$$

U okviru primene računске dinamike fluida za modeliranje provetranja rudničkih prostorija, prikazanog u okviru ovog poglavlja, korišćeni su Dirihleovi i Nojmanovi uslovi (zbog specifičnosti



odgovarajućih jednačina), a prema oznakama korišćenog programa NISA/3D-FLUID /20/ ovi uslovi mogu da se predstave u sledećem obliku:

$$v_i = \hat{v}_i(s, t) \quad , \quad \text{na } \Gamma_v$$

$$\sigma_i = \hat{\sigma}_i(s, t)n_j(s) \quad , \quad \text{na } \Gamma_\sigma$$

$$T = \hat{T}_i(s, t) \quad , \quad \text{na } \Gamma_T$$

$$q = q_a(s, t) + q_c(s) + q_r(s) \quad , \quad \text{na } \Gamma_q$$

gde su:  $s$  i  $t$  parametri granice,  $n_j$  spoljna normala na granicu,  $\sigma_i$  sila zadata na granici, a  $q_a$ ,  $q_c$  i  $q_r$  zadati, konvektivni i radijacioni fluks.

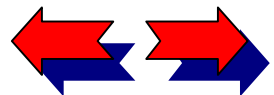
U slučaju problema koji uključuju i vreme (nestacionarni) postoje početni uslovi, odnosno zadate vrednosti traženih veličina u trenutku  $t = t_o$  :

$$v_{oi} = \hat{v}_i(\bar{x}, t_o) \quad , \quad \text{na } \Omega \quad ,$$

$$\sigma_{oij} = \hat{\sigma}_{ij}(\bar{x}, t_o) \quad , \quad \text{na } \Omega \quad ,$$

$$T_o = \hat{T}(x, t_o) \quad , \quad \text{na } \Omega \quad ,$$

$$q_o = q_{ao}(x, t_o) + q_{co}(x, t_o) + q_{ro}(x, t_o) \quad , \quad \text{na } \Omega \quad .$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Jednačine stanja

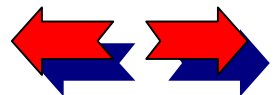
Pri rešavanju različitih problema iz oblasti mehanike kontinuuma, a time i mehanike fluida, polazi se od opštih zakona:

- ◆ balansa mase,
- ◆ balansa količine kretanja,
- ◆ balansa momenta količine kretanja,
- ◆ balansa energije.

Međutim, kako je skup nepoznatih veličina veći od broja jednačina koje slede iz ovih zakona, potrebno je uvesti dopunske relacije (kao što je napred rečeno) da bi se upotpunio sistem jednačina. Jasno je da se ne mogu jednostavno dodati bilo koje jednačine. U tu svrhu su vršeni eksperimenti na osnovu kojih su izvedene empirijske relacije koje su povezivale posmatrane veličine (na primer Darsijev zakon, koji povezuje porni pritisak i gradijent brzine filtracije ili Fikov zakon, ili već spomenuti Furijeov zakon).

Jasno je da se pod istim uslovima, na primer, za isto opterećenje, istu temperaturu, itd. neće isto ponašati predmeti istog oblika, ali izrađeni od različitih materijala (guma, čelik, pesak, beton,...). Dakle, dopunske relacije bi trebale da opisuju ponašanje (odgovor) sredine na spoljašnje uticaje. Ove relacije se nazivaju konstitutivne jednačine ili jednačine ponašanja sredine odnosno jednačine stanja.

Konstitutivne jednačine predstavljaju matematičke modele posmatrane sredine. Međutim, one ne opisuju u potpunosti sve osobine materijala koje su veoma složene, već ističu samo njihove dominantne



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

karakteristike. Postoji metodika mehanike kontinuuma za određivanje konstitutivnih relacija, zasnovana na opšte važećim zakonima fizike, što znači da empirija nije isključivo sredstvo istraživanja u ovoj oblasti. Eksperimenti su dominantno u funkciji određivanja materijalnih konstanti i provere valjanosti predloženih relacija u matematičkom opisu ponašanja i osobina materijala koji sačinjavaju posmatranu sredinu.

U okviru ove tačke biće navedeni neki primeri konstitutivnih jednačina.

Za homogeno izotropan viskozni fluid, za izotermičke procese (temperatura je konstantna), tenzor napona zavisi od tenzora brzine deformacije  $d_{ij}$  na takav način da je :

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} \quad , \quad \text{pri čemu je } d_{ij} = 0 \quad , \quad (3.15)$$

gde je:

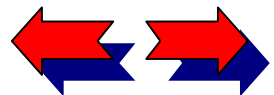
$p$  – pritisak (skalarna funkcija),

$\delta_{ij}$  – Kronekerova (Kronecker) delta funkcija definisana sa:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{za } i = j, \\ 0 & \text{za } i \neq j. \end{cases}$$

Relaciju (3.15) možemo da uopštimo i napišemo u sledećem obliku:

$$\sigma_{ij} + p\delta_{ij} = \tau_{ij}(d_{ij}) \quad , \quad (3.16)$$



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

pri čemu je:

$$\tau_{ij} = 0 \text{ , kada je } d_{ij} = 0 \text{ .}$$

Tenzor  $\tau_{ij}$  se naziva tenzor viskoznosti.

Ako je  $\tau_{ij}$  linearna funkcija tenzora brzine deformacije:

$$\tau_{ij} = \Lambda d_i \delta_{ij} + 2\mu d_{ij} \text{ ili } \tau_{ij} = \Lambda \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.17)$$

tada ona predstavlja konstitutivnu jednačinu za Njutnov (Newton) fluid.

Rastavljajući  $d_{ij}$  na dva dela:

$$d_{ij} = d_i \delta_{ij} + \bar{d}_{ij} \text{ ,} \quad (3.18)$$

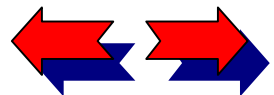
jednačinu (3.17) možemo da izrazimo u obliku:

$$\tau_{ij} = \left( \Lambda + \frac{2}{3} \mu \right) d_i \delta_{ij} + 2\mu \bar{d}_{ij} \text{ ,} \quad (3.19)$$

gde su:

$$\eta_v = \Lambda + \frac{2}{3} \mu \text{ - koeficijent zapreminske viskoznosti,}$$

$\mu$  - koeficijent dinamičke viskoznosti,



$\bar{d}_{ij}$  - devijatorski deo tenzora brzine deformacije,  
 $d_1$  - sferni deo tenzora brzine deformacije.

Uvođenjem izraza za balans mase u izraz za količinu kretanja dobijamo Navije-Stoksove jednačine:

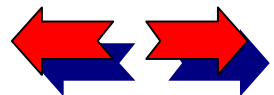
$$\rho \left( \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) = \rho f_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (3.20)$$

Prve konstitutivne relacije (npr. Hukov zakon) su bile relativno jednostavne, pa su dobijene jednačine mogle da se reše u zatvorenom obliku. Međutim, sa uključivanjem većeg broja karakteristika materijala (npr. puzanje, relaksacija, itd.) dobijale su se složene integro-diferencijalne jednačine koje, uz početne i granične uslove, nisu mogle da se reše u konačnom obliku, pa se pribegava korišćenju numeričkih metoda. Većina numeričkih metoda su u matematici odavno poznate, ali punu praktičnu afirmaciju dostigle su sa pojavom računara.

## Laminarno i turbulentno strujanje

Posmatranjem strujanja realne tečnosti mogu se uočiti dva različita strujna stanja. U jednom slučaju strujnice su paralelne, ne mešaju se, i slobodna površ je, ukoliko postoji, ravna. Takvo kretanje fluida naziva se laminarno ili kretanje u slojevima.

Drugo strujanje je uzburkano, pojedine strujnice se mešaju, a na slobodnoj površi se stvaraju ispuščenja i udubljenja koja nisu postojana. Takva vrsta kretanja naziva se turbulentno strujanje.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

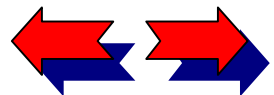
### Index

Laminarnom kretanju odgovaraju obično male brzine, a turbulentnom velike. Pri povećanju brzine laminarno strujanje prelazi u turbulentno i obrnuto. Potrebno je naglasiti da stanje strujanja ne zavisi samo od brzine nego i od drugih činilaca.

Teorija o kretanju viskoznog fluida odgovara u potpunosti rezultatima ogleđa izvršenih pri laminarnom strujanju. Ovo se ne može kazati za turbulentno kretanje. Do današnjih dana nije postavljena zadovoljavajuća teorija o turbulentnom strujanju i, za rešavanje tehničkih zadataka, moraju se upotrebiti približni obrasci i eksperimentima određeni koeficijenti.

Razliku između laminarnog i turbulentnog strujanja zapazili su još SenVenan (Saint-Venant), Ponsele (Poncelet), Poazej, Hagen i drugi, ali su Rejnoldsovi (Reynolds) eksperimenti, izvedeni pred kraj prošlog veka omogućili da se stvori prava slika o turbulenciji i označi put ka sistematskoj naučnoj analizi ove pojave.

Postepenim povećavanjem brzine pri laminarnom strujanju, Rejnolds je utvrdio da prelaženje u turbulentno kretanje nastaje uvek pri određenoj brzini, koja vrlo malo odstupa od slučaja do slučaja. On je ovu brzinu nazvao kritičnom. Ako je strujanje turbulentno, pa se brzina strujanja smanjuje, onda pri kritičnoj brzini nastupa obratna pojava: turbulentno kretanje prelazi u laminarno. Kritična brzina nije ista za sve cevi ni za sve tečnosti, ona zavisi od prečnika cevi i od viskoznosti tečnosti. Eksperimenti su pokazali da prelaženje laminarnog strujanja u turbulentno umnogome zavisi od spoljašnjih uzroka, na primer, od stanja tečnosti pri ulasku u cev. Pri pažljivom izvođenju ogleđa kritična brzina može da bude znatno veća od one koju je Rejnolds opazio. Zato se kao kritična brzina, obično, smatra najmanja brzina pri kojoj kretanje prelazi iz jednog stanja u drugo. Ako se pažljivim rukovanjem postigne da laminarno



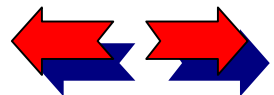


strujanje ostane kao takvo i pri većim brzinama od kritične vrednosti, onda se, i pri najmanjem poremećaju, laminarno strujanje naglo preobraća u turbulentno. Pojava je, dakle, slična nekoj vrsti labilne ravnoteže.

Prelaz od turbulentnog kretanja ka laminarnom je pravilniji. Ispod određene brzine, kretanje je uvek laminarno, i ni na koji način ne može se postići da se pri toj brzini pojavi turbulencija. Dakle, nikakav poremećaj ne može izvesti fluid iz laminarnog stanja ako je brzina dovoljno mala.

O mehanizmu turbulentnog kretanja dugo se ništa nije znalo jer se običnim posmatranjem nije mogla ustanoviti nikakava zakonitost takvog kretanja. Tek su ogledi Nikuradze-a (Nikuradze) 1929. godine rasvetlili prirodu turbulencije. Nikuradze je snimao turbulentno strujanje pokretnim fotografskim aparatom i tom prilikom dobio je različite slike pri raznim brzinama kretanja aparata mada se brzina vode nije menjala. Pri brzini aparata od oko 12 cm/s jasno se vidi da se turbulentno kretanje sastoji iz bezbroj sitnih vrtloga koji stvaraju utisak haotičnog kretanja. Ti vrtlozi nisu stabilni već se stalno menjaju: čas iščeznu na jednom mestu, čas se pojave na drugom. Prirodno je da u ovom slučaju ne može biti govora o ustaljenom strujanju.

Vidi se, dakle, da su ogledi Nikuradzea pružili dovoljno jasnu sliku o onome što se dešava pri turbulentnom kretanju. Međutim, još nisu utvrđeni zakoni takvog strujanja koje je vrlo složeno, niti pravi uzrok prelaženja laminarnog strujanja u turbulentno.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Režimi strujanja vazduha u rudničkim prostorijama

Strujanje vazduha kroz podzemne rudničke prostorije može da bude laminarno, turbulentno ili prelazno. Laminarno ili slojevito strujanje vazduha je strujanje kod koga se elementarne zapremine kreću paralelno bez međusobnog mešanja. Nepravilno mešanje elementarnih zapremina vazduha pri njegovom kretanju naziva se turbulentnim strujanjem.

Režim strujanja vazduha određuje se Rejnoldsovim brojem (Re)

$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu}, \quad (3.21)$$

gde su:

$\rho$  - gustina vazduha,  $\text{kg/m}^3$ ,

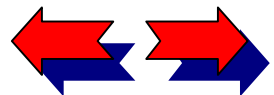
$v$  - srednja brzina strujanja vazduha,  $\text{m/s}$ ,

$d$  – prečnik vazdušne struje,  $\text{m}$ ,

$\mu$  - koeficijent dinamičke viskoznosti vazduha,  $\text{Pas}$ ,

$\nu$  - koeficijent kinematičke viskoznosti vazduha,  $\text{m}^2/\text{s}$ .

Veličina Rejnoldsovog broja određuje režim vazdušnog strujanja. U slučaju strujanja vazduha kroz glatke cevi, ako je  $\text{Re} < 2000$  strujanje je laminarno, a za  $\text{Re} > 2300$  strujanje je turbulentno. Između ovih vrednosti nalazi se kritična zona u kojoj je strujanje prelazno. Pri kretanju vazduha kroz podzemne



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

rudarske prostorije laminarno strujanje se javlja pri  $Re < 1000-1500$ , dok se potpuno turbulentno strujanje javlja pri  $Re > 50000$ .

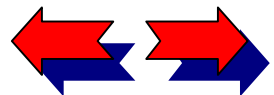
### Brzine pri turbulentnom strujanju

Savremene teorije koje definišu turbulentno strujanje nisu još uvek dobile konačan oblik, jer nisu dovoljno proverene eksperimentalno. Vrlo često one sadrže i nepoznate koeficijente koje tek treba odrediti (obično, vrlo složenim eksperimentima). Ipak, ove teorije imaju veliki značaj, jer omogućavaju sistematizovanje eksperimentalnih rezultata, a ujedno određuju i put koji ubuduće treba slediti.

Brzina je glavni činilac svakog strujanja, pa se pri istraživanju turbulentnog kretanja najveća pažnja obraća upravo polju brzina. Na prvi pogled izgleda da ne postoji zakon kojem bi se pokoravale brzine čestica pri turbulentnom kretanju, jer ovo strujanje izgleda sasvim haotično pošto se strujnice mešaju. U jednoj istoj tački, brzina ne ostaje konstantna ni po pravcu, ni po intenzitetu, već se menja tokom vremena. Upravo su te vremenske promene bile uzrok glavnih teškoća teorijskom i eksperimentalnom proučavanju turbulencije. Kretanje se nije moglo smatrati ustaljenim, a nije se mogla naći ni formula koja bi obuhvatila vremenske promene brzine.

Pokazalo se da brzine u jednoj tački osciluju oko neke stalne vrednosti, koju nazivamo prosečna brzina. Ova brzina predstavlja neku vrstu srednje vrednosti brzine u odnosu na vremensku promenljivu. Označimo projekcije prosečne brzine sa  $\bar{v}_i$ .

Na slici 3.1 dat je prikaz funkcionalne zavisnosti projekcija brzine  $v_i$  od vremena. Sa slike se vidi da je



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

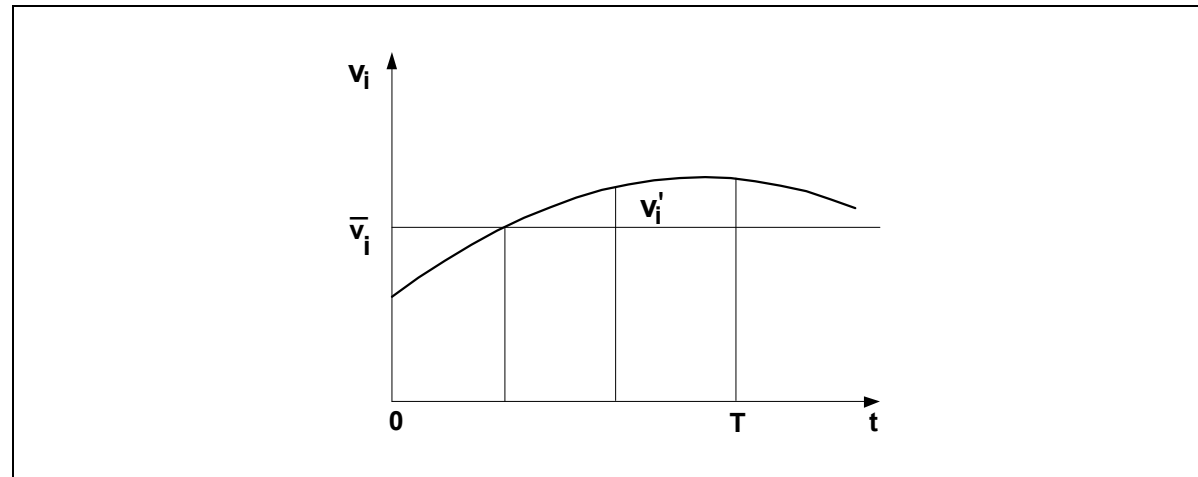
UML notacija

Index

$$v_i = \bar{v}_i + v'_i, \quad (3.22)$$

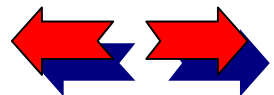
pri čemu je  $\bar{v}_i$  - prosečna brzina, a  $v'_i$  - odstupanje stvarne brzine, u nekom trenutku vremena  $t$ , od prosečne brzine. Srednja brzina definisana je relacijom

$$\bar{v}_i = \frac{1}{T} \int_0^T v_i dt. \quad (3.23)$$



Slika 3.1

Prema (3.23) i (3.22) sledi da je



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$\frac{1}{T} \int_0^T v_i dt = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{v}_i dt + \frac{1}{T} \int_0^T v'_i dt = \bar{v}_i + \frac{1}{T} \int_0^T v'_i dt \quad (3.24)$$

pošto je  $\bar{v}_i = \text{const.}$ , poređenjem (3.23) i (3.24) dobija se

$$\frac{1}{T} \int_0^T v'_i dt = 0, \quad (3.25)$$

odnosno, srednja vrednost odstupanja je

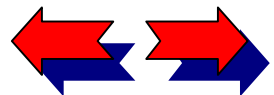
$$\bar{v}'_i = 0. \quad (3.26)$$

Naime, ovakva kretanja su uglavnom ustaljena pošto za njih  $v'_i$ , predstavljaju trenutna odstupanja brzina  $v_i$  od vremenski prosečnih vrednosti  $\bar{v}_i$ .

Na isti način se može dokazati da će prosečna vrednost trenutnih odstupanja svih fizičkih strujnih veličina koje linearno zavise od brzine biti jednaka nuli u ograničenim razmacima vremena pod uslovom da su razmaci dovoljno dugi. Takva strujna veličina je, na primer, zapreminski protok. Poznato je da protok kroz cevi može imati stalnu vrednost bez obzira da li je strujanje laminarno ili turbulentno.

Međutim, sasvim je drugačiji slučaj kada je posredi proizvod dve brzine. Na primer, kroz jedinicu površine upravne na osu  $x$  prenese se u vremenu  $dt$ , u pravcu ose  $x$ , količina kretanja  $\rho v_x \cdot 1 v_x dt = \rho v_x^2 dt$ .

Srednja vrednost za jedinicu vremena, u intervalu  $(0, T)$ , je





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\overline{\rho v_x^2} = \frac{1}{T} \int_0^T \rho v_x^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T \rho (\bar{v}_x + v'_x)^2 dt = \rho \bar{v}_x^2 + \frac{1}{T} \int_0^T \rho v_x'^2 dt \quad (3.27)$$

odakle sledi

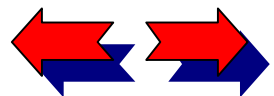
$$\overline{\rho v_x^2} - \rho \bar{v}_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \rho v_x'^2 dt = \overline{\rho v_x'^2} \quad (3.28)$$

Pošto je  $\overline{v_x'^2} \neq 0$ , to se vrednost srednjeg kvadrata brzine razlikuje od kvadrata srednje brzine.

Na sličan način bi se odredila odstupanja  $(\overline{\rho v_y'^2}, \overline{\rho v_z'^2})$  iznosa količina kretanja koja prođe kroz jedinicu površine upravne na ose y ili z, u pravcu tih osa i za jedinicu vremena izabranog razmaka (0,T). Ako je površina upravna na osu j, a računa se sekundna količina kretanja u pravcu ose i, dobiće se kao odstupanje proizvod  $\overline{\rho v_i' v_j'}$ . Treba napomenuti da je  $\overline{v_i' v_j'} = \overline{v_j' v_i'}$  (i,j =x,y,z, odnosno, i i j uzimaju vrednosti x,z,z).

## Rejnoldsove jednačine

Izučavajući turbulentno strujanje Rejnolds je predložio da se na ovo strujanje primeni statistička metoda. Odnosno, da se umesto pravih brzina (i drugih strujnih veličina) uzimaju prosečne vrednosti određene u dovoljno velikom razmaku (0,T). Zanimljivo je da se, izvođenjem jednačine kretanja po istom principu kao i ranije, dobijaju Navije-Stoksove jednačine gde su prave brzine  $v_i$  zamenjene prosečnim vrednostima



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$\bar{v}_i$ . Međutim, naponima  $\tau_{ij}$  dodaju se dopunski naponi (3.30), takozvani Rejnoldsovi tenzori napona, preko kojih se izražava uticaj trenutnih odstupanja brzina  $v'_i$  od prosečne vrednosti. Ponekad se ovi naponi nazivaju turbulentnim naponima.

Jednačina kontinuiteta izražena preko prosečnih brzina, ima oblik

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} v_i + \overline{\rho' v'_i}) = 0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.29)$$

a Rejnoldsov tenzor napona

$$\tau'_{ij} = \tau'_{ji} = -\rho \overline{v'_i v'_j} \quad (3.30)$$

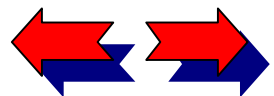
Za srednje vrednosti balansa količine kretanja dobijamo

$$\rho \frac{D\bar{v}_i}{Dt} = -\bar{p}_{,i} + \eta \Delta \bar{v}_i + \left( -\rho \overline{v'_i v'_j} \right)_{,j} + \rho f_i \quad (3.31)$$

Navedene jednačine se mogu predstaviti i u sledećem obliku (korišćen u programu NISA/ 3D-FLUID)

$$\rho \frac{D\bar{v}_i}{Dt} = -\bar{p}_{,i} \left[ \mu (\bar{v}_{i,j} + \bar{v}_{j,i}) - \rho \overline{v'_i v'_j} \right]_{,j} + \rho f_i + \left[ \mu (\bar{v}_{i,j} + \bar{v}_{j,i}) \right]_{,j} + \tau'_{ji,j} \quad (3.32)$$

Dakle, može se zapaziti da ove jednačine (ima ih tri, jer se sabiranje vrši po  $j$ , a slobodan indeks je  $i$ ) sadrže 6 novih veličina. U cilju njihovog određivanja potrebno je postaviti nove hipoteze (kao što je



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

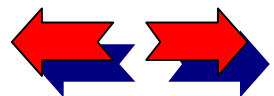
### Index

Njutnova hipoteza iskorišćena za određivanje napona pri izvođenju Navije-Stoksovih jednačina). Pretpostavimo relaciju sličnu Njutnovoj relaciji, na primer, za ravansko strujanje

$$\tau'_{ij} = -\rho \overline{v'_i v'_j} = B \bar{v}_{ij} \quad . \quad (3.33)$$

U ovom slučaju koeficijent  $B$  predstavlja turbulentnu viskoznost (dinamičku,  $B/\rho$  - kinematičku). Koeficijent viskoznosti  $\eta$  odgovara međumolekulskej promeni količine kretanja, a koeficijent turbulentne viskoznosti  $B$  se vezuje za makroprenos količina kretanja konačnih masa iz sloja u sloj kao posledice mešanja strujnica. Kada bi se za  $B$  usvojila konstantna vrednost pokazalo bi se da je nekoliko desetina hiljada puta veća od  $\eta$ . Međutim, merenjima je utvrđeno da se  $B$  ne može smatrati konstantom za dati fluid ili turbulenciju, jer se menja duž preseka. Na primer, za cevi,  $B$  je jednako nuli na zidovima, veoma je malo u neposrednoj blizini zidova, a dostiže maksimum oko polovine poluprečnika, da bi zatim opalo do minimuma u osi cevi. Ako se još napomene da dopunski naponi potiču od inercijskih sila, i da ne stoje ni u kakvoj vezi sa viskoznim silama, onda će biti jasno da oni imaju istu vrednost i u turbulentnom strujanju neviskoznog fluida. Ovim se potvrđuje Prantlova (Prandtl) ideja po kojoj fluid struji van graničnog sloja upravo kao da je savršen. Razume se, to ne znači da realan fluid postaje neviskozan već znači da se ova konstatacija odnosi na kinematičku sliku strujanja, jer svojstva realnog fluida kao što su: mogućnost stvaranja vrtloga i njihovog nestajanja, rasipanje energije, promena toplotnog stanja i druga, ima i fluidna struja van graničnog sloja, ali ih nema neviskozni fluid.

Turbulentno kretanje se ne javlja samo u cevima, već ga ima i u okolini ma kakve čvrste površi preko koje fluid struji pa, čak, i tamo gde nema čvrstih površi ali gde se mešaju slojevi fluida nejednakih brzina.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Proučimo sada Prantlovu teoriju o “putanji mešanja” koja se odnosi na ravansko strujanje pored ravne ploče, a može se, uz izvesne dopune, proširiti i na osnosimetrično strujanje kroz prave cevi kružnog preseka.

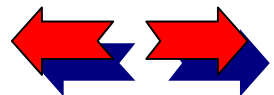
## Prantlova teorija o putanji mešanja

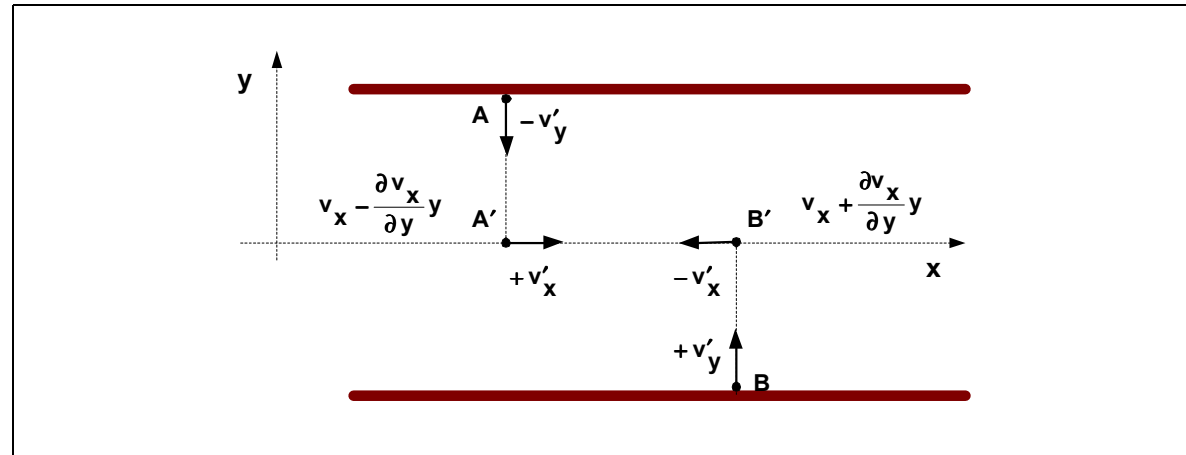
Proučimo sada turbulentno strujanje ustaljenih brzina  $\bar{v}_x$  u pravcu ose x. Promenu brzine određuje funkcija  $\bar{v}_x = \bar{v}_x(y)$ . Od dopunskih napona posebno je važan napon smicanja  $\tau' = \tau'_{xy} = -\rho \overline{v'_x v'_y}$ , jer sekundarno kretanje u pravcu ose x čini da brži deliđi zalaze među sporije i obrnuto, usled čega se prenose koliđine kretanja kroz ravan koja je upravna na osu y. U datom slučaju traži se prosečna vrednost od  $\rho v'_x v'_y$  za jedinicu površine sloja 1-1 (slika 3.2) i u jedinici vremena.

Korišćenjem definicije srednje vrednosti (3.23) za  $\tau'$  dobija se

$$\tau' = -\frac{1}{T} \int_0^T \rho v'_x v'_y dt \quad . \quad (3.34)$$

Neophodno je napomenuti da fluid ne prolazi kroz ploču i mada je trenutna vrednost  $v_y$  komponente brzine u pravcu ose y različita od nule ipak njena prosečna vrednost mora biti jednaka nuli u svakom dovoljno dugom razmaku vremena, tj.  $\bar{v}_y = 0$ . Ovo zahteva da istovremeno, u oba smeru ose y, struje jednake koliđine fluida.

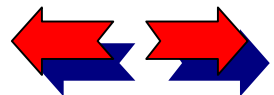




Slika 3.2

Prema Prantlovoj pretpostavci svaki delić fluida, ponesen brzinom poprečnog kretanja  $v'_y$ , stupa u ravan (npr. 1-1) brzinom koju je imao na mestu odakle dolazi, tako da razlika između te brzine i prosečne brzine  $\bar{v}_x$  u 1-1 određuje odstupanje  $v'_x$ . Ako je  $y$  rastojanje sloja 1-1 od mesta odakle delić dolazi, onda se u prvom približavanju može reći da delić ima brzinu  $\bar{v}_x \pm y(\partial v_x / \partial y)$ , već prema tome s koje strane nailazi.

Brzina poprečnog kretanja  $v'_y$  uzima se kao proporcionalna brzini  $v'_x$ , odnosno  $v'_y = k v'_x = k y (\partial v_x / \partial y)$ . Ovo je stoga što bi se svaki par delića, na primer A, B (sl. 3.2), u sloju 1-1 (položaj A', B') susicao relativnom brzinom



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



$$\left(\bar{v}_x \pm y \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}\right) - \left(\bar{v}_x \mp y \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}\right) = \pm 2y \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} . \quad (3.35)$$

Dakle, delići bi se primicali ili odmicali praveći mesto drugim delićima, čime bi omogućili poprečno kretanje. Time se ovo kretanje dovodi u vezu s geometrijskim prostorom struje predstavljenim ordinatom  $y$ . Sa slike 3.2 se vidi da pozitivnoj vrednosti  $v'_x$  odgovara negativna  $v'_y$  i obrnuto, pa zato kada se zamene vrednosti  $v'_x$  i  $v'_y$  dobija se

$$\tau' = \frac{1}{T} \int_0^T \rho k \left( y \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} \right)^2 dt . \quad (3.36)$$

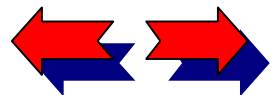
Ako se uvede dužina  $l$  kao srednje rastojanje sa koga se s jedne strane dolazi, uočenom sloju fluida, prosečnom brzinom

$$\bar{v}_x + l \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} , \quad (3.37)$$

a sa druge brzinom

$$\bar{v}_x - l \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} , \quad (3.38)$$

i ako se nepoznati koeficijent proporcionalnosti  $k$  izrazi takođe u funkciji nepoznate dužine  $l$ , biće



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\tau' = \rho l^2 \left| \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} \right| \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} . \quad (3.39)$$

U prethodnoj relaciji napisali smo  $|\partial \bar{v}_x / \partial y|$  (apsolutna vrednost od  $\partial \bar{v}_x / \partial y$ ) da bi pozitivnom  $\partial \bar{v}_x / \partial y$  odgovarala pozitivna vrednost dopunskog napona smicanja, a negativnom  $\partial \bar{v}_x / \partial y$ , negativna vrednost  $\tau'$ .

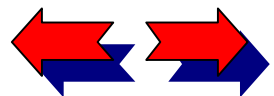
Nepoznata dužina  $l$  koju Prantl naziva putanjom mešanja, podseća na slobodnu molekulsku putanju iz kinetičke teorije gasova. Za razliku od turbulentnog strujanja, sekundarno kretanje ne izvode delovi fluida već molekuli, u granicama svojih slobodnih putanja. Zbog toga su i naponi izazvani molekulskim kretanjem srazmerni prvom stepenu od

$$\partial \bar{v}_x / \partial y = \partial v / \partial y . \quad (3.40)$$

U ovom slučaju se radi o izmeni količine kretanja među delovima fluida, a u drugom slučaju među molekulima. Opšti izraz za unutrašnji otpor fluida treba da obuhvati posledice obe pojave, i zato je ukupni napon smicanja jednak

$$\tau = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} - \rho \overline{v'_x v'_y} . \quad (3.41)$$

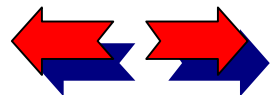
Prantlova ideja je interesantna, ali ne rešava potpuno problem turbulencije. Najviše joj se prigovara što količina kretanja ostaje nepromenjena na izvesnom putu uprkos delovanju viskoznih sila. Zbog toga su drugi autori tražili podesnije rešenje. Tejlor (Taylor) je transport količine kretanja zamenio transportom



vtrolga i došao do nešto drugačijeg rešenja. Međutim, Karman (Karman) oba rešenja smatra partikularnim i postavlja svoju teoriju zasnovanu na sličnosti turbulentnih svojstava struje, iz koje kao specijalna rešenja slede Prantlov i Tejlorov obrazac.

Ma koliko da su opravdani prigovori Prantlovoj teoriji, ipak je ona za tehniku od velikog značaja. Veliku ulogu je odigrala u rešavanju mnogih problema (iz prenošenja toplote, raspodele koncentracije u struji tečnosti, prenošenja nanosa u rekama itd.) i ubuduće će zadržati svoj značaj, jer se pri prenošenju količine kretanja mešaju fluidni delići. Pitanje je samo u kojim je slučajevima dopušteno da se koeficijent turbulentne viskoznosti  $B$  računa na osnovu jednog jedinog parametra  $l$  (Prantlove putanje mešanja).

Pri procesu vremenskog usrednjavanja javlja se više nepoznatih nego jednačina. Problem se rešava tako što se prvo izračunava brzina/temperatura korelacija  $\overline{v_i'v_j'}$  i  $\overline{v_j'T'}$  iz aproksimacija stvarnih transportnih jednačina za te korelacije. Egzaktne diferencijalne jednačine za  $\overline{v_i'v_j'}$  i  $\overline{v_j'T'}$  mogu se dobiti iz jednačina balansa za količinu kretanja i energiju za fluktuacije  $v_i'$  i  $T'$  (Launder et. al, 1974/). Te jednačine sadrže onoliko nepoznatih članova koliko je neophodno za određivanje, koristeći neki od turbulentnih modela. Ovde ćemo detaljnije objasniti takozvani  $k-\epsilon$  standardni model, jer je on najčešće korišćen.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Standardni $k$ - $\varepsilon$ model turbulencije

Ovaj model se zasniva na izvesnim aproksimacijama diferencijalnih jednačina za  $\overline{v_i'v_j'}$  i  $\overline{v_j'T'}$ , koje mogu da se uproste i dobijaju oblik

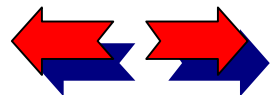
$$-\overline{v_i'v_j'} = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \left( \frac{\partial \overline{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad , \quad (3.42)$$

$$\overline{v_j'T'} = \alpha_t \frac{\partial \overline{T}}{\partial x_j} \quad , \quad (3.43)$$

gde su  $k$  i  $\varepsilon$  dve veličine koje su uvedene da bi opisale turbulentne efekte,  $k$  – predstavlja kinetičku energiju turbulencije, a  $\varepsilon$  - brzinu disipacije turbulentne energije. Pošto ove veličine treba da se odrede potrebne su i dopunske jednačine, takozvane  $k$  – jednačina i  $\varepsilon$  - jednačina. Ove jednačine izvedene su u (Launder 1974).  $\alpha_t$  - je turbulentna vrtložna difuzivnost (eddy-diffusivity)

Skup ovih jednačina, za nestišljivo turbulentno strujanje i Rejnoldsove vremenski-usrednjene jednačine ima oblik:

$$\frac{\partial \overline{v}_i}{\partial x_i} = 0 \quad , \quad (3.44)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\rho \left[ \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial t} + \bar{v}_j \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} \right] = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \rho v'_i v'_j \right] + \rho f_i \quad , \quad (3.45)$$

$$\rho C_v \left[ \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{v}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \rho C_v \bar{v}'_j \bar{T}' \right] + \bar{\Phi} \quad , \quad (3.46)$$

$$-\bar{v}'_i \bar{v}'_j v_t = v_t \left( \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad , \quad (3.47)$$

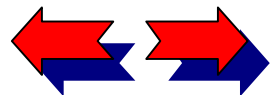
$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad , \quad (3.48)$$

$$-\bar{v}'_j \bar{T}' = \alpha_t \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \quad , \quad (3.49)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{v}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \left[ \bar{v}'_i \bar{v}'_j \frac{\partial v'_i}{\partial x_j} \right] - \varepsilon \quad , \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{v}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \bar{v}'_i \bar{v}'_j \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad . \quad (3.51)$$

Konstante u prethodnim jednačinama su određene eksperimentima ili kompjuterskom optimizacijom. Njihove vrednosti su:  $C_\mu = 0.09$ ,  $\sigma_k = 1.0$ ,  $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ ,  $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.3$ .





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## O metodama konačnih elemenata

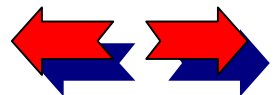
Metod konačnih elemenata se koristi pri aproksimaciji parcijalnih diferencijalnih jednačina sistemima običnih diferencijalnih, ili čak algebarskih jednačina. Ovo se postiže diskretizacijom oblasti strujanja konačnim brojem prostih oblasti, koje zovemo elementi (konačni elementi). U okviru svakog elementa zavisne promenljive se aproksimiraju prostim polinomima. Koeficijenti polinoma se dobijaju iz vrednosti ovih promenljivih u čvornim tačkama.

### Aproksimacija konačnim elementima

Opšti vid aproksimacije metodom konačnih elemenata je **metoda reziduuma** (metoda težinskog reziduuma), koja se zasniva na diferencijalnim jednačinama razmatranog problema.

Kao što je već rečeno, zadatak konačnih elemenata je da se aproksimiraju diferencijalne jednačine sistemom algebarskih jednačina. Ovo se postiže diskretizacijom oblasti strujanja na konačan broj prostih oblasti, koje zovemo elementi (konačni elementi). U okviru svakog elementa zavisne promenljive aproksimiraju se prostim polinomima. Koeficijenti navedenih polinoma dobijaju se iz vrednosti ovih zavisnih promenljivih u čvornim tačkama. Matematički, brzina, pritisak i temperatura (koncentracija) u jednom elementu mogu da se predstave kao

$$v_i(x, t) = \psi^T v_i(t)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$p(x, t) = \varphi^T p(t) \quad , \quad (3.52)$$

$$T(x, t) = \theta^T T(t)$$

gde su nepoznate  $v_i$ ,  $p$  i  $T$  vektor kolone u čvornim tačkama, a  $\psi$ ,  $\varphi$  i  $\theta$  su vektor kolone funkcija oblika.

Gornji indeks  $T$  govori da se radi o transponovanoj matrici.

Zamenom ovih vrednosti u osnovne jednačine dobijaja se skup jednačina sledećeg oblika

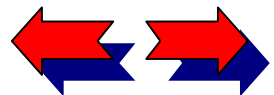
$$f(\psi, \varphi, \theta, v_i, p, T) = R \quad , \quad (3.53)$$

gde je  $R$  reziduum koji se javlja kao posledica aproksimacije jednačina (3.53).

Galerkinov metod težinskih reziduuma teži da svede grešku (reziduum)  $R$  na nulu. Ovo se postiže zahtevom za ortogonalnost između reziduuma i funkcija oblika elemenata, što se može izraziti u obliku

$$\int_{\Omega_E} (f \cdot \varpi) d\Omega \equiv \int_{\Omega_E} (R \cdot \varpi) d\Omega = 0 \quad (3.54)$$

gde je  $\Omega_E$  element oblasti.

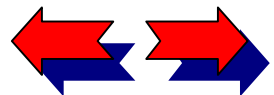


## Algoritamski koncept metode konačnih elemenata

Analiza i rešavanje problema mehanike kontinuuma po metodi konačnih elemenata uvek se svodi na tzv. proces “korak po korak”, što je od velikog praktičnog značaja u primeni računara pri proračunu. U tom procesu koji se može prikazati kao jednostavan algoritam, izdvaja se sledećih šest najvažnijih koraka:

1. diskretizacija kontinuuma,
2. izbor interpolacionih funkcija,
3. sračunavanje karakteristika elemenata,
4. formiranje jednačina za mrežu konačnih elemenata,
5. rešavanje sistema jednačina,
6. proračun potrebnih veličina.

Od navedenih šest koraka, naročito su važna prva tri. Način diskretizacije, izbor oblika elemenata, kao i ukupnog broja elemenata, zavisi od prirode problema koji se rešava i potrebne tačnosti traženog rešenja. Pored broja i oblika elemenata važan je izbor čvorova, osnovnih nepoznatih u njima i interpolacionih funkcija. Pomoću interpolacionih funkcija se definiše polje promenljivih u svakom elementu, a od njihovog izbora neposredno zavisi i kontinuitet na granicama između pojedinih elemenata, a samim tim i tačnost aproksimacije. Promenljive u elementu mogu biti skalarnе, vektorske ili tenzorske veličine.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

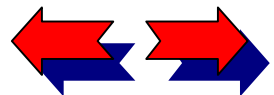
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Karakteristike pojedinih elemenata određuju se nezavisno od mreže elemenata kao celine. Tako npr. u naponsko-deformacijskoj analizi konstrukcija, osnovne zavisnosti između statičkih i deformacijskih veličina se uspostavljaju za svaki element, i matrica krutosti se formira autonomno za pojedine elemente, a potom se na osnovu njih, sasvim jednostavno, formira matrica za sistem u celini. Pošto je geometrija elemenata po pravilu jednostavna, to praktično znači da se složen problem razbija na niz jednostavnih. Karakteristike elemenata, matrice krutosti, vektori opterećenja i sl. sračunavaju se na osnovu usvojene geometrije elemenata i odgovarajućih interpolacionih funkcija. Ovi proračuni uglavnom se sprovode uz primenu postupaka numeričke integracije.

Poslednja tri koraka, iako su za praktične proračune od velikog značaja, danas spadaju u okvire rutinskog posla, koji je prilagođen radu računara. Svakako da se i na ovom planu radi na iznalaženju raznih poboljšanja, naročito u pogledu dobijanja ekonomičnih rešenja, sa malim utroškom vremena rada računara.



# Primena CFD softvera u rešavanju problema provetravanja

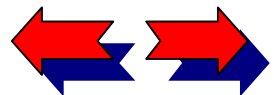
## Karakteristike CFD softvera

U osnovi CFD softvera nalaze se numerički algoritmi kojima se mogu opisati i rešiti problemi strujanja fluida. U cilju obezbeđivanja boljeg rešavanja svi komercijalni CFD paketi uključuju sofisticirane korisničke interfejsse za unos parametara problema i ispitivanje i prezentaciju rezultata. Svi softveri sadrže tri osnovna modula: pret-procesor, procesor (solver) i post-procesor.

### Pret-procesor

Pret-procesor je modul CFD softvera kojim se vrši unos podataka o razmatranom problemu strujanja, preko savremenog korisničkog interfejsa, i naknadna transformacija ulaznih podataka u oblik pogodan za solver. Aktivnosti u pretprocesiranju uključuju sledeće:

- ◆ definicija geometrije oblasti interesovanja: računski domen;
- ◆ generisanje mreže u domenu;
- ◆ selekcija fizičkih ili hemijskih procesa koji treba da se modeliraju;
- ◆ definisanje karakteristika fluida;
- ◆ specifikacija odgovarajućih graničnih uslova domena.



- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
  - Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Rešenje problema strujanja (brzina, pritisak, temperatura, itd) je definisano u čvorovima svakog elementa. Tačnost primenjene metode računске dinamike fluida je u tome što se uzima u obzir veliki broj elemenata u generisanoj mreži. Generalno, veći broj elemenata uslovljava veću tačnost. Tačnost rešenja i njihovi troškovi u odnosu na neophodni računarski hardver i vreme računanja zavise od finoće generisane mreže. Optimalne mreže često nisu uniformne već su finije u zonama velikih promena od čvora do čvora i grublje u zonama gde su promene male.

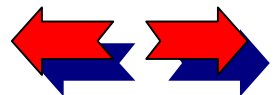
U cilju maksimalnog povećanja produktivnosti CFD softvera svi komercijalni kodovi uključuju vlastite CAD interfejse ili imaju mogućnost importovanja podataka iz odgovarajućih grafičkih programa i generatora mreža. Takođe savremeni pret-procesori omogućavaju korisniku pristup biblioteci karakteristika materijala za različite fluide i izbor modela fizičkih i hemijskih procesa (npr. turbulentni modeli i dr.).

### Processor - Solver

Postoje dve tehnike numeričkog rešavanja problema vezanih za procese strujanja fluida koje se primenjuju u CFD softverima: konačne razlike i konačni elementi.

Numeričke metode koje predstavljaju osnovu solvera izvršavaju se kroz sledeće korake:

- ◆ aproksimaciju nepoznatih promenljivih procesa strujanja osnovnim funkcijama
- ◆ diskretizacija zamenom aproksimacija u osnovnim jednačinama strujanja
- ◆ rešavanje algebarskih jednačina.



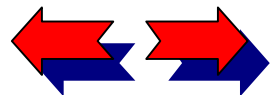
Osnovne razlike između navedenih tehnika numeričkog rešavanja vezane su za način aproksimacije promenljivih procesa strujanja i proces diskretizacije.

### Post-processor

Kao i u slučaju pret-procesiranja i post-procesiranja ima veliki udeo u ukupnom angažovanju pri analizi i rešavanju problema. Savremeni CFD softverski paketi su opremljeni sa posebnim grafičkim alatima za vizuelizaciju koji uključuju sledeće:

- ◆ prikaz geometrije domena i mreže;
- ◆ crtanje vektora;
- ◆ crtanje konturnih linija i senčenje konturnih površina;
- ◆ 2D i 3D prikazivanje;
- ◆ prikazivanje putanja kretanja čestica;
- ◆ manipulacija prikazima (translacija, rotacija, skaliranje i dr.);
- ◆ editovanje štampe izlaznih rezultata u boji.

U novije vreme post-procesori omogućavaju, takođe, animaciju prikaza dinamičkih rezultata kao i alfanumerički zapis izlaza sa mogućnošću eksportovanja izlaznih podataka za manipulaciju u drugim grafičkim softverima.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

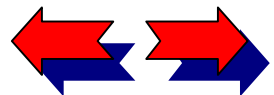
## Opšti opis softvera NISA/3D – FLUID

NISA/3D–FLUID (Numerički Integrisani elementi za Analizu 3D Sistema mehanike Fluida) je program konačnih elemenata razvijen i podržavan od EMRC (Engineering Mechanics Research Corporation) za analizu širokog spektra problema koji postoje u mehanici fluida.

### Preprocesiranje

NISA/3D-FLUID sadrži pret-procesorski modul DISPLAY. Ovo je 3D interaktivni kolor grafički program sa velikim mogućnostima generisanja modela konačnih elemenata i definisanja problema. Osnovne mogućnosti modeliranja su sledeće:

- ◆ komande sa menijima poseduju on-line help;
- ◆ 3-D geometrijsko modeliranje uključuje tačke, linije, lukove, krive, površi i tela;
- ◆ geometrijske transformacije uključuju translaciju, rotaciju, skaliranje, preslikavanje slika,
- ◆ 3-D interaktivni generator mreže koji uključuje automatsko generisanje čvorova i elemenata,
- ◆ ubacivanje odvojenih modela u veće;
- ◆ definisanje atributa elemenata uključujući materijale i geometrijske karakteristike;
- ◆ specifikacija graničnih uslova;
- ◆ velike mogućnosti editovanja modela;



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

- ◆ veliki broj opcija za crtanja uključujući granične linije, odstranjivanje skrivenih linija;
- ◆ senčenje u boji i svetlosni efekti.

### Struktura podataka za unos

Pret-procesorskim modulom DISPLAY obezbeđena je jednostavna modularna struktura ulaznih podataka i jednostavna upotreba slobodnog formata.

Opisne grupe podataka su identifikovane imenima (naslovima) vezanim za funkcije interfejsa za svaku grupu podataka. Na primer, karakteristike fluida su unešene u MATFLUID grupi podataka.

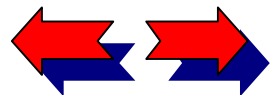
Panel za unos podataka sadrži tri bloka podataka: izvršne komande navode kontrolne parametre u jednostavnom alfanumeričkom formatu, blok podataka o modelu opisuje karakteristike modela i konačno blok za analizu podataka specifikuje opcije unosa izlaza i graničnih uslova.

Grupe podataka mogu biti prihvaćene po bilo kom redosledu sa bilo kojim blokom podataka, sa veoma malim odstupanjem.

Navedeni pret-procesorski modul, takođe, pruža veliku mogućnost provere podataka i editovanja dijagnostičkih poruka u toku rada.

### Biblioteka elemenata

Biblioteka elemenata sadrži sledeće tipove elementa:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

- ◆ 2-D elementi,
- ◆ 3-D elementi i
- ◆ osnosimetrični elementi .

## Granični uslovi

Granični uslovi se u ovom softveru mogu zadati kao Dirichlet-ovi ili Neumann-ovi.

## Tipovi analiza

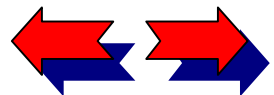
NISA/3D-FLUID rešava široko polje problema strujanja fluida i problema prenosa toplote, uključujući: (1) stacionarne i nestacionarne procese, (2) laminarno i turbulentno strujanje, (3) prenos toplote, (4) probleme porozne sredine, (5) probleme stišljivog i nestišljivog strujanja.

## Tehnike rešavanja

Sve ulazne specifikacije i izlazni zahtevi su vezani za identifikacione brojeve elemenata.

Snažan wavefront solver sa relativno malom centralnom memorijom i zahtevima za memorijski prostor na disku.

Upwind tehnika za strujanja sa velikim Rejnoldsovim brojem.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

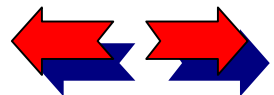
## Karakteristike izlaznih rezultata

Različite kombinacije rezultata (kao što su brzina, pritisak, temperatura) u svakom čvoru mogu biti izabrane po ličnom izboru. Format ovih rezultata je konzistentan sa formatom ulaznih podataka za DISPLAY III.

## Postprocesiranje

Postprocesiranje obuhvata sledeće osnovne mogućnosti:

1. grafička prezentacija rezultata se vrši interaktivnim korišćenjem 3-D kolor grafičkog post-procesorskog modula DISPLAY;
2. različite mogućnosti crtanja uključujući odstranjivanje skrivenih linija, crtanje graničnih i karakterističnih linija i manipulacija modelom koja uključuje rotaciju, skaliranje i zumiranje;
  - ◆ crtanje različitih komponentata vektora brzina;
  - ◆ crtanje kontura za brzine, pritisak, temperaturu, gustinu;
  - ◆ crtanje kontura u presecima 3-D modela;
  - ◆ crtanje XY grafika za različite izlazne veličine.

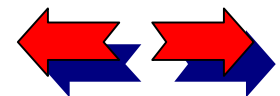


## Pregled dosadašnjih istraživanja primene CFD modeliranja

U rudarskoj teoriji i praksi se već duži niz godina primenjuje računaska dinamika fluida pri rešavanju problema provetravanja podzemnih rudarskih prostorija. Ovakav pristup omogućava da se sprovedu opsežna istraživanja i detaljne studije najrazličitijih problema čiju je analizu nemoguće izvesti “in situ” u podzemnim uslovima. Sva navedena istraživanja primenom modeliranja računskom dinamikom fluida omogućavaju izvođenje analiza bez ometanja procesa proizvodnje, s jedne strane, uz kraće vreme potrebno za izvođenje različitih simulacija u odnosu na vreme potrebno pri konkretnim ispitivanjima u podzemnim uslovima.

U rudarskoj teoriji i praksi Australije računaska dinamika fluida se primenjuje za analizu mera kontrole i zaštite od pojave štetnih gasova i prašine na otkopima i u prostorijama pripreme /4/, /83/.

U Južnoj Africi se modeliranje računskom dinamikom fluida koristilo u periodu od 4 godine za simuliranje provetravanja pri radu kontinuis majnera /85/, /73/. Korišćenje kontinuis majnera pri eksploataciji slojeva uglja velike debljine zahteva primenu ventilacionih sistema koji obezbeđuju velike količine vazduha na radilištima. Povećanje dimenzija podzemnih prostorija zahteva intenzivniju ventilaciju u cilju efikasnijeg razblaživanja oslobođenog metana na prihvatljiv nivo. Ukoliko se na čelo radilišta usmeravaju velike količine vazduha dolazi do intenzivnije zaprašenosti radne okoline a time i veće izloženosti radnika mineralnoj prašini. U cilju adekvatnog projektovanja ventilacije u uslovima eksploatacije slojeva debljine preko 5 m primenjeno je modeliranje provetravanja računskom dinamikom fluida uz odgovarajuće podatke dobijene merenjem “in situ” /73/. Ovakav pristup u rešavanju navedenih



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

problema omogućio je definisanje efikasnijih mera zaštite od metana i ugljene prašine u analiziranim rudnicima uglja.

U istraživanjima Kuka (Cook) /12/ navedenom tehnikom je uspešno modelirana distribucija metana pri različitim režimima provetravanja rudarskih radova na eksploataciji slojeva uglja komorno stubnom metodom otkopavanja.

U Velikoj Britaniji je računaska dinamika fluida primenjivana pri modeliranju emisije izduvnih gasova dizel motora u podzemnim prostorijama. Fenel (Fennel) /22/ je u svojim istraživanjima primenio računsku dinamiku fluida za ispitivanje pojave požara u podzemnoj stanici Kings Kros (Kings Cross). Ispitivanje ponašanja gasovitih produkata požara u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida objavljena su u radovima Lija (Lee) /38/. Računska dinamika fluida je korišćena i u saobraćajnim tunelima za simuliranje uticaja kritične brzine strujanja vazduha na pojavu požara u saobraćajnom tunelu /66/.

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

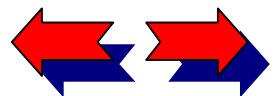
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



## Primena CFD modeliranja pri rešavanju provetravanja otkopa u Rudniku mrkog uglja “Soko”

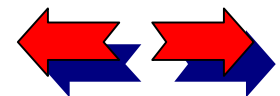
### Realni sistem

Posledica interakcije primenjene tehnologije otkopavanja i postojećih prirodnih uslova ležišta u rudniku mrkog uglja “Soko” jeste formiranje komora manjih ili većih dimenzija. S obzirom da se provetravanje otkopa u ovom rudniku vrši separatno kompresionim načinom, organizacija ovog načina provetravanja kao i dimenzije komora su od vitalnog značaja za efikasnost provetravanja otkopa i sigurnost rada.

Problematika provetravanja otkopa u rudniku “Soko” se može svesti na dva ključna problema. Prvi se odnosi na smanjivanje gubitaka vazduha duž cevovoda za separatno provetravanje, čije se dužine kreću od 50 m do 200 m. Rešavanje ovog problema podrazumeva bolju hermetizaciju cevovoda i stalnu kontrolu separatnog provetravanja, što se definiše operativnim režimom mera tekuće inženjerske prakse. Drugi problem se odnosi na analizu i postizanje povoljnog polja brzina vazduha u komorama otkopa. Osnovni cilj istraživanja prikazanih u ovoj tački vezan je za rešavanje ovog drugog problema.

U cilju sagledavanja realnog sistema kao i provere parametara dobijenih modeliranjem, na otkopu br. 89/29 su sprovedena sistematska merenja raspodele brzina vazduha u otkopu.

Na slikama 3.3 i 3.4 prikazane su raspodele brzina vazduha u poprečnim presecima otkopnog hodnika i komore otkopa.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

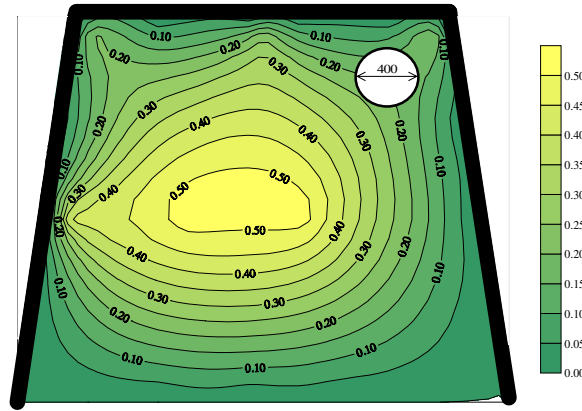
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

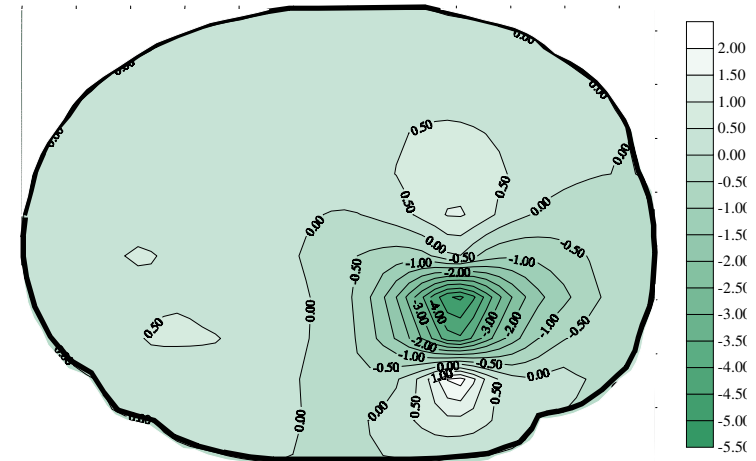
UML notacija

Index

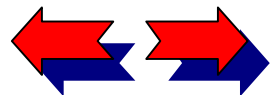


Presek A - A

Slika 3.3 Raspodela brzina strujanja vazduha u poprečnom preseku otkopnog hodnika



Slika 3.4 Raspodela brzina strujanja vazduha u poprečnom preseku komore otkopa





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

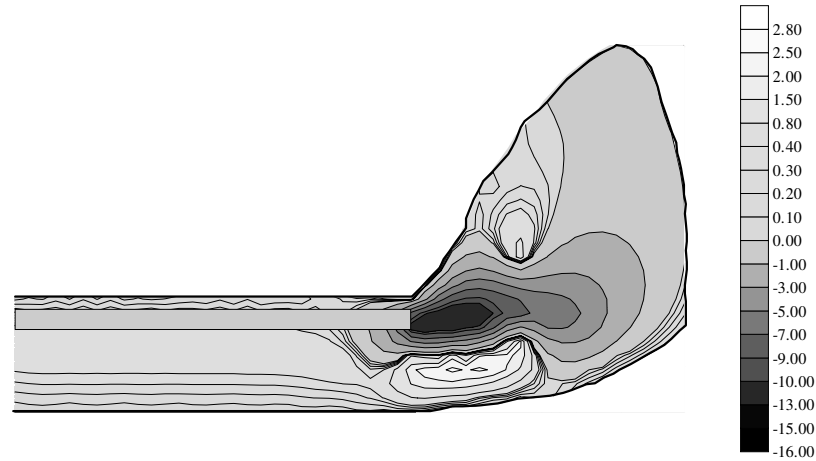
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

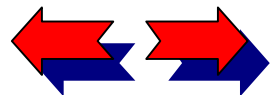
UML notacija

Index

Na slici 3.5 prikazan je uzdužni profil raspodele brzina strujanja vazduha na otkopu br. 89/29



Slika 3.5 Raspodela brzina strujanja vazduha u uzdužnom preseku otkopa br.89/29



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

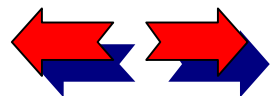
## Uslovi modeliranja i rezultati

Problem provetravanja komora u otkopima rudnika mrkog uglja “Soko” predstavlja primer turbulentnog strujanja vazduha kroz rudničke prostorije. Otkopni hodnik je trapeznog poprečnog preseka i završava se komorom određenih dimenzija.

Modeliranje dvodimenzionalnog turbulentnog strujanja vazduha u komorama otkopa vršeno je na geometrijama domena koji su tipizirani na osnovu dugogodišnjeg iskustva i snimanja realnih geometrija otkopa. Imajući u vidu tehnologiju otkopavanja kao i geometriju metode otkopavanja, izdvojene su dve karakteristične geometrije otkopa koje su analizirane kroz dalje modeliranje.

Pored izdvojenih tipskih geometrija otkopa modelirana su i tri karakteristična položaja kraja cevovoda separatnog provetravanja: na samom ulazu u komoru otkopa, na dva metra od ulaza u komoru u otkopnom hodniku i kao treći položaj, dispozicija kraja cevovoda u samoj komori uz strop.

Dugogodišnjim snimanjima hermetičnosti cevovoda za separatno provetravanje otkopa u rudniku mrkog uglja “Soko” zapaženo je da se gubici vazduha na cevovodima kreću čak i do 50% u odnosu na količinu vazduha koju separantni ventilatori zahvataju iz glavnog protoka kojim se provetrava jama. U cilju analiziranja mogućih uticaja nehermetičnosti cevovoda na efikasnost provetravanja komora analizirana su dva slučaja. U prvom slučaju izlazne brzine vazduha iz cevovoda separatnog provetravanja odgovaraju projektovanim količinama vazduha dok su u drugom slučaju uzeti u obzir gubici vazduha od 50%.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

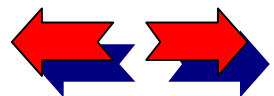
### Index

Za generisanje mreže korišćeni su dvodimenzioni kvadrilateralni elementi. Ukupan broj elemenata u domenu za različite dispozicije cevovoda i geometrije se kretao od 256 do 411 sa 849 do 1340 čvorova.

Granični uslovi su definisani kao Dirihleovi (Dirichlet) kroz tri niza. Prvi niz čine granični uslovi postavljeni po konturi prostorije. Drugi odgovaraju komponentama brzine vazduha, kinetičke energije vazdušne struje i disipacije na izlazu iz cevovoda. Treći niz graničnih uslova postavljen je na izlazu iz otkopnog hodnika čime je praktično posredno uzeta u obzir treća dimenzija problema.

U okviru procedure rešavanja postavljenog problema korišćena je analiza stacionarnog turbulentnog strujanja pri Rejnoldsovima brojevima od  $1.2 \times 10^5$  do  $2.4 \times 10^5$ . Potrebno je naglasiti da je za definisanje turbulentnog strujanja korišćen  $k-\varepsilon$  model. Rešenja za polje brzina strujanja vazduha u domenu dobijena su usvajanjem nule za početnu vrednost brzine. Pri rešavanju modela usvojena je vrednost greške za brzinu strujanja vazduha od 0.001 m/s. Za stabilizaciju strujanja pri ovako visokim vrednostima Rejnoldsovog broja primenjena je upwind tehnika.

U slučaju analizirane geometrije otkopa visine 5 m pri dispoziciji kraja cevovoda na ulazu u komoru otkopa i brzini vazduha na izlazu iz cevovoda koja odgovara projektovanoj količini vazduha može se konstatovati da se u ovom slučaju postiže prihvatljiva provetrenost komore. Domet slobodne vazdušne struje doseže do zidova komore otkopa, čime se ostvaruje potpuna razmena vazduha u komori pri provetravanju, sl. 3.6. i sl. 3.7.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

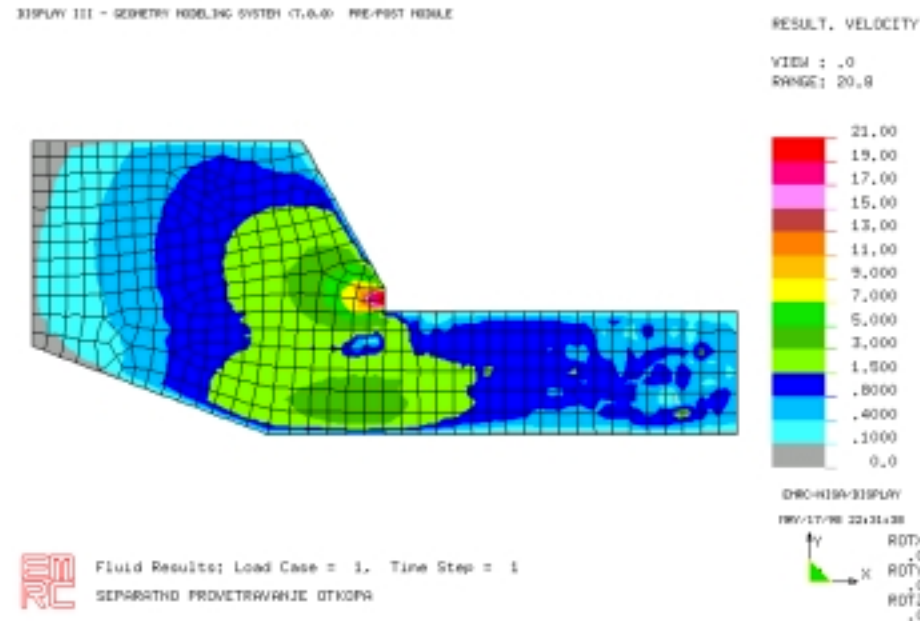
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

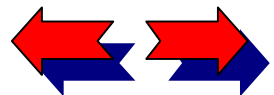
UML notacija

Index



Slika 3.6

Potrebno je istaći da se pri ovoj geometriji otkopa i dispoziciji kraja cevovoda separatnog provetranja može postići zadovoljavajuća raspodela brzina vazduha u komori, čak i pri režimu separatnog provetranja sa 50% gubitaka vazduha.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

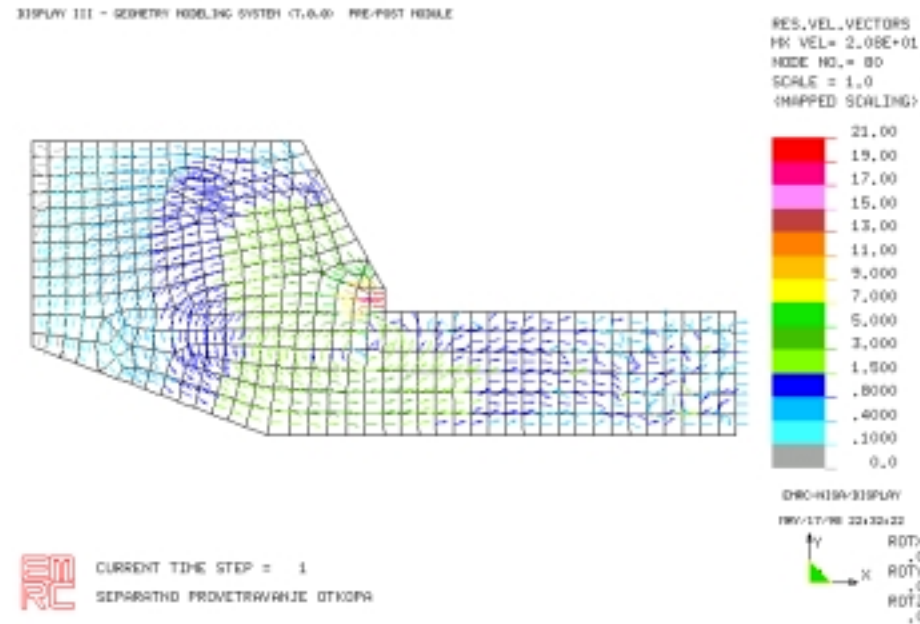
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

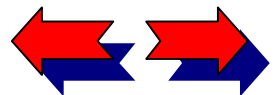
UML notacija

Index



Slika 3.7

U slučaju geometrije otkopa visine 5 m sa dispozicijom kraja cevovoda za separatno provetranje na 2 m od ulaza u komoru može se konstatovati da se u ovom slučaju ne postiže prihvatljiva provetrenost komore otkopa. Domet slobodne vazdušne struje u otkopnom hodniku doseže do ulaza u komoru otkopa čime se ne ostvaruje razmena vazduha u komori pri provetranju. Može se zaključiti da navedenu dispoziciju kraja cevovoda za separatno provetranje ne treba koristiti jer se u ovom slučaju ne omogućava iznošenje metana izdvojenog u komori otkopa sl. 3.8.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

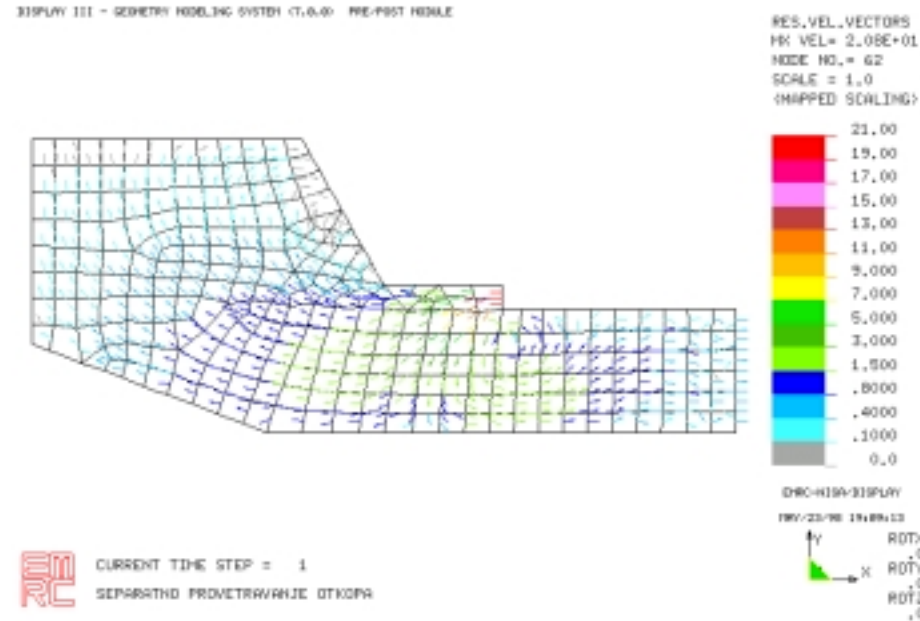
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

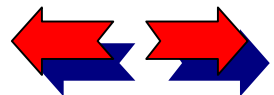
Index



Slika 3.8

Pri modeliranju provetranja otkopa sa komorom visine 8 m razmatran je slučaj dispozicije kraja cevovoda u komori postavljenog uz strop komore na dužini od 2 m, a pri projektovanoj količini vazduha.

Na slikama 3.9 i 3.10 prikazani su rezultati raspodele brzina vazduha u otkopu postavljenog modela dobijeni kroz 15 iteracija uz maksimalnu grešku  $ER_{\max.} = -0.9570 \cdot 10^{-3}$ .



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

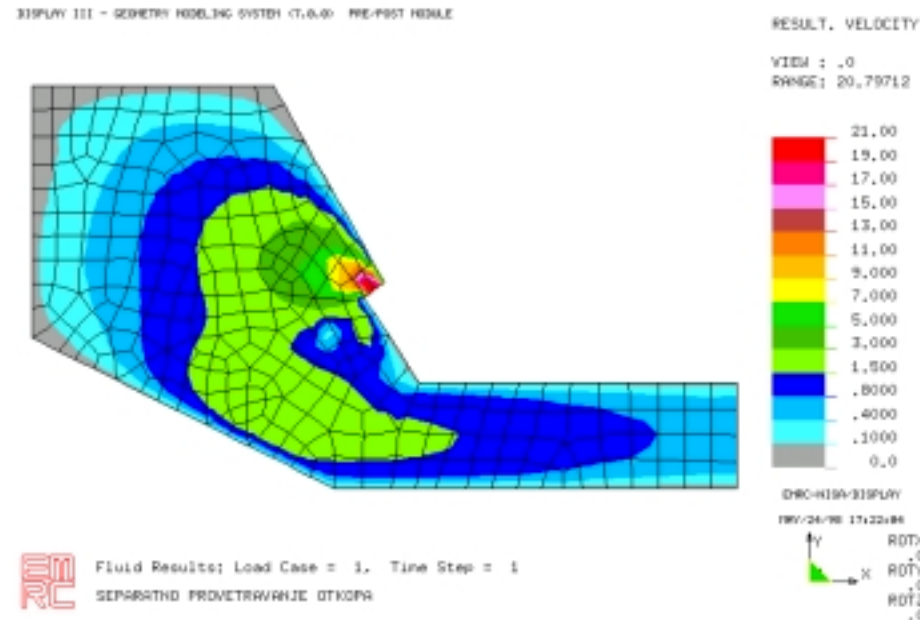
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

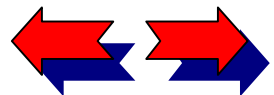
UML notacija

Index



Slika 3.9

Modeliranjem turbulentnog strujanja vazduha pri provetranju otkopa sa komorama visine 8 m i dispozicijom kraja cevovoda u komori postavljenog uz strop na dužini od 2 m dobijeni su povoljni rezultati. U slučaju oba režima izlaznih brzina vazduha iz cevovoda kompresionog separatnog provetranja postižu se povoljniji rezultati dometa slobodne vazdušne struje u ispitivanom domenu.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

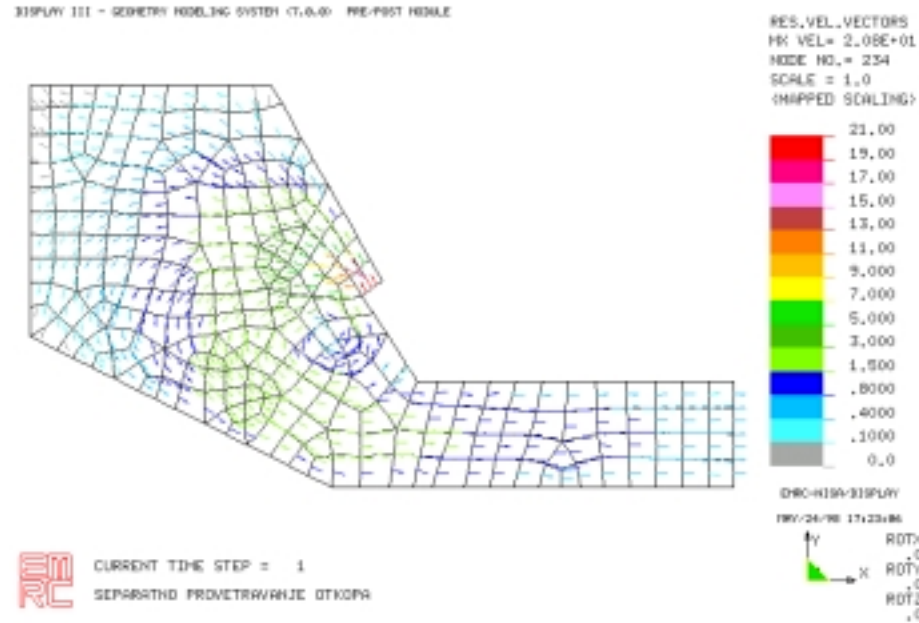
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

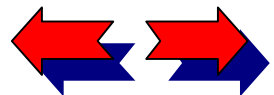
UML notacija

Index



Slika 3.10

Dakle, može se zaključiti da je pri postojanju komora visina do 8 m neophodno uvesti cevovod za separatno provetranje u komoru uz strop komore na dužini od minimum 2 m, da bi se ostvarila potpuna razmena vazduha u komori i omogućilo iznošenje izdvojenog metana.



?	Kako koristiti elektronsku knjigu
	Sadržaj knjige
1	O knjizi About the book
2	Metodologija planiranja ventilacije rudnika
	Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida
3	Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida
4	<b>Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža</b>
5	Modeliranje distribucije protoka vazduha
6	Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
7	Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
8	Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
	UML notacija
	Index

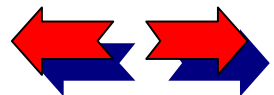
## Poglavlje 4

# MATEMATIČKO DEFINISANJE SLOŽENIH VENTILACIONIH MREŽA

U ovom poglavlju prikazane su teorijske osnove definisanja složenih rudničkih ventilacionih mreža primenom teorije grafova, kao i metodologije određivanja raspodele aerodinamičkih otpora u ventilacionim mrežama. Izložena metodologija implementirana je u programski paket ResNet, čije je modeliranje i razvoj osnovna tema ovog poglavlja.

## SADRŽAJ

Karakteristike rudničkih ventilacionih mreža .....	99
Definisanje rudničkih ventilacionih mreža .....	109
Modeliranje i razvoj programskog paketa ResNet .....	130



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 **Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža**

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Karakteristike rudničkih ventilacionih mreža

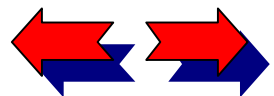
### Osnovne karakteristike topologije mreža

Različite vrste ventilacionih shema konstruisanih na osnovu trodimenzionalnih ili dvodimenzionalnih modela, u cilju istraživanja i analize složenih aerodinamičkih procesa ventilacije rudnika, praktično se baziraju na primeni elemenata teorije grafova.

Grafovi su figure sastavljene od tačaka od kojih su dve po dve spojene linijama. Pomoću binarne relacije graf može da se definiše na sledeći način /91/: neka je  $X$  neprazan skup i  $\rho$  binarna relacija na  $X$ . Uređen par  $G=(X, \rho)$  naziva se graf, pri čemu su elementi skupa  $X$  čvorovi grafa, a elementi skupa  $\rho$  grane grafa.

Binarna relacija  $\rho$  nad skupom  $X$  je svaki neprazan podskup  $X \times X$ . Ako je  $(a,b) \in \rho$  za  $a,b \in X$ , tada se kaže da su  $a$  i  $b$  u relaciji  $\rho$  i piše se  $a\rho b$ .

Rudarske ventilacione mreže, tretirane kao grafovi, sastoje se od ogranaka međusobno spojenih u čvorovima. Ogranci se shematski prikazuju linijama i predstavljaju puteve vazduha kroz ventilacionu mrežu.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Svaki ogranak ima početni i krajnji čvor koji slede jedan za drugim u smeru ogranaka. Smer ogranaka se označava strelicom na shemi i ne mora da se poklapa sa smerom strujanja vazduha kroz ogranak. Put predstavlja niz ogranaka u kome je krajnji čvor jednog ogranaka početni čvor drugog. Lanac ogranaka je neorjentisani deo puta, a zatvoreni lanac naziva se poligon.

Podmreža koja sadrži sve čvorove mreže ali ne sadrži i celu mrežu naziva se stablo mreže. Ogranci u stablu nazivaju se granama stabla a ostali ogranaci nezavisnim ogranacima. Broj grana u stablu je za jedan manji od broja čvorova, odnosno broj grana stabla je  $n_o - 1$ , a broj nezavisnih ogranaka  $m = n_o - n_n + 1$ , gde su  $n_o$ - broj ogranaka a  $n_n$ - broj čvorova u mreži.

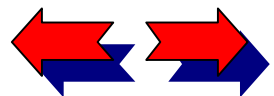
Osnovni parametri, koji definišu rudničke ventilacione mreže, su pored vrednosti elemenata matrica ventilacionih mreža, koje opisuju topologiju mreža, i aerodinamički otpori ogranaka mreža. U nastavku ovog poglavlja biće detaljno izloženi i analizirani navedeni parametri.

## Aerodinamički otpori ogranaka ventilacione mreže

Depresija ili pad pritiska duž laminarne vazdušne struje nastaje usled viskoznosti vazduha, pri čemu se javlja napon na smicanje u struji u kojoj se susedni slojevi vazduha kreću jedni preko drugih. U tom slučaju se depresija u prostoriji kružnog poprečnog preseka može odrediti na osnovu Hagen-Poiseuile (Hagen-Poiseuille) jednačine /67/, /30/, odnosno

$$h = \frac{32\mu lv}{d^2} ,$$

(4.1)



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

gde su:

$h$  - depresija, (Pa),

$l$  – dužina prostorije, (m),

$v$  – srednja brzina bazduha, (m/s),

$\mu$  - koeficijent dinamičke viskoznosti, (Pas),

$d$  - prečnik vazdušne struje, (m).

U turbulentnoj vazdušnoj struji depresija, odnosno pad pritiska duž struje, nastaje usled otpora trenja vazduha o zidove rudničkih prostorija i u prostoriji kružnog poprečnog preseka može da se definiše Darsijevom (Darcy) jednačinom /67/, /30/:

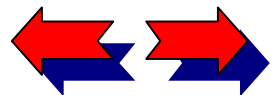
$$h = \frac{f \rho l v^2}{2d}, \quad (4.2)$$

gde je:

$f$  – bezdimenzionalni koeficijent trenja.

$\rho$  - gustina vazduha, (kg/m<sup>3</sup>).

U slučaju strujanja vazduha kroz prostorije nekog drugog oblika poprečnog preseka u jednačini (4.2) prečnik prostorije zamenjuje se ekvivalentnim prečnikom, koji se definiše na sledeći način:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$d_e = \frac{4A}{O} , \quad (4.3)$$

gde su:

$d_e$  - ekvivalentni prečnik, (m),

$A$  - poprečni presek prostorije, ( $m^2$ ),

$O$  - obim prostorije, (m).

Koeficijent trenja  $f$  možemo odrediti izjednačavanjem desnih strana jednačina (4.1) i (4.2), odnosno

$$\frac{32\mu lv}{d^2} = \frac{f\rho lv^2}{2d} , \quad (4.4)$$

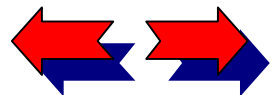
odakle je:

$$f = \frac{64\mu}{\rho vd} , \quad (4.5)$$

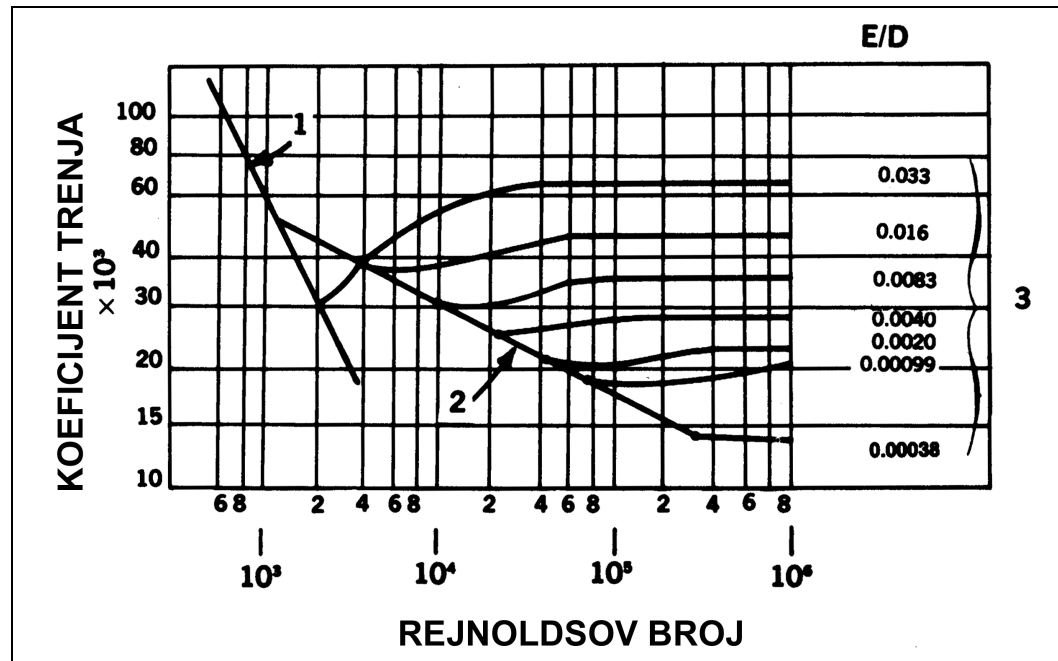
odnosno

$$f = \frac{64}{Re} . \quad (4.6)$$

U turbulentnoj vazdušnoj struji koeficijent trenja  $f$  je funkcija Rejnoldsovog broja i relativne hrapavosti zidova prostorije ( $\varepsilon/d$ ,  $\varepsilon$ - veličina hrapavosti zida prostorije).

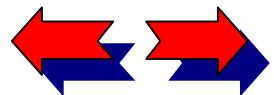


Odnos između  $f$ ,  $Re$  i  $\varepsilon/d$  definiše Stantonov (Stanton) i Nikuradzeov (Nikuradse) dijagram na slici 4.1 // . Stanton je ispitivao vezu između koeficijenta trenja  $f$  i Reynoldsovog broja  $Re$  u glatkim cevima (sl. 4.1, krive 1 i 2), dok je Nikuradze (sl. 4.1, krive 3) ispitivao zavisnost koeficijenta trenja od Reynoldsovog broja i relativne hrapavosti zidova cevi.



Slika 4.1 Stantonov i Nikuradzeov dijagram

Kriva 1 sa slike 4.1, za laminarno strujanje, može da se predstavi izrazom  $f = 64/Re$ . Kriva 2, sa slike 4.1, može da se aproksimira, za turbulentno strujanje, jednačinom sledećeg oblika:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$f = 0.316 / \text{Re}^{0.25} \quad (4.7)$$

Uvođenjem relacije (4.7) u Darsijevu jednačinu (4.2) sledi da je  $h$  proporcionalno sa  $v^{1.75}$ . Krive 3, sa slike 4.1, za različite hrapavosti zidova pokazuju da je koeficijent trenja zavisao od Rejnoldsovog broja, tako da za svaku cev važi:

$$h \propto v^n \quad (4.8)$$

gde je  $n=1$  za laminarno strujanje,  $n=1.75$  za turbulentno strujanje u glatkim cevima i  $n=2$  za turbulentno strujanje u cevima sa hrapavim zidovima.

U slučaju turbulentnog strujanja vazduha kroz podzemne rudarske prostorije, na osnovu rezultata brojnih ispitivanja, utvrđeno je da se vrednost eksponenta  $n$  kreće u granicama od 1.8 do 2.2. Kada gustina vazduha ima standardnu vrednost od  $1.2 \text{ kg/m}^3$ , vrednost eksponenta  $n=2$ .

Depresija ili pad pritiska pri kretanju vazduha kroz podzemne rudničke prostorije može da se definiše i Atkinsonovom (Atkinson) jednačinom sledećeg oblika /67/, /30/

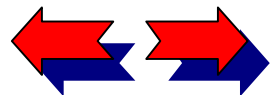
$$h = \frac{KIOv^2}{A} = \frac{KIOQ^2}{A^3}, \quad \text{pri} \quad v = \frac{Q}{A} \quad (4.9)$$

gde su:

$K$  - koeficijent trenja, ( $\text{Ns}^2/\text{m}^4$ ),

$O$  - obim prostorije, (m),

$A$  - površina poprečnog preseka prostorije, ( $\text{m}^2$ ),





$Q$  – zapreminski protok vazduha, ( $m^3/s$ ).

Atkinson je ovom jednačinom uveo umesto koeficijenta  $f$  alternativni koeficijent trenja  $K$ . Odnos koeficijenta  $f$  i  $K$  možemo da dobijemo iz jednačina (4.2) i (4.9), odnosno

$$\frac{f\rho l v^2}{2d} = \frac{K l O v^2}{A}, \quad (4.10)$$

odakle se dobija:

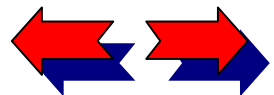
$$K = \frac{\rho f}{8}. \quad (4.11)$$

Za datu prostoriju veličina  $K l O / A^3$  je konstanta, označava se sa  $R$  i naziva se aerodinamički otpor prostorije, čija je jedinica ( $Ns^2/m^8$ ). Uvodeći  $R$  u jednačinu (4.9) dobija se:

$$h = R Q^2. \quad (4.12)$$

Jednačina (4.12) je određena za standardnu gustinu vazduha od  $1.2 \text{ kg/m}^3$ . U rudarskoj literaturi ova jednačina poznata je kao kvadratni zakon.

Ukupni aerodinamički otpori kretanja vazduha kroz rudničke prostorije, sastoje se od prikazanih otpora trenja vazduha o zidove prostorija, čeonih otpora i lokalnih otpora /67/, /30/, /45/. Svaki predmet koji se nađe u profilu rudničke prostorije stvara otpor strujanju vazduha koji se naziva čeonu otpor. Lokalni otpori nastaju na onim mestima u ventilacionoj mreži rudnika na kojima dolazi do bitnije promene geometrije



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

ogranaka mreže kao što su na primer: nagla proširenja prostoriје, naglo suženje, krivine, prigušivači, vetreni mostovi, vetreni kanali, difuzori i dr.

Postoje dve metode koje se mogu koristiti za određivanje čeonih i lokalnih otpora: određivanje koeficijenta otpora ili određivanje ekvivalentne dužine.

### Koeficijent otpora

Lokalni i čeonni otpori se vrlo često u mehanici fluida vezuju za padove ukupnog pritiska uzrokovanog pojavom ovih otpora pri čemu se ovaj pad pritiska izražava kao “pritisk brzine” odnosno,

$$p = X_p \frac{v^2}{2} \quad , \quad (4.13)$$

gde su:

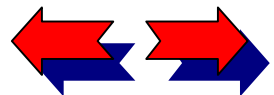
$\rho$  - gustina ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  – srednja brzina vazduha (m/s) i

$X$  – bezdimenzioni koeficijent.

Koeficijent otpora može biti konvertovan u Atkinsonov tip otpora ukoliko jednačinu (4.13) napišemo u obliku kvadratnog zakona

$$p = \frac{X_p}{2} \frac{Q^2}{A^2} = R_l Q^2 \quad , \quad (4.14)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

iz čega sledi da je

$$R_l = \frac{X\rho}{2A^2} \quad (4.15)$$

### Ekvivalentna dužina

Ova metoda pretpostavlja da se otpor izražava odgovarajućom dužinom prave prostorije koja ima istu vrednost aerodinamičkog otpora. Ekvivalentna dužina  $l_e$ , može biti inkorporirana u jednačinu

$$R = K \frac{lO}{A^3} \frac{\rho}{1.2} \quad (4.16)$$

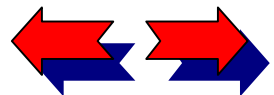
radi dobijanja Atkinsonovog otpora, kao

$$R = K(l + l_e) \frac{O}{A^3} \frac{\rho}{1.2} \quad (4.17)$$

Lokalni otpor se određuje izrazom

$$R_l = K l_e \frac{O}{A^3} \frac{\rho}{1.2} \quad (4.18)$$

Veza između koeficijenta trenja  $X$ , i ekvivalentne dužine  $l_e$ , može se dobiti upoređivanjem jednačina (4.14) i (4.18) pri čemu se dobija



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$R_l = \frac{X\rho}{2A^2} = Kl_e \frac{O}{A^3} \frac{\rho}{1.2} , \quad (4.19)$$

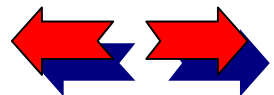
odnosno

$$l_e = \frac{1.2X}{2K} \frac{A}{O} . \quad (4.20)$$

Dobijeni odnos se može izraziti uvođenjem ekvivalentnog hidrauličkog prečnika,  $d_e = 4A/O$  na sledeći način

$$l_e = \frac{1.2X}{8K} d_e = 0.15 \frac{X}{k} d_e . \quad (4.21)$$

Vrednosti koeficijenta otpora se mogu naći u velikom broju knjiga koje obrađuju problematiku ventilacije rudnika /67/, /30/.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 **Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža**

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Definisanje rudničkih ventilacionih mreža

### Matrice ventilacione mreže

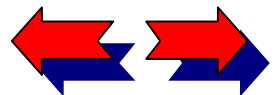
Rudarske ventilacione mreže, tretirane kao linearni grafovi, mogu se definisati sledećim matricama /35/, /95/:

1. matricom opsega mreže,
2. matricom poligona mreže,
3. matricom osnovnog preseka  $i$
4. matricom puta.

Svaka od navedenih matrica sadrži niz informacija o topografiji rudarske ventilacione mreže koje se mogu koristiti pri definisanju raspodele strujanja vazduha kroz mrežu.

### Matrica opsega mreže

Matrica opsega mreže potpuno definiše rudarsku ventilacionu mrežu. Označava se sa  $A_o = [a_{ij}]$ , a njen red je  $n_n \times n_o$ . Vrednosti elemenata  $a_{ij}$  matrice opsega se definišu na sledeći način:



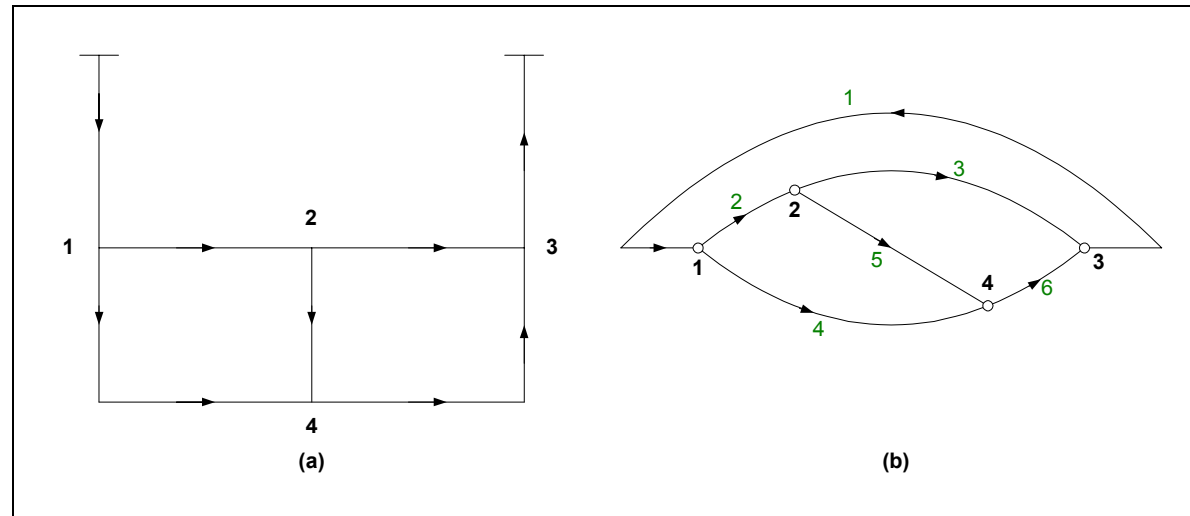


$a_{ij} = 1$ , ukoliko ogranak  $j$  sadrži čvor  $i$  i ima smer od čvora  $i$ ,

$a_{ij} = -1$ , ukoliko ogranak  $j$  sadrži čvor  $i$  i ima smer ka čvoru  $i$ ,

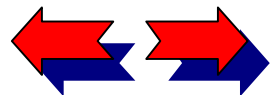
$a_{ij} = 0$ , ukoliko ogranak  $j$  ne sadrži čvor  $i$ .

Na slici 4.2 prikazana je linearna (a) i kanonska (b) shema jedne ventilacione mreže.



Slika 4.2

Matrica opsega mreže prikazane na slici 4.2 može da se napiše u obliku:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamiсe fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$A_o = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.22)$$

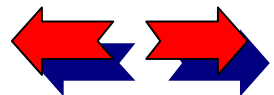
Svaka kolona matrice opsega sadrži dva elementa različita od nule (jedan je +1, a drugi -1). Odstranjivanje bilo kog reda iz matrice opsega  $A_o$  neće uticati na potpunost informacija o opsegu mreže. Matrica dobijena eliminisanjem nekog reda matrice  $A_o$  naziva se osnovnom matricom opsega ili redukovanom matricom opsega koju označavamo sa  $A$ . Ova matrica je reda  $(n_n-1) \times n_o$ .

Osnovna matrica opsega  $A$  matrice  $A_o$  (4.22), ukoliko se eliminiše njen poslednji red, ima sledeći oblik:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.23)$$

### Matrica poligona

Saglasno formiranom stablu mreže, poligoni ventilacione mreže se sastoje od nezavisnih ogranaka i lanca grana u stablu mreže, koji je vezan za početni i krajnji čvor nezavisnog ogranka. Svaka



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

ventilaciona mreža sadrži  $m = n_o - n_n + 1$  poligona ili nezavisnih strujnih krugova. Smer poligona određen je smerom nezavisnog ogranka. Potrebno je naglasiti da svaki poligon sadrži samo jedan nezavisan ogranak, odnosno svaki nezavisan ogranak je sadržan u samo jednom poligonu.

Poligone ili nezavisne strujne krugove jedne ventilacione mreže matematički predstavljamo matricom poligona  $B = [b_{ij}]$ . Elementi ove matrice se definišu na sledeći način:

$b_{ij} = 1$  ukoliko je ogranak  $j$  sadržan u poligonu  $i$  i ima isti smer,

$b_{ij} = -1$  ukoliko je ogranak  $j$  sadržan u poligonu  $i$  i ima suprotan smer,

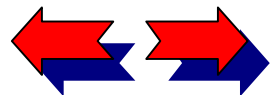
$b_{ij} = 0$  ukoliko ogranak  $j$  nije sadržan u poligonu  $i$ .

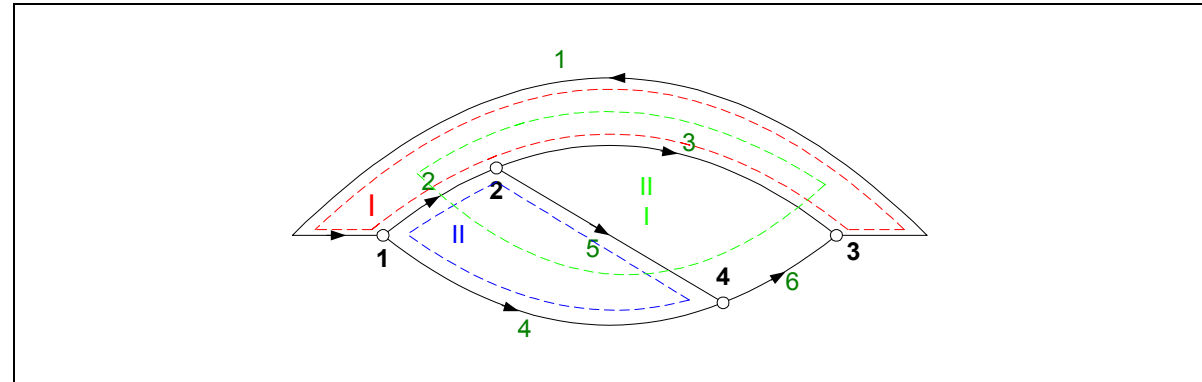
Matrica poligona  $B$  je reda  $m \times n_o$ .

Na slici 4.3 prikazana je kanonska shema ventilacione mreže sa slike 4.2, u kojoj je debljom linijom označeno jedno izabrano stablo mreže i poligoni u skladu sa ovim izabranim stablom.

Izabrano stablo sadrži ogranke 1, 2 i 4 (sl.4.3) i saglasno ovom stablu sledeće poligone:

- ♦ poligon I : 1, 2, 3
- ♦ poligon II : 2, 5, 4
- ♦ poligon III: 1, 4, 6.



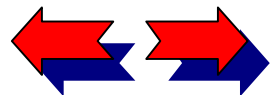


Slika 4.3

Matrica poligona B za mrežu prikazanu na sl. 4.3, saglasno izabranom stablu mreže, ima

sledeći oblik:

$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.24)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

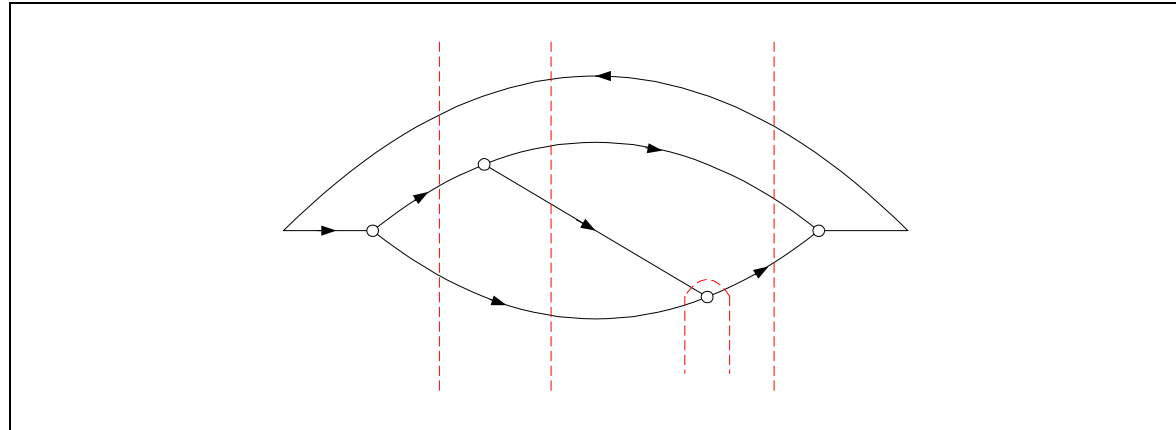
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

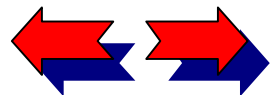
## Matrica osnovnog preseka

Presek ventilacione mreže je procedura kojom se mreža deli na dva dela. Smer preseka se određuje smerom od jednog ka drugom čvoru istog ogranka koji su odeljeni presekom mreže. Na slici 4.4 prikazani su primeri preseka jedne ventilacione mreže.



Slika 4.4

Osnovni presek mreže je presek koji, saglasno stablu mreže, preseca samo jednu granu stabla. Mreža sadrži  $n_p = n_o - m$  osnovnih preseka. Smer osnovnog preseka određen je smerom grane stabla koju preseca. Matrica osnovnog preseka se označava sa  $C = [c_{ij}]$ , njen red je  $n_p \times n_o$ , a elementi  $c_{ij}$  ove matrice definišu se na sledeći način:





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

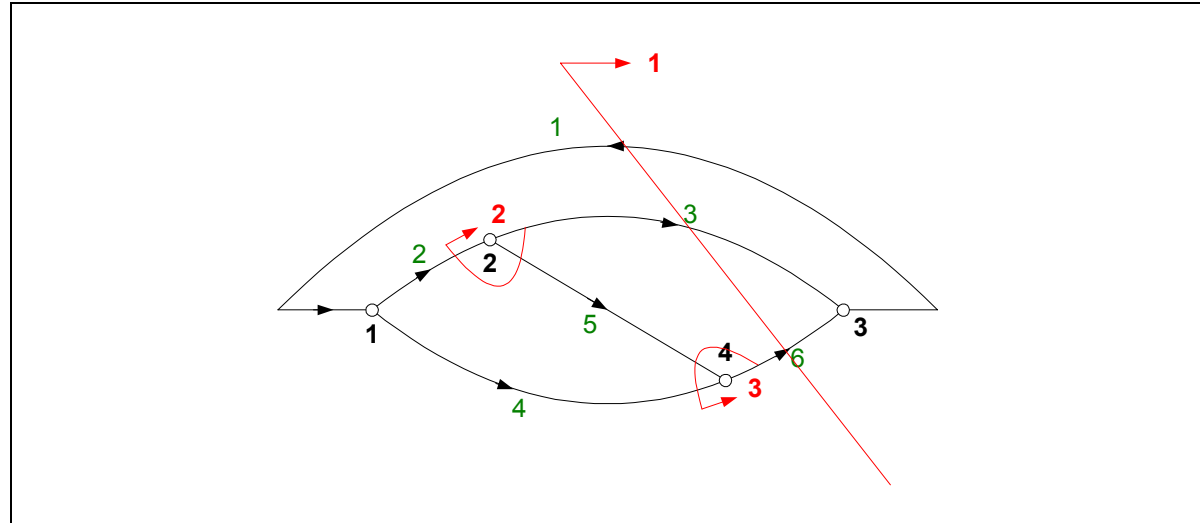
UML notacija

Index

$c_{ij} = 1$ , ukoliko je ogranak  $j$  sadržan u preseku  $i$  i ima isti smer,

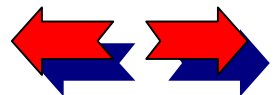
$c_{ij} = -1$ , ukoliko je ogranak  $j$  sadržan u preseku  $i$  i ima suprotan smer,

$c_{ij} = 0$ , ukoliko ogranak  $j$  nije sadržan u preseku  $i$ .



Slika 4.5

Na slici 4.5, saglasno usvojenom stablu mreže, prikazani su osnovni preseki mreže. U ovom slučaju matrica osnovnog preseka ima sledeći oblik:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.25)$$

### Matrica puta

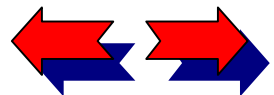
Put vazduha kroz ventilacionu mrežu možemo definisati kao orjentisani lanac ogranaka od ulaznog čvora mreže ka izlaznom čvoru. Osnovna karakteristika puta je da je smer strujanja vazduha kroz sve ogranke puta isti. Broj puteva u mreži, koji označavamo sa  $n_l$ , je veći ili jednak broju poligona mreže, odnosno:

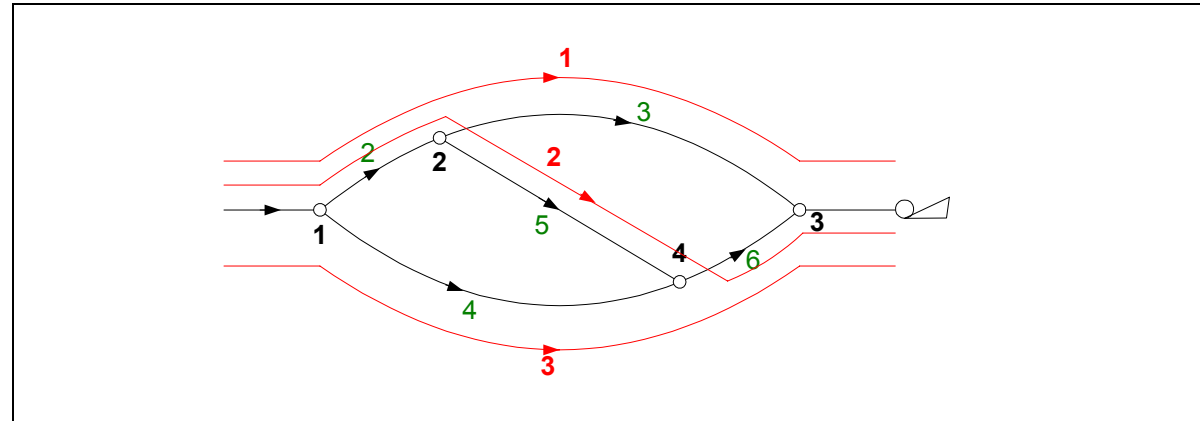
$$n_l \geq m = n_o - n_n + 1.$$

Za opisivanje puteva vazduha kroz ventilacionu mrežu koristi se matrica puta koju označavamo sa  $L = [l_{ij}]$ . Red ove matrice je  $n_l \times n_o$  a njeni elementi  $l_{ij}$  se definišu na sledeći način:

$l_{ij} = 1$ , ukoliko put  $i$  sadrži ogranak  $j$ ,

$l_{ij} = 0$ , ukoliko put  $i$  ne sadrži ogranak  $j$ .





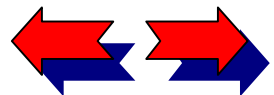
Slika 4.6

Na slici 4.6 prikazana je otvorena kanonska ventilaciona shema, koja sadrži  $n_l = 3$  puta. Matrica puta za ovu ventilacionu mrežu ima sledeći oblik :

$$L = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.26)$$

Ukoliko rudničku ventilacionu mrežu definišemo preko matrice puta, potrebno je naglasiti sledeće posebne karakteristike:

1. Vrlo često rudarske ventilacione mreže predstavljamo kao zatvorene sheme, kada su ulazni i izlazni čvor mreže isti čvor. U ovom slučaju put vazduha kroz mrežu predstavlja



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

specijalni tip poligona mreže ili zatvorenog strujnog kruga u kome je moguće primeniti Kirhofov (Kirchhoff) zakon napona.

2. U ventilacionim mrežama sa jednim glavnim ventilatorom put vazduha kroz mrežu uvek sadrži ogranak glavnog ventilatora. Kada se mreža provetrava sa više glavnih ventilatora putevi vazduha sadrže samo po jedan ogranak nekog od glavnih ventilatora ovakvog sistema provetravanja.
3. Put vazduha kroz rudničku ventilacionu mrežu uvek sadrži ogranak koji predstavlja radilište kao i ogranak izlazne vazdušne struje.

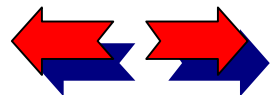
### Odnosi matrica ventilacione mreže

Saglasno teoriji o linearnim grafovima, a prema autoru Vangu (Wang) /95/, između matrica ventilacione mreže postoji niz relacija koje će biti prikazane u okviru ove tačke. Definisanje relacija među matricama omogućava povezivanje osnovnih elemenata ventilacionih mreža i stvaranje uslova za uspešno rešavanje problema raspodele vazduha u rudničkim ventilacionim mrežama.

Između matrice osnovnog opsega A, matrice poligona B i matrice osnovnog preseka C postoji sledeći odnos:

$$AB^T = BA^T = 0 \quad , \quad (4.27)$$

$$BC^T = CB^T = 0 \quad . \quad (4.28)$$



gde je sa T obeležena transponovana matrica.

U matrici poligona B možemo da promenimo raspored ogranaka tako što ćemo prenumerisati nezavisne ogranke od 1 do m, a grane stabla mreže od m +1 do  $n_0$ . Poligone koji sadrže odgovarajuće nezavisne ogranke označićemo sa i ( $i=1, \dots, m$ ), i tada matrica poligona dobija sledeći oblik:

$$B = [I_m B_2], \quad (4.29)$$

gde je

$I_m$  jedinična matrica reda m,

$B_2$  - submatrica matrice B koju čine kolone grana stabla.

Usvajajući isti raspored prenumerisanih ogranaka, matricu osnovnog preseka i matricu osnovnog opsega možemo napisati u obliku:

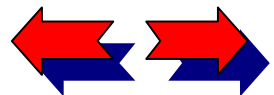
$$C = [C_1 I_{n_p}], \quad (4.30)$$

$$A = [A_1 A_2] \quad (4.31)$$

gde su:

$I_{n_p}$  - jedinična matrica reda  $n_p$ ,

$C_1$  - submatrica matrice C koju čine kolone nezavisnih ogranaka,



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



$A_1$  i  $A_2$ - submatrice koje čine kolone nezavisnih ogranaka i kolone grana stabla.

Matrice B, C i A u obliku (4.29), (4.30) i (4.31), za mrežu prikazanu na slikama 3.12 i sl. 3.13, daju se kao:

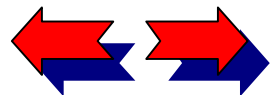
$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} (3) & (5) & (6) & (1) & (2) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (4.32)$$

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} (3) & (5) & (6) & (1) & (2) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (4.33)$$

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} (3) & (5) & (6) & (1) & (2) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (4.34)$$

Između matrica A, B i C postoje sledeće zavisnosti:

$$B = \left[ I_m - A_1^T (A_2^{-1})^T \right], \quad (4.35)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$C = A_2^{-1}A = \left[ -B_2^T I_{n_p} \right], \quad (4.36)$$

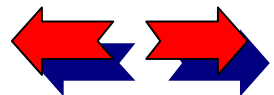
$$B_2 = -A_1^T (A_2^{-1})^T, \quad (4.37)$$

$$C_1 = -B_2^T. \quad (4.38)$$

## Algoritam konstrukcije stabla mreže

Rešavanje problema raspodele vazduha u rudničkim ventilacionim mrežama najčešće se vrši primenom iterativne metode Hardi Krosa (Hardy Cross), čija je osnovna koncepcija izložena u poglavlju 6. Autori Skot i Hinsli (Scott, Hinsley) /79/ utvrdili su da pri izboru poligona za primenu ovakve iterativne metode treba nastojati da stablo ventilacione mreže ne obuhvati ogranke sa najvećim otporima, čime se obezbeđuje veća brzina konvergencije rešenju raspodele vazduha u mreži. Ovako izabrano stablo mreže, koje sadrži ogranke mreže sa najmanjim otporima, naziva se minimalno obuhvaćeno stablo /43/. U tom smislu se ogranci sa najvećim otporima tretiraju kao nezavisni ogranci i saglasno ovom izboru vrši se formiranje matrice poligona mreže.

Algoritam minimalno obuhvaćenog stabla mreže za formiranje poligona, koji je definisao Masen (Massen) /63/, konkretno je primenjen u programu Vanga (Wang) i Hartmana (Hartman) za rešavanje ventilacionih mreža sa prirodnom raspodelom /96/ i sastoji se u sledećem:



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

**Korak 1.** Izvršiti numerisanje ogranaka mreže brojevima  $1, 2, \dots, n_n$  pri čemu se ogranci sa ventilatorima numerišu sa  $1, 2, \dots, n_v$ .

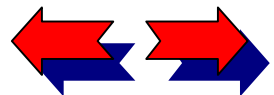
**Korak 2.** Definisati smer svakog ogranka. Smer ogranaka sa ventilatorom je identičan smeru ventilatora u njemu.

**Korak 3.** Ogranke mreže bez ventilatora urediti u opadajući niz prema veličini njihovog otpora, odnosno  $n_v+1, n_v+2, \dots, n_o$ .

**Korak 4.** Počevši od ogranaka sa najmanjim otporom, u skladu sa topografijom mreže, formirati niz ogranaka, markirajući ih u obrnutom redosledu od izvršenog u koraku 3, dok se ne uspostavi zatvoreni strujni krug, odnosno poligon. Poslednji markirani ogranak u nizu, odnosno ogranak sa najvećim otporom u poligonu, označiti kao nezavisan ogranak i isključiti ga iz procesa formiranja drugih poligona. Nastaviti markiranje ogranaka dok se ne označe svi ogranci, izuzev onih sa ventilatorima.

**Korak 5.** Ogranke mreže sa ventilatorima označiti kao nezavisne ogranke.

**Korak 6.** Definisati smer poligona prema smeru nezavisnih ogranaka. Ukoliko je smer nekog ogranka grane stabla u poligonu suprotan ovom smeru broj ogranka memorisati sa negativnim znakom.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Uz prikazani algoritam za određivanje poligona u ventilacionoj mreži treba naglasiti da u nekim slučajevima ogranak sa ventilatorom ne mora biti osnovni ogranak. Naime, kada se određeni poligon u mreži može formirati jedino uključujući dva ogranka sa ventilatorima, da bi se zatvorio strujni krug, onda će samo jedan od ova dva ogranka biti tretiran kao nezavisan.

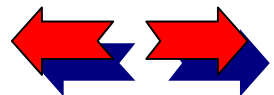
Navedeni algoritam se najčešće koristiti pri konstrukciji stabla mreže sa krajnjim ciljem određivanja poligona date mreže.

## Metodologija definisanja raspodele aerodinamičkih otpora u ventilacionim mrežama

Barometarska metoda uzima u obzir, pri određivanju aerodinamičkih otpora rudničkih prostorija, promenu spoljašnjeg atmosferskog pritiska i vlažnosti vazduha za vreme merenja. Sa termodinamičkog gledišta metoda je zasnovana na politropskoj promeni stanja jamskog vazduha, pri njegovom kretanju od jedne do druge merne tačke u jami.

### Utrošena energija za savladavanje trenja

Jednačina zakona održanja energije ravnomernog strujanja vazduha kroz prostoriju po jedinici mase, bez ventilatora, glasi:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) = \int_1^2 V dp + q_{12} , \quad (4.39)$$

$$q_{12} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) - \int_1^2 V dp , \quad (4.40)$$

gde su:

tačke 1 i 2 – obeležavaju dva kraja prostorije - ulaz i izlaz,

$q_{12}$  - toplotna energija nastala trenjem vazduha o zidove prostorije [J/kg]

$v_i$  - brzina strujanja vazduha u tački i [ m/s ],

$g$ - ubrzanje sile teže [ m/s<sup>2</sup> ],

$z_i$  - kota merne tačke i [ m ],

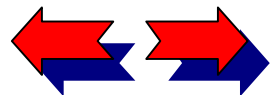
$V$ - specifična zapremina vazduha [m<sup>3</sup> /kg ] i

$p$  - apsolutni pritisak vazduha [ Pa ].

Ako je promena stanja vazduha duž prostorije politropska, onda se može prikazati u obliku:

$$\int_1^2 V dp = R(T_2 - T_1) \frac{\ln p_2 / p_1}{\ln T_2 / T_1} , \quad (4.41)$$

gde je





$p_i$  - pritisak vazduha u tački i [ Pa ],

R - gasna konstanta vazduha [ J/ kgK ],

$T_i$  - apsolutna temperatura u tački i [ K ].

Izraz (4.39) nakon uzimanja u obzir relacije (4.40) dobija sledeći oblik:

$$q_{12} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 + z_2) - R(T_2 - T_1) \frac{\ln p_2 / p_1}{\ln T_2 / T_1} . \quad (4.42)$$

#### Korekcija atmosferskog pritiska

Da bi se otklonio uticaj promene atmosferskog pritiska za vreme merenja u jami, napolju se na jednoj fiksnoj tački, u konstantnim vremenskim intervalima (15 min), očitava atmosferski pritisak.

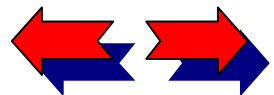
Ako je promena između dve merne tačke konstantna i politropska, iz jednačine (4.41) sledi:

$$R(T - T_k) \frac{\ln p / p_k}{\ln T / T_k} = \text{const} \quad (4.43)$$

gde je

k- indeks dodeljen kontrolnom barometru i

- očitavanje merenja u jami biće bez indeksa.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamiče fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

U kratkom vremenskom periodu temperatura vazduha na dvema mernim tačkama duž puta vazduha kroz rudničke prostorije su konstantne.

Tada je:

$$\ln p / p_k = k = \text{const} , \text{ tj.}$$

$$\ln p = \ln p_k + k , \quad (4.44)$$

čijim se diferenciranjem dobija:

$$dp / p = dp_k / p_k \quad \text{ili} \quad dp = \frac{p}{p_k} dp_k . \quad (4.45)$$

Iz prethodnih relacija sledi da je konačan priraštaj pritiska jednak:

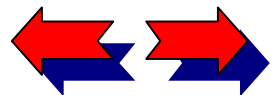
$$\Delta p = \frac{p}{p_k} \Delta p_k , \quad (4.46)$$

gde su:

$\Delta p_k$ - očitana promena na kontrolnom barometru i

$\Delta p$  - odgovarajuća promena na mernom barometru (očitana)

Na osnovu prethodnog razmatranja može se zaključiti da politropska relacija, data jednačinom (4.42), nije stvarna veza između kontrolnog barometra i bilo koje merne tačke. Za vreme merenja biće praćeni politropski procesi između svakog para stanica.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Korekcija za isparavanje vode

Merenja stanja vlažnosti vazduha na čvornim tačkama u jami vrši se iz više razloga: da bi se izračunala apsolutna vlažnost vazduha, da bi se odredila gasna konstanta  $R$  i da bi se utvrdila gustina vlažnog vazduha.

Pri tome će se koristiti oznake  $\theta_s$  i  $\theta_v$  za obeležavanje izmerenih vrednosti na suvom i vlažnom termometru, i oznaka  $z$  za stanje zasićenja.

Parcijalni pritisak vodene pare se može izračunati na sledeći način:

$$p_s = 610.6 \exp\left(\frac{17.27\theta}{237.3 + \theta}\right), \quad (4.47)$$

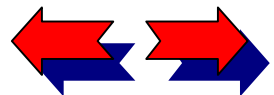
gde su

$p_s$  - parcijalni pritisak vodene pare u zasićenom vazduhu i

$\theta$  - temperatura.

Parcijalni pritisak vodene pare u zasićenom vazduhu  $p_s$  može biti pri temperaturi suvog termometra i tada ima oznaku  $p_s$ , a može biti i pri temperaturi vlažnog termometra kada ima oznaku  $p'_s$ .

Parcijalni pritisak vodene pare u nezasićenom vazduhu  $p_{vp}$  u bilo kojoj datoj tački definiše izraz:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$p_{vp} = p'_s - c_p(\theta_s - \theta_v) , \quad (4.48)$$

gde je

$$c_p = 1005 \text{ J/kgK}; \text{ - specifična toplota vazduha.}$$

Prema teoriji vlažnog vazduha izrazi za relevantne psihrometarske parametre imaju sledeći oblik:

$$\diamond \quad \text{relativna vlažnost vazduha: } \varphi = \frac{p_{vp}}{p_s} 100 \text{ [\%]} , \quad (4.49)$$

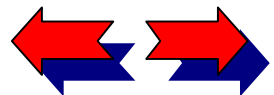
$$\diamond \quad \text{apsolutna vlažnost vazduha: } \chi = 0,622 \frac{p_{vp}}{(p - p_{vp})} \text{ [kg/kg]} , \quad (4.50)$$

$$\diamond \quad \text{gustina vlažnog vazduha: } \rho = \frac{1 + \chi}{R_v + \chi R_p} \text{ [kg/m}^3 \text{]} , \quad (4.51)$$

U gornjim izrazima oznake su:

$$R_v = 287,15 \text{ J/kgK}; \text{ - gasna konstanta vazduha,}$$

$$R_p = 461,7 \text{ J/kgK}; \text{ - gasna konstanta vodene pare}$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 **Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža**

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Računanje pada pritiska i otpora

Pad pritiska između početnog i krajnjeg čvora svakog ogranka rudničke ventilacione mreže  $h$  može da se izračuna preko gustine vazduha  $\rho$ , u krajnjem čvoru, i utrošene energije na savladavanju trenja, odnosno:

$$h_{12} = q_{12} \rho_2 \quad . \quad (4.51)$$

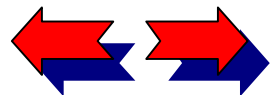
Ako je sa  $Q$  označen protok vazduha, otpor vazduha duž ogranka rudničke ventilacione mreže se računa prema sledećem izrazu:

$$R_{12} = h_{12} / (Q_{12})^2 \quad . \quad (4.52)$$

U nekim slučajevima u cilju svođenja razmatranih veličina na standardnu vrednost gustine vazduha od  $1,2 \text{ kg/m}^3$  mogu se koristiti sledeći izrazi:

$$h_{12(\text{stand})} = h_{12} (1.2 / \rho_2) \quad , \quad (4.53)$$

gde je  $\rho_{\text{stand}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 **Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža**

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

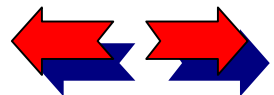
## Modeliranje i razvoj programskog paketa ResNet

Priroda i kompleksnost realnog problema kao i savremeni trendovi i iskustva u razvoju softvera usloveli su Objekto-orijentisani pristup u struktuiranju i modeliranju sistema kao strategiju za definisanje modela procesa i podataka.

Vizuelno modeliranje sistema ima zadatak da korišćenjem prihvaćene standardne grafičke notacije definiše objekte i logiku realnog sistema. Pod objektom se podrazumeva apstrakcija nekoga ili nečega u prostoru problema, odnosno objekat predstavlja skup informacija sa opisom manipulacija. U okviru ove knjige za fazu analize razvoja softvera usvojen je UML (Unified Modeling Language) kao standardni jezik za vizuelizaciju, specifikaciju, konstruisanje i dokumentovanje činjenica o softveru.

UML (Unified Modeling Language) je jezik za modeliranje sistema koji koristi objektno-orijentisane koncepte i može se koristiti u raznim fazama razvoja, od specifikacije zahteva do testiranja završnih, gotovih sistema. Cilj UML-a je da opiše kako statičku strukturu, tako i dinamičko ponašanje različitih tipova sistema, kao što su: informacioni sistemi, tehnički sistemi, sistemi koji rade u realnom vremenu, distribuirani sistemi, sistemski softver i poslovni sistemi.

Imajući u vidu da je ResNet razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0, prikaz ovog paketa dat je kroz UML notaciju u obliku troslojne arhitekture dijagrama klasa. Ova arhitektura podržava objektno-orijentisani pristup pri razvoju modela za kompleksne aplikacije. Njegova osnovna karakteristika je razdvajanje modela domena od korisničkog interfejsa. Model domena predstavljen je kroz poslovne

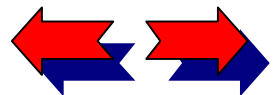


servise i servise podataka, dok je korisnički interfejs predstavljen pomoću korisničkih servisa. Na slici 4.7 prikazana je troslojna arhitektura dijagrama klasa paketa ResNet.

Kroz korisničke servise obezbeđuje se prezentiranje informacija i prikupljanje podataka. Oni služe i kao podrška poslovnim servisima kada se u ovim drugim pojavi potreba za prezentacijom poslovnih rezultata kao i za uključivanje korisnika u neku aplikaciju, sa ciljem da se obezbedi odvijanje poslovnog procesa.

U okviru korisničkih servisa ResNet-a izdvajaju se četiri klase formi: Osnovni, ZaSimVent, PrikazOtpori i IzveštajResNet. Navedene klase predstavljaju forme interfejsa za unos, pregled i pretraživanje potrebnih podataka kao i forme za komunikaciju sa drugim paketima u okviru hibridnog sistema INVENTS. Forme predstavljaju tipske objekte programskog jezika Visual Basic kojima se realizuje komunikacija aplikacije i korisnika. Klase u sloju korisničkih servisa komuniciraju sa klasama iz sloja Poslovnih servisa slanjem poruka, čime iniciraju izvršavanje logike procesa aplikacije.

Klasa Osnovni predstavlja osnovnu formu interfejsa koja kao servise sadrži sve operacije vezane za manipulaciju podacima kao i za komunikaciju sa klasama Poslovnih servisa. Klasa PrikazOtpori predstavlja formu interfejsa kojom se prikazuju ulazni podaci i rezultati proračuna. Ova klasa sadrži operacije vezane za prikaz podataka. Klasa ZaSimVent je forma kojom se pripremaju dobijeni rezultati za eksportovanje u paket SimVent, dok klasa IzveštajResNet predstavlja programabilan objekat za dizajniranje izveštaja, kojim se prikazuju rezultati proračuna ResNet-om koji su smešteni u bazi podataka.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

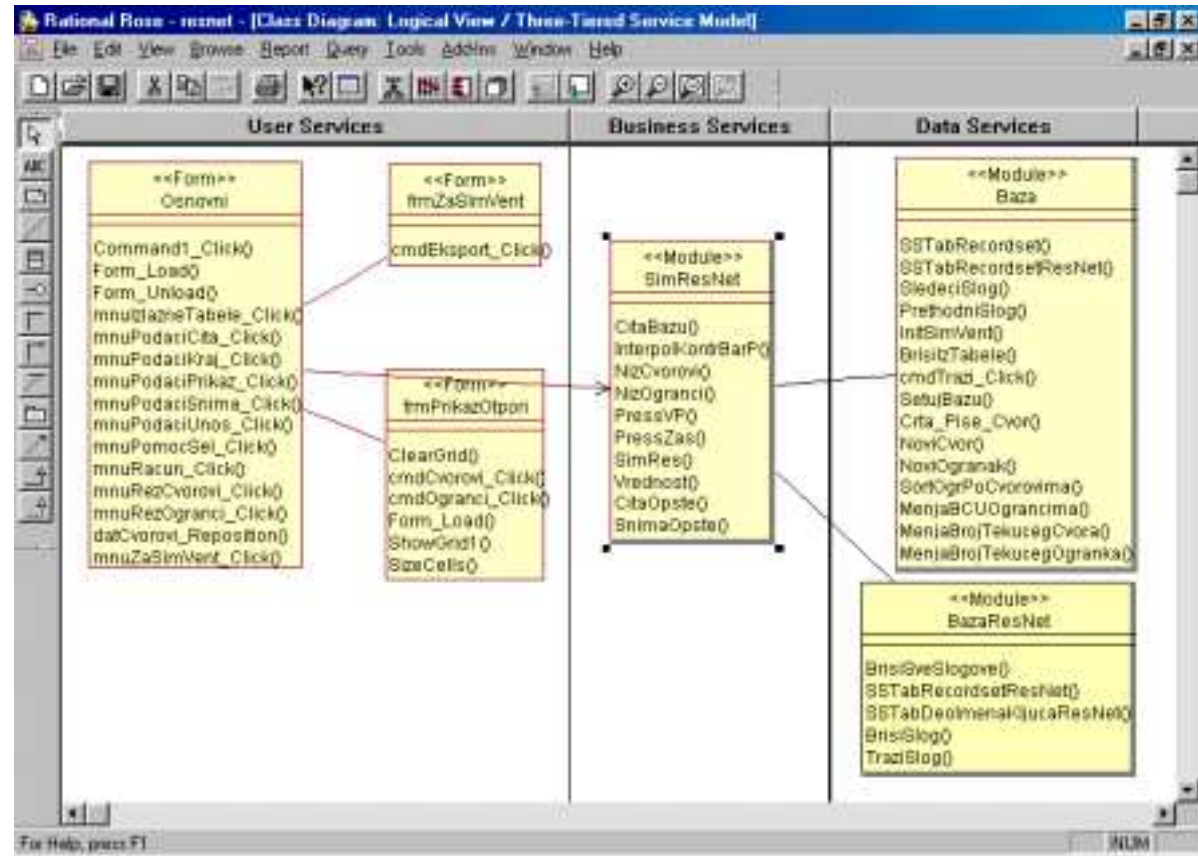
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

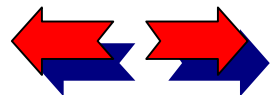
UML notacija

Index



Slika 4.7 Troslojna arhitektura dijagrama klasa paketa ResNet

Na slici 4.8 dat je prikaz osnovne forme interfejsa na kojoj se nalaze raznovrsne kontrole. Kontrole predstavljaju objekte dizajnirane za izvođenje određenih zadataka koji omogućavaju na primer prikazivanje i editovanje teksta, prikazivanje slika, komuniciranje sa bazom podataka, kreiranje poslovnih



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluda

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

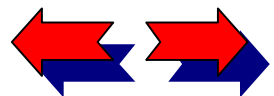
### UML notacija

### Index

dijagrama i dr. Ulazni podaci su grupisani u celine: čvorovi, ogranci, kontrolni barometarski pritisak i prikazani su tabovanim panelima (sstab kontrolom) u dnu forme. Coolbar kontrola sadrži dva toolbar-a. Jedan kojim se poziva izvršavanje opštih operacija u paketu i drugi kojim se omogućava manipulisanje podacima u bazi odnosno kretanje kroz bazu, kreiranje novih slogova u tabelama baze, pretraživanje baze, brisanje i dr. CoolBar kontrola je kontrola koja služi za grupisanje drugih kontrola kao na primer toolbar kontrola. Toolbar omogućava kreiranje grupe grafičkih dugmića kojima se pristupa formama programa.

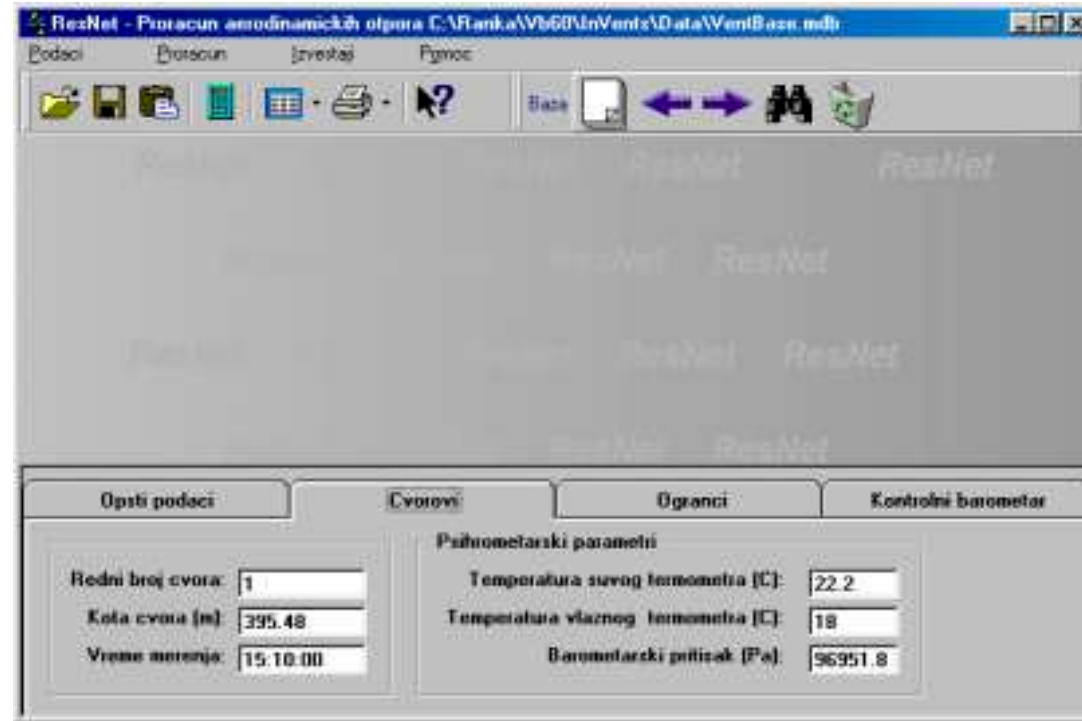
Poslovni servisi predstavljaju most između korisnika i servisa podataka. Oni se aktiviraju na zahtev korisnika (ili drugih poslovnih servisa) za realizaciju nekog zadatka u okviru poslovnog procesa primenom formalnih procedura i poslovnih pravila na relevantne podatke. Poslovni servisi oslobađaju korisnika od direktne manipulacije podacima u bazi podataka. Sa druge strane, kako se poslovna pravila menjaju češće od poslovnih procesa u kojima se ova pravila primenjuju, poslovni servisi omogućavaju razlaganje procesa na izolovane komponente nezavisno od opšteg toka odvijanja poslovnog procesa.

U okviru Poslovnih servisa ResNet-a izdvaja se klasa SimResNet. Ova klasa predstavlja modul Visual Basic aplikacije koji predstavlja skup procedura za izvršavanje proračuna aerodinamičkih otpora složenih ventilacionih mreža. Procedure su delovi koda za izvršavanje nekog zadatka i obično se pišu da bi odgovorile na određeni događaj. U okviru pomenutih procedura klase SimResNet karakteristične su sledeće: procedura za interpolaciju vrednosti snimanja kontrolnog barometarskog pritiska, proračun parcijalnog pritiska vodene pare u zasićenom i nezasićenom vazduhu, kao i proračun aerodinamičkog



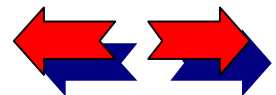


otpora ogranaka mreže. Logika modela navedenih procedura detaljno je opisana u predhodnim tačkama ovog poglavlja monografije.



Slika 4.8. Osnovna forma interfejsa

Servisi podataka obezbeđuju održavanje podataka, pristup podacima i njihovo ažuriranje. Oni takođe upravljaju zahtevima za manipulaciju podacima koje postavljaju poslovni servisi. Izdvajanje servisa podataka kao posebne celine omogućava da se strukture podataka i mehanizmi za pristup podacima



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

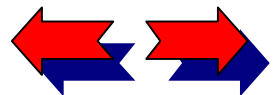
Index

održavaju i modifikuju, odnosno, ako je to potrebno, da se njihova arhitektura potpuno restrukturiše, sve to bez ikakvih posledica na poslovne i korisničke servise.

Imajući u vidu da je sistem INVENTS koncipiran na jedinstvenoj bazi podataka, u okviru servisa podataka ResNet-a, definisane su dve klase: Baza i BazaResNet, koje predstavljaju module. Modulom Baza omogućava se upravljanje zajedničkim podacima za ResNet i SimVent koji se nalaze u bazi podataka. Ovaj modul sadrži operacije za pretraživanje baze, brisanje podataka, unos podataka, editovanje, ažuriranje, sortiranje podataka i dr. Modul BazaResNet obuhvata operacije karakteristične za manipulaciju podacima iz baze vezanim za paket ResNet.

S obzirom na složenost strukture podataka globalnog modela sistema INVENTS, koja je trebalo da izmodelira sve relevantne parametre složenih rudničkih ventilacionih mreža, projektovanje i realizacija baze podataka izvršena je u relacionom sistemu za upravljanje bazom podataka MSAccess. Ovaj sistem omogućava pouzdano arhiviranje podataka složenih modela podataka, kakav je ovo slučaj, kao i sve procedure za manipulaciju podacima. Korišćenje SQL-a kao standardnog upitnog jezika za manipulisanje podacima omogućava se otvorenost integralnog sistema INVENTS za povezivanje sa različitim okruženjima kao na primer ORACLE, SQL Server i dr.

Na slici 4.9 prikazana je struktura dela baze podataka relevantnih za ResNet kroz panel Relationships MSAccess. Neophodno je naglasiti da će se u delovima ove monografije u kojima se opisuje baza podataka, a imajući u vidu da je sistem IVENTS realizovan nad jedinstvenom bazom podataka koja je veoma složena, u pojedinim poglavljima prikazivati samo pogledi na strukturu baze iz perspektive predmetne analize.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

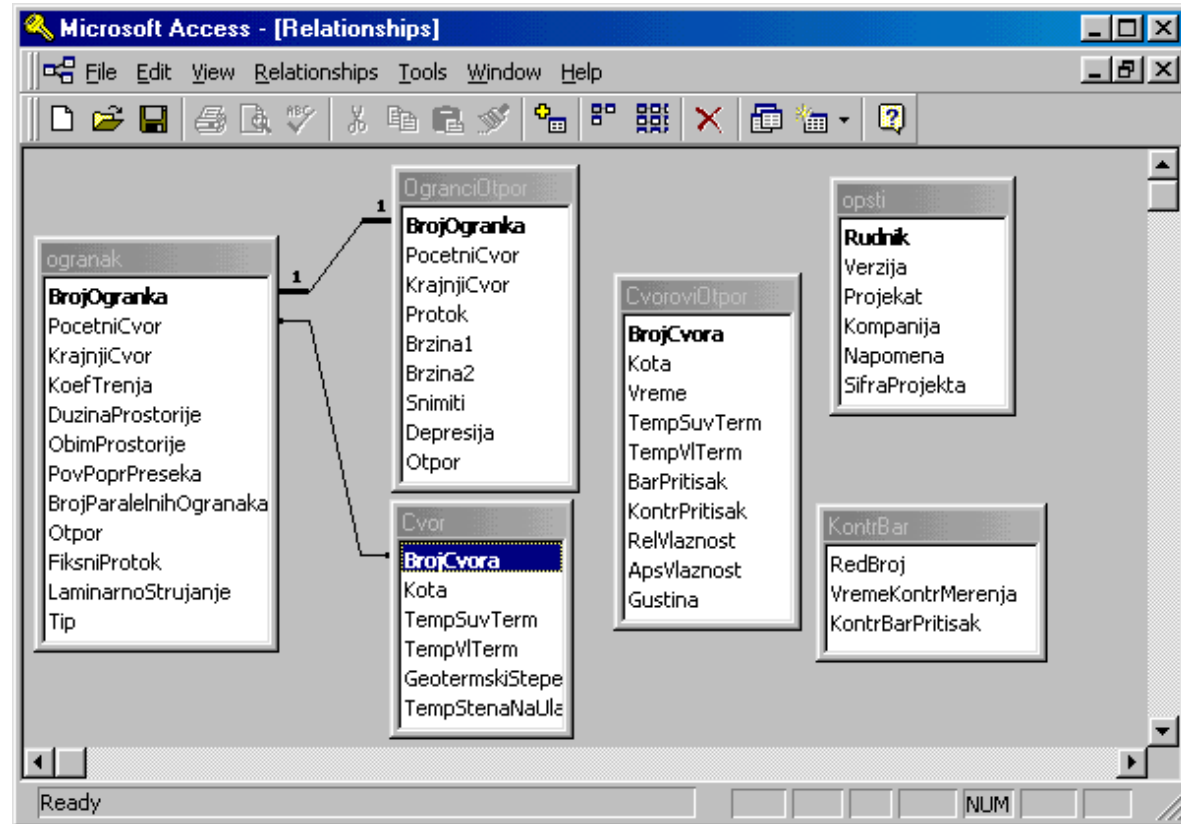
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

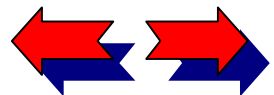
Index





Slika 4.9 Struktura baze podataka za paket ResNet

Na slici 4.9 prikazane su tabele baze podataka sa atributima kao i definisane veze među tabelama. Baza podataka za ResNet sadrži sledeće tabele: Opšti, OgranciOtpor, Cvor, KontrBar, CvoroviOtpor. U navedenim tabelama sa slike 4.9 prikazani su i svi atributi koji se odnose na pojedinačne podatke o



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

ograncima i čvorovima mreže, kao i opšte podatke o rudniku i vrednostima merenja kontrolnog barometarskog pritiska. Svi obuhvaćeni i ovako grupisani podaci u potpunosti definišu ventilacionu mrežu za potrebe proračuna aerodinamičkih otpora ventilacionih sistema. Svaka tabela ima jedinstveni identifikator – primarni ključ tabele čija je uloga jednoznačna identifikacija sloga u tabeli (na primer ogranka u tabeli ogranaka , odnosno čvora u tabeli čvorova).

S obzirom da je hibridni sistem INVENTS razvijen nad jedinstvenom bazom podataka, veza paketa ResNet sa paketom SimVent ostvaruje se preko veze [0,1] između tabela OgranciOtpor i Ogranak. Ovo znači da se samo odabrani ogranci iz tabele OgranciOtpor eksportuju u tabelu Ogranak (SimVent).

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

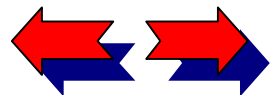
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

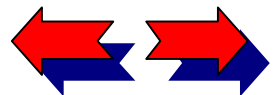
## Poglavlje 5

### MODELIRANJE DISTRIBUCIJE PROTOKA VAZDUHA

Vitalna komponenta u procesu projektovanja podzemnih rudarskih radova je planiranje distribucije protoka vazduha, kao i definisanje parametara i lokacije ventilatora i regulatora protoka u sistemu. U ovom poglavlju date su teorijske osnove modela za definisanje prirodne, delimično regulisane i regulisane raspodele vazduha u složenim rudničkim ventilacionim mrežama. Pored teorijskih osnova navedenog modela dat je prikaz paketa SimVent koji je razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0 i koji u potpunosti podržava Objektno-orientisani pristup u struktuiranju i modeliranju sistema.

#### SADRŽAJ

Raspodela protoka vazduha .....	139
Metode rešavanja ventilacionih mreža .....	154
Modeliranje i razvoj programskog paketa SimVent.....	174



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

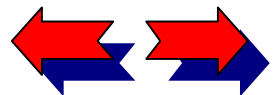
Index

## Raspodela protoka vazduha

Vitalna komponenta u procesu projektovanja podzemnih rudarskih radova je planiranje distribucije protoka vazduha, kao i definisanje parametara i lokacije ventilatora i regulatora protoka u sistemu. Svaki aktivan rudnik je dinamički sistem u kome izvođenje radova mora da prati kontinuirano planiranje procesa ventilacije.

Utvrđivanje optimalnog rešenja raspodele vazduha u rudarskim ventilacionim sistemima se nameće kao prioritetni zadatak iz dva osnovna razloga. Prvo, usvajanje određenih zapreminskih protoka vazduha za pojedina radna mesta u sistemu mora da zadovolji zahteve zaštite na radu i zakonske regulative. Drugi razlog bi obuhvatio ekonomske zahteve, odnosno potrebu da određeni izvor depresije u sistemu obezbeđuje zahtevani zapreminski protok vazduha uz minimalnu angažovanu snagu.

U savremenoj rudarskoj teoriji i praksi, rešavanje problema vezanih za određivanje raspodele vazduha u rudničkim ventilacionim mrežama zasniva se na primeni različitih matematičkih metoda. U ovom poglavlju biće prikazani osnovni matematički pristupi, koji su implementirani u integralnom sistemu za podršku u planiranju i analizi ventilacije rudnika.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Raspodela protoka vazduha, u zavisnosti od parametara ventilacionog sistema koji su poznati, odnosno onih koje treba odrediti, može biti:

- ◆ prirodna raspodela vazduha,
- ◆ delimično regulisana raspodela vazduha i
- ◆ regulisana raspodela vazduha.

### Zakoni ventilacionih mreža

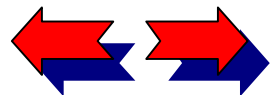
U ventilacionoj mreži, analogno električnoj, moraju biti zadovoljeni Kirhofovi (Kirchoff) zakoni strujanja i napona. Napon i jačina struje u električnoj mreži analogni su razlici pritiska i zapreminskom protoku vazduha u ventilacionoj mreži.

Neophodno je naglasiti da će se u daljim razmatranjima analize ventilacionih mreža odnositi na stacionarno strujanje vazduha, pri kome se vazduh tretira kao nestišljiv fluid.

#### Kirhofovi zakoni

Prema **prvom Kirhofovom zakonu**, zakonu strujanja, zbir masenih protoka svog vazduha u bilo kom čvoru ventilacione mreže jednak je nuli, ili matematički definisano

$$\sum_i M_i = 0 \quad , \quad (5.1)$$





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

gde su

$M_i$  – maseni protoci vazduha, pozitivni i negativni, koji ulaze odnosno izlaze iz čvora  $i$ .

Maseni protok vazduha se može izraziti u sledećem obliku:

$$M = Q\rho \quad , \quad (5.2)$$

gde su:

$Q$  - zapreminski protok vazduha, ( $m^3/s$ ),

$\rho$  - gustina vazduha, ( $kg/m^3$ ).

Zamenom izraza (5.2) u (5.1) sledi da je

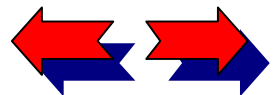
$$\sum_i Q_i \rho_i = 0 \quad , \quad (5.3)$$

odnosno, uz uslov da je promena gustine vazduha oko pojedinačnog čvora zanemarljiva izraz (5.3) dobija oblik

$$\sum_i Q_i = 0 \quad . \quad (5.4)$$

Zakon strujanja može da se definiše u matričnom obliku na sledeći način:

$$A\mathbf{Q} = 0 \quad , \quad (5.5)$$



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

gde je:

A - matrica osnovnog opsega mreže,

Q – matrica kolona oblika

$$\mathbf{Q}^T = [\mathbf{Q}_1 \mathbf{Q}_2 \dots \mathbf{Q}_{n_n}] \quad (5.6)$$

U razvijenom obliku izraz (5.5) postaje

$$\sum_{j=1}^{n_n} a_{ij} Q_j = 0 \quad , \quad \text{za } i = 1, 2, \dots, n_n \quad (5.7)$$

Kirhofov zakon strujanja moguće je definisati i preko matrice osnovnog preseka u sledećem obliku:

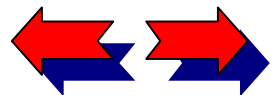
$$\mathbf{CQ} = 0 \quad , \quad (5.8)$$

odnosno

$$\sum_{j=1}^{n_n} c_{ij} Q_j = 0 \quad , \quad \text{za } i = 1, 2, \dots, n_p \quad (5.9)$$

gde je

C - matrica osnovnog preseka.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Saglasno topografiji mreže, odnosno izabranom stablu mreže, matrica kolona zapreminskih protoka vazduha može da se napiše u obliku:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_1 \\ \mathbf{Q}_2 \end{bmatrix}, \quad (5.10)$$

gde su:

$\mathbf{Q}_1$  - matrica kolona zapreminskih protoka kroz nezavisne ogranke mreže,

$\mathbf{Q}_2$  - matrica kolona zapreminskih protoka kroz grane stabla mreže.

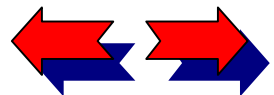
Vrlo često se u praksi, pri zadovoljavanju Kirhofovog zakona strujanja, usvajaju određeni protoci vazduha za nezavisne ogranke, a zatim se proračunavaju protoci za sve grane stabla. Ovaj postupak se izvodi uz pomoć izraza koji se dobija kada zapreminske protoke, iz jednačine (5.10), zamenimo u (5.5), korišćenjem (4.35) i (4.36), odnosno:

$$\mathbf{Q}_2 = \mathbf{B}_2^T \mathbf{Q}_1, \quad (5.11)$$

ili korišćenjem matrice osnovnog preseka:

$$\mathbf{Q}_2 = -\mathbf{C}_1 \mathbf{Q}_1. \quad (5.12)$$

Izraz (5.11) možemo, u razvijenom obliku, da napišemo kao:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$Q_j = \sum_{i=1}^m b_{ij} Q_i \quad , \quad \text{za } j = m+1, m+2 \dots n_o. \quad (5.13)$$

Prema **drugom Kirhofovom zakonu**, zakonu napona, zbir svih padova ili porasta pritiska u bilo kom zatvorenom poligonu mreže jednak je nuli, odnosno

$$\sum_i (h_{o_i} - h_{v_i}) - h_{pr_i} = 0 \quad , \quad (5.14)$$

gde su:

$h_{o_i}$  - pad pritiska usled trenja vazduha,

$h_{v_i}$  - prirast ukupnog pritiska zbog ventilatora,

$h_{pr_i}$  - depresija energije prirodnog provetravanja.

Zakon napona može da se predstavi u matričnom obliku na sledeći način:

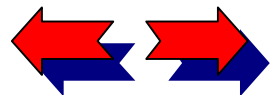
$$Bh = 0 \quad , \quad (5.15)$$

gde su:

$B$  - matrica poligona mreže,

$h$  - kolona matrica depresija

$$\mathbf{h}^T = [h_1 h_2 \dots h_{n_o}] \quad . \quad (5.16)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Izraz (5.15) možemo, u razvijenom obliku, da napišemo kao:

$$\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} h_j = 0 \dots, \quad \text{za } i = 1, 2, \dots, m, \quad (5.17)$$

gde su:

$h_j$  - ukupna depresija u ogranku  $j$  (Pa),

$$h_j = h_{o_j} + h_{r_j} - h_{pr_j} - h_{v_j}, \quad (5.18)$$

$h_{o_j}$  - depresija ogranka  $j$ ,

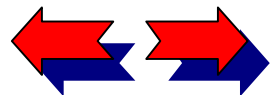
$h_{r_j}$  - depresija regulatora u ogranku  $j$ ,

$h_{pr_j}$  - prirodna depresija u ogranku  $j$ ,

$h_{v_j}$  - depresija ventilatora u ogranku  $j$ .

### Atkinsonova jednačina

Pri definisanju raspodele protoka vazduha u rudničkim ventilacionim mrežama pored jednačina Kirhofovih zakona neophodno je uzeti u obzir i Atkinsonovu jednačinu.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Depresija ogranka  $j$  u ventilacionoj mreži definiše se preko Atkinsonove jednačine za ogranke mreže i ima sledeći oblik:

$$h_{o_j} = R_j |Q_j| Q_j \text{ za } j=1,2,\dots,n_o, \quad (5.19)$$

gde su:

$R_j$  - otpor ogranka  $j$  ( $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ ),

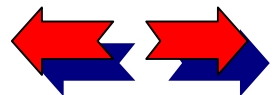
$Q_j$  - zapreminski protok u ogranku  $j$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

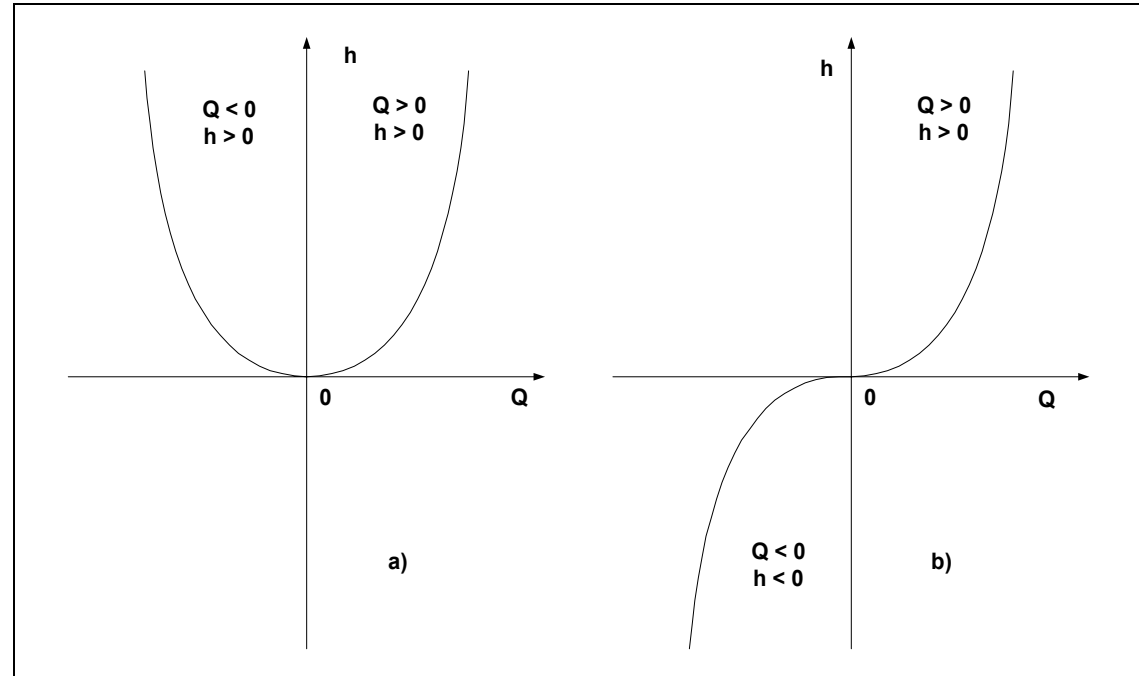
S obzirom da je veličina otpora ogranaka, po definiciji, pozitivna bez obzira na smer strujanja vazduha u ogranku, u Atkinsonovoj jednačini je uvedena apsolutna vrednost zapreminskog protoka  $|Q_j|$  da bi se obezbedila promena znaka depresije ogranka usled promene smera protoka vazduha (sl. 5.1).

U daljim razmatranjima prirodna depresija  $h_{prj}$  biće tretirana kao konstantna veličina, a depresija ventilatora  $h_{v_j}$  može da se aproksimira polinomom drugog stepena opšteg oblika:

$$h_{v_j} = \alpha_j + \beta_j Q_j + \gamma_j Q_j^2 \quad . \quad (5.20)$$

gde su :  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$  i  $\gamma_j$  - koeficijenti polinoma.





Slika 5.1 Depresija u funkciji zapreminskih protoka vazduha

a)  $h = RQ^2$     b)  $h = R|Q|Q$

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

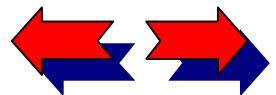
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Prirodna raspodela vazduha

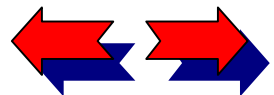
Model prirodne raspodele vazduha predstavlja problem određivanja zapreminskih protoka vazduha na osnovu poznatih vrednosti otpora ogranaka i izvora depresije u ventilacionoj mreži. Naime, prirodna raspodela protoka vazduha kroz ventilacionu mrežu utvrđuje se proračunom  $Q_j$  vrednosti protoka vazduha, iz sistema jednačina određenog Atkinsonovom jednačinom, jednačinom Kirhofovog zakona strujanja i jednačinom Kirhofovog zakona napona. Navedeni sistem jednačina ima sledeći oblik:

$$\sum_{j=1}^{n_o} a_{ij} Q_j = 0 \quad , \quad \text{za } i = 2, 3 \dots n_n \quad , \quad (5.21)$$

i

$$\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (R_j | Q_j | Q_j - h_{pr_j} - h_{v_j}) = 0 \quad , \quad \text{za } i = 1, 2, \dots m \quad . \quad (5.22)$$

Prikazani sistem čine  $n_o$  jednačina od kojih su  $n_n - 1$  linearne i  $m$  nelinearne. U savremenoj rudarskoj teoriji i praksi za rešavanje ovakvog sistema jednačina koriste se različite numeričke metode uz primenu računara zbog velikog obima računanja.



## Delimično regulisana raspodela

U rudarskoj praksi se vrlo često postavljaju zahtevi da se u određenim ograncima mreže ostvare unapred zadati zapreminski protoci vazduha. Raspodela vazduha pri kojoj su zapreminski protoci u nekim ograncima mreže pretpostavljeni i unapred zadati, a u ostalim se prirodno raspodeljuju, naziva se delimično regulisana raspodela. Celokupan problem svodi se na određivanje vrednosti zapreminskih protoka u ograncima koji nisu unapred zadati, i određivanje pada pritisaka na regulatoru protoka (prigušivaču)  $h_{r_j}$ , u slučaju negativne regulacije, odnosno određivanje pritiska pomoćnog ventilatora  $h_{v_j}$ , u slučaju pozitivne regulacije protoka.

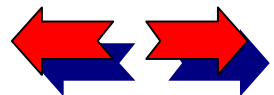
Pri rešavanju ovog problema, u slučaju pozitivne regulacije, depresija ventilatora  $h_{v_j}$  u ogranku sa zadatim zapreminskim protokom vazduha ne tretira se kao funkcija od  $Q_j$ . Ogranci u kojima su locirani glavni ventilatori u mreži, nazivaju se ograncima ventilatora i njihovi protoci vazduha nisu unapred zadati.

U cilju izbora poligona mreže, pri određivanju delimično regulisane raspodele, konstrukcija stabla mreže vrši se tako što se za nezavisne ogranke u mreži, saglasno stablu mreže, biraju ogranaci ventilatora, odnosno:

$$n_z + n_v \leq m \quad , \quad (5.23)$$

gde su:

$n_z$  - broj ogranaka sa zadatim zapreminskim protokom,



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$n_v$  - broj ventilatora,

$m$  - broj poligona.

U slučaju da je  $n_z + n_v < m$ , za ostale nezavisne ogranke biraju se, osim ogranaka sa zadatim protokom i ogranaka ventilatora, još i regularni ogranci sa najvećim otporom.

Kirhofov zakon napona, u mrežama sa zadatim protocima u pojedinim ograncima, a na osnovu navedenog izbora nezavisnih ogranaka, može da se napiše u sledećem obliku:

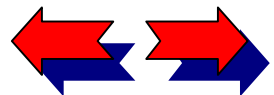
$$h_{r_{n_i}} - h_{v_{n_i}} = - \sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (R_j | Q_j | Q_j - h_{pr_j}) \quad , \quad \text{za } i = 1, 2 \dots n_z \quad (5.24)$$

$$\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (R_j | Q_j | Q_j - h_{pr_j}) - h_{v_{n_i}} = 0 \quad , \quad \text{za } i = n_z + 1, n_z + 2, \dots n_z + n_v \quad (5.25)$$

$$\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (R_j | Q_j | Q_j - h_{pr_j}) = 0 \quad , \quad \text{za } i = n_z + n_v + 1, n_z + n_v + 2, \dots m \quad (5.26)$$

gde je  $n_i$  broj nezavisnog ogranaka koji je sadržan u poligonu  $i$ .

U cilju matematičkog definisanja delimično regulisane raspodele vazduha u rudarskim ventilacionim mrežama potrebno je sistemu jednačina (5.24), (5.25) i (5.26) dodati jednačine Kirhofovog zakona strujanja. Ovako definisan sistem jednačina rešava se primenom istih metoda kao pri rešavanju problema prirodne raspodele vazduha, ali sa određenom dopunom algoritma.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Regulisana raspodela vazduha

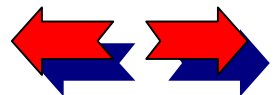
Problem određivanja regulisane raspodele vazduha u rudničkim ventilacionim mrežama, kao klasičan problem u oblasti planiranja ventilacije u rudnicima, razmatrao je Hartman (1961). Rešavanjem ovog problema u ventilacionim mrežama se na osnovu zadatih protoka vazduha kroz ogranke  $Q_j$ , otpora ogranaka  $R_j$  i prirodne depresije  $h_{pr_j}$ , određuju padovi pritisaka na regulatorima protoka  $h_{r_j}$  i pritisci ventilatora  $h_{v_j}$ .

Uvođenjem uslova da snaga strujanja vazduha u ventilacionom sistemu bude minimalna, Vang je sa saradnicima (1971) /95/, /99/, formulisao problem regulisane raspodele vazduha pomoću linearnog programiranja.

Zapreminski protoci vazduha kroz ogranke mreže biraju se tako da sve vrednosti  $Q_j$  budu pozitivne. Na taj način problem regulisane raspodele vazduha može da se definiše određivanjem padova pritisaka na regulatorima protoka  $h_{r_j}$  i pritisaka ventilatora  $h_{v_j}$ , tako da funkcija kriterijuma  $f$  dostigne minimalnu vrednost,

$$f = \sum_{j=1}^{n_o} Q_j h_{v_j} = \sum_{j=1}^{n_o} Q_j (h_{o_j} + h_{r_j} - h_{pr_j}) \rightarrow \min \quad (5.27)$$

pri ograničenjima:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (h_{o_j} + h_{r_j} - h_{pr_j}) = 0 \quad , \quad \text{za } i = 1, 2 \dots m \quad , \quad (5.28)$$

$$h_{r_j} \geq 0 \quad , \quad h_{v_j} \geq 0 \quad , \quad \text{za } j = 1, 2 \dots n_o. \quad (5.29)$$

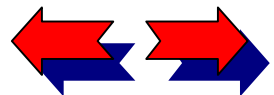
gde je  $h_{o_j} = R_j |Q_j| Q_j$ .

Linearnost sistema definiše se jednačinama (5.28), a pozitivnost uslova jednačinama (5.29). Ovako definisan problem poznat je kao linearno programiranje (LP) i rešava se standardnim LP tehnikama. U linearnom programiranju svako rešenje koje zadovoljava sistem jednačina (5.28), (5.29) je moguće rešenje, a optimalno rešenje je ono kojim se ostvaruje uslov da funkcija kriterijuma (5.27) dostigne minimalnu vrednost.

U rudarskoj praksi se najčešće javlja slučaj ventilacionog sistema sa jednim glavnim ventilatorom koji se instalira kao depresioni ili ređe kompresioni. Razmotrićemo ovaj slučaj, a radi uprošćavanja prirodna depresija će biti zanemarena.

Problem regulisane raspodele vazduha pri radu samo jednog ventilatora nad ventilacionom mrežom se svodi na određivanje pritiska glavnog ventilatora i lokaciju sa padovima pritiska na regulatorima. Ukoliko se ogranak ventilatora numeriče kao ogranak 1, problem može da se formuliše u obliku:

naći minimum funkcije:



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

#### UML notacija

#### Index

$$f = Q_1 h_{v_1} = \sum_{j=1}^{n_o} Q_j (h_{o_j} + h_{r_j}) \rightarrow \min \quad , \quad (5.30)$$

pod uslovima:

$$\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (h_{o_j} + h_{r_j}) = 0 \quad , \quad \text{za } i = 2, 3 \dots m \quad , \quad (5.31)$$

i

$$h_{r_j} \geq 0 \quad , \quad \text{za } j = 1, 2 \dots n_o. \quad (5.32)$$

Pošto je protok vazduha u ogranaku 1 ( $Q_1$ ) konstantan, jednačina (5.30) može da se napiše kao:

$$f'_{\min} = h_{v_1} \quad , \quad (5.33)$$

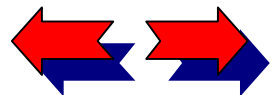
Uz korišćenje vrednosti pritisaka u čvorovima mreže biće:

$$h_{v_{\min}} = p_{n_n} - p_1 \quad , \quad (5.34)$$

pri  $p_j - p_i - h_{r_{ij}} = h_{o_{ij}}$  za sve ogranke (i,j), osim ogranaka (N,1) i

$h_{r_{ij}} \geq 0$  za sve ogranke (i,j), osim ogranaka (n,1),

gde su:



$p_N$  - kumulativni pritisak u čvoru N u odnosu na čvor 1.

$i, j$  - indeksi kojima se označavaju početni i krajnji čvorovi u ogranku.

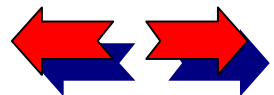
Čvor na ulazu u mrežu ventilacionog sistema se numeriče sa 1, a na izlazu sa N. Lažni ogranak (N,1) ima otpor jednak nuli i glavni ventilator smešta se u taj ogranak.

## Metode rešavanja ventilacionih mreža

U osnovi postoje dva pristupa u rešavanju i analizi ventilacionih mreža. Analitičke metode uključuju zadavanje problema preko definisanja niza jednačina zakona strujanja i njihovog analitičkog rešavanja. Ove metode su ograničene na relativno jednostavne mreže, jer broj jednačina u sistemu koji se rešava raste sa brojem poligona u mreži na  $2^{m-1}$  (m - broj poligona u mreži).

Numeričke metode rešavaju navedene sisteme jednačina u svoj njihovoj složenosti kroz iterativne procedure uzastopnih aproksimacija do pronalaženja rešenja uz zahtevnu tačnost. Ove metode su posebno dobile na značaju i raširenosti primene razvojem digitalnih računara.

U okviru ovog poglavlja biće obrazložne one metode rešavanja koje su implementirane u integralni sistem za podršku u planiranju ventilacije rudnika, čiji je analitički opis tema ove monografije.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Metoda Hardi Krosa

Najširu primenu za rešavanje sistema jednačina (5.21) i (5.22) u savremenoj rudarskoj teoriji je našla iterativna metoda koju je definisao Hardi Kros 1936. godine /13/. Ovu tehniku su, za primenu na rudarske ventilacione mreže, modifikovali Skot i Hinsli 1951. /79/.

U okviru ove tačke biće prikazana modifikovana metoda Hardi Krosa /95/ slična Gaus-Zajdelovoj (Gauss-Seidel) numeričkoj metodi za rešavanje sistema linearnih jednačina.

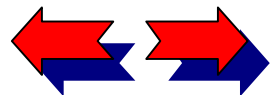
Početni korak u rešavanju sistema jednačina (5.21), (5.22) je usvajanje vrednosti protoka vazduha  $Q_j$  za  $j=1,2 \dots n_n$ . Potrebno je da ovako usvojene vrednosti  $Q$  zadovoljavaju jednačinu (5.21) ali ne i jednačinu (5.22) što se ostvaruje usvajanjem vrednosti protoka  $Q$  za nezavisne ogranke i proračunom ostalih vrednosti protoka jednačinom (5.11).

Jednačinu (5.22), u ovom slučaju, za  $k$ -ti nezavisni ogranak možemo napisati u obliku:

$$F(Q_k) = \sum_{j=1}^{n_o} b_{kj} (R_j | Q_j | Q_j - h_{pr_j} - h_{v_j}) = 0 \quad , \quad \text{za } k = 1, 2, \dots m . \quad (5.35)$$

Da bi funkcija  $F(Q_k)$  bila jednaka nuli, odnosno, da bi jednačina (5.22) bila zadovoljena, potrebno je da se izvrši korekcija za vrednost  $\Delta Q_k$  za dati poligon, odnosno:

$$Q_k \rightarrow Q_k + \Delta Q_k \quad , \quad (5.36)$$





nakon čega se razvijanjem jednačine (5.35) u Tejlorov (Taylor) red, uz zanemarivanje viših članova, dobija:

$$F(Q_k + \Delta Q_k) = F(Q_k) + \Delta Q_k F'(Q_k) + \dots \quad (5.37)$$

Izraz (5.37) sa popraavljenom vrednošću protoka možemo da izjednačimo sa nulom ( $F(Q_k + \Delta Q_k) = 0$ ), te iz tog izraza proračunati vrednost korekcionog faktora  $\Delta Q_k$ , odnosno:

$$\Delta Q_k = -\frac{F(Q_k)}{F'(Q_k)} \quad (5.38)$$

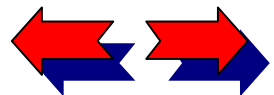
$F'(Q_k)$  je izvod funkcije  $F(Q_k)$  i dat je u obliku:

$$F'(Q_k) = \sum_{j=1}^{n_0} b_{kj}^2 [2R_j |Q_j| - (\beta_j + 2\gamma_j Q_j)]$$

Ukoliko su vrednosti padova pritisaka ventilatora u poligonu  $k$  konstantni, tada izvod dobija sledeći oblik:

$$F'(Q_k) = 2 \sum_{j=1}^{n_0} b_{kj}^2 R_j |Q_j| \quad (5.39)$$

Posle korigovanja vrednosti protoka u poligonima potrebno je ponovo zadovoljiti jednačinu (5.21) što se postiže izrazom:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

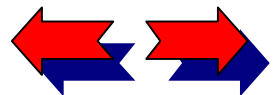
Index

$$Q_j \rightarrow Q_j + b_{kj} \Delta Q_k, \quad \text{za } j = 1, 2, \dots, n_o. \quad (5.40)$$

Vrednosti  $|F(Q_k)|$  i  $|\Delta Q_k|$  upoređujemo sa malom, unapred zadatom, pozitivnom vrednošću  $\varepsilon$ . Ukoliko su ove vrednosti manje ili jednake  $\varepsilon$  dobijene vrednosti protoka  $Q_j$  predstavljaju rešenje sistema jednačina.

Algoritam metode Hardi Krosa za rešavanje prirodne raspodele vazduha možemo da napišemo na sledeći način:

- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

**Korak 1.** Usvojimo  $Q_j = 0$  za  $j=1, 2 \dots n_o$ . Takođe označimo vrednost broja iteracija  $L = \max IT$ .

**Korak 2.** Usvojimo početne vrednosti korekcionog faktora po poligonima  $\Delta Q_j$  za  $i=1, 2 \dots m$ .

**Korak 3.** Izvršiti korekciju:  $Q_j \rightarrow Q_j + b_{kj} \Delta Q_j$  , za  $j = 1, 2, \dots n_o$  .

**Korak 4.**  $IT=1$  (IT-broj iteracija).

**Korak 5.** Ako je  $IT=L$  završiti algoritam.

**Korak 6.** Računati za  $i=1, 2 \dots m$

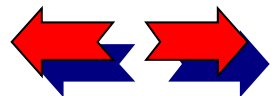
$$\Delta Q_i = - \frac{\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (R_j |Q_j| Q_j - h_{prj} - h_{vj})}{\sum_{j=1}^{n_o} b_{ij}^2 [2R_j |Q_j| - (\beta_j + \gamma_j Q_j)]}$$

**Korak 7.** Izvršiti korekciju za  $j = 1, 2 \dots n_n$

$$Q_j \rightarrow Q_j + \sum_{i=1}^m b_{ij} \Delta Q_i$$

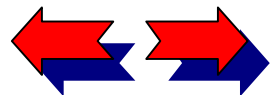
**Korak 8.** Neka je  $IT = IT+1$ .

**Korak 9.** Ukoliko je  $|\Delta Q_i| \leq \varepsilon$  za  $i=1, 2 \dots m$ , izračunate vrednosti  $Q_j$  su rešenja sistema završiti algoritam, u suprotnom ići na korak 5.



Kao što se iz algoritma vidi, metoda Hardi Krosa je iterativna metoda u kojoj brzina približavanja zavisi od početnih vrednosti protoka vazduha i od izbora poligona. Da bi se obezbedilo brzo približavanje, za nezavisne ogranke se uzimaju ogranci sa velikim otporima tako da stablo mreže obuhvata ogranke sa najmanjim otporima. U stručnoj literaturi ovakvo stablo je poznato kao najkraće ili minimalno obuhvaćeno stablo.

Modifikovani algoritam metode Hardi Krosa za rešavanje delimično regulisane raspodele vazduha , odnosno mreža sa zadatim protocima u pojedinim ograncima ima sledeći oblik /43/:



- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

**Korak 1.** Neka je  $\Delta Q_i = \Delta Q_{n_i}$  za  $i = 1, 2, \dots, n_z$ .

**Korak 2.** Usvojimo početnu vrednost  $\Delta Q_i$  za  $i = n+1, n+2, \dots, m$ .

**Korak 3.** Neka je  $\Delta Q_i = 0$  za  $j = 1, 2 \dots n_o$ .

**Korak 4.** Računati  $Q_j = \sum_{i=1}^m b_{ij} \Delta Q_i$  za  $j = 1, 2 \dots n_o$ .

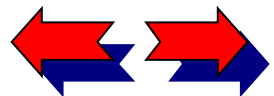
**Korak 5.** Preći na izvršavanje procedure metode Hardi Krosa za  $i = n_z+1, n_z+2, \dots, m$  (prethodno definisan algoritam od koraka 4 do koraka 9).

**Korak 6.** Računati za  $i = 1, 2, \dots, n_z$ .

$$t_i = - \sum_{j=1}^{n_o} b_{ij} (R_j | Q_j | Q_j - h_{pr_j}) .$$

**Korak 7.** Ako je  $t_i \geq 0$ , tada je  $h_{r_{n_i}} = t_i$  i  $h_{v_{n_i}} = 0$ , u suprotnom  $h_{r_{n_i}} = 0$  i  $h_{v_{n_i}} = -t_i$ .

Kao što se iz algoritma može videti, u koraku 5 se iterativni postupak izvršava samo za poligone koji ne sadrže ogranke sa zadatim protokom.





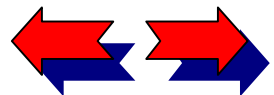
## Primena genetskih algoritama u optimizaciji rudničkih ventilacionih mreža

### Formalizacija problema

Kao što je već napomenuto, najčešći problem u savremenoj rudarskoj praksi, vezan za planiranje i analizu ventilacionih sistema, odnosi se na optimizaciju delimično regulisane raspodele vazduha u ventilacionoj mreži rudnika. Problem se svodi na određivanje vrednosti zapreminskih protoka u ograncima koji nisu unapred zadati, i određivanje pada pritiska na regulatorima protoka – prigušivačima, u slučaju negativne regulacije, odnosno određivanje pritiska pomoćnih ventilatora, u slučaju pozitivne regulacije protoka.

Osnovni cilj svakog ventilacionog sistema je distribuiranje adekvatne količine svežeg vazduha u lokalitete radilišta uz minimalnu angažovanu snagu, odnosno troškove ventilacije. Savremena istraživanja u analizi ventilacionih sistema pokazuju da ukupna snaga ventilacionih sistema može biti minimizirana selektivnim pozicioniranjem i dimenzionisanjem pomoćnih ventilatora i regulatora protoka (prigušivača) /61/, /102/, /103/, /104/. Da bi se obezbedila optimalna konfiguracija ventilacionog sistema potrebno je odrediti veličinu i lokacije pomoćnih ventilatora i regulatora protoka. U tom cilju neophodno je primeniti fleksibilan metod za rešavanje postavljenog problema.

U rudnicima gde se intenzivna eksploatacija vrši na velikim dubinama i gde su radilišta veoma udaljena od ulaza u jamu, potrebna je velika depresija glavnih ventilatora u cilju snabdevanja radilišta vazduhom. Ovako velika ukupna depresija ventilacionog sistema može da uslovi i velike padove pritiska



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

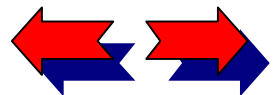
Index

duž puteva gubitaka vazduha i time povećanje troškova ventilacije. U navedenim slučajevima primena pomoćnih ventilatora postaje jedna od atraktivnih alternativa pri planiranju ventilacije rudnika.

Za razliku od glavnog ventilatora, koji zahvata ukupnu količinu vazduha, pomoćni ventilatori zahvataju samo deo ukupne količine vazduha kojom se provetrava ventilaciona mreža. Primarni cilj pomoćnih ventilatora je snabdevanje radilišta i otkopa adekvatnom količinom vazduha u slučajevima kada je to teško ili neekonomično ostvariti primenom samo glavnog ventilatora, usled velike ukupne depresije sistema izazvane raspodelom aerodinamičkih otpora ogranaka u ventilacionoj mreži. Pomoćni ventilatori, takođe, imaju za cilj i minimizaciju ukupne depresije glavnih ventilatora, kao i smanjivanje razlike pritisaka kroz puteve gubitaka vazduha u cilju smanjivanja ukupnih gubitaka u rudničkoj ventilacionoj mreži.

Ugradnja pomoćnih ventilatora, propisno lociranih, uz adekvatan monitoring i održavanje, predstavlja pouzdan metod za redukovanje ukupne angažovane energije kod velikih rudničkih ventilacionih sistema. Pomoćni ventilatori mogu da proizvedu značajne uštede u energiji, kada se porede sa ventilacionim sistemima provetravanim samo glavnim ventilatorima, a takođe, i omoguće poboljšanje komfornosti uslova rada na radilištima i otkopima.

U okviru programskog paketa SimVent, pri dobijanju alternativnih rešenja delimično regulisane raspodele vazduha, za određivanje vrednosti pritiska pomoćnih ventilatora kao i njihove lokacije, primenjen je genetski algoritam /61/, /102/, /103/, /104/.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Opravdanost primene predloženog pristupa rešavanja problema delimično regulisane raspodele vazduha u složenim rudničkim ventilacionim mrežama leži u mogućnosti uzimanja u obzir niza ograničenja u funkciji zahteva praktičnog problema. Na ovaj način se inženjerima ventilacije pružaju velike mogućnosti u izboru najpovoljnijeg rešenja iz niza alternativnih, sa aspekta ograničenja koje diktira tekuća inženjerska praksa.

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

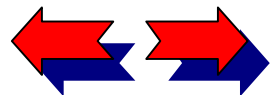
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

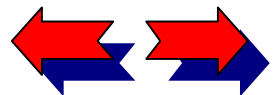
Index

## Primena genetskih algoritama

Genetski algoritmi su algoritmi za pretraživanje inspirisani Darwinovom teorijom evolucije. Metod se zasniva na postupku za slučajno generisanje familije (skupa) mogućih rešenja, od kojih svako predstavlja jedan član populacije - hromozom. U razmatranom kontekstu svako rešenje - hromozom predstavlja odgovarajuću kombinaciju "gena": pritiska glavnog ventilatora, pritiska pomoćnih ventilatora i lokacije pomoćnih ventilatora. Prilagođenost "fitnes" svakog rešenja određuje se u odnosu na kriterijumsku funkciju: ukupnu snagu pojedinačne kombinacije ventilatora. Manja snaga podrazumeva bolju prilagođenost rešenja. U svakom koraku procesa, nova rešenja se kreiraju sa ciljem da se dobije skup boljih rešenja. Proces kreiranja boljeg rešenja uključuje tri sistematska koraka: reprodukciju ukrštanje i mutaciju /61/, /102/, /103/, /104/.

Za implementaciju je korišćen Gene Hunter, programski paket za realizaciju genetskih algoritama. On se instalira kao Add-Ins u Excel, a takođe sadrži i dinamičku biblioteku (DLL) čije se funkcije mogu pozvati iz bilo kog programskog jezika u Windows okruženju. OOA model biblioteke GeneHunter je dat na slici 5.2.

Centralno mesto u modelu čini *Populacija* sa svojim atributima: veličinom populacije, brojem generisanih populacija u procesu evolucije i funkcijama: Reproduce i GetPopulParam. Završavanje procesa evolucije je zadato ili maksimalnim brojem generacija ili trajanjem evolucije u minutima.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

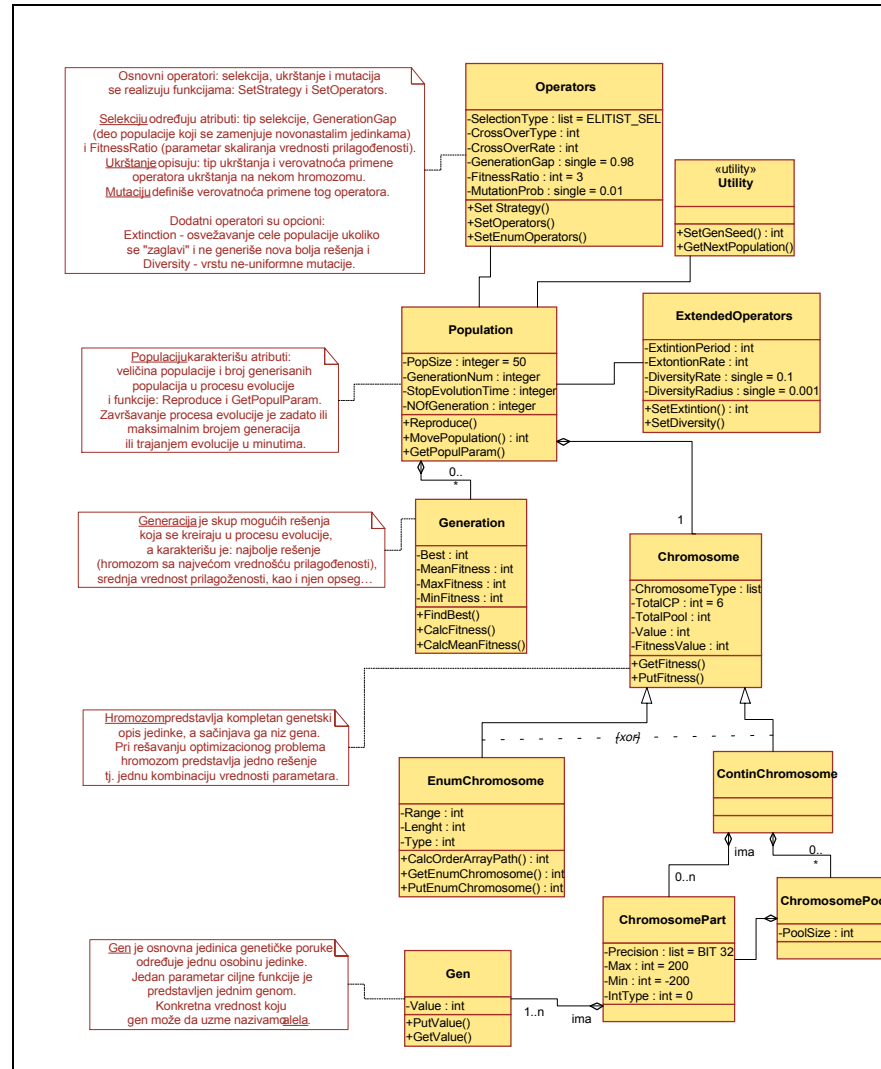
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

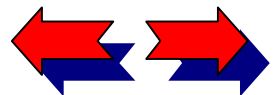
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



Slika 5.2. OOA model Genetske biblioteke sa konkretnim parametrima





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

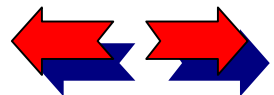
Index

Za osnovne operatore: selekciju, ukrštanje i mutaciju su definisane funkcije: *SetStrategy* i *SetOperators* u okviru klase *Operators*. Selekcija je opisana atributima: tip selekcije, *GenerationGap* parametrom koji ukazuje koliki deo populacije se zamenjuje novonastalim jedinkama posle svake generacije i *FitnessRatio* parametrom skaliranja fitnes vrednosti. Ukrštanje opisuju: tip ukrštanja i verovatnoća da će operator ukrštanja biti primenjen na nekom hromozomu, dok za mutaciju se definiše samo verovatnoća sa kojom se taj operator primenjuje. *ExtendedOperators* su opcioni i obuhvataju: *Extinction* – osvežavanje cele populacije ukoliko se “zaglavi” i ne generiše nova bolja rešenja i *Diversity* – vrstu ne-uniformne mutacije.

Tip hromozoma može biti kontinualni ili prebrojivi, što utiče na funkcije koje se koriste u procesu evolucije. Vrednost ciljne funkcije i fitnes vrednost su zajednički za oba tipa, kao i operacije nad njima. S obzirom da kod kontinualnih hromozoma možemo imati grupe gena sa istim karakteristikama: preciznost (8, 16 ili 32 bita), opseg i tip, moguće ih je grupisati u ranije pomenute sheme, koje se u ovom kontekstu označavaju kao *ChromosomePool*. Za rad sa hromozomima prebrojivog tipa su definisane specifične funkcije.

Svaku generaciju, koja se kreira u procesu evolucije, karakterišu: najbolje rešenje (hromozom sa najvećom fitnes vrednošću), srednja fitnes vrednost, kao i njen opseg.

U razmatranom kontekstu promenljive (geni), koje su predstavljene pritiscima glavnih i pomoćnih ventilatora i lokacijom pomoćnih ventilatora, se u prvom koraku kodiraju kao binarni nizovi. Populacija tih nizova (hromozoma), od kojih svako predstavlja moguće rešenje problema, se u početnoj fazi kreira slučajnim izborom. Parovi ovih nizova rešenja se potom sistematski kombinuju pri čemu potomstvo čini

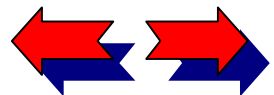




sledeću generaciju. Verovatnoća reprodukcije niza je proporcionalna kvalitetu rešenja, čime se obezbeđuje poboljšanje kvaliteta rešenja u nizu sukcesivnih generacija. Proces se završava kada se nađe prihvatljivo rešenje, ili nakon postizanja unapred zadatog broja iteracija.

Primenjena metodologija ilustrovan je na primeru određivanja rasporeda i veličine pomoćnih ventilatora u ventilacionom sistemu rudnika mrkog uglja "Soko". Na slici 5.3 data je kanonska šema ventilacije jame "Soko" na kojoj je prikazana raspodela vazduha. Rudnik "Soko" se provetrava jednim glavnim ventilatorom tipa TURMAG Gvhv 15-160 lociranim nad ventilacionim oknom. Glavni ventilator, u slučaju raspodele vazduha prikazane na kanonskoj šemi slika 5.3, ima sledeće radne parametre : ukupan zapreminski protok vazduha od  $43.83 \text{ m}^3/\text{s}$  i ukupnu depresiju od  $1321.78 \text{ Pa}$ . Otkopna radilišta u jami se provetravaju separatno aksijalnim ventilatorom tipa APXE-630. Raspored otkopnih radilišta kao i položaj ventilatora za separatno provetravanje, prema zahtevima tehničkih normativa, uslovljava zadate protoke vazduha u ventilacionom sistemu u ograncima 8 i 11 od  $8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Prikazana distribucija protoka vazduha određena je primenom metode Hardi Krosa. Iz prikazanih rezultata se može videti da se potrebna raspodela vazduha može ostvariti ugradnjom pomoćnih ventilatora u ograncima 8 i 11 u veličini od  $176.81 \text{ Pa}$  i  $56.56 \text{ Pa}$ . Inženjerska analiza predloženog reženja pokazuje nemogućnost praktične realizacije ovog rešenja i potrebu za alternativnim rešenjima. U tom cilju primenjen je genetski algoritam.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

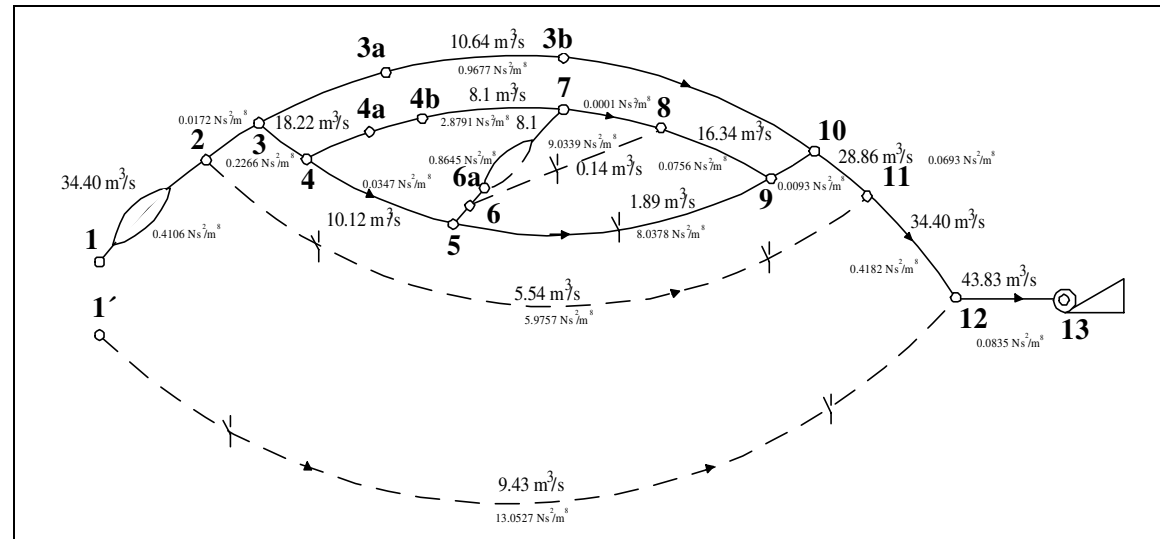
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

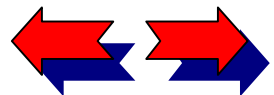
UML notacija

Index



Slika. 5.3 Kanonska šema ventilacije jame "Soko"

Za optimizaciju prikazane ventilacione mreže primenom genetskog algoritma kreirani su binarni nizovi dve promenljive. Promenljiva pritiska pomoćnog ventilatora varira u širokim granicama zadatih vrednosti od 10 Pa do 600 Pa. Promenljiva lokacije pomoćnog ventilatora uzima vrednost iz unapred zadatog niza ogranka u kojima je dozvoljena ugradnja pomoćnog ventilatora (ogranci 1, 3, 5, 7, 9, 14, 15, 16). Pritisak glavnog ventilatora je predstavljen pomoću karakteristične radne krive ventilatora, aproksimirane polinomom zavisnosti depresije ventilatora od protoka vazduha.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

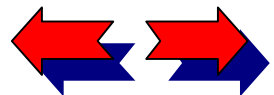
UML notacija

Index

Tabela 5.1.

Broj Ogranka	Poč. čvor	Kraj. Čvor	Otpor (Ns/m)	Protok u ogr. (m <sup>3</sup> /s)	Depresija (Pa)	Prirod. Depres. (Pa)	Depres. Regulat (Pa)	Depres. Pom. ventil. (Pa)
1	1	2	0.41	34.93	500.85	187.2		
2	1	12	13.05	9.24	1115.12	-78.2		
3	2	3	0.02	30.67	16.18	-269.6		
4	2	11	5.98	4.26	108.40	0		
5	3	4	0.23	25.52	147.59	284.6		
6	3	10	0.97	5.15	25.63	268.1		
7	4	5	0.03	17.42	10.53	-18.0		
8	4	7	2.88	8.10	188.90	-42.0	0.22	
9	5	6	0.12	12.31	18.33	-13.6		
10	5	9	8.04	5.11	209.97	-24.1		
11	6	7	0.86	8.10	56.72	-10.5	103.36	
12	6	8	9.03	4.21	160.09	-10.6		
13	7	8	0.00	16.20	0.03	0		
14	8	9	0.08	20.41	31.49	0		
15	9	10	0.01	25.52	6.06	26.2		348
16	10	11	0.07	30.67	65.17			
17	11	12	0.42	34.93	510.12	-261.1		
18	12	13	0.08	44.17	164.46	-7.2		

Za proračun fitnesa populacije korišćen je simulator ventilacije složenih ventilacionih mreža SimVent, baziran na primeni metode Hardi Krosa. Fitnes nizova rešenja u populaciji je određen kao ukupna angažovana snaga ventilacionog sistema odnosno zbir snaga glavnog i pomoćnog ventilatora. Rezultati



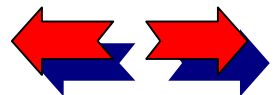
analize su prikazani u tabeli 5.1. Iz prikazanih rezultata se može videti da se potrebna raspodela vazduha može ostvariti ugradnjom pomoćnog ventilatora u ogranku 15.

Pri određivanju raspodele zapreminskih protoka vazduha u ventilacionoj mreži primenom simulatora ventilacije, dozvoljena je varijacija aerodinamičkih otpora u ograncima sa unapred zadatim zapreminskim protocima vazduha u cilju obezbeđivanja balansa protoka vazduha u ostalim ograncima mreže. Ukoliko je vrednosti dodatnog otpora u navedenim ograncima pozitivna, zahteva se regulator protoka, a ukoliko je negativna pomoćni ventilator. U skladu sa prethodnim proračun raspodele protoka vazduha u ventilacionoj mreži se vrši pri sledećim ograničenjima:

- ◆ ugradnja pomoćnih ventilatora nije dozvoljena u ograncima sa zadatim protocima vazduha i
- ◆ recirkulacija vazduha kroz puteve gubitaka vazduha nije dozvoljena.

Ukoliko se nakon proračuna raspodele protoka vazduha u ventilacionoj mreži odredi negativna vrednost otpora (ugradnja pomoćnog ventilatora) u ogranku sa zadatim protokom vazduha ili ukoliko se utvrdi recirkulacija vazduha kroz ogranak gubitka, fitnessu datog pojedinačnog rešenja se dodeljuje vrlo velika vrednost. U tom slučaju, verovatnoća da će genetski algoritam u proceduri reprodukcije izabrati dato rešenje je ekstremno mala.

Na slici 5.4 predstavljen je korisnički interfejs programa realizovanog u Windows okruženju korišćenjem Visual Basic-a i dinamičke biblioteke GeneHunter-a, sa rešenjima rasporeda i veličine



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

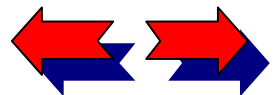
UML notacija

Index

pomoćnog ventilatora u ventilacionoj mreži, kojima se zadovoljavaju postavljeni uslovi. Sa ovog panela se, takođe, mogu videti i osnovni parametri korišćenog genetskog algoritma.



Slika 5.4. Osnovna forma korisničkog interfejsa



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

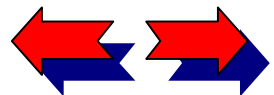
UML notacija

Index



Prikazani postupak dobijanja rešenja u velikoj meri uključuje različita ograničenja prema proceni tekuće inženjerske prakse. Ova činjenica ima veliki značaj u postojanju mogućnosti dobijanja alternativnih rešenja i izboru najpovoljnijeg sa aspekta složenih problema koje postavlja rudarska praksa.

- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index





## Metoda kritičnog puta

Metodom kritičnog puta može se projektovati regulisana raspodela u slučaju provetrevanja uz pomoć jednog ventilatora. Za određivanje optimalnih rešenja ventilacije sistema koristi se sledeći algoritam:

**Korak 1.** Vršiti se procedura numerisanja čvorova: broj ulaznog čvora je 1, a potom se numerišu svaki čvor ispod koga se nalazi već numerisan čvor. Procedura se vrši dok svi čvorovi ne budu numerisani. Svi ogranaci (i,j) zadovoljavaju uslov  $i < j$ , gde je i – početni čvor, a j – krajnji čvor.

### Procedura računanja unapred

**Korak 2.** Usvaja se  $p_1 = 0$ .

**Korak 3.** Izračunava se  $p_j$  za  $j = 2, 3 \dots n_n$  kao maksimalna vrednost od  $p_i + h_{o_{ij}}$  za sve ogranke (i,j) čiji je zadnji čvor j.

**Korak 4.** Računa se  $h_{r_{ij}} = p_j - p_i - h_{o_{ij}}$  za sve ogranke (i,j).

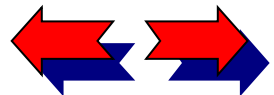
**Korak 5.** Zadaje se  $h_v = p_{n_n}$ .

### Procedura računanja unazad

**Korak 6.** Zadaje se  $p'_{n_n} = p_{n_n}$ .

**Korak 7.** Određuje se  $p'_i$  za  $i = n_n - 1, n_n - 2, \dots, 1$ , kao minimalna vrednost od  $p'_j - h_{o_{ij}}$  za sve ogranke (i,j) čiji je početni čvor i.

**Korak 8.** Računa se  $h'_{r_{ij}} = p'_j - p'_i - h_{o_{ij}}$  za sve ogranke (i,j).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Prikazanim algoritmom dobijaju se dva optimalna rešenja sa istom minimalnom vrednošću pritiska ventilatora  $h_v$ . Jedno rešenje dobija se procedurom računanja pritisaka u čvorovima unapred, u koraku 3 i 4, a drugo procedurom računanja unazad, u koraku 7 i 8. Prilikom izvršavanja ovog algoritma povratni lažni ogranak ( $n_n, 1$ ) može biti zanemaren.

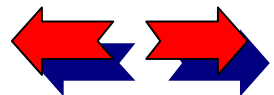
## Modeliranje i razvoj programskog paketa SimVent

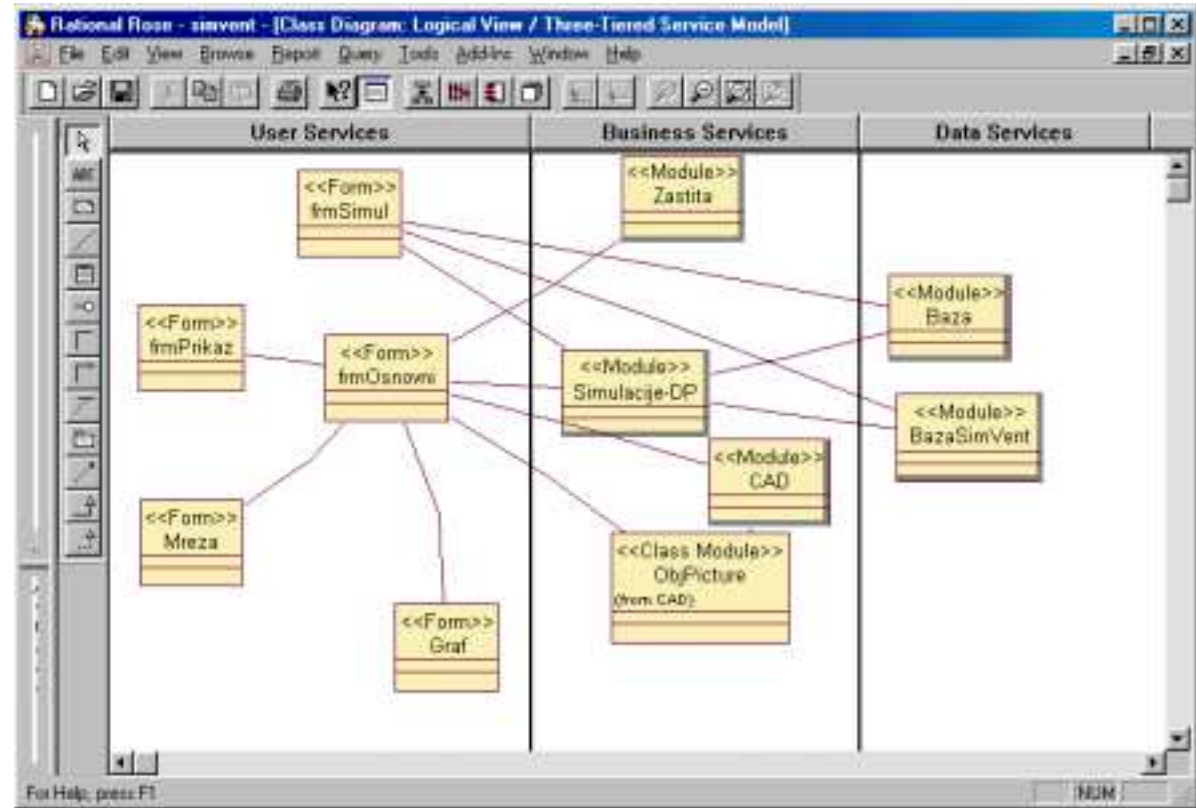
Pri razvoju sistema INVENTS korišćen je Objekto-orjentisani pristup u struktuiranju i modeliranju sistema kao strategija za definisanje modela procesa i podataka.

U okviru ove monografije za fazu analize razvoja softvera usvojen je UML (Unified Modeling Language) kao standardni jezik za vizuelizaciju, specifikaciju, konstruisanje i dokumentovanje činjenica o softveru. Vizuelno modeliranje sistema ima zadatak da korišćenjem prihvaćene standardne grafičke notacije definiše objekte i logiku realnog sistema.

Imajući u vidu da je SimVent razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0, prikaz ovog paketa dat je kroz UML notaciju u obliku troslojne arhitekture dijagrama klasa. Ova arhitektura podržava objektno-orijentisani pristup pri razvoju modela za kompleksne aplikacije. Njegova osnovna karakteristika je razdvajanje modela domena od korisničkog interfejsa. Model domena predstavljen je kroz radne servise i servise podataka, dok je korisnički interfejs predstavljen pomoću korisničkih servisa.

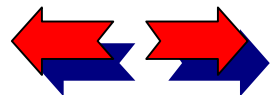
Na slici broj 5.5 prikazana je troslojna arhitektura dijagrama klasa paketa SimVent.





Slika 5.5 Troslojna arhitektura dijagrama klasa paketa SimVent

Kroz korisničke servise obezbedjuje se prezentiranje informacija i prikupljanje podataka. Oni služe i kao podrška poslovnim servisima kada se u ovim drugim pojavi potreba za prezentacijom poslovnih rezultata kao i za uključivanje korisnika u neku aplikaciju sa ciljem da se obezbedi odvijanje poslovnog procesa.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

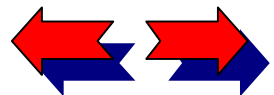
### UML notacija

### Index

U okviru korisničkih servisa SimVent-a izdvaja se pet klasa formi: frmOsnovni, frmPrikaz, frmSimul, Graf i Mreza. Navedene klase predstavljaju forme interfejsa za unos, pregled i pretraživanje potrebnih podataka, forme za crtanje linearne šeme ventilacionog sistema, forme za grafički prikaz rezultata kao i forme za komunikaciju sa drugim paketima u okviru hibridnog sistema INVENTS. Forme predstavljaju tipske objekte programskog jezika Visual Basic kojima se realizuje komunikacija aplikacije i korisnika. Ove klase komuniciraju sa klasama iz sloja Poslovnih servisa slanjem poruka čime iniciraju izvršavanje logike procesa aplikacije.

Klasa frmOsnovni predstavlja osnovnu formu interfejsa koja kao servise sadrži operacije vezane za grafičku interpretaciju predmetne ventilacione mreže, manipulaciju podacima kao i za komunikaciju sa klasama Poslovnih servisa. Klasa frmPrikaz predstavlja formu interfejsa kojom se prikazuju ulazni podaci i rezultati proračuna. Ova klasa sadrži operacije vezane za prikaz podataka. Klasa frmSimul predstavlja formu koja služi za unos podataka potrebnih za izvršavanje i izbor željene simulacije pri analizi ventilacionih mreža. Klasa Graf predstavlja formu za grafičke prezentacije rezultata izvršene simulacije, dok klasa Mreza formu za prikaz orjentisanog linearnog grafa analiziranog ventilacionog sistema.

U cilju ilustracije složenosti strukture navedenih klasa korisničkih servisa na slici 5.6 je prikazana klasa frmOsnovni sa svim operacijama u okviru ove klase.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

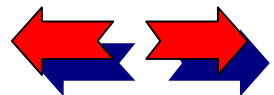
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



Slika 5.6 Klasa frmOsnovni sa svojim operacijama





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

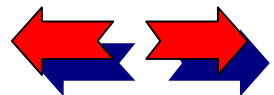
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

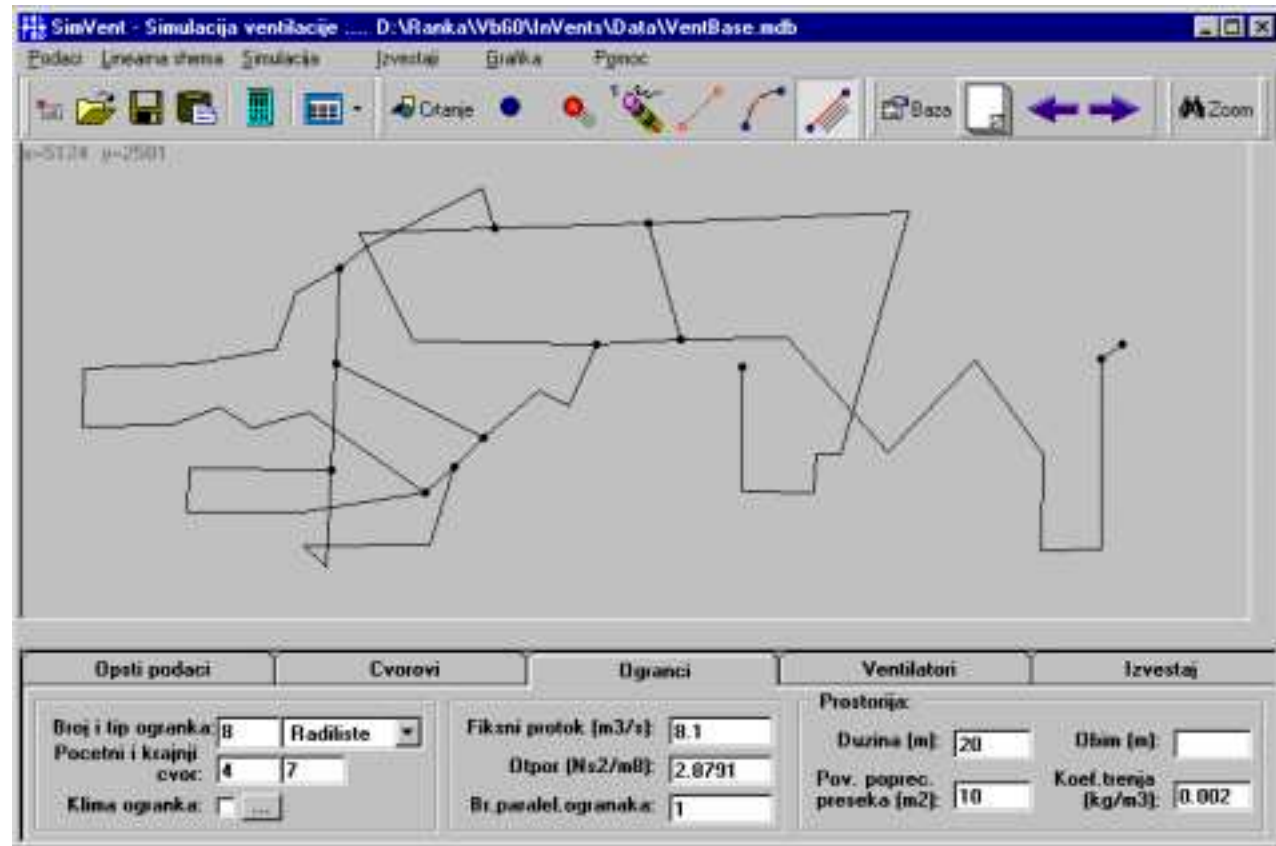
### UML notacija

### Index

Na slici 5.7 dat je prikaz osnovne forme interfejsa na kojoj se nalaze raznovrsne kontrole. Kontrole predstavljaju objekte dizajnirane za izvođenje određenih zadataka i omogućavaju na primer prikazivanje i editovanje teksta, prikazivanje slika, komuniciranje sa bazom podataka, kreiranje poslovnih dijagrama i dr. Ulazni podaci su grupisani u celine: opšti podaci, čvorovi, ogranci, ventilatori i prikazani su tabovanim panelima (sstab kontrolom) u dnu forme. Na centralnom delu osnovne forme postavljena je PictureBox kontrola na kojoj se crta linearna šema ventilacionog sistema. Cool bar kontrola sadrži četiri tool bar-a. Jedan kojim se poziva izvršavanje opštih operacija u paketu, drugi kojim se omogućava crtanje šeme u PictureBox-u, treći kojim se ostvaruju različiti načini zumiranja grafičke strukture na PictureBox-u i četvrti kojim se omogućava manipulisanje podacima u bazi odnosno kretanje kroz bazu, kreiranje novih slogova u tabelama baze, pretraživanje baze, brisanje i dr. CoolBar kontrola je kontrola koja služi za grupisanje drugih kontrola kao na primer toolbar kontrola. Toolbar omogućava kreiranje grupe grafičkih dugmića kojima se pristupa formama programa.

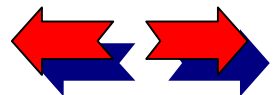
Poslovni servisi predstavljaju most između korisnika i servisa podataka. Oni se aktiviraju na zahtev korisnika (ili drugih poslovnih servisa) za realizacijom nekog zadatka u okviru poslovnog procesa primenom formalnih procedura i poslovnih pravila na relevantne podatke. Poslovni servisi oslobadaju korisnika od direktne manipulacije podacima u bazi podataka. Sa druge strane, kako se poslovna pravila menjaju češće od poslovnih procesa u kojima se ova pravila primenjuju, poslovni servisi omogućavaju razlaganje procesa na izolovane komponente nezavisno od opšteg toka odvijanja poslovnog procesa.





Slika 5.7. Osnovna forma interfejsa

U okviru Poslovnih servisa SimVent-a izdvaja se sedam klasa: Zaštita, Simulacije-DP, CAD, ObjPicture, ObjCvor, ObjOgranak i ObjPoint. Prve tri klase su moduli Visual Basic aplikacije dok su ostale moduli klasa i odnose se na crtanje i manipulaciju slikom linearne šeme ventilacije. Osnova logike



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

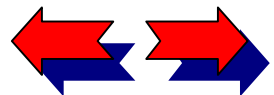
Index

proračuna distribucije protoka vazduha u složenim ventilacionim mrežama, detaljno opisana u predhodnim tačkama ovog poglavlja monografije, sadržana je u modulu Simulacije-DP.

Na slici 5.8 prikazana je klasa Simulacije-DP sa svim procedurama u okviru ove klase. Osim uobičajenih procedura za logičku kontrolu i manipulaciju sa bazom podataka na slici 5.9 dijagramom stanja je prikazan dinamički model ove klase koji obuhvata karakteristične procedure za izvršavanje logike modela proračuna distribucije protoka vazduha u složenim rudničkim ventilacionim mrežama.

U zavisnosti od izabrane opcije sa panela frmSimul za izvršavanje proračuna distribucije protoka pozivaju se opciono NetMain procedura za proračun delimično regulisane raspodele vazduha ili procedura ProjRaspodela za određivanje regulisane raspodele vazduha. Procedurom NetMain se ostvaruje kompleksan proračun koji obuhvata niz celina kao što su na primer: fitovanje krivih glavnih ventilatora, sortiranje ogranaka mreže po veličini aerodinamičkih otpora, konstrukcija minimalnog obuhvaćenog stabla mreže i proračuna distribucije protoka vazduha primenom metode Hardi Krosa. Navedene procedure su na slici 5.9 date u obliku dijagrama stanja pri izvršavanju opcije proračuna distribucije protoka vazduha u okviru modula Simulacije-DP.

Klasa modul Zaštita predstavlja modul Visual Basic-a koji obuhvata servise vezane za zaštitu softvera na osnovu kojih se daju prava korišćenja pune ili studentske verzije. Klasa modul CAD i klase ObjPicture, ObjCvor, ObjOgranak i ObjPoint omogućavaju crtanje i manipulaciju sa grafičkom strukturom linearne šeme ventilacije.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

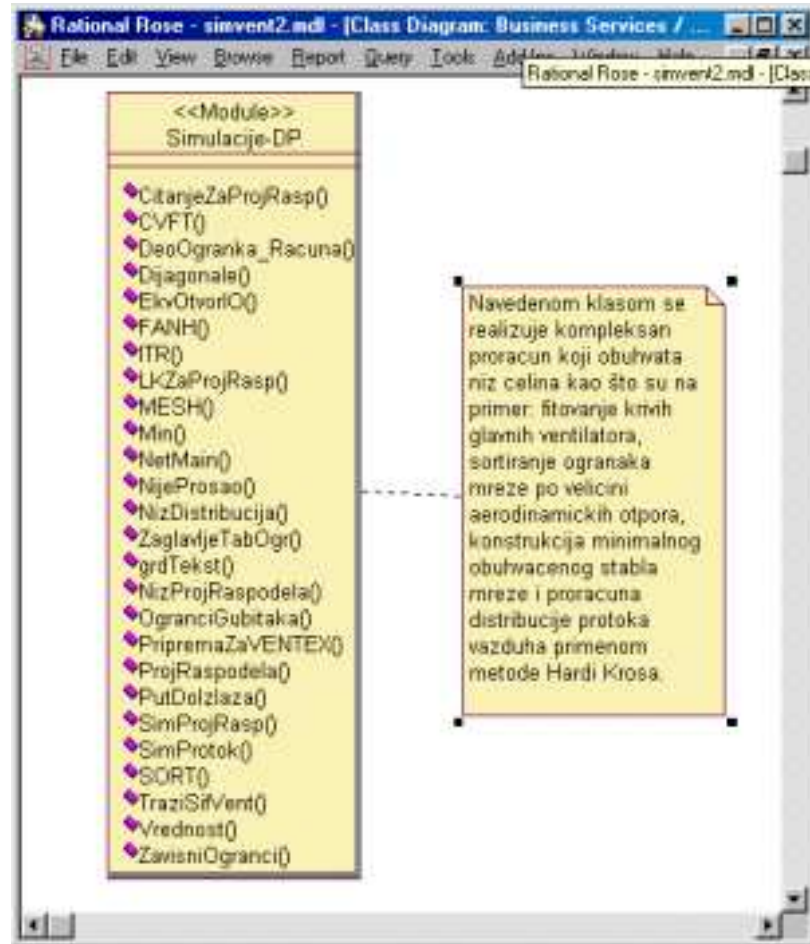
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

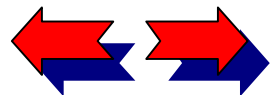
UML notacija

Index

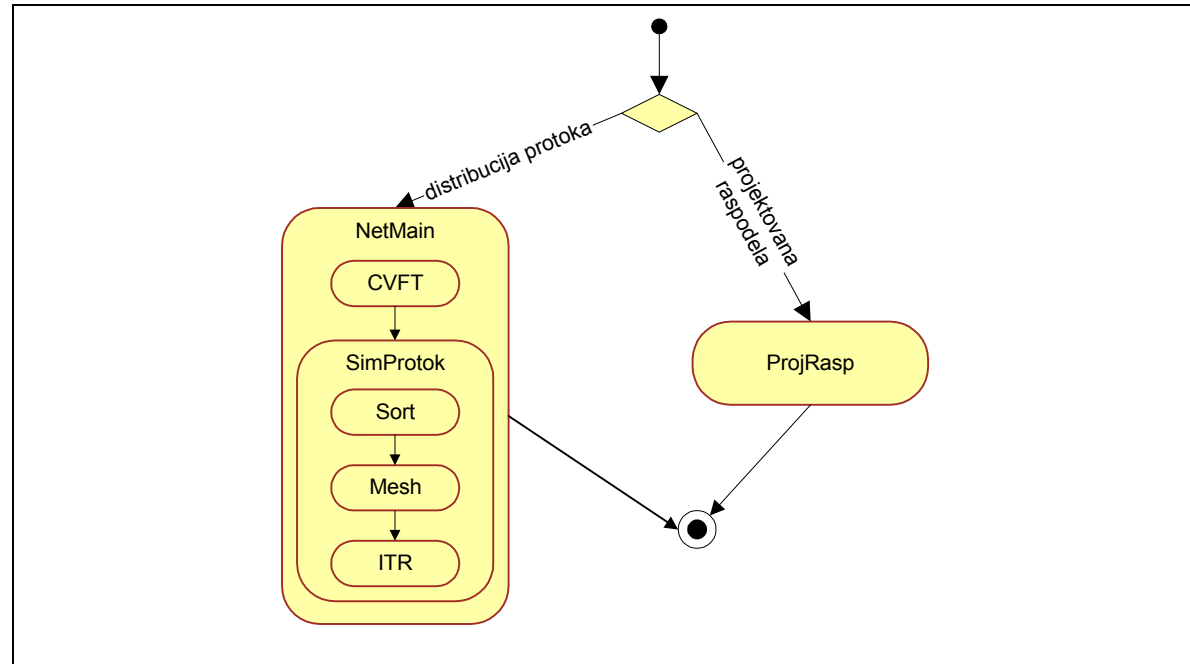
- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



Slika 5.8 Klasa Simulacije-DP sa svojim operacijama

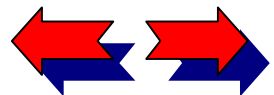






Slika 5.9 Dijagram stanja modela proračuna distribucije protoka vazduha

Servisi podataka obezbeđuju održavanje podataka, prsitup podacima i njihovo ažuriranje. Oni takođe upravljaju zahtevima za manipulaciju podacima koje postavljaju poslovni servisi. Izdvajanje servisa podataka kao posebne celine omogućava da se strukture podataka i mehanizmi za pristup podacima održavaju i modifikuju, odnosno, ako je to potrebno, da se njihova arhitektura potpuno restrukturiše, sve to bez ikakvih posledica na poslovne i korisničke servise.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

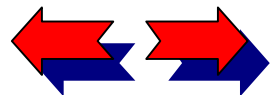
UML notacija

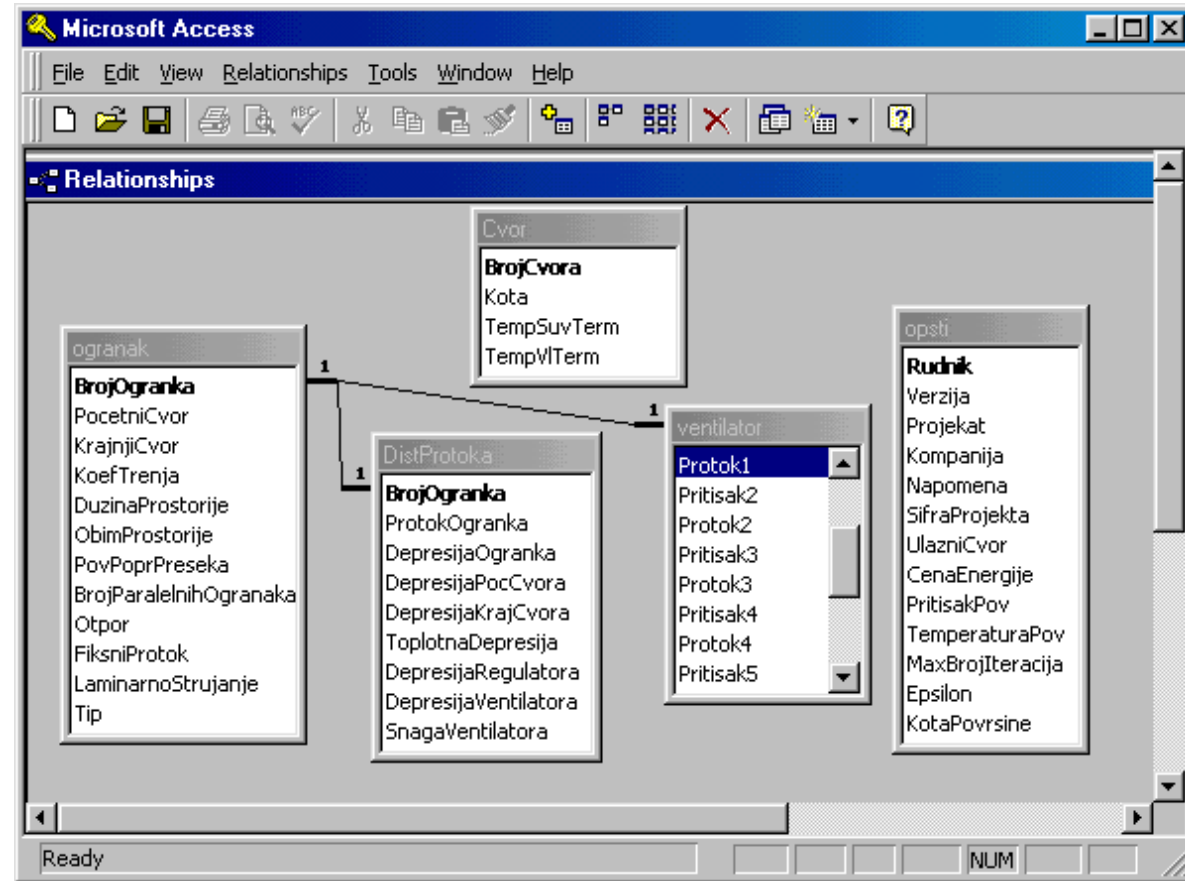
Index

Imajući u vidu da je sistem INVENTS koncipiran na jedinstvenoj bazi podataka u okviru servisa podataka SimVent-a definisane su dve klase: Baza i BazaSimVent, koje predstavljaju module. Modulom Baza omogućava se upravljanje zajedničkim podacima za ResNet i SimVent koji se nalaze u bazi podataka. Ovaj modul sadrži operacije za pretraživanje baze, brisanje podataka, unos podataka, editovanje, ažuriranje, sortiranje podataka i dr. Modul BazaSimVent obuhvata operacije karakteristične za manipulaciju podacima iz baze vezanim za paket SimVent.

S obzirom na složenost strukture podataka globalnog modela sistema INVENTS, koja je trebalo da izmodelira sve relevantne parametre složenih rudničkih ventilacionih mreža, projektovanje i realizacija baze podataka izvršena je u relacionom sistemu za upravljanje bazom podataka MSAccess. Ovaj sistem omogućava pouzdano arhiviranje podataka složenih modela podataka kakav je ovo slučaj, kao i sve procedure za manipulaciju podacima. Korišćenje SQL-a kao standardnog upitnog jezika za manipulisanje podacima omogućava se otvorenost hibridnog sistema INVENTS za povezivanje sa različitim okruženjima kao na primer ORACLE, SQL Server i dr.

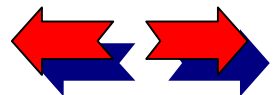
Na slici 5.10 prikazana je struktura dela baze podataka relevantnih za SimVent kroz panel Relationships MSAccess. Neophodno je naglasiti da će se u delovima ove monografije u kojima se opisuje baza podataka, a imajući u vidu da je sistem IVENTS realizovan nad jedinstvenom bazom podataka koja je veoma složena, u pojedinim poglavljima prikazivati samo pogledi na strukturu baze iz perspektive predmetne analize.





Slika 5.10 Struktura baze podataka za paket SimVent

Na slici 5.10 prikazane su tabele baze podataka sa atributima kao i definisane veze među tabelama. Baza podataka za SimVent sadrži sledeće tabele: Opšti, Ogranci, Cvor, Ventilator i DistProtoka. U



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

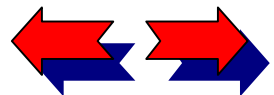
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

navedenim tabelama sa slike 5.9 prikazani su i svi atributi koji se odnose na pojedinačne podatke o ograncima i čvorovima mreže, kao i opšte podatke o rudniku i vrednostima karakteristične radne krive ventilatora. Svi obuhvaćeni i ovako grupisani podaci u potpunosti definišu ventilacionu mrežu za potrebe proračuna distribucije protoka vazduha u ventilacionom sistemu. Svaka tabela ima jedinstveni identifikator – primarni ključ tabele čija je uloga jednoznačna identifikacija sloga u tabeli (na primer ogranka u tabeli ogranaka , odnosno čvora u tabeli čvorova).

- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Poglavlje 6

# MODELIRANJE PROMENE KLIMATSKIH PRILIKA U RUDNIČKIM VENTILACIONIM MREŽAMA

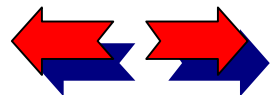
U ovom poglavlju opisan je savremen, kompjuterski orjentisan, pristup modeliranju prenosa toplote ventilacionim strujama kroz podzemne rudarske prostorije. Obrađen je nestacionarni prenos toplote uključujući postojanje dopunskih izvora toplote (od mašina) kao i rashladnih uređaja duž puta vazduha.

## SADRŽAJ

Mehanizam razmene toplote u rudničkim prostorijama.....187

Metodologija utvrđivanja promene klimatskih faktora.....215

Razvoj softvera za modeliranje klimatskih prilika.....228



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

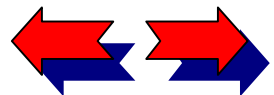
Index

## Mehanizam razmene toplote u rudničkim prostorijama

U ovom poglavlju opisan je savremen, kompjuterski orjentisan, pristup simulaciji prenosa toplote ventilacionim strujama kroz podzemne rudarske prostorije. Obraden je nestacionarni prenos toplote uključujući postojanje dopunskih izvora toplote (od mašina) kao i rashladnih uređaja duž puta vazduha.

Sva razmatranja koja baziraju na termodinamičkim i psihrometarskim analizama imaju za krajnji cilj utvrđivanje promena klimatskih parametara duž puta vazduha kroz rudarske prostorije. Relativna složenost matematičkog modela kao i primenjena metodologija određivanja klimatskih parametara rudničkog vazduha pretpostavlja neophodnost primene računara radi omogućavanja brzog i tačnog rešavanja ovako kompleksne teorije.

U savremenoj rudarskoj teoriji i praksi postoji niz kompjuterskih programa koji baziraju na teoriji koja će biti opisana u ovom poglavlju. Najpoznatiji od pomenutih programa su: TEMPRISE i TEMPNET /25/, CLIMSIM /71/, HEATFLOW, FRIDG5PC i ENVIRON (Environmental Engineering Laboratory Research Organization Chamber of Mine of South Africa), MIVENA (Sasaki, Miyakoshi, Mashiba 1995) i dr.





## Mehanizam prenosa toplote kondukcijom

### Furijev zakon kondukcije toplote

Analiziraćemo homogenu ploču kroz koju prolazi konstantan toplotni fluks  $q$ . Kako se to vidi na slici 6.1, temperatura će pasti od  $\theta_1$  na ulazu u ploču do  $\theta_2$  na izlazu, pri čemu se mogu zapaziti u materijalu ravni konstantne temperature, odnosno izoterme površi. Dve izoterme na kratkom međusobnom rastojanju  $dx$  poseduju temperature  $\theta$  i  $\theta+d\theta$  (sl. 6.1).

Toplotni fluks je veličina proporcionalna normalnoj površini  $A$  kroz koju prolazi količina toplote i razlici temperatura  $\theta$  između izotermi, odnosno:

$$q = -\lambda A \frac{d\theta}{dx}, \quad (6.1)$$

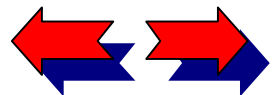
gde su:

$\lambda$  - koeficijent proporcionalnosti koji se naziva toplotna provodljivost, (W/mK),

$A$  - površina kroz koju prolazi toplotni fluks  $q$ , ( $m^2$ ),

$\theta$  - temperatura, ( $^{\circ}C$ ) ili (K),

$x$  - rastojanje, (m).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

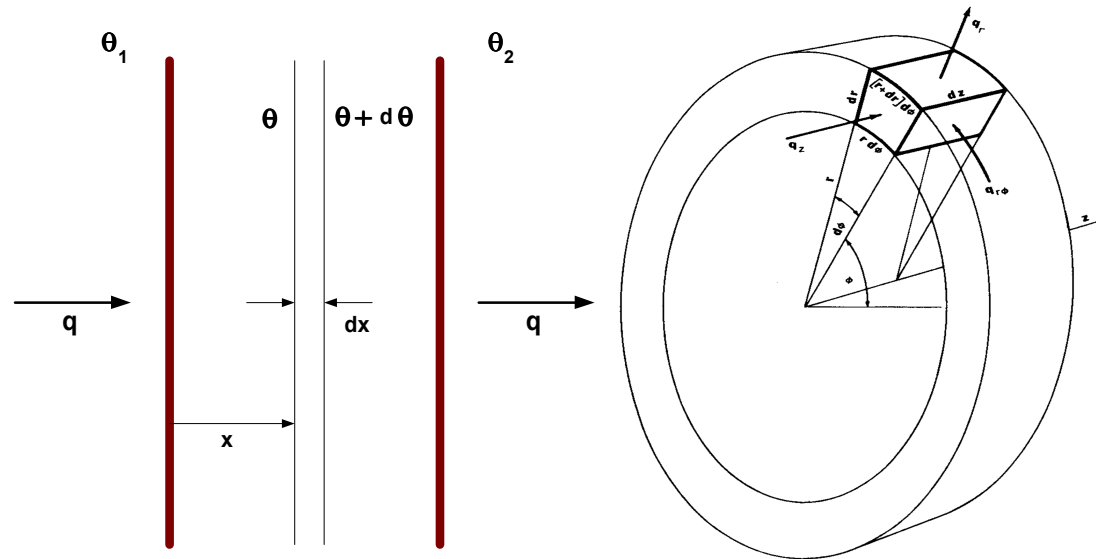
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

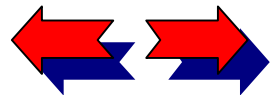
Izraz (6.1) predstavlja Furijeov (Fourier) zakon kondukcije toplote. Negativan znak u ovom izrazu definiše smanjenje temperature  $\theta$  u pravcu prenošenja toplote.

Toplotna provodljivost  $\lambda$  zavisi od vrste materijala, pravca toplotnog fluksa i od temperature. Najčešće se toplotna provodljivost usvaja kao konstantna veličina za svaki analizirani materijal.



Slika 6.1 Struja toplote kroz homogenu ploču

Slika 6.2 Radijalno strujanje toplote



## Trodimenzionalna struja toplote

Definisanje trodimenzionalne struje toplote u slučaju analize rudarskih ventilacionih puteva najčešće se vrši u polarnom koordinatnom sistemu. Na sl. 6.2 shematski je prikazana podzemna prostorija kroz koju prolazi vazduh. Položaj neke tačke u masivu se određuje koordinatama  $z$ ,  $r$  i  $\Phi$ ,

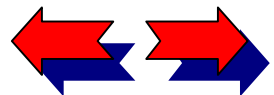
gde su:

- $z$  - centralna osa duž prostorije,
- $r$  - radijalno rastojanje od centralne linije, a
- $\Phi$  -ugao od horizontale meren u radijanima.

Analiziraćemo toplotni fluks koji prolazi kroz trapezoidni element u tankom prstenu stenskog masiva lociranom na rastojanju  $r$  od centralne linije. Dimenzije ovog elementa prikazane su na sl. 6.2. Ovaj toplotni fluks može da se odredi zbirom pojedinačnih prirasta toplote duž pravaca  $r$ ,  $\Phi$  i  $z$ .

Priraštaj unutrašnje energije u elementu duž pravca  $r$  određuje se na osnovu razlike toplotnog fluksa koji ulazi u element u pravcu ose  $r$ , i fluksa koji izlazi iz elementa u istom pravcu. Osnova elementa u pravcu ose  $r$  ima površinu  $r d\Phi dz$ . Zakrivljenost ove površi se može zanemariti zbog kratkog rastojanja. Toplotni fluks koji prolazi kroz ovu površinu, a prema izrazu (6.1) definiše se na sledeći način:

$$dq_{1,r} = -\lambda r d\Phi dz \frac{\partial \theta}{\partial r} , \quad (6.2)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Izlazna površina u pravcu ose  $r$  jednaka je  $(r+dr) d\Phi dz$ , a toplotni fluks kroz ovu površinu definiše se sledećim izrazom:

$$dq_{2,r} = -\lambda(r+dr)d\Phi dz \frac{\partial}{\partial r} \left( \theta + \frac{\partial \theta}{\partial r} dr \right) . \quad (6.3)$$

Priraštaj unutrašnje energije u elementu duž pravca  $r$  se, dakle, određuje na sledeći način:

$$du = dq_{1,r} - dq_{2,r} = \lambda r d\Phi dz \frac{\partial^2 \theta dr}{\partial r^2} + \lambda dr d\Phi dz \left( \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} dr \right) = \lambda dr d\Phi dz \left( \frac{r \partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) , \quad (6.4)$$

pošto je  $(dr^2)$  zanemarljivo.

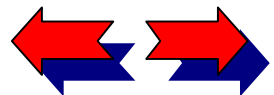
U pravcu  $\Phi$  toplotni fluks ulazi u element kroz površinu  $dr dz$  i izlazi kroz istu površinu. Važeći pravac porasta toplote je  $r\Phi$ , tako da je ulazni toplotni fluks u ovom pravcu jednak:

$$dq_{1,\Phi} = -\lambda dr dz \frac{\partial \theta}{\partial (r\Phi)} = -\lambda dr dz \frac{\partial \theta}{r \partial \Phi} , \quad (6.5)$$

dok se izlazni može definisati kao:

$$dq_{2,\Phi} = -\lambda dr dz \frac{\partial}{r \partial \Phi} \left( \theta + \frac{\partial \theta}{r \partial \Phi} r \partial \Phi \right) = -\lambda dr dz \left( \frac{\partial \theta}{r \partial \Phi} + \frac{\partial^2 \theta}{r \partial \Phi^2} \partial \Phi \right) . \quad (6.6)$$

Priraštaj unutrašnje energije u elementu duž pravca  $r\Phi$  određuje se na sledeći način:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$du = dq_{1,\Phi} - dq_{2,\Phi} = \lambda dr dz d\Phi \frac{\partial^2 \theta}{r \partial \Phi^2} . \quad (6.7)$$

Konačno, u pravcu ose z ulazna i izlazna površina su jednake i mogu se aproksimirati u obliku trapeza, jer je zakrivljenost osnovice zanemarljiva zbog kratkog rastojanja. Dimenzije osnovica trapeza su  $r d\Phi$  i  $(r+dr) d\Phi$  (sl. 6.2), a srednje linije:

$$\frac{r d\Phi + (r + dr) d\Phi}{2} d\Phi .$$

Zanemarujući proizvod diferencijala  $dr d\Phi$ , površinu u pravcu z ose možemo da izrazimo sa  $r d\Phi dr$ .

U ovom slučaju toplotni fluks, koji u pravcu z ose ulazi u element, jednak je:

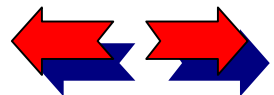
$$dq_{1,z} = -\lambda r d\Phi dr \frac{\partial \theta}{\partial z} , \quad (6.8)$$

a fluks koji izlazi:

$$dq_{2,z} = -\lambda r d\Phi dr \frac{\partial}{\partial z} \left( \theta + \frac{\partial \theta}{\partial z} dz \right) . \quad (6.9)$$

Priraštaj unutrašnje energije u elementu, u pravcu z ose, jednaka je:

$$dq_{1,z} - dq_{2,z} = \lambda r d\Phi dr dz \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} . \quad (6.10)$$





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Ukupni priraštaj unutrašnje energije u elementu kroz sva tri koordinatna pravca dobija se zbirom jednačina (6.4), (6.7) i (6.10), odnosno:

$$du = \lambda dr d\Phi dz \left( r \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{r \partial \Phi^2} + r \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right), \quad (6.11)$$

Priraštaj unutrašnje energije u elementu se posmatra u vremenu i izražava se na sledeći način:

$$du = dm c \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (6.12)$$

gde su:

$dm$  - masa elementa,

$c$  - specifična toplota materijala.

Masa elementa se može izraziti kao:

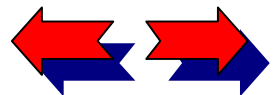
$$dm = \rho dV = \rho r dr dz d\Phi,$$

gde su:

$V$  - zapremina elementa,

$\rho$  - gustina.

Tada je moguće priraštaj unutrašnje energije u elementu izraziti kao:



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$du = r dr dz d\Phi \rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} . \quad (6.13)$$

Izjednačavanjem jednačina (6.11) i (6.13) dobija se:

$$\lambda \left( r \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{r \partial \Phi^2} + r \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = r \rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} , \quad (6.14)$$

$$\frac{\lambda}{\rho c} \left( r \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{r \partial \Phi^2} + r \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} . \quad (6.15)$$

Jednačina (6.15) predstavlja jednačinu nestacionarnog konduktivnog prenosa toplote izraženom u odnosu na polarni cilindrični koordinatni sistem.

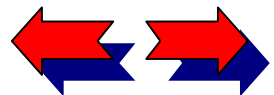
U rudarskoj teoriji i praksi, u većini slučajeva, moguće je uvesti sledeća uprošćavanja:

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0 ,$$

kao i

$$\frac{\partial \theta}{\partial \Phi} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \Phi^2} = 0 .$$

Ova uprošćavanja baziraju se na činjenici da je geotermiski gradijent manji od radijalne promene temperature stena oko prostorija velike dužine.



Uprošćena jednačina (6.15) ima sledeći oblik:

$$\frac{\lambda}{\rho c} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (6.16)$$

Količnik  $\lambda/\rho c$  predstavlja karakteristiku tela, koja se naziva toplotna difuzivnost i označava se sa  $a$  ( $m^2/s$ ).

Jednačina nestacionarnog konduktivnog prenosa toplote, konačno, dobija sledeći oblik:

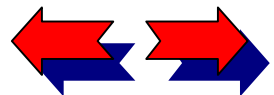
$$a \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (6.17)$$

Ovakav oblik jednačine predstavlja teorijsku osnovu za određivanje prenosa toplote kroz stenski masiv u svim, već pomenutim, kompjuterskim programima.

### Stacionarni konduktivni prenos toplote

Proces provođenja toplote kondukcijom, pri kome je temperatura u bilo kojoj tački konstantna u vremenu, naziva se stacionarni konduktivni prenos toplote. U ovom slučaju je  $\partial \theta / \partial t = 0$ , tako da se jednačina (6.17) transformiše u Laplasovu jednačinu:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} = 0 \quad (6.18)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamiсe fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

ili pomnoženo sa r

$$r \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} = 0 \quad . \quad (6.19)$$

Prikazane jednačine definišu promenu temperature  $\theta$  u pravcu poluprečnika od centralne linije vazdušne struje.

Uvođenjem smene:

$$s = r \frac{\partial \theta}{\partial r} \quad , \quad (6.20)$$

i njenim diferenciranjem po r, dobija se:

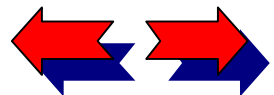
$$\frac{\partial s}{\partial r} = r \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} \quad . \quad (6.21)$$

Iz jednačine (6.21), a prema (6.19), sledi da je:

$$\frac{\partial s}{\partial r} = 0 \quad ,$$

odnosno  $s = \text{const.} = b$ .

Na osnovu prethodnog, može da se napiše:



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$b = r \frac{\partial \theta}{\partial r} , \quad (6.22)$$

odnosno,

$$\partial \theta = b \frac{\partial r}{r} . \quad (6.23)$$

Izraz koji definiše promenu temperature dobija se integraljenjem jednačine:

$$\theta = b \ln(r) + C , \quad (6.24)$$

gde je  $C = \text{const.}$

Vrednosti konstanti  $b$  i  $C$  određuju se bušenjem bušotina u stenskom masivu u pravcu radijusa prostorije, i merenjem temperatura  $\theta_1$  i  $\theta_2$  na različitim poluprečnicima  $r_1$  i  $r_2$ .

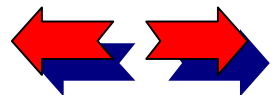
U tom slučaju vrednosti temperatura  $\theta_1$  i  $\theta_2$  su:

$$\theta_1 = b \ln(r_1) + C , \quad (6.25)$$

i

$$\theta_2 = b \ln(r_2) + C . \quad (6.26)$$

Vrednost konstante  $b$  možemo odrediti iz sledeće razlike:





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\theta_1 - \theta_2 = b \ln \left( \frac{r_1}{r_2} \right) , \quad (6.27)$$

odakle je:

$$b = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \left( \frac{r_1}{r_2} \right)} . \quad (6.28)$$

Vrednost konstante D definišemo iz izraza (6.25), ili

$$C = \theta_1 - b \ln(r_1) , \quad (6.29)$$

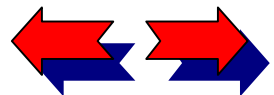
Zamenom izraza za b i C u jednačini (6.24) dobija se:

$$\theta = b \ln(r) + \theta_1 \ln(r_1) , \quad (6.30)$$

odnosno,

$$\theta = b \ln \left( \frac{r}{r_1} \right) + \theta_1 = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \left( \frac{r_1}{r_2} \right)} \ln \left( \frac{r}{r_1} \right) + \theta_1 . \quad (6.31)$$

Na osnovu izraza (6.31) nakon merenja  $\theta_1$  i  $\theta_2$  u bušotinama različitih poluprečnika  $r_1$  i  $r_2$  moguće je odrediti ukupnu promenu temperature  $\theta$  u funkciji od  $r$ .



## Rešavanje jednačine konduktivnog prenosa toplote

U cilju uopštavanja i olakšavanja analize prenosa toplote, jednačina konduktivnog prenosa definisana u obliku (6.17) najčešće se izražava kao funkcija bezdimenzionih veličina radijusa i vremena. Tada, ova jednačina dobija sledeći oblik:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r_b^2} + \frac{1}{r_b} \frac{\partial \theta}{\partial r_b} = \frac{\partial \theta}{\partial F_o} \quad , \quad (6.32)$$

gde su:

$r_b$  - bezdimenzioni poluprečnik,  $r_b = r / r_s$  ,

$r_s$  - efektivni poluprečnik vazdušne struje (obim/ $2\pi$ ),

$F_o$  - bezdimenziono vreme (često se naziva Furijeov broj),

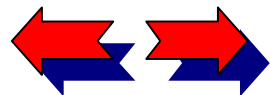
$$F_o = \frac{at}{r_s^2} \quad .$$

Pri rešavanju jednačine (6.32) javljaju se integracione konstante, koje se određuju iz graničnih uslova.

Ovi uslovi za rudarske ventilacione struje imaju sledeći oblik:

(a)  $\theta = \theta_{st}$  (temperatura stena) kada je  $F_o=0$ , za  $r>r_s$  ( $r_b>1$ ),

(b)  $\theta \rightarrow \theta_{sr}$  kada  $r \rightarrow \infty$  za svako  $F_o$ .



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Veličina toplotnog fluksa, koji prolazi kroz jediničnu površinu stene, određuje se na osnovu Furijeovog zakona, a prema sledećem izrazu:

$$q = \lambda \frac{\partial \theta}{\partial r}, \quad (\text{W/m}^2), \quad (6.33)$$

gde je  $\partial \theta / \partial r$  - vrednost temperaturnog gradijenta na površini stene.

Isti toplotni fluks, prolaskom kroz granični sloj u vazдушnu struju, može da se izrazi kao:

$$q = \alpha(\theta_{ps} - \theta_s), \quad (\text{W/m}^2), \quad (6.34)$$

gde su:

$\theta_{ps}$  - temperatura površine stene ( $^{\circ}\text{C}$ ),

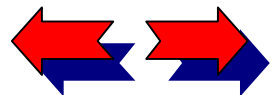
$\theta_s$  - temperatura po suvom termometru glavne vazdušne struje ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$\alpha$  - koeficijent prelaženja toplote je složena funkcija brzinskog i temperaturnog polja u fluidu, kao i geometrijskih uslova strujanja ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ).

Izjednačavanjem jednačina (6.33) i (6.34) dobija se:

$$\lambda \frac{\partial \theta}{\partial r} = \alpha(\theta_{ps} - \theta_s), \quad (\text{W/m}^2), \quad (6.35)$$

Ukoliko se temperaturni gradijent izrazi u bezdimenzionalnom obliku:



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$G = \frac{\partial \theta}{\partial r} \frac{r_s}{\theta_{st} - \theta_s} , \quad (6.36)$$

iz jednačine (6.35) sledi da je:

$$G(\theta_{st} - \theta_s) = \frac{\alpha r_s}{\lambda} (\theta_{ps} - \theta_s) , \quad (6.37)$$

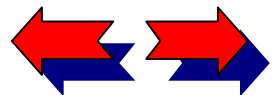
gde je  $\alpha r_s / \lambda = B_i$  - bezdimenzioni koeficijent prenosa toplote ili Biov (Biot) broj, odnosno:

$$\theta_{ps} = \frac{\lambda}{\alpha r_s} G(\theta_{st} - \theta_s) + \theta_s . \quad (6.38)$$

U jednačini (6.38) nepoznate veličine su  $\theta_{ps}$  i  $G$ . Ukoliko je temperatura površine stene poznata, na osnovu jednačine (6.34) moguće je odrediti vrednost toplotnog fluksa. U tom slučaju problem se svodi na određivanje temperaturnog gradijenta iz jednačine (6.32).

Rešenje jednačine radijalnog konduktivnog prenosa toplote (6.32) definisali su Kerijer (Carrier) (1940), Goš (Goch) i Peterson (Patterson) (1940) i Kerslou (Carslaw) i Jeger (Jaeger) (1956) i utvrdili tabele i grafike za određivanje temperaturnog gradijenta na osnovu poznatih vrednosti Furijeovog broja ( $F_o$ ) i Biovog (Biot) broja ( $B_i$ ).

Razvojem digitalnih računara posle 1960. god. predhodno pomenute tabele definisane su u kompjuterskom kodu (Starfild (Starfield) i Dikson (Dickson) 1967), a kasnije i zamenjene efikasnijim procedurama za brži proračun (Starfild 1969).



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

U savremenim kompjuterskim programima za simulaciju klimatskih parametara u rudarskim vazдушnim strujama, primenjuje se, pri određivanju temperaturnog gradijenta  $G$ , procedura koju je razvio Gibson (Gibson) (1976). Ova procedura primenjuje rešenje jednačine radijalne kondukcije toplote (6.32), koje su definisali Kerslou i Jeger (1956) u sledećem obliku:

$$G = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{e^{-v^2 F_0} dV}{[I_0(V) + V/DI_1(V)]^2 + [Y_0(V) + V/DY_1(V)]^2 V'}$$

gde su:

$I_0$ ,  $I_1$ ,  $Y_0$  i  $Y_1$  - Bessel-ove funkcije, a

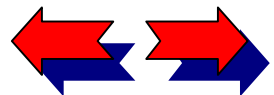
$V$  - integraciona promenljiva.

Navedeni autori su metodom Laplasovih (Laplace) transformacija dobili integralno rešenje, u kome figurišu Besselove (Bessel) funkcije.

Gibson je, koristeći metodu surface mapping methods, razvio algoritam za određivanje bezdimenzionalnog temperaturnog gradijenta, koji se sastoji u sledećem:

$$F_0 = \frac{\alpha t}{r_s^2} \quad (\text{Furijev broj}) ,$$

$$B_i = \frac{\alpha r_s}{\lambda} \quad (\text{Biov broj}) ,$$





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$x = \log(F_o) \quad , \quad y = \log(B_i) \quad ,$$

$$c = -x[x(xc - 0.046223) + 0.315553] + 0.006003 \quad ,$$

$$c = x(0.000104x + 0.000997) - 0.001419 \quad ,$$

$$d = y - (xc - 4x - 34) - 5 / 120 \quad ,$$

$$d = 0.949 + 0.1 \exp(-2.69035d^2) \quad ,$$

$$m = \text{sqr} \left\{ (y - c)^2 + \frac{216 + 5x}{70} \left[ 0.0725 + 0.01 \tan^{-1} \left( \frac{x}{0.7048} \right) \right] \right\} \quad ,$$

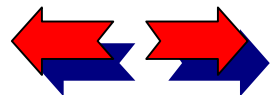
$$n = (y + c - m) / 2 \quad ,$$

$$G = 10^n / d \quad .$$

Prikazani algoritam se vrlo uspešno može koristiti u iterativnoj proceduri obezbeđujući veliku tačnost.

## Razmena toplote između stenskog masiva i vazduha

U podzemnim rudarskim prostorijama se na kontaktu između stena i vazdušne struje formiraju brzinski, temperaturni i koncentracijski granični slojevi koji se mogu definisati krivama gradjenata brzine vazdušne struje, temperature i pritiska vodene pare. Na slici 6.3 prikazane su krive promene brzine vazduha, temperature i pritiska vodene pare u graničnim slojevima.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

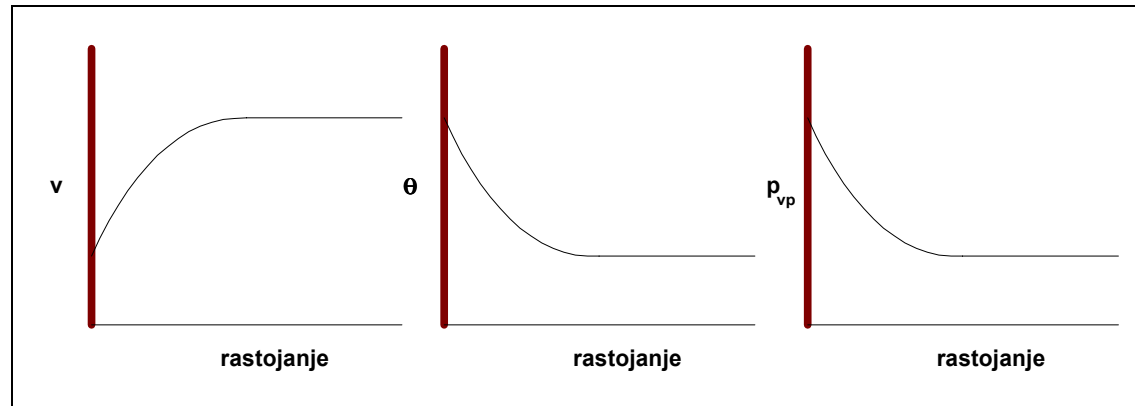
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

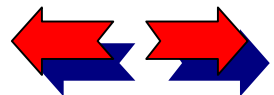
Prenošenje toplote stenskog masiva, kroz suhu površinu stena u rudarskim prostorijama, zavisi od gradijenta brzine vazdušne struje i temperature u graničnim slojevima. U ovom slučaju prenošenje toplote kroz granični sloj se uglavnom vrši konvekcijom, međutim prisutni su i procesi radijacije i kondukcije. Prenošenje toplote kroz vlažnu površinu se osim navedenih procesa vrši i isparavanjem. Ovaj slučaj definiše kriva promene pritiska vodene pare (sl. 6.3) u graničnom sloju od vlažne površine zida prostorije ka unutrašnjosti vazdušne struje.



Slika 6.3 Krive promene brzine vazduha, temperature i pritiska vodene pare u graničnim slojevima

### Prenošenje toplote kroz suhu površinu stene

Poznavanjem bezdimenzionog gradijenta stenskog masiva ( $G$ ), temperaturu suve površine zida prostorije ( $\theta_{ps}$ ), možemo odrediti iz izraza (6.38), a toplotni fluks kroz jediničnu površinu iz izraza (6.34).



Kombinovanjem pomenutih izraza može da se izvede sledeći izraz za određivanje toplotnog fluksa koji prolazi kroz suhu površinu stene:

$$q = \frac{\lambda G}{r_s} (\theta_{st} - \theta_s) \quad . \quad (6.39)$$

U izrazima (6.34) i (6.38) figuriše koeficijent prelaženja toplote  $\alpha$ . Ovaj koeficijent definiše prenos toplote od površine stenske mase kroz granični sloj do vazdušne struje. Njegova veličina zavisi uglavnom od brzine vazdušne struje i hrapavosti zidova prostorija. Povećanjem brzine strujanja, smanjuje se debljina graničnog sloja, što uslovljava strmiji oblik krive gradijenta brzine. U slučaju veće hrapavosti, površina zidova prostorije se povećava, a time se povećava i efektivna površina prenosa toplote.

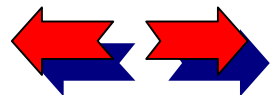
U većini kompjuterskih programa koeficijent prenosa toplote se određuje prema sledećem empirijskom obrazcu (Skot 1958):

$$\alpha = 3540 K v \quad , \quad (6.40)$$

gde su:

$K$  - koeficijent trenja prostorije ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  - srednja brzina vazduha ( $\text{m/s}$ ).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Prenošenje toplote kroz vlažnu površinu stene

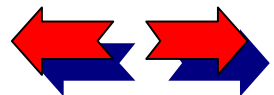
Pri prenošenju toplote kroz vlažnu površinu stene, toplota koja dospeva do njene površine povećava kinetičku energiju molekula vode sve dok ovi molekuli ne pređu u molekule vodene pare (isparavanje). Pritisak vodene pare definiše koncentraciju njenih molekula tako da je u procesu isparavanja pritisak vodene pare u blizini površine stene viši nego u središtu vazdušne struje (sl. 6.3). U slučaju procesa kondenzacije dešava se suprotno.

Prenošenje toplote stene kroz vlažnu površinu u vazdušnu struju vrši se konvektivnim prenosom toplote i isparavanjem. Na sl. 6.4 prikazana je shema prenošenja toplote kroz vlažnu površinu. Da bi bili precizniji potrebno je naglasiti da konvektivni prenos uključuje takođe i radijaciju i kondukciju kroz granični sloj.

Količina toplote ( $q_{st}$ ), koja se prenosi sa vlažne površine stene, jednaka je zbiru toplote koja se prenosi konvekcijom ( $q_c$ ) i latentne toplote isparavanja ( $q_L$ ), odnosno:

$$q_{st} = q_c + q_L \quad . \quad (6.41)$$

Sve vrednosti količina toplote u izrazu (6.41) zavise od temperature vlažne površine stene  $\theta_{vp}$ . Da bi bilo moguće rešavanje jednačine prenosa toplote definisane izrazom (6.41), neophodno je odrediti vrednost ove temperature ( $\theta_{vp}$ ). U tom smislu ćemo analizirati svaku od veličina koje figurišu u jednačini (6.41).



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamiсe fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

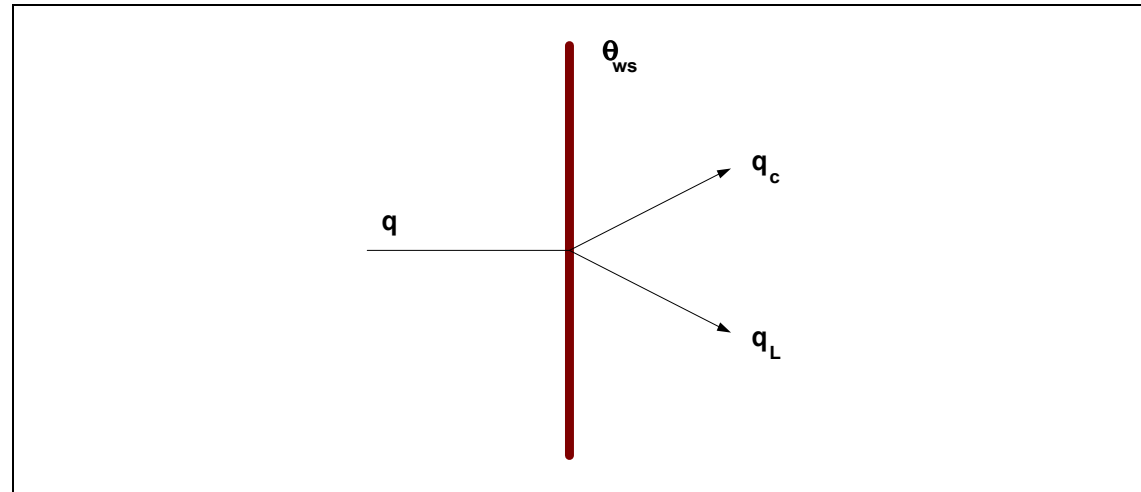
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



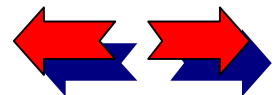
Slika 6.4 Prenos toplote kroz vlažnu površinu stene

### Toplota koja se prenosi sa masiva

Prenošenje toplotnog fluksa sa stene kroz suhu površinu definiše sledećim izrazom:

$$q = \frac{\lambda G}{r_s} (\theta_{st} - \theta_s) \quad (6.42)$$

Izraz  $(\theta_{st} - \theta_s)/r_s$  sadrži poznate parametre, koji omogućavaju definisanje bezdimenzionog temperaturnog gradijenta stena  $G$ . U slučaju prenošenja toplote kroz vlažnu površinu, temperatura ove



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

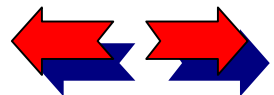
površine biće niža nego suve, usled hlađenja isparavanjem. Dakle, temperaturni gradijent u steni će rasti dajući veći toplotni fluks  $q_{st}$ .

Proračun vrednosti temperaturnog gradijenta  $G$  se vrši kao funkcija difuzivnosti stene (toplotne provodljivosti, gustine i specifične toplote suve stene) i starosti radova, pri čemu se ne uzima u obzir dodatni efekat hlađenja na vlažnoj površini stene. Utvrđivanje povećanja toplotnog fluksa, koji se prenosi iz masiva preko vlažne površine stene, vrši se korišćenjem vrednosti  $G$  za suhu stenu, uz kompenzaciju toplotnog fluksa  $q_{st}$  izborom vrednosti temperature vazduha koja je niža od normalne temperature suvog termometra. Ovu redukovanu temperaturu nazivamo "pseudo osnovna temperatura" i označavamo je sa  $\theta_o$ . Tada toplotni fluks od stenskog masiva, koji se prenosi preko vlažne površine stena, možemo predstaviti u sledećem obliku:

$$q = \frac{\lambda G}{r_s} (\theta_{st} - \theta_s) \quad (6.43)$$

Pseudo osnovna temperatura je temperatura suvog termometra one vazdušne struje koja prelazi preko suve površine stena. U ovom slučaju veličina toplotnog fluksa je ista kao pri prenošenju toplote sa posmatrane vlažne površine. Ova temperatura se određuje izjednačavanjem količina toplote definisanih izrazima (6.34) i (6.39), odnosno:

$$q = \alpha (\theta_{vp} - \theta_o) = \frac{\lambda G}{r_s} (\theta_{st} - \theta_o) \quad (6.44)$$



odakle sledi da je:

$$\theta_o = \frac{\theta_{vp} \alpha r_s - \lambda G \theta_{st}}{\alpha r_s - \lambda G} , \quad (6.45)$$

### Konvektivno prenošenje toplote

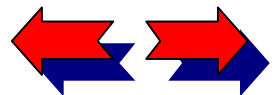
Prenošenje toplote sa vlažne površine stena kroz granični sloj konvekcijom, radijacijom i kondukcijom možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$q_c = \alpha_v (\theta_{vp} - \theta_s) , \quad (6.46)$$

gde je  $\alpha_v$  - ukupni koeficijent prenosa toplote kroz vlažnu površinu stene.

Uspešno rešavanje problema koji nastaje pri određivanju koeficijenta prenosa toplote kroz vlažnu površinu, vrši se proračunom vrednosti ovog koeficijenta izrazom za suhu površinu (6.40) uz odgovarajuću vrednost brzine vazdušne struje i određenu kompenzaciju korišćenjem pseudo osnovne temperature. Izraz (6.46) tada dobija sledeći oblik:

$$q_c = \alpha (\theta_{vp} - \theta_o) . \quad (6.47)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Latentna toplota isparavanja $q_L$ :

Prenos toplote isparavanjem definiše se sledećim izrazom:

$$q_L = L\beta \frac{p_s - p_{vp}}{p} , \quad (6.48)$$

gde su:

$L$  - latentna toplota isparavanja vode na temperaturi vlažne površine, J/kg,

$\beta$  - koeficijent prenosa mase, (kg/m<sup>2</sup>s),

$p_s$  - parcijalni pritisak vodene pare u zasićenom vazduhu na temperaturi vlažne površine stene, (N/m<sup>2</sup>),

$p_{vp}$  - parcijalni pritisak vodene pare u nezasićenoj vazdušnoj struj, (N/m<sup>2</sup>),

$p$  - barometarski pritisak, (N/m<sup>2</sup>).

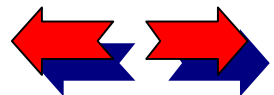
Koeficijent prenosa mase određuje brzinu difuzije molekula vode kroz granični sloj vodene pare. Eksperimentalnim ispitivanjima je utvrđeno da je ovaj koeficijent direktno proporcionalan koeficijentu konvektivnog prenosa toplote  $\alpha$  (Willier, 1982.),

odnosno:

$\beta = \text{const.} \times \alpha$  gde je:  $\text{const.} = C c_p L_e$ ,

$C$  - psihrometerska konstanta,  $C = 0.000644$  °C,

$c_p$  - specifična toplota vazduha,  $c_p = 1005$  J/(kg K),



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$L_e$  - Lewis-ov broj,  $L_e=1.07$  za difuziju vodene pare u vazduhu.

Vrednost proizvoda  $const.= Cc_p L_e$  možemo približno zaokružiti na 0.7, te se koeficijent prenosa mase može aproksimirati sledećim izrazom:

$$\beta = 0.7 \alpha \quad (6.49)$$

Parcijalni pritisak vodene pare u nezasićenom vazduhu na temperaturi vlažne površine i parcijalni pritisak vodene pare u vazdušnoj struji određuju se prema sledećim psihrometarskim jednačinama:

$$p_s = 610.1 \exp \left\{ \frac{17.27 \theta_{vp}}{237.3 + \theta_{vp}} \right\}, \quad (6.50)$$

i

$$p_{vp} = p'_s - \frac{p c_{pv}}{0.622L} (\theta_s - \theta_v), \quad (6.51)$$

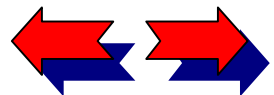
gde je:

$\theta_{vp}$  - temperatura vlažne površine ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$p'_s$  - parcijalni pritisak vodene pare u zasićenom vazduhu pri temperaturi vlažnog termometra, računa se iz izraza (6.50) korišćenjem temperature vlažnog termometra ( $\text{N/m}^2$ ),

$\theta_s$  - temperatura po suvom termometru ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$\theta_v$  - temperatura po vlažnom termometru ( $^{\circ}\text{C}$ ),



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$p$  - barometarski pritisak ( $\text{N/m}^2$ ),

$L$  - latentna toplota isparavanja na temperaturi vlažnog termometra ( $\text{J/kg}$ ),

$$L = 2501 \times 10^6 - 2387 \theta_v \quad . \quad (6.52)$$

### Izvori toplote u rudarskim prostorijama

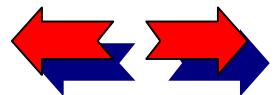
Izvori toplote se u rudarskim prostorijama, u većini kompjuterskih programa za simulaciju klimatskih prilika, dele u tri sledeće kategorije:

- 1) stenski masiv,
- 2) dopunski izvori toplote (mašine, cevi itd.),
- 3) autokompresija vazduha u nagnutim rudarskim prostorijama.

U daljem izlaganju biće opisana prva dva izvora toplote dok će pojava autokompresije vazduha, odnosno efekta pretvaranja potencijalne energije u toplotnu, biti predstavljena određenim termodinamičkim relacijama u sledećoj tački.

#### Toplota od stenskog masiva

U struji vlažnog vazduha, pri provetravanju podzemnih rudarskih prostorija, dolazi do promene latentne toplote isparavanja, koja se dodaje ili oduzima od vlažnog vazduha pri čemu ne dolazi do promene



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

temperature već samo promene agregatnog stanja, i toplote koja se dodaje ili oduzima od vlažnog vazduha pri čemu dolazi do promene temperature bez promene agregatnog stanja. Količinu toplote, koju stenski masiv predaje vazdušnoj struji pri čemu dolazi do promene temperature, možemo definisati preko konvektivnog prenosa toplote sa suve ( $q_s$ ) i vlažne površine stene ( $q_v$ ). Vrednost  $q_s$  je definisana izrazom (6.47) za  $q_c$  u predhodnoj tački.

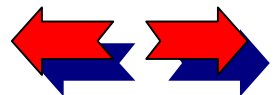
U cilju definisanja količina toplote koju stenski masiv predaje vazdušnoj struji, posmatraćemo struju vazduha na dužini puta  $x$ , pri čemu je površina kontakta stenskog masiva i vazdušne struje jednaka  $2\pi r_s x$ . U predhodnom izrazu  $r_s$  predstavlja efektivni poluprečnik koji se računa kao količnik prečnika/ $2\pi$ . Količina toplote koja se prenosi sa vlažne površine stene na vazdušnu struju, uzimajući u obzir koeficijent vlažnosti  $w$ , definiše se preko izraza (6.47) na sledeći način:

$$q_v = 2\pi r_s x \bar{\omega} \alpha (\theta_{vp} - \theta_o) \quad . \quad (6.53)$$

Na osnovu izraza (6.34) može se odrediti količina toplote koja se prenosi sa suve površine stene, pri čemu se dobija sledeće:

$$q_s = 2\pi r_s x (1 - \bar{\omega}) \alpha (\theta_{ps} - \theta_s) \quad , \quad (6.54)$$

Porast latentne toplote isparavanja u vazdušnoj struji, a od stenskog masiva određen je izrazima (6.48) i (6.49) kao:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$q_L = 2\pi r_s \times L \cdot 0.7 \alpha \frac{p_s - p_{vp}}{p} \quad (6.55)$$

### Dopunski izvori toplote

Veštački izvori toplote dele se na tačkaste i linijske izvore. Tačkastim izvorima toplote nazivamo stacionarnu opremu i razna vozila koja se kreću duž kratkih rastojanja. Linijski izvori su cevovodi, kablovi, kanali za odvodnjavanje ili razni kontinualni transporteri.

Dopunski izvori toplote utiču ne samo na promenu temperature u vazdušnoj struji (elektro oprema), već mogu, uz promenu temperature, usloviti i povećan sadržaj vodene pare porastom latentne toplote isparavanja (dizel oprema). Na osnovu eksperimentalnih merenja utvrđeno je (Kibl (Kibble) 1978.) da, u slučaju dizel mašina, svaki litar goriva koji se iskoristi proizvodi oko 1.1 litar vode (tečni ekvivalent).

Masu vodene pare proizvedenu mašinama na dizel pogon možemo odrediti na sledeći način:

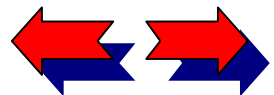
$$m = P_m \eta_m 0.3 / 3600 \text{ k} \quad (6.56)$$

gde su:

$m$  - masa vodene pare koju proizvodi mašina na dizel (kg vodene pare/s),

$P_m$  - puna snaga mašine (W),

$\eta_m$  - koeficijent iskorišćenja mašine, koji svodi potrošnju goriva na srednju empirijsku vrednost 0.3 l goriva po kW snage za čas (l goriva/kW s),



$k$  - koeficijent odnosa voda/gorivo i predstavlja zapreminu vode u litrima proizvedenu za litar potrošenog goriva. Ovaj koeficijent zavisi od konstrukcije mašine, izduvnog sistema i njegova vrednost se kreće između 3 i 10.

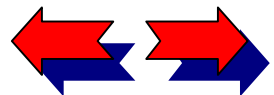
Ukupna količina toplote koja se stvara pri radu dizel opreme može se računati kao toplota od 2.83 (kW) za (kW) snage (Mekfrson (McPherson) 1984.). Latentna toplota isparavanja se računa kao proizvod  $m \times L$  i izražava se u (W), gde je  $m$  masa vodene pare proizvedena mašinom u sekundi, a  $L$  je latentna toplota isparavanja.

Količina toplote koja uslovljava samo promenu temperature vazduha određuje se na osnovu razlike ukupne količine toplote koja se stvara pri radu dizel opreme i latentne toplote isparavanja.

## Metodologija utvrđivanja promene klimatskih faktora

Matematički model, čiji je algoritam prezentiran u ovom poglavlju, zasniva se na metodi konačnih elemenata. Sve podzemne prostorije koje predstavljaju puteve vazduha aproksimiraju se prostorijama kružnog poprečnog preseka bez ograničenja dužine  $a$  u homogenom stenskom masivu.

Put vazduha kroz prostoriju se deli, u pravcu vazdušne struje, na seriju elemenata vrlo male dužine. Svi parametri u okviru jednog elementa ostaju konstantni dok se njihove promene mogu konstatovati između elemenata. Ovakav stepenasti efekat se može transformisati u postepenu promenu parametara između elemenata ukoliko su elementi dovoljno male dužine.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

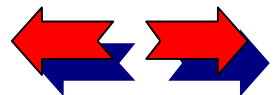
Dužina elementa u vazdušnoj struji je promenljiva i računa se za svako startovanje programa. Uobičajena procedura za određivanje dužine elemenata počinje sa podelom ukupne dužine puta vazduha kroz prostorije sa željenom dužinom elementa, pri čemu se dobija broj elemenata u modelu vazdušne struje. Nakon toga, dužinu elementa  $X$  možemo odrediti ukoliko dužinu posmatranog vazdušnog puta  $l$  podelimo sa najvećom celobrojnom vrednosti koja je manja ili jednaka predhodno utvrđenom broju elemenata, odnosno:

$$x = l / \text{INT}(l / x + 1) \quad . \quad (6.79)$$

Kao osnova programa za određivanje promene klimatskih prilika duž podzemnih rudarskih prostorija poslužila su istraživanja Gibsona /25/ i Mekfersona /71/.

Strujanje vazduha kroz rudarske prostorije moguće je analizirati na određenom elementarnom putu  $x$  pri čemu dolazi do promene psihrometarskih i termodinamičkih uslova u zavisnosti od postojanja izvora toplote, izvora vodene pare, brzine vazdušne struje kao i nagiba vazdušnog puta. Na osnovu poznatih uslova na ulazu elementarnog puta  $x$ , kao i izvora toplote i vlažnosti, određuju se svi parametri na izlazu. Procedura se sukcesivno ponavlja dok se ne obuhvati ukupna dužina puta vazduha.

U okviru ove tačke prikazan je način proračuna promene klimatskih faktora na posmatranom elementarnom putu vazduha.

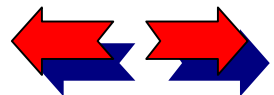


## Algoritmi definisanja razmene toplote u rudničkim prostorijama

U okviru ove tačke prikazani su: algoritam za određivanje temperature vlažne površine i algoritam za određivanje promene temperature i vlažnosti vazduha usled postojanja izvora toplote.

Na osnovu navedenih analiza pojedinih vrednosti količina toplote u jednačini prenosa toplote kroz vlažnu površinu moguće je definisati način određivanja temperature vlažne površine kroz iterativnu proceduru opisanu sledećim algoritmom:

- Korak 1.** Usvojiti vrednost temperature vlažne površine  $\theta_{vp}$ .
- Korak 2.** Proračunati parcijalne pritiske vodene pare  $p_s$  i  $p_{vp}$  iz jednačina (6.50) i (6.51).
- Korak 3.** Izračunati latentni prenos toplote  $q_L$  iz jednačina (6.48) i (6.49).
- Korak 4.** Izračunati pseudo osnovnu temperaturu  $\theta_o$  iz jednačine (6.45).
- Korak 5.** Odrediti toplotu  $q_{st}$  iz jednačine (6.43).
- Korak 6.** Odrediti konvektivni prenos toplote  $q_c$  iz jednačine (6.47).
- Korak 7.** Izračunati rezidualnu grešku u toplotnom bilansu.
- Korak 8.** Uskladiti vrednost temperature  $\theta_{vp}$  sa faktorom  $f(\epsilon)$ .
- Korak 9.** Iterativni ciklus od koraka 2 do koraka 8 ponavljati dok  $\epsilon$  ne bude blisko nuli. Tada su  $\theta_{vp}$ ,  $q_{st}$ ,  $q_L$  i  $q_c$  definisani.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



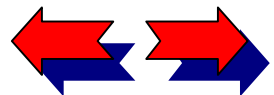
Algoritam za određivanje porasta sadržaja toplote i vlažnosti vazduha usled postojanja veštačkih izvora toplote, se može definisati na sledeći način:

- Korak 1.** Odrediti količinu toplote koja se prenosi sa suve površine stene i pri kojoj dolazi do promene temperature vazduha iz jednačine (6.54).
- Korak 2.** Količinu toplote koja se prenosi sa vlažne površine stene i pri kojoj dolazi do promene temperature vazduha, određuje se iz jednačine (6.53).
- Korak 3.** Odrediti latentnu toplotu isparavanja sa vlažne površine iz izraza (6.55).
- Korak 4.** Izračunati količinu toplote koju oslobađa oprema i pri kojoj dolazi do promene temperature vazduha  $q_o$ .
- Korak 5.** Odrediti masu vodene pare odnosno latentnu toplotu isparavanja koju proizvode mašine iz jednačine (6.56).

## Promena sadržaja vlage u vazduhu

Gustina vazduha  $\rho$  na ulazu neke posmatrane dužine puta, određuje se iz poznatih psihrometarskih uslova prema sledećem izrazu:

$$\rho_1 = \frac{p_1 - p_{vp_1}}{287.15(\theta_{s1} + 273.15)} \quad , \quad (6.57)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

gde su:

$\rho_1$  - gustina vazduha (kg. suvog vazduha/m<sup>3</sup> vazduha),

$p$  - barometarski pritisak (Pa),

$p_{vp}$  - parcijalni pritisak pare (jednačina 6.51) (Pa),

$\theta_{s1}$  - temperatura suvog termometra (°C),

287.15 J/(kg K)--gasna konstanta suvog vazduha.

Količina vodene pare nastale isparavanjem vode sa površina zidova prostorija kroz koje struji vazduh definiše se izrazom:

$$\Delta\chi(\text{stena}) = \frac{q_L}{L} \quad , \quad (6.58)$$

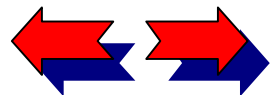
gde je:

$$L = 2.501 \times 10^6 - 2387\theta_v \quad . \quad (6.59)$$

Količina vodene pare nastale usled rada dizel opreme definisana je jednačinom (6.56). Ukupna vlažnost se, dakle, može izraziti kao:

$$\Delta\chi(\text{stena}) + \Delta\chi(\text{ma sin a}) = \Delta\chi_{uk} \quad ,$$

ili



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\Delta\chi_{uk} = \frac{\Delta\chi(\text{stena}) + \Delta\chi(\text{masina})}{m}, \quad (6.60)$$

gde su:

$\Delta\chi_{uk}$  - ukupna vlažnost, (kg pare/kg suvog vazduha),

$m$  - masa komponente suvog vazduha u smeši vazduha i vodene pare, (kg/s),

data izrazom:  $m = Q \rho$ ,

$Q$  - zapreminski protok vazduha, ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Na osnovu izraza (6.60) može se napisati da je:

$$\chi_1 = \chi_2 + \Delta\chi,$$

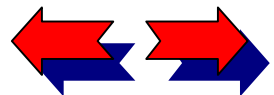
gde su:

$\chi_1$  - sadržaj vlage na ulazu posmatranog puta, (kg/kg suvog vazduha),

$\chi_2$  - sadržaj vlage na izlazu posmatranog puta, (kg/kg suvog vazduha).

## Promena temperature suvog termometra

Stacionarno strujanje vazduha kroz rudarske prostorije se može definisati na osnovu prvog zakona termodinamike za strujne procese:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2)g = \int_1^2 \frac{1}{\rho} dp + l_{12}^* = (i_2 - i_1) - q_{12} \quad , \quad (6.61)$$

gde su:

$v$  - brzina strujanja vazduha, (m/s),

$z$  - visina kota, (m),

$g$  - ubrzanje sile teže, (m/s<sup>2</sup>),

$\frac{1}{\rho}$  - specifična zapremina vazduha, (m<sup>3</sup>/kg),

$p$  - barometarski pritisak, (Pa) i (N/m<sup>2</sup>),

$l_{12}^*$  - mehanička energija pretvorena u toplotnu usled turbulencije i viskoznosti vazdušne struje, (J/kg),

$i$  - entalpija, (J/kg),

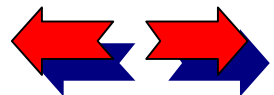
$q_{12}$  - izvori toplote, (J/kg).

Količina toplote koja uslovljava porast temperature suvog termometra određuje se iz izraza:

$$q = (q_s + q_v + q_o) / m \quad . \quad (6.62)$$

Specifična toplota vlažnog vazduha jednaka je:

$$c_{ps} = \frac{c_{pv} + \chi c_{pp}}{1 + \chi} \quad , \quad (6.63)$$



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

gde su:

$c_{pv}$  - specifična toplota suvog vazduha, 1005 (J/(kg K)),

$c_{pp}$  - specifična toplota vodene pare, 1884 (J/(kg K)),

$\chi$  - apsolutna vlažnost vazduha, (kg/kg suvog vazduha).

Porast entalpije vazduha određen izrazom:

$$i_2 - i_1 = c_{ps}(\theta_{s2} - \theta_{s1}) \quad . \quad (6.64)$$

Iz jednačina (6.61) i (6.64) se dobija sledeća relacija:

$$c_{ps}(\theta_{s2} - \theta_{s1}) = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2)g + q \quad . \quad (6.65)$$

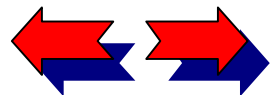
U izrazu (6.65) članovi  $(z_1 - z_2)$  i  $q$  su poznate veličine, dok se promena u kinetičkoj energiji određuje relacijom:

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2 - Q_2^2}{A^2} \quad , \quad (6.66)$$

gde su:

$Q$  - zapreminski protok vazduha, ( $m^3/s$ ),

$A$  - površina poprečnog preseka prostorije, ( $m^2$ ) .





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Masa vazdušne struje,  $m=Q \rho$ , je konstantna duž vazdušnog puta tako da se izraz (6.66) može napisati u obliku:

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2} = \frac{m^2}{2A^2} \left( \frac{1}{\rho_1^2} - \frac{1}{\rho_2^2} \right), \quad (6.67)$$

gde je  $\rho$  - gustina vazduha, ( $\text{kg/m}^3$ ).

Promena kinetičke energije vazdušne struje konstantnog poprečnog preseka je posledica samo promene u gustini vazduha i mala je u poređenju sa ostalim članovima jednačine (6.65).

Gustina suvog vazduha određuje se prema izrazu:

$$\rho = \frac{p}{R_s(273.15 + \theta_s)}, \quad (6.68)$$

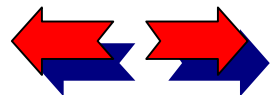
gde su:

$R_s$  - gasna konstanta vlažnog vazduha, definisana sa:

$$R_m = \frac{R_v - \chi R_p}{1 + \chi},$$

$R_v$  - gasna konstanta za vazduh, 287.15 J/(kg K),

$R_p$  - gasna konstanta za vodenu paru, 461.7 J/(kg K).



## Promena pritiska vazduha

Promena apsolutnog pritiska vazduha se javlja usled pretvaranja mehaničke energije u toplotnu, pri čemu dolazi do pada pritiska usled trenja, kao i usled promene visine ( $z_1 - z_2$ ).

Iz izraza (6.61)

$$\int_1^2 v dp = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2)g - l_{12}^* \quad , \quad (6.69)$$

sledi da je utrošena mehanička energija jednaka:

$$l_{12}^* = \frac{p}{\rho} \quad , \quad (6.70)$$

gde su:

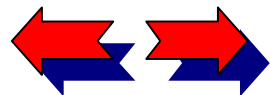
$p$  - pad pritiska usled trenja, ( $N/m^2$ ),

$\rho$  - srednja gustina vazduha, ( $kg/m^3$ ).

Veličinu pritiska  $p$  definiše Atkinsonova jednačina:

$$p = \frac{K \times O v^2}{A} \quad , \quad (6.71)$$

gde su:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

K - koeficijent trenja, ( $\text{kg/m}^3$ ),

x - dužina elementarnog puta, (m),

O - obim prostorije, (m),

v - srednja brzina, (m/s),

A - površina poprečnog preseka, ( $\text{m}^2$ ).

Integral iz jednačine (6.69) se određuje na osnovu izraza za politropsku promenu, odnosno:

$$\int_1^2 \frac{1}{p} dp = R_s (\theta_{s2} - \theta_{s1}) \frac{\log(p_2 / p_1)}{\log(\theta_{s2} - \theta_{s1})} \quad (6.72)$$

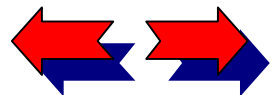
Zamena izraza (6.72) u izrazu (6.69) dobija se relacija u kojoj je jedina nepoznata p, koja se iz ovog izraza može odrediti.

## Promena temperature vlažnog termometra

Na osnovu određenih veličina apsolutne vlažnosti, temperature po suvom termometru i barometarskog pritiska na izlazu posmatranog elementa puta (tačka 2) moguće je odrediti i temperaturu po vlažnom termometru, a prema sledećoj jednačini:

$$p_{vp2} = p_{s2} - C p (\theta_{v2} - \theta_{v1}) \quad (6.73)$$

gde su:



$p_{vp2}$  - parcijalni pritisak vodene pare u nezasićenom vazduhu na temperaturi suvog termometra, (N/m<sup>2</sup>),

$$p_{vp2} = \frac{p_2 \chi_2}{0.622 + \chi_2} \quad (6.74)$$

$p'_{s2}$  - parcijalni pritisak vodene pare u zasićenom vazduhu na temperaturi vlažnog termometra, (N/m<sup>2</sup>),

$$p'_{s2} = 610.1 \exp\left(\frac{17.27\theta_{v2}}{237.15 + \theta_{v2}}\right) \quad (6.75)$$

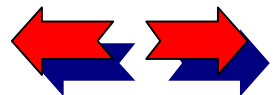
C - psihrometerska konstanta,

$$C = \frac{c_{pv}}{0.622(2.501 \times 10^6 - 2387\theta_{v2})}$$

U jednačinama (6.63), (6.64) i (6.65) jedina nepoznata veličina je temperatura po vlažnom termometru. Ona se određuje iterativnim postupkom na osnovu neke početne vrednosti sve dok se pomenute jednačine ne zadovolje.

## Relativna vlažnost i uslovi zasićenja

Relativna vlažnost vazduha se određuje iz sledećeg izraza:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$\varphi = \frac{p_{vp2}}{p_s} , \quad (6.76)$$

gde su:

$p_{vp2}$  - parcijalni pritisak vodene pare u nezasićenom vazduhu na temperaturi suvog termometra, (6.73), (N/m<sup>2</sup>) ,

$p_s$  - parcijalni pritisak vodene pare u zasićenom vazduhu na temperaturi suvog termometra, (N/m<sup>2</sup>) ,

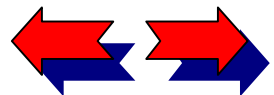
$$p_s = 610.1 \exp\left(\frac{17.27\theta_{s2}}{237.15 + \theta_{s2}}\right) . \quad (6.77)$$

Ukoliko vrednost relativne vlažnosti prelazi jedinicu dolazi do pojave kondenzacije vode na površinama čija je temperatura niža od temperature po vlažnom termometru, a moguća je i pojava magle u vazdušnoj struji.

Proces kondenzacije se uzima u obzir tako što se smanjuje apsolutna vlažnost do postizanja kritičnog zasićenja, kada je relativna vlažnost jednaka jedinici. Veličina umanjenja apsolutne vlažnosti određuje masu kondenzata. Oslobođena latentna toplota kondenzacije povećava entalpiju vazduha za veličinu:

$$\Delta i = L m_k , \quad (6.78)$$

gde su:





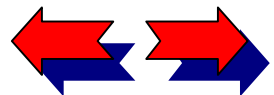
L - latentna toplota kondenzacije, (J/kg),  
 $m_k$  - masa kondenzata.

U ovom slučaju temperatura vazduha će porasti za:

$$\Delta\theta_s = \frac{\Delta i}{c_{ps}} \quad (\text{C}).$$

## Razvoj softvera za modeliranje klimatskih prilika

Paket SimVent je, kako je već navedeno, razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0. Na slici 6.5 dat je prikaz ovog paketa kroz UML notaciju u obliku troslojne arhitekture dijagrama klasa, iz vizije izbora moguće opcije - modeliranja klimatskih prilika u složenim rudničkim ventilacionim mrežama. Model domena predstavljen je kroz radne servise i servise podataka, dok je korisnički interfejs predstavljen pomoću korisničkih servisa.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

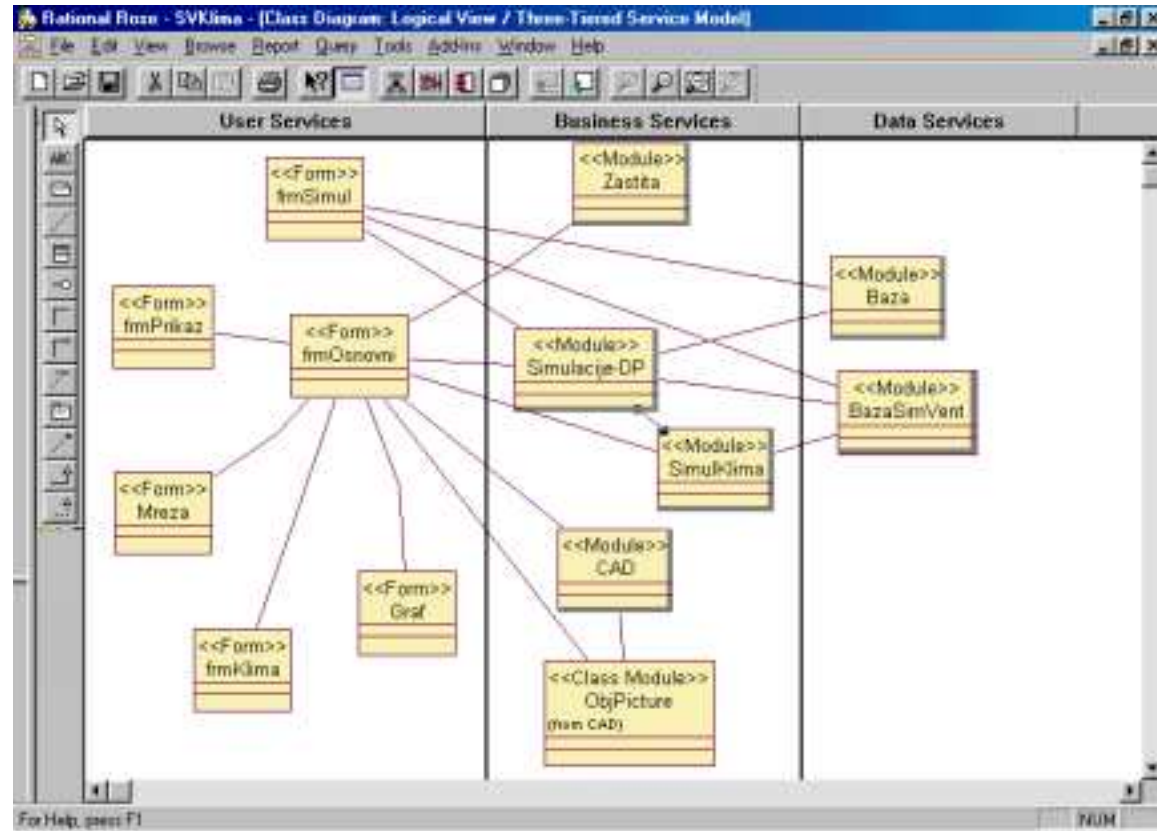
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

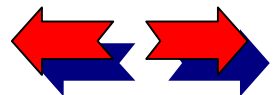
UML notacija

Index



Slika 6.5 Troslojna arhitektura dijagrama klasa paketa SimVent kroz pogled modeliranja klimatskih prilika

U okviru korisničkih servisa SimVent-a izdvaja se pet klasa formi: frmOsnovni, frmPrikaz, frmSimul, frmKlima, Graf i Mreza. Navedene klase predstavljaju forme interfejsa za unos, pregled i pretraživanje



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

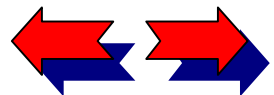
UML notacija

Index

potrebnih podataka, forme za crtanje linearne šeme ventilacionog sistema, forme za grafički prikaz rezultata kao i forme za komunikaciju sa drugim paketima u okviru hibridnog sistema INVENTS. Modeliranje klimatskih prilika u složenim ventilacionim mrežama je metodološki povezano sa određivanjem distribucije protoka vazduha kako je to prikazano u tačkama 6.1 i 6.2. Sve navedene klase formi u okviru korisničkih servisa osim forme frmKlima su već detaljno opisane u tački 5.3.

Na slici 6.6 dat je prikaz forme interfejsa frmKlima na kojoj se nalaze kontrole za unos potrebnih podataka za izvođenje proračuna parametra klimatskih prilika u podzemnim rudničkim prostorijama.

Slika 6.6 Forma interfejsa za unos podataka za proračun parametra klimatskih prilika



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

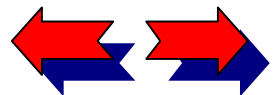
### Index

Ulazni podaci potrebni za izvođenje izabrane simulacije klimatskih prilika grupisani su u celine: osnovni termodinamički parametri potrebni za proračun, starost prostorije i izvori toplote u ogranku. Navedene celine su predstavljene okvirima u kojima se podaci unose u tekst kontrole. Uz okvir izvori toplote u ogranku postavljena je tool-bar kontrola koja predstavlja grupu grafičkih dugmića kojima se pretražuje baza podataka o izvorima toplote u analiziranom ogranku ventilacione mreže.

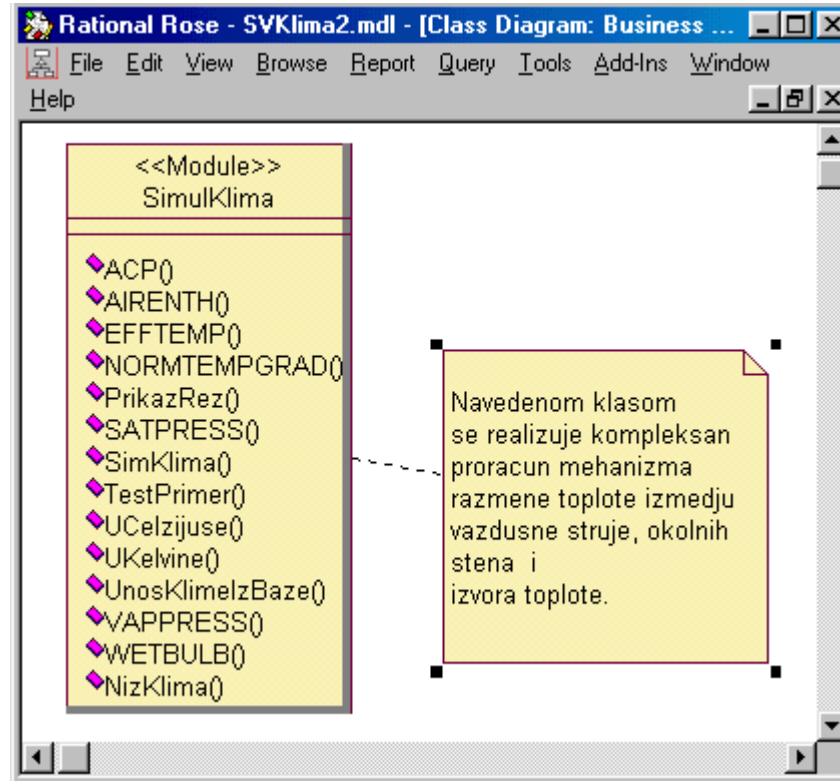
Poslovni servisi predstavljaju most između korisnika i servisa podataka. U okviru Poslovnih servisa SimVent-a izdvaja se sedam klasa: Zaštita, Simulacije-DP, SimulKlima, CAD, ObjPicture, ObjCvor, ObjOgranak i ObjPoint. Prve četiri klase su moduli Visual Basic aplikacije dok su ostale moduli klase i odnose se na crtanje i manipulaciju slikom linearne šeme ventilacije. Osnova modeliranja klimatskih prilika u složenim ventilacionim mrežama, detaljno opisana u predhodnim tačkama ovog poglavlja monografije, sadržana je u modulu SimulKlima.

Na slici 6.7 prikazana je klasa SimulKlima sa svim procedurama u okviru ove klase. Osim uobičajenih procedura za logičku kontrolu i manipulaciju sa bazom podataka na slici 6.8 dijagramom aktivnosti je prikazan dinamički model ove klase koji obuhvata karakteristične procedure za izvršavanje logike modela proračuna klimatskih parametara duž analiziranog ogranka ventilacione mreže.

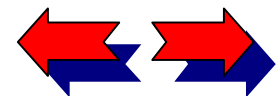
Izborom opcije klima sa panela frmSimul za izvršavanje proračuna raspodele klimatskih parametara u nekom od ogranaka mreže poziva se procedura SimulKlima za proračun raspodele klimatskih parametara duž analiziranog ogranka. Procedurom SimulKlima se ostvaruje kompleksan proračun koji obuhvata niz celina kao što su na primer: određivanje broja i izbor elemenata, proračun toplote stenskog masiva, proračun efekta kompresije vazduha, proračun toplote mehaničkih izvora toplote i proračun



parametara stanja vazduha. Navedene procedure su na slici 6.8 date u obliku dijagrama aktivnosti pri izvršavanju opcije proračuna raspodele klimatskih parametara duž analiziranog ogranka mreže u okviru modula Simulacije-Klime.



Slika 6.7 Klasa SimulKlima



- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

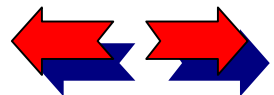
### Index

Klasa modul Zaštita predstavlja modul Visual Basic-a koji obuhvata servise vezane za zaštitu softvera na osnovu kojih se daju prava korišćenja pune ili studentske verzije. Klasa modul CAD i klase ObjPicture, ObjCvor, ObjOgranak i ObjPoint omogućavaju crtanje i manipulaciju sa grafičkom strukturom linearne šeme ventilacije.

Servisi podataka obezbeđuju održavanje podataka, prsitup podacima i njihovo ažuriranje. Oni takođe upravljaju zahtevima za manipulaciju podacima koje postavljaju poslovni servisi.

Sistem INVENTS je koncipiran na jedinstvenoj bazi podataka tako da su u okviru servisa podataka SimVent-a definisane dve klase: Baza i BazaSimVent, koje predstavljaju module. Modulom Baza omogućava se upravljanje zajedničkim podacima za ResNet i SimVent koji se nalaze u bazi podataka. Ovaj modul sadrži operacije za pretraživanje baze, brisanje podataka, unos podataka, editovanje, ažuriranje, sortiranje podataka i dr. Modul BazaSimVent obuhvata operacije karakteristične za manipulaciju podacima iz baze vezanim za paket SimVent.

Na slici 6.9 je na panelu Relationships MS Access-a prikazana struktura dela baze podataka koji su relevantni za modeliranje klimatskih prilika u složenim rudničkim ventilacionim mrežama. Na navedenoj slici prikazane su tabele baze podataka sa atributima kao i definisane veze među tabelama.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

## 1 O knjizi About the book

## 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

## 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

## 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

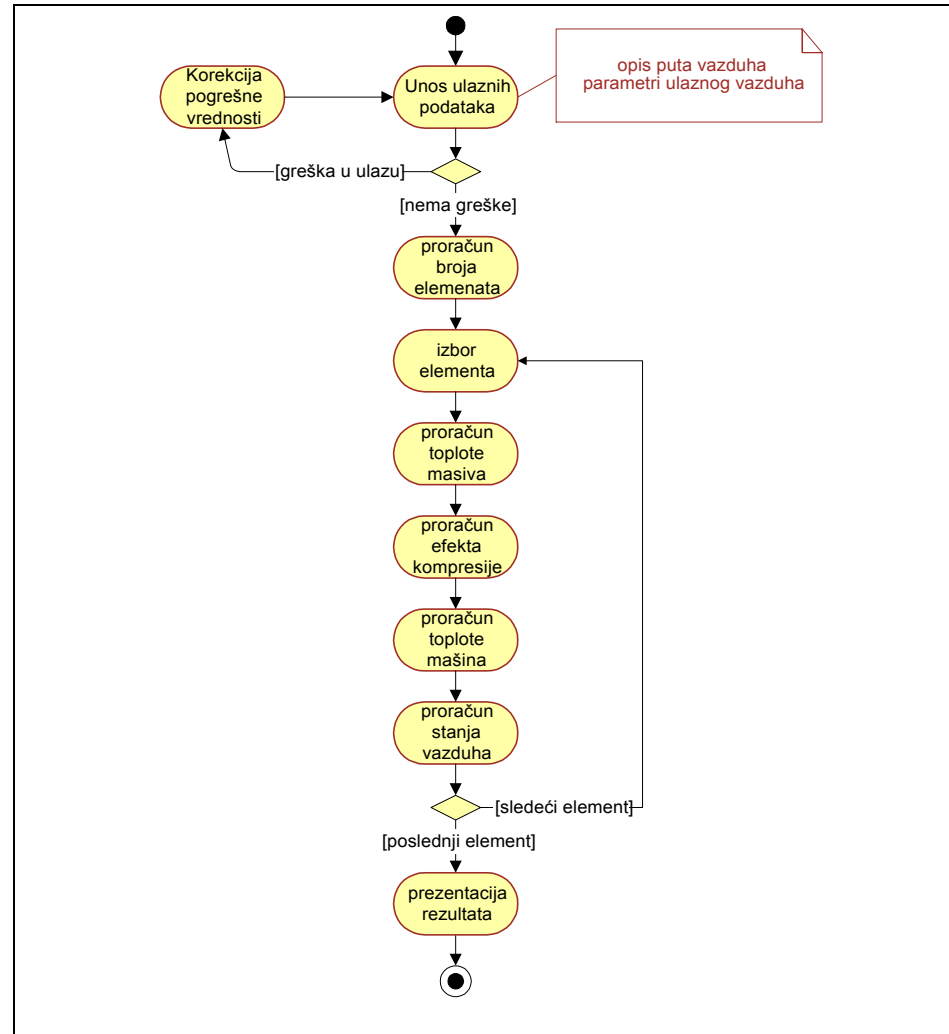
## 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

## 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

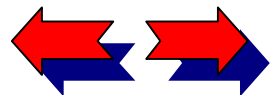
## 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

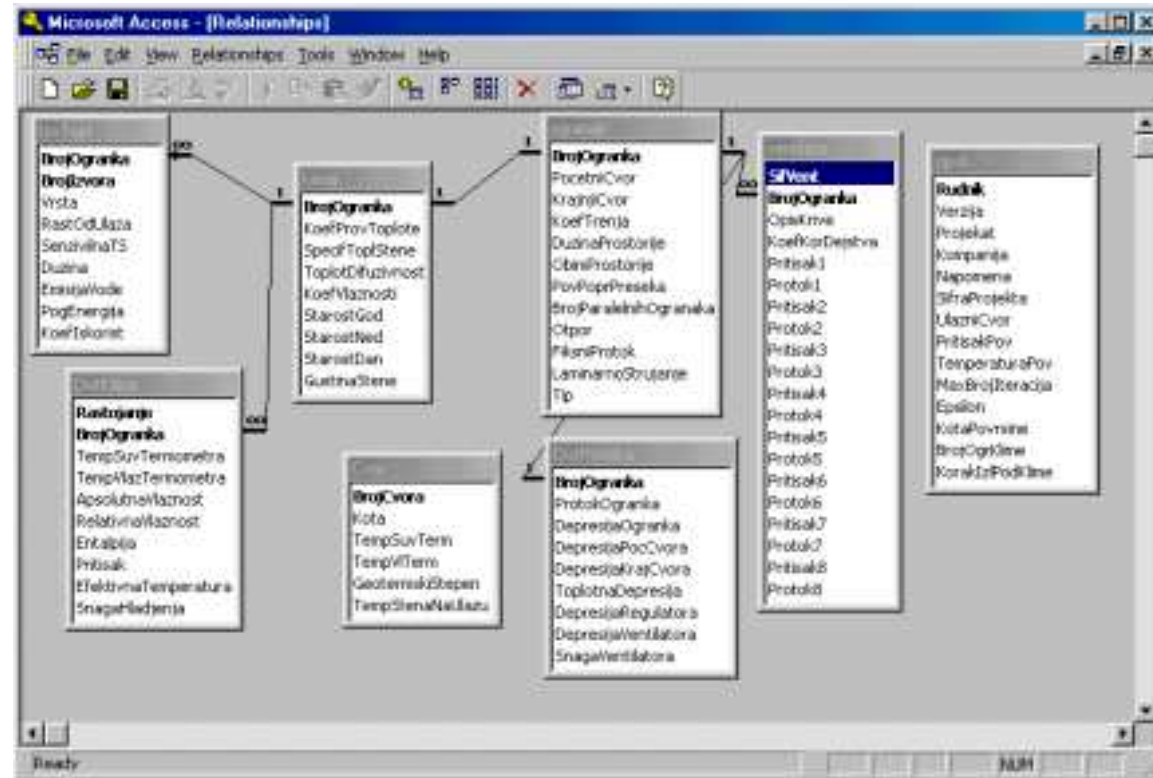
### UML notacija

### Index



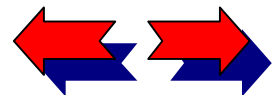
Slika 6.8 Dijagram aktivnosti dinamičkog modela klase SimulKlima





Slika 6.9 Struktura baze podataka za paket SimVent

Baza podataka za SimVent sadrži sledeće tabele: Opšti, Ogranci, Cvor, Ventilator, DistProtoka, Klima, IzvTopl i DistKlima. U navedenim tabelama sa slike 6.9 prikazani su i svi atributi koji se odnose na pojedinačne podatke o ograncima i čvorovima mreže, podatke o izvorima toplote u ograncima kao i podatke o toplotnim karakteristikama analiziranog ogranka mreže. Takođe su u navedenim tabelama prikazani i atributi koji se odnose na opšte podatke o rudniku i vrednostima karakteristične radne krive



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

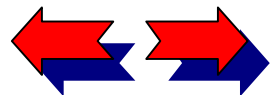
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

ventilatora kao i rezultati proračuna. Svi obuhvaćeni i ovako grupisani podaci u potpunosti definišu ventilacionu mrežu za potrebe proračuna respodele klimatskih parametara u nekom od ogranaka ventilacione mreže, odnosno definisanja mehanizma razmene toplote između vazdušne struje i zidova rudničkih prostorija. Svaka tabela ima jedinstveni identifikator – primarni ključ tabele čija je uloga jednoznačna identifikacija sloga u tabeli (na primer ogranka u tabeli ogranaka , odnosno čvora u tabeli čvorova).

- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Poglavlje 7

# MODELIRANJE POŽARA U SLOŽENIM VENTILACIONIM MREŽAMA

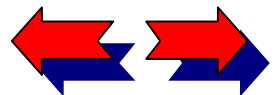
Osnovni cilj istraživanja čiji su rezultati prikazani u ovom poglavlju je definisanje modela za simulaciju požarnih procesa u složenim ventilacionim mrežama. Pored teorijskih osnova navedenog modela dat je prikaz paketa SimVent koji je razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0, koji u potpunosti podržava Objektno-orientisani pristup u struktuiranju i modeliranju sistema i opciono omogućava analizu rudničkih ventilacionih mreža pri pojavi požara u nekom od ogranaka mreže.

### S A D R Ž A J

Osnove modela pojave požara .....238

Metodologija rešavanja modela .....241

Razvoj programskog paketa za modeliranje pojave požara ...247





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Osnove modela pojave požara

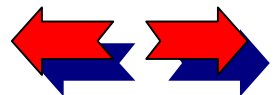
### Uvodna razmatranja

Podzemnu eksploataciju jugoslovenskih ležišta uglja vrlo često prati pojava požara koji uzrokuju brojne zastoje u fazi otkopavanja, velike materijalne troškove sanacije požaraa ponekad, čak i ljudske žrtve usled pojave otrovnih i zagušljivih gasova produkata sagorevanja.

Osnovni cilj istraživanja, čiji su rezultati prikazani u ovom poglavlju, je definisanje modela za simulaciju požarnih procesa u složenim ventilacionim mrežama. Pojavom požara u ventilacionom sistemu i novom raspodelom temperature vazduha u mreži, dolazi do promene gustine vazduha. Ova promena pre svega utiče na promenu otpora prostorija, a takođe i na pojavu toplotne depresije u vertikalnim i kosim prostorijama, koja može izazvati znatne promene u ventilacionom sistemu.

U svetskoj rudarskoj praksi razvijeno je nekoliko modela za simulaciju požara: Grojerov (Greuer) model /29/, Simodov (Simode) model /81/, model Džeržinskog (Dziurzynski) /19/ kao i model Danka (Danko) i Muse-Džounsa (Mousset-Jones) /14/.

Modeli Grojera i Džeržinskog se odnose na analizu suvih vazdušnih puteva, pri čemu se uključuje iterativna procedura za određivanje prenošenja latentne toplote. Simodov model se koristi za simulaciju požara u složenim ventilacionim mrežama, dok se model Danaka i Muse-Džounsa odnosi na modeliranje



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

promene temperature i sadržaja vlage u vazduhu sa rastojanjem u jednoj podzemnoj prostoriji korišćenjem iterativne numeričke metode za simulaciju rudničke klime.

Model za simulaciju požara u rudničkim ventilacionim mrežama prikazan u ovom poglavlju baziran je na Simodovom modelu, uz određene modifikacije i adekvatno softversko rešenje.

### Globalni simulacioni model

Model se u osnovi sastoji od dva glavna dela:

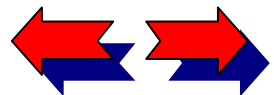
- ◆ prvi, kojim se određuje raspodela zapreminskih protoka vazduha u ograncima
- ◆ mreže i raspodele pritisaka u čvorovima i
- ◆ drugi, kojim se određuje raspodela temperature gasovitih produkata požara duž
- ◆ celog njihovog puta.

Raspodela zapreminskih protoka vazduha i pritisaka određuje se iterativnom metodom Hardi-Krosa uz modifikaciju računanja pritisaka po čvorovima mreže uvođenjem dodatne iterativne procedure koja se izvršava zajedno sa proračunom protoka vazduha, odnosno

$$p_{i+1} = p_i - R_j Q_j |Q_j| + h_{t_j} + h_{v_j} \quad , \quad (7.1)$$

gde su :

$j$  – broj ogranka čiji je početni čvor  $i$  a krajnji  $i+1$ ,



$p_i$  – barometarski pritisak u i-tom čvoru mreže, Pa,

$R_j$  – otpor j-tog ogranka mreže,  $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ ,

$Q_j$  – zapreminski protok vazduha u ogranku j,  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

$h_{t_j}$  - toplotna depresija u j-tom ogranku, Pa,

$$h_{t_j} = \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{2} (z_i - z_{i+1}) \quad , \quad (7.2)$$

$\rho_i$  – gustina vazduha u čvoru i,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,

$z_i$  – visinska kota čvora i, m,

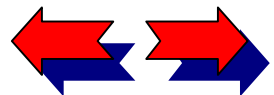
$h_{v_j}$  - depresija ventilatora u j-tom ogranku mreže, Pa.

Početna vrednost pritiska po čvorovima mreže, za navedenu iterativnu proceduru, može se računati prema sledećem izrazu:

$$p_i = p_p \left( 1 + 0.034 \frac{z_p - z_i}{\frac{T_p - T_i}{2}} \right) \quad , \quad (7.3)$$

gde su:

$p_p$  – barometarski pritisak na površini, Pa,



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$z_p$  – visinska kota površine, m,

$T_p$  – temperatura na površini, K,

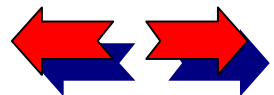
$T_i$  – temperatura u i-tom čvoru mreže, K.

Nakon pojave požara, u ventilacionom sistemu se javlja toplotna depresija koja se računa na osnovu temperature i gustine vazduha u početnim i krajnjim čvorovima ogranaka. Kao posledica nove raspodele temperature i gustine vazduha u mreži, pojave toplotne depresije i povećanja protoka vazduha zbog gasovitih produkata gorenja, takođe dolazi i do promene otpora ogranaka koji se nalaze pod uticajem požara.

Svi navedeni elementi modela su interaktivno povezani, tako da se definisanjem ulaznih podataka dobija jasna slika o uticaju požara na stabilnost i mogućnost promena u ventilacionom sistemu rudnika.

## Metodologija rešavanja modela

Pri pojavi požara u ventilacionoj mreži, u ogranaku u kome je požar nastao, usled gasovitih produkata sagorevanja protok vazduha  $Q_o$  raste do vrednosti  $m_o Q_o$ . Veličina koeficijenta povećanja protoka  $m_o$ , za ogranak u kome je požar nastao, kreće se od 1.05 do 1.11. Za ostale ogranke ugrožene požarom koeficijent povećanja protoka vazduha se računa na osnovu šeme sa slike 7.1 a prema sledećem izrazu:



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

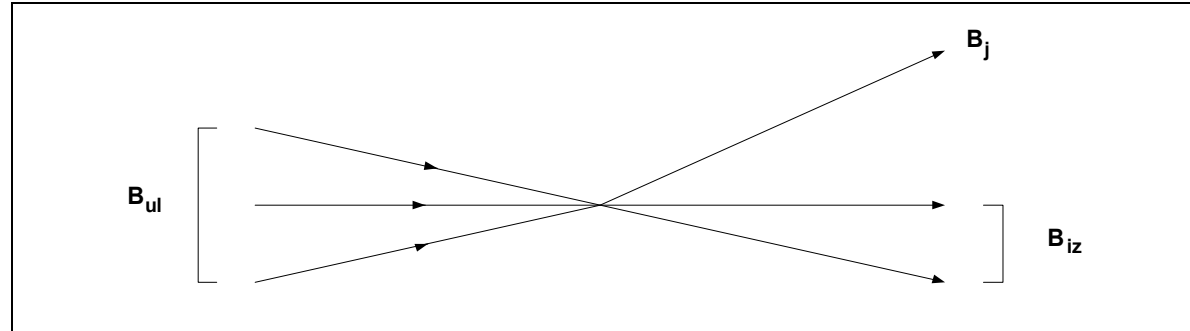
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

$$m_j = m_o + \frac{\sum (m_{ul} - 1) Q_{ul}}{Q_o + \sum Q_{iz}} , \quad (7.4)$$



Slika 7.1

Strujanjem zagrejanh gasova kroz rudničku prostoriju, deo toplote gasova se prenosi na zidove prostorije, pri čemu prema balansu toplote sledi da je:

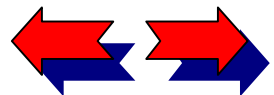
$$-dT c_j M_j = \alpha_j Q_j (T - T_{zj}) dl , \quad (7.5)$$

gde su :

$T$  - temperatura gasova,

$c_j$  - specifična toplota gasova,  $c = 0.863 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ ,

$M_j$  - masa struje gasova u ogranku  $j$ ,





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$\alpha_j$  - koeficijent prelaženja toplote,

$O_j$  - obim prostorije,

$T_{zj}$  - temperatura zidova,

$l$  – dužina.

Usvajanjem jednakosti:

$$M_j = (m_j Q_{oj}) \rho_o \quad , \quad (7.6)$$

$$\alpha_j = \alpha_{oj} \sqrt{v_j} \quad , \quad (7.7)$$

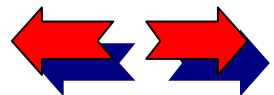
$$\alpha_{oj} = 93 \times 10^{-4} \quad , \quad (7.8)$$

$$O_j = 4 \sqrt{A_j} \quad , \quad (7.9)$$

$$v_j = \frac{Q_j}{A_j} = \frac{l_j}{A_j} \frac{(m_j Q_{oj}) \rho_o}{\rho_1} \quad , \quad (7.10)$$

$$\rho_1 = \rho_o \frac{p_1}{p_o} \frac{T_o}{T_1} \quad , \quad (7.11)$$

gde su :



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

## 1 O knjizi About the book

## 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

## 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

## 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

## 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

## 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

## 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

## 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$A_j$  - površina poprečnog preseka prostorije,

$v_j$  - brzina struje fluida,

$p_o$  - atmosferski pritisak, 101.3 kPa,

$T_o$  – termodinamička temperatura, 288 K,

Jednačina (7.5) dobija sledeći oblik:

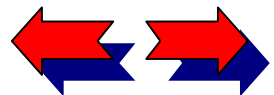
$$\frac{dT}{\sqrt{T}(T - T_z)} = -4\alpha_o \sqrt{\frac{p_o}{p_i}} \frac{dl}{c_j \rho_o \sqrt{Q_{oj} T_o}} \quad (7.12)$$

Integraljenjem jednačine (7.12) dobija se izraz za određivanje temperature gasova na rastojanju  $l$  od početnog čvora  $N_i$  ogranka, odnosno:

$$T = T_{zj} \left[ \frac{\exp(M\sqrt{T_{zj}l}) + N}{\exp(M\sqrt{T_{zj}l}) - N} \right], \quad (7.13)$$

gde su :

$$M = \frac{4\alpha_o}{c_j \rho_o \sqrt{Q_{oj} T_o}} \sqrt{\frac{p_o}{p_i}}, \quad (7.14)$$



$$N = \frac{\sqrt{T_F} - \sqrt{T_{zj}}}{\sqrt{T_F} + \sqrt{T_{zj}}}, \quad (7.15)$$

$T_F$  – temperatura požara.

Zidovi prostorija se zagrevaju, kako je to već naglašeno, od gasovitih produkata požara, te temperaturu zidova možemo odrediti na osnovu vremena  $t$  od nastanka požara, odnosno:

$$T_{zj} = \frac{T_i \sqrt{t} + T_{zp} \sqrt{C_o}}{\sqrt{t} + \sqrt{C_o}}, \quad (7.16)$$

gde su :

$T_{zp}$  – početna temperatura zidova,

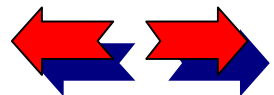
$T_i$  - početna temperatura gasova,

$t$  - vreme od nastanka požara, časovi,

$C_o$  – vremenski faktor koji se obično uzima oko 8 časova.

Temperatura vazduha u čvorovima mreže u kojima se spajaju ogranci pod uticajem požara i oni koji nisu, se određuju prema:

$$T_M = \frac{\sum (m_j Q_{oj} T_i)}{\sum (m_j Q_{oj})}. \quad (7.17)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Promenu otpora prostorije u zavisnosti od promene gustine vazdušne struje u njoj možemo izraziti preko izraza za pad pritiska duž prostorije:

$$\Delta p = (R_{oj} \frac{\rho_a}{\rho_i} m_j^2) Q_{oj}^2 = R'_{oj} Q_{oj}^2, \quad (7.18)$$

ili

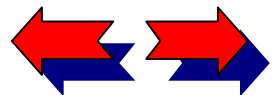
$$R'_{oj} = (R_{oj} \frac{T'_j}{T_a} m_j^2), \quad (7.19)$$

gde su :

$T_a$  – početna temperatura vazduha,

$T'_j$  – srednja temperatura gasova u ogranku j,

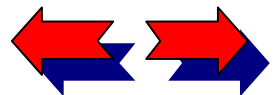
$$T'_j = \frac{1}{L} \int_0^L T_{zj} dL = T_{zj} \left\{ 1 + \frac{4N}{(1-N)M\sqrt{T_{zj}L}} \left[ \frac{\exp(M\sqrt{T_{zj}L}) - 1}{\exp(M\sqrt{T_{zj}L}) - N} \right] \right\}. \quad (7.20)$$



## Razvoj programskog paketa za modeliranje pojave požara

Paket SimVent je razvijen u programskom okruženju Visual Studio 6.0 koji u potpunosti podržava Objektno-orjentisani pristup u struktuiranju i modeliranju sistema. Na slici 7.2 dat je prikaz ovog paketa kroz UML notaciju u obliku troslojne arhitekture dijagrama klasa, iz vizije izbora moguće opcije - modeliranja pojave požara u složenim rudničkim ventilacionim mrežama. Model domena predstavljen je kroz radne servise i servise podataka, dok je korisnički interfejs predstavljen pomoću korisničkih servisa.

U okviru korisničkih servisa SimVent-a izdvaja se pet klasa formi: frmOsnovni, frmPrikaz, frmSimul, Graf i Mreza. Navedene klase predstavljaju forme interfejsa za unos, pregled i pretraživanje potrebnih podataka, forme za crtanje linearne šeme ventilacionog sistema, forme za grafički prikaz rezultata kao i forme za komunikaciju sa drugim paketima u okviru integralnog sistema INVENTS. Modeliranje pojave požara u složenim ventilacionim mrežama je metodološki povezano sa određivanjem distribucije protoka vazduha, kako je to prikazano u predhodnim tačkama ovog poglavlja. Sve navedene klase formi u okviru korisničkih servisa su već detaljno opisane u poglavlju 5.



- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

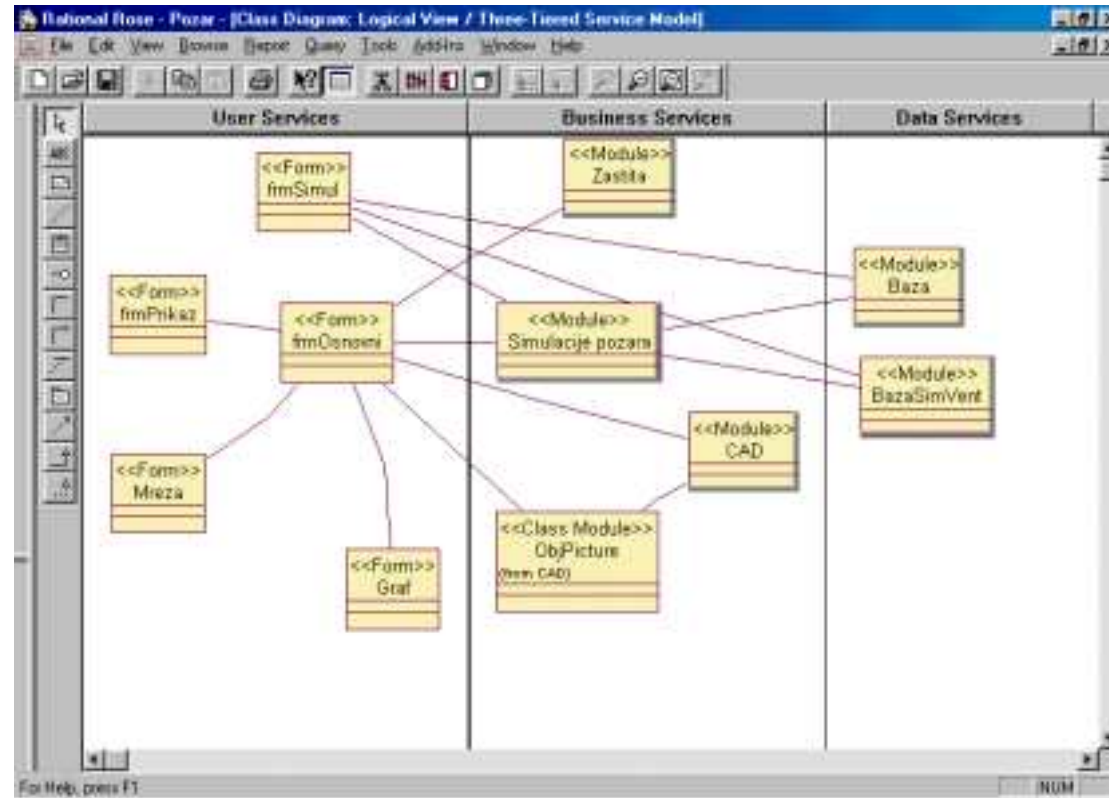
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

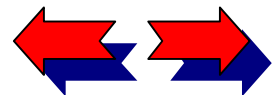
UML notacija

Index



Slika 7.2 Troslojna arhitektura dijagrama klasa paketa SimVent kroz pogled modeliranja pojave požara

Na slici 7.3 dat je prikaz forme interfejsa frmSimul na kojoj se nalaze kontrole za izbor željene simulacije i unos potrebnih podataka za izvođenje proračuna prema izvršenom izboru.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

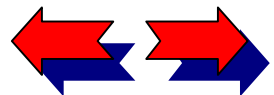
### UML notacija

### Index

Ulazni podaci potrebni za izvođenje izabranih simulacija su grupisani u celine: distribucija protoka, projektovana raspodela, požar, klima i gas. Navedene celine su predstavljene okvirima u kojima se podaci unose u tekst kontrole. Uz svaki od navedenih okvira postavljena je kontrola option button kojom se vrši pozicioniranje na izabranu opciju simulacije. U dnu forme Simul nalazi se komandno dugme kojim se vrši startovanje proračuna izabrane simulacije kao i progresbar kontrola za praćenje dinamike izvršavanja proračuna.

Poslovni servisi predstavljaju most između korisnika i servisa podataka. U okviru Poslovnih servisa SimVent-a izdvaja se sedam klasa: Zaštita, Simulacije-Pozara, CAD, ObjPicture, ObjCvor, ObjOgranak i ObjPoint. Prve tri klase su moduli Visual Basic aplikacije dok su ostale moduli klasa i odnose se na crtanje i manipulaciju slikom linearne šeme ventilacije. Osnova modeliranja pojave požara u složenim ventilacionim mrežama, detaljno opisana u predhodnim tačkama ovog poglavlja monografije, sadržana je u modulu Simulacije-Pozara.

Na slici 7.4 prikazana je klasa Simulacije-Pozara sa svim procedurama u okviru ove klase. Osim uobičajenih procedura za logičku kontrolu i manipulaciju sa bazom podataka na slici 7.5 dijagramom aktivnosti je prikazan dinamički model ove klase koji obuhvata karakteristične procedure za izvršavanje logike modela proračuna distribucije protoka vazduha u uslovima pojave požara u složenim rudničkim ventilacionim mrežama.



**Podaci o simulaciji**

Maksimalan broj iteracija:

Tacnost (Epsilon) (m3/s):

Ulazni cvor:

Kota površine (m):

Temp.na površini (K):

Pritisak na površ. (Pa):

Projektovana raspodela

**Simulacija distribucije protoka**

Broj ogranka pojave:

Rast.od poc.cvora (m):

Pocetna temperatura (K):

Broj ispitivanog ogranaka:

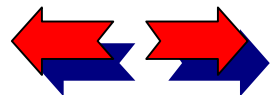
Korak izlaznih podataka (m):

Naziv gasa:

	Broj ogranaka pojave gasa	Kolicina dotoka gasa [m3/s]
▶	2	1.5
	4	2.5
*		

Slika 7.3. Forma interfejsa za izbor željenog proračuna

Izborom opcije požar sa panela frmSimul za izvršavanje proračuna distribucije protoka vazduha u uslovima pojave požara u nekom od ogranaka mreže pozivaju se procedure TNODE i TBRUNCH za proračun raspodele temperature u ogranaku u kome je identifikovana pojava požara kao i NetMain



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

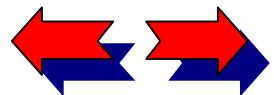
Index

procedura za proračun delimično regulisane raspodele vazduha. Procedurom NetMain se ostvaruje kompleksan proračun koji obuhvata niz celina kao što su na primer: fitovanje krivih glavnih ventilatora, sortiranje ogranaka mreže po veličini aerodinamičkih otpora, konstrukcija minimalnog obuhvaćenog stabla mreže i proračuna distribucije protoka vazduha primenom metode Hardi Krosa. Navedene procedure su na slici 7.5 date u obliku dijagrama aktivnosti pri izvršavanju opcije proračuna distribucije protoka vazduha u uslovima pojave požara u okviru modula Simulacije-Pozara.

Klasa modul Zaštita predstavlja modul Visual Basic-a koji obuhvata servise vezane za zaštitu softvera na osnovu kojih se daju prava korišćenja pune ili studentske verzije. Klasa modul CAD i klase ObjPicture, ObjCvor, ObjOgranak i ObjPoint omogućavaju crtanje i manipulaciju sa grafičkom strukturom linearne šeme ventilacije.

Servisi podataka obezbeđuju održavanje podataka, prisitup podacima i njihovo ažuriranje. Oni takođe upravljaju zahtevima za manipulaciju podacima koje postavljaju poslovni servisi.

Imajući u vidu da je sistem INVENTS koncipiran na jedinstvenoj bazi podataka u okviru servisa podataka SimVent-a definisane su dve klase: Baza i BazaSimVent, koje predstavljaju module. Modulom Baza omogućava se upravljanje zajedničkim podacima za ResNet i SimVent koji se nalaze u bazi podataka. Ovaj modul sadrži operacije za pretraživanje baze, brisanje podataka, unos podataka, editovanje, ažuriranje, sortiranje podataka i dr. Modul BazaSimVent obuhvata operacije karakteristične za manipulaciju podacima iz baze vezanim za paket SimVent.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

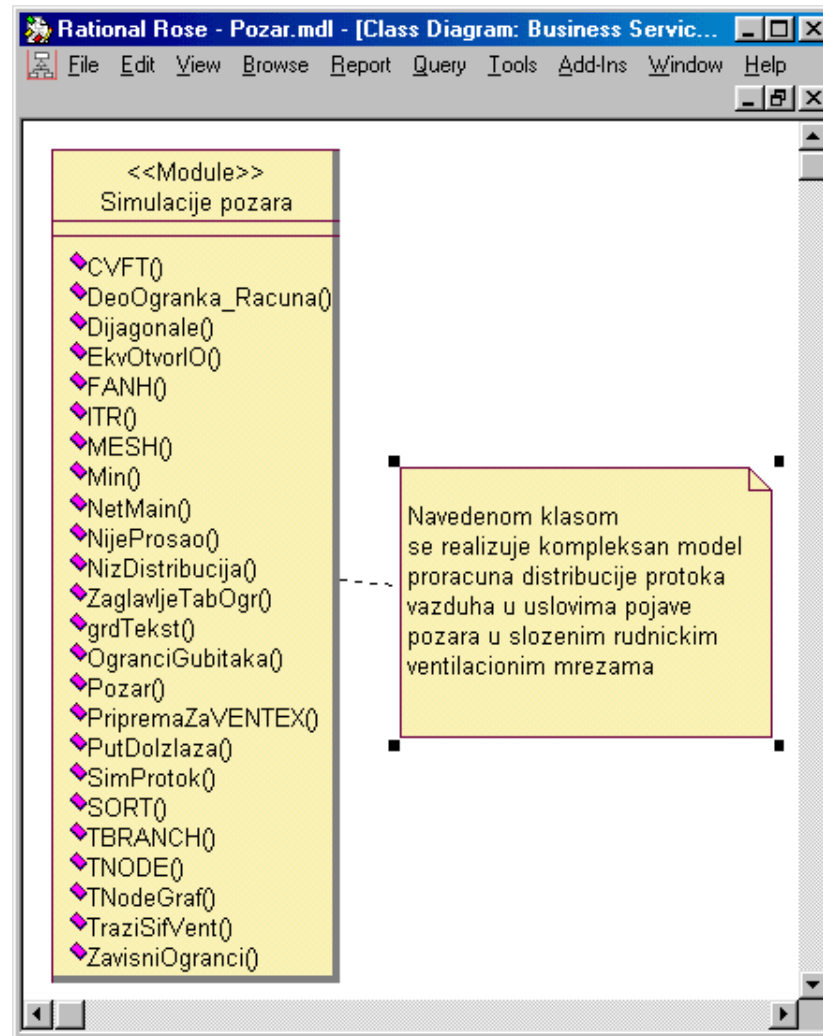
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

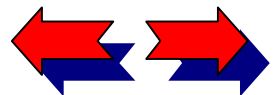
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

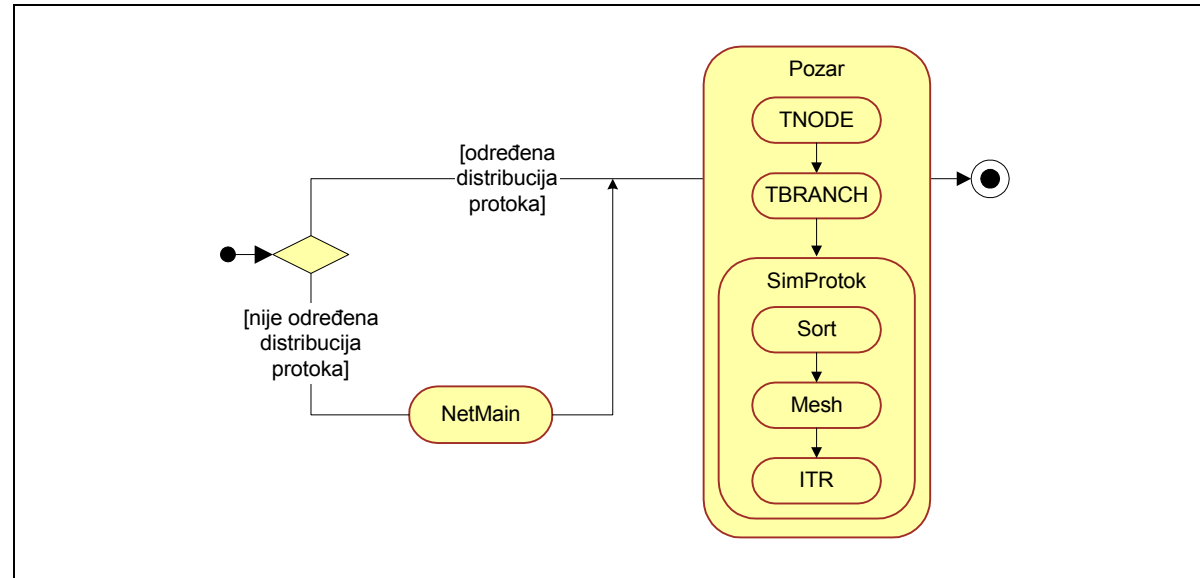
Index



Slika 7.4 Klasa Simulacije-Pozara

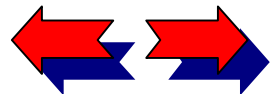






Slika 7.5 Dijagram aktivnosti dinamičkog modela klase Simulacije-Pozara

Na slici 7.6 je na panelu Relationships MS Access-a prikazana struktura dela baze podataka koji su relevantni za modeliranje pojave požara u složenim rudničkim ventilacionim mrežama. Na navedenoj slici prikazane su tabele baze podataka sa atributima kao i definisane veze među tabelama. Baza podataka za SimVent sadrži sledeće tabele: Opšti, Ogranci, Cvor, Ventilator i DistProtoka. U navedenim tabelama sa slike 7.6 prikazani su i svi atributi koji se odnose na pojedinačne podatke o ograncima i čvorovima mreže, kao i opšti podaci o rudniku i vrednostima karakteristične radne krive ventilatora. Svi obuhvaćeni i ovako grupisani podaci u potpunosti definišu ventilacionu mrežu za potrebe proračuna distribucije protoka vazduha u uslovima pojave požara u nekom od ogranaka ventilacione mreže. Svaka tabela ima



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

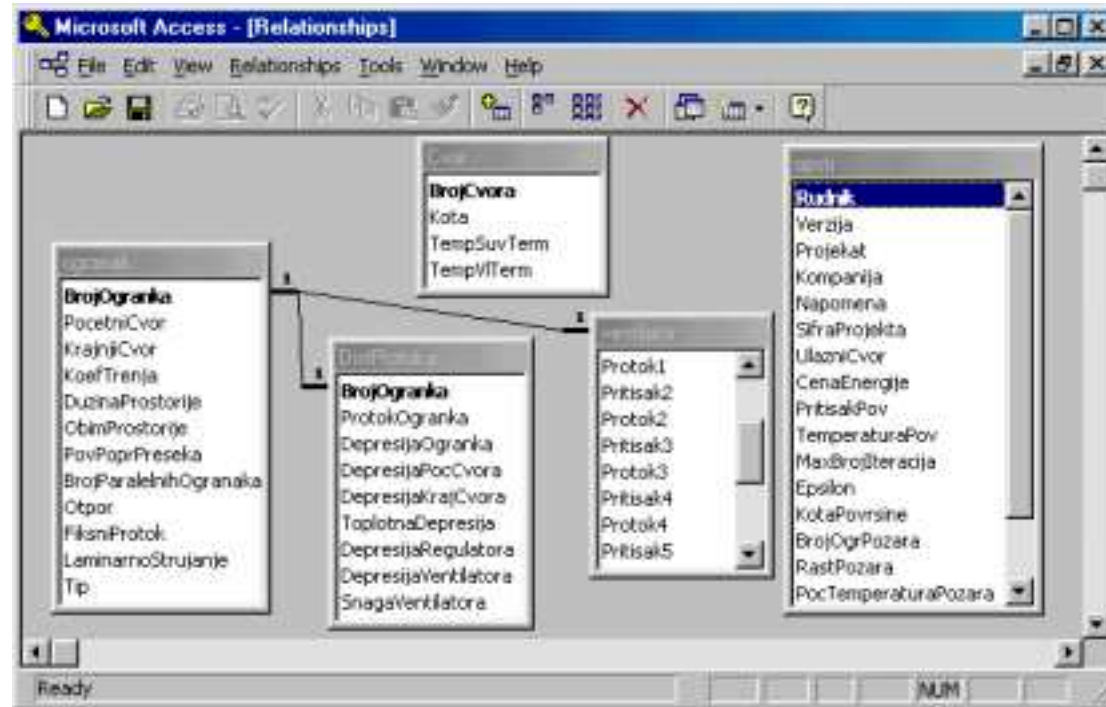
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

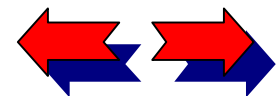
UML notacija

Index

jedinstveni identifikator – primarni ključ tabele čija je uloga jednoznačna identifikacija sloga u tabeli (na primer ogranka u tabeli ogranaka , odnosno čvora u tabeli čvorova).



Slika 7.6 Struktura baze podataka za paket SimVent



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

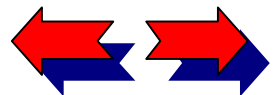
## Poglavlje 8

### EKSPERTNI SISTEM ZA ANALIZU VENTILACIJE RUDNIKA

Jedan od najznačajnijih i najsloženijih problema koji se javlja pri analizi ventilacije rudnika jeste sagledavanje ukupne ocene stanja ventilacionog sistema. U ovom poglavlju monografije opisane su najznačajnije karakteristike VENTEX-a, ekspertnog sistema za analizu i ocenu ukupnog stanja ventilacije rudnika, razvijenom na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. VENTEX je razvijen kao nadgradnja postojećeg numeričkog programskog paketa SimVent sa deklarativnim znanjima reprezentovanim pravilima i heuristikama koje pri rešavanju domenskih problema koriste eksperti iz oblasti ventilacije rudnika.

#### SADRŽAJ

Opis problema analize rudničkih ventilacionih sistema.....	256
Ekspertni sistemi .....	274
Razvoj dijagnostičkog ekspertnog sistema VENTEX .....	287

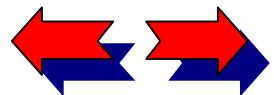


## Opis problema analize rudničkih ventilacionih sistema

### Uvodna razmatranja

Jedan od najznačajnijih i najsloženijih problema koji se javlja pri analizi ventilacije rudnika jeste sagledavanje ukupne ocene stanja ventilacionog sistema. Adekvatna analiza i izbor optimalnih rešenja ventilacije rudnika predstavljaju imperativne zahteve sa aspekta obezbeđivanja potrebne sigurnosti rada u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom. Savremena rudarska nauka koristi brojne matematičke metode implementirane u softverima za rešavanje problema ventilacije rudnika u tekućoj inženjerskoj praksi. Jedan od navedenih softvera je i programski paket za simulaciju ventilacije SimVent razvijen na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu /52/. Ovaj paket pruža mogućnost određivanja distribucije protoka vazduha, mehanizma prenosa toplote, simulacije pojave požara i distribucije gasa u složenim rudničkim ventilacionim mrežama.

Da bi raspoloživi numerički softver za ventilaciju rudnika mogao biti u potpunosti iskorišćen neophodno je znanje eksperta u ovoj oblasti. Ovo znanje se sastoji od pravila i heuristika koje koriste eksperti kada primenjuju numeričke metode. Pristup zasnovan na znanju razvijen u okviru veštačke inteligencije (VI) nudi mogućnost ugradnje znanja u softverske sisteme. Istraživači u oblasti VI posvetili su veći deo svojih napora razvoju formalizama za predstavljanje znanja i mehanizama za korišćenje ovih znanja, što je dovelo do pojave sistema zasnovanih na znanju odnosno inteligentnih sistema. Među



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

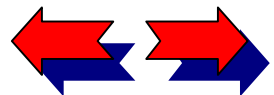
### Index

njima su najpoznatiji ekspertni sistemi (ES) čija je namena da emuliraju ponašanje eksperta u određenoj oblasti. Njihova popularnost je rezultat činjenice da su sa uspehom implementirani u različitim oblastima, počev od medicinske dijagnostike pa do projektovanja složenih računarskih mreža, pri čemu su postizani vrlo dobri rezultati (Durkin, 1994).

Teorijske rasprave o svrsi, mogućnostima i konceptu gradnje ekspertnih sistema u oblasti ventilacije rudnika pojavile su se krajem 80-tih godina. Početkom 90-tih godina javile su se i prve konkretne aplikacije ekspertnih sistema u analizi ventilacije rudnika /76/ /32/ /74/. U ovom poglavlju monografije opisane su najznačajnije karakteristike VENTEX-a /55/, ekspertnog sistema za analizu i ocenu ukupnog stanja ventilacije rudnika, razvijenom na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. VENTEX je razvijen kao nadgradnja postojećeg numeričkog programskog paketa SimVent sa deklarativnim znanjima reprezentovanim pravilima i heuristikama koje pri rešavanju domenskih problema koriste eksperti iz oblasti ventilacije rudnika.

## Metodologija

Svaki aktivan rudnik u tehničkom, tehnološkom, a naročito u ventilacionom pogledu predstavlja poseban problem. U tom smislu razlike među rudnicima mogu biti velike, bilo da su posledica objektivnih uslova ili postojećih dobrih ili loših rešenja. Iz navedenih razloga veoma je teško vršiti poređenja među rudnicima. Velike poteškoće se, takođe, javljaju i ukoliko se vrši praćenje promena ventilacionog stanja u istom rudniku tokom njegovog razvojnog procesa ili određenih investicionih zahvata. Često se dešava u



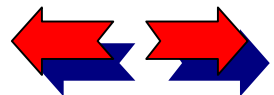


inženjerskoj praksi da se određena poboljšanja u jednom smislu, mogu manifestovati na drugoj strani, sasvim neočekivano, kao negativna. Zbog toga se javila potreba za utvrđivanjem metodologije koja bi definisala i grupisala najznačajnije parametre za ocenu ukupnog ventilacionog stanja rudnika.

Na ukupno ventilaciono stanje jame utiče vrlo veliki broj različitih parametara koji imaju različitu težinu i značaj. U okviru ove analize, ventilaciono stanje rudnika je analizirano prema metodologiji ocene koja omogućava dobijanje meritorne ocene stanja ventilacije rudnika na osnovu sledećih informacija:

- ◆ stanja ventilacione mreže,
- ◆ stanja provetrenosti jame,
- ◆ stanja stabilnosti ventilacionog sistema,
- ◆ stanja gubitaka vazdušne struje,
- ◆ stanja klimatskih prilika,
- ◆ stanja gasova,
- ◆ stanja endogene požarne ugroženosti,
- ◆ stanja ugroženosti štetnom prašinom.

Prema metodologiji koja se predlaže, svaki od navedenih kriterijuma se pojedinačno ocenjuje ocenama stanja: dobro, prihvatljivo, nepovoljno i loše. Nakon pojedinačne ocene svakog od navedenih parametara daje se i ukupna ocena ventilacionog stanja uzimajući u obzir različitu težinu i značaj svakog parametra. Ukupna ocena stanja ventilacije rudnika je, takođe, kategorisana u imenovane četiri kategorije ocena.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Granične vrednosti definisanih kategorija ocene svih uticajnih parametara utvrđene su na osnovu dugogodišnjeg iskustva i praćenja vrednosti ovih parametara za ventilacione sisteme jugoslovenskih rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom.

### Stanje ventilacione mreže

Ocena stanja ventilacione mreže se izvodi analizom sledećih parametara :

- ◆ prisustva dijagonala,
- ◆ prisustva zavisnih ogranaka,
- ◆ prisustva ogranaka gubitaka.

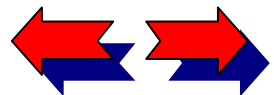
### Prisustvo dijagonala

Dijagonale ventilacione mreže predstavljaju ogranke koji povezuju dva nezavisna puta vazduha kroz ventilacionu mrežu.

Postojanje ogranaka dijagonala nije poželjno u rudničkoj ventilacionoj mreži jer u određenoj meri dijagonale mreži daju slabiji kvalitet. Usled toga, uveden je kriterijum dijagonala ( $\Delta$ ) koji se određuje prema sledećem izrazu :

$$\Delta = \frac{m_d}{m_i} ,$$

(8.1)



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

gde su :

$m_d$  - broj ogranaka dijagonala,

$m_i$  - ukupan broj ogranaka.

Kritična vrednost kriterijuma dijagonala prema kojoj je ocena stanja ventilacione mreže zadovoljavajuća i prihvatljiva iznosi  $0 \leq \Delta \leq 0.05$ .

### Zavisni ogranci

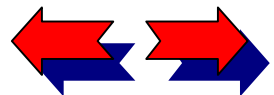
Zavisni ogranci u ventilacionim mrežama su oni koji spajaju dve sveže ili dve istrošene vazdušne struje. Ovi ogranci u ulaznoj vazdušnoj struji ugrožavaju ventilacioni sistem u slučaju pojava požara, eksplozija ili prodora gasova, a u izlaznoj vazdušnoj struji mogu stvoriti probleme pri planiranju i realizaciji planova odbrane i spasavanja.

Prisustvo zavisnih ogranaka se izražava preko pokazatelja zavisnosti ogranaka ( $p_z$ ) koji se definiše sledećim izrazom :

$$p_z = \frac{m_z}{m_i} , \quad (8.2)$$

gde su :

$m_z$  - broj zavisnih ogranaka,



$m_i$  - ukupan broj ogranaka.

Vrednost pokazatelja zavisnosti ogranaka ( $p_z$ ) prema kome je ocena stanja ventilacione mreže zadovoljavajuća i prihvatljiva iznosi  $0 \leq p_z \leq 0.05$ .

### Kriterijum uticaja ogranaka gubitaka

Jedna od osnovnih karakteristika ventilacione mreže je broj ogranaka koji dolazi na jednu čvornu tačku. Ovaj pokazatelj predstavlja matematičku kategoriju i naziva se koeficijent razgranatosti  $K_r$ . Pošto je svaki ogranak mreže incidentan sa dve čvorne tačke, koeficijent razgranatosti određujemo iz sledećeg izraza :

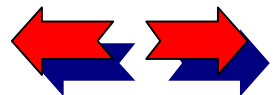
$$K_r = 2 \frac{m_i}{n_i} , \quad (8.3)$$

gde su :

$m_i$  - broj ogranaka,

$n_i$  - broj čvornih tačaka.

Prisustvo ogranaka gubitaka utiče na ventilacionu šemu te ona sadrži veći broj čvornih tačaka i ogranaka, nego kada gubitaka nebi bilo. Kriterijum uticaja ogranaka gubitaka  $\Delta_g$  se definiše na sleđi način :



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamiče fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$\Delta_g = \frac{K_r}{K_{ro}} , \quad (8.4)$$

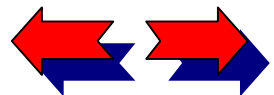
gde je  $K_{ro}$  - koeficijent razgranatosti mreže bez ogranaka gubitaka.

Kritična vrednost kriterijuma uticaja ogranaka gubitaka  $\Delta_g$ , prema kojoj je ocena stanja ventilacione mreže zadovoljavajuća i prihvatljiva iznosi  $1.0 \leq \Delta_g \leq 1.05$ .

### Stanje provetrenosti jame

Stanje provetrenosti jame određuje čitav niz parametara, međutim, ocena se može dati uz zadovoljavajuću tačnost na osnovu sledećih parametara :

- ◆ ekvivalentni otvor jame,
- ◆ koeficijent iskorišćenja vazdušne struje,
- ◆ pokazatelj dobave vazduha,
- ◆ pokazatelj ventilacionog opterećenja,
- ◆ pokazatelj aerodinamičke proporcije,
- ◆ način provetravanja otkopnih radilišta.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Ekvivalentni otvor jame

Ekvivalentni otvor rudnika određuje veličinu otvora  $A$  ( $m^2$ ) kroz koju bi prolazio ukupan zapreminski protok vazduha  $Q$  ( $m^3/s$ ) pod uticajem ukupne depresije rudnika  $h$  (Pa).

Ekvivalentni otvor jame se određuje prema sledećem obrascu :

$$A = 1.19 \frac{Q}{\sqrt{h}} , \quad (8.5)$$

gde su :

$Q$  - ukupni zapreminski protok vazduha ( $m^3/s$ ),

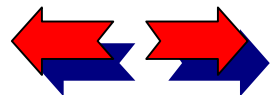
$h$  - depresija (Pa).

Vrednost ekvivalentnog otvora jame, prema kojoj je ocena stanja provetrenosti jame zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $A > 1.0$  .

## Koeficijent iskorišćenja vazdušne struje

Koeficijent iskorišćenja vazdušne struje predstavlja odnos između korisnog zapreminskog protoka vazduha ( $Q_k$ ) i ukupnog zapreminskog protoka vazduha ( $Q_{uk}$ ), odnosno

$$K_i = \frac{Q_k}{Q_{uk}} . \quad (8.6)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Kritična vrednost koeficijenta iskorišćenja vazdušne struje, prema kojoj je ocena stanja provetrenosti jame zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $0.8 \leq K_i \leq 1$ .

### Pokazatelj specifične dobave vazduha

Kroz ventilacionu mrežu određene razgranatosti može da cirkuliše veći ili manji zapreminski protok vazduha. Usled toga pokazatelj specifične dobave vazduha ( $p_q$ ) predstavlja odnos između ukupnog zapreminskog protoka ( $Q_{uk}$ ) i ukupnog broja ogranaka ( $m_i$ )

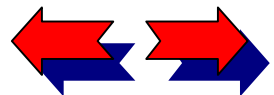
$$p_q = \frac{Q_{uk}}{m_i} . \quad (8.7)$$

Vrednost pokazatelja specifične dobave vazduha, prema kojoj je ocena stanja provetrenosti jame zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $p_q \geq 0.8$ .

### Pokazatelj ventilacionog opterećenja

Pokazatelj ventilacionog opterećenja označava odnos ukupne depresije jame ( $h$ ) prema broju ogranaka ( $m_i$ ):

$$p_h = \frac{h}{m_i} . \quad (8.8)$$



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Kritična vrednost pokazatelja ventilacionog opterećenja, prema kojoj je ocena stanja provetrenosti jame zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $p_h \leq 15$ .

### Pokazatelj aerodinamičke proporcije

Za racionalan sistem provetravanja važno je da ne postoji disproporcija aerodinamičkih otpora puteva ulazne i izlazne vazdušne struje, obično na štetu ovih poslednjih.

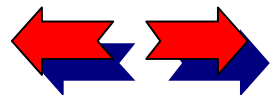
Pokazatelj aerodinamičke proporcije predstavlja odnos ekvivalentnih otvora ulaznog ( $A_{ul}$ ) i izlaznog ( $A_{izl}$ ) ogranka :

$$p_A = \frac{A_{ul}}{A_{izl}} \quad (8.9)$$

Kritična vrednost pokazatelja aerodinamičke proporcije, prema kojoj je ocena stanja provetrenosti jame zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $p_A \leq 1.05$ .

### Način provetravanja otkopnih radilišta

Protočno provetravanje otkopa svežom vazdušnom strujom je najefikasniji i najsigurniji način provetravanja. Osvežena ili delimično istrošena vazdušna struja i pored protočnog provetravanja daje niži kvalitet. Najčešći način provetravanja otkopnih radilišta u jugoslovenskim rudnicima uglja sa



podzemnom eksploatacijom je kompresiono separatno provetravanje. Separatno provetravanje svežom vazdušnom strujom je po kvalitetu slabije rešenje od protočnog provetravanja istom strujom.

Analiziranjem kategorija ocene stanja načina provetravanja otkopnih radilišta može se zaključiti da se protočno i separatno provetravanje svežom vazdušnom strujom može oceniti kao povoljno i prihvatljivo a sve druge pomenute kombinacije pripadaju kategorijama nepovoljne i loše ocene.

### Stanje stabilnosti ogranaka

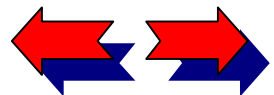
Stanje stabilnosti ogranaka se određuje na osnovu stepena stabilnosti ( $\sigma$ ), koji predstavlja količnik pada potencijala (aerodinamičkog ili hidrodinamičkog) u ispitivanom ogranaku i razlike depresije glavnog ventilatora ( $h_v$ ) i pada potencijala istog ogranaka ( $h_{og}$ ), odnosno:

$$\sigma = \frac{h_{og}}{h_v - h_{og}} \quad (8.10)$$

Vrednost pokazatelja stepena stabilnosti, prema kojoj je ocena stanja stabilnosti ogranaka jame zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $\sigma > 0.25$ .

### Stanje gubitaka vazdušne struje

Gubici vazdušne struje imaju veliki uticaj na ventilacione i klimatske prilike zato što smanjuju efekat provetrenosti radilišta, povećavaju koncentraciju gasova i povećavaju nestabilnost ogranaka.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Stanje gubitaka vazdušne struje se može sagledati na osnovu dva parametra :

- ◆ koeficijenta gubitka  $i$
- ◆ pokazatelja učestalosti gubitaka.

### Koeficijent gubitka

Koeficijent gubitka predstavlja odnos između zapreminskog protoka vazduha koji se gubi ( $Q_{gub}$ ) i ukupnog zapreminskog protoka vazduha ( $Q_{uk}$ ),

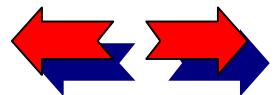
odnosno

$$K_g = \frac{Q_{gub}}{Q_{uk}} \quad . \quad (8.11)$$

Kritična vrednost koeficijenta gubitka, prema kojoj je ocena stanja gubitaka vazdušne struje zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $K_g \leq 0.15$ .

### Pokazatelj učestalosti gubitka

Jedan isti zapreminski protok vazduha ili različiti protoci mogu da se gube preko manjeg ili većeg broja ogranaka u ventilacionoj mreži. Ovo stanje odražava pokazatelj učestalosti gubitaka, koji predstavlja odnos broja ogranaka gubitaka ( $m_g$ ) prema ukupnom broju ogranaka ( $m_i$ ), odnosno



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računske dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

$$p_{ug} = \frac{m_g}{m_i} \quad . \quad (8.12)$$

Vrednost pokazatelja učestalosti gubitaka, prema kojoj je ocena stanja gubitaka vazdušne struje zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $0 \leq p_{ug} \leq 0.10$ .

### Stanje jamske klime

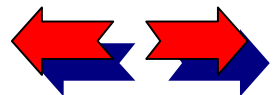
Osnova za ocenu stanja jamske klime usvojena je iz Pravilnika o tehničkim merama i zaštiti na radu pri rudarskim podzemnim radovima, preračunata na efektivne stepene. Vrednost efektivne temperature prema kojoj je ocena stanja jamske klime zadovoljavajuća i prihvatljiva iznosi  $t_{ef} \leq 25$ .

### Stanje gasova

Stanje opasnih i štetnih gasova koji je jedan od najznačajnijih problema u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom može se sagledati analizom dva parametra:

- ◆ gasonosnosti i
- ◆ faktora prekoračenja koncentracija štetnih gasova na radilištima.

Gasonosnost (metanonosnost) je jedan od osnovnih pojmova kojim se definišu gasni odnosi u ležištu. Pod pojmom gasonosnosti ugljenih slojeva podrazumeva se količina gasa koju sadrži u prirodnim uslovima jedinica mase ili zapremine ugljenog sloja.



Vrednost metanonosnosti, prema kojoj je ocena gasnog stanja u jami zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi metanonosnost  $\leq 5.0 \text{ m}^3 / \text{t}$ .

Faktor prekoračenja koncentracije štetnih gasova predstavlja odnos koncentracije analiziranog gasa u atmosferi radne okoline i maksimalno dozvoljene koncentracije tog gasa, odnosno

$$f_p = \frac{C_g}{\text{MDK}_g}, \quad (8.14)$$

gde su

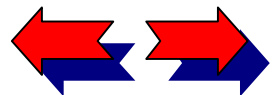
$f_p$  - faktor prekoračenja

$C_g$  - koncentracija gasa,

$\text{MDK}_g$  - maksimalno dozvoljena koncentracija gasa,

### Stanje požarne ugroženosti

Stanje požarne ugroženosti u uslovima eksploatacije jugoslovenskih mrkih i lignitskih ugljeva je vrlo teško definisati, jer metode ispitivanja prirodne sklonosti samozapaljenja nisu dovoljno prilagođene problematici ispitivanja ovih ugljeva. Pored navedene konstatacije čitav niz tehničko-tehnoloških karakteristika proizvodnog procesa u praksi uglavnom potencira tu prirodnu sklonost. Za sada, u nedostatku sigurnijih pokazatelja pri oceni ovog stanja opredeljenje je bilo na iskustvenom definisanju četiri kategorije ocene naših ležišta uglja koja se podzemno eksploatišu: ležišta sa malom sklonošću,



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

ležišta sa srednjom sklonošću, ležišta sa velikom sklonošću i ležišta sa vrlo velikom sklonošću ka samoupali uglja.

### Stanje ugroženosti mineralnom prašinom

Stanje ventilacionog sistema prema kriterijumu opasne mineralne prašine može se sagledati analizom dva parametra:

- ◆ procenta slobodnog  $\%S_iO_2$  i
- ◆ faktora prekoračenja koncentracija mineralne prašine na radilištima.

Vrednost  $\%S_iO_2$ , prema kojoj je ocena stanja ugroženosti mineralnom prašinom zadovoljavajuća i prihvatljiva, iznosi  $\%S_iO_2 \leq 5.0\%$ .

Faktor prekoračenja koncentracije mineralne prašine predstavlja odnos koncentracije mineralne prašine u atmosferi radne okoline i maksimalno dozvoljene koncentracije te mineralne prašine, odnosno

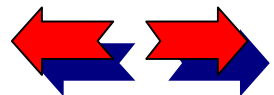
$$f_p = \frac{C_p}{MDK_p}, \quad (8.15)$$

gde su

$f_p$  - faktor prekoračenja

$C_p$  - koncentracija min. prašine,

$MDK_p$  - maksimalno dozvoljena koncentracija prašine.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

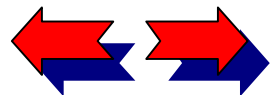
UML notacija

Index

## Formalizacija ocene stanja ventilacije rudnika

Strategija analize rudničkih ventilacionih mreža ekspertnim sistemom VENTEX zasnovana je na analizi rezultata raspoloživih numeričkih algoritama implementiranih u programski paket SimVent, sa jedne strane, i znanjima i heuristikama koje su formulisali eksperti za ventilaciju, sa druge strane. Kombinovanje proceduralnog i deklarativnog znanja potrebno je u cilju uspešnog rešavanja problema. Osnovni cilj sistema je procena opšteg ventilacionog stanja rudnika. Ovaj globalni cilj se može razložiti na hjerarhijsku strukturu podciljeva, u kojoj se svaki od navedenih podciljeva ostvaruje ocenom niza pojedinih parametara koji učestvuju u oceni opšteg ventilacionog stanja rudnika. Svi parametri su grupisani prema njihovom značaju u sledeće osnovne kategorije : ventilaciona mreža, provetrenost rudnika, stabilnost ventilacionog sistema, gubici vazdušne struje, klimatske prilike, gasno stanje rudnika, požarna ugroženost i ugroženost štetnom prašinom. Nakon pojedinačne ocene niza parametara u svakoj od navedenih kategorija, moguće je izvesti ocenu opšteg stanja ventilacionog sistema pri čemu treba voditi računa o različitom značaju, odnosno težini pojedinih parametara.

Složenost problema ocene opšteg ventilacionog stanja rudnika proističe iz činjenice da se ona dobija na osnovu informacija koja se mogu dobiti pomoću numeričkih rutina SimVent-a, ali i informacija koje daje korisnik. Obim ovih informacija može se menjati od slučaja do slučaja, a sem toga, one mogu biti sasvim različitog stepena pouzdanosti. Hijerarhijska dekompozicija osnovnog cilja u podciljeve, koja predstavlja strategiju rešavanja problema, omogućava jednostavnije sagledavanje problema u svojoj njegovoj složenosti kao i koordiniranje korišćenja numeričkih rutina s jedne strane, i znanja



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

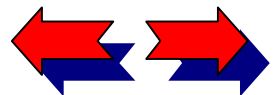
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

inkorporiranog u sistem s druge. Strategija kojom će se upravljati raspoloživim numeričkim algoritmima i bazom podataka, morala je, dakle, da se suoči sa promenljivim brojem polaznih informacija i širokim prostorom mogućih rezultata, što za posledicu ima veliki broj međurezultata.

Strategija ocene opšteg stanja ventilacije rudnika predstavljena je uz pomoć modela dobijenog modifikacijom standardnog modela koji se koristi u Coad-Yourdon-ovoj objektno orijentisanoj analizi (OOA) /11/. U standardnom modelu svaki entitet realnog sistema obuhvaćenog modelom predstavljen je klasom odnosno objektom koji se sastoji od imena, atributa i metoda koje se odnose na procedure vezane za ovaj objekat. Takav model modifikovan je uvođenjem novog (četvrtog) elementa, kako bi se omogućilo uključivanje deklarativnih znanja u obliku produkcionih (AKO-ONDA) pravila vezanih za određeni objekat modela. Tako je u modifikovanom modelu moguće predstaviti kako proceduralna tako i deklarativna znanja vezana za objekat neke klase. Modifikovani OOA model iskorišćen je za predstavljanje strategije ocene stanja ventilacije rudnika kao i ostalih objekata sistema i njihovih međusobnih odnosa (Sl. 8.1). Relacije nasleđivanja između hijerarhijski povezanih objekata, koji predstavljaju elemente strategije date su punim linijama, dok je razmena poruka između klasa predstavljena tačkastim linijama. Ovaj model poslužio je kao osnova za implementaciju sistema pomoću jedne objektno-orijentisane školjke za razvoj ekspertnih sistema.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

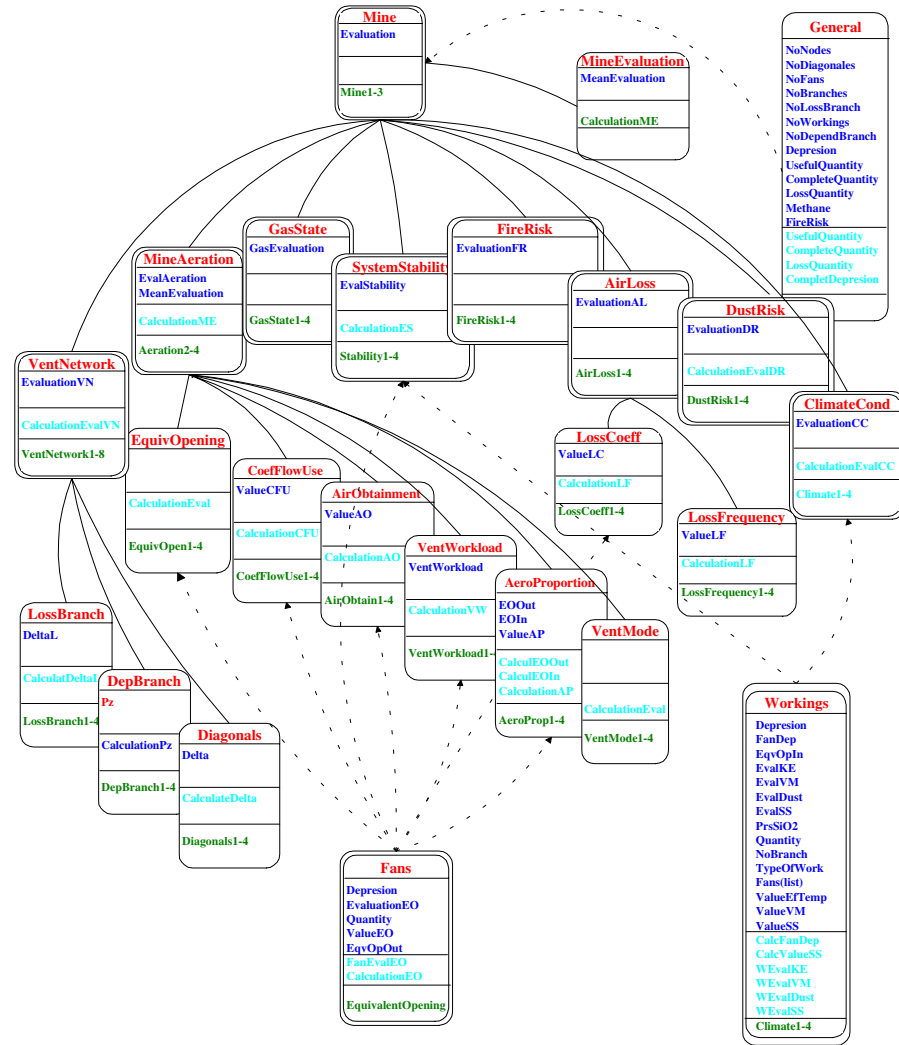
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

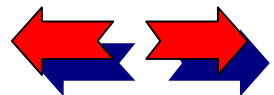
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



Slika 8.1. Modifikovani OOA model ocene stanja ventilacije rudnika



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

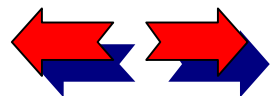
## Ekspertni sistemi

### Osnovni elementi i struktura

Razvoj ekspertnih sistema inspirisan je načinom na koji eksperti rešavaju probleme iz svog domena, pri čemu se ekspertom smatra neko ko je u stanju da uspešno rešava probleme iz određene oblasti na osnovu specijalizovanog znanja i iskustva koje poseduje. Eksperti svoje znanje i iskustvo akumuliraju tokom jednog dužeg perioda u kome se bave rešavanjem određene kategorije problema.

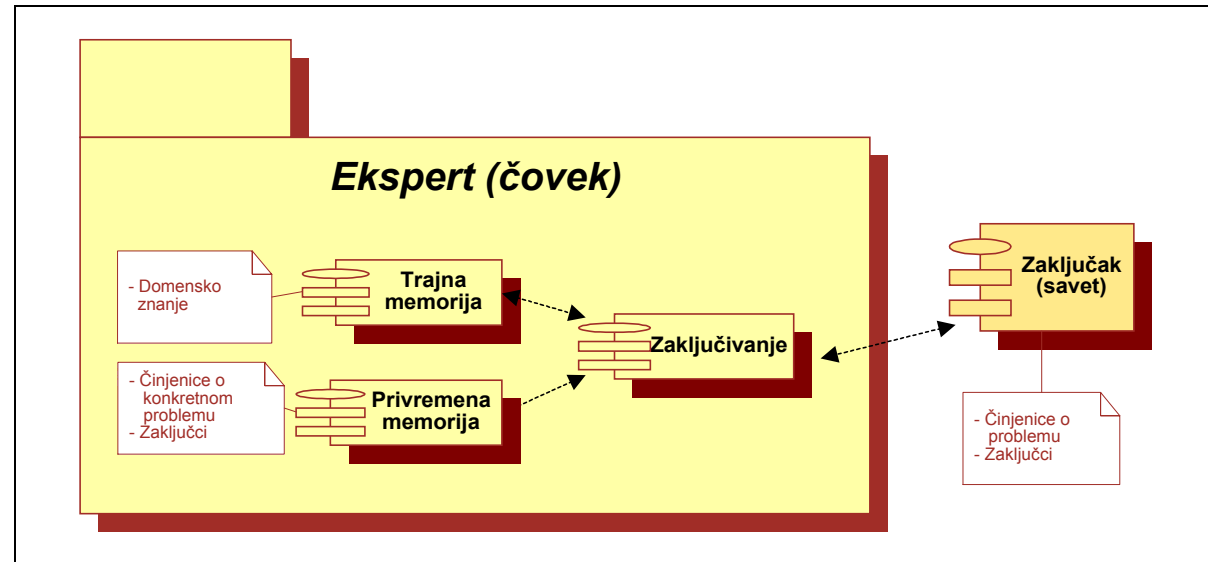
Cilj ekspertnih sistema je da ekspertsko znanje i iskustvo učine dostupnim širokom krugu korisnika tako što će u svom radu oponašati eksperta suočenog sa problemom iz njegovog domena. Uobičajeno je da se u ekspertnim sistemima za znanje koje ekspert koristi za rešavanje određene kategorije problema koristi termin *domensko znanje* (*domain knowledge*). Prilikom rešavanja novog problema, ekspertu su, pored njegovog domenskog znanja, neophodne i informacije o konkretnom problemu koji treba rešiti.

Da bismo uspostavili analogiju između procesa rešavanja problema od strane eksperta sa jedne strane i ekspertnog sistema sa druge, pretpostavimo da memorija eksperta može da se podeli na "trajnu" i "privremenu" memoriju, odnosno segment u kome ekspert pamti informacije na duži rok i segment u kome se informacije čuvaju samo privremeno, dok su potrebne, a zatim se brišu. U takvoj podeli, domensko znanje bi, zbog svog značaja, činilo sadržaj trajne memorije eksperta. Sa druge strane,



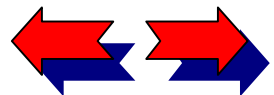
konkretne informacije o određenom problemu su radnog karaktera, pa ekspert nema razloga da ih pamti posle rešavanja problema, i stoga ih smešta u svoju privremenu memoriju.

Ekspert rasuđuje o problemu kombinujući svoje znanje i iskustvo iz trajne memorije sa podacima o konkretnom problemu iz privremene memorije i kroz ovaj proces dolazi do rešenja problema, koje u vidu svojih zaključaka saopštava korisniku, odnosno onome ko je od njega zatražio da problem reši. Na slici 8.2 prikazan je dijagram koji prikazuje rešavanje problema od strane eksperta.



Slika 8.2 Rešavanje problema od strane eksperta

Ekspertni sistem, kao i ekspert, čuva svoje znanje iz domena za koji je projektovan u trajnoj memoriji sistema. Projektant ekspertnog sistema, koji se naziva i *inženjerom znanja (knowledge engineer)*, ima



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

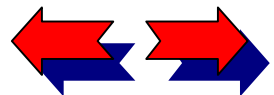
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

zadatak da to ekspertno znanje iz određenog domena, kroz seriju intervju sa jednim ili više eksperata, formalizuje i kodira ga nekom od raspoloživih tehnika za predstavljanje znanja. Ovako formalizovano i kodirano znanje smešta se u trajnu memoriju, i to u modul koji se naziva *bazom znanja* (*knowledge base*). Postoji više tehnika za predstavljanje znanja (o kojima će kasnije biti malo više reči) od kojih su svakako najpoznatija AKO-ONDA (IF-THEN) pravila. Ova pravila logički povezuju informacije u AKO delu sa informacijama u ONDA delu. Da bi pravila iz baze znanja mogla da se koriste za rešenje konkretnog problema neophodne su dodatne informacije o samom problemu. Ove informacije obično se prikupljaju kroz dijalog sa korisnikom a zatim se smeštaju u privremenu ili "radnu" memoriju. Potom se pretražuje baza znanja da bi se pronašla pravila koja će na osnovu raspoloživih informacija generisati nove informacije, čime se pokreće proces rasuđivanja ekspertnog sistema. Nove informacije generisane primenom pravila takođe se smeštaju u radnu memoriju, a zatim se na njih primenjuju nova pravila iz baze znanja, i tako se lanac rasuđivanja odvija sve do iznalaženja rešenja ili, eventualno, do trenutka kada ekspertni sistem konstatuje da nije u mogućnosti da na osnovu raspoloživih informacija reši postavljeni problem. Radna memorija ekspertnog sistema, prema tome, sadrži sve informacije o problemu koje su dobijene od korisnika kao i one koje je generisao sam ekspertni sistem.

Pored informacija koje se prikupe kroz dijalog sa korisnikom, ekspertni sistemi često koriste i informacije koje dobijaju od drugih, eksternih računarskih aplikacija, najčešće preko baza podataka ili datoteka. I ove informacije smeštaju se u radnu memoriju ekspertnog sistema i koriste po potrebi tokom procesa rasuđivanja.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

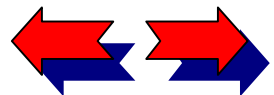
### Index

U ekspertnom sistemu proces rasuđivanja eksperta se modelira kroz modul koji se naziva *mehanizmom rasuđivanja (inference engine)*. Mehanizam rasuđivanja koristi informacije koje sadrži radna memorija i domensko znanje koje sadrži baza znanja da bi generisao nove informacije koje se smeštaju u radnu memoriju, zaključno sa informacijama odnosno zaključcima koji predstavljaju rešenje postavljenog problema.

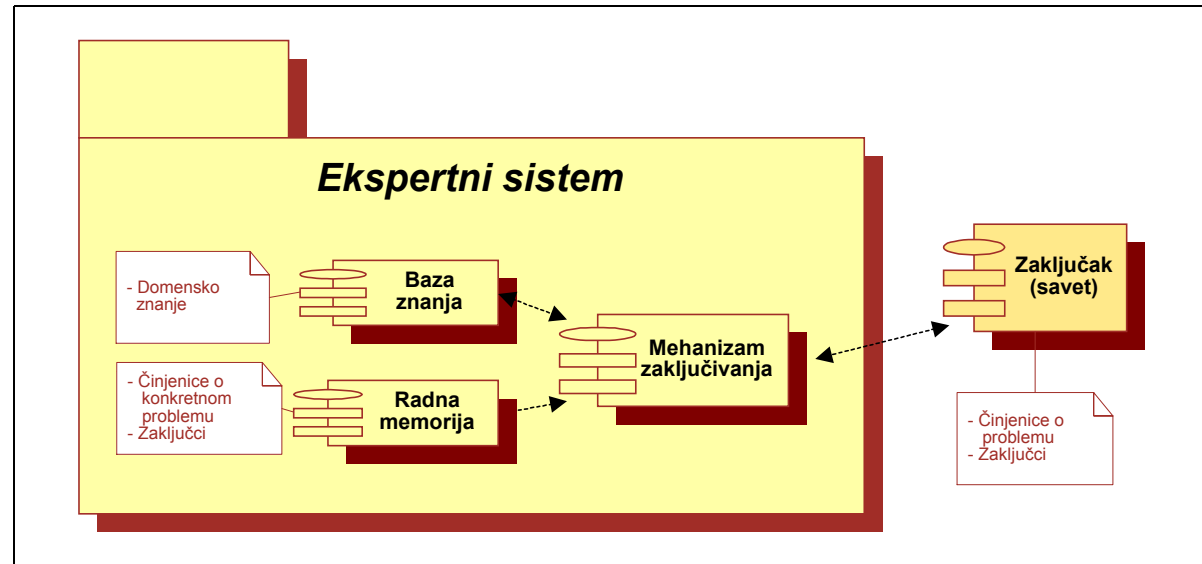
Jedna od značajnih karakteristika ekspertnih sistema jeste da, na zahtev korisnika, mogu da daju objašnjenja vezana za svoj rad. Idealno, korisnik ekspertnog sistema je u mogućnosti da traži obrazloženje za svaku informaciju koju ekspertni sistem od njega zatraži kao i za svaki zaključak do koga sistem u svom rasuđivanju dođe. Davanjem objašnjenja ekspertni sistem postaje "transparentan", odnosno omogućava korisniku da prati njegov rad, bolje razume njegove zaključke, pa samim tim i lakše procenjuje njihovu valjanost.

Očigledno je da je stepen interakcije između ekspertnog sistema i njegovog korisnika veoma visok i da je ona analogna komunikaciji između eksperta i onoga koga ekspert savetuje. Zbog toga se pri projektovanju ekspertnog sistema ulažu posebni naponi da se interakcija između ekspertnog sistema i korisnika odvija na način što bliži dijalogu na prirodnom jeziku. Da bi se obezbedila što prirodnija komunikacija sa korisnikom u ekspertni sistem se ugrađuje poseban modul koji se naziva *korisničkim interfejsom*.

Osnovna struktura ekspertnog sistema prikazana je na slici 8.3.



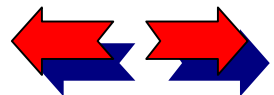




Slika 8.3 Rešavanje problema ekspertnim sistemom

## Karakteristična svojstva

Osnovna karakteristika po kojoj se ekspertni sistemi razlikuju od konvencionalnih programa jeste razdvajanje znanja od kontrole. Naime, dok se u konvencionalnim programima informacije potrebne za rešenje nekog problema i kontrola nad ovim informacijama međusobno prepliću, dotle u ekspertnim sistemima baza znanja i mehanizam rasuđivanja predstavljaju potpuno razdvojene module sistema. Ovo svojstvo ekspertnih sistema olakšava kako formiranje baze znanja, tako i njeno održavanje. Naime, baza znanja može da se razvija inkrementalno, deo po deo, a isto tako i menja u pojedinim svojim delovima.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

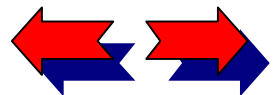
Index

Sa druge strane mehanizam rasuđivanja je potpuno nezavisan što bitno olakšava kontrolu njegove valjanosti.

U ekspertnim sistemima znanje je predstavljeno u simboličkom obliku. Naime, simboli se koriste za predstavljanje činjenica, koncepata i pravila. Većina ranih radova u veštačkoj inteligenciji bila je skoncentrisana na razvoj tehnika za predstavljanje znanja. Svaka od ovih tehnika zasnovana je na predstavljanju znanja o problemu u simboličkom obliku. Sem predstavljanja znanja u simboličkom obliku, u ekspertnim sistemima se i manipuliše ovim znanjem u simboličkoj formi kako bi se došlo do rešenja problema.

Još jednu značajnu karakteristiku ekspertnih sistema predstavljaju *heuristike (heuristics)* ili *iskustvena pravila (rules of thumb)* koja eksperti formiraju na osnovu svog iskustva i praktičnog razumevanja problema i koje takođe predstavljaju deo baze znanja. Ova vrsta znanja naziva se “plitkim” za razliku od “dubokog” znanja pod kojim se podrazumevaju fundamentalni zakoni, funkcionalne relacije i sl. Heuristikama se, međutim, često značajno može skratiti put do rešenja problema. Dok je u konvencionalnim programima put do rešenja problema jednoznačan i strogo definisan odgovarajućim algoritmom, dotle u ekspertnim sistemima, zahvaljujući heurističkom rasuđivanju, postupak donošenja zaključaka nije unapred definisan, već se, zavisno od situacije, mogu koristiti različiti putevi koji vode ka rešenju.

Kao što je strogo definisan postupak za rešavanje problema, tako su u konvencionalnim programima unapred strogo definisane informacije koje su neophodne za rešavanje problema, odnosno skup podataka koji moraju biti kompletni i precizni da bi algoritam uopšte mogao da funkcioniše. Međutim, to



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

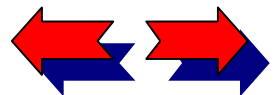
Index

nije slučaj sa ekspertnim sistemima koji omogućavaju rasuđivanje i u prisustvu neodređenosti, odnosno donošenje zaključaka i na osnovu informacija koje su nepotpune, nepouzidane pa čak i dvosmislene, a uz korišćenje domenskog znanja koje ne mora uvek biti kompletno i precizno.

Konačno, kada je reč o karakteristikama ekspertnih sistema treba istaći da su oni uvek ograničeni na određenu klasu problema i to onih za koje je utvrđeno da su rešivi. Drugim rečima, za razliku od samog eksperta od koga se mogu očekivati inovacije i proširenje klase problema koje je u stanju da reši, ekspertni sistemi takvo svojstvo ne poseduju. Sa druge strane, kao i sam ekspert, i ekspertni sistem je podložan greškama. Naime, zaključci koje donese ekspertni sistem, kao uostalom i zaključci eksperta, ne moraju uvek da budu ispravni, pa su stoga, u principu, podložni kritici. Sem toga i ekspertni sistem kao i ekspert može da se nađe u situaciji da određeni problem nije u stanju da reši i da, umesto zaključka, korisniku saopšti da je za njega zadati problem nerešiv.

## Predstavljanje znanja

Tehnike za predstavljanje znanja su, kao što smo već napomenuli, jedno od prvih polja u kojima je veštačka inteligencija započela svoja istraživanja. Iako danas već postoji značajan broj razvijenih i uspešno primenjenih tehnika za predstavljanje znanja, kao što su trojke objekt-atribut-vrednost, pravila, semantičke mreže i okviri, ovo polje se i dalje intenzivno razvija. Mi ćemo se ovde kratko zadržati na pravilima, o kojima je već bilo reči, kao i na tehnici okvira.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

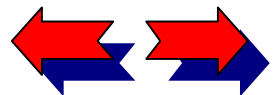
### Index

Pravila predstavljaju takvu strukturu znanja kojom se informacije koje su poznate povezuju sa informacijama koje “postaju” poznate. Pravilo je oblik takozvanog proceduralnog znanja, jer povezuje informaciju sa određenom akcijom. Ta akcija može biti potvrda nove informacije ili nekakva procedura koju treba pokrenuti, pa u tom smislu pravila opisuju kako se problem rešava.

Pravilo, u opštem slučaju, u svom AKO delu sadrži više premisa povezanih logičkim I (konjunkcija) i ILI (disjunkcija) vezama, odnosno njihovom kombinacijom. Zaključak, odnosno sadržaj ONDA dela pravila može biti jedinstven iskaz ili, pak, više iskaza povezanih konjunkcijom (I). Pravilo takođe može sadržati i INAČE (ELSE) deo koji, kao i ONDA deo, čini jedan ili više iskaza, s tim što iskazi u ONDA delu važe ako su premise iz AKO dela tačne, dok iskazi u INAČE delu važe ako premise nisu tačne. Na primer, pravilo UcestGubitaka2, koje određuje ocenu stanja ventilacije prema kriterijumu učestalosti gubitaka, ima sledeći oblik:

AKO	UcestGubitaka: VredUG > 0.10
I	UcestGubitaka: VredUG <= 0.20
ONDA	UcestGubitaka: Ocena = “nepovoljno”

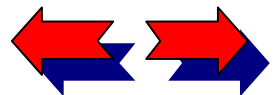
U sistemu zasnovanom na pravilima domensko znanje se formalizuje kroz niz pravila i unosi u bazu znanja, pa sistem rešava problem kombinovanjem pravila iz baze znanja i informacija iz radne memorije. Naime, ako raspoložive informacije u radnoj memoriji odgovaraju AKO delu nekog pravila, onda se to pravilo aktivira, odnosno realizuje se akcija specificirana u njegovom ONDA delu, a zatim se i rezultati ove akcije smeštaju u radnu memoriju. Nove informacije u radnoj memoriji mogu sada da posluže za



aktiviranje novih pravila koja opet generišu nove informacije u radnoj memoriji, pa se tako, izvršavanjem jednog lanca pravila, dolazi do rešenja problema.

Karakteristika ekspertnih sistema jeste da se u pravilima dozvoljava prisustvo neodređenosti, kako u premisama, tako i u zaključcima. Bez ulaženja u detalje različitih mehanizama za regulisanje neodređenosti u pravilima, ovde ćemo, kao primer, navesti takozvani *faktor izvesnosti (certainty factor)*. Ovaj faktor se pridodaje ONDA delu pravila i uzimajući vrednosti od -1 (sigurno ne) do 1 (sigurno da) preko, na primer, -0.8 (skoro sigurno ne), 0.4 (možda), 0.6 (verovatno) itd., pokazuje sa kojim stepenom izvesnosti može da se prihvati zaključak u ONDA delu. Za regulisanje neodređenosti u ekspertnim sistemima u novije vreme se sve češće koristi teorija *rasplinutih (fuzzy) skupova* (o kojoj ovde neće biti detaljnije govora), tako da postoji i kategorija tzv. rasplinutih (fuzzy) ekspertnih sistema.

Još jedna veoma popularna i široko korišćena tehnika za prikazivanje znanja je *sistem okvira (frame system)*. Pod okvirom se podrazumeva struktura podataka kojom je predstavljeno znanje o određenom konceptu ili objektu. Svaki okvir sadrži *okna (slots)* kojima se opisuju karakteristične osobine (atributi) objekta odnosno koncepta, ali i veze okvira sa drugim okvirima u sistemu. Naime, okviri se međusobno povezuju u jednu hijerarhijsku strukturu koja čini sistem okvira. Svaki okvir, dakle, može imati nadređeni okvir na višem nivou hijerarhijske strukture (roditelja) i podređene na nižem nivou (potomke). Okvir na višem nivou po pravilu opisuje objekat koji predstavlja neku vrstu generalizacije objekata opisanih okvirima potomcima na neposredno nižem nivou. Sadržaj okana jednog okvira može se postaviti na različite načine: direktnim unošenjem vrednosti (pri čemu postoji i mogućnost definisanja "default" vrednosti, odnosno vrednosti koja se podrazumeva ukoliko se ne unese neka druga vrednost);



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

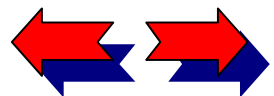
nasleđivanjem osobine (pa time i vrednosti atributa odnosno sadržaja okna) od okvira na višem hijerarhijskom nivou i konačno, pridruživanjem oknu neke procedure koja će se aktivirati kada se zatraži vrednost tog okna. Ova poslednja mogućnost, da se umesto vrednosti okna specificira neka procedura, unosi u sistem okvira dinamičku komponentu.

## Proces rasuđivanja

Rasuđivanje je proces u kome se kombinovanjem znanja, činjenica i strategija za rešavanje problema izvode zaključci o postavljenom problemu. Najčešći oblik rasuđivanja je deduktivno rasuđivanje i ono se praktično svodi na primenu logičkih AKO-ONDA pravila, odnosno implikacija. Međutim, rasuđivanje može biti i induktivno, na osnovu generalizacije, zatim po analogiji ili, pak, zdravorazumsko odnosno heurističko itd.

U ekspertnim sistemima proces rasuđivanja se modelira pomoću mehanizma rasuđivanja koji je zapravo procesor čiji je zadatak da na osnovu sadržaja baze znanja i radne memorije donosi nove zaključke. Postavlja se, međutim, pitanje strategije rešavanja problema, odnosno kako da se pretražuje baza znanja i kombinuje sa sadržajem radne memorije. Mehanizmi rasuđivanja se stoga implementiraju kao logički mehanizmi za dokazivanje istinitosti od kojih su najpoznatiji *ulančavanje unapred (forward chaining)* i *ulančavanje unazad (backward chaining)*.

Ulančavanje unapred je strategija koja se zasniva na raspoloživim činjenicama iz kojih se izvode nove činjenice, a na osnovu pravila čije premise odgovaraju raspoloživim činjenicama. Ovaj proces se odvija



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

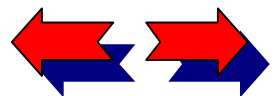
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

dok se ne postigne cilj ili do trenutka kada više ne postoje pravila čije premise odgovaraju raspoloživim činjenicama. Za ovu strategiju je karakteristično da u nju mora biti ugrađen mehanizam za *rešavanje konflikata (conflict resolution)*, odnosno situacija u kojima postoji više pravila koja mogu istovremeno da se aktiviraju, pa se postavlja pitanje koje pravilo treba izabrati. Ovaj mehanizam se može zasnivati na različitim principima, kao što su, na primer, redosled pravila u bazi znanja, prioritet pravila, frekventnost korišćenja i sl. Za ulančavanje unapred karakteristično je i da se najpre prikupe svi raspoloživi podaci, a zatim se pristupi rasuđivanju zbog čega kažemo da ono predstavlja strategiju rasuđivanja koja je *rukovođena podacima (data driven)*. Ovakva strategija primerena je problemima u kojima na osnovu raspoloživih podataka treba doneti odgovarajuće zaključke.

Postoje, međutim, i problemi u kojima se polazi od neke hipoteze koju treba dokazati. U tom slučaju pretpostavljeni zaključak već postoji a pri rešavanju problema traga se za činjenicama koje treba da ga potvrde (ili opovrgnu). U tom slučaju primerenija je strategija rasuđivanja koja je *rukovođena ciljem (goal driven)*, a odgovarajući mehanizam je ulančavanje unazad. Ulančavanje unazad počinje sa definisanjem cilja koji treba postići (dokazati). Zatim se pretražuje baza znanja da bi se našlo pravilo u čijem se ONDA delu nalazi postavljeni cilj, a zatim i radna memorija da bi se pronašle eventualne premise iz AKO dela ovog pravila. Ako se ove premise nađu, problem je rešen. Međutim, ako potrebne premise ne postoje u radnoj memoriji, onda se ponovo pretražuje baza znanja da bi se našla pravila u kojima se ove premise nalaze u ONDA delu. Premise se zapravo mogu posmatrati kao novi (pod)ciljevi koji su nastali dekompozicijom polaznog cilja i sistem sada pokušava njih da postigne, odnosno dokaže. Zbog toga se u daljem postupku u radnoj memoriji traže nove premise, one koje odgovaraju pravilima za zadovoljenje



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

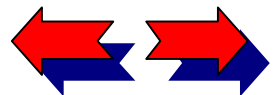
podciljeva. Ovaj proces se rekurzivno odvija, daljom dekompozicijom podciljeva na nove podciljeve sve dok se ne dođe do premisa koje se ne nalaze u ONDA delu nijednog pravila iz baze znanja i koje se nazivaju *primitivama* (*primitives*). U tom trenutku ekspertni sistem se obraća korisniku ili nekom drugom eksternom izvoru podataka, da bi dobio potvrdu da li primitiva važi ili ne i da bi shodno tome nastavio proces rasuđivanja ili eventualno utvrdio da se polazna hipoteza ne može potvrditi.

Svaki od navedenih mehanizama rasuđivanja ima svoje prednosti i nedostatke i primenjuje se zavisno od tipa problema koji se rešava, pa je tako ulančavanje unapred pogodno za rešavanje problema vezanih za planiranje, praćenje, kontrolu i interpretaciju, dok je ulančavanje unazad pogodnije za dijagnostičke probleme, otkrivanje grešaka i sl.

## Softver za ES

Softver za razvoj ekspertnih sistema može da se podeli u tri osnovne kategorije (Prasad and Ramani, 1989): standardne programske jezike, okruženja za razvoj ekspertnih sistema i školjke ekspertnih sistema.

Standardni programski jezici u kojima je moguć razvoj ekspertnih sistema su programski jezici višeg nivoa, i to kako jezici posebno razvijeni u okviru veštačke inteligencije kao što su Prolog, koji je korišćen za razvoj ekspertnog sistema iz oblasti podzemne eksploatacije CHOOZ /8 / ili LISP, korišćen za geološki ekspertni sistem DIPMETER /15/, tako i jezici opšte namene, posebno objektno-orijentisani kao što je C++. Svaki od njih ima svoj kompajler ili interpreter i odgovarajuće okruženje koje olakšava pisanje



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

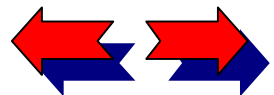
### UML notacija

### Index

programa i korigovanje grešaka. Kako su ovi jezici opšteg karaktera oni pružaju maksimalnu fleksibilnost prilikom implementiranja tehnika za predstavljanje znanja kao i mehanizma rasuđivanja. Sa druge strane, njihova primena u razvoju ekspertnih sistema zahteva da se u samo programiranje ulože značajan napor i vreme, s obzirom da se ekspertni sistem gradi iz osnova. Iz toga razloga je za ovakve projekte pored inženjera znanja i domenskog eksperta neophodan i jak programerski tim.

Okruženja za razvoj ekspertnih sistema kao što su ROSIE ili KEYSTONE su na nešto višem nivou od standardnih programskih jezika i zapravo predstavljaju prelazni oblik ka školjkama. Ova okruženja su sve manje u upotrebi zbog velikog broja raspoloživih školjki. Okruženja su najčešće programski jezici orijentisani ka pravilima, odnosno jezici u kojima postoje unapred pripremljeni moduli za prikazivanje pravila i činjenica. Sem toga, okruženja sadrže i pomoćne programe koji olakšavaju implementaciju mehanizama rasuđivanja. Ona, dakle, takođe nude određenu fleksibilnost ali i dodatne pogodnosti koje olakšavaju razvoj standardnih svojstava ekspertnih sistema. U načelu, za razvoj ekspertnih na ovaj način potrebna je mnogo manja programerska podrška, pa su ponekad dovoljni samo inženjer znanja i domenski ekspert.

Školjke ekspertnih sistema se danas najčešće koriste za razvoj ekspertnih sistema jer u velikoj meri smanjuju vreme potrebno za razvoj. Na tržištu postoji više desetina raspoloživih školjki, sistema vrlo visokog nivoa koji podržavaju implementaciju različitih tehnika za predstavljanje znanja, najčešće pravila: EXSYS, Level5, koji je korišćen za razvoj ekspertnog sistema iz oblasti ventilacije DUSTPRO /17/, ili okvira: ART, KEE, a vrlo često i pravila i okvira istovremeno: Nexpert, Kappa-PC. U školjkama postoje i ugrađeni mehanizmi rasuđivanja, najčešće zasnovani na ulančavanju unapred i ulančavanju unazad, s



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

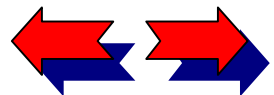
Index

tim što brojne školjke obezbeđuju oba mehanizma: Kappa-PC, koja je korišćena za razvoj ekspertnog sistema o kome je ovde reč. U školjkama se po pravilu nudi i razvijen korisnički interfejs kao i mehanizmi za predstavljanje neodređenosti: BOOLE, RT/Fuzzy. Razvoj ekspertnog sistema pomoću školjke omogućava projektantu da se skoncentriše na fazu prikupljanja znanja i njegovog unošenja u bazu znanja, posle čega se vrlo brzo može dobiti prototip sistema. Budući da korisnika ne opterećuje internom reprezentacijom i logikom sistema, primena školjki ne zahteva poznavaoaca programiranja u okviru razvojnog tima.

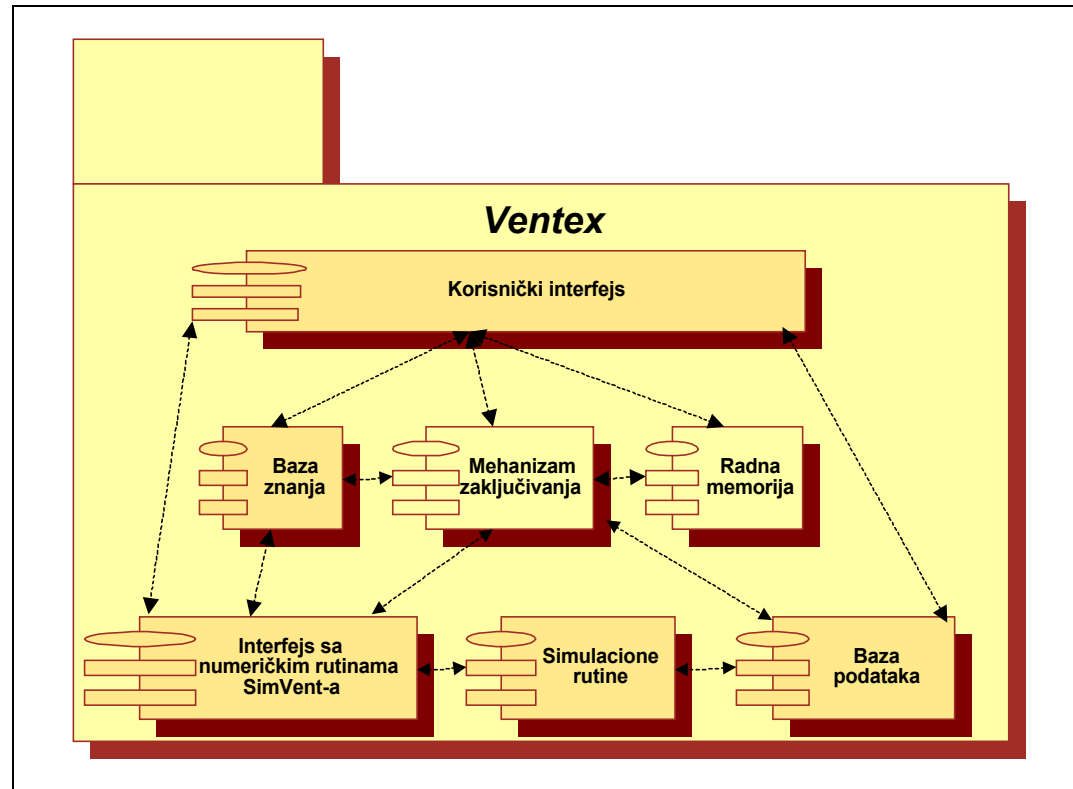
## Razvoj dijagnostičkog ekspertnog sistema VENTEX

### Arhitektura sistema VENTEX

Specifičnost arhitekture sistema VENTEX proističe iz činjenice da on predstavlja simboličku nadgradnju postojećih numeričkih simulacionih paketa SimVent i ResNet. Stoga VENTEX, pored klasičnih elemenata ekspertnog sistema : modula za spregu sa korisnikom, baze znanja, mehanizma zaključivanja i radne memorije, sadrži još i modul za spregu sa numeričkim rutinama SimVent-a i ResNet-a, kao i same simulacione rutine i odgovarajuću bazu podataka ( sl. 8.4).

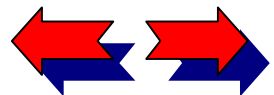






Slika 8.4. Arhitektura dijagnostičkog ekspertnog sistema VENTEX

Modul za spregu sa korisnikom obezbeđuje uspešan dijalog, odnosno razmenu informacija između korisnika i sistema. Ova komponenta ekspertnog sistema VENTEX omogućava korisniku da pruži potrebne informacije sistemu o ventilacionom problemu, a sa druge strane rezultate koje generiše sistem transformiše u informacije razumljive za korisnika.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

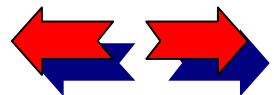
### Index

Baza znanja ekspertnog sistema VENTEX predstavlja formalizaciju znanja eksperata iz oblasti ventilacije rudnika i iskustva vezanog za ventilacione uslove u jugoslovenskim rudnicima. Ona je formirana na osnovu rezultata dugogodišnjeg istraživanja i snimanja ventilacije rudnika na Katedri za ventilaciju i tehničku zaštitu Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Budući, da je znanje ključni činilac u odlučivanju i rešavanju problema, kvalitet i sveobuhvatnost ekspertnog sistema je određen prevashodno kvalitetom i obimom baze znanja. Baza znanja sadrži ekspertsko znanje iz određenog domena koje se sastoji od činjenica i heuristika, predstavljenih u vidu pravila, okvira, semantičkih mreža i drugih formalizama. Izbor načina predstavljanja formalizama je vrlo značajan i igra bitnu ulogu u dizajniranju baze znanja.

Mehanizam zaključivanja realizuje strategiju rešavanja problema i izvodi zaključke na osnovu informacija iz baze znanja i podataka specifičnih za problem, koristeći pritom radnu memoriju za smeštanje međurezultata.

Modul za spregu sa numeričkim rutinama omogućava aktivaciju ovih rutina, kako bi se dobili odgovarajući podaci potrebni mehanizmu zaključivanja ili modulu za spregu sa korisnikom. Simulacione rutine SimVent-a koje su ugrađene u dijagnostički ekspertni sistem VENTEX raspolažu svojom bazom podataka, koja istovremeno stoji na raspolaganju i mehanizmu zaključivanja i modulu za spregu sa korisnikom.

Sistem VENTEX razvijen je kao simbolička nadgradnja numeričkog paketa SimVent pa se stoga može svrstati u spregnute numeričko-simboličke sisteme /37/. Numerički deo sistema čine simulacione rutine SimVent-a a simbolički ekspertno znanje iz oblasti ventilacije rudnika.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičnosti fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

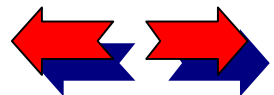
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Uspešna implementacija jednog spregnutog sistema iziskuje rešavanje više složenih problema kako bi se obezbedila efikasna komunikacija između simboličkog i numeričkog dela sistema. Da bi se ovi problemi lakše rešili procesi u spregnutim sistemima obično se razlažu na više nezavisnih modula. Štaviše, razmena infomacija, odnosno komunikacija između modula je strogo definisana i svedena najmanju moguću meru. Naime, komunikacija je dozvoljena samo putem prethodno definisanih spoljnih veza, pri čemu detalji vezani za implemetaciju ostaju "skriveni" unutar samih modula. Ovi zahtevi mogu se na zadovoljavajući način ispuniti u modifikovanom objektno-orijentsianom pristupu koji je ovde izložen, i u kome objekat predstavlja osnovnu jedinicu sistema. Objekti se sastoje od atributa (struktura kojima su predstavljeni interni podaci), metoda (proceduralnih komponenti) i pravila (deklarativnih komponenti).

Pristup objekat/atribut često se preslikava u paradigmu okvir/okno, koja se može na zadovoljavajući način iskortistiti za njegovu implementaciju /78/. Kao što se karakteristike objekata predstavljaju njihovim atributima, tako se i karaktertistike okvira predstavljaju njihovim oknima. Naime, vrednosti okana opisuju attribute objekta predstavljenog okvirom kao i njegove veze sa ostalim okvirima (objektima) u sistemu. Objektno-orijentisanim pristupom implementaciji kroz sistem okvira dobija se mehanizam pogodan za dekompoziciju problema ocene stanja ventilacije, budući da i jedan i drugi poseduju hijerarhijsku strukturu. Svojstva baze znanja koja smo ovde izložili znatno olakšavaju kako koordinaciju znanja unutar same baze znanja tako i komunikaciju između numeričkog i simboličkog dela sistema VENTEX.

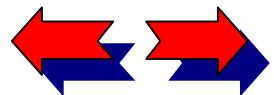


## Softverska implementacija sistema VENTEX

VENTEX je razvijen pomoću školjke za razvoj ekspertnih sistema KAPPA-PC. Reč je o softverskom paketu za MS-Windows koji nudi širok dijapazon alata za razvoj i korišćenje aplikacija u grafičkom okruženju visokog nivoa, pri čemu se kao rezultat generiše standardni C kod. U sistemu KAPPA-PC komponente domena predstavljene su objektima koji mogu biti ili klase ili instance unutar klasa. Povezivanjem objekata u hijerarhijsku strukturu predstavljaju se veze između objekata u modelu. Ovo svojstvo omogućilo je jednostavno preslikavanje modela strategije ocene opšteg stanja ventilacione mreže zasnovanog na OOA u odgovarajuće elemente KAPPA-PC.

Objektno orijentisani programski alati u okviru KAPPA-PC omogućili su da se objektima VENTEX-a dodele metode koje specificiraju šta koji objekt može da radi. Najpre su konstruisani objekti i metode za bazu znanja. Zatim su konstruisani sistemi koji specificiraju kako objekti treba da se ponašaju i koji o objektima rasuđuju uz pomoć pravila. Svako pravilo sastoji se od skupa uslova i skupa zaključaka koji važe kada su uslovi ispunjeni. Zaključci mogu da predstavljaju logičke dedukcije vezane za bazu znanja ili mogu da specificiraju kako se ona menja tokom vremena. Svako pravilo predstavlja relativno nezavisan modul, što omogućava postupnu izgradnju sistema rasuđivanja, pravilo po pravilo.

Kako su aplikacije koje se razvijaju u KAPPA-PC obično namenjene rešavanju vrlo složenih problema, postoje rasnovrsna grafička sredstva koja mogu da se koriste za izgradnju korisničkog interfejsa i koja omogućavaju efikasno praćenje i kontrolu funkcionisanja aplikacije. Značajno svojstvo KAPPA-PC je i mogućnost da se postojeći sistemi usavršavaju. Tako se, na primer, ovaj sistem može povezivati sa



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

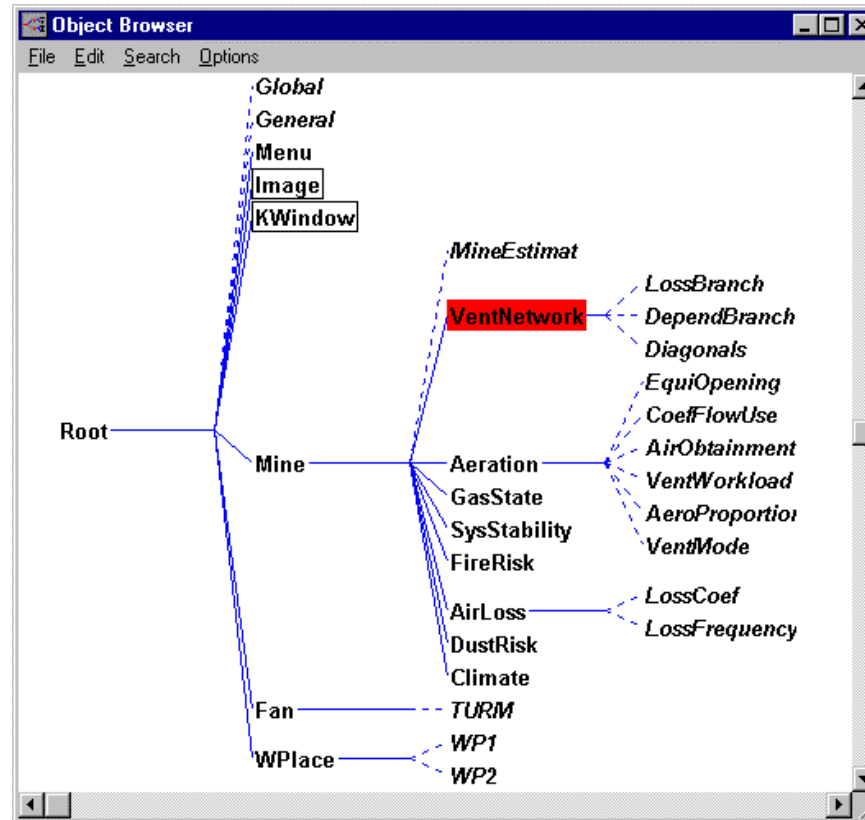
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

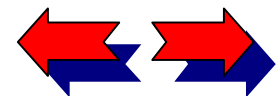
UML notacija

Index

postojećim programima napisanim u standardnim programskim jezicima. Zbog svih ovih svojstava KAPPA-PC sistem se pokazao kao moćan alat za nadgradnju postojećeg numeričkog paketa SimVent u ekspertni sistem VENTEX.



Slika 8.5. Object Browser u sistemu KAPPA-PC za VENTEX



- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

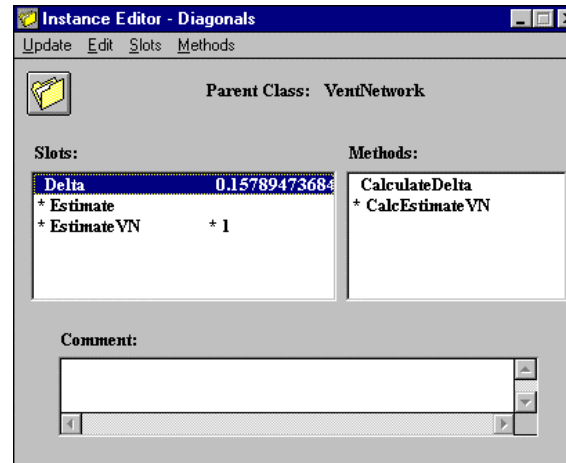
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

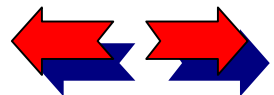
Klase i objekti modifikovanog OOA modela transformišu se u klase i instance u sistemu KAPPA-PC, kao što je prikazano u pretraživaču objekata (object browser) (sl.8.5). U pretraživaču objekata prikazane su i klase koje sistem KAPPA-PC sam generiše za svaku aplikaciju, a to su Root, Image i KWindow.

Klase/instance se opisuju pomoću uređivača klasa/instanci, dok se svojstva okana definišu pomoću uređivača okana. Okna predstavljaju attribute klasa dok metode u uređivaču klasa/instanci odgovaraju kako metodama tako i AKO-ONDA pravilima vezanim za klasu u modifikovanom OOA modelu. Kao primer posmatraćemo klasu Diagonals datu na sl. 8.6.



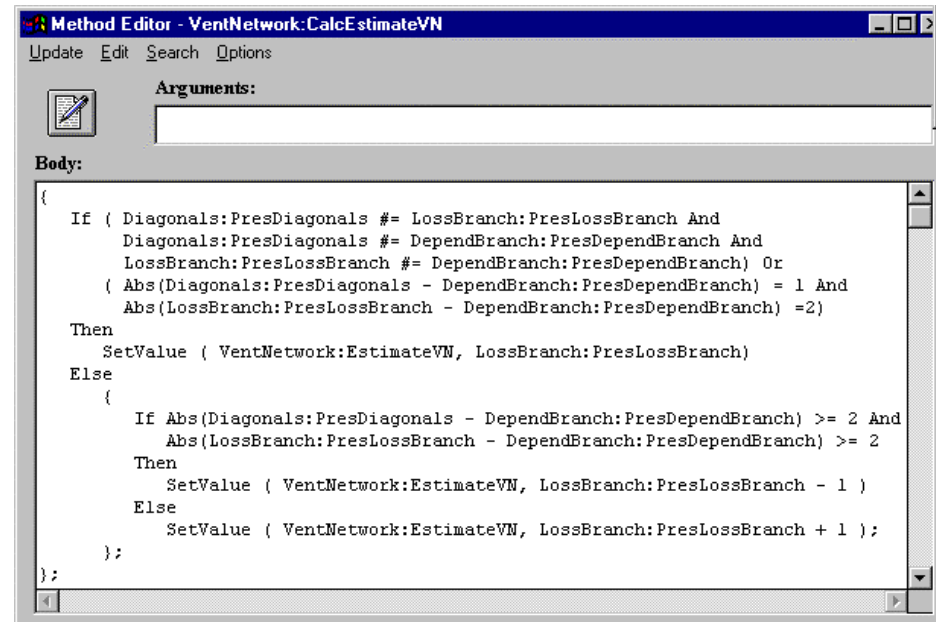
Slika 8.6. Klasa Diagonals

Ova klasa ima klasu roditelja VentNetwork i tri okna. Navedene su i dve metode. Prva metoda je numerička procedura (CalculateDelta) kojom se izračunava vrednost atributa Delta dok su drugom



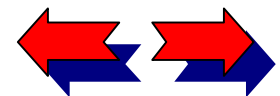
metodom (CalcEstimateVN) predstavljena pravila za izračunavanje stanje ventilacione mreže na osnovu nekoliko parametara i njihovih međusobnih odnosa.

Metode su opisane kroz uređivač metoda. Izgled uređivača metoda za metodu CalcEstimateVN dat je na sl.8.7.



Slika 8.7. Metoda CalcEstimateVN

Kako sva pravila u sistemu ne moraju biti vezana za određene objekte, sistem KAPPA-PC nudi mogućnost da se pravila definišu nezavisno, pomoću uređivača pravila datog na sl. 8.8.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

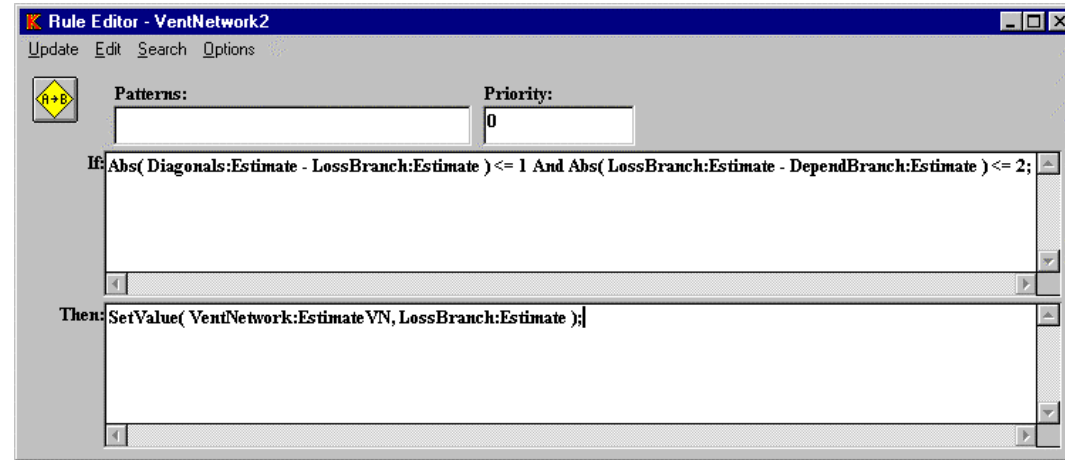
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

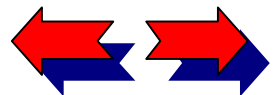


Slika 8.8. Pravilo VentNetwork2

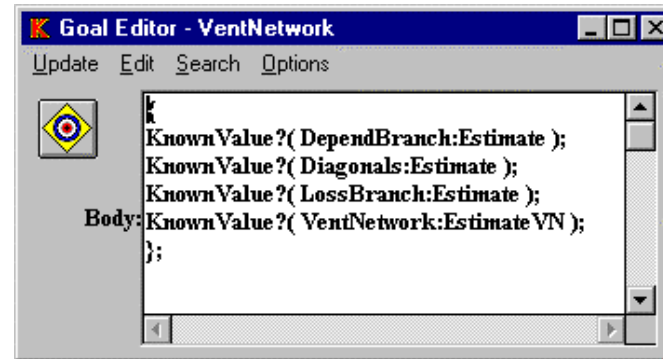
Proces rešavanja problema u VENTEX-u odvija se uz pomoć mehanizma rasuđivanja kroz ulančavanje unazad sistema KAPPA-PC. Ciljevi koje treba zadovoljiti kroz ulančavanje unazad definišu se pomoću uređivača ciljeva. Ciljevi u VENTEX-u se odnose na ocenu različitih vrednosti parametara. Razlaganje ciljeva VentNetwork u podciljeve prikazano je na sl. 8.9.

Ciljevi se, takođe, mogu generisati i modifikovati unutar metoda. Ovo svojstvo omogućava kreiranje novih pravila i modifikaciju postojećih na dinamički način, tokom rada sistema.

Interfejs razvijen za VENTEX u sistemu KAPPA-PC u potpunosti koristi mogućnosti tehnologije grafičkog korisničkog interfejsa (GUI - Graphical User Interface) koji stoji na raspologanju za MS Windows aplikacije. Omogućeno je jasno i jednostavno rukovanje ulaznim podacima i kontrola nad



delovima procesa rešavanja problema. Sem toga, korisnik dobija sugestije i preporuke kako da poboljša performanse rudničkog ventilacionog sistema.

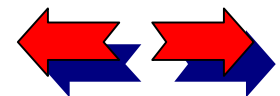


Slika 8.9. Cilj VentNetwork

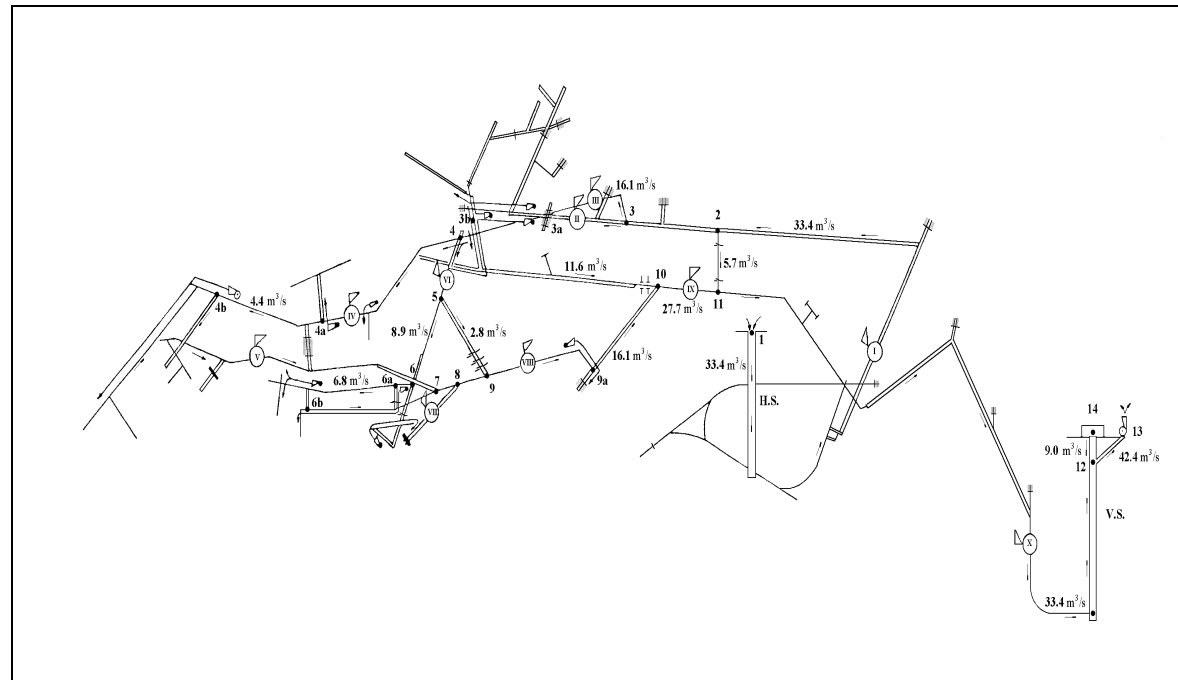
## Studija primene VENTEX-a

U okviru ove tačke monografije ilustrovana je primena ekspertnog sistema VENTEX pri dobijanju ukupne ocene stanja ventilacionog sistema Rudnika mrkog uglja "Soko".

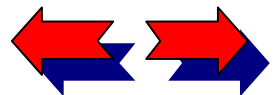
Na slici 8.10 je prikazana linearna šema ventilacije rudnika "Soko" sa raspodelom protoka vazduha u sistemu. Odgovarajuća kanonska šema data je na slici 8.11. Rudnik "Soko" se provetrava jednim glavnim rudničkim ventilatorom tipa TURMAG Gvhv 15-160 u depresionom radu koji je lociran na



ventilacionom oknu. Parametri rada glavnog ventilatora su sledeći: depresija glavnog ventilatora iznosi 1271.3 Pa i ukupan zapreminski protok vazduha 42.4 m<sup>3</sup>/s. Otkopi u jami se provetravaju separatno, kompresionim načinom, korišćenjem aksijalnih ventilatora tipa APXE-630.



Slika 8.10. Linearna šema ventilacije Rudnika mrkog uglja "Soko"



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

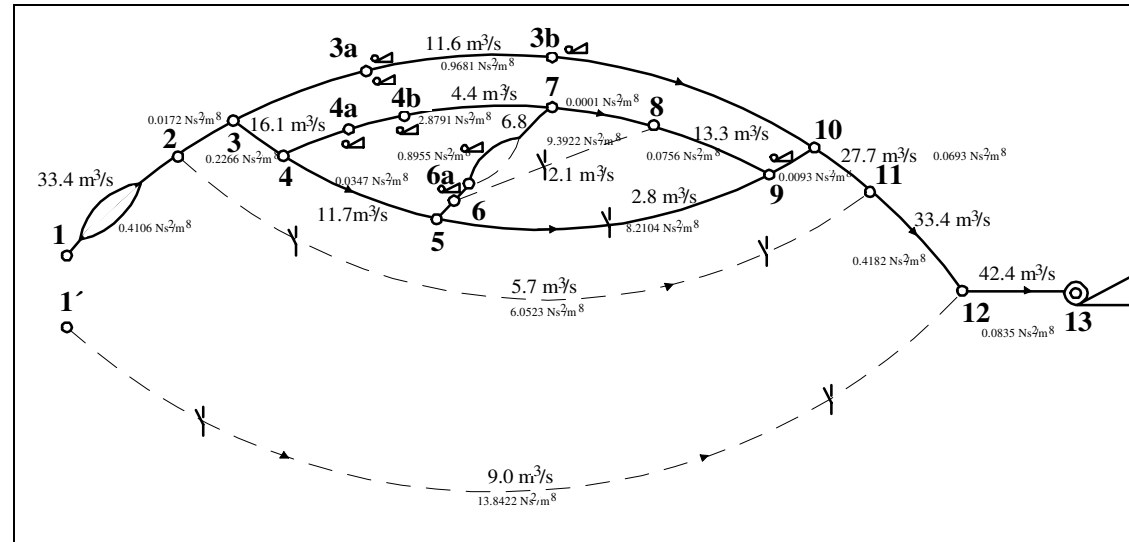
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

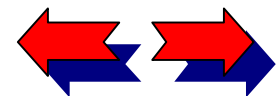
Index





Slika 8.11. Kanonska šema ventilacija Rudnika mrkog uglja "Soko"

U cilju dobijanja ukupne ocene stanja ventilacionog sistema rudnika "Soko" izvršena su merenja temperatura suvog i vlažnog termometra i barometarskog pritiska u čvorovima ventilacione mreže, kao i zapreminskih protoka vazduha u ograncima mreže. Korišćenjem navedenih podataka, softverom ResNet je izvršen proračun aerodinamičkih otpora ogranaka u ventilacionoj mreži a rezultati su prikazani u tabeli 8.1. Nakon aerodinamičkog definisanja ventilacionog sistema kao i definisanja karakteristike glavnog ventilatora, simulacionim rutinama SimVent-a je proračunata raspodela zapreminskih protoka vazduha u ventilacionoj mreži. Dobijeni rezultati su poređeni sa izmerenim vrednostima i ustanovljena je velika podudarnost među njima.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

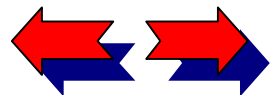
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Tabela 8.1 Raspodela aerodinamičkih otpora u ventilacionoj mreži rudnika “Soko”

Ogranak	Početni	Krajnji	Q	$\Delta h$	R
Br.	čvor	čvor	(m <sup>3</sup> /s)	(Pa)	(Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> )
1	1	2	33.4	458.05	0.4106
2	2	3	27.7	13.20	0.0172
3	2	11	5.7	196.64	6.0523
4	3	4	16.1	58.74	0.2266
5	3	10	11.6	130.27	0.9681
6	4	5	11.7	4.75	0.0347
7	4	7	4.4	55.74	2.8791
8	5	6	8.9	9.58	0.1210
9	5	9	2.8	64.37	8.2104
10	6	7	6.8	41.41	0.8955
11	6	8	2.1	41.42	9.3922
12	7	8	11.2	0.01	0.0001
13	8	9	13.3	13.37	0.0756
14	9	10	16.1	2.41	0.0093
15	10	11	27.7	53.17	0.0693
16	11	12	33.4	466.53	0.4182
17	12	13	42.4	150.10	0.0835
18	1'	12	9.0	1121.22	13.8422



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

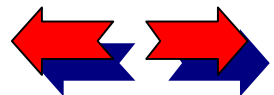
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Na slici 8.12 su prikazani paneli za unos podataka u VENTEX sa vrednostima ulaznih podataka za ventilacioni sistem rudnika "Soko". Posle unosa potrebnih ulaznih podataka aktivirana je baza znanja VENTEX-a. Na osnovnom panelu interfejsa (slika 8.13), jednostavnim aktiviranjem odgovarajućih komandnih dugmadi se omogućava startovanje lanca pravila koji vodi do pojedinačnih ocena specifičnih karakteristika ventilacionog sistema rudnika "Soko". Na primer, VENTEX ocenjuje karakteristiku "gasnog stanja" ventilacionog sistema rudnika "Soko" kao prihvatljivo dok karakteristiku "gubitaka vazduha" ocenjuje kao loše. Poslednje može biti tumačeno postojanjem značajnih gubitaka vazduha u sistemu koji utiču na iskorišćenje ukupne vazdušne struje kojom se provetrava jama.

Ukupni gubici vazduha (sl. 8.10 i sl. 8.11) su vrlo visoki i iznose  $19.6 \text{ m}^3/\text{s}$  ili 46.2 % od ukupne količine vazduha kojom se provetrava jama. Koeficijent gubitaka vazduha predstavlja odnos zapreminskog protoka vazduha koji se gubi i ukupnog zapreminskog protoka vazduha. Vrednost ovog koeficijenta za ventilacioni sistem rudnika "Soko" iznosi 0.46 ( $19.6/42.4$ ) tako da je ocena stanja sa aspekta analize ovog parametra loša. Pokazatelj učestalosti gubitaka vazduha u sistemu predstavlja odnos broja ogranaka gubitaka i ukupnog broja ogranaka. Vrednost ovog pokazatelja za rudnik "Soko" iznosi 0.28 ( $5/18$ ) a ocena stanja ventilacionog sistema prema ovom parametru je, takođe, loša.



**VENTEX - Input data**

Align Image Edit Control Options Window Select

**Ventilation network**

Number of nodes: 13

Number of branches: 18

Number of diagonals: 2

Number of dependent branches: 2

Number of loss branches: 5

**System hazard**

Fire risk: Veru high

Methane content (m3/t): 5

Ventilation system Main menu

**Choose FACE**

RM3

New face

Delete face

Branch number: 5

Face type

Face ventilation mode: S

Fans: V1

Air quantity (m3/s): 11.6

Depression (Pa): 130.21

Equivalent opening of entry (m2): 0.63

Ef. temperature: 5

% SiO2 in dust on workspace: 8

**VENTEX - Input data about fans**

Align Image Edit Control Options Window Select

**Choose FAN**

V1

New fan

Delete fan

Air quantity (m3/s): 42.4

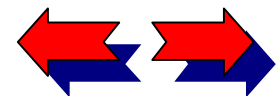
Head (Pa): 1271.3

Equivalent opening of exit (m2): 1.27

Input data Main menu

Slika 8.12 Paneli za unos podataka

Posle izvršene ocene svih karakteristika ventilacionog sistema aktivirana su pravila za ocenu ukupnog stanja ventilacionog sistema i ekspertni sistem VENTEX je ukupno stanje ventilacionog sistema rudnika "Soko" ocenio kao nepovoljno.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

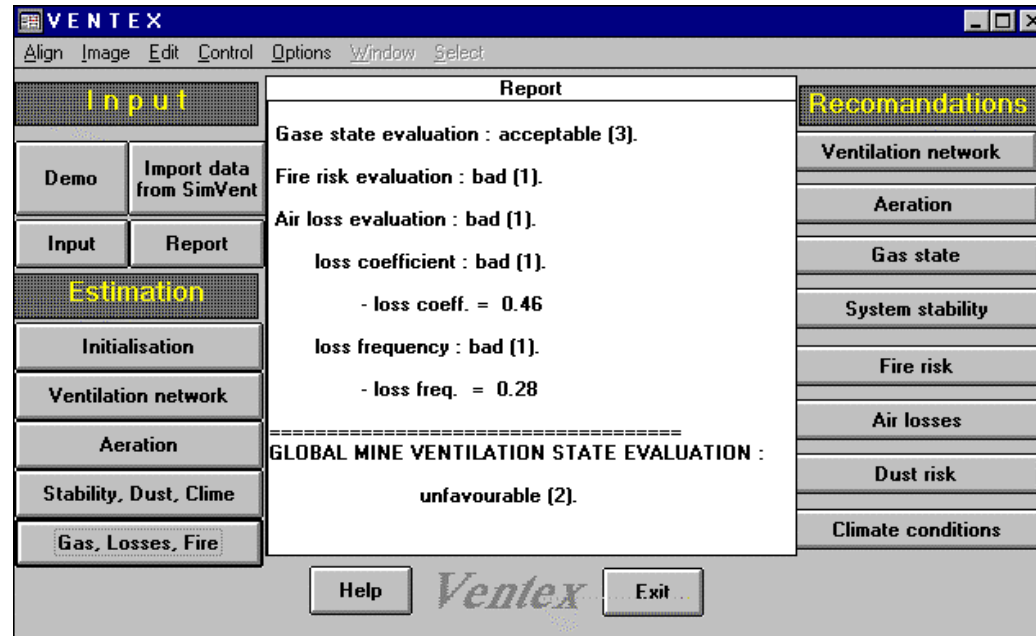
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

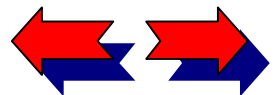
UML notacija

Index



Slika 8.13 Osnovni panel interfejsa sa vrednostima ocena

Ekspertnim sistemom VENTEX se dobijaju ocene svih karakteristika ventilacionog sistema, međutim, poznato je iz tekuće inženjerske prakse da korisnici vrlo često nisu u mogućnosti da identifikuju rešenja za loše ili nepovoljno ocenjene karakteristike. U cilju rešavanja ovog problema VENTEX nudi sugestije sa konkretnim merama za poboljšanje pojedinačnih karakteristika i opšteg ventilacionog stanja rudnika. Jednostavnim aktiviranjem komandnih dugmadi iz grupe preporuka dobijaju se sugestije sa predlogom mogućih mera. Na slici 8.14 prikazane su preporuke za poboljšanje nepovoljno ocenjene karakteristike prisustva gubitaka vazduha u ventilacionoj mreži rudnika “Soko”.





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

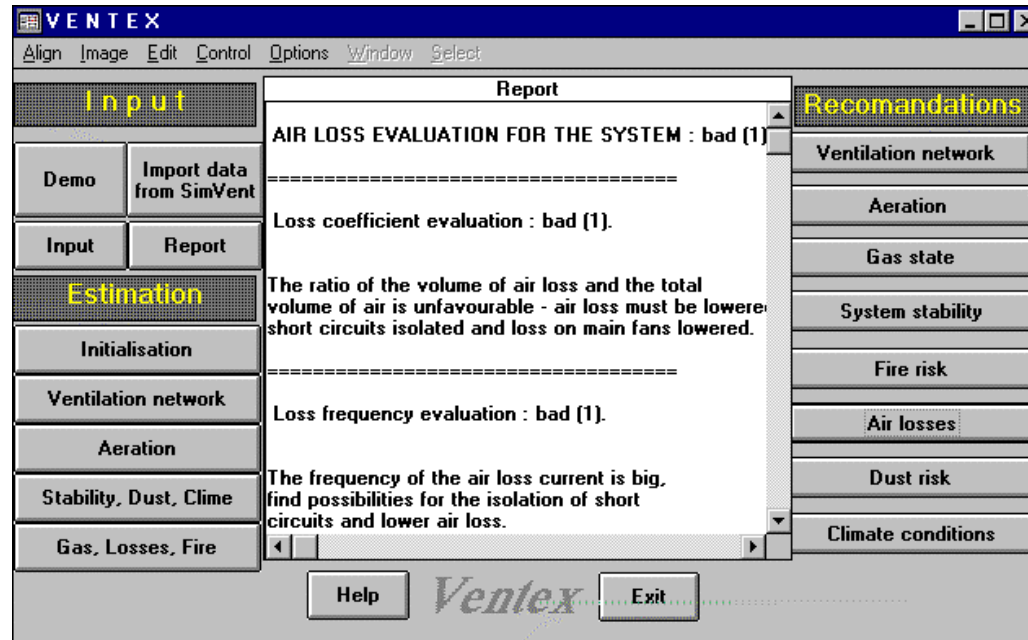
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

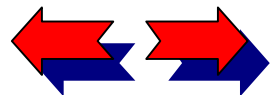
UML notacija

Index



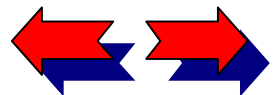
Slika 8.14 Sugestije za moguće korekcije

Prikazana ocena stanja ventilacionog sistema rudnika "Soko" je posledica postojanja značajnih gubitaka vazduha u ventilacionoj mreži, kao i malog iskorišćenja ukupne vazdušne struje, u iznosu od 53.8 % od ukupne količine vazduha, a kojom se provetravaju otkopi. Neophodno je ukazati i na nepovoljnu poziciju otkopa u dijagonali ventilacione mreže (ogranak 6-7, slika 8.9). Analiza raspodele pritiska vazduha navodi na zaključak da je lokacija eksploatacionog polja pod uticajem vrlo male depresije od 41.41 Pa u odnosu na ukupnu depresiju sistema od 1271.3 Pa, što rezultira ventilacionom nestabilnošću dijagonale.



Korišćenje ekspertnog sistema VENTEX u tekućoj inženjerskoj praksi omogućava bržu intervenciju i poboljšanje efikasnosti i ekonomičnosti ventilacionog sistema.

- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi About the book
  - 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
  - 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
  - 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
  - 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
  - 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
  - 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
  - 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija  
planiranja  
ventilacije rudnika

3 Modeliranje  
procesa strujanja  
vazduha u  
rudničkim  
prostorijama  
primenom  
računske dinamike  
fluida

4 Matematičko  
definisanje složenih  
ventilacionih mreža

5 Modeliranje  
distribucije protoka  
vazduha

6 Modeliranje  
promene klimatskih  
prilika u rudničkim  
ventilacionim  
mrežama

7 Modeliranje požara  
u složenim  
ventilacionim  
mrežama

8 Ekspertni sistem za  
analizu ventilacije  
rudnika

UML notacija

Index

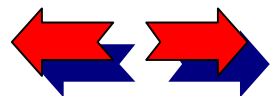
## UML

# UNIFIED MODELING LANGUAGE

UML (Unified Modeling Language) je standardni jezik za specifikaciju, vizuelizaciju i dokumentaciju činjenica vezanih za softverski sistem. Korišćenjem UML-a se povećava produktivnost, skraćuje vreme razvoja i poboljšava kvalitet softverskog sistema.

## SADRŽAJ

Šta je UML?.....	306
Faze razvoja.....	307
Elementi UML modela.....	308



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

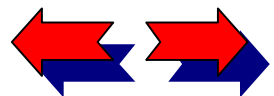
**UML notacija**

Index

## Šta je UML?

UML (Unified Modeling Language) je jezik za modeliranje sistema koji se zasniva na objektno-orijentisanom (OO) pristupu i može da se koristi u različitim fazama razvoja, od specifikacije zahteva do testiranja završenih, gotovih sistema. Cilj UML-a je da opiše kako statičku strukturu, tako i dinamičko ponašanje različitih tipova sistema, kao što su: informacioni sistemi, tehnički sistemi, sistemi koji rade u realnom vremenu, distribuirani sistemi, sistemski softver i poslovni sistemi.

Nove tehnike kao što su: objektno-orijentisano programiranje, vizuelno programiranje i napredna okruženja za brzi razvoj softvera su pomogle da se poveća produktivnost i ublaži takozvana softverska kriza, odnosno da se smanji broj softverskih projekata koji ne odgovaraju zahtevima i potrebama korisnika i da se značajno smanji vreme potrebno za razvoj. Iz potrebe za prevazilaženjem gledišta da se razvoj sistema posmatra samo kroz programiranje, pojavio se veliki broj različitih objektno orijentisanih metoda, sa sopstvenim notacijama i alatima, što je dovelo do potrebe za standardizacijom. UML je pokušaj standardizacije brojnih objektno orijentisanih metoda i pokušaj rešavanja nekih od navedenih problema postavljanjem realnog standarda za pravljenje modela.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Faze razvoja

Razvoj sistema pomoću UML-a se odvija kroz pet faza: analiza zahteva, analiza sistema, projektovanje, programiranje i testiranje. .

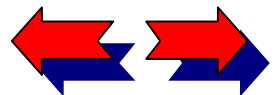
**Faza 1. Analiza zahteva** obuhvata specifikaciju zahteva korisnika i pravljenje dijagrama korisničkih funkcija (use-case) na osnovu te specifikacije.

**Faza 2.** U fazi **analize** sistema se identifikuju osnovni elementi apstraktnog modela: klase, objekti i mehanizmi domena, odnosno realnog sistema koji se modelira. Osim uočavanja klasa i njihovih međusobnih veza, opisuje se i način i tip njihove interakcije pomoću korisničkih funkcija dinamičkih UML modela.

**Faza 3.** U fazi **projektovanja** se rezultat analize proširuje u tehničko rešenje: dodaju se korisnički interfejs, manipulacija bazom podataka i komunikacija sa drugim sistemima. Rezultat projektovanja je detaljna specifikacija za fazu programiranja.

**Faza 4.** U fazi **programiranja** se klase iz faze projektovanja prevode u kod OO programskog jezika.

**Faza 5. Testiranje** obuhvata: testiranje manjih celina, testove integriteta, systemske testove i testove prihvatljivosti.





? Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija  
planiranja  
ventilacije rudnika

3 Modeliranje  
procesa strujanja  
vazduha u  
rudničkim  
prostorijama  
primenom  
računske dinamike  
fluida

4 Matematičko  
definisane složenih  
ventilacionih mreža

5 Modeliranje  
distribucije protoka  
vazduha

6 Modeliranje  
promene klimatskih  
prilika u rudničkim  
ventilacionim  
mrežama

7 Modeliranje požara  
u složenim  
ventilacionim  
mrežama

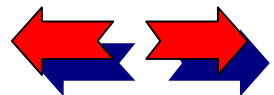
8 Ekspertni sistem za  
analizu ventilacije  
rudnika

UML notacija

Index

## Elementi UML modela

- ◆ **Pogledi** su različiti aspekti sistema koji se modelira.
- ◆ **Dijagrami** su grafički prikazi koji opisuju sadržaj pogleda. Postoji devet vrsta dijagrama.
- ◆ **Elementi modela** se koriste u dijagramu da bi predstavili standardne OO koncepte: klase, objekte, poruke, različite veze među objektima (asocijaciju, zavisnost i generalizaciju)
- ◆ **Opšti mehanizmi** su dodatni komentari, informacije ili opis semantike elemenata modela.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

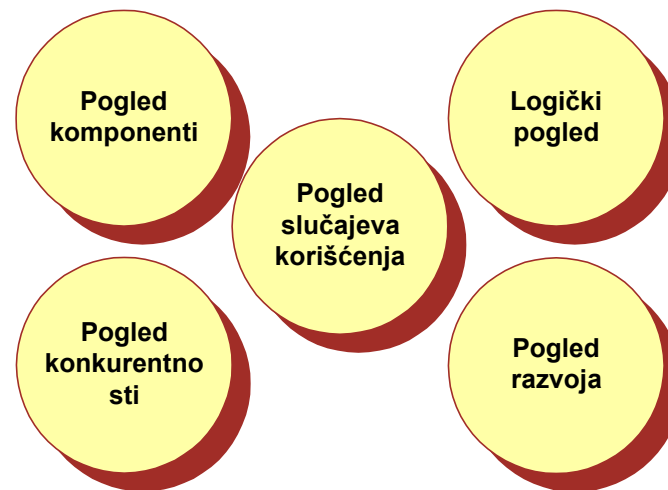
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

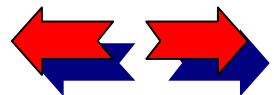
Index

## Pogledi

Kompleksni sistemi se modeliraju iz više različitih aspekata: funkcionalnih (statička struktura i dinamičke interakcije), nefunkcionalnih (vremenska ograničenja, pouzdanost, razvoj - deployment) i organizacionih (organizacija posla, prevođenje u module koda), tako da se sistem opisuje sa više pogleda, od kojih svaki predstavlja projekciju opisa celog sistema. Pogled prikazuje jedan aspekt sistema kroz više dijagrama, dok dijagrami koriste grafičke simbole koji predstavljaju elemente modela sistema. Na slici 1 su grafički prikazani pogledi u UML.



Slika 1 Pogledi u UML



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

Pogled korisničkih funkcija (use-case) prikazuje funkcionisanje sistema kako ga vide spoljni korisnici.

Korisnička funkcija je tehnika modelovanja koja opisuje šta budući sistem treba da radi ili šta postojeći sistem već radi. Model se pravi iterativnim postupkom, u kom se kroz diskusiju između tima koji razvija sistem i korisnika (tj. investitora) dolazi do specifikacije zahteva oko kojih se svi slože. Osnovna svrha korisničkih funkcija je:

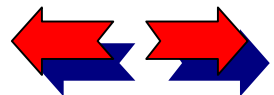
- ◆ da se uoče i opišu funkcionalni zahtevi sistema sa kojima se korisnici i razvojni tim slože,
- ◆ da se da jasan i konzistentan opis šta sistem treba da radi tako da se obezbedi osnova za dalje modelovanje svim članovima razvojnog tima,
- ◆ da se obezbedi osnova za testiranje i verifikaciju sistema i
- ◆ da se omogući projektovanje klasa i operacija sistema prema funkcionalnim zahtevima.

Logički pogled prikazuje kako je projektovano unutrašnje funkcionisanje sistema, u smislu statičke strukture i dinamičkog ponašanja.

Pogled komponenti prikazuje organizaciju komponenti koda.

Pogled paralelnosti (concurrency view) prikazuje paralelnost, odnosno istovremeno odvijanje aktivnosti u sistemu, naglašavajući probleme komunikacije i sinhronizacije.

Pogled razvoja prikazuje fizičku arhitekturu sistema: računare i uređaje, njihove međusobne veze i gde se koja komponenta koda izvršava.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi About the book

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

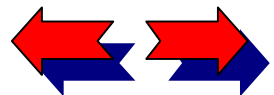
### UML notacija

### Index

## Dijagrami

Dijagrami su grafičke strukture koje opisuju pojedine delove ili aspekte sistema koristeći elemente modela i obično se pridružuju jednom pogledu, mada u zavisnosti od sadržaja jedan dijagram može biti sastavni deo više pogleda.

Dijagram korisničkih funkcija prikazuje spoljne učesnike, odnosno korisnike sistema i njihove veze sa korisničkim funkcijama koje sistem omogućava. Model korisničkih funkcija obično se sastoji od više dijagrama korisničkih funkcija. Osnovne komponente su: korisničke funkcije, učesnik (korisnik) i sistem koji se modelira, kao i različite veze: asocijacija, generalizacija i zavisnost između elemenata. Korisnička funkcija je opis pojedine funkcije koju sistem obezbeđuje, viđen iz perspektive korisnika, bez opisa unutrašnje funkcionalnosti. Detaljnije se opisuje tekstem ili dijagramom aktivnosti. Učesnik je bilo koji spoljni entitet, čovek, drugi sistem ili neki hardverski uređaj, koji treba da komunicira sa sistemom koji se modelira. Sam proces kreiranja modela čini: definisanje sistema, detekciju učesnika i korisničke funkcije, opisivanje korisničkih funkcija, definisanje veza između funkcija i na kraju validacija modela. Primer dijagrama korisničkih funkcija sa učesnicima, slučajevima korišćenja i njihovim vezama, kao i granicama sistema je prikazan na slici 2.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

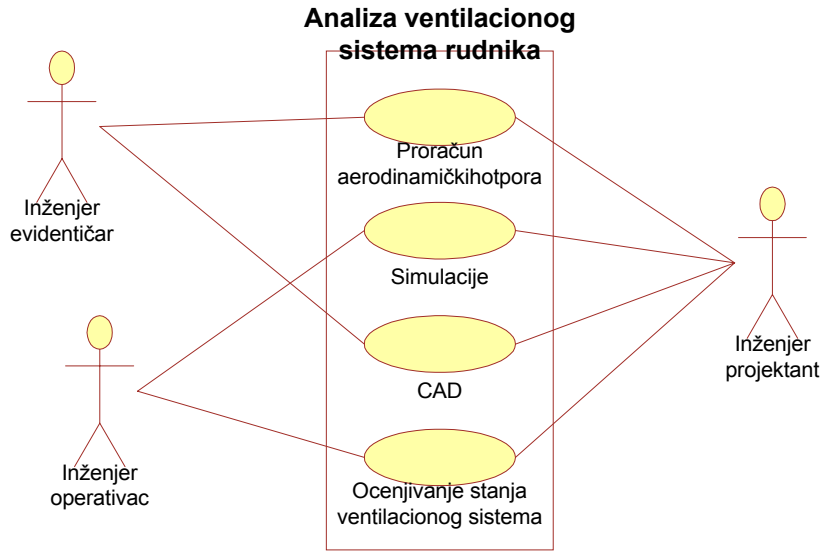
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

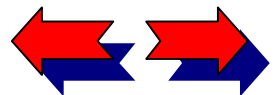
UML notacija

Index

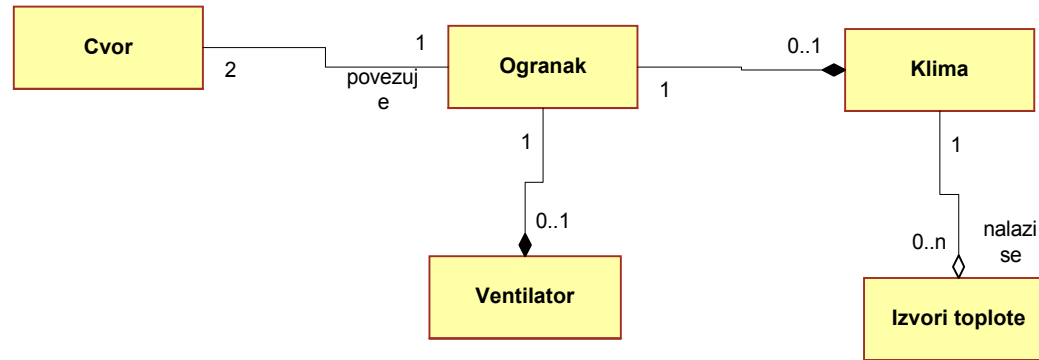


Slika 2. Dijagram korisničkih funkcija

Dijagram klasa prikazuje statičku strukturu klasa u sistemu, pri čemu su klase skupovi objekata koji imaju istu strukturu, ponašanje, relacije i značenje. Klase predstavljaju objekte koje sistem obrađuje, a mogu se nalaziti u različitim tipovima međusobnih odnosa: asocijaciji (povezane jedna sa drugom), agregaciji (zavisne jedna od druge), specijalizaciji (jedna je specijalni slučaj druge) ili spakovane (grupisane kao celina). Opis sistema obično sadrži više dijagrama klasa.

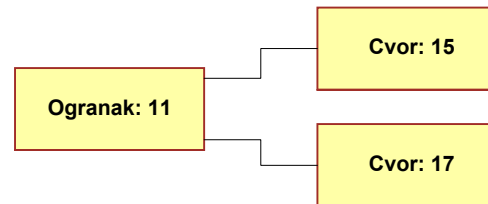






Slika 3. Dijagram klasa

Dijagram objekata je varijanta dijagrama klasa i koristi skoro istu notaciju, a razlika je u tome što, umesto klase, prikazuje jednu ili više instanci klase sa primerima konkretnih podataka.



Slika 4. Dijagram objekata

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

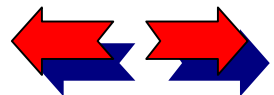
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

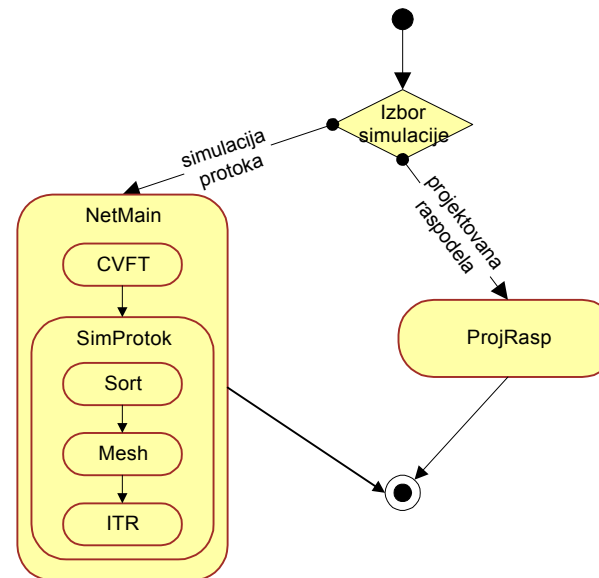
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



Dijagram stanja obično predstavlja dodatak opisu klase, mada se njime može opisati i sistem kao celina. Pokazuje sva moguća stanja u kojima se objekti jedne klase mogu naći i događaje koji prouzrokuju promene stanja. Događaj može biti poruka koju šalje drugi objekat, ispunjenje nekog uslova, proteklo vreme,...Promena stanja se naziva *prelaz* i može mu se pridružiti akcija koja specificira šta treba da se uradi pri tom prelazu.



Slika 5. Dijagram stanja

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

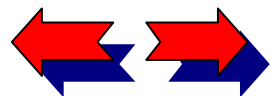
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

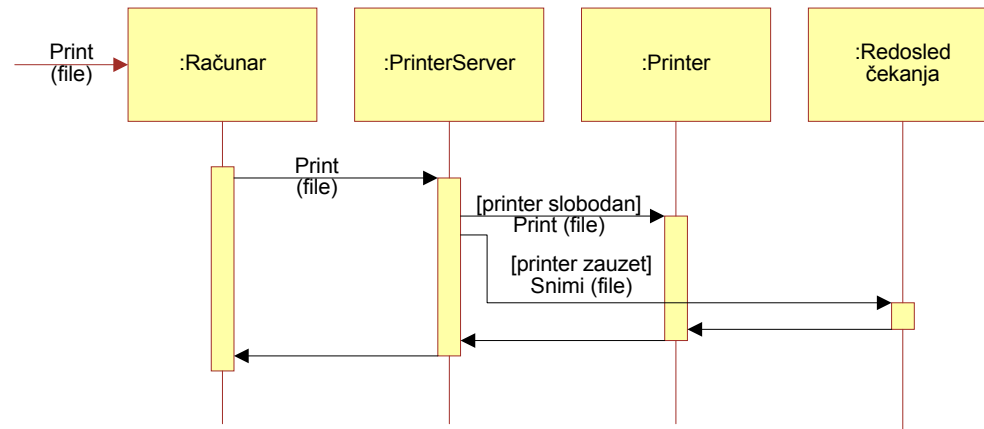
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

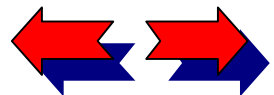
UML notacija

Index

Dijagram redosleda (sequence) prikazuje dinamičke veze objekata, redosled poruka koje objekti razmenjuju, događaje koji se dešavaju u određenom momentu rada. Dijagram se sastoji od više objekata pri čemu se proticanje vremena prikazuje odozgo na dole, poruke horizontalnim usmerenim linijama, dok se dodatni komentari pišu na marginama dijagrama.



Slika 6. Dijagram redosleda



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

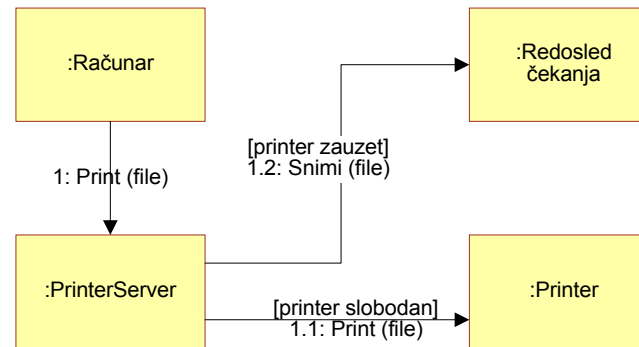
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

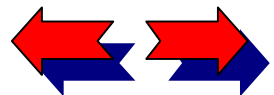
UML notacija

Index

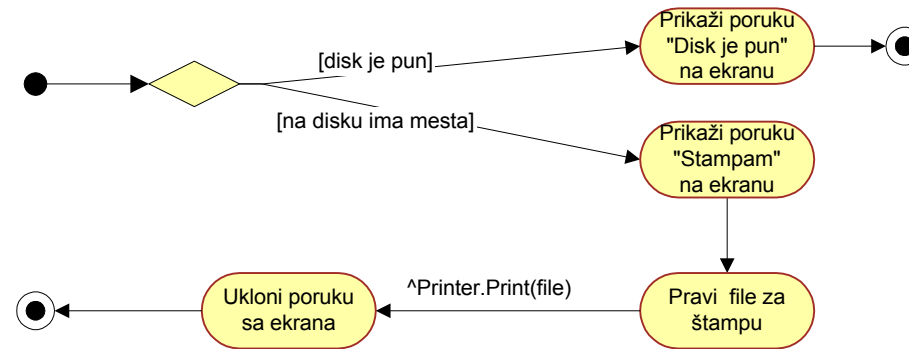
Dijagram veza (collaboration) slično dijagramu redosleda prikazuje dinamičke veze objekata, pri čemu se prikazuju veze među objektima, odnosno kontekst u kom se objekti koriste. Ukoliko se želi naglasiti vreme ili redosled koristi se dijagram redosleda, a ako je važan kontekst tada se pravi dijagram veza. Dijagramu se mogu dodati i uslovi, iteracije, povratne vrednosti...



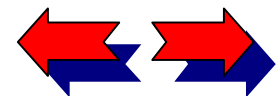
Slika 7. Dijagram veza



Dijagram aktivnosti prikazuje redosled toka aktivnosti i obično se koristi da opiše aktivnosti koje se izvršavaju u okviru jedne operacije, mada se može koristiti i za opisivanje drugih tokova aktivnosti, korisničkih funkcija i interakcije. Dijagram aktivnosti se sastoji od stanja akcija, koja sadrže specifikaciju aktivnosti. Sistem menja stanje kada se akcija izvrši i tako kontrola prolazi kroz stanja akcija koja su povezana. Na dijagramu se mogu prikazati i odluke, uslovi, paralelno izvršavanje i specifikacija poruka, kao delovi izvršenih akcija.



Slika 8. Dijagram aktivnosti



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

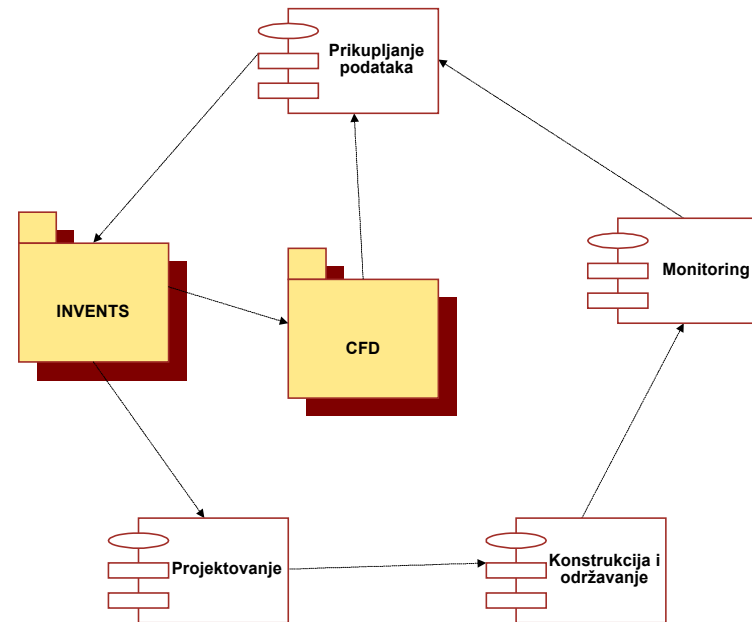
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

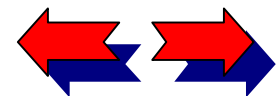
Index



Dijagram komponenti prikazuje fizičku strukturu koda odnosno komponenti koda, pri čemu komponenta može biti: izvorni program ili binarna komponenta. Prikazane zavisnosti među komponentama omogućavaju laku analizu uticaja određene komponente na ostale komponente, a mogu se grupisati u pakete.



Slika 9. Dijagram komponenti



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

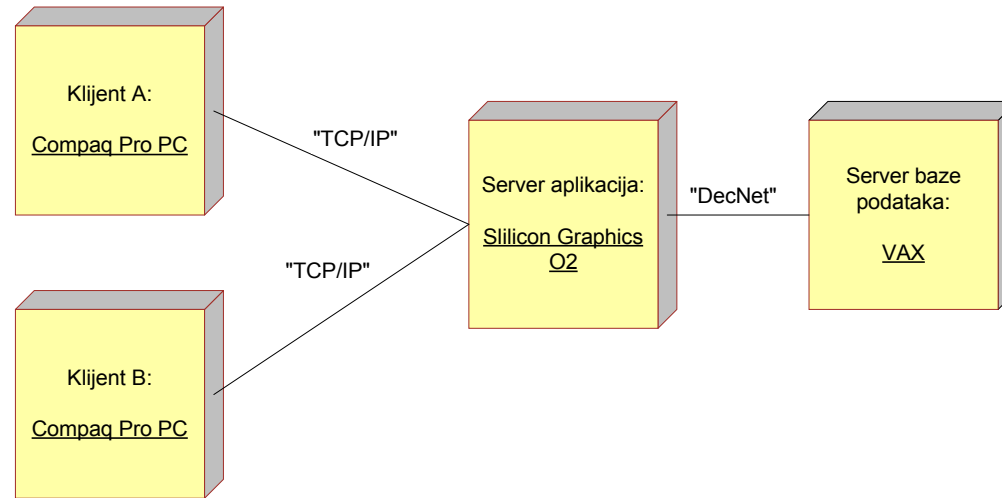
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

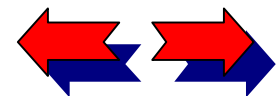
UML notacija

Index

Dijagram razvoja (deployment) prikazuje fizičku arhitekturu hardvera i softvera u sistemu. Prikazuje se povezanost računara i uređaja, tj. čvorova sa tipovima veza. U pojedinim čvorovima se navode softverske komponente koje se u njima izvršavaju, kao i zavisnost među komponentama.



Slika 9. Dijagram razvoja prikazuje fizičku arhitekturu sistema



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

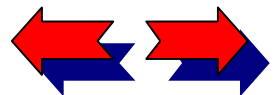
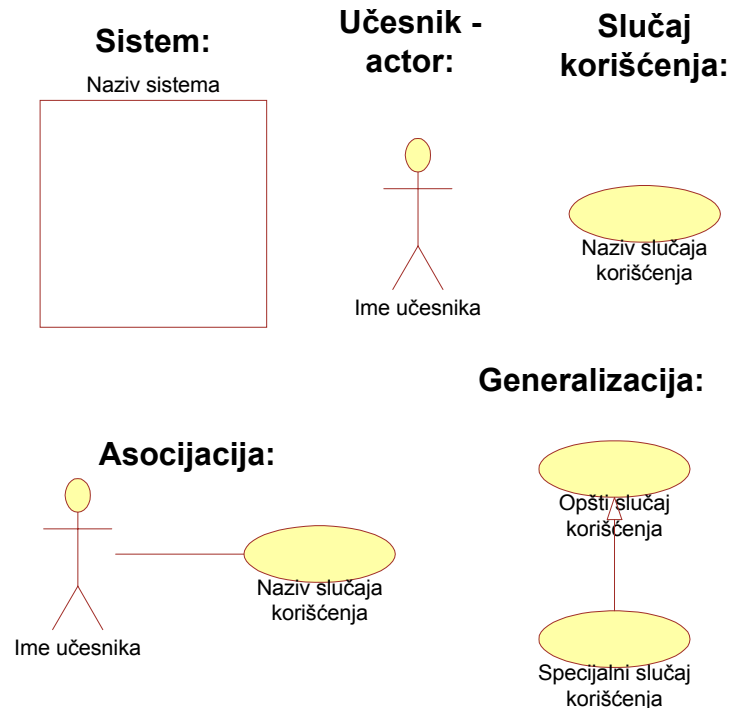
UML notacija

Index

## Elementi modela

Elementi modela su koncepti koji se koriste u dijagramima i svaki element ima definisano značenje i grafičku reprezentaciju. Jedan tip elementa se može pojaviti u više tipova dijagrama, ali postoje pravila koja određuju koji se elementi mogu koristiti u određenom dijagramu. Na slikama koje slede su prikazani najčešće korišćeni elementi modela.

### Elementi modela koji se koriste kod dijagrama slučajeva korišćenja



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

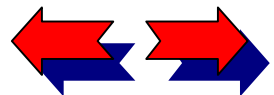
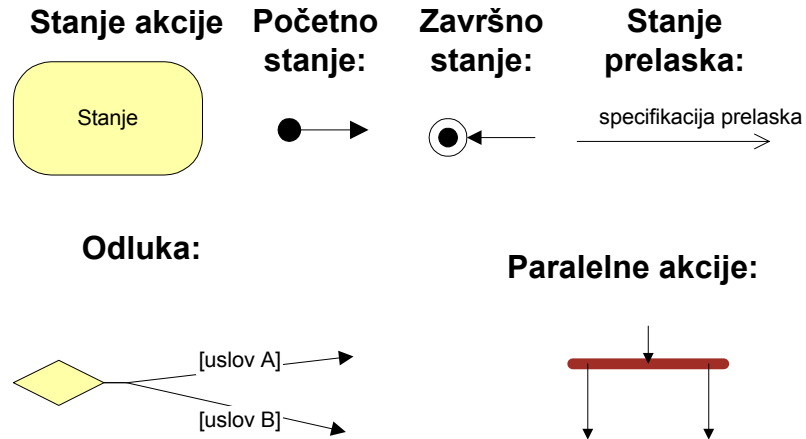
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

### Elementi modela koji se koriste kod dijagrama aktivnosti



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

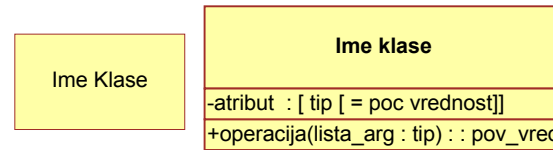
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

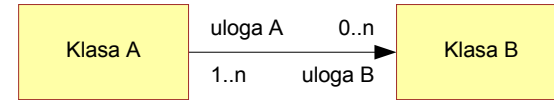
Index

Elementi modela koji se koriste kod dijagrama klasa

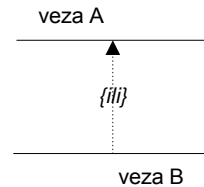
Klasa:



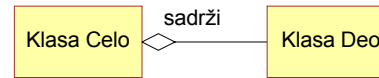
Veza:



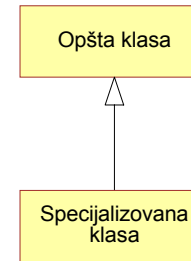
ILI - ograničenje:



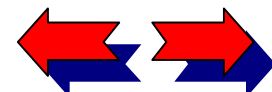
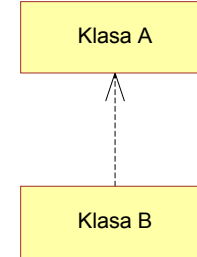
Agregacija (deo od):



Generalizacija:



Zavisnost:





? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

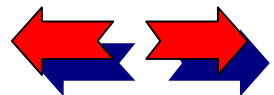
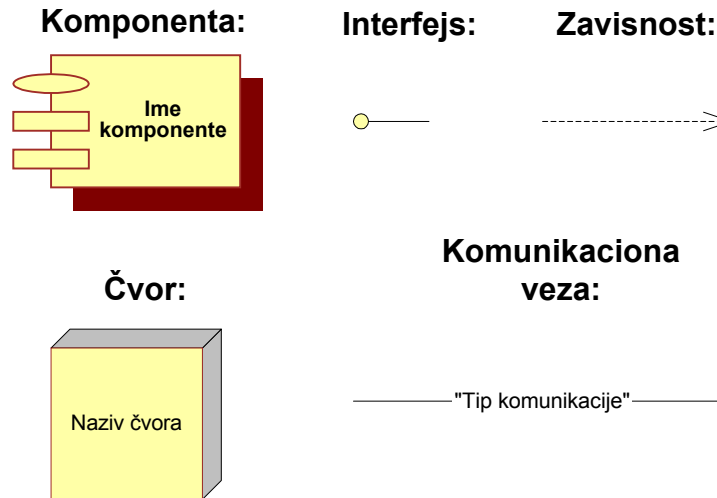
7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Elementi modela koji se koriste kod dijagrama komponenti i razvoja



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

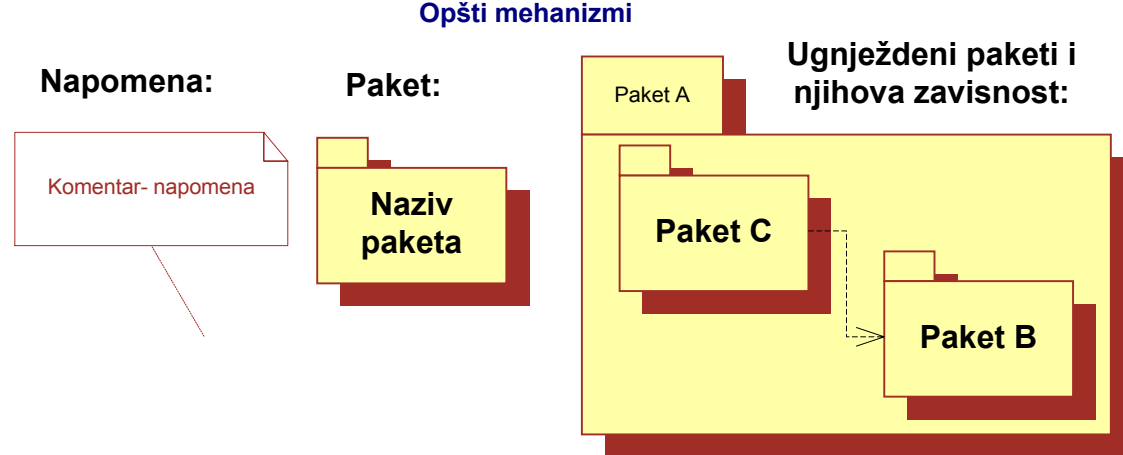
6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

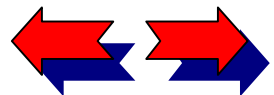
UML notacija

Index



### Opšti mehanizmi

Opšti mehanizmi omogućavaju dodatne komentare, informacije ili opis semantike vezane za elemente modela, kao i proširenja UML metodologije i njeno prilagođavanje specifičnom sistemu, procesu, korisniku ili organizaciji koji su predmet modeliranja.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

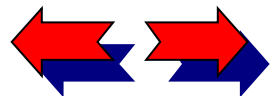
## INDEX

### A

Access, 133, 180, 230, 250  
 Aerodinamički otpor, 100-108  
 Akvizicija, 35  
 Algoritam, 31, 121  
 Alternativni tenzor, 49  
 Analitičko rešenje, 30  
 Analiza ventilacije, 257, 272  
 Apsolutna  
     temperatura, 125  
     vlažnost, 128  
 Apstrakcija, 30  
 ART, 287  
 Atkinsonova  
     jednačina, 104, 145, 148  
     otpor, 107  
 Atmosferski pritisak, 125, 244  
 Atributi, 136, 184, 235, 253

### B

Bajt, 22  
 Balans  
     energije, 49, 55  
     količine kretanja, 55  
     mase, 48, 55  
     momenta količine kretanja, 55  
 Barometarska  
     metoda, 123  
     pritisak, 210, 219-221, 240  
 Baza  
     podataka, 135, 183, 233, 253, 288  
     znanja, 277, 288-291  
 Bazna mreža, 36  
 Beselove funkcije, 202  
 Binarne cifre, 22  
 Biov broj, 201-202  
 Bit, 22  
 BOOLE, 288  
 Brzina  
     disipacije, 73  
     strujanja, 61-65, 69-76, 101, 124, 221-225



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## C

CFD, 38, 43-45, 79-81  
CHOOZ, 286  
Cilj, 296

## Č

Čeoni otpori, 106

## D

Darsijev zakon, 55, 101  
Deklarativno znanje, 257  
DENDRAL, 24  
Depresija, 101, 104, 145  
    ogranka, 145  
    regulatora, 145, 151  
    prirodna, 145, 151  
    ventilatora, 145, 151, 240  
    toplotna, 240  
Depresiono, 152  
Dijagonale, 260  
Dijagram aktivnosti, 28, 253  
DIPMETER, 286  
Dirihleov zadatak (uslov), 52-54, 84, 92  
DISPLAY, 82-85  
Distribucija  
    gasa, 257  
    protoka, 257  
Domensko znanje, 275

Domet vazdušne struje, 92-96  
DUSTPRO, 287

## H

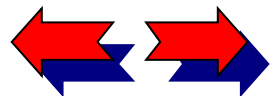
Hagen-Poaselove jednačine, 100  
Hardver, 34  
Heuristike, 258, 272, 280  
Hibridni sistem, 25, 37-41  
Hidrodinamički gradijent, 32  
Hromozom, 166  
Hukov zakon, 58

## E

Ekvivalentni  
    dužina, 107  
    otvor, 263-264  
    prečnik, 101  
Ekspertni sistem, 24, 256-305  
EMRC, 82  
Entalpija, 127  
EXSYS, 287

## F

Faktor  
    izvesnosti, 283  
    prekoračenja, 270-271  
Fikov zakon, 55  
Fitnes, 164  
Forme, 131-134, 228



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Furjeov zakon, 51, 55, 188-203

## G

Gasna konstanta, 125, 128, 219, 223

Gasonosnost, 269

Gene Hunter, 164

Generacija, 166

Genetski algoritam, 161

Geotermiski gradijent, 194

Grafovi, 99

Granični

uslovi, 46, 52, 84, 92

zadatak

prvi, 53

drugi, 53

treći, 53

Grinova teorema, 47

Grojerov model, 238

Gubitak vazdušne struje, 267

GUI, 296

Gustina, 129, 219, 240

vazduha, 61, 219, 223

## I

Idealizacija, 30

INVENTS, 37-41, 130-137, 174-185, 230,247

Inteligentni sistemi, 24

Interfejs, 247

Inženjer znanja, 276

Inženjersko planiranje, 27

## J

Jednačina

balansa, 46-47

balansa energije, 49, 72

balansa količine kretanja, 48, 72

balansa momenta količine kretanja, 48

kontinuiteta, 66

stanja, 55

## K

KAPPA-PC, 287, 292-305

KEE, 287

KEYSTONE, 287

Kinetička energija turbulencije, 73

Klase, 131, 176-185, 228, 247, 294

Koeficijent

dinamičke viskoznosti, 57, 61

gubitaka, 268

iskorišćenja vazdušne struje, 264

kinematičke viskoznosti, 61

otpora, 106

prelaženja toplote, 200, 243

prenosa mase, 210

termičke propustljivosti, 51

trenja, 100-108, 225

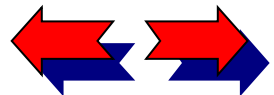
turbulentne viskoznosti, 72

viskoznosti, 67

zapreminske viskoznosti, 57

Kompresiono, 152

Konačni elementi, 75-78





? Kako koristiti elektronsku knjigu

## Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Kontinuum, 46  
 Kontrole, 132  
 Konstitutivne jednačine, 46  
 Konvektivni  
   fluks, 54  
   prenos toplote, 209  
 Korisnički interfejs, 130, 174, 228, 247, 278  
 Korisničke  
   forme, 131  
   servisi, 175, 228, 247  
 Kronekerova delta funkcija, 56  
 k-ε model turbulencije, 73  
 Kvadratni zakon, 105

## L

Laminarno strujanje, 58-61, 84  
 Laplasova jednačina, 195  
 Latentna toplota isparavanja, 210  
 Level 5, 286  
 Linearno programiranje, 151  
 LISP, 286  
 Lokalni otpori, 105

## M

Materijalna konstanta, 50  
 Materijalni izvod, 47  
 MATFLUID, 83  
 Matrice ventilacione mreže, 109  
   opsega mreže, 109  
   osnovnog preseka, 114, 142

poligona, 8, 144  
 puta, 119

Mehanizam rasuđivanja, 278, 288

Metode, 169

  analitičke, 21  
   Hardi-Krosa, 121, 155-160,  
   Gaus-Zajdelova, 155  
   konačnih elemenata, 75-78, 215  
   kritičnog puta, 173  
   numeričke, 21  
   reziduuma, 75

Minimalno obuhvaćeno drvo, 121

Modeli, 20

  Džeržinskog, 238  
   Danka, Muse-Džounsa, 238  
   deskriptivni, 20  
   fizički, 20  
   Grojera, 238  
   matematički, 21  
   proceduralni, 20  
   simbolički, 20  
   Simoda, 238  
   strujanja fluida, 46

Mreža, 99

  ventilaciona, 100

Mutacija, 166

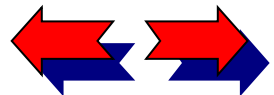
## N

Navije-Stoksove jednačine, 58, 65

NEXPERT, 287

NISA/3D FLUID, 50, 54, 66, 82-85

Nojmanov zadatak (uslov), 53-54, 84



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Numeričko rešenje, 30

## NJ

Njutnov fluid, 57

## O

Objekti, 291

Objektno-orjentisana pristup, 130, 174, 247, 291

Operacije aritmetičke, 22  
logičke, 22

Ogranci, 100  
gubitaka, 274

Otpori  
čeonni, 105  
lokalni, 105  
trenja, 105, 146, 151

## P

Planiranje, 27-36

Početni uslovi, 46, 52

Pokazatelj aerodinamičke proporcije, 266  
dobave vazduha, 265  
ventilacionog opterećenja, 265  
učestalosti gubitaka, 268

Populacija, 164

Poslovni servisi, 130-134, 179, 231, 249

Postprocesor, 81, 85

Požarna ugroženost, 270

Prantlova putanja mešanja, 68-72

Pretprocesor, 79, 82

Primitive, 286

Pritisak, 50, 56, 75, 124, 224

atmosferski, 125

barometarski, 210, 219, 240

pad, 100-104

parcijalni, 127, 210, 219, 226

Prirodna raspodela vazduha, 140, 148

Pritisak

pomoćnog ventilatora, 149, 151

regulatora protoka, 149, 151

Procedure, 180

Proceduralni pristup, 23

Procesi

nestacionarni, 84

rasuđivanja, 163

stacionarni, 84

Procesor-solver, 80

Projektovanje, 27-37

Pomoćni ventilatori, 161

Provetrenost jame, 263

Pseudo osnovna temperatura, 208

Psihrometerska konstanta, 226

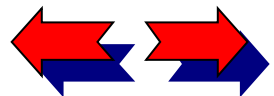
## R

Radiacioni fluks, 54

Radna memorija, 288

Računari, 22, 30

Računska dinamika fluida, 79



? Kako koristiti elektronsku knjigu

## Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

Raspodela vazduha, 139, 239  
delimično regulisana, 140, 149, 162  
prirodna, 140, 148  
regulisana, 140, 151

Regulatori protoka, 33

Rejnoldsov  
broj, 61, 92, 102  
jednačine, 65  
tenzor napona, 66

Relativna vlažnost, 128, 226

ResNet, 38, 130-137, 251

Režimi strujanja, 61

ROSIE, 287

RT/FUZZY, 288

## S

Servisi

korisnički, 130-145, 174, 247  
podataka, 130-145, 174-185, 233, 247  
poslovni, 130-145, 174-176, 231, 247

Selekcija, 166

Simodov model, 238

Simulacije, 21  
požara, 237

Sistem, 20  
fizički, 20  
okvira, 162  
tehnički, 20

SimVent, 38, 137, 162, 174-185, 228, 247-254, 257, 297

Softver, 34-36, 82, 130, 174, 233, 251, 297

Stabilnost ventilacionog sistema, 267

Stantonov i Nikuradzeov dijagram, 103  
Subjektivna procena, 30

## T

Tabele baze, 135, 184, 235, 253

Tejlorov red, 156

Temperatura, 75, 127, 188  
apsolutna, 125  
suvog termometra, 219

Temperaturni gradijent, 200, 207

Tenzor brzine deformacije, 50

Teorija

grafova, 30, 99  
projektovanja, 27  
rasplnutih skupova, 283

Toplotna

provodljivost, 188  
difuzivnost, 195

Toplotni fluks, 50, 188, 190, 205-207

Troslojna arhitektura

dijagrama klasa, 130, 174, 228, 247

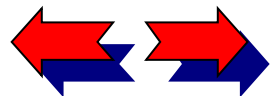
Turbulentna

difuzivnost, 73  
naponi, 66  
strujanje, 58-62, 84, 100-106  
viskoznost, 67, 72

## U

Ugroženost prašinom, 50

Ukrštanje, 166



? Kako koristiti elektronsku knjigu

## Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Ulančavanje

unapred, 284

unazad, 284

UML, 130, 174, 228, 237

Unutrašnja energija, 50

## V

Ventilacione mreže, 30, 260

Ventilacioni sisitemi, 30

VENTEX, 39-40, 256-305

Vlažnost

apsolutna, 128

relativna, 128

Veštačka inteligencija, 23-24, 257, 280

## Z

Zakoni

balansa, 47

konzervacije, 46

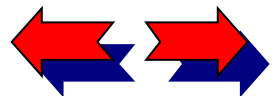
napona, 140, 148

strujanja, 140, 148

ventilacionih mreža, 140

Zapreminski protok, 64, 105, 141-153, 240

Zavisni ogranci, 261



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## KAKO KORISTITI OVU ELEKTRONSKU KNJIGU

Ova elektronska knjiga je osmišljena tako da je omogućen brz pristup informacijama sadržanim u njoj. Korišćenjem opisanih mogućnosti u ovom uputstvu omogućava se pozicioniranje na poglavlje, naslov ili izvor koji se želi.

Duž leve margine svake strane nalazi se pregled svih poglavlja knjige. Klikom miša na željeno poglavlje ostvaruje se pozicioniranje na prvu stranu izabranog poglavlja. U donjem desnom uglu svake strane postavljene su strelice za listanje knjige, odnosno prikaz sledeće ili prethodne strane.

Na prvoj strani svakog poglavlja dat je sadržaj poglavlja. Klikom miša na naslov ili broj strane ostvaruje se direktno pozicioniranje na tekst izabranog naslova.





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičе fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

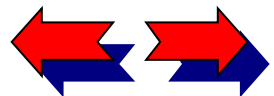


*Detaljni sadržaj omogućava listanje po poglavljima, naslovima i Index-u*

## Listanje knjige iz detaljnog sadržaja

Pored pregleda poglavlja i sadržaja u svakom poglavlju, moguće je listanje knjige kroz detaljni sadržaj, koji daje pregled kako svih poglavlja u knjizi tako i glavnih naslova svakog poglavlja. Brzo pozicioniranje na detaljni sadržaj ostvaruje se klikom miša na "Sadržaj" na levoj margini strane.

U detaljnom sadržaju, klikom miša na željeno poglavlje ili naslov, omogućava se brzo pozicioniranje na izabrano poglavlje ili naslov.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

1 O knjizi About the book

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## Listanje knjige iz Index-a

Index predstavlja listu ključnih reči i fraza u ovoj knjizi. Svaki pojam u Index-u je povezan sa stranom na kojoj se pojavljuje. Klikom miša na broj strane uz pojam u Index-u omogućava se pozicioniranje na datu stranu u tekstu knjige.

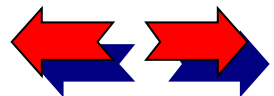
## INDEX

### A

Access, 138, 186, 238, 256  
 Aerodinamički otpor, 103-111  
 Akvizicija, 38  
 Algoritam, 34, 124  
 Alternativni tenzor, 52  
 Analitičko rešenje, 33  
 Analiza ventilacije, 260, 275  
 Apsolutna  
     temperatura, 128  
     vlažnost, 131  
 Apstrakcija, 33  
 ART, 290  
 Atkinsonova  
     jednačina, 107, 148, 151  
     otpor, 110  
 Atmosferski pritisak, 128, 247



*Index omogućava listanje knjige preko ključnih reči i fraza*



? Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija  
planiranja  
ventilacije rudnika

3 Modeliranje  
procesa strujanja  
vazduha u  
rudničkim  
prostorijama  
primenom  
računske dinamike  
fluida

4 Matematičko  
definisane složenih  
ventilacionih mreža

5 Modeliranje  
distribucije protoka  
vazduha

6 Modeliranje  
promene klimatskih  
prilika u rudničkim  
ventilacionim  
mrežama

7 Modeliranje požara  
u složenim  
ventilacionim  
mrežama

8 Ekspertni sistem za  
analizu ventilacije  
rudnika

UML notacija

Index

## About the book

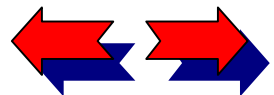
# A HYBRID SYSTEM FOR MINE VENTILATION SYSTEMS

## PLANNING AND ANALYSIS

For English readers we give in this section the book contents and a brief summary containing the highlights of the book. The authors will be happy to give further information if you contact them on [lilic@rgf.org.yu](mailto:lilic@rgf.org.yu).

### SECTION CONTENTS

CONTENTS.....	336
SUMMARY.....	342
ABOUT THE AUTHORS.....	351



? Kako koristiti  
elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija  
planiranja  
ventilacije rudnika

3 Modeliranje  
procesa strujanja  
vazduha u  
rudničkim  
prostorijama  
primenom  
računske dinamike  
fluida

4 Matematičko  
definisanje složenih  
ventilacionih mreža

5 Modeliranje  
distribucije protoka  
vazduha

6 Modeliranje  
promene klimatskih  
prilika u rudničkim  
ventilacionim  
mrežama

7 Modeliranje požara  
u složenim  
ventilacionim  
mrežama

8 Ekspertni sistem za  
analizu ventilacije  
rudnika

UML notacija

Index

## CONTENTS

### CHAPTER 1

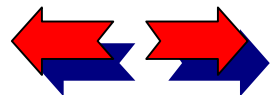
#### ABOUT THE BOOK

Foreword.....	2
Symbols and Units.....	6
Bibliography.....	8
From Mathematical Models to Artificial Intelligence.....	20

### CHAPTER 2

#### METHODOLOGY OF MINE VENTILATION PLANNING

Introductory Remarks.....	27
The Traditional Approach.....	31
The Novel Approach.....	34



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## CHAPTER 3

# MODELING OF AIR FLOW PROCESSES IN MINE CHAMBERS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Theoretical Foundations of Computational Fluid Dynamics.....43

What is CFD ?

General Form of the Balance Equation

Initial and Boundary Conditions

State Equations

Laminar and Turbulent Flow

Reynold's Equations

Prantl's Theory of Blending Path

Standard  $k-\varepsilon$  Turbulence Model

On the Finite Elements Methods.....75

Finite Elements Approximation

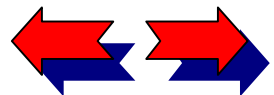
The Algorithmic Concept of the Finite Elements Method

Application of CFD Software in Solving Mine Chamber Ventilation Problems.....79

Characteristics of CFD software

General Description of NISA/3D – FLUID software

An Overview of Existing Research on the Application of CFD Modeling





## Application of CFD Modeling in Solving Pit Ventilation in the “Soko” Coal Mine

### CHAPTER 4

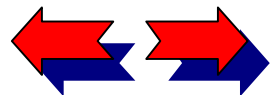
#### MATHEMATICAL DEFINITION OF COMPLEX VENTILATION NETWORKS

<b>Characteristics of Mine Ventilation Networks.....</b>	<b>99</b>
Main Characteristics of Network Topography	
Aerodynamic Resistance of Ventilation Network Branches	
<b>Defining Mine Ventilation Networks.....</b>	<b>109</b>
Ventilation Network Matrixes	
Algorithm for Network Tree Construction	
Methodology for Defining Aerodynamic Resistance Distribution in Ventilation Networks	
<b>Modeling and Development of a Software Package for Defining Aerodynamic Resistance Distribution in Complex Mine Ventilation Networks.....</b>	<b>130</b>

### CHAPTER 5

#### MODELING OF AIR FLOW DISTRIBUTION

<b>Air Flow Distribution.....</b>	<b>139</b>
Ventilation Network Laws	
Natural Air Distribution	



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi [About the book](#)

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

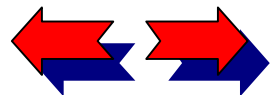
?	Kako koristiti elektronsku knjigu
	Sadržaj knjige
1	O knjizi <b>About the book</b>
2	Metodologija planiranja ventilacije rudnika
3	Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida
4	Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
5	Modeliranje distribucije protoka vazduha
6	Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
7	Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
8	Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
	UML notacija
	Index

	Partially Regulated Distribution	
	Regulated Air Distribution	
	<b>Methods for Ventilation Network Solving.....154</b>	
	Hardy-Cross Method	
	Application of Genetic Algorithms in Mine Ventilation Network Optimization	
	Critical Path Method	
	<b>Modeling and Development of a Software Package for Defining Air Flow Distribution in Complex Mine Ventilation Networks.....174</b>	

## CHAPTER 6

### MODELING OF CHANGES IN CLIMATE CONDITIONS IN MINE VENTILATION NETWORKS

	<b>Heat Transfer Mechanism in Mine Workings.....187</b>	
	Conduction Heat Transfer Mechanism	
	Heat Interchange between Rock Massive and Air	
	Heat Sources in Mine Workings	
	<b>Methodology for Establishing Changes in Climate Factors.....215</b>	
	Algorithms for Heat Interchange Definition in Mine Workings	
	Air Moisture Content Changes	



?	Kako koristiti elektronsku knjigu
	Sadržaj knjige
1	O knjizi <i>About the book</i>
2	Metodologija planiranja ventilacije rudnika
3	Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida
4	Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
5	Modeliranje distribucije protoka vazduha
6	Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
7	Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
8	Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
	UML notacija
	Index

Changes in Temperature of Dry Thermometer

Air Pressure Changes

Changes in Temperature of Humid Thermometer

Relative Humidity and Saturation Conditions

Development of a Software Package for Modeling Climate Conditions in Complex Mine Ventilation Networks.....228

## CHAPTER 7

### MODELING OF FIRE IN COMPLEX VENTILATION NETWORKS

Elements of a Model for Fire Incidence in Complex Ventilation Networks.....238

Introductory Remarks

The Global Simulation Model

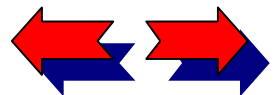
Methodology for Model Solving.....241

Development of a Software Package for Modeling Fire Incidence in Complex Mine Ventilation Networks.....247

## CHAPTER 8

### An Expert System for the Analysis of Mine Ventilation

Outline of the Mine Ventilation System Analysis Problem.....256



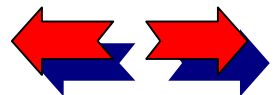
?	Kako koristiti elektronsku knjigu
	Sadržaj knjige
1	O knjizi <i>About the book</i>
2	Metodologija planiranja ventilacije rudnika
3	Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
4	Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
5	Modeliranje distribucije protoka vazduha
6	Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
7	Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
8	Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
	UML notacija
	Index

	Introductory Remarks	
	Methodology	
	Formalization of the Mine Ventilation State Estimation	
	Expert systems.....	274
	Basic Elements and Structure	
	Characteristics	
	Knowledge Representation	
	Inference Engine	
	ES Software	
	Development of a VENTEX – A Diagnostic Expert System.....	287
	Architecture of the VENTEX System	
	Software Implementation of the VENTEX system	
	Case Study of VENTEX Implementation	

**UML**

**HOW TO USE THIS BOOK?**

**INDEX**



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

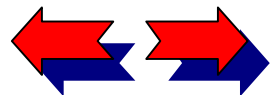
## SUMMARY

Engineering planning and design is the process of a conceptual construction of a system, its components or processes whose goal is to meet the desired needs. It is a decision-making process, often interactive, based on mathematics and engineering sciences applied in order to realize the established goal.

The methodology of mine ventilation planning and design in contemporary mine theory and practice differs substantially from the traditional approach. The novel approach uses all possibilities offered by computer hardware and software that are at the disposition of mine engineers. Software packages for mine ventilation simulation obtained a key role in the process of mine ventilation planning and design.

Numerous and diverse artificial intelligence methods and techniques and rapid development of computer technology enable a construction of systems which both intertwine these methods and combine them with the classical procedural approach. Systems constructed in such a manner are called *hybrid (intelligent) systems*. The range of problems solved by means of computer technology getting wider, complex problems that cannot be solved by only one method are encountered. Methods are then combined in different ways, in which independent modules often exchange information and solve individual tasks in order to reach the final solution. Such a hybrid system is described in this book.

Ventilation design is just one element or phase of the novel design approach. The component diagram on Fig.1 illustrates the proposed method that can be divided into six separate components:





## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi *About the book*

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

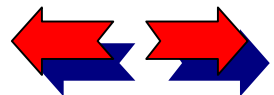
### Index

- ◆ data acquisition,
- ◆ system planing,
- ◆ design,
- ◆ implementation and maintenance,
- ◆ system monitoring and
- ◆ evaluation and modification.

According to the outlined concept, the design process does not end with the beginning of system implementation, but rather continues until the final realization of the system and its control during exploitation. The design process can be used equally for designing new systems and modifying existing ones.

The first phase of the outlined methodology is data acquisition. In contemporary mining practice extensive and exhaustive investigations of ore deposits are undertaken in order to collect as much information as possible for the planing and design of technological systems for deposit exploitation.

Geological factors play an important role in ventilation system design (gas content, self-inflammability of mineral resource, level of explosiveness for mineral dust etc.). Contemporary procedures for collecting geological data enable information acquisition during deposit examination that form the basis for planing of an optimal ventilation system, massive control, water removal etc. For example, one of the criteria with priority when the establishment of necessary volume airflow is concerned is methane emission, which can be determined during deposit investigation. Discontinuities identified within the deposit during



investigation can pinpoint to regions with higher risk pertaining to the appearance of gas, water, underground pressures etc.

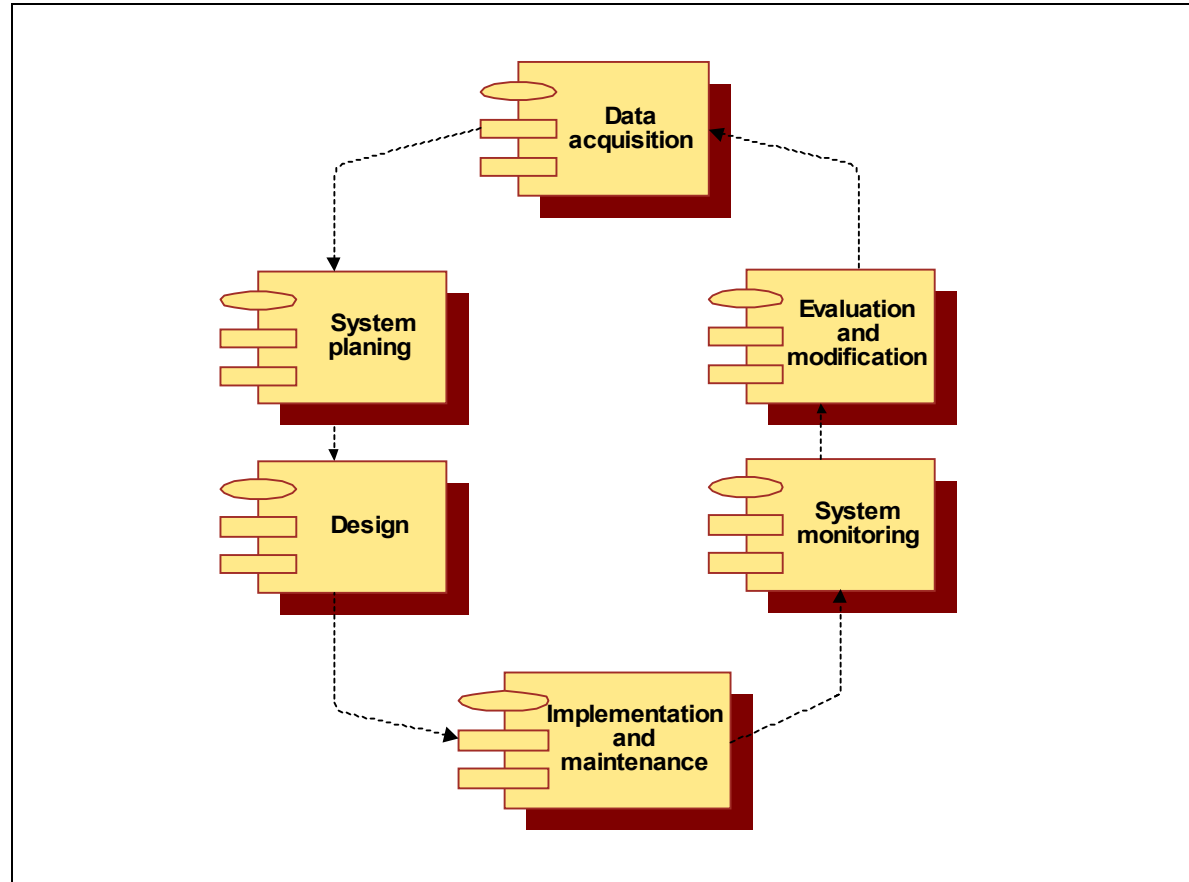
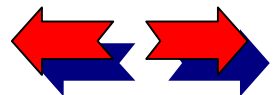


Figure 1 Component diagram of the novel design concept



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi **About the book**

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi *About the book*

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

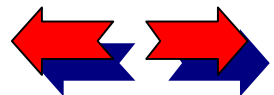
#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

System planing is an introduction to the mine design process. In the planning process key relations are defined that have to be taken into account in the mine design phase. Ventilation requirements and ventilation system structure can be defined only on basis of a production plan and a plan of mine work realization dynamics. A mine production plan, which includes exploitation technology and system management, is the decisive factor for mine infrastructure. For example, it is the analysis of mine ventilation that enables the establishment of entry flow chambers number for the pit on basis of airflow speed limitations, or conversely, the proposal of the ventilation system on basis of mine infrastructure selection.

The initial step in the mine ventilation planing and design process is the establishment of a basic or initial network and an appropriate database related to this network. Data for the basic network are obtained through data acquisition or by measuring the ventilation parameters. In order to be certain that the basic network represents the actual and adequate picture of the mine it is important to verify this network through a correlation study. This includes the application of mine ventilation simulation software on basic network input data and a comparison of simulation results with measured data. When measurements are performed in a systematic and organized manner, with reliable and precise instruments, and no errors are made while transforming the basic network into its matrix form, then computed and measured airflow are essentially identical. However, such an ideal situation is seldom encountered in practice. It is important to stress that, due to large mine dimensions, measurements are often made during a period ranging from several weeks up to several months. Airflow in the definition of the basic network can be changed during measurement as a result of natural depression or aerodynamic



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

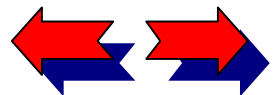
Index

resistance variations in mine chambers, which in their turn result from changes in parts of the mine undergoing exploitation. Correlation is acceptable if it guarantees that computed airflow values do not differ from the measured ones more than 10 %.

The ventilation design process has to continue throughout the construction of the mine ventilation system as well as its maintenance, in order to secure the highest possible level of system use and effectiveness. Problems with establishing chamber wall air friction coefficients, air losses, air flows and air pressures in ventilation networks imply the necessity to monitor the ventilation system's operation in order to compare it with planned and designed parameters.

The final phase in the outlined design process is state evaluation and modification. All parameters of mine ventilation obtained by monitoring have to be compared with designed parameters and when differences are identified, specific changes must be made in the planning process.

Following the outlined strategy of planing, analysis and management of mine ventilation, a hybrid system named INVENTS has been developed, its architecture and concept being the subject of this book. Figure 2 illustrates the place hybrid system INVENTS has in contemporary approach to mine ventilation planing, as well as its architecture which, with its interactive use of CFD software, presents a novel concept in complex mine ventilation network analysis. Namely, the hybrid system for planing and analysis of mine ventilation INVENTS is composed out of a number of integrated software packages, such as ResNet, SimVent and VENTEX (Figure 3). These packages integrate both well known numerical optimization and various artificial intelligence methods which allow for an introduction heuristics into the



knowledge base, thus upgrading existing mathematical models with knowledge acquired through engineering practice.

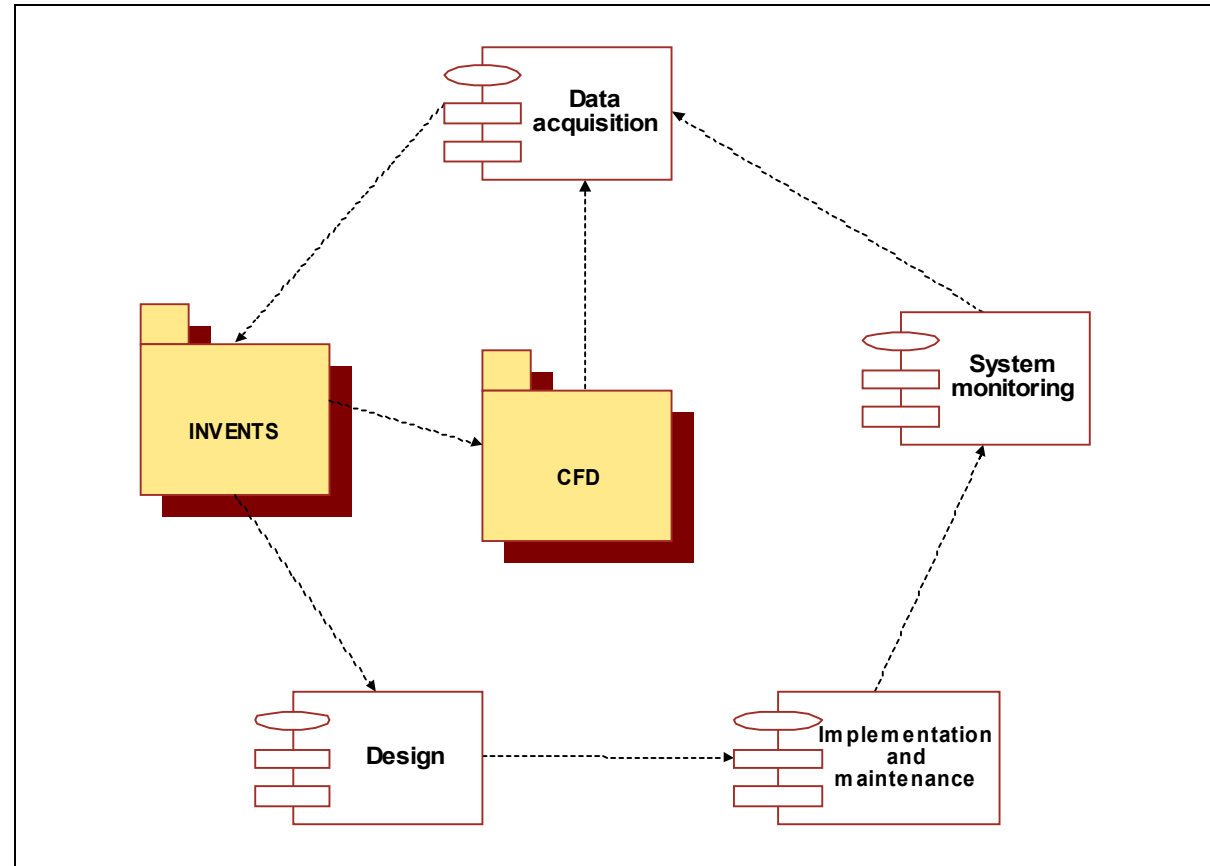
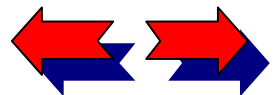


Figure 2 Global concept of mine ventilation planning and design



- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi **About the book**
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



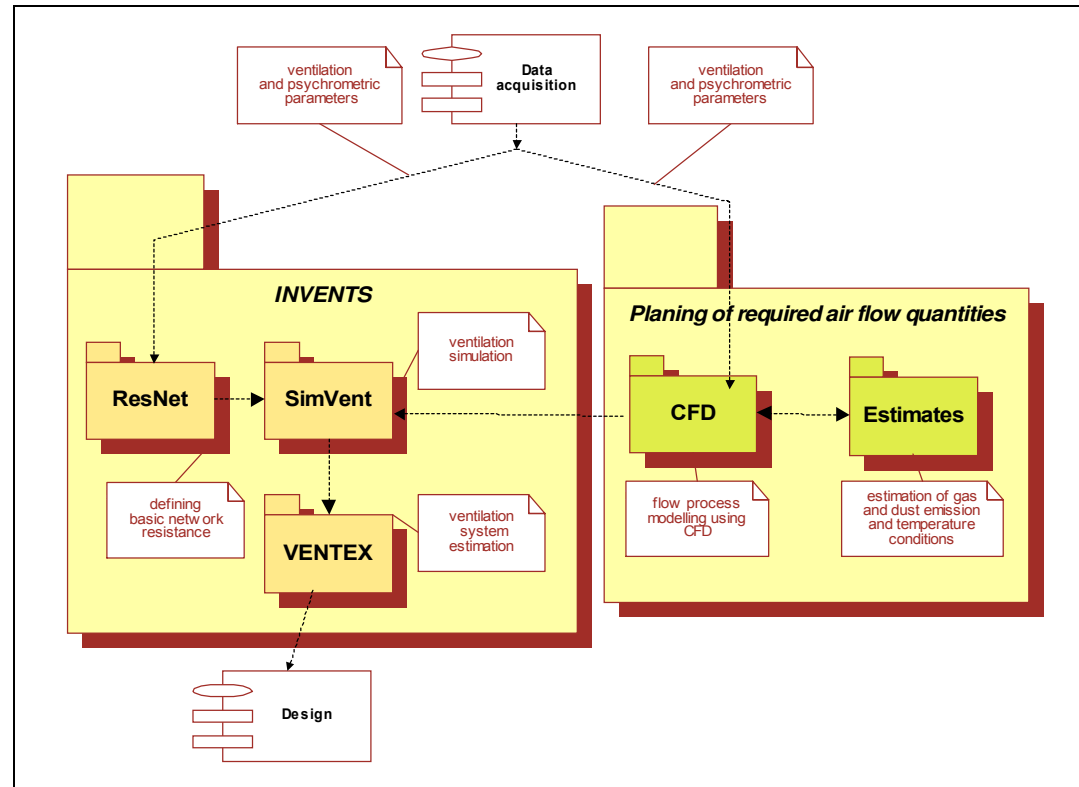
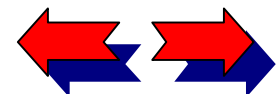


Figure 3 Architecture of the hybrid system INVENTS

The outlined system (Figure 3) permits an aerodynamic definition of mine ventilation network based on psychrometric recordings and the use of ResNet software, i.e. the establishment of actual aerodynamic resistance of mine chambers and thus the configuration of the basic network. CFD software can be applied in parallel for a detailed analysis of necessary airflow volumes for the ventilation of



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi **About the book**

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

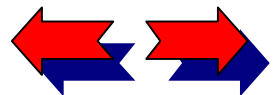
Index

individual workplace locations, often with a very complex geometry. The application of CFD software improves the reliability and quality of the apprehension and verification of air amounts needed for the ventilation of workplaces. Beforehand, determination of air amounts relied on the engineering experience or an analogy with similar examples encountered in practice and specific empirical relations defined.

After the input data for planing and analysis of the entire ventilation system have been analyzed and checked in detail, INVENTS offers a number of possibilities for the analysis of mine ventilation networks with the help of SimVent. Among these possibilities the following should be stressed:

- ◆ determining air flow distribution throughout the ventilation network,
- ◆ simulation of climate conditions in mine chambers,
- ◆ modeling of fire incidence in ventilation networks as well as
- ◆ gas distribution in ventilation network.

The results obtained after the desired analysis by SimVent can be exported to VENTEX – a diagnostic expert system that performs the analysis of obtained results according to a number of criteria. The result of such an expert analysis is an estimate of the validity and effectiveness of the ventilation system followed by suggestions for its improvement. The architecture of the system and the software environment in which the system was developed enable a dynamic communication between different phases of the outlined concept, leading to unlimited possibilities for testing different modifications of the system until a final solution satisfying the established criteria is obtained.



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

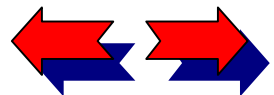
8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

The book offers the theoretical rationale and a detailed description how the components of the hybrid system for mine ventilation planing and analysis (INVENTS) were realized as well as the concept outlined in Figure 2.

- ? Kako koristiti elektronsku knjigu
- Sadržaj knjige
- 1 O knjizi *About the book*
- 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika
- 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida
- 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža
- 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha
- 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama
- 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama
- 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika
- UML notacija
- Index



? Kako koristiti elektronsku knjigu

Sadržaj knjige

1 O knjizi *About the book*

2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamike fluida

4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

UML notacija

Index

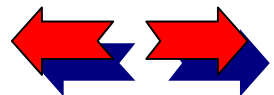
## ABOUT THE AUTHORS

**Nikola M. Lilić** graduated with B.S. degree in underground mining engineering in 1982 and M.S. degree in mine ventilation and mine safety in 1985 at University of Belgrade, Yugoslavia. In December 1982 he joined the Department of Mining Engineering at the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, as assistant. He received his Ph.D. in mine ventilation in 1990 at University of Belgrade.



Dr Lilić is currently an associate professor of mine ventilation and mine safety at the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Yugoslavia. His research interests include mine ventilation, mine safety and application of mathematical and computer methods in mining. With an emphasis in mining, he explores the development of hybrid intelligent systems and the use of such systems for solving complex problems in the area of air pollution prediction.

**Ranka M. Stanković** received the B.S. degree in mathematics from University of Belgrade, Yugoslavia in 1988. In July 1989 she joined the Department of Mining Engineering at the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade. Her research interests are in the areas of intelligent systems, information systems and database.



## ? Kako koristiti elektronsku knjigu

### Sadržaj knjige

#### 1 O knjizi *About the book*

#### 2 Metodologija planiranja ventilacije rudnika

#### 3 Modeliranje procesa strujanja vazduha u rudničkim prostorijama primenom računске dinamičke fluida

#### 4 Matematičko definisanje složenih ventilacionih mreža

#### 5 Modeliranje distribucije protoka vazduha

#### 6 Modeliranje promene klimatskih prilika u rudničkim ventilacionim mrežama

#### 7 Modeliranje požara u složenim ventilacionim mrežama

#### 8 Ekspertni sistem za analizu ventilacije rudnika

### UML notacija

### Index

**Ivan M. Obradović** received the B.S. degree in mathematics, The M.S. degree in information systems science and Ph.D. degree in computer science from University of Belgrade, Yugoslavia in 1974, 1981 and 1991, respectively.

He is an associate professor at the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Yugoslavia. Dr Obradović teaches postgraduate courses in artificial intelligence at the Belgrade University Centre of multidisciplinary studies and Faculty of Mathematics. His research and teaching interests are in the areas of intelligent systems, human-computer cooperation and case-based reasoning. With an emphasis in mining and geology, he explores the development of cooperative intelligent systems and the use of such systems for solving complex problems involving multicriteria decision making.

