

OSA 1 **17**
Kaivostoiminta, geologia ja kannattavuus

1	KAIVOSTOIMINTA	19
1.1	Suomen kaivostoiminta	19
	Taustaa	19
	Esiintymät, omavaraisuus	21
	Kaivannaisalan vaikuttavuus selvitys	26
1.2	Kaivoslainsäädäntö Suomessa	27
	Yleistä	27
	Kaivoslain mukaiset oikeudet	28
	Kaivoslain perusteella maksettavat korvaukset ja maksut	30
	Kaivostoimintaan sovellettava muu lainsäädäntö	31
	Turvallisuus	32
2	GEOLOGISET TUTKIMUKSET	35
2.1	Suomen kallioperä	35
2.2	Suomen kallioperän hyötyesiintymät	36
2.3	Malminetsintämenetelmät	36
2.4	Kaivosgeologia	39
2.5	Geologinen kartoitus	40
2.6	Näytteenotto	41
	Timanttikairaus	41
	RC-poraus	43
	Muut poraustekniikat	44
	Kaira- ja porareijistä tehtävät mittaukset	44
	Muut näytteenottomenetelmät	44
	Näytteenoton ja analysoinnin virhelähteistä	45
2.7	Louhinnan seuranta menetelmät	45
2.8	Mineralogiset tutkimukset	46
2.9	Mineraalivarantoarvio	47
	Perinteinen arviointitekniikka	47
	Geostatistinen arviointitekniikka	48
2.10	Malmiarvio	50

	Cutoff-arvo	51
	Malmitappio ja sivukivilaimennus	51
2.11	Malmivarojen raportointi – kansainväliset standardit	52
3	ESIINTYMIEN KANNATTAVUUSTARKASTELU	55
3.1	Kriteerit ja lähtöparametrit	55
3.2	Eriasteiset selvitysvaiheet	55
	Alustava arviointi	55
	Kannattavuuden esiselvitys	56
	Kannattavuustarkastelu	56
	Pankkikelpoinen kannattavuustarkastelu	56
3.3	Kaivosprojektin kannattavuuteen vaikuttavat tekijät	56
	Kapasiteetti	57
	Louhittavan malmin arvo	58
3.4	Investoinnit ja käyttökustannukset	60
3.5	Taloudellinen analyysi	60
OSA 2		65
	Kaivoksen suunnittelu, louhintamenetelmät ja tuotantotyöt	
4	KALLIOMEKAANINEN SUUNNITTELU JA SEURANTA	67
4.1	Johdanto	67
4.2	Kalliomekaanisen suunnittelun vaiheet	67
4.3	Kallion ominaisuudet rakennettavuuden kannalta	68
	Kallion laatuokitus	68
	Kalliolaadun 3D-mallinnus	70
	Kallion jännitystila	70
4.4	Kaivoslouhosten ja kalliotilojen rakenteellinen mitoitus	71
	Yleistä	71
	Avolouhosten kalliomekaaninen suunnittelu	73

	Kaivosperien ja kalliotilojen lujitus suunnittelu	73
	Kallion myötääminen	78
4.5	Kalliomekaaninen seuranta	79
	Yleistä	79
	Yleisimmät seuranta menetelmät	80
5	KAIVOSSUUNNITTELU	85
5.1	Suunnittelun lähtötiedot	85
5.2	Suunnittelutyökalut	85
5.3	Kaivoksen yleissuunnittelu	86
	Louhintamenetelmän valinta	87
	Kaivoksen tuotantokapasiteetti	88
	Avolouhinta	88
	Maanalainen louhinta	89
5.4	Tuotannosuunnittelun periaatteet	90
	Suunnittelujaksot	90
5.5	Avolouhinnan tuotantosuunnitelmat	93
	Pitkän aikavälin suunnitelma	93
	Lyhyen tähtäyksen suunnitelmat	95
5.6	Maanalaisen louhinnan tuotantosuunnitelmat	95
	Pitkän aikavälin suunnitelmat	95
	Lyhyen aikavälin suunnitelma	98
	Louhoskatelaskelmat	100
	Peränajon suunnittelu	102
	Louhossuunnittelu	103
6	LOUHINTAMENETELMÄT	107
6.1	Avolouhinta	107
	Yleistä	107
	Milloin avolouhintaa	108
	Avolouhinnan valmistavat työt	108
	Avolouhintamenetelmiä	108
	Irrutus	110
	Rikotus	111
	Lastaus ja kuljetus	111
	Mittaustyöt	112
	Ympäristö ja turvallisuus	113
	Suomalaisia avolouhoksia	114

6.2	Maanalaiset louhintamenetelmät	115
	Louhintamenetelmien valintaperusteet	115
	Louhintamenetelmien luokittelu ja soveltuvuus	118
	Pilarilouhinta	121
	Välitasolouhinta	123
	Pengerlouhinta	125
	Makasiinilouhinta	130
	Lyhytreikätyttölouhinta	132
	Pengertäyttölouhinta	133
	Levysorroslouhinta	134
	Lohkosorros louhinta	136
	Muut louhintamenetelmät	136
	Louhintamenetelmien ja kaivosten vertailua	137
7	KUILUN-, NOUSUN- JA PERÄNAJO KAIVOKSEN VALMISTELEVINÄ TÖINÄ	141
7.1	Kuilunajo	141
	Yleistä	141
	Tutkimukset	141
	Kuilun kaulus	141
	Kuilunajolaitteistot	142
	Kuilunajo	142
	Kuilunajo silloin, kun kuilulle on tasoperä ja vinotieyhteys	145
	Vinokuilunajo	145
7.2	Nousunajo	145
	Eri nousunajomenetelmät ja niiden soveltuvuusalueet	145
	Pitkäreikä nousunajo	145
	Täysprofilin nousunajo	146
	Alimak-menetelmä	147
	Jora-menetelmä	148
	Wassara-menetelmä	149
	Nousunajo rakentamalla	149
7.3	Peränaajo	150
	Peräkoko	150
	Perän kaltevuus	150
	Peränajokalusto	150
	Poraus	151
	Panostus ja räjäytys	152
	Lastaus ja kuljetus	152
	Peränajon suuntaus ja tarkkuus	153
	Peränajon työjärjestelyt	153

8	PORAUSTYÖT JA -KALUSTO	155
8.1	Kallioporaus	155
	Kallioporausksen pääperiaatteet	155
	Kallion rikkominen	155
8.2	Kallioporaustekniikka	157
	Porausmenetelmät	157
	Porausjätteen poistaminen	158
	Syöttö	159
	Pyöritys	161
8.3	Kallioporakoneet ja kokoprofiliporaus	161
	Kallioporakoneet	161
	Kokoprofiliporaus	163
8.4	Pengerporauslaitteet ja porauskalusto	163
	Porauskaluston valintaan vaikuttavat tekijät	163
	Porauskaluston valinta	167
	Päältälyövä poraus	170
	Uppoporaus	170
	Kiertoporaus	171
	Pengerporauksen kustannukset	172
	Pengerporauksen porakalusto	172
8.5	Peränporauslaitteet ja porakalusto	178
	Yleistä	178
	Jaottelu	178
	Porausautomaatio	179
	Porauslaitteen pääosat	180
	Peränajon ja tunnelilouhinnan porakalusto	180
8.6	Maanalaiset tuotantoporauslaitteet ja porakalusto	181
	Yleistä	181
	Jaottelu	181
	Porausautomaatio	181
	Tuotantoporauslaitteen pääosat	181
	Maanalaisen tuotantoporausksen porakalusto	181

9	RÄJÄYTYSTYÖT JA -KALUSTO	183
9.1	Räjähdysaineet	183
9.2	Sytytysvälineet	184
	Sähköräjäytysnallit	184
	Impulssiletkuräjäytysnallit	186
	Elektroninen räjäytysnalli	187
9.3	Panostusvälineet	189
9.4	Panostustyö ja -tekniikka	190
9.5	Pengerlouhinta räjäytykset	191
9.6	Peränajo	192
	Reikien panostaminen	193
	Sytytysjärjestys	194
9.7	Maanalainen tuotantolouhinta	195
9.8	Tarkkuuslouhinta	196
9.9	Louhinta asutuskeskusten läheisyydessä	198
9.10	Rikotus	199
10	KIVEN KÄSITTELY JA -KALUSTO	203
10.1	Avolouhinnan lastaus	204
	Lastauskalusto	204
10.2	Avolouhinnan kuljetus	208
	Kuljetuskalusto	208
	Lava	209
	Kuljetustiet	209
	Apukalusto	211
10.3	Maanalainen lastaus ja kuljetus	213
	Maanalainen tuotantolastaus	213
	Maanalainen kuljetus	216
10.4	Murskaus	218
	Murskaustekniikka ja -prosessi	218
	Murskaamot ja murskaamolaitteet	219
	Murskaamon käyttö ja kunnossapito	226
	Murskauslaitteiston valinta ja mitoitus	226
10.5	Nostomenetelmät	228
	Kuilunostojärjestelmien kuvaus	228

11	KALLIOLUJITUS JA -KALUSTO	237
11.1	Kallioliujitusten valintaperusteet ja lujitusten käyttö kaivoksissa	237
11.2	Rusnaus	239
	Yleistä	239
	Käsin tehtävä rusnaus	239
	Mekanisoitu rusnaus	240
	Kaivoksen rusnaustyövaiheet	240
	Rusnauksen merkitys työmaan työturvallisuuteen	241
11.3	Vaijeripultitus	241
	Käyttökohteet	241
	Asennus	242
11.4	Verkotus	243
11.5	Kattopultitus	244
	Passiiviset pultit	245
	Aktiiviset pultit	246
	Kitkapultit	247
	Myötäävät pultit	248
	Pultituksen suunnittelu	248
	Pultituksen mekanisointi	248
	Pultituksen laadunvalvonta	249
11.6	Ruiskubetonointi	249
	Yleistä	249
	Ruiskubetonointimenetelmät	250
	Ruiskubetonin suhteutus	250
	Ruiskubetonin varhaislujuus	250
	Vahvistettu ruiskubetoni	251
	Ruiskubetonointikalusto	253
11.7	Injektointi	255
	Yleistä	255
	Injektointia koskevat standardit ja ohjeet	255
	Injektointiaineet	256
	Injektointikalusto	256
11.8	Kaivostäyttö	256
	Yleistä	256
	Hydraulinen täyttö	257
	Sivukivitäyttö	258
	Pastatäyttö	259
	Sideaineen käyttö	259
	Täytteen mitoitus	260

OSA 3	265	
Louhintaan liittyvät oheistoiminnot		
12	KAIVOKSEN RAKENNUSTYÖT	267
12.1	Puurakenteet	267
	Telineet	267
12.2	Täyttörakenteet	267
	Täyttöseinä (louhoksen täyttöpato)	267
	Jätetäyttöpato	268
12.3	Muottien ja ruiskubetonoitavien seinien ja runkojen teko	269
	Rakenteiden betonimuotit	269
	Ruiskubetonoitavien seinien teko	269
12.4	Nostokuilun louhiminen ja tukeminen	270
	Nostokuilun silmäreiän poraus	270
	Nostokuilun louhiminen lopulliseen mittaan	270
12.5	Nostokuilun pohjarakenteet	271
12.6	Nostotornin rakentaminen	272
12.7	Betonirakenteet	272
	Vaativien betonirakenteiden teko	272
	Raaka-aineet kaivosten betonirakenteissa	272
	Yleisimmät betonimassat	272
	Rakennusbetonin valmistus	273
	Valutapoja kaivoksessa	273
12.8	Teräsrakenteet	274
	Eräitä kaivokseen liittyviä teräsrakenteita	274
12.9	Ajotiet ja lattiat	275
	Yleistä	275
	Veden käsittely, ojat, vesireiät ja niiden kaltevuudet	275
	Sepelipohjaiset tiet	275
	Tien kunnossapito	275
	Ojien kunnostus	276
	Ajoradan päällystäminen betonoimalla tai asfaltilla	276
12.10	Kaivoksen radat	276

13	ENERGIA	279			
13.1	Yleistä	279			
13.2	Sähköenergian hankinta	279			
	Sähkön toimittaja	280			
	Oma sähkön tuotto	280			
	Energiankulutuksen valvonta	280			
13.3	Kaivoksen sähköverkon rakenne	280			
	Sähkölaitteet	280			
	Sähkötekniset perusteet	281			
	Käyttöjännitteen valinta	281			
	Jakeluverkko	281			
	Jakelumuuuntamo	281			
	Pienjännitejakeluverkko	282			
	Johdot ja kaapelit	283			
	Pienjännitejakokeskukset	285			
	Maadoitus	285			
	Sähköverkon suojaus	287			
	Siirrettävät sähkölaitteet	287			
	Suojaus palonvaaralta	288			
	Avolouhoksen sähköverkko	289			
	Kompensointi	290			
13.4	Sähkökäyttöiset laitteet	290			
	Pumput, puhaltimet, kuljettimet sekä porauslaitteet	290			
	Kiinteä jakeluverkko	291			
13.5	Sähkölaitteita ja sähkötöitä koskevat määräykset	291			
	Yleistä	291			
	Sähköturvallisuus	291			
	Sähkötöiden suorittaminen	292			
13.6	Sähkölaitteiden kunnossapito	292			
	Yleistä	292			
	Sähkölaitteiden yleiset viat	292			
	Ehkäisevä kunnossapito	292			
13.7	Valaistus	294			
	Yleistä	294			
	Henkilökohtainen valaisin	294			
	Ajoneuvovalaisimet	294			
	Tunnelivalaistus	294			
	Louhosten ja vastaavien työpisteiden valaistus	294			
	Korjaamoiden ja muiden suurien tilojen valaistus	295			
	Huomiovalaistus	295			
13.8	Paineilma	295			
	Määritelmät ja keskeisiä käsitteitä	295			
	Kompressorityypit	295			
	Paineilman tuottaminen	297			
	Ilmantarpeen luokittelu ja oikea kompressoriyhdistelmä	298			
	Tietotekniikan hyödyntäminen käytössä ja valvonnassa	298			
	Paineilma-aseman jäähdytys	298			
14	VIESTINTÄ JA TIEDONSIIRTO	303			
14.1	Analogiset puhelinjärjestelmät	303			
	Lankapuhelimet	303			
	Kaivoksen radiopuhelinjärjestelmä	304			
14.2	Digitaaliset puhejärjestelmät	308			
	GSM, 3G, 4G	308			
	VOIP	308			
14.3	Tietoverkot	308			
	Yleistä	308			
	Tietoverkkojen tarve	309			
	Suunnittelu	309			
	Rakenne	310			
	Tekniset vaatimukset	310			
	Olosuhdevaatimukset	310			
	Langattomat verkot	310			
	Kaapelointi	310			
	Runkoverkkolaitteet	311			
	Päätelaitteet	311			
	Dokumentointi	311			
	Verkon valvonta	311			
	Varmentaminen ja tietoturva	312			
15	KAIVOSTUULETUS	313			
15.1	Yleistä	313			
15.2	Lait ja tuuletuksen valvonta	313			
15.3	Ilma käsiteltävänä aineena	314			
	Ilman ominaisuudet	314			
	Ilman virtaus	314			
15.4	Ilmateiden verkosto kaivoksessa	314			
15.5	Kaivoksen tuuletuksen suunnitteluprosessi	316			
	Suunnittelun lähtökohdat	316			
	Tuuletusilman reititys	317			
	Kaivosten tuuletusmenetelmät	318			
15.6	Yleistuuletus	318			
	Kokonaisilmamäärän arviointi	318			
	Puhaltimet	319			
15.7	Paikallistuuletus	322			
	Yleistä	322			
	Paikallistuuletusmenetelmät	323			
	Tuuletusputket	324			
	Ilmantarpeen arviointi	325			
15.8	Tuuletustutkimukset	325			
15.9	Tuuletuksen ohjaus	327			
	Ohjausjärjestelmän suunnittelu	327			
	Tuuletuksen ohjauslaitteet	327			
	Tuuletuksen ohjausjärjestelmä	329			
15.10	Pölyntorjunta	330			
	Yleistä	330			
	Pölyntorjunta maanalaisissa murskaamoissa	331			
15.11	Luonnollinen tuuletus	331			
15.12	Tuuletuksen simulointi	332			
	Tuuletussimulointiohjelmat	332			
	Simulointiohjelmien käyttö	332			
15.13	Tuuletusilman lämmitys	334			
15.14	Tuuletusilman jäähdytys	334			
15.15	Tuuletuksenkustannukset	335			
16	VEDEN JA SOIJAN KÄSITTELY	337			
16.1	Johdanto	337			
16.2	Kaivosvesien selkeytys	337			
	Liejunkäsittely	338			
16.3	Kaivoksen pumput	338			
	Pumpputyypit	338			
	Keskipakopumput	338			
	Uppopumput	339			
	Kalvopumput	339			
16.4	Kaivosveden poisto	339			
	Suunnitteluun ja käyttöön liittyviä näkökohtia	340			
	Vesien vapaa johtaminen	341			
16.5	Putkisto ja instrumentointi	342			
	Putkisto	342			
	Putkistohäviöt	343			
	Venttiilit	343			
16.6	Ohjaus ja valvonta	344			
	Pumppauksen ohjaus	344			
	Valvonta	346			
16.7	Porausvesi	346			
17	TOIMINNAN- JA TUOTANNONOHJAUS	349			
17.1	Kaivos prosessina	349			
	Tuotannonohjaus	349			
	Prosessinohjaus	350			
17.2	Kaivoksen automaatio	350			
	Yleistä	350			
	Havainnollistaminen	350			
	Simulointi	351			
	Tietoverkkoa käytettäviä sovelluksia	351			
	Laitteiden ohjaus verkon kautta	351			
	Tiedonsiirto ja tietojen keruu	351			
	Videovalvonta ja -ohjaus	352			
	Paikannus ja kulunvalvonta	352			
17.3	Toiminnan- ja tuotannonohjaus	353			
	Toimintatasot ja rajapinnat ISA-95-standardin mukaan	353			
	Toiminnanohjaus (ERP)	354			
	Valmistuksenohjaus (MES)	354			
	Kaivoksen prosessien toteutukset	354			
17.4	Avolouhoksen reaaliaikainen tuotannonohjausjärjestelmä	359			
18	KUNNOSSAPITO JA TEHDASPALVELU	365			
18.1	Kunnossapidon ulkoistaminen osana kaivoksen toimintastrategiaa	365			
	Kunnossapidon ja käytön ulkoistaminen	365			
	Kunnossapidon ja käytön ohjauspalvelut	366			
	Palveluvarmistuksen tekniset palvelut	366			
18.2	Kunnossapidon toimintakyvyn edellytykset	366			
	Toimintaedellytykset	366			
	Käytön ja kunnossapidon yhteistyö	366			

Koneiden käyttäjien ja kunnossapito henkilöstön koulutus	366
Dokumentointi ja ohjausjärjestelmät	367
18.3 Kunnossapidon kustannusjakautuma	367
18.4 Kunnossapidon organisointi	367
18.5 Järjestelmällinen, suunniteltu ja tehokas kunnossapito	368
18.6 Kunnossapitotoiminnan suunnittelu	369
Suunnittelun perusteet	369
Kunnossapidon pääajit	369
Kunnossapitosuunnitelman osatekijät	371
Suunnittelu, seuranta järjestelmät ja dokumentointi	372
18.7 Osto- ja materiaalipalvelut	373
Palvelujen organisointivaihtoehdot	373
Kunnossapidon ostot ja hankinnat	373
18.8 Kunnossapitotekniikat	375
Voiteluhuolto	375
Voiteluaineen kunnonvalvonta	375
Kuntoon perustuva kunnossapito	375
Laakereiden kunnossapito	379
Kulutusosat ja -materiaalit	380
18.9 Kiinteän kaluston kunnossapito	381
Kaivoksen prosessilinjan kunnossapito	381
18.10 Kaivoksen louhintakaluston kunnossapito	382
Liikkuvan kaluston kunnossapito	382
Kaluston huolto	383
18.11 Kunnossapitoon liittyvä lainsäädäntö	386
19 KAIVOSMITTAUS	389
19.1 Kaivosmittauksen historiaa	389
19.2 Kaivoskoordinaatio	390
19.3 Kaivoksella suoritettavia mittauksia ja niiden hyödyntäminen	390
19.4 Kaivoskartat	391
19.5 Mittauslaitteet	392
Mittausvälineet	392
Mittaustyöt	399

19.6 Kaatojen siirtymämittaukset	401
19.7 Mittausdatan käsittely	403
19.8 Kaivosmittausorganisaatio kaivoksilla	403
19.9 Kaivosmittausalan koulutus ja alan järjestö	403

OSA 4 407

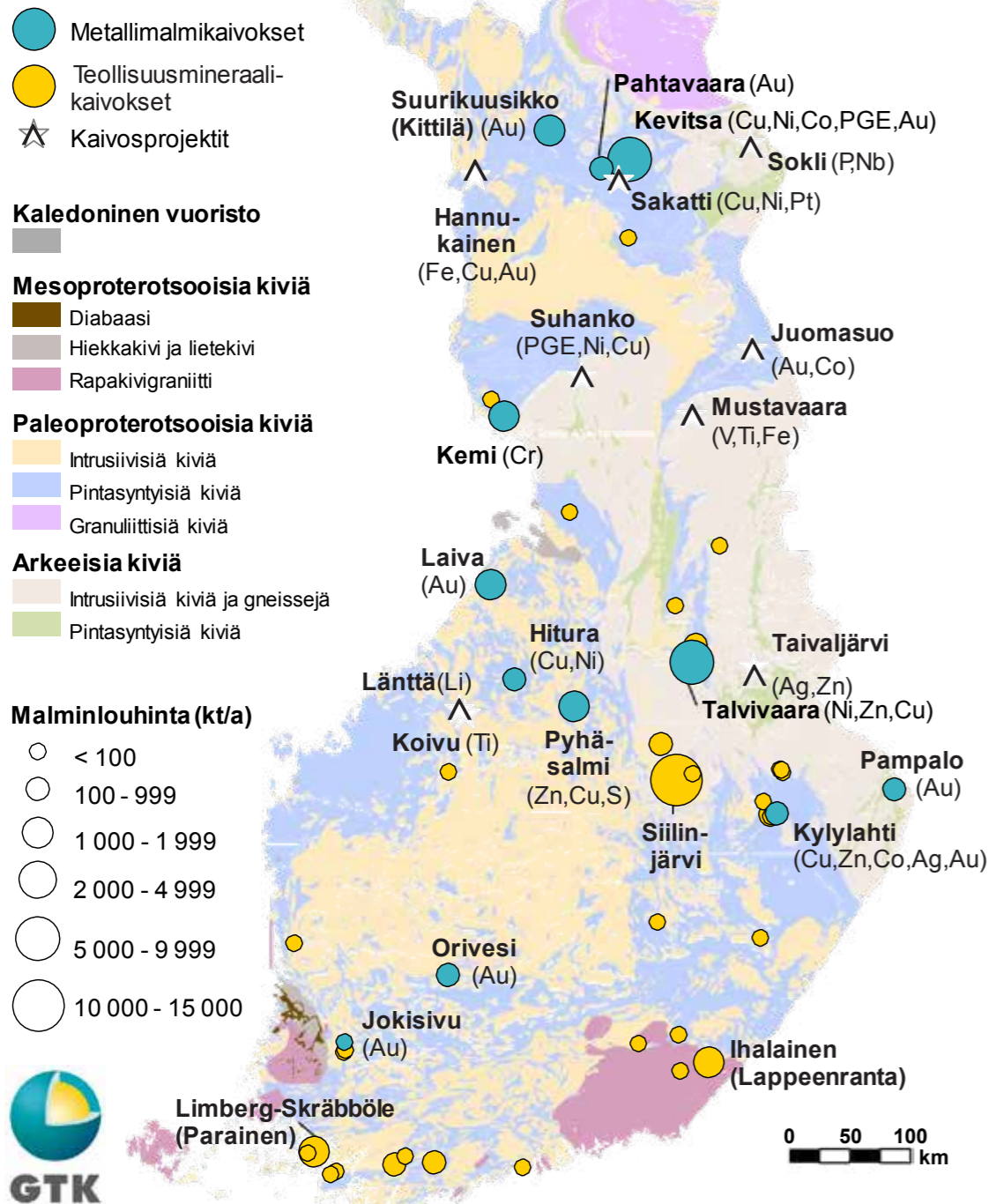
Turvallisuus, ympäristö ja erityispiirteet

20 KAIVOSTURVALLISUUS	409
20.1 Johdanto	409
20.2 Kokonaisturvallisuuden hallinta	410
20.3 Turvallisuusjohtaminen	411
20.4 Riskienhallinta	412
20.5 Kaivosten turvallisuustoiminnan organisointi ja säädökset	413
Kaivoslainsäädäntö	413
20.6 Työturvallisuuden hallinta kaivoksissa	417
Työturvallisuusvastuut	417
Yhteinen työpaikka	417
20.7 Kaivosten turvallisuusmääräysten soveltaminen käytäntöön	418
Riskienarviointi	418
Läheltä piti -tilanteiden ja onnettomuuksien tutkinta	419
Perehdyttäminen ja työnopastus	419
Pelastustoiminta	420
Henkilökohtainen suojautuminen	421
Liikenne sekä koneilla tehtävät nostot ja siirrot	421
Poraus- ja räjäytystyöt	422
Tulityöt ja sähköturvallisuus	423
Ilmanvaihto ja kemialliset tekijät	424
Työympäristön fyysiset tekijät	425
Työn fyysinen ja henkinen kuormittavuus	426
21 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN HALLINTA JA OHJAUS	429
21.1 Yleistä	429

21.2 Kaivosten ympäristöpiirteet	429
21.3 Ympäristön huomioimisen kehitys kaivostoiminnassa	430
21.4 Ympäristöasioiden hallinnan päätoiminnot	431
21.5 Lakisäätöiset ja viranomaismääräykset	432
Ympäristöstandardit	432
21.6 Ympäristövaikutusten arviointi (YVA)	435
Yleistä	435
Vaikutukset luonnonympäristöön	436
Vaikutukset ihmiseen ja yhteiskuntaan	437
21.7 Ympäristövaikutusten ja päästöjen hallinta kaivoksen elinkaaren aikana	438
Malminetsintä	440
Kaivoksen avaaminen	440
Kaivoksen tuotantovaihe	441
Kaivannaisjätteet ja niiden hallinta	442
Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito	444
21.8 Kaivosten yhteiskuntavastuu	447
Ei pelkästään kannattavaa kaivostoimintaa	447
Näkökulmien yhteensovittaminen	449
Raportointi ja viitekehykset	449
Media ja viestintä	449
22 KALLIORAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEITÄ	451
22.1 Yleistä	451
22.2 Kalliotilojen suunnittelun erityispiirteet	452
Suunnittelun lähtökohdat	452
Suunnitteluvaiheen tutkimukset ja selvitykset	454
Kallion laatu	454
Kalliomekaaninen mallintaminen ja kiven laboratoriotestaus	455
22.3 Kaupunkisuunnittelu ja maanalainen kaava	456
22.4 Tyypillisiä rakenteita kalliotiloissa	456
Esi-injektointi	457
Vesitiivis ruiskubetoni	457
Salaojitus	458

Verhousrakenteet	459
22.5 Kalliorakentamisen ympäristövaikutusten hallinta	459
Kalliorakentamisen aiheuttama värinä	459
Kiven sinkoutuminen	460
Ilmanpaineiskut	461
Melu	461
Pöly	462
22.6 Toteutuksen erityispiirteitä poralaittevalmistajan kannalta	463
23 TULEVAISUUDEN HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET	467
23.1 Megatrendit ja kaivannaisala	467
23.2 Tutkimuksen ja kehityksen painopisteet nykyisin	468
Kiven irrotus ja kallion lujitus	468
Lastaus ja kuljetus	468
Murskaus ja jauhatus	469
Rikastus	469
Tietotekniikan merkitys kaivostuotannossa	470
23.3 Tulevaisuuden kaivos	470
Hakemisto	472
Kuvien ja taulukoiden lähteet	477

Kaivokset ja kaivosprojektit 2013



Kuva 1.2 Suomessa käynnissä olevat kaivos- ja malminetsintäprojektit 2013.

kotimaiset toimijat, lähinnä valtionyhtiöt sekä Geologian tutkimuskeskus (GTK). Kaivostoimintaa harjoittaneet valtionyhtiöt ovat kuitenkin lopettaneet ensin etsintätoimintansa ja sen jälkeen miltei kokonaan kaivostoimintansa. Tilalle ovat tulleet ulkomaiset yhtiöt.

Esiintymät, omavaraisuus

Metalliset malmit

Metallikaivosten määrä ja louhinta on viimeisen parin vuoden aikana lisääntynyt voimakkaasti. Vuonna 2012 kahdestatoista kaivoksesta louhittiin noin 19,6 Mt metallista malmia.

Varsinkin Talvivaaran, Kemin, Kevitsan, Kittilän, Kylylahden ja Pyhäsalmen malmivarat ovat huomattavat. Talvivaaran monimetallikaivos ja Kemin kromikaivos ovat kotimaisten yhtiöiden omistuksessa, kun taas Kittilän kultakaivos, Kevitsan monimetallikaivos sekä Pyhäsalmen sinkki-kuparikaivos ovat kanadalaisten yhtiöiden omistuksessa. Kylylahden monimetallikaivoksen omistaa ruotsalainen monimetalliyhtiö. Hituran nikkeli- ja kuparikaivos suljettiin vuoden 2008 lopulla, mutta se käynnistettiin uudelleen kolmeksi vuodeksi 2010–2013. Uudet kultakaivokset on avattu Ilomantsin Pampalossa ja Raahan Laitakankaalla, samoin uusi monimetallikaivos Sodankylän Kevitsassa.

Suomessa on vireillä useita lupaavia kulta- ja nikkeli- ja kuparikaivoshankkeita sekä joitakin platinaryhmän metalleja, kuparia tai muita metalleja sisältäviä esiintymiä. Tällaisia ovat muun muassa Suhangon palladium-platina -esiintymät Ranualla sekä Hannukaisen rautamalmi Kolarissa.

Teollisuusmineraalit

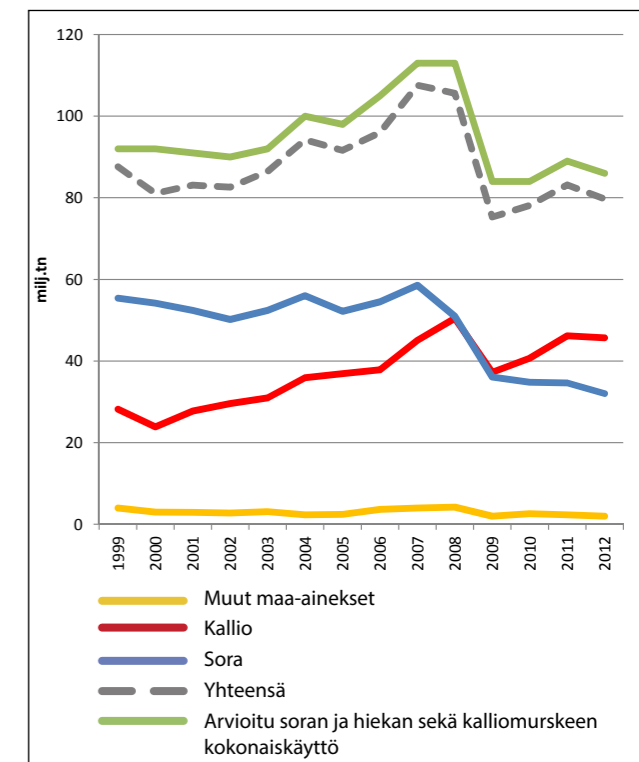
Eri teollisuusmineraaleja käytetään lähes kaikessa teollisessa toiminnassa, esimerkiksi talkkia paperin valmistuksessa, karbonaattikiveä sementin valmistuksessa ja kvartssia lasin valmistuksessa.

Teollisuusmineraalien louhintamäärä on kasvanut tasaisesti 1960-luvun lopusta lähtien. Kaivoksia oli vuonna 2012 tuotannossa noin 11 ja hyötykiven louhinnan arvioidaan olleen noin 11,4 Mt. Suomen

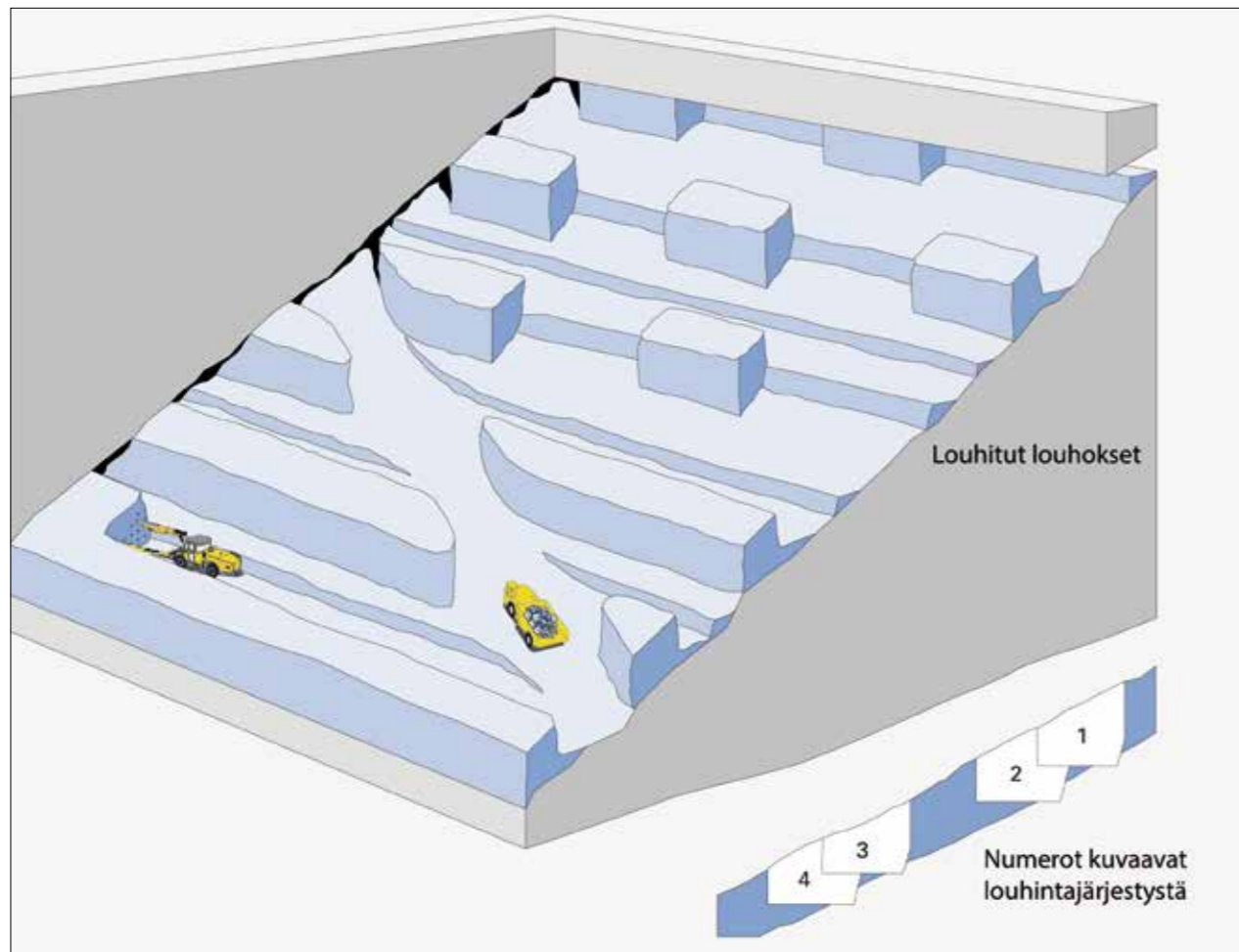
suurimman kaivoksen, Siilinjärven, fosforimalmi-varat ovat suuret ja kaivoksella on menossa laajenusohjelma, joka tähtää toiminnan jatkumiseen aina vuoteen 2025 saakka.

Vuonna 2012 tuotannossa oli yhteensä 18 karbonaattikivikaivosta. Kalkkikiven louhinnan määrä suureni hieman ollen vuonna 2012 noin 3,7 Mt. Karbonaattikiveä tuodaan myös ulkomailta, muun muassa Gotlannista.

Suomi on Euroopan suurin talkin ja wollastonitiin tuottaja. Merkittävimmät teollisuusmineraaleja louhivat kaivosyhtiöt ovat kotimainen Nordkalk Oy Ab sekä englantilaisomistuksessa oleva Mondo Minerals Oy ja norjalaisomisteinen Yara Suomi Oy (entinen Kemphos Oy). Muita teollisuusmineraaleja louhivia yhtiöitä ovat SMA Saxo Mineral Oy, Paroc Oy Ab, SP Minerals Oy Ab ja Juuan Dolomiittikalkki Oy.



Kuva 1.3 Maa-ainesten ottomäärät maa-aineslain mukaisilta ottamisalueilta sekä arvioitu kiviainesten kokonaiskäyttö vuosina 1999–2012.



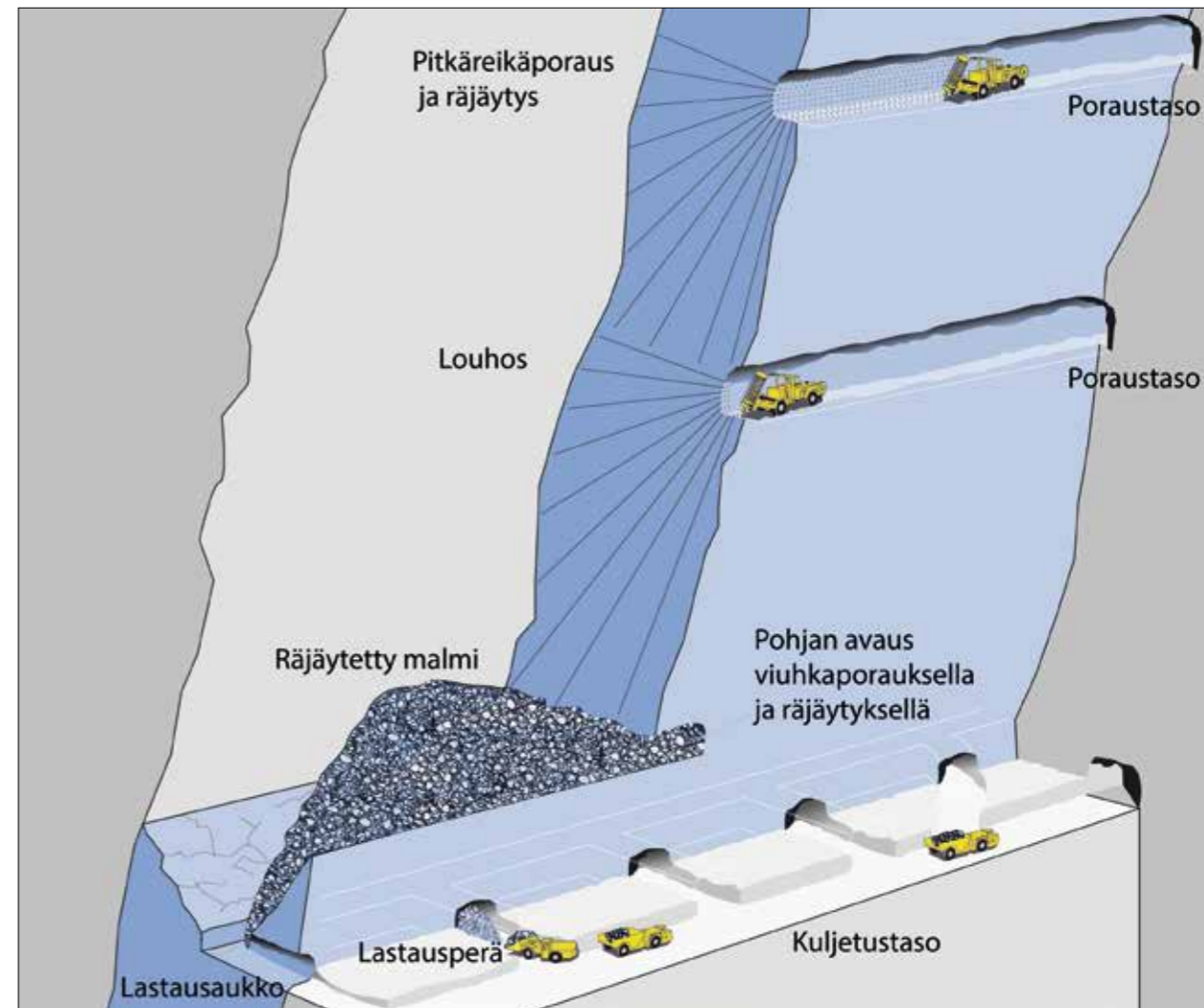
Kuva 6.11 Periaatekuva vinoasentoisen (kaade 15–30 °) malmilaatan pilarilouhinnasta vaakaporausta käyttäen.

Pilarilouhinnan edut:

- Menetelmä sopii hyvin tasapaksujen vaakasuorien tai loivien (< 30°) ja ohuiden malmien louhintaan – erityisesti, kun malmin ja kattokiven lujuus on korkea.
- Louhinnan selektiivisyyttä voi säädellä.
- Rikkaimmat osuudet voi louhia tarkemmin lisäämällä kalliolujitusta eli kattopulttista, vaijeripulttista, ruiskubetonointia ja täyttöä.
- Mekanisointiaste voidaan nostaa korkeaksi.
- Louhoksia ei tarvitse täyttää.
- Tuuletuksen järjestäminen on suoraviivaista.

Pilarilouhinnan haitat:

- Heikkousvyöhykkeiden esiintyminen voi sotkea pahasti pilarisuunnitelmaa.
- Pilareihin voi syvällä louhittaessa, korkeissa jännitystiloissa jäädä 40–50 % malmia.
- Sivukivilaimennus nousee korkeaksi, mikäli malmipaksuus vaihtelee paljon.
- Menetelmässä työskennellään louhoksen sisällä, joten louhoskaton pysyvyys on aina varmistettava.



Kuva 6.12 Periaatekuva pitkittäisestä avoimesta välitasolouhinnasta.

Välitasolouhinta

Yleistä

Pitkäreikäporaukseen perustuva avoin välitasolouhinta eri muodoissaan on ylivoimaisesti käytetyin maanalainen louhintamenetelmä Suomessa. Välitasolouhinta soveltuu menetelmäksi parhaiten, jos malmi ja sivukivet ovat lujia. Malmin kaateen on oltava yli 45–50°, jotta räjäytetty louhe virtaa painovoiman vaikutuksesta louhoksessa lastaustasolle. Malmin paksuudella ei ole suurta merkitystä. Ohuissa malmeissa käytetään pitkittäistä ja paksuissa massiivisissa malmeissa poikittaista louhintata-

paa. Poikittaisessa louhinnassa malmin talteensaanti voidaan nostaa yli 90 %:iin täyttämällä ensimmäisen vaiheen louhokset kovettuvalla täytteellä ja louhimalla toisessa vaiheessa kovettettujen louhosten väliset pilarit myöhemmin. Menetelmän selektiivisyys on riippuvainen mittakaavasta: tasovälistä, louhosdimensioista ja täytöstä.

Malmi jaetaan louhosalueisiin. Louhoksen runko muodostuu lastaus-, kuljetus- ja välitasoista. Pohjan aukaisu tapahtuu tavallisesti lastaustasolla. Varsinainen louhinta tapahtuu 15–40 m tasovälein malmiin ajetuista tasoperistä joko viuhkaamalla tai yhdensuuntaisilla rei'illä. Usein kallio esilujitetaan



Kuva 8.2 Porausmenetelmät vasemmalta oikealle: iskuporaus, uppororaus, iskuporaus putki- tankokalustolla ja kiertoporaus.

Kallionäytekairaus, jota yleisesti kutsutaan myös timanttikairaukseksi, kuuluu myös kiertoporausmenetelmiin. Menetelmässä käytetään renkaan muotoista terää, joka sisältää timantteja, jotka hiertävät kalliosta palasia, kun terää pyöritetään ja painetaan vasten reiän pohjaa. Menetelmää käytetään yleensä malmin- ja mineraalietsinnän yhteydessä. Maaperätutkimuksissa menetelmää käytetään harvemmin, sillä menetelmä on erittäin kallis. (ks. Luku 2 Geologiset tutkimukset)

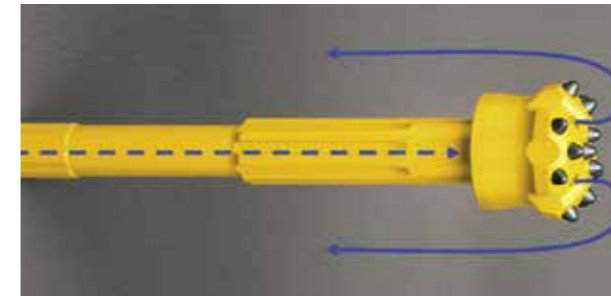
Porausjätteen poistaminen

Porausjätteen eli soijan poistaminen on erittäin tärkeää, koska soijan määrä vaikuttaa merkittävästi

sekä poran tunkeutumisenopeuteen että poran terän käyttöikään. Jotta poraus tapahtuisi tehokkaasti, on olennaista pitää reiän pohja puhtaana ja siirtää porausjäte jatkuvasti pois reiästä ilma- tai vesihuuhtelulla. Huuhtelu ohjataan reiän pohjalle koko porakaluston läpi kulkevan huuhtelureiän avulla, josta huuhteleva ilma tai vesi nostaa porausjätteen pois reiästä tankojen ja reiän seinämän välisessä tilassa.

Kun porakoneen teho suurenee ja sen tunkeutumisenopeus lisääntyy, myös huuhtelun merkitys kasvaa samassa suhteessa. Maanpäällisessä porauksessa käytetään tavallisesti ilmahuuhtelua ja maanalaisessa porauksessa vesihuuhtelua. Huuhtelu toteutetaan iskuporausessa ja kiertoporausessa leikkaus- ja

murskaussovelluksissa pääperiaatteeltaan samalla tavoin vain sillä erolla, että murskausmenetelmässä huuhtelua hyödynnetään myös poran terän laakerointijärjestelmän jäädyttämiseen ja puhtaanapitoon.



Kuva 8.3 Huuhtelun periaate.

Vaadittavaan huuhtelunopeuteen vaikuttavat

- painovoima: aine, jonka tiheys on 2 t/m^3 , vaatii vähintään 10 m/s , kun taas esimerkiksi rautamalmin, jonka tiheys on 4 t/m^3 , tarvitsee $25\text{--}30 \text{ m/s}$
- kappaleiden koko: mitä suuremmat palaset, sitä suurempi huuhtelunopeus
- kappaleiden muoto: pallomaiset kappaleet vaativat suuremman nopeuden kuin litteät palat.

Riittämätön huuhtelu voi aiheuttaa

- tangon tai poran terän tai molempien kiinnijuuttumisen
- tarpeen vähentää porausjätteen määrää rajoittamalla iskukoneiston tehoa (alentamalla sen tunkeutumisenopeutta), jotta saadaan vähennettyä huuhtelun tarvetta. Tunkeutumisenopeutta ei saisi vähentää syöttövoimaa alentamalla, koska se aina vaurioittaa porakalustoa
- poran terän läpimitan kulumisen lisääntymistä: esimerkiksi 76 mm poran terän kehänopeus on 50 cm/s normaalilla pyörimisnopeudella (125 rpm), joten läpimitta kuluu hyvin nopeasti.

Syöttö

Yleistä

Porausyössä porakoneen iskuenergiasta mahdollisimman suuri osa pyritään siirtämään kallioon. Jotta tämä saavutettaisiin, täytyy terän olla jatkuvasti kosketuksessa reiän pohjaan. Tätä voimaa, jolla terän jatkuva kosketus reiän pohjaan toteutetaan, kutsutaan syöttövoimaksi.

Iskuporaus

Päättelyövä kallioporakone on asennettu kelkkaan, joka liikkuu syöttölaitteessa. Nykyisin syöttö tapahtuu yleensä hydrauliiikan tai ketjun välityksellä. Aikaisemmin syöttöä on toteutettu mekaanisesti ruuvien välityksellä.



Kuva 8.4 Hydraulinen syöttölaite.

Syöttövoima vaihtelee porattavan kalliolaadun sekä porausyksikön ja porakaluston painon mukaan. On tärkeää, että porausyksikkö on tukevasti paikallaan niin, että syöttölaite pysyy paikallaan ja syöttövoima on riittävän suuri, jotta porakruunu on jatkuvasti kosketuksessa reiän pohjaan. Jos käytetään liian pientä syöttövoimaa, energiansiirtokyky heikentyy, koska holkit pyrkivät avautumaan, ja tangon päät eivät ole enää yhteydessä toisiinsa. Silloin kierteet, niskakappaleet ja holkit kuluvat tavallista enemmän. Tunkeutumisenopeus pienenee, koska energian siirto porakaluston läpi heikkenee, eikä porakruunu ole jatkuvasti kosketuksessa porareian pohjan kanssa. Iskuenergiaa ei käytetä kallion murskaamiseen, vaan se kuormittaa porakalustoa aiheuttaen siihen turhaa

Ulkoisesti elektroninen nalli muistuttaa perinteistä sähkönallia. Eroa tuovat esimerkiksi seuraavat ominaisuudet:

- Nalli on periaatteessa elektroninen kello yhdistettynä momenttinalliin.
- Lyhin mahdollinen hidasteaika on 1 ms.
- Pisin hidasteaika on jopa 14 s.
- Suurin mahdollinen hidasteaikavälien lukumäärä on 14 000.
- Kentässä voi olla lähtökohtaisesti enintään 1500 nallia, lisälaitteiden avulla jopa 3000.
- Ohjelmointiyksiköllä annetaan nalleille yksilölliset hidasteajat, sekä sillä voidaan testata nallit ennen kentän laukaisua.
- Sytytyslaite on tietokone, jolla annetaan nalleille tarvittava syttymisenergia.
- Nalleissa on kaksi liitäntäjohtoa, jotka kytketään rinnan kaksinapaiseen runkojohtoon.
- Elektroninen nalli on tahatonta syttymistä tarkasteltaessa mekaanisten, termisten ja sähköisten vaaratekijöiden suhteen yhtä turvallinen kuin impulssiletkunalli.

Koska elektronisen nallin syttymisajankohta on tarkasti säädettävissä, sillä voidaan saavuttaa muihin sytytystapoihin verrattuna muun muassa seuraavia etuja:

- tarkempi haluttu lohkekoko
- halutun mittainen kiven heitto
- parempi louhintajälki
- pienemmät värinat ympäristöön
- suuremmat louhintakentät
- parantunut käyttöturvallisuus
- alhaisemmat louhinnan kokonaiskustannukset.

Elektroniset räjäytysnallit ovat tehneet mahdolliseksi kenttien laukaisujärjestelmien kehittämisen. Suomessa on ensimmäisenä maailmassa tehty maanalaisessa kaivoksessa räjäytyksiä langattoman WLAN-kommunikaatioverkon avulla. Kaukolaukaisujärjestelmä muodostuu räjäytyspaikalle asennettavasta räjäytysyksiköstä, joka koostuu modeemista, langattomasta tietoverkosta sekä laukaisu-



Kuva 9.4 a Elektroninen räjäytysnalli.



Kuva 9.4 b Elektronisen nallin ohjelmointiyksikkö.



Kuva 9.4 c Elektronisen nallin sytytysyksikkö.

paikalla olevasta modeemilla varustetusta laukaisulaitetietokoneesta. Laukaisulaitteen käyttö vaatii sekä mekaanisen varmenteen että käyttäjien oikeat tunnukset sekä salasana.

9.3 Panostusvälineet

Panostustyön helpottamiseksi on kehitelty useita erityyppisiä panostuslaitteita. Kaikkien panostukseen käytettävien apuvälineiden ja laitteiden täytyy olla viranomaisten hyväksymiä. Alkeellisimmat patruunoille tarkoitetut panostimet ja laitteet ovat mekaanisia tai paineilmakäyttöisiä. Näitä laitteita ei kuitenkaan enää paljonkaan käytetä, sillä niiden käyttö on hankalaa ja panostusteho on alhainen. Sen sijaan bulk-räjähdysaineiden (esimerkiksi pumpattavat emulsiot) panostamiseen tehdyt panostuslaitteet ovat yleistyneet enemmän kuin käsinpanostus.

ANFO:n panostamiseen käytetään ejektori- tai paineastiaperiaatteella toimivia laitteita tai näiden yhdistelmää. Ejektoriperiaatteella toimivissa panostuslaitteissa suurella nopeudella virtaava ilma ottaa mukaansa räjähdysainerakeet ja siirtää ne panostusletkua pitkin porausreikään. Näitä ejektoripanostuslaitteita ei ole enää käytössä. Ne on korvattu paineastiaperiaatteella (Anol) toimivilla panostuslaitteilla, joissa räjähdysaine pakotetaan säiliössä olevan paineen avulla panostusletkua pitkin porausreikään. Kaivoksissa, tunnelityömailla ja suurilla louhintatyömailla on käytössä panostusajoneuvoja, joihin on kiinteästi asennettuna ANFO-panostuslaite, joka voi olla varustettu myös kauko-ohjaustoiminnolla.

Joillakin avolouhoskaivoksilla on ollut käytössä panostusajoneuvoja, joissa ANO, käyttöpaikalla yli-panostajan valvonnassa valmistettu ANFO, on valmistettu raaka-aineista paikan päällä. Näissä ajoneuvoissa on erilliset säiliöt ammoniumnitraattia ja öljyä (sekä väriainetta) varten sekä sekoituslaite, jossa ANO sekoittuu panostettaessa ja matkalla porareikään.

Panostusvälineiden suurimmat tekniset edistysaskeleet on otettu bulk-emulsioräjähteiden parissa. Näille räjähdysaineille kehitetyt laitteet ovat varsin edistyksellisiä perinteisiin panostuslaitteisiin verrattuna. Yhteistä menetelmille on se, että panostus on jonkin verran mekanisoitua ja panostettava määrä dokumentoidaan tarkasti ja reikäkohtaisesti. Panostetusta kentästä saava panostustieto voidaan liittää panostuspöytäkirjaan ja tulostaa tai siirtää muistitikulla tai langattomasti panostustyön harjoittajan tietokantaan.

Oy Forcit Ab:n valmistaman, avolouhinnassa käytettävän Kemiitti 510:n, panostuslaitteistolle on tyypillistä, että sillä voidaan lisätä räjähdysaineeseen lisäaineita, jotta saadaan muutettua sen räjähdysteknisiä ominaisuuksia. Lisäksi uudet tekniikat mahdollistavat varsipanoksen keventämisen emulsioräjähteen tiheyttä muuttamalla, jotta saadaan aikaan paras mahdollinen kokonaispanos.

Panostusletku käsitellään tarpeen mukaan joko mekaanisesti tai käsin. Emulsioräjähdysaineiden pumppaukseen käytettävien panostusajoneuvojen automatiikka, sekä esimerkiksi panostusletkun mekaaninen käsittely, keventävän olennaisesti panostajan muutoin varsin raskasta työtä.

Oy Forcit Ab:n valmistaman, maanalaiseen käyttöön tarkoitetun Kemiitti 810 emulsioräjähdysaineen panostuslaitteisto on varustettu pääsääntöisesti letkunkäsittelyautomatiikalla, joka letkunkäsittelyn mekanisoinnin lisäksi mahdollistaa panoksen räjähdysainemäärän säätämisen vaakareiässä, jopa kesken reiän panostuksen.

Peräajossa reiät panostetaan Kemiitti 810-panostuslaitteella seuraavasti:

- Avaus- ja avarrusreiät panostetaan tavallisesti lähes täyteen, panostus jätetään kuitenkin avarrusreiässä vajaaksi reiän suulta.
- Apukaaren reiät panostetaan pohjapanoksen osalta täyteen, varsipanoksen osalta esimerkiksi 600 g räjähdysainetta/m.
- Kaarireiät panostetaan pohjapanoksen osalta täyteen, varsipanoksen osalta esimerkiksi 300 g räjähdysainetta/m.



Kuva 9.5 Anfo Charmec -panostusajoneuvo.

hentunut kuljetusmenetelmä voi hidastaa malmi-
tuotannon kehitystä. On myös otettava huomioon
lainsäädäntö ja tiukat työturvallisuus- ja ympäristö-
määräykset.

Malmin ja, usein unohdetun, täyttömateriaalin
kuljetusmenetelmä vaikuttaa maanalaisissa kaivok-
sissa louhintamenetelmän jälkeen toiseksi eniten
kustannuksiin. Malliesimerkkeinä voidaan pitää
Kemin ja Pyhäsalmen kaivosten malmikuljetuksen
järjestelmiä (kuva 10.1). Mainituissa kaivoksissa on
vähän suuremmilla investointikustannuksilla sääs-
tetty monikertaisesti käyttökustannuksissa. Koko
malminkäsittelylinja murskaamolta rikastamolle on
näissä täysin automatisoitu.

10.1 Avolouhinnan lastaus

Lastauskalusto

Avolouhinnassa käytetään lastauskalustona pääasiassa
pyöräkuormaajia sekä kaivinkoneita. Lastauskoneen
valinta on riippuvainen lastattavasta materiaalista,
räjäytyskasan muodosta ja operaation suuruudesta.
Mikäli kaivoksen tuotanto on jatkuvaa ja materiaali
lastataan erilliseen liikkuvaan kuljetusvälineeseen,
valitaan pääasiallisesti lastauskoneeksi kaivinkone.
Kaivinkone on pyöräkuormaajaan verrattuna tehok-
kaampi ja kustannuksiltaan edullisempi lastausväline
suurten massojen käsittelyssä. Pyöräkuormaaja on
paras valinta silloin, kun materiaali voidaan kantaa
suoraan murskattavaksi tai varastokasaan. Lisäksi
pyöräkuormaaja tarvitaan aina kaivinkoneen avuksi
tasojen siivoamiseen ja louhekan valmisteluun sekä
pienien kenttien lastaukseen. Jos operaation koko ei
salli kahden lastauskoneen käyttöä, on pyöräkuor-
maaja oikea valinta ainoaksi lastauskoneeksi.

Pyöräkuormaajat

Louhos- ja kaivoskäytössä käytetään 40–250 t pyö-
räkuormaajia operaation koon mukaan. Sopivaa
pyöräkuormaajaa valittaessa on otettava huomioon
käytettävissä oleva kuljetuskalusto ja tarvittava
tuotantoteho. Kalustoa mitoitettaessa on pyrittävä
sellaiseen yhdistelmään, jossa kuljetusväline (lou-

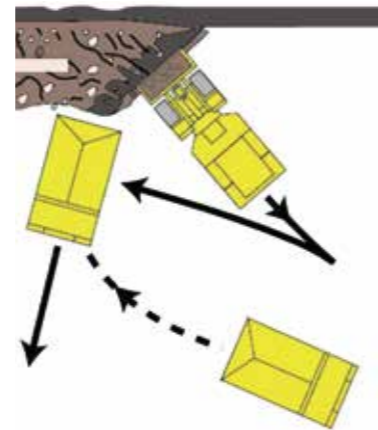


Kuva 10.2 Pyöräkuormaaja.

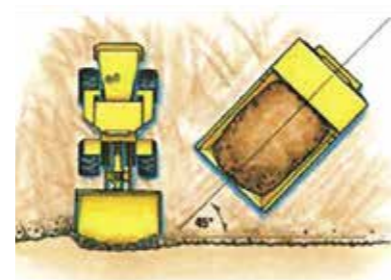
hosauto tai runko-ohjattu dumperi) saadaan kuor-
mattua 4–6 kauhallisella. Suurimmissa kokoluokissa
tämä ei ole aina mahdollista, vaan täyden kuorman
lastaamiseen tarvitaan 6–8 kauhallista.

Pyöräkuormaaja sopii parhaiten suhteellisen mal-
talien ja löyhäksi räjäytettyjen penkereiden lastauk-
seen. Pääasiallisia lastaustapoja pyöräkuormaajalla
on kaksi: viistolastaus ja kohtisuora lastaus.

Viistolastauksessa lastauskone on 45 asteen kul-
massa rintaukseen nähden. Lastaus tapahtuu oikeal-
ta vasemmalle, ja lastattava siivu on 1,5–2 x kauhan



Kuva 10.3 Viistolastaus.



Kuva 10.4 Kohtisuora lastaus.

leveys. Lastattava auto tai dumperi on 15–20°:n
kulmassa rintaukseen nähden. Kohtisuorassa las-
tauksessa lastauskone on kohtisuorassa rintausta
vasten ja lastattava auto tai dumperi 45°:n kulmas-
sa. Lastaus tapahtuu vasemmalta oikealle. Kerralla
lastattava alue on 1,5–2 x kauhan leveys.

Molemmissa lastaustavoissa auton oikea ase-
mointi on tehokkaan lastauksen edellytys. Auto
tulee asemoida siten, että lastauskoneen liikematka
on 1–1,5 renkaan kierrosta suuntaansa. Lastausko-
ne ottaa ensimmäisen kauhallisen lastattavan alueen
kauimmaisesta reunasta samaan aikaan kun lastatta-
va auto vaihtuu. Seuraavat kauhalliset otetaan mah-
dollisimman läheltä.

Kaivinkoneet

Louhoksissa ja kaivoksissa käytetään 30–1 200 t:n
kaivinkoneita. Varsinaiseen raskaaseen kaivoskäyt-
töön räjäytetyn louheen lastauksessa taas käytetään
koneita, joiden painoluokka on 80 t ja enemmän.

Toimintatavan mukaan kaivinkoneet voidaan
jakaa kahteen luokkaan:

- hydrauliset kaivinkoneet
- sähkömekaaniset kaivinkoneet.

Hydrauliset kaivinkoneet jaetaan puomiston
toiminnan mukaan kahteen pääluokkaan:

- pistokauhalla varustetut kaivinkoneet
- kuokkakauhalla varustetut kaivinkoneet.

Hydraulisia kaivinkoneita on sekä pisto- että
kuokkakauhaversioina, ja käyttövoimana on joko
dieselmoottori tai sähkömoottori. Hydraulisessa
kaivinkoneessa toiminnot suoritetaan hydraulisten
sylinterien tai moottoreiden avulla. Mekaanisissa
kaivinkoneissa käytetään voimanlähteenä pääasiassa
sähkömoottoria. Toimilaitteita, puomia ja kauhaa,
käytetään mekaanisen vaihteiston ja köysien avulla.
Sähkömekaanisia kaivinkoneita käytetään ainoas-
taan raskaammissa painoluokissa (> 500 t), mutta
hydrauliset kaivinkoneet ovat hiljalleen vahvistaneet
asemiaan myös tässä painoluokassa.

Pistokauhan tai kuokkakauhan valintaan vai-
kuttavat applikaatio ja eri maantieteellisillä alueilla



Kuva 10.5 Sähkömekaaninen kaivinkone.



Kuva 10.6 Pistokauhalla varustettu kaivinkone.



Kuva 10.7 Kuokkakauhalla varustettu kaivinkone.

Koska luonnollinen tuuletus on riippuvainen lämpötilasta, ulkona vallitsevan sään vaikutus luonnolliseen tuuletukseen on huomattava. Luonnollinen tuuletus on tyypillisesti voimakkainta talvikuukausina ja vaikuttaa vähiten kesäkuukausina. Tuuletussuunnittelussa luonnollinen tuuletus kannattaa mahdollisuuksien mukaan hoitaa siten, että se vaikuttaa voimakkaimmillaan ollessaan myönteisesti tuuletukseen ja heikoimmillaan se vastustaa puhaltimia.

15.12 Tuuletuksen simulointi

Tuuletussimulointiohjelmat

Nykyisin käytössä on useita eri maissa kehitettyjä, pääpiirteiltään samantyyppisiä tuuletusta simuloivia tietokoneohjelmia. Suomessa yleisimmin käytettyjä ovat australialainen Ventsim sekä Yhdysvalloissa kehitetty VnetPC. Suomessa vähemmän tunnettuja ovat esimerkiksi puolalainen VentGraph ja Etelä-Afrikasta peräisin oleva VUMA.

Ohjelmien avulla lasketaan ainakin ilman virtaukseen liittyvät suureet, kuten ilmavirran nopeus, virtausreitit painehäviö ja virtausvastus. Useimmiten ohjelmilla voidaan lisäksi simuloida muitakin suureita, kuten haitallisten aineiden leviämistä, ja arvioida tuuletuskustannuksia. Varsinaista tuuletusverkkoa simuloivien ohjelmien lisäksi on samalta kehittäjältä usein saatavissa ohjelmien rinnalla tai itsenäisesti käytettäviä lisäohjelmia, joilla itse tuuletusmallinnusohjelmasta puuttuvia suureita voi tutkia.

Joillakin ohjelmilla pystytään laskemaan myös termodynamiikkaan liittyviä suureita sekä mallintamaan tulipalotilanteita. Tulipalojen mallinnukseen sopivat esimerkiksi MFIRE, MineFire sekä VentGraphin tulipalosimulointiosuus. Maanalaisten ilmasto-olojen mallinnukseen on kehitetty CLIMSIM. Tuuletusmallinnusohjelmista ainakin VUMA sisältää ilmaston mallinnukseen tarvittavia menetelmiä.

Simulointiohjelmia käytettäessä tulee ottaa huomioon ohjelmien rajoitukset. Useimmissa ohjelmissa ei ole huomioitu luonnollisen tuuletuksen ja sen vuodenaikojen mukaan muuttuvaa vaikutusta.

Lisäksi ohjelmissa käsitellään ilmaa usein puristumattomana aineena, mikä aiheuttaa virheen erityisesti syvien kaivosten tuuletuksista tutkittaessa. Jos kaivos on syvempi kuin 400 m, ilman puristuvuuden merkitys alkaa ilmentyä virheenä niin käsin laskettaessa kuin monissa tuuletuksen simulointiohjelmissakin.

Tuuletussimulointiohjelmat ovat nykyisin valtaosaltaan helppokäyttöisiä ja sisältävät graafisen käyttöliittymän. Lisäksi ohjelmien hinnat ovat kohtuullisia. Kaivosten tuuletusverkot ovat monimutkaisia, ja ohjelmista on suurta hyötyä. Ohjelma laskee sekunneissa verkon, jonka käsinlaskeminen on käytännössä mahdotonta. Ennen ohjelman hankintaa kannattaa tutustua eri ohjelmien sisältöihin ja arvioida, millaisia toimintoja tarvitaan eniten ja hankkia sen jälkeen sopiva ohjelma.

Jos tarkastellaan vain pientä osaa tuuletusverkosta, esimerkiksi yksittäistä perää, on mahdollista valita käyttöön myös CFD- mallinnusohjelma, jolla voidaan tarkastella ilman ja haitta-aineiden virtauksia hyvin yksityiskohtaisesti ja huomioida ilman puristuvuus. Käytännössä nämä ohjelmat soveltuvat kuitenkin toistaiseksi vasta tutkimustyöhön, eivät varsinaiseen kaivoksen tuuletussuunnitteluprosessiin, sillä ne ovat hitaita ja niiden laskentakykyvaatimukset ovat suuret.

Simulointiohjelmien käyttö

Tuuletuksen mallinnusohjelmalla luotu malli on erinomainen menetelmä ratkaistaessa muun muassa seuraavia kysymyksiä:

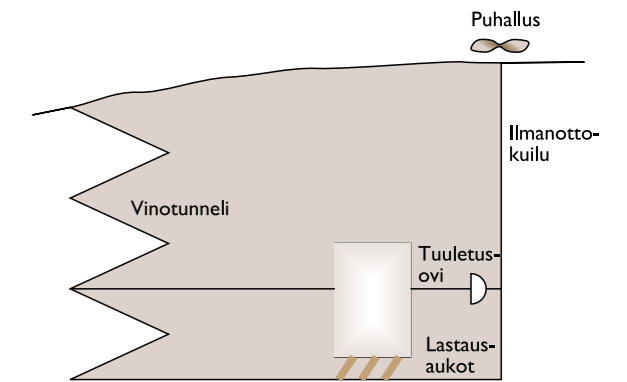
- Mikä on luonnollinen ilman jakaantuminen suunnitellussa tai olemassa olevassa kaivoksessa?
- Kuinka ohjausjärjestelmä tulisi rakentaa (säätöovent, tuuliseinät, apupuhaltimet jne.), jotta haluttu ilman jakautuminen kaivoksessa voitaisiin taata?
- Tarvitaanko ylimääräisiä tuuletusyhteyksiä (kuiluja, nousuja, periä)? Mihin niitä tarvitaan, ja minkä kokoisia niiden tulisi olla?
- Kuinka uusien kuilu- ja peräyhteyksien tekeminen vaikuttaa olemassa oleviin tuuletusvirtauksiin?

- Minkä kokoisia järjestelmään asennettävien puhaltimien tulisi olla?
- Mikä on luonnollisen tuuletuksen sekä mahdollisten tulipalojen vaikutus tuuletusilmavirtauksiin?

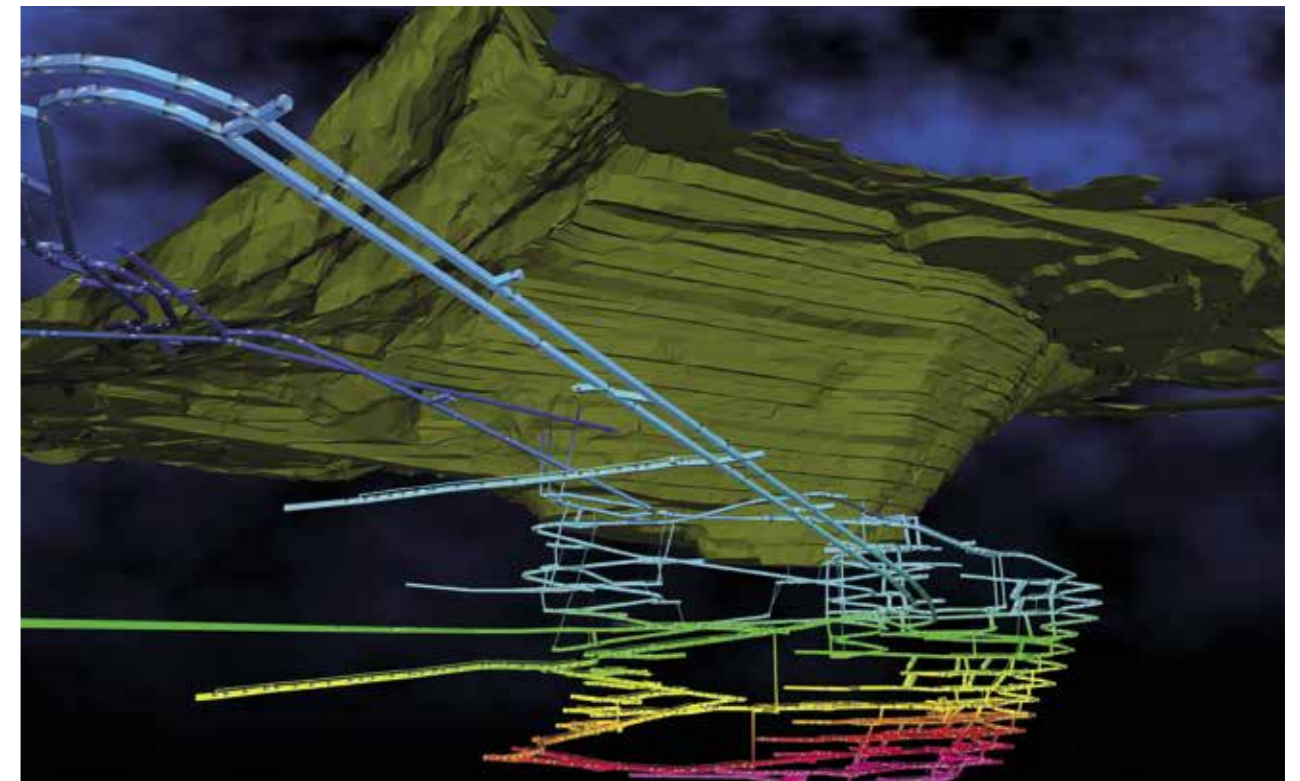
Ensimmäinen tehtävä simulointimallia luotaessa on laatia kaivoksesta kaavio, johon kaikki ilman kulkureitit, eli haarat, ja niiden väliset solmupisteet on merkitty (kuva 15.18). Kun ilmoitetaan kunkin haaran alku- ja loppupisteet, määritellään yksiselitteisesti tuuletusverkon rakenne. Kaavion voi myös siirtää tuuletusohjelmaan esimerkiksi Autocad- tai Surpac-kaivosmallin tietojen pohjalta, jos simulointiohjelma sallii verkon siirron. Lopuksi perusmalliin lisätään tuuletusverkkoon liittyvät apuvälineet, kuten tuuletusverhot ja -ovent sekä puhaltimet.

Kun mallilla simuloidaan tulevia tuuletustilanteita, verkkoa muutetaan tilannetta vastaavaksi. Verkkoon voidaan helposti lisätä suunniteltuja periä ja

muita yhteyksiä. Niinpä mallin avulla tutkitaan eri vaihtoehtojen vaikutusta tuuletukseen ja lasketaan putkistojen dimensioita eli mittoja. Malliin voidaan sijoittaa esimerkiksi suunnitelmien mukaisia puhaltimia ja tuuletusovia testattavaksi sekä mitoittaa niitä halutuille ilmamäärille.



Kuva 15.18 Kaivosmalli.



Kuva 15.19 Esimerkki Ventsim-simulointiohjelmalla luodusta tuuletusmallista.

Pelastustoiminta

Pelastustoimintaa ohjaavat kaivoslain ja pelastuslain vaatimukset riskien arvioinnista, hallintatoimenpiteistä ja pelastussuunnitelman laatimisesta.

Kaivoksessa voi esiintyä vaaratilanteita, jotka vaativat kaivoksen tai sen osan tyhjentämistä ihmisistä. Vakavimpia vaaratilanteita ovat tulipalot, kaasuja pölyräjähdykset, liejun- ja vedenpurkaukset sekä sortumat.

Kaivosten turvallisuusmääräysten mukaan kaivoksella on oltava pelastussuunnitelma pelastustoiminnan järjestämiseksi ja paloturvallisuuden ylläpitämiseksi.

Maanalaisella kaivoksella on nimettävä pelastustoiminnasta ja paloturvallisuudesta vastaava henkilö. Kaivoksella on järjestettävä pelastusharjoitus vähintään kerran vuodessa.

Jokaiselle kaivoksessa vakinaisesti työskentelevälle on selvitettävä pelastussuunnitelman sisältö, sammutuslaitteiden käyttäminen, varakulkuyhteydet, suojapaikat, hälytyksen tekeminen sekä toiminta hätätilanteessa niin tarkoin, että hän osaa vaaratilanteessa toimia oikein. Tilapäisesti kaivoksessa työskentelevälle on mainitut asia selvitettävä tarpeellisin osin.

Tilanteiden tehokas hoito edellyttää hyvän hälytysjärjestelmän, joka sisältää hätäilmoitukseen palotai muusta vaarasta ja tiedottamisen vaaratilanteesta jokaiselle kaivoksessa olevalle.

Kaivoksessa tulee olla kaksi toisistaan riippumatonta viestiyhteyttä käytettävissä. Esimerkiksi lankapuhelinyhteys suojapaikoilta, radiopuhelinjärjestelmä sekä GSM-puhelimet ovat yleisesti käytettyjä.

Hyvä hälytysjärjestelmä edellyttää tuekseen luotettavan kaivoksessa työskentelevien ihmisten valvonnan. Käyttöön soveltuvat sähköiset tai käsikäyttöiset kulunvalvonta-avaimet, valvontataulu- ja kortti- ja merkkivalojärjestelmät, joista nähdään, keitä kaivoksessa tapahtumahetkellä on.

Palontorjuntasuunnitelmalla on pelastustoiminnassa keskeinen asema, koska muiden vakavien vaaratilanteiden torjunta perustuu yleensä siihen. Muiden vakavien vaaratilanteiden torjunta perustuu yleensä palontorjuntasuunnitelmaan. Palontorjun-



Kuva 20.6 Kaivospelastusryhmä harjoittelee onnettomuuteen joutuneen henkilön pelastamista AEF:n Kittilän kaivoksen harjoituksessa.

nan tehtävänä on palon syttymissyiden poistaminen sekä vaarojen rajoittaminen suunnitelman mukaan ennalta ja vahingon sattuessa.

Palontorjuntaan kuuluu keskeisenä osana palokuorman hallinta, järjestys ja siisteys sekä automaattiset tai käsikäyttöiset sammutus- ja hälytysjärjestelmät. Myös työkoneiden, laitteiden, kuljetinhihnojen sekä muuntamoiden määräaika- ja käyttöönotto-tarkastukset sekä ennakkohuollot kuuluvat keinoihin minimoida vikaantumiset ja syttymislähteet.

Maanalaisen kaivoksen päätasoilta tulee olla vähintään kaksi kulkuyhteyttä maan pintaan. Lisäksi savukaasuilta tai muilta myrkyllisiltä kaasuilta suojautumista varten tulee olla ylipaineistettuja ruoka- paikkoja tai muuten tarkoituksenmukaisesti varustettuja suojapaikkoja.

Ilmoitus- ja hälytyslaitteet, sammutuskalusto, pelastusvälineet sekä poistumisreitit on merkittävä havainnollisilla ja selvästi näkyvillä, mieluummin valoa heijastavilla tunnuksilla.

Pelastautumista, pelastamista ja ensiapua varten tarvitaan välineet. Erityisesti maanalaisessa kaivoksessa työskentelevällä tulee olla välittömästi käytöön otettavissa henkilökohtainen pakenemislaitte (hengityslaite), joka mahdollistaa siirtymisen lähimmälle suojapaikalle.

Henkilökohtainen suojautuminen

Työssä esiintyvät vaaratekijät tulee ensisijaisesti poistaa työn organisoinnilla, teknisillä ja työolosuhteisiin kohdistuvilla toimenpiteillä. Jos tapaturman vaaraa tai terveydellistä haittaa ei pystytä näillä keinoin poistamaan, on työnantajan hankittava tarvittavat henkilökohtaiset suojaimeet.

Työntekijä on velvollinen käyttämään työn edellyttämiä henkilösuojaimeita sekä ilmoittamaan työnantajalle viipymättä niissä ilmenneistä vioista ja puutteista. Työnantajan on valvottava suojaimeiden määrärausten mukaista käyttöä.

Maanalainen kaivos ei ole tavanomainen työympäristö, ja sen olosuhteet poikkeavat paljon muista työympäristöistä. Kaivoksen kulkuväylät ja työtilat, joissa liikutaan jalkaisin ja suurilla työkoneilla, voivat olla ahtaita, heikosti valaistuja tai kokonaan valaisemattomia. Kaivoksessa liikuttaessa tulee olla erityisen valppaana, seurata liikennettä ja havainnoida liikkumista ohjaavia ja varoittavia merkkejä. Jokaisen työntekijän on tarkistettava suojaimeet säännöllisesti. Suojaimeita on huollettava ja niiden kuntoa ylläpidettävä säännöllisesti.

Tavanomainen suojavaarustus kaivoksissa on heijastavilla ominaisuuksilla varustettu haalari, turvajalkineet, suojakäsineet, kypärä, suojalasit ja valaisin. Lisäksi voidaan tarvita kuulosuojaimia, kasvosuojaimia, hengityssuojaimia, turvavaljaita ja henkilökohtaista pakenemislaitetta. Kaivoksissa pitää olla selvillä, mitä suojaimeita missäkin työssä tarvitaan.

Kuvassa 20.7 esitetään kaivoksessa käytettäviä henkilökohtaisia suojaimeita, esimerkkinä Agnico Eaglen Kittilän kaivos. Kypärässä on kaivoslamppu ja kuulosuojaimet. Muut varusteet ovat suojalasit, hengityssuojain, monikaasumittari, häkämittari, kulunvalvontatunniste, kuvallinen henkilökortti, radiopuhelin, putoamissuojain ja henkilökohtainen pelastautumislaitte. Lisäksi päällä on suojavaatteet ja -käsineet sekä turvakengät.



Kuva 20.7 Henkilökohtaiset suojaimeet.

Liikenne sekä koneilla tehtävät nostot ja siirrot

Kaivoksen liikenne poikkeaa tieliikenteestä, joten liikuttaessa täytyy olla varovainen. Esimerkiksi näkyvyys ja valaistus saattavat olla huonot ja väylien ahtaus sekä kuormat edellyttävät varovaisuutta.

Henkilöliikenteen turvallisuutta parannetaan ajoneuvon katolle sijoitetulla kiinteällä tai vilkkuvalla valolla, jota käytetään maan alla liikuttaessa sekä ajoneuvon tai työkoneen peruutushälyttimenä. Normaaleja äänellä varoittavia peruutushälyttämiä käytetään kuorma-autoissa ja työkoneissa. Kaivos-hissien käyttö vaatii erityisen hissikoulutuksen.

Ajoneuvoliikenne on suuri tapaturmariski pitkien vinoajoteiden, suurien kaltevuuksien ja paikoin huonon näkyvyyden vuoksi. Maanalaisessa liiken-