

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Kallionäytekairaus – menetelmät ja tarkoitus

Esimerkkinä Länsimetro

Juha U. S. Jokinen, Tekn. lis., Fil. maist.

Projektipäällikkö, Insinööritoimisto POHJATEKNIikka Oy

JuhaUS.Jokinen@pohjatekniikka.fi

Onnistuneen rakentamisen edellytyksenä on hyvä suunnittelu. Hyvä suunnittelu tarvitsee monipuolisia lähtötietoja. Kallioperästä kairaamalla otetut näytteet tarjoavat tietoa suoraan kalliosuunnittelun ja välillisesti urakalaskennan tarpeisiin.

Yleistä kallionäytekairauksesta

Kallionäytekairaus on hiertävän kiertoporauksen periaatteella toimiva näytteenottomenetelmä. Kiiveä leikataan painamalla ja pyörittämällä timantein varustettua teräkruunua kairausputkiston avulla kallioon. Timantit naarmuttavat renkaanmuotoista uraa kiveen ja syövät tietään kiven läpi noin 2,5 metrin tuntinopeudella, teräkoosta riippuen. Putkistoon samanaikaisesti pumputtava vesi huuhtelee irronneen kivijauheen, ns. soijan, pois reiästä sekä huolehtii terän ja putkien jäähdytyksestä niiden pyöriessä kiiveä vasten. Kallionäytekairauksella saadaan mm. tarkka tieto kallionpinnan sijainnista ja kallion laadusta kairatulla osuudella. Kallionäytekairaukselta kutsutaan varsinkin malminetsinnästä syväkairaukseksi, mutta yleisemmin timanttikairaukseksi tai kallioikairaukseksi. Termiä poraus ei häiriintymättömän kallionäytteen ottamisesta käytetä, sillä se liittyy iskeviin ja murskaaviin porausmenetelmiin, joiden päätuotteena on pelkkä reikä kalliossa.



Suomen Malmi Oy

Kuva 1. Kairauskone miehistöineen töissä Länsimetron tunneliliinjalla v. 2009.

Suomessa kairataan vuosittain n. 400 km kallionäytetiereikää. Pääosa eli 370 km tuosta määrästä liittyy malminetsintään tai kaivostoimintaan, mutta loput eli 30 km on rakennusgeologista kairauksista. Rakennusgeologiset kairaukset puolestaan jakautuvat esimerkiksi kalliotilojen rakentamisen ja infrastruktuuriprojektien suunnitteluun liittyviin kairauksiin.

Kallioikairauksitoiminnasta vastaavat puolisen tusinaa urakoitsijaa, joilla on vähimmilläänkin useiden vuosien kokemus kallionäytteenotosta.

Kairaustekniikasta

Putkista alimmaisena on erikoisrakenteinen terä- eli näyteputki. Teräputken alapäässä on hiertotyön tekevä timanttikruunu. Kruunukokoja on useita, mutta yleisin kallioteknisissä näytekairauksissa on ulkohalkaisijaltaan 56 mm. Sillä saadaan läpimitaltaan 42 mm:n näyte. Irta leikkautunut, alapäästään kalliossa kiinni oleva kivinäytetierä tunkeutuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta koostuvaan näyteputkehen. Näyte ohjautuu murtorengaspesän ja -holkin kautta sisempään putkehen. Sisäputki on laakeroitu pyörimättömäksi ulkoputken suhteen eli näyte "nousee" häiriöttömästi putkehen.

Kairatun reiän säilyminen vakioläpimittaisena on tärkeää. Siitä huolehtii teräkruunun yläpuolelle asennettu timantein varustettu kalvain, joka hioo reikäseinämää ja estää reiän muodostumisen loivasti alaspäin suppenevaksi kartioksi.

Teräputken pituus on yleensä kolme metriä, mutta putkia pituudeltaan 1,5 m, 4,5 m ja 6 m voidaan myös käyttää. Kun näyteputken mitta on kairattu alaspäin, putki pitää tyhjentää. Kairaus pysäytetään ja kairaaaja mittaa maanpinnan yläpuolisen putken pituuden eli jäännöspituuden. Putkia aletaan nostaa ylös. Tällöin murtorengas lukittuu näytteen ympärille, katkaisee kivinäytteen reiän pohjasta ja estää näytteen liukumasta takaisin reikään. Putkistoa nostetaan ylös, ajoputkien liitokset avataan 6 tai 9 metrin välein ja teräputki näyteineen saadaan maanpinnalle. Kruunu kierretään auki, murtorengas ja holkki irrotetaan ja näyte liu'utetaan putkista ulos ja katkotaan sopiviksi pätkiksi näytteen levyillä lokeroilla varustettuun näytelaatikoon. Reiän syvyyden laskemiseksi ajoputkien lukumäärä kerro-



Kuva 2. Timanttikruunu, kalvaimet ja teräputki.

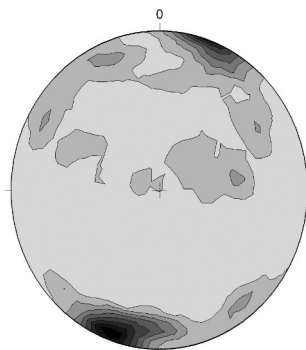
taan niiden pituudella, tuloon lisätään teräputken pituus ja tuloksesta vähennetään jäännöspituus. Erotus on se syvyys, jolla timanttikruunu oli nostoa aloitettaessa. Kairausta jatkettaessa putket lasketaan reikään ja putkijonoon lisätään tarpeen mukaan yksi tai useampia putkia.

Malmikairauksissa ja varsinkin pehmeissä tai heikkolaatuissa kallioissa syviä reikiä kairattaessa ja kun voidaan olettaa, että timanttiterä pysyy hyvin leikkaavana pitemmän matkan kuin kovissa kallioissa, kairataan mielellään ns. wire line -tekniikalla. Siinä käytetään joko kaksois- tai kolmoisteräputkea. Näyteputken tyhjentämiseksi kummassakaan tapauksessa koko kairausputkistoa ei nosteta ylös, vaan ajoputkien läpi lasketaan reikään vaijeri, jonka alapäässä oleva lukitusmekanismi ottaa kiinni sisäputkeen, ja vain näytteen sisältävä putki vinsataan ylös.

Mittauksia: vesimenekkimittaus

Rakennusteknisen kallionäytekairauksen yhteydessä tehdään yleensä myös vesimenekkimittaus. Usein käytetään ns. 1-tulppamenetelmää, jolloin reiän pohjalta mittausvälin, usein 3 tai 6 m, pituinen osa suljetaan tulpalla, joka puristetaan paikoilleen ajoputkilla. Tulpatulle välille pumpataan kahdella tai kolmella vakioylipaineella vettä vakioajan verran. Kullakin paineella reiän kautta kallioon mennyt vesimäärä mitataan. Tästä saadaan laskettua ns. vesimenekki, Lugeon-arvo, joka ilmoittaa, montako litraa vettä kallioon meni mittausvälin metriä, minuuttia ja paineyksikköä kohti.

2-tulppamenetelmää käytettäessä reikä voi olla jo koko pituudeltaan valmiiksi kairattu. Nyt käyte-



Kuva 3. Alapalloprojektioesitys rakosuunnista näyttää päärakosuunnat ja rakosuuntien lukumäärän.

tään kahta tulppaa, jotka sijoitetaan mittausvälin päähän toisistaan. Tulpat lasketaan reikään, pullistetaan joko mekaanisesti tai painekaasun avulla ja suoritetaan vesimenekin mittaus kuten edellä. Aukottoman vesimenekkiprofiilin luomiseksi reiästä seuraava mittauskohta valitaan siten, että tulpattava alue osin kattaa edellisen mittausalueen.

Rakosuunnat selville

Huolellisesti toteutettuna kairattu näyte on häiriintymätön näyte kallioista, varsinkin mikäli se on otettu, kuten sanotaan, suunnattuna. Näyte kaikesta huolimatta pyrkii pyörähtämään kairattaessa ja sitä käsiteltäessä, ja tällöin näytteen sisältämät suuntatiedot katoavat. Näytteen alkuperäisen asennon määrittäminen on mahdollista vinoasentoisissa rei'issä. Tällöin, kun edellinen näyte on nostettu, lasketaan reikään merkkausepiikki, jolla merkitään reiän pohjan alin kohta. Kairausta jatkettaessa tämä merkki saadaan ylös ja nyt näytettä tutkiva geologi voi päätellä, mikä puoli näytteestä on ollut alaspäin. Näyte voidaan suunnata merkitsemällä näytteen ylin tai alin puoli näytteen kylkeen vedettävällä viivalla. Tätä viivaa, mittausasteikoita ja laskentaohjelmaa hyväksikäyttäen saadaan tieto näytteeseen sisältyvien suuntasuureiden kompassisuunnista. Merkittävin suuntaominaisuus on reiän lävistämien luonnonrakojen suunta. Muita ovat lineaatiot ja foliaatiot eli viivamaiset ja tasomaiset suuntasuureet, kuten venymä ja liuskeisuus.

Kallion jännitystilamittaus

Toinen mittaus, joka tehdään kairatussa kallioreiässä, on kallion jännitystilamittaus. Mittauksen periaate ja menetelmät edellyttävät, että nämä reiät on kairattu varta vasten.

Menetelmät ovat periaatteensa puolesta jaoteltavissa kahteen luokkaan: irtikairausmenetelmät ja hydraulisen murtamisen menetelmät. Irtikairausmenetelmissä kallioon kairataan pieniläpimittainen reikä haluttuun mittausvyvyteen. Reikään asennetaan mittakenno, jonka venymäliuska-antureiden suunnat tunnetaan. Liuskat liimataan kiinni reiän seinämään. Sen jälkeen kairataan mittakenno irti kallioista suuriläpimittaisella terällä eli vapautetaan mittakennon kohta ympäröivästä kalliomassan puristuksesta. Mittauksen ajan venymäliuskojen vastusarvoja seurataan tiedonkeruulaitteella. Lähtöarvojen ja irtikairauksen jälkeisten vastusarvojen muutoksesta lasketaan kalliossa vaikuttava jännitystilä ja suunta.

Hydraulisen murtamisen menetelmissäkin tarvitaan kallioon kairattua reikää. Menetelmien periaatteena on aikaansaada ehjään mittauskohtaan hydraulisesti murtamalla rako, jonka oletetaan syntyvän reiän tasossa vallitsevaa pienintä jännitystilaa vastaan kohtisuoraan suuntaan. Mittauskohta eristetään paisuntatulpilla. Paisuntatulppien väliin pumpattavan veden paine avaa tietyllä paineen arvolla kallioon raon. Paisuntatulpissa käytetty paine ja raon avaamiseksi tarvittu paine rekisteröidään. Rako avataan vielä uudelleen kaksi tai kolme kertaa. Näiden paineiden avulla lasketaan reiän tasossa vallitseva jännitystilä. Jännitystilän suunnan määrittämiseksi murrettuun kohtaan vaihdetaan tulppa, joka paisutetaan tiiviisti reikäseinämiin. Raot jättävät jälkensä tulpan pehmeään ulkokuoreen, ja kun tulpan suunta reiässä on tunnettu, voidaan avautuneiden rakojen suunnat mitata ja tätä kautta määrittää pääjännitysten suunnat reiän tasossa.

Jännitystila aiheutuu muutamista tekijöistä, joista keskeisiä ovat: mannerlaattojen saumakohdissa vaikuttavan törmäyspaineen synnyttämä jännitys, maan kohoaminen ja maankuoren alla tapahtuvat sulan kivinauksen liikkeet. Jännitystila on kolmiulotteinen, ja sitä kuvataan kolmen toisiinsa nähden kohtisuoran pääjännityskomponentin avulla. Mittauskohdan suurin ja pienin jännitysarvo edustavat siinä vaikuttavaa suurinta ja pienintä pääjännitystä. Keskimmaisen pääjännityksen suunta määritetty suurimman ja pienimmän pääjännityksen edustamaa tasoa vastaan kohtisuoraan suuntaan. Suomessa kallion jännitystilän suurin komponentti kallion pintaosassa on usein vaaka-asentoinen, mutta suunnaltaan ja suuruudeltaan vaihteleva. Merkittävien heikkousvyöhykkeiden tuntumassa pääjännityksen suunta joko yhtyy heikkousvyöhykkeen suuntaan tai on sitä vastaan kohtisuora.

Kallion jännitystilän suunnan ja suuruuden tuntemisella on merkitystä kallioon suunnittelutavien tilojen asennon ja lujuuksen suhteen. Mikäli mahdollista, kalliotilojen pituussuunta tulisi sijoittaa



Kuva 4. Jännitystilamittaus käynnissä.

suurimman vaakajännityksen suuntaiseksi, sillä tällöin ikään kuin minimoidaan se kalliotilaan sisältyvä, vapaa tukematon pinta, johon voima voi kohdistua.

Tuotteet

Kallionäytekairauksen pääasiallisena tuotteena saadaan kairattu kallionäyte eli kairausnäyte. Näyte tunnetaan myös nimillä kairasydännäyte tai sydännäyte, mutta rakennusgeologinen terminologia ei näitä käytä.

Toisena tuotteena on sileäseinämäinen reikä kalliossa. Reikä ei ole pelkkä sivutuote vaan usein myös tavoite, sillä yhden tai mieluummin useamman reiän avulla voidaan lähemmin tutkia kallion ja sen sisältämien kivilajien ominaisuuksia geofysikaalisin mittauksin. Myös kallion hydraulisten ominaisuuksien eli kalliopohjaveden käyttäytymisen tutkiminen edellyttää tutkimusreikää. Käyttämällä useammista tutkimusalueen rei'istä saatuja mittaustuloksia voidaan kallion kivilajijaksoja, rakenteita ja pohjaveden virtauksia mallintaa ja luoda kallioista kolmiulotteinen kuva kaikkine ominaisuuksineen. Suomessa on tällä tekniikan alalla tehty Ruotsin rinnalla yleismaailmallisesti tarkastellen menetelmien ja laitteiden huippututkimusta ja kehitystyötä liittyen mm. käytöstä poistetun ydinpolttoaineen sijoituspaikkatutkimuksiin.

Näytteet pöydällä

Kairauksen jälkeen kiviinäytteet tutkitaan ja laaditaan raportti. Sitä varten kairauskohteelta tuodaan näytelaatikat geologin tutkittavaksi. Kätevimmin tutkiminen käy telineessä eli ”pöydässä”, johon saa kerrallaan 6–8 laatikollista näytettä. Geologin tärkeitä työkalu ovat silmät, mutta kokemuksen myötä kasvanutta asiantuntemustakin tarvitaan. Geologi määrittelee näytteen kivilaatu- ja rakoilutekijöiden



Kuva 5. Näytteet raportoidaan ja valokuvataan.

perusteella kalliolaadun kyseessä olevassa kairauspisteessä. Määriteltäviä tekijöitä ovat: kivilaji, päämineraalit, rapautuneisuusaste, osasten järjestyneisyys, liuskeisuusaste, raekoko, katkossumma, rakoluku eli luonnonrakojen lukumäärä metriä kohden, rakojen keskinäistä etäisyyttä kuvaava RQD-luku, rakokulmat, rakotäyte, haarniskaraot, nostot, näytehukka, kallion laatuluvun eli Q-luvun rakopin-tojen laatua ja rakosuuntien lukumäärää kuvaavat osatekijät Ja, Jr ja Jn sekä vesimenekkimittauksen tulokset. Q-luvun laskeminen osatekijöineen on lähemmin esitetty mm. artikkeleissa [1].

Näytteen tutkimusjärjestys voidaan valita melko vapaasti. Yksi tapa on selvittää suuntausmerkit näytteistä, vetää suuntaviiva näytteen kylkeen näytteen päitä toisiinsa sovitellen. Sen jälkeen mitataan rakosuuntien laskentaohjelmassa tarvittavat kulmasuureet ja tallennetaan tiedot yhdessä syvyystiedon ja rakopintaparametrien Ja ja Jr kanssa taulukkoon. Taulukon valmistuttua tiedot siirretään reikätulosteen liitelomakkeille. Sitä ennen reikätulostelomakkeelle on tallennettu metrin tarkastelu-väleittäin edellä luetellut tekijät. Lisäksi tulosteesseen piirretään vesimenekkimittausten tulokset sekä tilastollinen esitys mitatuista rakosuunnista rakojen pintanormaalien alapalloprojektion. Lopuksi lomakkeelle laaditaan tutkittuun näytteeseen perustuva kivilaatu-, rakoilu- ja kalliolaatukuvaus, jossa kallion rakennetyypin esitys on keskeinen tekijä.

Tiedon käyttö

Kallionäytekairauksella hankittujen tietojen käyttö voidaan nähdä kaksitahoisena. Yhtäältä tutkituista kallioalueista saadaan dokumentoitua tiedot, jotka koskevat kalliolaatua eli kivilajeja, niiden koostumusta ja rakennusgeologisia ominaisuuksia, pohjavettä ja kallion vedenjohto-ominaisuuksia sekä silloin, kun jännitystilaa on mitattu, kalliossa vallit-

sevia voimia. Nämä ovat tietoja, joilla on välitöntä käyttöä kalliotiloja sekä niiden lujitusta ja tiivistystä suunniteltaessa. Tiedoilla saadaan luotua erilaisia kallio- sekä rakomalleja ja näiden avulla sijoitettua, silloin kun muut puitteet sen sallivat, suunniteltavia tiloja näihin kallioalueisiin.

Toisaalta tutkimustiedoilla on merkityksensä toteuttamisen kustannusten suhteen. Riittävät kalliolaatukuvaukset liitetään urakoitsijoille osoitet-taviin tarjouspyyntöasiakirjoihin, jotta urakoitsijat osaavat tarjouslaskennassa ottaa huomioon kallio-olosuhteista aiheutuvat kustannustekijät. Tiheään rakennetuilla alueilla, kuten Helsingin alla, tilojen suunnittelu vaatii kompromissien tekoa rakennus-geologisten seikkojen sekä olemassa olevien tunneleiden ja kalliotilojen välillä. Korkealaatuisen kal-liotiedon tarve korostuu tällöin.

Alla esitellään lyhyesti Länsimetron suunnittelu-vaiheen tutkimuksissa toteutuneita poraus- ja kai-rausmääriä. Koko Helsingin metron läntisen jätkeen suunnittelu tuotti poikkeuksellisen runsaan määrän tietoa, joka tallennettiin tietokantaan, käytettäväk-si ei ainoastaan metrotunnelien suunnittelutyössä vaan tulevaisuudessa myös muissa tarkoituksissa.

Länsimetron

Metroradan laajentaminen länteen on Vuosaaren sataman ja Kehäradan ohella yksi suurista Helsingin seudun infraprojekteista 2010-luvun alussa. Helsingin Ruoholahdesta Espoon Matinkylään ulotetta-van, koko matkaltaan kalliotunneliin sijoitettavan rataosan pituus on 13,9 km. Asemat sijoittuvat Helsingissä Lautasaareen ja Koivusaareen sekä Espoos-sa Keilaniemeen, Otaniemeen, Tapiolaan, Urheilu-puistoon ja Matinkylään. Itse metrolinja koostuu kahdesta rinnakkaisesta tunnelista. Hätäpoistumis-ta, paineentasausta, ilmanvaihtoa ja savunpoistoa varten louhitaan 15 pystykuilua. Rakentamista ja huoltoa varten on suunniteltu 11 ajotunnelia. Mat-ka-aika uudella osuudella on 16 minuuttia.

Toteutettujen tutkimuspisteiden lukumäärät ovat mittavia. Alueella entuudestaan olemassa ole-vasta tutkimuspisteverkostosta hyödynnettiin met-rolinjaa noudattelevalle, 300 m:n levyiselle kaistalle sijoittuvat pisteet. Tämän kaistan pisteitä täyden-nettiin mm. porakonekairauksin. Näin menetellen kallionpintatietoja oli käytettävissä noin 6 600 pis-teestä. Geoteknillisiä maaperäkairauksia edustivat noin 7 200 pistettä. Pohja- ja orsivesiputkia asen-nettiin ja vedenpintaa seurataan 146 pisteessä. Seismistä luotausta toteutettiin 111 linjalla yhteen-sä 21,1 km:n matkalla ja maatulokaluosta 53 lin-jalla yhteensä 8,9 km. Kallionäytekairauksen osuus oli myös mittava: tunnelilinjalla ja asemien tienoilla toteutettiin 240 kairausreikä, yhteispituus maakai-



Kuva 6. Metrojuna matkalla länteen.

rauksineen noin 18,6 km. Näistä reikiä, joissa suoritettiin videokuvaus, tai pelkkää videokuvausta var-ten porattuja reikiä oli noin 150 kpl, pituudeltaan runsaat 9 km. Kallion jännitystilamittauksia tehtiin 32:ssa pystysuoraan kairatussa reiässä. Tätä kirjoitettaessa (05.2010) tutkimukset edelleen jatkuvat, joten tutkimuspisteiden lukumäärät eivät ole lopullisia.

Rakennuskustannusten vuoden 2007 lokakuun hintatasolla arvioitiin olevan 713,6 miljoonaa euroa. Kustannukset jaetaan Helsingin ja Espoon kesken, että kumpikin vastaa omalla alueellaan syntyneistä kustannuksista, joiden on arvioitu jakautuvan 28 % Helsingille ja 72 % Espoolle. Valtio osallistuu kustannuksiin 30 %:n osuudella.

Tavoitteena on, että Länsimetro avataan liikenteelle loppuvuonna 2015.

Tulevaisuuden näkymät

Kallionäytekairauksen rooli on olla se menetelmä, jolla varmennetaan muilla tavoin tuotetut tulokset tutkittavasta kohteesta. Tämä on varsinkin malminetsintään liittynyt näkökulma. Kalliorakentamisen lisääntymisen myötä kairattu kallionäyte on vakiinnuttanut paikkansa myös kalliosuunnittelun alueella. Monet geofysikaaliset ja optiset, kalliorei'issä tehtävät tutkimukset eivät ole pystyneet horjuttamaan "kivilieriön" asemaa tiedon lähteenä. Eri menetelmät eivät suinkaan sulje pois toisiaan, vaan tuottavat samasta kohteesta monipuolista ja näin ollen varmempaa tietoa.

Pitkällä aikavälillä tarkastellen kairauskapasiteettia on maassamme keskimäärin riittävästi. Suhdan- teiden vaihtelu ja suurten suunnitteluprojektien ajoittainen päällekkäisyys rasittavat myös kairaus- alaa, jolla toisinaan on niukkuutta varsinkin am- mattitaitoisen miehistön osalta. Kokenut kairaaja on kuitenkin oman alansa kapeaa kärkeä edustava huippuammattilainen – sillä erotuksella, että siinä missä monet huiput tähtäävät ylös ja yhä korkeam- malle, kairaajan tavoite on mennä alaspäin, mah- dollisimman tehokkaasti.

Viitteet

- [1] N. Barton, R. Lien and J. Lunde: Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics 6, s. 189–236 (1974), Springer Verlag 1974.