



Viite: YM47/612/2018 KIRA-digi 6

Loppuraportti

KAVI - Kalliolaadun visualisointi maanalaisessa rakentamisessa

KAVI – Visualization of rock quality in Construction of Underground Spaces Final Report

1 Kuvaus hankkeesta

Hankkeessa kokeiltiin kalliolaadun visualisointia maanalaisessa rakentamisessa. Kalliorakennushankkeen aikana syntyy lukuisia erilaisia mittauksia ja ne esitetään mittausraportteina, 2D-pohjakuvina, 2D-pituusleikkauksina tai 2D-poikkileikkauksina. Kalliomassa on kuitenkin kolmiulotteinen ja siihen sijoitettavat tilat ovat avaruudellisesti monimutkaisia. Mittaukset ovat usein etäällä toisistaan, ja pistemäisiä tai tasomaisia, joten niiden avaruudellinen merkitys ja jatkuvuus ovat haasteellisia hahmottaa. Havaintojen perusteella luodaan kalliomassaa kuvaava geologinen malli, jonka perusteella tehdään maanalaisten rakenteiden suunnittelussa käytettävä kallio-mekaaninen malli.

Paikkatutkimusten hyödyntämisen merkitys korostuu erityisesti isoissa hankkeissa kuten Länsimetrossa, Helsinki-Tallinna tunnelissa sekä Pisara-radassa. Paikkatiedot eivät pelkästään mahdollista hankkeiden sijainteja vaan myös merkittävästi sitovat kiinni hankkeiden kokonaiskustannuksia ja vaikuttavat hankkeiden valmistumisaikatauluun. Hankkeessa kokeiltiin kalliotilan mitausten tekemistä kalliotilasta fotogrammetrian avulla sekä mittauksien 3D-visualisointia virtuaalituotteen avulla. Kalliolaadun mittaus tehdään täysin uudella tavalla hyödyntäen fotogrammetriaa yhdessä tietokoneavusteisen suunnittelun kanssa. Tuloksena on koko tunnelin kattava ja erityisen tarkka pintamalli.

Suurtarkkuuspinnasta voidaan koneellisesti määrittää yleisimmät kalliomassan laatua kuvaavat tekijät sekä niiden todellinen sijainti ja suuntaus tilassa. Tuloksia ei redusoida 2D-tasoon vaan

ne esitetään mitatuissa sijainneissa ja suunnissa. Tässä hyödynnetään menetelmänä virtuaalito-
dellisuusmallia, jossa esitetään olemassaoleva kallionpinta, mittaukset sekä suunnitellut kallioti-
lat. Suunnittelija voi vapaasti liikkua tilassa tai valita katselukulmia ja tarkastella tiloja, mittauksia
ja niiden jatkeita sekä suunniteltuja tiloja eri tarkastelukulmista. Ratkaisu tehostaa rakennusalan
mittausten digitaalista hyödyntämistä ja auttaa suunnittelijoita hahmottamaan kaikki mittaustiedot
ja niiden vaikutukset tulevien tilojen sijoitteluun sekä suunnitteluratkaisuihin. Suunnitteluratkaisu-
jen kautta on mahdollista löytää aiempaa kustannustehokkaampia ja toteutusaikataulultaan no-
peampia ratkaisuvaihtoehtoja.

2 Tavoite

Multi-View fotogrammetria on tekniikka, jossa geometrisia mittauksia tehdään joukosta eri kul-
mista otettuja valokuvia. Kokeessa hyödynnetään Kallion rakojen mekaaniset ominaisuudet
(KARMO) -tutkimushankkeessa kehitettyä Structure from Motion -menetelmää tilojen kolmiulot-
teisen mallin luontiin sekä pinnan karkeuden ja sen suunnan ja kaateen määrittämiseen. Tek-
niikka perustuu mittakaavariippumattomien piirteiden tunnistamiseen eri suunnista otetuista valo-
kuvista. Näin voidaan laskea kameroiden sijainnit ja sen jälkeen tihennetty pistepilvi projisoimalla
yhteiset pisteet.

Pistepilvestä voidaan laskea yleisimmät kalliomassan laatua kuvaavat tekijät sekä niiden todelli-
nen sijainti. Digitaalisista mittauksista yhdistetty geologinen malli kuvaa seinän kalliolaadun vaih-
telua, mistä on hyötyä maanalaisten rakenteiden suunnittelussa. Tuloksena on pintamalli, jonka
rakenteelliset erot luokitellaan ja korostetaan värein. Varsinaisten suurta tiheyttä vaativien mit-
tausten jälkeen pistepilveä harvennetaan graafista esitystä varten.

Virtuaalimallilla luodaan käyttäjälle koko tunnelin kattava tilannekuva kerätystä mittausdatasta.
Hankkeessa testataan erityisesti, miten Mining Education and Virtual Underground Rock Labora-
tory (MIEDU) -tutkimushankkeessa kehitettyä tietoa voidaan hyödyntää rakennushankkeiden tu-
kena. MIEDU-projektissa havaitut parhaat käytännöt siirretään suunnittelun ammattilaisille sekä
rakentajille. Keskeinen tulos on kalliotunnelin kivipinnan kalliolaadun esittäminen suunnittelijalle
uutta tarkkaa pintamallia käyttäen hyödyntäen opetustutkimuksesta saatavaa tietoa siitä, miten
kalliotietoa kannattaa esittää.

Hankkeen päätavoitteena on luoda avoin esimerkkiteutus yhdestä kalliotunnelista.

3 Kuvaus kehitetystä ratkaisusta

Hankkeessa kehitettiin esimerkkiteutus Aalto-yliopiston opetustunnelista.

Esimerkkiteutuksessa on esitetty myös automaattisesti mitatut tulokset kallion rako-
suunnista ja niiden sijainneista. Mittaukset tehtiin suoraan fotogrammetrisen mallin poh-
jalta. Esimerkkiteutuksessa tulokset esitettiin VR-ympäristössä värikoodattuina alkupe-
räisellä mittauspaiikallaan.

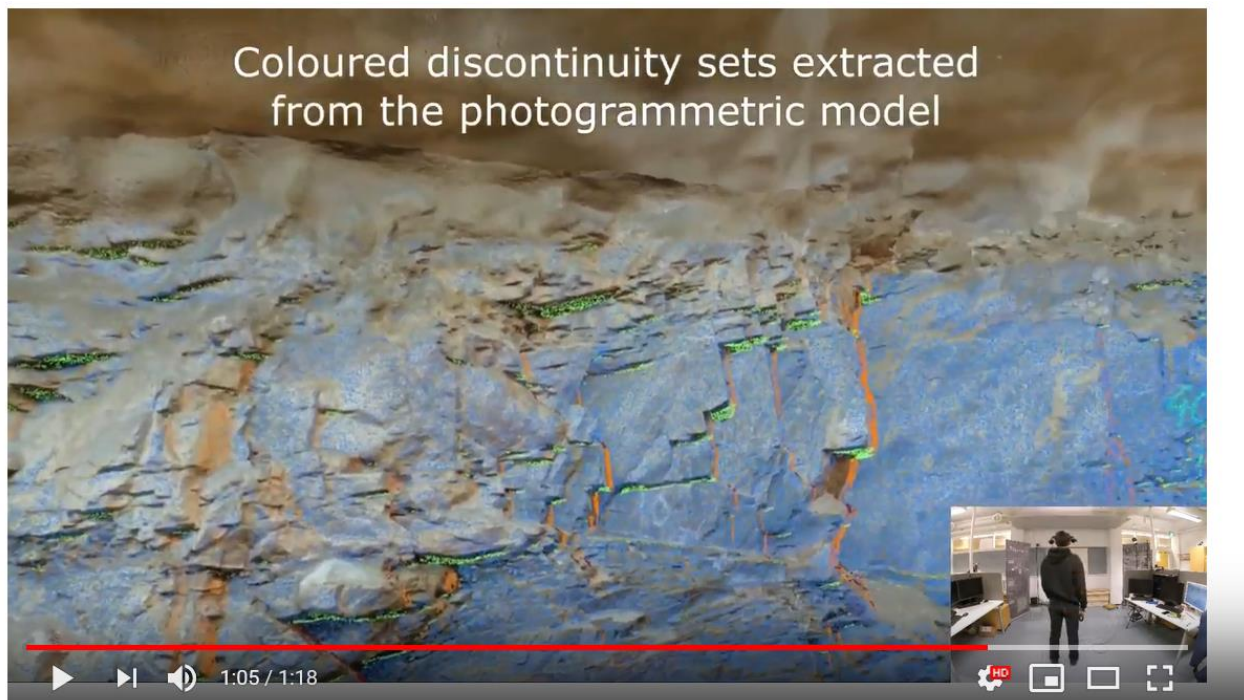
Kallion rakoilu on usein määräävä ominaisuus rakennettavuuden kannalta ja lujitussuun-
nittelun kannalta rakojen sijainti ja suuntaus ovat tärkeitä lisätietoja. Johtuen tilan kolmi-
ulotteisesta luonteesta sijaintia ja suuntausta ei voi esittää 2D-projektioissa. KAVI:ssa ke-
hitetty teknologia täydentää nykyistä suunnitteluprosessia ja mahdollistaa yksityiskohtai-
semman lujitusrakenteiden suunnittelun. Rakoilu vaikuttaa myös vedenjohtavuuteen ja
salaojien suunnitteluun.

4 Poikkeamat hankehakemuksesta

MIEDU-hanke, jonka tuloksiin KAVI nojasi, oli myöhässä 3 kk. Tästä johtuen KAVI tarvitsi 1 kk pidennyksen ja osaa tuloksista ei ehditty saavuttaa määräajassa. Puuttumaan jääneet suoritukset olivat: mittaustulosten jatkeet ympäröivään kalliomassaan sekä tulevien suunniteltujen kalliorakenteiden esittäminen VR-ympäristössä.

5 Tulokset

KAVI-hanke saavutti päätuloksensa: tila pystyttiin skannaamaan, skannatusta tilasta pystyttiin määrittämään automaattisesti kalliomassan rakoilu ja tulokset pystyttiin esittämään kolmiulotteisesti alkuperäisellä mittauspaikeellaan. Tuloksena syntynyt malli on esitetty videolla ajassa 0:55 ... 1:10 s. (15 s).



Kuva 1. Automaattisesti mitatut rakosuunnat esitettynä 3D VR-mallissa. Videon lähde: https://www.youtube.com/watch?v=8Zxtotw_vyg

6 Hyödynnettävyys

KAVI:n tuloksilla on laaja hyödynnettävyys: rakennusliikkeet voivat käyttää automaattimittauksia vaatimuksenmukaisuuden valvontaan (esim. louhintatoteuma ja ruiskubetonoinnin paksuus), suunnittelija voivat käyttää KAVIn tuloksia tarkempaan suunnitteluun (esim. kohdennettu lujitus ja salaojarakenteiden tarkemmat paikat), tilaaja voi käyttää mallia eri toteutusvaihtoehtojen tarkasteluun (kalliotilojen suuntaus ja koon sekä muodon optimointi havaitun rakoilun perusteella).

Tuloksilla on merkitystä myös opetuksessa ja täydennyskoulutuksessa. Koulutettavat voivat harjoitella esim. rakosuuntien, kaateiden, kalliopinnan karkeuden, rakotäytteiden, vedenjohtavuuden ja heikkousvyöhykkeiden vaikutusta kallion rakennettavuusarviointiin.

7 Vaikuttavuus

Tulosten perusteella hankkeelle on tehty vaikuttavuusarvio. Sen perusteella hankkeen seuraaja on EDUROCK-opetuksen kehittämishanke, jossa Aalto-yliopisto tutkii mahdollisuutta digitoida ja julkaista avoimesti sen keräämän yli 17 000 kivinäytteen kokoelman. **Jatkorahoituksen suuruus on 56 944 €.**

Hankkeen hyödyntämispotentiaalia arvioitiin vuosittaisten kalliorakennushankkeiden sekä yksittäisen kalliorakennushankkeen skannauskustannusten tulona. Näin päädytään **hyödyntämispotentiaaliin 900 000 €/a** (oletuksella, että 30 000 EUR/tunneli kalliolaadun käsikartoituksen kustannukset ja 30 tunnelia vuodessa).

8 Viestintä ja avoin julkaiseminen

Hankkeen päätuloksista on viestitty laajasti käyttäen hankkeen verkkosivua, sosiaalisen median sivustoja (mm. LinkedIn ja facebook) sekä alan tapahtumissa ja seminaareissa. Hankkeelle on tehty myös hankkeen tuloksista ytimekkäästi viestivä tiedotusvideo. Hankkeessa tehnyt opinnäytetyöt ja julkaisut on julkaistu avoimesti Aalto-yliopiston ylläpitämässä julkaisurekisterissä.

9 Haasteet ja kehittämistarpeet

KAVI edellyttää toimiakseen suuren tarkkuuden fotogrammetriaa. Suurin osa rakennusliikkeistä käyttää ensisijaisena skannaustapana joko LASER tai LIDAR –teknologiaa, joiden tarkkuus ei riitä. KAVIn ensisijainen hyödyntämisestä on saada rakennusliikkeet käyttämään fotogrammetriaa joko perinteisten menetelmien rinnalla tai tilalla.

KAVIn tulosten visualisointia pitää yhä kehittää ja tehostaa. Todennäköisesti on nopeampaa toimia ilman VR-ympäristöä tuotantotyössä ja käyttää VR-teknologiaa ainoastaan asiakasesittelyihin tai kun suunnitteluratkaisuja tarkastellaan projektikokouksissa. Tämä kehitystyö kannattaa tehdä yrityksissä, koska jokaisen yrityksen oma prosessi vaikuttaa siihen mihin suuntaan tuloksia kannattaa kehittää.