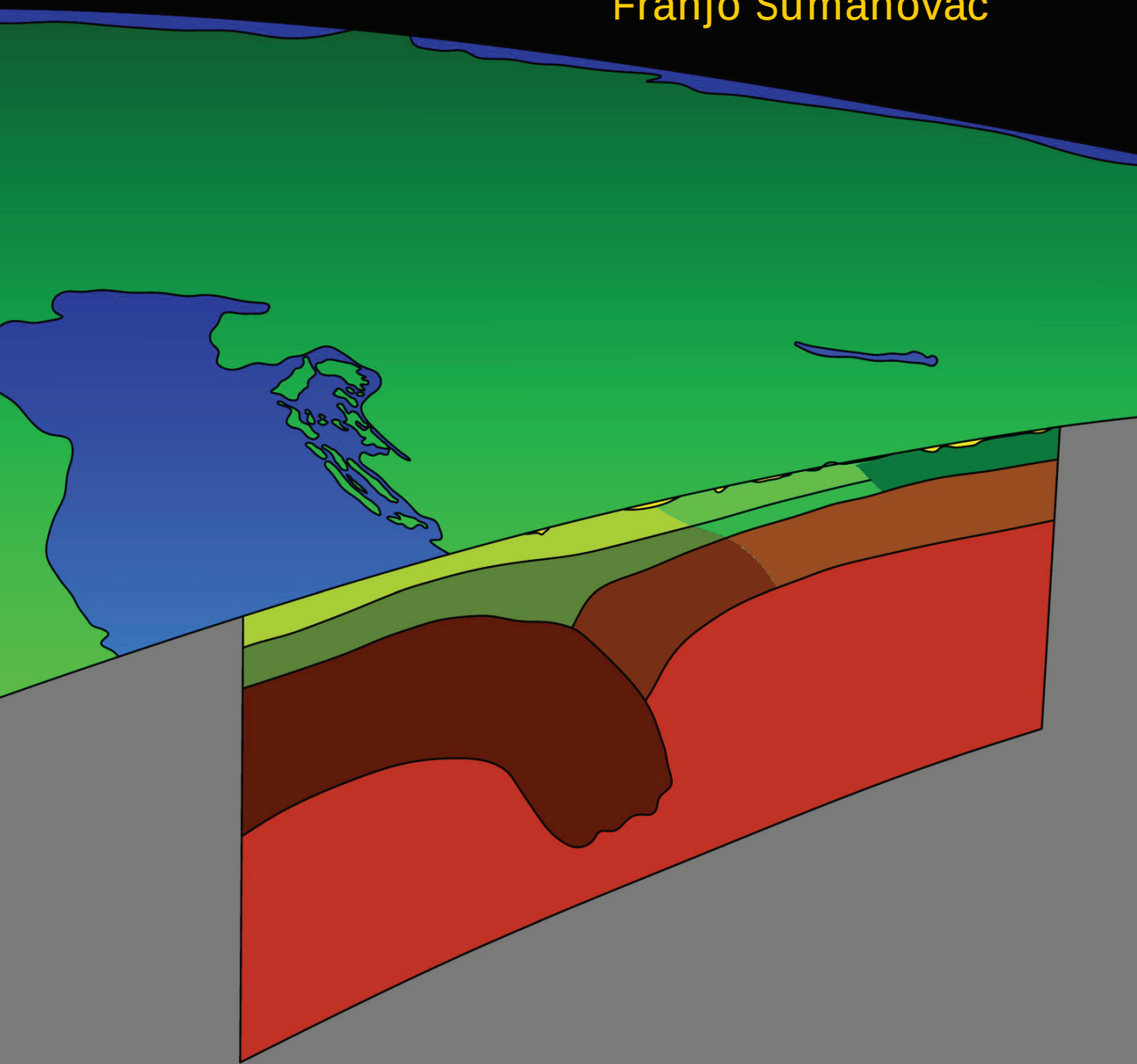
UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS

Osnove geofizičkih istraživanja

Franjo Šumanovac



Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Osnove geofizičkih istraživanja

Franjo Šumanovac

UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS

ISBN 978-953-6923-20-5
CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 825366

© Sva prava pridržava autor. Udžbenik u cjelini, pa niti bilo koji njegov dio nije dopušteno umnožavati bez pismenog dopuštenja autora.

Odlukom Senata Sveučilišta u Zagrebu broj 380-060/044-11-2 (klasa 032-01/11-01/36) na sjednici održanoj 5. srpnja 2011. godine, udžbeniku pod naslovom **„Osnove geofizičkih istraživanja"** autora prof. dr. sc. Franje Šumanovca odobrava se korištenje naziva **sveučilišni udžbenik** ***(Manualia universitatis studiorum Zagrabiensis).***

Franjo Šumanovac

Osnove geofizičkih istraživanja

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zagreb, 2012.

Nakladnik:
Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Urednik:
Prof. dr. sc. Igor Zorić, dipl. ing. el.

Grafički urednik
Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing. geol.

Recenzenti:
Prof. dr. sc. Marijan Herak, dipl. ing. fiz.
Prof. dr. sc. Ivan Dragičević, dipl. ing. geol.
Doc. dr. Rajna Rajić, dipl. ing. mat.

Lektorica:
Nada Matić-Buljan, prof.

Izrada grafičkih priloga,
dizajn ovitka:
Saša Kolar
Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing. geol.

Obrada teksta i prijelom:
Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing. geol.

Naklada:
500 kom.

Tisak:
Tiskara Zelina, d.d.

Objavljivanje knjige pomogli su:

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta
Republike Hrvatske

INA-Industrija nafte, d.d.

Hrvatske vode, Zagreb

Hrvatski geološki institut
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju

Zahvaljujemo!

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet i autor

SADRŽAJ

Predgovor XIII

1. UVOD 1

1.1 Bitne napomene i definicije 4

2. GRAVIMETRIJSKA ISTRAŽIVANJA **7**

2.1 Teoretske osnove **8**
2.1.1 Gravimetar 9
2.1.2 Gravimetrijska djelovanja pravilnih geometrijskih tijela 11
2.1.2.1 Kugla 11
2.1.2.2 Izduženi element mase 13
2.1.2.3 Horizontalni valjak 14
2.1.2.4 Vertikalni valjak 15
2.1.2.5 Ploča neograničenog prostiranja 16
2.1.3 Gravimetrijska djelovanja nepravilnih tijela 16
2.1.3.1 Dvodimenzionalna tijela 16
2.1.3.2 Trodimenzionalna tijela 18
2.2 Instrumenti **24**
2.2.1 Kopneni gravimetri 24
2.2.2 Dnevni hod i skok očitka gravimetra 25
2.2.3 Specijalni gravimetri 26
2.2.4 Apsolutna mjerenja gravitacije 27
2.3 Gravimetrijska mjerenja i obrada podataka **28**
2.3.1 Terenska mjerenja 28
2.3.2 Gravimetrijske korekcije 29
2.3.2.1 Širinska korekcija 29
2.3.2.2 Visinska korekcija 30
2.3.2.3 Topografska korekcija 33
2.4 Interpretacija **36**
2.4.1 Gustoća stijena 36
2.4.2 Transformacije Bouguerovih anomalija 40
2.4.3 Višeznačnost gravimetrijske interpretacije 43
2.4.4 Gravimetrijsko modeliranje 46
2.4.4.1 Dvodimenzionalno modeliranje 46
2.4.4.2 Trodimenzionalno modeliranje 58
2.5 Izostazija **64**

2.6 Primjena gravimetrijskih istraživanja **66**

3. MAGNETOMETRIJSKA ISTRAŽIVANJA **73**

3.1 Instrumenti i jedinice **74**
3.1.1 Jedinice 74
3.1.2 Magnetometri 74
3.1.3 Mjerenje totalnog polja 76
3.2 Magnetno polje Zemlje **78**
3.2.1 Svojstva magnetnog polja 78
3.2.2 Vremenske promjene magnetnog polja 81
3.3 Teoretske osnove **83**
3.3.1 Magnetični minerali i stijene 83
3.3.2 Elementarni dipoli i monopoli 84
3.3.3 Inducirana i remanentna magnetizacija 85
3.4 Terenska mjerenja **88**
3.4.1 Kopnena mjerenja 88
3.4.2 Aeromagnetna mjerenja 91
3.4.3 Korekcije za vremenske promjene magnetnog polja 91
3.5 Obrada i interpretacija podataka **93**
3.5.1 Reduciranje podataka 93
3.5.2 Interpretacija 94
3.5.2.1 Osnovna svojstva magnetnih anomalija 96
3.5.2.2 Kvalitativna interpretacija 97
3.5.2.3 Kvantitativna interpretacija 97
3.6 Primjena magnetometrijskih istraživanja **101**

4. GEOELEKTRIČNA ISTRAŽIVANJA **109**

4.1 Električna svojstva stijena **109**
4.1.1 Električna otpornost 110
4.2 Metoda prirodnog potencijala **112**
4.3 Metode otpornosti **113**
4.3.1 Teoretske osnove 113
4.3.2 Električno sondiranje 118
4.3.2.1 Homogena, dvoslojna i troslojna sredina 119
4.3.2.2 Interpretacija električnog sondiranja 123
4.3.2.3 Električna višeznačnost 128
4.3.2.4 Tanki slojevi velikih ili malih otpornosti 130
4.3.2.5 Električno sondiranje u stvarnim uvjetima 130
4.3.3 Električno profiliranje 132
4.3.4 Električna tomografija 135

4.3.4.1 Geometrija mjerenja 136
4.3.4.2 Tomografska inverzija 138
4.3.4.3 Električna tomografija u istraživanju ležišta građ. materijala 145
4.3.5 Instrumenti za električna mjerenja 153
4.4 Metoda inducirane polarizacije 155

5. SEIZMIČKA ISTRAŽIVANJA 161

5.1 Uvod 161
5.2 Teoretske osnove 162
5.2.1 Hookeov zakon i Huygensov princip 162
5.2.2 Stvaranje i rasprostiranje seizmičkih valova 164
5.2.2.1 Vrste valova 165
5.2.2.2 Putovi zraka u dvoslojnoj sredini 168
5.2.3 Graf vrijeme-udaljenost za dvoslojnu sredinu 172
5.2.4 Srednja brzina 175
5.2.5 Prividna brzina 177
5.2.6 Seizmičke brzine u stijenama 179

5.3 Instrumenti i oprema 180
5.3.1 Seizmometri 180
5.3.2 Seizmografi 183
5.3.2.1 Dinamički raspon 185
5.3.2.2 Digitalni seizmografi 186
5.3.3 Izvori seizmičkih valova 190
5.4 Refrakcijska seizmika 193
5.4.1 Mjerenja i obrada podataka 194
5.4.2 Interpretacija 195
5.4.2.1 Usporedne granice 196
5.4.2.2 Nagnute granice 197
5.4.2.3 Neravne granice 201
5.4.2.4 GRM-metoda 202
5.4.2.5 Delta-t-V-metoda 209
5.4.2.6 Poteškoće u refrakcijskoj interpretaciji 210
5.4.2.7 Postupno povećanje brzine s dubinom 212
5.4.2.8 Određivanje skoka vertikalnog rasjeda 215
5.4.2.9 Mjerenje seizmičkih brzina u bušotini 216
5.5 Refleksijska seizmika 219
5.5.1 Terenska mjerenja 219
5.5.2 Obrada podataka 224
5.5.2.1 Statička korekcija 225

5.5.2.2 Dinamička korekcija 226
5.5.2.3 Rezidualne korekcije 228
5.5.2.4 Struktura programa za obradu podataka 229
5.5.3 Mjerenje seizmičkih brzina 232
5.5.4 Interpretacija 235
5.5.4.1 Metode migracije 241
5.5.4.2 Interpretacija seizmičkih profila 245
5.5.5 Neposredno otkrivanje ugljikovodika 250
5.5.6 Sintetski seizmogram 254
5.5.7 Vertikalno seizmičko profiliranje (VSP) 259
5.5.7.1 Načini VSP-mjerenja 259
5.5.7.2 Izvedba VSP-mjerenja 261
5.5.7.3 Obrada i prikaz VSP-podataka 262
5.5.8 Seizmički atributi 265
5.5.8.1 Analiza kompleksnog seizmičkog traga 265
5.5.8.1.1 Hilbertova transformacija 266
5.5.8.1.2 Primjena Hilbertove transformacije na seizmički signal 273
5.5.8.1.3 Jednodimenzionalni kompleksni seizmički trag 274
5.5.8.1.4 Dvodimenzionalni kompleksni seizmički trag 276
5.5.8.2 Temeljni seizmički atributi 278
5.5.8.3 Podjela seizmičkih atributa 281
5.5.8.4 Procedura interpretacije 283
5.5.8.5 Usporedni prikaz rezultata na obrađenim poljima 293

6. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA U BUŠOTINAMA 295

6.1 Uvod 295
6.2 Propusne i porozne naslage 296
6.2.1 Archiev zakon 298
6.2.2 Raspored tekućina i otpornosti u propusnom sloju 299
6.3 Karotaža otpornosti 300
6.3.1 Otpornost i faktor formacije 301
6.3.2 Normalna i inverzna sonda 301
6.3.3 Simetrična inverzna sonda 304
6.3.4 Sonde s usmjerenim strujama 305
6.3.5 Mikrosonde 306
6.4 Karotaža spontanog potencijala (SP-karotaža) 308
6.5 Radioaktivna karotaža 312
6.5.1 Karotaža prirodne radioaktivnosti 312

6.5.2 Neutronska karotaža 314
6.5.3 Karotaža gustoće 317
6.6 Zvučna karotaža 319
6.7 Ostale karotažne metode 322
6.7.1 Karotaža temperature 324
6.7.2 Karotaža promjera 325
6.7.3 Karotaža otklona bušotine 326
6.7.4 Karotaža nagiba 327
6.8 Snimanje stijenki bušotine 329

7. LITERATURA 333

Dodatak 1
Mjerne jedinice korištene u geofizičkim istraživanjima 343
Dodatak 2
Kazalo pojmova 344



Naša poslovna izvrsnost rezultat je energije naših ljudi.

Od istraživanja i proizvodnje, preko prerade pa sve do maloprodajne djelatnosti, naša najjača snaga su ljudi. Zahvaljajujući njihovoj energiji INA je već pola stoljeća lider u svim segmentima poslovanja. Zato je svaki poslovni uspjeh naše kompanije prvenstveno uspjeh naših zaposlenika.

INA - vi ste naša energija.

INA

www.ina.hr



