

# SADRŽAJ

## Glava 1.

1. OSNOVNE OSOBINE METALA . . . . .	1
-------------------------------------	---

## Glava 2.

2. POJAVA I KLASIFIKACIJA RETKIH METALA . . . . .	8
---	---

## Glava 3.

3. OSNOVNI PROCESI I METODI U METALURGIJI RETKIH METALA . . . . .	13
3.1. Procesi i metodi metalurške pripreme i koncentrisanja retkih metala . . . . .	13
3.1.1. Procesi pečenja i topljenja sa ciljem razlaganja . . . . .	14
3.1.2. Procesi selektivnog isparavanja i sublimacije . . . . .	15
3.1.3. Procesi luženja . . . . .	16
3.1.4. Procesi obogaćivanja i prečiščavanja rastvora . . . . .	21
3.1.4.1. Estrakcija organskim rastvaračima . . . . .	21
3.1.4.2. Jonska izmena . . . . .	28
3.1.5. Procesi izdvajanja iz rastvora . . . . .	36
3.1.5.1. Kristalizacija soli . . . . .	36
3.1.5.2. Hemijsko taloženje . . . . .	38
3.1.5.3. Redukcija gasovima . . . . .	40
3.1.5.4. Cementacija . . . . .	41
3.2. Procesi i metodi dobijanja retkih metala . . . . .	43
3.2.1. Metalotermija . . . . .	43
3.2.1.1. Natriotermija . . . . .	44
3.2.1.2. Magneziotermija . . . . .	48
3.2.1.3. Kalciotermija . . . . .	50
3.2.1.4. Aluminijotermija . . . . .	51
3.2.1.5. Silikotermija . . . . .	52
3.2.1.6. Redukcija lantanidima . . . . .	53
3.2.1.7. Redukcija amalgamima . . . . .	53
3.2.1.8. Redukcija cinkom . . . . .	54
3.2.1.9. Redukcija sumporom, odnosno primena sulfida . . . . .	54
3.2.2. Karbotermija . . . . .	54
3.2.3. Redukcija gasovima . . . . .	58

3.2.3.1. Redukcija oksida vodonikom . . . . .	59
3.2.3.2. Redukcija halogenida vodonikom . . . . .	59
3.2.3.3. Redukcija jona iz rastvora vodonikom . . . . .	61
3.2.4. Dobijanje metala postupcima termičkog razlaganja metalnih jedinjenja . . . . .	62
3.2.4.1. Van Arkel de Bjiurov postupak . . . . .	62
3.2.4.2. Razlaganje karbonila . . . . .	63
3.2.4.3. Razlaganje hidrida . . . . .	63
3.2.4.4. Razlaganje soli . . . . .	63
3.2.5. Elektroličko dobijanje metala . . . . .	64
3.2.5.1. Elektroliza iz vodenih rastvora . . . . .	66
3.2.5.2. Elektroliza iz nevodenih rastvora . . . . .	67
3.2.5.3. Elektroliza iz rastopa soli . . . . .	67
3.2.6. Dobijanje metala cementacijom . . . . .	69
3.2.7. Metodi dobijanja metala procesima cepanja jezgra . . . . .	69
3.3. Procesi i metodi rafinacije retkih metala . . . . .	70
3.3.1. Pojam i klasifikacija metala visokog stepena čistoće . . . . .	70
3.3.2. Pregled i klasifikacija metoda za dobijanje metala visokog stepena čistoće . . . . .	72
3.3.3. Rafinacija metala isparavanjem . . . . .	74
3.3.4. Elektrolička rafinacija metala . . . . .	79
3.3.5. Jodidni proces rafinacije metala . . . . .	82
3.3.6. Zonalna rafinacija metala . . . . .	88
3.4. Metalurgija praha retkih metala . . . . .	93
3.4.1. Dobijanje metalnih prahova . . . . .	93
3.4.4.1. Mehaničko usitnjavanje . . . . .	94
3.4.1.2. Hemijski metodi . . . . .	94
3.4.2. Prerada praha do gotovih komada - presovanje i sinterovanje . . . . .	95
3.4.2.1. Presovanje metalnih prahova . . . . .	95
3.4.2.2. Sinterovanje metalnih prahova . . . . .	97
3.4.2.3. Vruće presovanje (sinterovanje pod pritiskom) . . . . .	99
3.4.2.4. Metod upijanja . . . . .	100
3.5. Topljenje i livenje retkih metala . . . . .	101
3.5.1. Topljenje elektrootpornim zagrevanjem . . . . .	102
3.5.2. Indukciono topljenje . . . . .	103
3.5.3. Elektro-lučno topljenje . . . . .	104
3.5.4. Topljenje elektronskim snopom . . . . .	106
3.5.5. Topljenje u plazmi . . . . .	108
3.5.6. Livenje retkih metala . . . . .	108
 Glava 4.	
4. VOLFRAM . . . . .	109
4.1. Osobine volframa . . . . .	109
4.2. Osobine važnijih jedinjenja volframa . . . . .	110
4.3. Oblasti primene volframa . . . . .	112
4.4. Obogaćivanje volframovih ruda . . . . .	114
4.4.1. Mineraloški sastav volframovih ruda . . . . .	114
4.4.2. Obogaćivanje volframovih ruda gravitacijom . . . . .	114
4.4.3. Obogaćivanje volframovih ruda u teškim suspenzijama . . . . .	116
4.4.4. Obogaćivanje volframovih ruda u mašinama taložnicama . . . . .	116
4.4.5. Obogaćivanje volframovih ruda na koncentracionim stolovima . . . . .	116

4.4.6. Magnetna separacija i elektroseparacija pri obogaćivanju volframovih ruda . . . . .	117
4.4.7. Primena flotacije pri obogaćivanju volframovih ruda . . . . .	118
4.5. Metalurška prerada volframovih koncentrata . . . . .	118
4.6. Dobijanje wolfram-trioksida . . . . .	119
4.6.1. Razlaganje wolframitnih koncentrata . . . . .	119
4.6.1.1. Postupak pečenja ili topljenja sa natrijum-karbonatom . . . . .	119
4.6.1.2. Razlaganje wolframida rastvorom natrijum-hidroksida . . . . .	123
4.6.1.3. Prečišćavanje rastvora od primesa . . . . .	124
4.6.1.4. Taloženje wolframovih jedinjenja iz rastvora . . . . .	127
4.6.2. Razlaganje šelitnih koncentrata . . . . .	129
4.6.2.1. Pečenje ili topljenje šelita $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . . . . .	129
4.6.2.2. Razlaganje šelita rastvorom $\text{Na}_2\text{CO}_3$ u autoklavu . . . . .	131
4.6.2.3. Razlaganje šelitnih koncentrata kiselinama . . . . .	131
4.6.3. Prečišćavanje tehničke wolframove kiseline od primesa i dobijanje wolfram-trioksida . . . . .	133
4.7. Postupci za proizvodnju metalnog wolframa . . . . .	136
4.7.1. Redukcija wolfram-trioksida vodonikom . . . . .	137
4.7.2. Redukcija wolfram-trioksida ugljenikom . . . . .	141
4.8. Proizvodnja kompatknog kovnog wolframa . . . . .	144
4.9. Dobijanje wolframa iz sekundarnih sirovina . . . . .	149
<b>Glava 5.</b>	
<b>5. MOLIBDEN . . . . .</b>	<b>153</b>
5.1. Osobine molibdena . . . . .	153
5.2. Osobine važnijih jedinjenja molibdena . . . . .	154
5.3. Oblasti primene molibdena . . . . .	156
5.4. Obogaćivanje molibdenovih ruda . . . . .	157
5.4.1. Mineraloški sastav molibdenovih ruda . . . . .	157
5.4.2. Flotiranje sulfidnih molibdenovih ruda . . . . .	157
5.4.3. Flotiranje oksidnih molibdenovih ruda . . . . .	158
5.4.4. Flotiranje bakarno-molibdenovih ruda . . . . .	159
5.4.5. Obogaćivanje olovno-molibdenovih ruda . . . . .	160
5.5. Pregled postupaka za preradu molibdenovih koncentrata . . . . .	160
5.6. Oksidirajuće prženje molibdenitnih koncentrata . . . . .	161
5.6.1. Fizičko-hemiske osnove prženja . . . . .	161
5.6.2. Proizvodni uslovi procesa prženja . . . . .	163
5.7. Prerada molibdenitnih koncentrata hidrometalurškim postupcima razlaganja . . . . .	165
5.8. Proizvodnja čistog molibden-trioksida . . . . .	166
5.8.1. Proizvodnja molibden-trioksida po postupku isparavanja . . . . .	167
5.8.2. Hemski postupak prerade prženca . . . . .	168
5.9. Dobijanje molibdena iz siromašnih koncentrata i otpadnih proizvoda . . . . .	172
5.10. Redukcija molibden-trioksida vodonikom . . . . .	172
5.11. Proizvodnja kompaktnog kovnog molibdena . . . . .	174
5.11.1. Proizvodnja kompaktnog kovnog molibdena metalurgijom praha . . . . .	174
5.11.2. Proizvodnja kompaktnog kovnog molibdena metodom topljenja . . . . .	175
5.12. Dobijanje molibdena iz sekundarnih sirovina . . . . .	177
<b>Glava 6.</b>	
<b>6. TITAN . . . . .</b>	<b>178</b>
6.1. Osobine titana . . . . .	178

6.2. Osobine važnijih jedinjenja titana . . . . .	180
6.3. Oblasti primene titana . . . . .	182
6.4. Obogaćivanje titanovih ruda . . . . .	183
6.4.1. Mineraloški sastav titanovih ruda . . . . .	183
6.4.2. Obogaćivanje titanovih ruda metodom gravitacije . . . . .	183
6.4.2.1. Obogaćivanje na mašinama taložnicama i koncentracionim stolovima . . . . .	183
6.4.2.2. Obogaćivanje na spiralnim separatorima . . . . .	184
6.4.3. Flotacija titanovih ruda . . . . .	184
6.4.4. Magnetna i elektrostatička separacija titanovih ruda . . . . .	185
6.4.4.1. Magnetna separacija titanovih ruda . . . . .	185
6.4.4.2. Elektrostatička separacija titanovih ruda . . . . .	185
6.5. Prerada titanovih koncentrata . . . . .	186
6.6. Redukujuće topljenje ilmenita . . . . .	186
6.7. Proizvodnja sintetičkog rutila . . . . .	188
6.8. Proizvodnja titan-tetrahlorida . . . . .	190
6.9. Prečišćavanje tehničkog titan-tetrahlorida . . . . .	194
6.10. Proizvodnja titan-dioksida . . . . .	194
6.10.1. Postupak sa sumpornom kiselinom . . . . .	195
6.10.2. Dobijanje titan-dioksida iz titan-tetrahlorida . . . . .	199
6.11. Postupci za proizvodnju metalnog titana . . . . .	201
6.11.1. Redukcija titan-tetrahlorida magnezijumom (Krollov postupak) . . . . .	201
6.11.2. Redukcija titan-tetrahlorida natrijumom . . . . .	204
6.11.3. Redukcija titan-dioksida . . . . .	208
6.12. Proizvodnja titanovog sundera i titanovog praha . . . . .	210
6.13. Postupci za rafinaciju titana . . . . .	213
6.13.1. Elektrolitička rafinacija titana i njegovih legura . . . . .	213
6.13.2. Rafinacija titana jodidnim postupkom . . . . .	214
6.14. Dobijanje kompaktног kovnog titana . . . . .	215
6.14.1. Topljenje titana . . . . .	216
6.14.2. Postupak metalurgije praha . . . . .	216
6.15. Dobijanje titana iz sekundarnih sirovina . . . . .	217
 Glava 7.	
7. CIRKONIJUM . . . . .	219
7.1. Osobine cirkonijuma . . . . .	219
7.2. Osobine važnijih jedinjenja cirkonijuma . . . . .	220
7.3. Oblasti primene cirkonijuma . . . . .	222
7.4. Obogaćivanje cirkonijumovih ruda . . . . .	223
7.4.1. Mineraloški sastav cirkonijumovih ruda . . . . .	223
7.4.2. Obogaćivanje cirkonijumovih ruda gravitacijskim metodama . . . . .	224
7.4.2.1. Obogaćivanje na mašinama taložnicama i koncentracionim stolovima . . . . .	224
7.4.2.2. Obogaćivanje na spiralnim separatorima . . . . .	224
7.4.3. Flotaciono obogaćivanje cirkonijumovih ruda . . . . .	224
7.4.4. Kolektivna flotacija titanovih i cirkonijumovih minerala . . . . .	225
7.4.5. Selektivna flotacija titan-cirkonijumovih minerala . . . . .	225
7.4.6. Magnetna i elektrostatička separacija cirkonijumovih ruda . . . . .	226
7.5. Prerada cirkonijumovih koncentrata . . . . .	227
7.6. Postupci za razlaganje cirkonijumovih koncentrata . . . . .	227
7.6.1. Razlaganje cirkona topljenjem sa natrijum-hidroksidom . . . . .	228

7.6.2. Razlaganje cirkona pečenjem sa kalcijum-oksidom . . . . .	230
7.6.3. Izdvajanje cirkonijuma iz hloridnih i sulfatnih rastvora . . . . .	232
7.6.4. Prerada cirkona pečenjem sa kalijum-siliko-fluoridom . . . . .	234
7.6.5. Razlaganje cirkona redukcijom ugljenikom i dobijanje cirkonijum-karbida . . . . .	235
7.6.6. Proizvodnja cirkonijum-tetrahlorida . . . . .	236
7.6.6.1. Hlorovanje cirkonovog koncentrata . . . . .	236
7.6.6.2. Hlorovanje cirkonijum-karbida i karbo-nitrita . . . . .	237
7.6.6.3. Hlorovanje cirkonijum-dioksida . . . . .	238
7.7. Postupci razdvajanja hafnijuma i cirkonijuma . . . . .	238
7.7.1. Selektivna kristalizacija kompleksnih fluorida . . . . .	239
7.7.2. Razdvajanje hafnijuma od cirkonijuma ekstrakcijom sa organskim rastvaračima . . . . .	240
7.7.3. Odvajanje hafnijuma od cirkonijuma rektifikacijom . . . . .	242
7.7.4. Razdvajanje hafnijuma od cirkonijuma parcijalnom redukcijom florida . . . . .	243
7.8. Proizvodnja metalnog cirkonijuma . . . . .	244
7.8.1. Magnezotermijski postupak redukcije cirkonijum-tetrahlorida . . . . .	244
7.8.2. Redukcija kalcijum-cirkono-fluorida natrijumom . . . . .	246
7.8.3. Redukcija cirkonijum-dioksida kalcijumom i kalcijum-hidridom . . . . .	247
7.8.4. Dobijanje cirkonijuma elektrolizom rastopa soli . . . . .	247
7.9. Postupak termičke disocijacije za dobijanje visokočistog cirkonijuma tzv. jodidni postupak . . . . .	248
7.10. Dobijanje kompaktnog cirkonijuma . . . . .	249

#### Glava 8.

8. VANADIJUM . . . . .	250
8.1. Osobine vanadijuma . . . . .	250
8.2. Osobine važnijih jedinjenja vanadijuma . . . . .	251
8.3. Oblasti primene vanadijuma . . . . .	252
8.4. Minerali, rude i koncentrati vanadijuma . . . . .	253
8.5. Dobijanje vanadijuma iz železnih i titan-magnetičnih ruda . . . . .	254
8.5.1. Dobijanje šljake obogaćene vanadijumom . . . . .	254
8.5.2. Dobijanje vanadijuma iz vanadijumovih šljaka . . . . .	254
8.6. Dobijanje metalnog vanadijuma . . . . .	258
8.7. Dobijanje vanadijuma iz sekundarnih sirovina . . . . .	259

#### Glava 9.

9. NIOBIJUM I TANTAL . . . . .	260
9.1. Osobine tantala i niobijuma . . . . .	260
9.2. Osobine važnijih jedinjenja niobijuma i tantala . . . . .	261
9.3. Oblasti primene niobijuma i tantala . . . . .	263
9.4. Obogaćivanje tantalovih i niobijumovih ruda . . . . .	265
9.4.1. Minerali tantala i niobijuma . . . . .	265
9.4.2. Metodi obogaćivanja tantal-niobijumovih ruda . . . . .	265
9.4.3. Razdvajanje i prečišćavanje tantal-niobijumovih koncentrata . . . . .	266
9.5. Postupci za preradu tantalito-kolumbitnih koncentrata . . . . .	267
9.5.1. Prerada tantalito-kolumbitnih koncentrata postupkom topljenja sa natrijum-hidroksidom . . . . .	267
9.5.2. Razlaganje tantalito-kolumbitnih koncentrata fluorovodonicičnom kiselinom . . . . .	270
9.5.3. Prerada titan-tantalo-niobijumovih koncentrata . . . . .	270
9.6. Razdvajanje niobijuma i tantala i dobijanje čistih njihovih jedinjenja . . . . .	273
9.6.1. Selektivna kristalizacija kompleksnih fluorida . . . . .	273
9.6.2. Primena solvent ekstrakcije . . . . .	276

9.6.3. Frakcionalna destilacija hlorida . . . . .	277
9.6.4. Jonska izmena . . . . .	278
9.7. Postupci za proizvodnju metalnog niobijuma i tantala . . . . .	278
9.7.1. Redukcija kompleksnih fluorida natrijumom . . . . .	278
9.7.2. Dobijanje tantala elektrolizom rastopa soli . . . . .	279
9.7.3. Karbotermijski postupak proizvodnje niobijuma . . . . .	280
9.7.4. Dobijanje tantala i niobijuma redukcijom pentahlorida . . . . .	281
9.8. Proizvodnja kompaktnog kovnog tantala i niobijuma . . . . .	281
9.8.1. Postupak metalurgije praha . . . . .	281
9.8.2. Topljenje niobijuma i tantala . . . . .	282
9.9. Dobijanje niobijuma iz sekundarnih sirovina . . . . .	283
<b>Glava 10.</b>	
<b>10. RENIJUM . . . . .</b>	<b>284</b>
10.1. Osobine renijuma . . . . .	284
10.2. Osobine važnijih renijumovih jedinjenja . . . . .	285
10.3. Oblasti primene renijuma . . . . .	286
10.4. Izvori sirovina za proizvodnju renijuma . . . . .	287
10.4.1. Ponašanje renijuma pri preradi molibdenitnih koncentrata . . . . .	287
10.4.2. Ponašanje renijuma pri proizvodnji bakra . . . . .	288
10.5. Izvlačenje renijuma iz međuproducta od prerade molibdenitnih koncentrata . . . . .	289
10.5.1. Izvlačenje renijuma iz pradine elektrofiltera od prženja molibdenitnih koncentrata . . . . .	289
10.5.2. Koncentracija renijuma iz siromašnih rastvora . . . . .	292
10.6. Dobijanje renijum metaла . . . . .	294
10.6.1. Redukcija kalijum-perrenata vodonikom . . . . .	294
10.6.2. Redukcija amonijum-perrenata vodonikom . . . . .	294
10.6.3. Redukcija renijum-dioksida vodonikom . . . . .	296
10.6.4. Redukcija renijuma iz rastvora kalijum-perrenata vodonikom pod pritiskom . . . . .	296
10.6.5. Dobijanje renijumovog praha elektrolizom . . . . .	297
10.6.6. Termička disocijacija renijum-halogenida . . . . .	298
10.7. Dobijanje kompaktnog kovnog renijuma . . . . .	298
<b>Glava 11.</b>	
<b>11. URAN . . . . .</b>	<b>300</b>
11.1. Upotreba i proizvodnja urana . . . . .	300
11.1.1. Istoriski razvoj . . . . .	300
11.1.2. Upotreba urana . . . . .	300
11.1.3. Proizvodnja i prerada uranovih ruda i koncentrata . . . . .	302
11.2. Rude i ležišta urana . . . . .	303
11.2.1. Minerali urana . . . . .	303
11.2.2. Rudna ležišta . . . . .	305
11.3. Predkoncentrisanje uranovih ruda . . . . .	306
11.3.1. Ručno sortiranje . . . . .	307
11.3.2. Separacija mlevenjem i klasiranjem . . . . .	307
11.3.3. Postupci mokre gravitacijske separacije . . . . .	308
11.3.4. Radiometrijska separacija . . . . .	309
11.3.5. Flotacija uranovih ruda . . . . .	309
11.4. Pirometalurška priprema uranovih ruda . . . . .	310
11.4.1. Prženje ruda . . . . .	311

11.4.2. Dehidratacija rude . . . . .	311
11.4.3. Sagorevanje uglja . . . . .	312
11.5. Luženje urana iz ruda . . . . .	312
11.5.1. Luženje urana sumpornom kiselinom . . . . .	313
11.5.1.1. Hemija kiselog luženja . . . . .	313
11.5.1.2. Tehnološki faktori od uticaja na luženje . . . . .	314
11.5.2. Luženje urana rastvorom natrijum-karbonata . . . . .	316
11.5.2.1. Hemija kiselog luženja . . . . .	316
11.5.2.2. Tehnološki faktori od uticaja na hluženje . . . . .	317
11.6. Taloženje tehničkih uranovih soli iz rastvora . . . . .	318
11.6.1. Direktno hemijsko taloženje . . . . .	318
11.6.2. Talogenje urana iz rastvora redukcijom sa vodonikom . . . . .	319
11.6.3. Koncentrisanje rastvora jonskom izmenom i naknadno taloženje urana . . . . .	319
11.6.4. Koncentrisanje rastvora ekstrakcijom organskim rastvaračima i naknadno taloženje urana . . . . .	321
11.7. Proizvodnja tehničke uranove soli iz fosforne kiseline . . . . .	322
11.7.1. Sirovinska baza . . . . .	322
11.7.2. Tehnologija proizvodnje urana iz fosforne kiseline po postupku dehpa-topo . . . . .	323
11.8. Prečišćavanje tehničkih uranovih soli . . . . .	325
11.8.1. Rastvaranje tehničkih uranovih soli . . . . .	326
11.8.2. Prečišćavanje rastvora ekstrakcijom organskim rastvaračima . . . . .	327
11.8.3. Taloženje nuklearno čistih uranovih soli . . . . .	330
11.8.3.1. Taloženje u obliku uranil-nitrata-heksahidrata . . . . .	330
11.8.3.2. Taloženje u obliku uran-peroksida . . . . .	330
11.8.3.3. Taloženje u vidu amonijum-diuranata . . . . .	331
11.9. Kalcinacija uranovih soli . . . . .	332
11.9.1. Kalcinacija uranil-nitrata (denitracija) . . . . .	332
11.9.2. Kalcinacija uran-peroksida . . . . .	334
11.9.3. Kalcinacija amonijum-diuranata . . . . .	335
11.10. Redukcija viših uranovih oksida do uran-dioksida . . . . .	335
11.11. Fluorovanje urandioksida . . . . .	338
11.11.1. Postupci suvog fluorovanja . . . . .	338
11.11.2. Postupci mokrog fluorovanja . . . . .	339
11.12. Redukcija uran-tetrafluorida do metala . . . . .	342
11.12.1. Redukcija kalcijuma . . . . .	342
11.12.2. Redukcija magnezijuma . . . . .	343
11.13. Vakuumsko topljenje i livenje urana . . . . .	344
11.14. Priprema urana za proizvodnju gorivnih elemenata . . . . .	345
11.15. Higijensko-tehnička zaštita u metalurgiji urana . . . . .	346
 Glava 12.	
12. GERMANIJUM . . . . .	348
12.1. Osobine germanijuma . . . . .	348
12.2. Osobine važnijih jedinjenja germanijuma . . . . .	351
12.3. Oblasti primene germanijuma . . . . .	354
12.4. Pojava, minerali i sirovine za dobijanje germanijuma . . . . .	355
12.5. Metalurgija germanijuma . . . . .	356
12.5.1. Koncentrisanje germanijuma iz raznih germanonosnih sirovina . . . . .	357
12.5.1.1. Koncentracija germanijuma metodom sublimacije sulfida . . . . .	358
12.5.1.2. Koncentracija germanijuma iz meduprodukata metalurgije obojenih metala . . . . .	360

12.5.1.3. Koncentracija germanijuma iz otpadaka pri preradi uglja . . . . .	362
12.5.1.4. Koncentracija germanijuma iz rastvora jonskom izmenom i solvent ekstrakcijom . . . . .	364
12.5.2. Prerada metalurškog germanijumovog koncentrata u cilju dobijanja elektronički čistog germanijum-dioksida . . . . .	364
12.5.2.1. Proizvodnja tehničkog germanijum-tetrahlorida . . . . .	365
12.5.2.2. Prečišćavanje tehničkog germanijum-tetrahlorida . . . . .	366
12.5.2.3. Hidroliza germanijum-tetrahlorida . . . . .	368
12.5.3. Proizvodnja metalnog germanijuma kao poluprovodničkog materijala . . . . .	369
12.5.3.1. Redukcija germanijum-dioksida vodonikom . . . . .	369
12.5.3.2. Zonalna rafinacija germanijuma . . . . .	371
12.5.3.3. Dobijanje germanijuma iz sekundarnih sirovina . . . . .	373
<b>Glava 13.</b>	
<b>13. GALLIUM . . . . .</b>	<b>374</b>
13.1 Osobine galijuma . . . . .	374
13.2. Osobine važnijih jedinjenja galijuma . . . . .	375
13.3. Oblasti primene galijuma . . . . .	376
13.4. Geohemija galijuma i sirovine za njegovo dobijanje . . . . .	377
13.5. Postupci razdvajanja galijuma od aluminijuma i drugih metala iz rastvora i dobijanje galijumovih koncentrata . . . . .	380
13.6. Industrijski postupci izdvajanja galijuma iz polaznih sirovina . . . . .	382
13.6.1. Izdvajanje galijuma iz povratne aluminatne lužine bajeirovog postupka . . . . .	382
13.6.1.1. Izdvajanje galijuma elektrolizom na živoj katodi (Bretkov postupak) . . . . .	382
13.6.1.2. Cementacija galijuma aluminijum-galatom . . . . .	384
13.6.2. Izdvajanje galijuma iz anodne legure, dobijene pri elektrolitičkoj rafinaciji aluminijuma . . . . .	385
13.7. Dobijanje metalnog galijuma . . . . .	386
13.8. Rafinacija galijuma . . . . .	387
13.8.1. Hemijsko prečišćavanje . . . . .	388
13.8.2. Vakumska rafinacija . . . . .	388
13.8.3. Elektrolitička rafinacija . . . . .	388
13.8.4. Zonalna rafinacija . . . . .	389
13.8.5. Drugi postupci rafinacije galijuma . . . . .	390
13.8.6. Metodi za dobijanje visoko čistog galijuma . . . . .	391
13.9. Dobijanje galijuma iz sekundarnih sirovina . . . . .	392
<b>Glava 14.</b>	
<b>14. INDIJUM . . . . .</b>	<b>393</b>
14.1. Osobine indijuma . . . . .	393
14.2. Osobine važnijih jedinjenja indijuma . . . . .	394
14.3. Oblasti primene indijuma . . . . .	395
14.4. Izvori sirovina za proizvodnju indijuma . . . . .	396
14.4.1. Ponašanje indijuma pri proizvodnji cencra . . . . .	397
14.4.2. Ponašanje indijuma pri proizvodnji olova . . . . .	398
14.5. Postupci izvlačenja indijuma iz obogaćenih produkata . . . . .	399
14.5.1. Dobijanje indijumovog koncentrata . . . . .	399
14.5.1.1. Taloženje indijuma u vidu teško rastvornih jedinjenja . . . . .	400
14.5.1.2. Selektivna cementacija indijuma . . . . .	401
14.5.1.3. Izdvajanje indijuma ekstrakcijom . . . . .	401
14.5.2. Dobijanje sirovog indijuma . . . . .	402

<b>14.6. Rafinacija sirovog indijuma . . . . .</b>	<b>403</b>
<b>14.6.1. Hemijski postupci . . . . .</b>	<b>403</b>
<b>14.6.2. Elektrolitička rafinacija . . . . .</b>	<b>405</b>
<b>14.6.3. Vakuumска destilacija . . . . .</b>	<b>407</b>
<b>14.6.4. Zonalna rafinacija . . . . .</b>	<b>407</b>
<b>14.7. Dobijanje indijuma iz sekundarnih sirovina . . . . .</b>	<b>408</b>
 <b>Glava 15.</b>	
<b>15. SELEN I TELUR . . . . .</b>	<b>409</b>
<b>15.1. Osobine selena i telura . . . . .</b>	<b>409</b>
<b>15.2. Osobine važnijih jedinjenja selena i telura . . . . .</b>	<b>411</b>
<b>15.3. Oblasti primene selena i telura . . . . .</b>	<b>415</b>
<b>15.4. Sirovine za proizvodnju selena i telura . . . . .</b>	<b>416</b>
<b>15.5. Dobijanje selena i telura iz anodnih muljeva . . . . .</b>	<b>418</b>
<b>15.5.1. Sastav anodnih muljeva . . . . .</b>	<b>418</b>
<b>15.5.2. Postupci za preradu anodnih muljeva . . . . .</b>	<b>419</b>
<b>15.6. Dobijanje selena i telura iz muljeva od proizvodnje sumporne kiseline . . . . .</b>	<b>423</b>
<b>15.6.1. Nastajanje mulja kao sirovine za proizvodnju selena i telura . . . . .</b>	<b>423</b>
<b>15.6.2. Dobijanje tehničkog selena postupkom prženja . . . . .</b>	<b>424</b>
<b>15.6.3. Dobijanje tehničkog telura iz prženca . . . . .</b>	<b>425</b>
<b>15.6.4. Dobijanje tehničkog selena i telura sulfidnim postupkom . . . . .</b>	<b>425</b>
<b>15.7. Dobijanje čistog selena . . . . .</b>	<b>426</b>
<b>15.8. Dobijanje čistog telura . . . . .</b>	<b>428</b>
<b>15.9. Dobijanje selena iz sekundarnih sirovina . . . . .</b>	<b>431</b>
 <b>Glava 16.</b>	
<b>16. BERILIJUM . . . . .</b>	<b>433</b>
<b>16.1. Osobine berilijuma . . . . .</b>	<b>433</b>
<b>16.2. Osobine važnijih jedinjenja berilijuma . . . . .</b>	<b>434</b>
<b>16.3. Oblasti primene berilijuma . . . . .</b>	<b>434</b>
<b>16.4. Obogaćivanje berilijumovih ruda . . . . .</b>	<b>435</b>
<b>16.4.1. Mineraloški sastav berilijumovih ruda . . . . .</b>	<b>435</b>
<b>16.4.2. Postupci za obogaćivanje berilijumovih ruda . . . . .</b>	<b>436</b>
<b>16.4.3. Flotacija berilijumovih ruda . . . . .</b>	<b>436</b>
<b>16.5. Prerada berilijumovih koncentrata . . . . .</b>	<b>437</b>
<b>16.6. Dobijanje visoko čistog berilijum-oksida . . . . .</b>	<b>438</b>
<b>16.7. Dobijanje berilijumovih halogenida . . . . .</b>	<b>439</b>
<b>16.8. Dobijanje metalnog berilijuma . . . . .</b>	<b>440</b>
 <b>Glava 17.</b>	
<b>17. LITIJUM . . . . .</b>	<b>442</b>
<b>17.1. Osobine litijuma . . . . .</b>	<b>442</b>
<b>17.2. Osobine važnijih jedinjenja litijuma . . . . .</b>	<b>443</b>
<b>17.3. Oblasti primene litijuMA . . . . .</b>	<b>444</b>
<b>17.4. Pojave litijuma u priordi i obogaćivanje njegovih ruda . . . . .</b>	<b>445</b>
<b>17.4.1. Mineraloški sastav litijumovih ruda . . . . .</b>	<b>445</b>
<b>17.4.2. Postupci obogaćivanja litijumovih ruda . . . . .</b>	<b>446</b>
<b>17.4.2.1. Gravitacioni postupci obogaćivanja litijumovih ruda . . . . .</b>	<b>446</b>
<b>17.4.2.2. Flotacijska koncentracija litijumovih ruda . . . . .</b>	<b>446</b>

**XVI**

17.4.2.3. Magnetna separacija litijumovih ruda . . . . .	447
17.5. Proizvodnja litijumovih soli . . . . .	448
17.6. Dobijanje metalnog litijuma . . . . .	449
17.7. Rafinacija litijuma . . . . .	451
<b>LITERATURA . . . . .</b>	<b>452</b>
<b>REGISTAR . . . . .</b>	<b>455</b>