

# Kaiva.fi

## Kaivos- ja louhintatekniikka



# Yleistä kaivostoiminnasta

- Suomessa nyt noin 50 kaivosta toiminnassa
- Historian saatossa kaivoksia ollut hieman yli tuhat
- Suhdanneherkkyys
- Metallimalmikaivosten määrä kasvanut 2007-2012, nyt rauhallisempaa
  - Talvivaara, Suurikuusikko, Pampalo, Laivakangas, Kylylahti/Luikonlahti, Kevitsa
  - Taivaljärvi, Kaustinen, Kalvinit/ilmeniittikaivos, Karnukkapuro (Polvijärvi), Pajala, Suhanko, Sakatti, Juomasuo (Kuusamo)...
- Teollisuusmineraalien (kalkki, talkki ja fosfori) louhinta ja rikastus jää usein unohduksiin
- Alkupääoman tarve suuri & rahoituksen ongelmat
- Lupakäytäntöjen pitkittyminen
- Pitkän aikajänteen toimintaa
- Metallien hintojen vaihtelu
- Louhintamäärät kasvaneet paljon sitten 2000-luvun alun
- Ympäristöasiat hoidettu yleisesti hyvin
- Kaivosturvallisuus vastaa muun teollisuuden tasoa

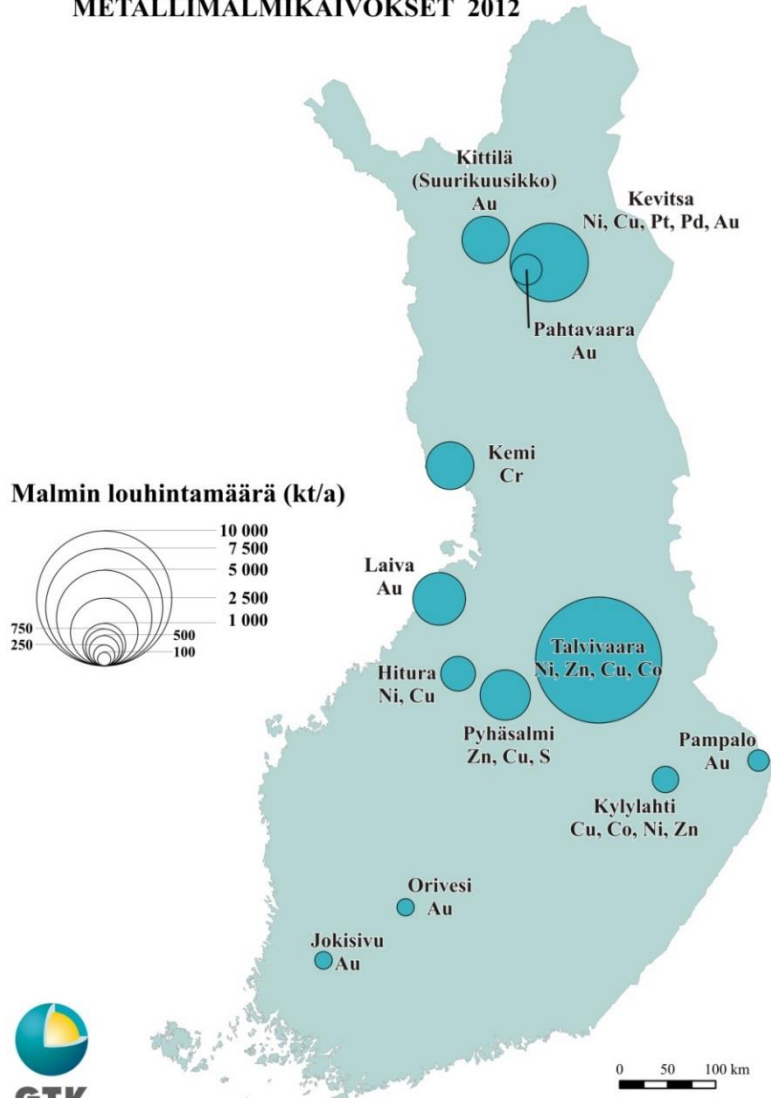
# Yleistä kaivostoiminnasta

- Suomessa useita maailmanluokan esiintymiä
  - Kemin kromimalmi
  - Pyhäsalmen sinkki-kuparimalmi
  - Lahnaslammen talkkiesiintymä
  - Siilinjärven fosfaattimalmi
  - Sokli, Talvivaara, Suurikuusikko, Kolari-Pajala, Sakatti, Rompas
- Suomessa toimivat kaivosyhtiöt lähes yksinomaan ulkomaalaisia
  - Vuonna 1995 ei yhtään ulkomaalaista yhtiötä
- Myös malminetsintä nykyään näiden yhtiöiden käsissä
- Uraani ja syanidi muodostuneet peikoiksi, joilla todellisuutta huonompi maine
- Esim. platinamineraalit ja harvinaisten maametallien mineraalit tulevaisuudessa mahdollisia louhittavia mineraaleja, kenties jopa timantit
- Kaivoslain vaikutukset, lupakäytäntöjen byrokraattisuus ja käsittelyajat
- Alalla suuret kerrannaisvaikutukset, mm. alihankinta, laitevalmistus ja jatkojalostus



# Suomen kaivokset

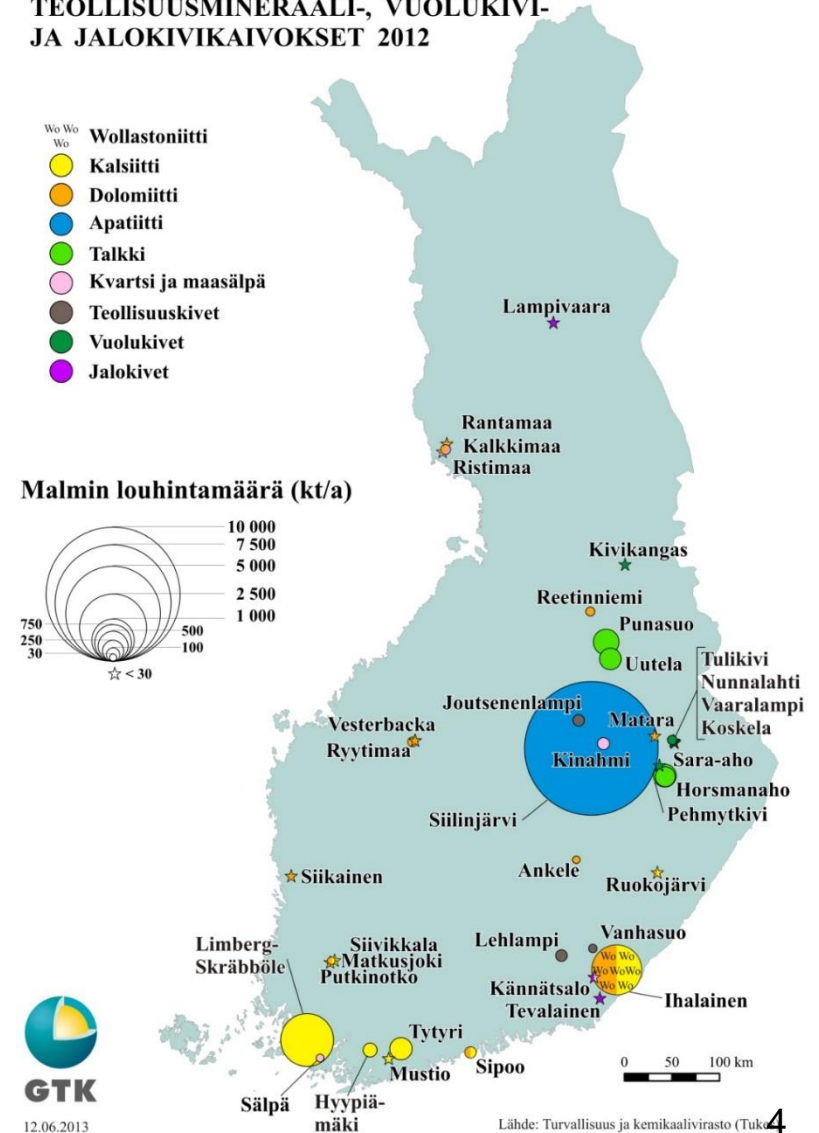
## METALLIMALMIKAIVOKSET 2012



10.06.2013

Lähde: Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes)

## TEOLLISUUSMINERAALI-, VUOLUKIVI- JA JALOKIVIKAIVOKSET 2012



12.06.2013

Lähde: Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes)

# Kaivokset ja kaivosprojektit 2012

- Metallimalmit
- Teollisuusmineraalit, vuolukivet ja jalokivet
- Kaivosprojektit

## Malmin louhinta (kt/a)

- < 100
- 100 - 999
- 1 000 - 1 999
- 2 000 - 4 999
- 5 000 - 9 999

## Kaledoninen vuoristo



## Mesoproterotsooisia kiviä

- Rapakivi granitti
- Hiekkakivi ja lietekivi
- Diabaasi

## Paleoproterotsooisia kiviä

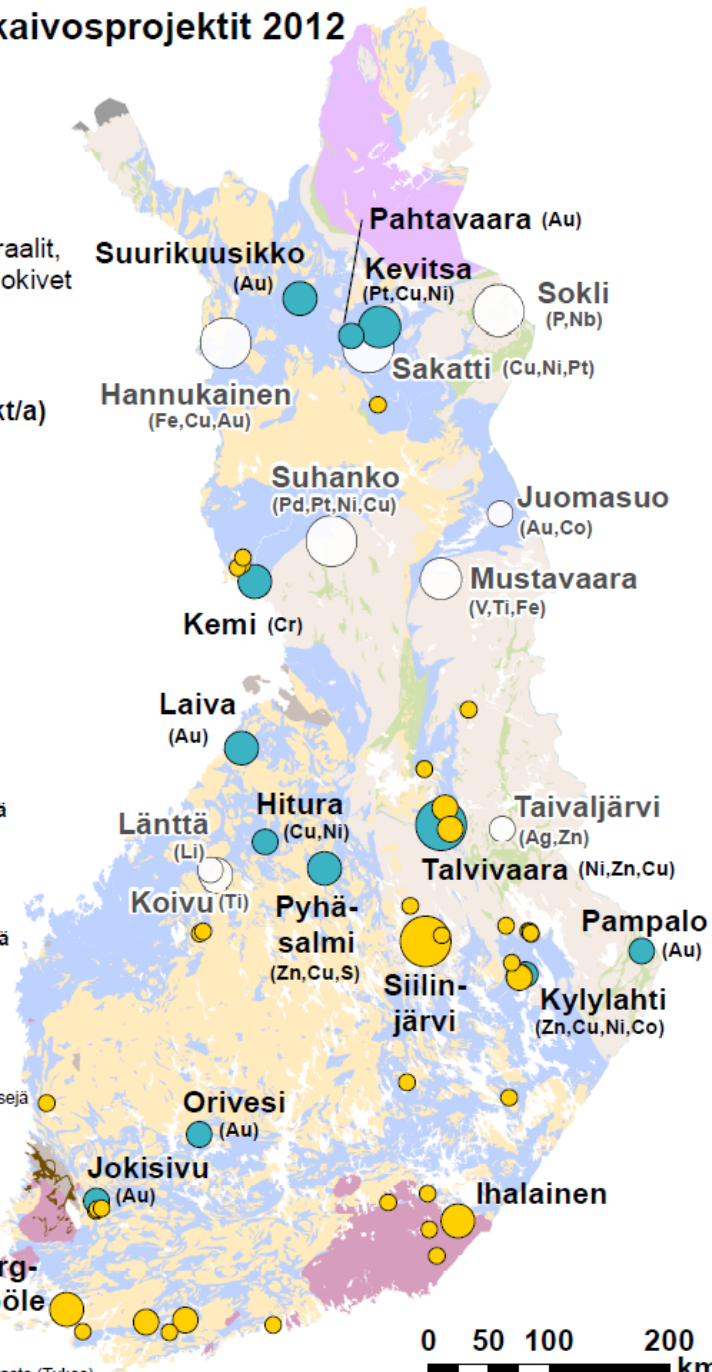
- Intrusiivisiä kiviä
- Pintasyntyisiä kiviä
- Granuliittisiä kiviä

## Arkeisia kiviä

- Intrusiivisiä kiviä ja gneissejä
- Pintasyntyisiä kiviä



Lähde: Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)

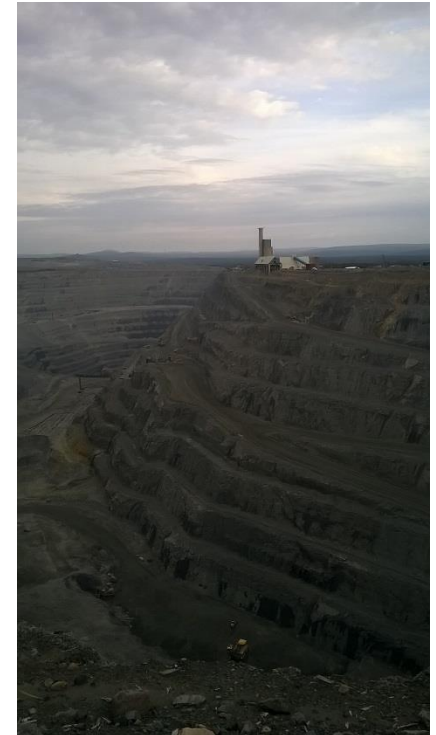


# Kaivoksen kannattavuus

- Suurimmat kannattavuusriskit malmivarojen arvioinnin virheissä ja metallien maailmanmarkkinahintojen ennusteissa
- Kannattavuuden tarkastelun vaiheet
  - Alustava arviointi
  - Kannattavuuden esiselvitys
  - Kannattavuustarkastelu
  - Pankkikelpoinen kannattavuustarkastelu

# Kaivoksen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät

- Kapasiteetti
  - Malmimäärä ja pitoisuudet
  - Cutoff-arvon vaikutus (malmipitoisuus, jolla tuotanto on taloudellisesti kannattavaa)
  - Kustannukset ja kustannusten kapasiteettiriippuvuus
  - Tuotannon arvo
- Louhittavan malmin arvo
  - Maailmanmarkkinahinnat (valuuttakurssit)
  - Metallipitoisuudet
  - Tuotannon kustannukset
  - Hedging (hintojen kiinnittäminen sopimuksella)
- Avolouhos vs. maanalainen kaivos
  - Maanalaisessa kaivoksessa louhinta noin viisinkertaista kustannuksiltaan
  - Jossain vaiheessa maanalainen louhinta silti halvempaa kuin avolouhoksessa



# Avolouhinta

- Louhintaa avoimen taivaan alla
  - Maisema muokkautuu
- Tyypillisesti aina halvempaa kuin maanalainen louhinta
  - Mitä syvemmälle mennään, sen enemmän louhitaan myös sivukiveä
- Ennen louhintaa kallion pinta paljastetaan
- Tavallisin menetelmä perinteinen pengerialouhinta
  - Työvaiheet: Irrotus (porausta, panostus ja räjäytys), rikotus, louheen lastaus ja kuljetus





# Avolouhinta: Pengerlouhinta

- Etenee tasapaksuin penkerein tasoittain ylhäältä alaspäin
- Tasot yhdistetään ajotein, joita pitkin malmi ja sivukivi kuljetetaan louheautoilla
- Kun kallion pinta on paljastettu, suoritetaan tason avaus
- Kun luiska saavuttaa pohjatason, sitä laajennetaan ja varsinainen louhinta alkaa
- Kun ensimmäistä tasoa on louhittu riittävästi, avataan uusi taso



# Avolouhinnan työvaiheet

- Mittaus- ja vaaitus, maa- ja kallioperätutkimukset
- Maanpoisto
- Poraus, panostus, räjäytys (kova kivi)
- Rikotus
- Louheen lastaus ja kuljetus
- Louheen kuljetus louheautoilla (malmi & sivukivi)
  - murskaamoon/läjitysalueelle
- Murskaus



# Paikalleenräjäyttäminen

- Pengerlouhinnan variaatio
- Malmi räjäytetään paikalleen niin, että kivikasaa ei lastata ennen seuraavaa räjäytystä
- Louhintareivät pystysuoria
- Esim. loivakaateiset malmit, joissa raakkukerros välissä => lastaus kerroksittain
- Juonimalmit
- Massiiviset malmit
  - Sarja räjäytyksiä, jonka jälkeen pitempi tauko => raskaan kaluston liikuttelu vähäisempää räjäytyksiltä suojaan
- Suuri ominaispanostus



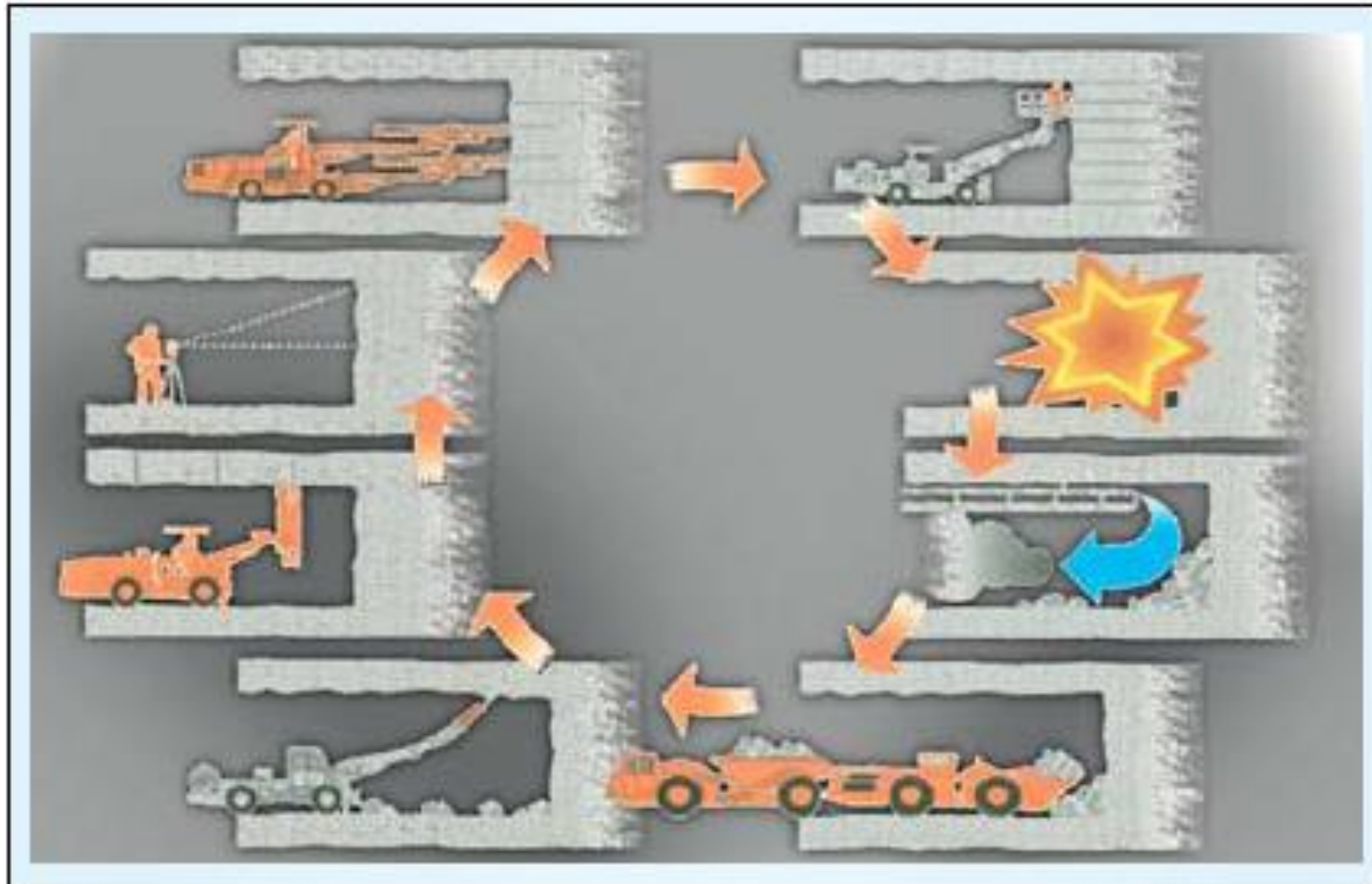
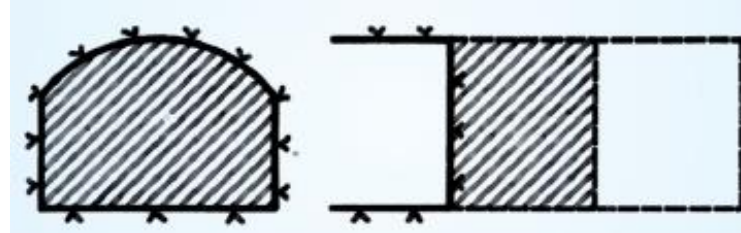
# Maanalaiset louhintamenetelmät: Luokittelu

- Avoimet menetelmät
  - Pilarilouhinta
  - Välitasolouhinta
  - Pengerlouhinta
- Täyttömenetelmät
  - Makasiinilouhinta
  - Lyhytreikäitäyttölouhinta
  - Pengertäyttölouhinta
- Sorrosmenetelmät
  - Levysorroslouhinta
  - Lohkosorroslouhinta
- Muut menetelmät (eivät perustu poraus-räjäytykseen)
- Etäoperoidut menetelmät (esim. Kanadan uraanikaivokset)



Emulsiopanostusajoneuvo Normet Charmec 98 panostustyössä

# Peränajo



*Kuva 704*

*Poraus- ja räjäytysmenetelmän työvaiheet:*

*Poraus, panostus ja kytkenät, räjäytys, tuuletus, kuormaus, kuljetus, rusnaus, kujitus ja injektointi.*

# Pilarilouhinta

- Vaaka- tai loiva-asentoisille esiintymille
- Kattokivi pitää olla suhteellisen lujaa
- Kattoa jätetään tukemaan pilariverkosto, joihin jää yli 30 % malmista
  - Ryöstö- tai täyttölouhinnalla malmitappioita voidaan pienentää
- On periaatteessa peränajoa
- Louhinta etenee yleensä ylhäältä alaspäin
- Louhosten katot pultitetaan varhaisessa vaiheessa
  - Usein myös ruiskubetonointi ja tarvittaessa verkotus
- Tehokas louhintamenetelmä oikeassa ympäristössä

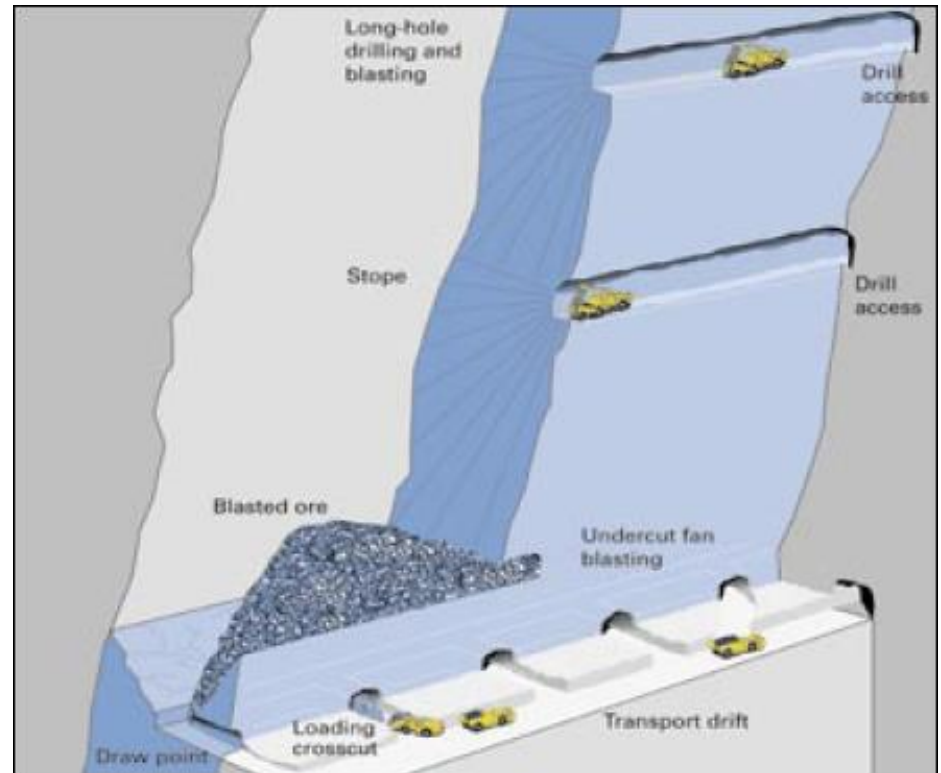


FOTO ROOS

Underground view from the Keretti mine at Outokumpu in 1940. Photo Roos.

# Välitasolouhinta

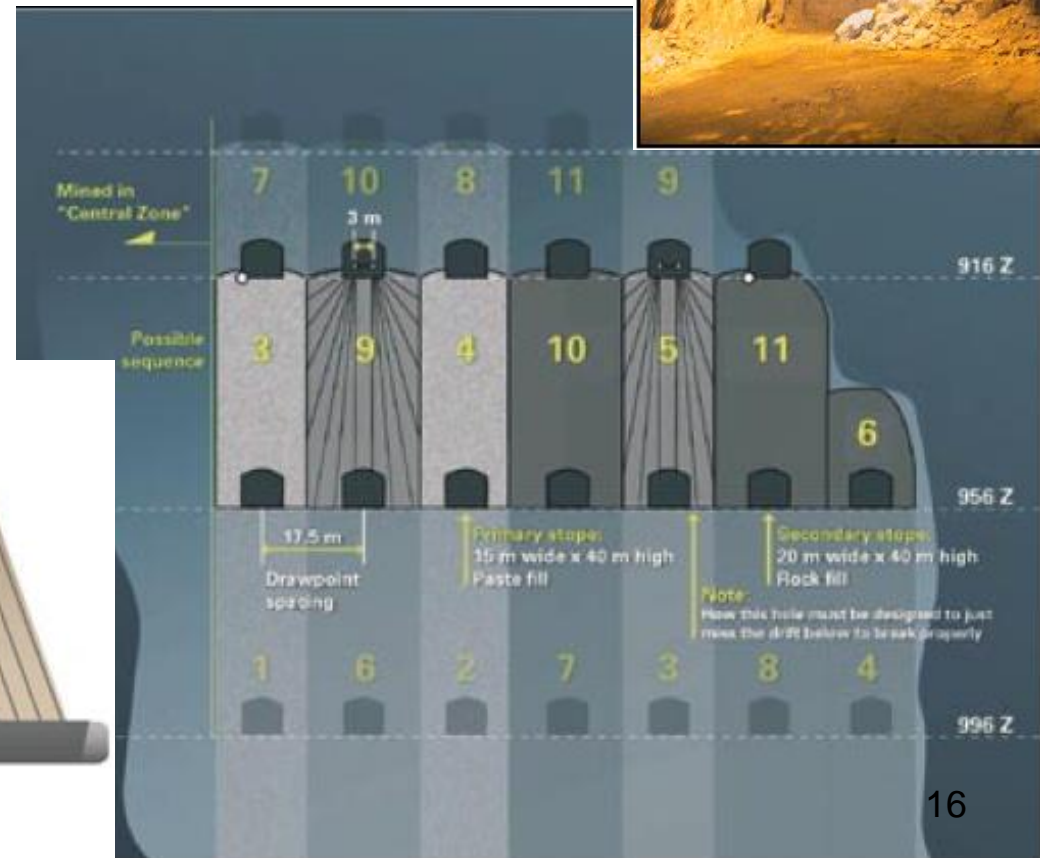
- Suosituin menetelmä Suomessa
- Vaatii lujan malmin ja sivukiven
- Malmin kaade oltava vähintään 50 astetta
- Louhinta tapahtuu 15-40 m tasovälein malmiin ajetuista tasoperistä
- Louhinta etenee tasoittain pohja-avaustasolta eteenpäin
- Kerralla räjäytetään yksi tai useampia viuhkoja
- Malmi lastataan lastaustasolla olevista suppilomaisista lastausaukoista
- Esilujitus tarpeen (vaijeripultitus)
- Louhostäyttö



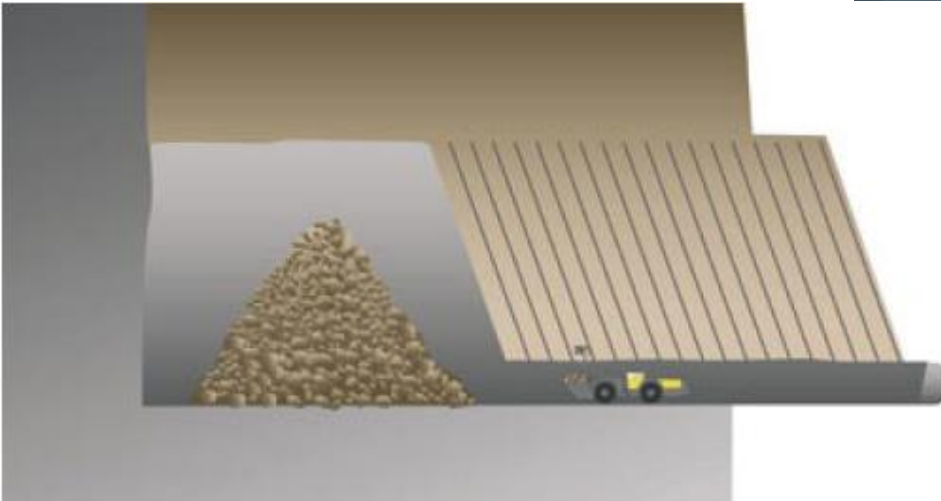
(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)

# Pengerlouhinta

- Välitasolouhinnan sovellus
- Välitasolta louhosporataan vain yhteen suuntaan, joko ylös tai alas
- Louhitaan yksi penger eli tasoväli kerrallaan
- Apuna voidaan käyttää pilareita tai louhostäyttöä



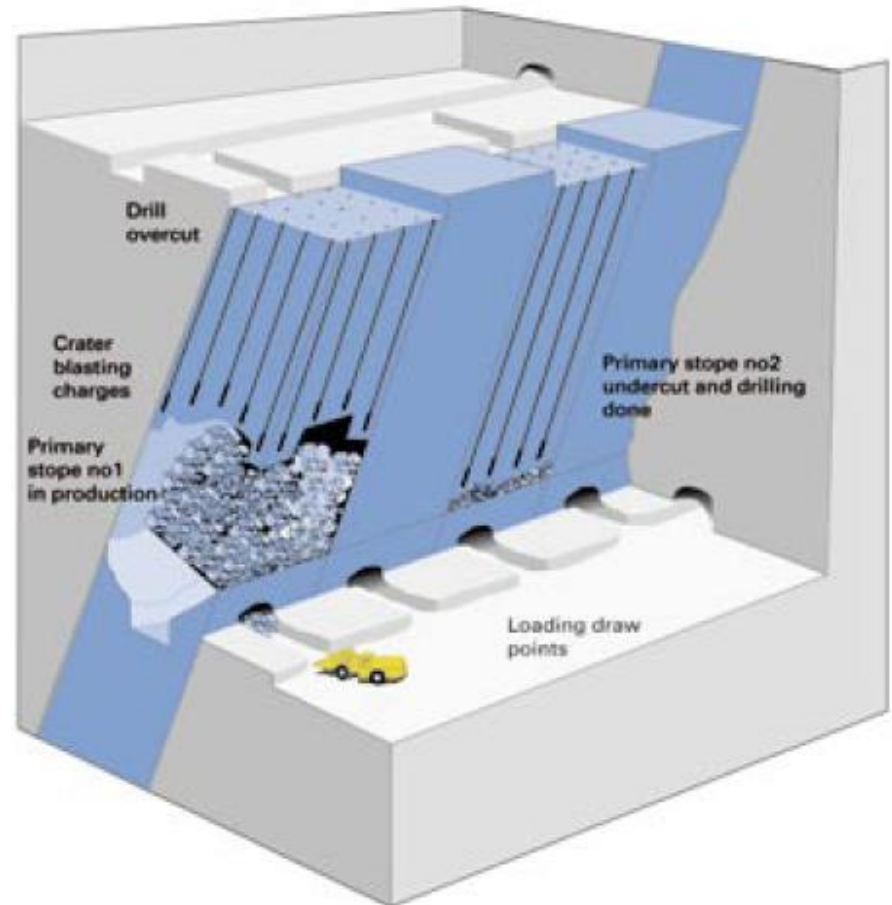
(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)





# Makasiinilouhinta

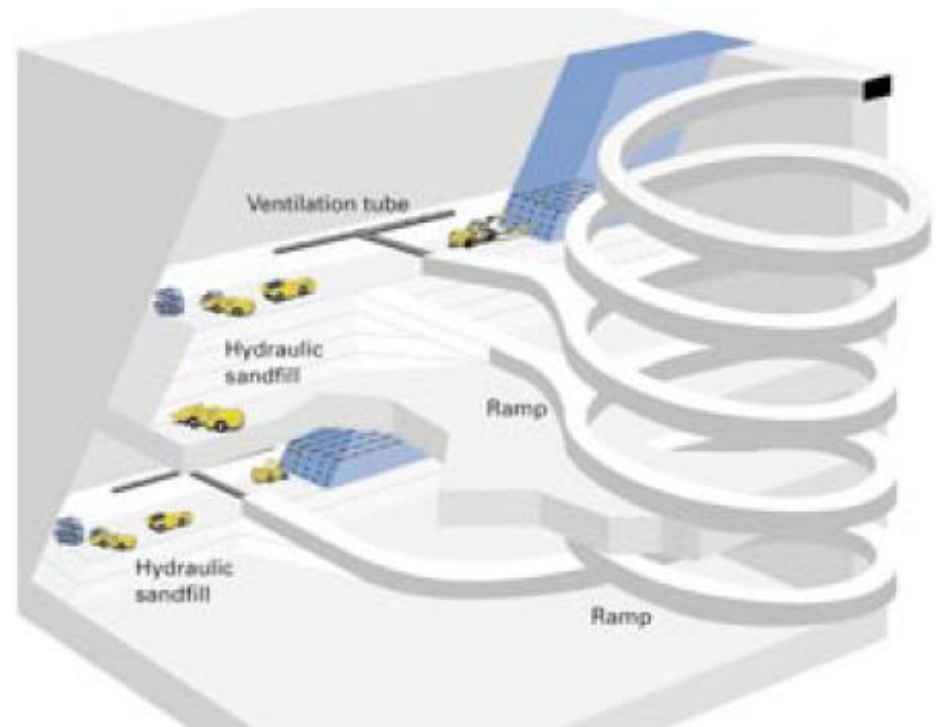
- Avoimien ja täyttölouhinta-menetelmien välimuoto
- Tarkoituksena pitää louhos mahdollisimman täynnä malmilouhetta koko louhinnan ajan
- Tavoitteena estää raakkulaimennus
- Aukaisu, lastaus ja kuljetusjärjestelyt kuin välitasolouhinnassa
- Louhinta vaakasuorina kerroksina
- Louhinta vetäytyen vaiheittain ylöspäin
- Louhinnan aikana lastataan vain n. 40 % malmista
- Tyhjiinlastaus mahd. nopeasti



(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)

# Lyhytreikätyttölouhinta

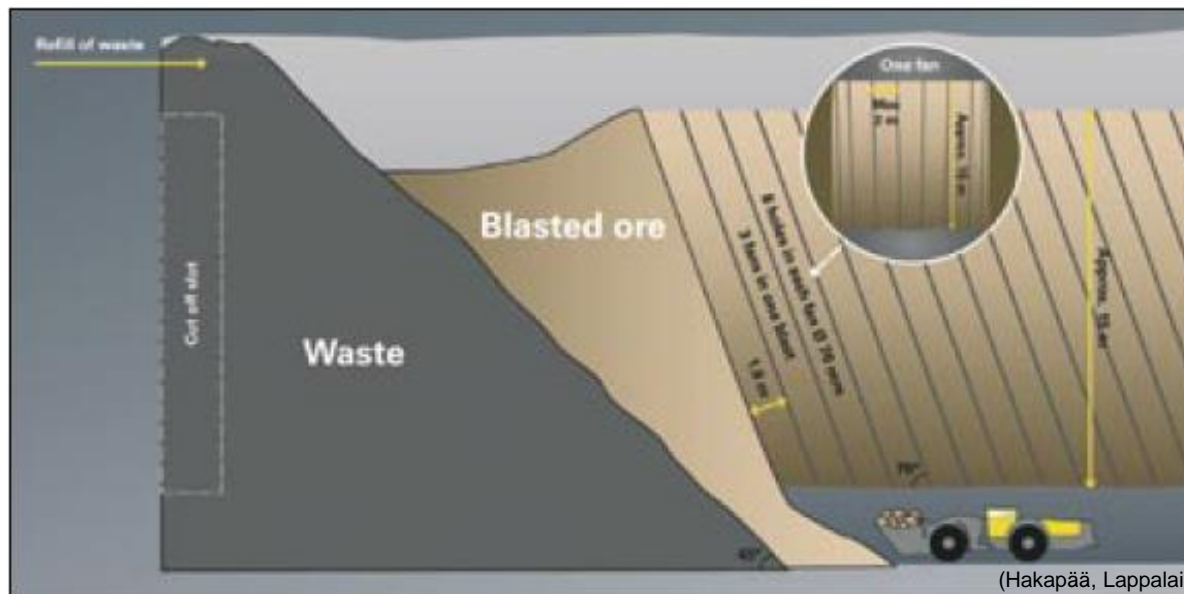
- Tunnelinajoa edeten alhaalta ylöspäin
- Malmi lastataan ja kuljetetaan poikkiperän kautta kuljetusramppiin
- Täyttö, jota käytetään seuraavan kerroksen alustana
- Kallis, hidas, vaatii lujitusta paljon
- Pienet malmitappiot, sopii repaleisten malmien louhintaan



(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)

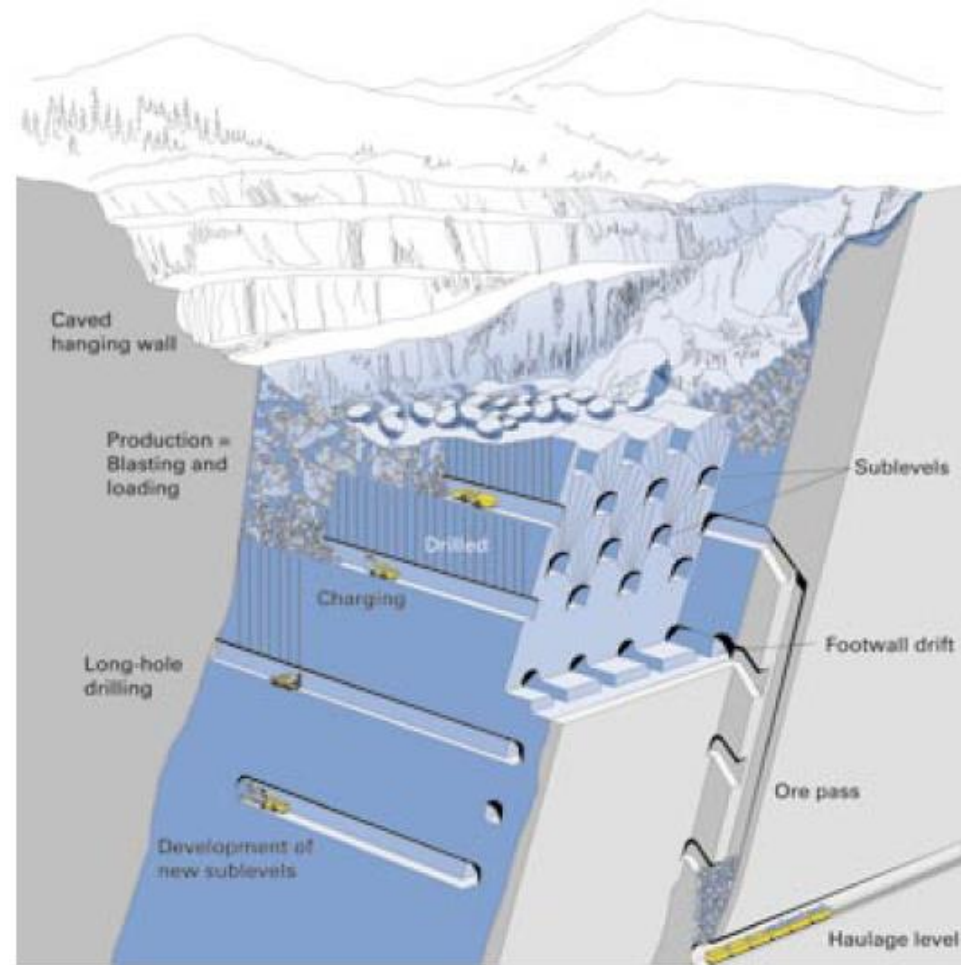
# Pengertäyttölouhinta

- Pengertäyttölouhinta etenee alueellisesti alhaalta ylöspäin, välitasomaisesti
- Louhostäyttö lähes välittömästi
- Louhinnassa voidaan käyttää joko alakätisiä tai yläkätisiä louhintareikiä
- Louhinta etenee pengerlouhintana vetäytyen malmin pituussuunnassa malmia pitkin
- Näin pidetään avoimen tilan jänneväli alhaisena vaakasuunnassa ja estetään seinämien sisäänlohkeilu
- Tasoväli yleensä vain 12–25 metriä
- Tasomalmiperät levitetään malmin täyteen leveyteen, jos mahdollista, ja vaijeripulttitetaan
- Mahdollisuus seurata malmirajoja melko tarkasti



# Levysorroslohuhinta

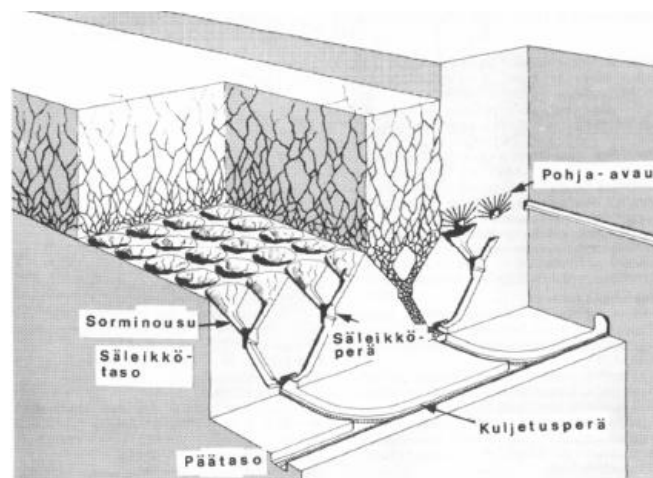
- Malmin ja sivukiven pitää lohkaroitua riittävän pieneksi
- Perustuu poraus-räjähdykseen
- Painumia maan pinnalle asti (ei tyhjää tilaa maan alle)
- Massiivisten malmien menetelmä
- Louhinnassa on neljä työvaihetta:
  1. louhintaperien ajo malmiin vakiolayoutin mukaisesti tasavälein
  2. tuotantoporaus ylöspäin viuhkaporauksena, sortumaan asti
  3. panostus ja räjäytys, tavoitteena tasainen lohkokoko
  4. lastaus vaihdellen lastauskohdetta, tavoitteena tasainen malmin virtaus
- Hallittavuus (malmitappiot, laimennus)



(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)

# Lohkosorroslohinta

- Erittäin massiivisten malmien menetelmä, suuret tuotannot
- Perustuu malmin lohkaroitumiseen kalliojännitykseen ja painovoimaan pohjautuen (ei poraus-räjätystä kuin korkeintaan avustavana toimenpiteenä)
- Valtavat valmistelevat työt (jopa vuosia)
- Suuret alkukustannukset, pienet tuotantokustannukset
- Rakennetaan malmin alaosiin eräänlaiset suppilot, joihin malmi lohkaroituu
- Vaatii tasaisesti rakoilleen malmin



# Kairaus

- Tutkimusmielessä tehtävää porausta
- Ainoa täysin luotettava tapa saada tietoa malmiosta
  - Malminetsintämenetelmät: Geologiset, geokemialliset, geofysikaaliset ja kairaus
- Mitä harvempi porausväli on, sen isommat mahdollisuudet yllätyksiin
- Kairaus: Sydännäyte tai murskenäyte
- Suomessa yleisin kairausmenetelmä on kallionäytekairaus (syväkairaus, timanttikairaus)



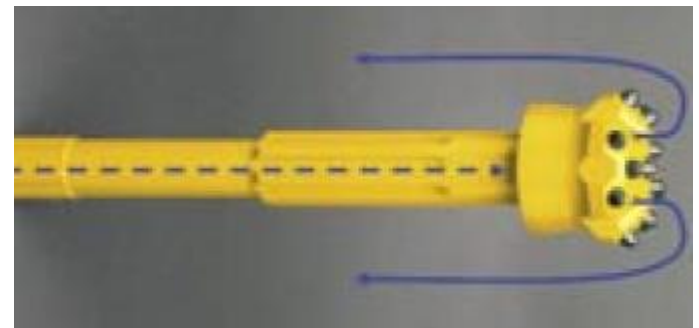
# Kallioporaus

- Iskuporaus, uppoporaus, iskuporaus putkitankokalustolla, kiertoporaus



# Kallioporaus

- Veden merkitys
  - Porasoijan poisto (vedellä tai ilmalla)
    - Vesi maan alla
    - Avolouhinnassa myös ilma
  - Laakerointijärjestelmän jäähdytys ja puhtaanapito
- (Isku)energian siirtyminen kallioon
  - Suora jatkuva kontakti kallioon
- Terän rakenne
  - Nastaterät ja kokopalaterät



(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)



# Tuotantoporauslaitteet



Kolmipuominen tunnelinporauslaite



Puomimallinen tuotantoporauslaite



Porari Sandvik DT920i jumbossa

# Kuilunajo

- Tuuletuskuilut, malmin nostokuilu, henkilö- ja tavaranojien kuilut, vesiputkien ja sähkö- ja tietoliikennekaapeleiden kuilut
- Pystysuoran tai jyrkän kuilun rakentamista ylhäältä alaspäin
- Voidaan tehdä eräänlaisena ”peränajona”
- Häiriötekijät (esim. ruhjevyyhykkeet, vesivirtaukset) vievät paljon yleensä aikaa



# Kaivoksen lujitus

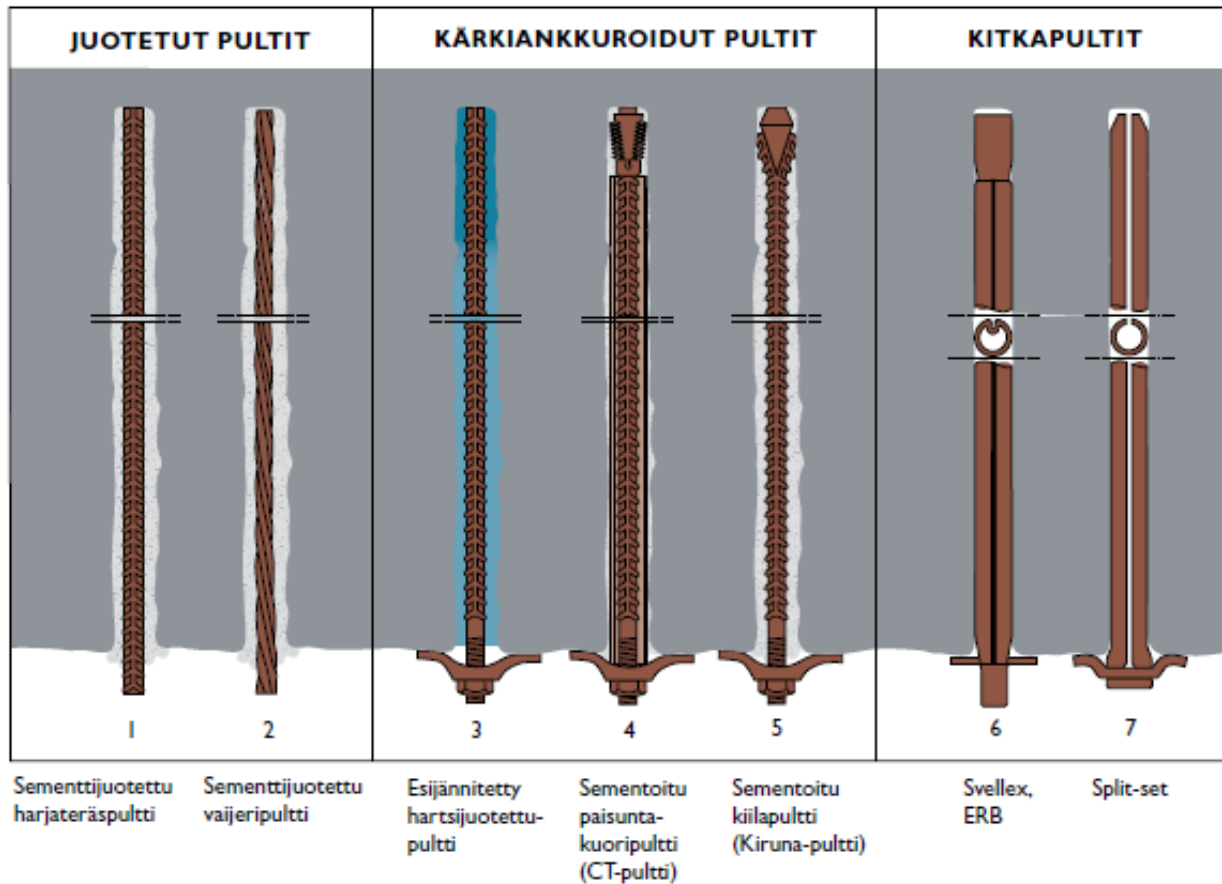
- Kattopultitus ja vaijeripultitus
- Ruiskubetonointi
  - Teräskuidut tarvittaessa apuna
- Verkotus
- Teräskaaret
- Kaivostäyttö, rusnaus ja injektointi (injektoinnin ensisijainen tarkoitus ei ole lujittaa)
- Korroosion merkitys
  - Hyvin sulfidisessa kivessä pohjaveden pH alenee, jopa ilma voi olla joskus korrodoivaa



*Tunnelikatton sortuma pysäytetty pinnoitavalla lujituksella (kuituruiskubetonointi –verkotus-kiikapultitus, aluslevyllinen vaijeripultitus); Lähde:Hituran Kaivos*

(Hakapää, Lappalainen: Kaivos- ja louhintatekniikka)

# Pulttityypit



- Betonijuotettu harjateräspultti
- Hartsipultti
- Lasikuitupultti
- Kiilapultti
- Paisuntakuoripultti
- Kitkapultti (Split Set, Swellex)
- Yhdistelmäpultti
- Vaijeripultti (teräspunos-pultti)

# Vaijeripultitus

- Suurten kivimassojen lujittamiseen
- Käyttö kuten kalliopulteilla
- Pituus yli 40 m, asennus myös pienestä tilasta
- Muodonmuutokset kalliossa aiheuttavat jännityksen
- Asennus ennen louhintaa tai sen jälkeen
- 7-säikeinen jännepunos
- Lujuus 3-kertainen harjateräkseen verrattuna



# Ruiskubetonointi

- kuiva- ja märkämenetelmä
- kuitubetoni (teräs- ja muovikuidut)
- ruiskutettavat kohteet usein pieniä (m<sup>3</sup>)
- ruiskutuskaluston liikkuvuus tärkeää tehokkuuden kannalta
- kaluston pesu ja huolto tärkeitä
- myös pinnan esikäsitteilyt ja puhdistus tärkeitä



# Rusnaus

Kuva 11.4

*Mekanisoitu rusnauslaite.*



- Turvallisuus lähtökohtana
- Mekaanisella ”kynnellä” tai ”rullalla” tehtävä irtonaisen kiviaineksen irrottaminen kallion pinnasta komuriskin pienentämiseksi (komu= kattopinnasta irtoava kivi)
  - joskus myös painevedellä (> 200 bar), ”painepesuri”, joka on usein liitetty ruiskubetonipuomiin
- Rusnaustyöt
  - välitön louhintatyövaiheeseen liittyvä rusnaus
  - kalliomekaanisten tai seismisten tapahtumien vaikutusalueiden tarkastukset
  - aktiivisten tuotanto- ja työalueiden tarkastukset
  - pitkäaikaisten tilojen tarkastukset

# Injektointi

- Tarkoitus tiivistää vedentulon rajoittamiseksi
- Kaivosten tilapäisiä tiloja ei yleensä injektoida
- Ei ole useinkaan järkevää tiivistää jotain tilaa täydellisesti
- Lujittaa kalliota täyttämällä avoimia rakoja
- Injektointitarve suurin lähellä kallion pintaa
- Esi- tai jälki-injektointi
- Keskitytään isoimpiin reikiin
- Ei ole varsinaisesti lujitusta, vaikka perustuukin sementin käyttöön (esim. rakennussementit)
- Voi vaikuttaa ympäristöön
  - Pohjaveden pinnan muutokset
  - Maanpinnan alentuminen
  - Kaivojen ja kasvillisuuden kuivuminen



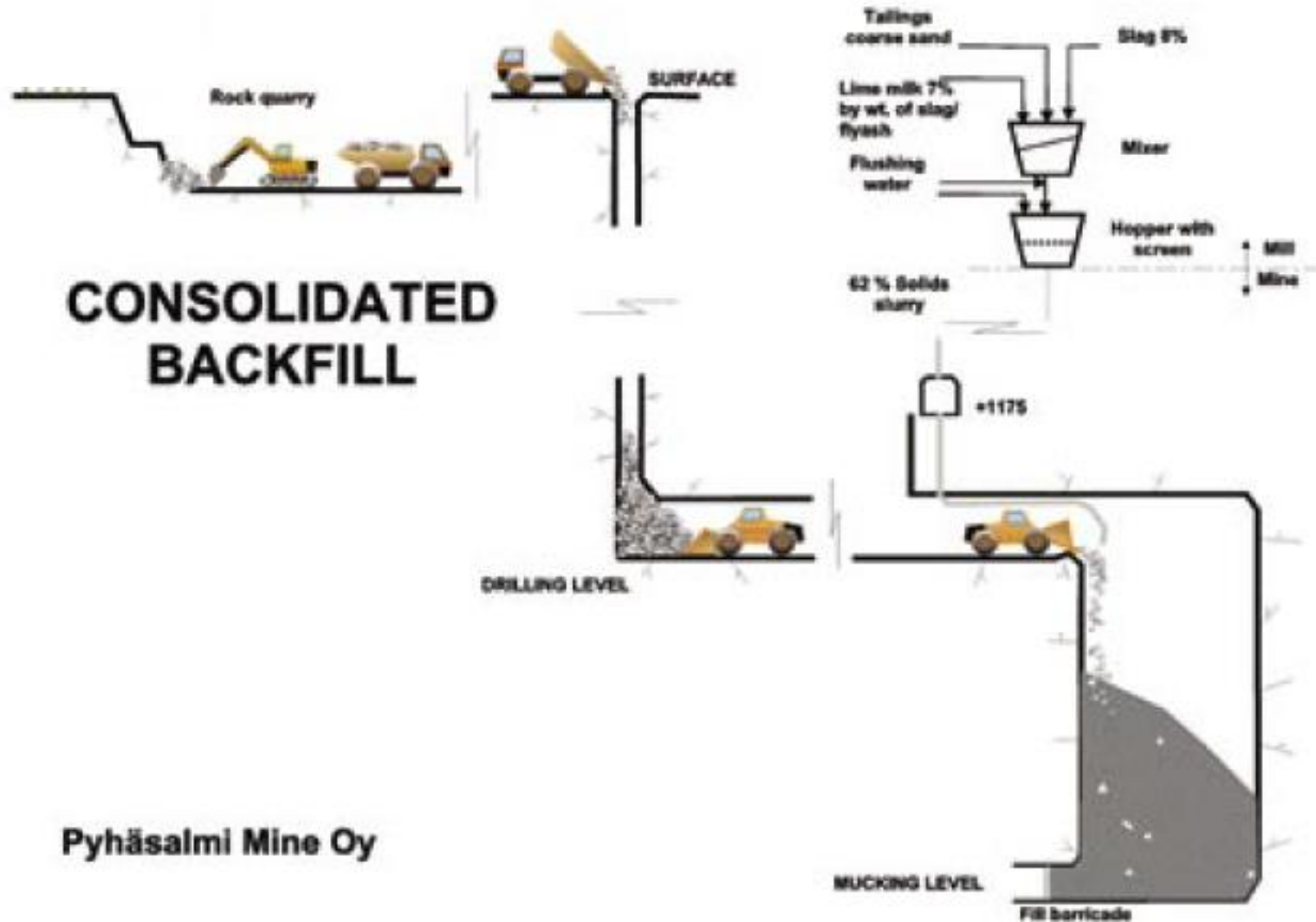


# Kaivostäyttö

- Nykyään tuetaan täyttömateriaalilla maanalaisen kaivoksen eri osia
  - Kun tuetaan muu alue, voidaan esim. malmipilarit louhia pois
  - Ennen ensisijainen tarkoitus oli lähinnä päästä eroon hyödyttömästä materiaalista
  - Ympäristönäkökohdat (rikastushiekka-altaat)
- Tyhjät tilat maan alla kaivosten tapauksessa useimmiten vain väliaikaisia tiloja
- Toteutustapoja useita
  - Hydraulinen täyttö, sivukivitäyttö, pastatäyttö
  - Esim. rikastushiekka + sideaine + sivukivi (kovettuva täyttö)



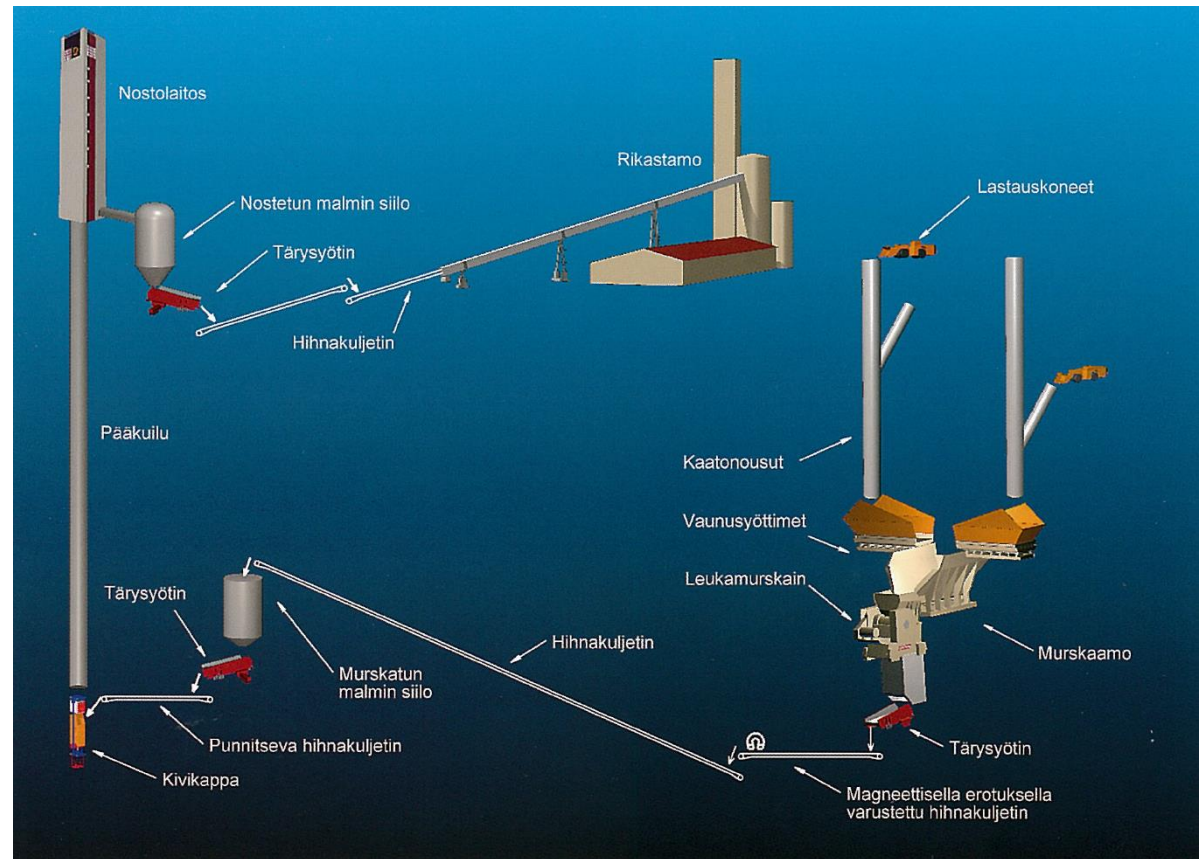
# Pyhäsalmen kaivoksen täyttömenetelmä



Pyhäsalmi Mine Oy

# Louheen kuljetus maanalaisesta kaivoksesta

- Kuljettimet
- Pyöräkalusto (kuorma-autot, dumpperit, LHD-kalusto)
- Kappanosto
- Automaatio



Pyhäsalmi Mine

# Lastaus ja kuljetus

- Pyöräkuormaajat
  - Kuljetusväline pitää saada lastattua n. 4 – 6 kauhallisella
- Kaivinkoneet
  - Isoimmat jopa 1200 tonnin koneita
  - Pistokauha vs. kuokkakauha
  - Hydraulinen vs. sähkömekaaninen
- Kuljetus: Kuorma-autot, runko-ohjatut dumperit, louhosautot (jopa 350 tonnin kapasiteetti)
  - Teiden mitoitus!
- Apukalusto (teiden ja lastauspaikkojen kunnossapito, rikotus, renkaiden käsittely)
  - Rammerit, puskkoneet, tiehöylät...



# Kaivostuuletus

- Yleistuuletus vs. paikallistuuletus
- Puhaltava, imevä vai yhdistelmätuuletus (paikallistuuletuksessa)
- Dieselkaluston määrä ratkaisevaa (1 litra polttoöljyä => 1 kuutio pakokaasuja)
  - esimerkiksi Pyhäsalmissa ~150 m<sup>3</sup>/s
  - määrää lisätään 30-50 % vuotojen takia
- Pölyntorjunta
- Maanalainen kaivos on muuttuva kohde!
- Tuuletustarve:
  - pakokaasujen ja räjähdyskaasujen laimentaminen
  - muiden vaarallisten aineiden (esim. radon, metaani) laimentaminen
  - pölyntorjunta
  - riittävän ilmamäärän ylläpito
  - Jäähdytys/ lämmitys

# Kaivoksen vedenpoisto

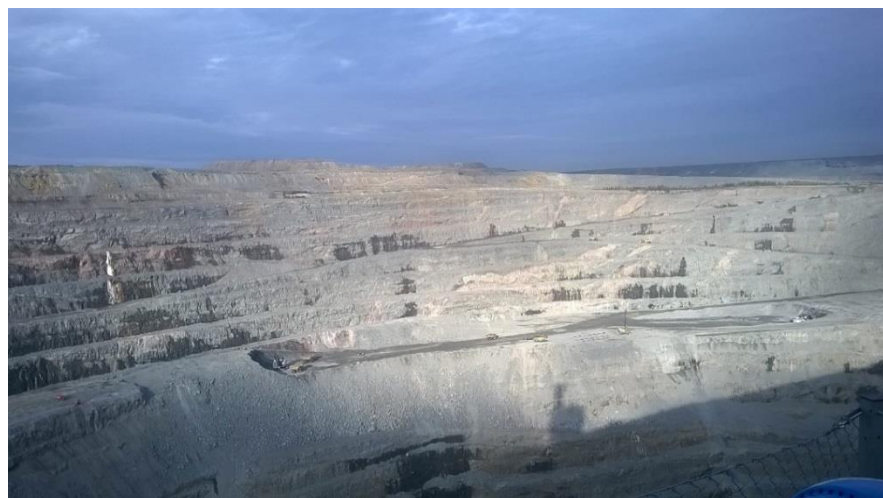
- Kaivokseen tulee suunnilleen yhtä paljon vettä kuin sieltä louhitaan kiveä
  - Pyhäsalmi: Louhinta 1,4 milj. t, veden pumppaus 850 000 m<sup>3</sup>
- Pumppauksen toteutus
- Kalliotiloihin tuleva vesi
  - Pohjavesi
  - Pintavesi
  - Porausvesi
  - Kaivostäytön suotovesi

Pyhäsalmen kaivoksen +645-pumppaamo



# Kaivosturvallisuus

- TUKES valvoo
- Ilmanvaihto, vedenpoisto
- Tulipalo
- Radon
- Pöly (esim. asbesti, kvartsi)
- Kaivostäytön turvallisuus
- Räjähdykset



# Kaivosten ympäristövaikutukset kaivostoiminnan aikana

- aloitusvaiheessa maiseman muuttuminen ja kasvillisuus- ja eliöstövaikutukset
- pölyäminen (avolouhinta ja haitta-aineita (esim. asbesti ja arseeni) sisältävät kivet)
- melu
- sade + pöly → pintaveden paikallista likaantumista
- vaikutuksia pohjavesiin ja etenkin pohjavesien pintaosaan
- vesi → mineraalien rapautuminen ja liukeneminen, seurauksena esim. pohjaveden happamoitumista sulfidipitoisessa kallioperässä
- maansiirtotyöt ja läjittäminen → maiseman muutokset, pinta- ja pohjavesien virtausmuutokset
- rikastushiekka → maiseman muutokset, pölyäminen
- sulfidipitoiset sivukivet → voi muodostua rikkihappoa, ja sivukiven sisältämät raskasmetallit voivat liueta ja joutua pohja- ja pintavesien mukana ympäristöön