



Working Report 2017-55

EDZ Study Area in ONK-TKU-3620: Theoretical Review and Numerical Modelling of the GPR and GPR EDZ Methods

**Eero Heikkinen, Rani Hamrouche, Eetu Pussinen,
Pekka Kantia, Pekka Maijala**

October 2022

Working Report 2017-55

EDZ Study Area in ONK-TKU-3620: Theoretical Review and Numerical Modelling of the GPR and GPR EDZ Methods

Eero Heikkinen

AFRY Finland Oy

Rani Hamrouche, Pekka Maijala

Roadscanners Oy

Eetu Pussinen, Pekka Kantia

Geovisor Oy

October 2022

ONKALO® is a registered trademark of Posiva Oy

Working Reports contain information on work in progress
or pending completion.

EDZ STUDY AREA IN ONK-TKU-3620: THEORETICAL REVIEW AND NUMERICAL MODELLING OF THE GPR AND GPR EDZ METHODS

ABSTRACT

Posiva is preparing for the final disposal of spent nuclear fuel in the Olkiluoto bedrock. The final disposal is based on the principle of multiple barriers, where the bedrock surrounding the disposal capsule is considered to be one of the barriers preventing the transportation of radionuclides to the ground surface. Excavation of the disposal tunnels with the drill and blast (D&B) method will cause an excavation damaged zone (EDZ), which can create potential paths for groundwater flow. Ground penetrating radar (GPR) at a high-frequency band is considered as a potential technique to be applied as a non-destructive method for determining the rock quality after excavation. The method is based on detecting the small-scale deformations in rock mass close to the tunnel surfaces. This deformation can be detected by using frequency domain processing of the GPR waveform. This report describes the relevant theoretical background of the impulse GPR signal and interaction in the rock mass, as well as the results of conducted *in situ* and laboratory testing with respect to the physical properties of the rock medium. Dielectric permittivity and GPR wave velocity, as well as electrical conductivity and GPR wave attenuation with their effect on measurement data were examined from computed results. Also, the GPR wave frequency content (spectrum) was reviewed.

Numerical modelling was carried out to demonstrate the high frequency properties of GPR signal, and to test the processing method with synthetic data. Model results were computed with the GPRMax2D software. A range of different physical properties and geometries were used in the modelling. One set of models included drillholes located behind the bedrock surface, in order to compare the measured and theoretical attenuation. Models containing vertical or inclined lithological contact having different electrical contrasts, and models representing vertical or horizontal water filled single fractures, were used for understanding the characters of reflections. The fractures were 10 cm in length and 0.4 mm thick. Finally, layers containing multiple small fractures were modelled to understand the effect of the EDZ property. In these models, the fractures were water filled, 0.4 mm thick and 1 cm long. The number of fractures and the geometry of their occurrence as well as the contrast to the surrounding rock medium was varied in the different versions. The layers containing fractures had thicknesses of 10 cm, 20 cm, 30 cm or 40 cm. Altogether, 96 models were computed and the results were analysed.

The GPR EDZ processing method was modified according to the results obtained by means of numerical modelling. A depth-based adjustment, correcting for GPR wave attenuation, was taken in production. The investigation produced a computing technique and settings which will provide the layer thicknesses correctly and with adequate precision. Review of background theory, laboratory results, and conducted numerical modelling demonstrated, for their part, that the GPR EDZ method is practicable for excavation quality control and rock mass characterisation purposes.

Keywords: excavation damaged zone, EDZ, GPR, GPR EDZ method, quality control, numerical modelling, GPRMax2D, Road Doctor, ONKALO®

EDZ TUTKIMUSALUE ONK-TKU-3620 KUPRIKASSA: MAATUTKA-MENETELMÄN JA GPR EDZ LOUHINTAVAURIOPROSESSOINNIN TEOREETTINEN TARKASTELU JA NUMEERINEN MALLINNUS

TIIVISTELMÄ

Posiva valmistautuu parhaillaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen Olkiluodon kallioperään. Loppusijoitus perustuu moniesteperiaatteeseen, jossa kapselia ympäröivä kallioperä toimii yhtenä radionuklidien kulkeutumisen esteenä. Tunnelien louhinta aiheuttaa louhinnan vauriovyöhykkeen (EDZ), joka voi toimia potentiaalisena pohjaveden kulkeutumisreitteinä maan pinnalle. Korkeataajuisen maatutkan (GPR) käyttö on potentiaalisesti hyödynnettävä ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä, jota voidaan käyttää kallion laadun tarkastukseen louhinnan jälkeen. Louhinnan aikana ja sen jälkeen, lähellä tunnelin pintaa, kalliossa tapahtuu pienen mittakaavan haurasta deformatumista. GPR EDZ menetelmä perustuu näiden deformaatioiden havaitsemiseen prosessoimalla maatutkan aaltomuotoa taajuusalueessa. Tässä raportissa esitetään pulssimuotoisen maatutkasignaalin ja kallioperän vuorovaikutuksen teoreettinen tausta. Työssä kuvataan kenttä- ja laboratoriomittauksin selvitetty kallioperän fysikaaliset väliaineominaisuudet sekä niiden vaihtelun vaikutus mittaustuloksiin. Numeerisen mallinnuksen avulla pystyttiin osoittamaan tutkamittausaineiston korkean taajuuden ominaisuudet, sekä testattiin tutkamittauksen GPR EDZ prosessointitekniikkaa synteettisen aineiston avulla. Dielektrinen permittiivisyys ja tutka-aallon nopeus, sekä sähköjohtavuus ja tutka-aallon vaimennus vaikutuksineen huomioitiin lasketuissa tuloksissa. Myös tulosten taajuussisältöä (laskettuja spektrejä) tarkasteltiin. Mallituloksia laskettiin GPRMax2D ohjelmalla. Mallinnuksessa käytettiin joukkoa erilaisia väliaineominaisuuksia ja rakennegeometrioita. Yksi sarja malligeometrioita sisälsi eri etäisyyksillä kallioseinän takana sijaitsevia kairareikiä. Tarkoituksena oli vertailla laskettua ja mitattua signaalin vaimennusta. Malleja joissa oli pysty tai viisto kivilajikontakti ja erilaisia sähköisiä kontrasteja, sekä yksittäinen pysty tai vaaka-asentoinen vesitäytteinen rako, käytettiin tuottamaan tietoa heijastusten piirteistä. Näiden rakojen pituus oli 10 cm ja paksuus 0.4 mm. EDZ-ominaisuuksien mallintamiseksi laskettiin rakoja sisältävän kerroksen vasteet. Kerroksen paksuus oli joko 10 cm, 20 cm, 30 cm tai 40 cm. Rakojen pituus oli 1 cm, ja paksuus 0.4 mm. Rakojen määrää ja geometriaa vaihdeltiin, samoin kuin niiden kontrastia ympäröivään väliaineeseen. Yhteensä laskettiin 96 mallia ja näiden tulokset analysoitiin. GPR EDZ prosessointitekniikkaa muokattiin mallinnustuloksia hyödyntäen. Prosessointimenetelmässä otettiin käyttöön aineiston vaimennuksen palauttava syvyyskorjaus. Tarkastelussa selvitettiin myös laskentatekniikka, jolla mallinnetut kerrospaksuudet voidaan määrittää oikein ja riittävällä tarkkuudella. Samaa tekniikkaa voidaan jatkossa käyttää myös kenttämittausten tulokinnassa. Teoreettisen tiedon tarkastelu, laboratoriotutkimukset ja suoritettu numeerinen mallinnus kukin osaltaan osoittivat että GPR EDZ laskentamenetelmä on soveltuva sen suunniteltuihin louhinnan laadunvalvonnan ja kallion tutkimuksen käyttötarkoituksiin.

Avainsanat: louhintavaurio, EDZ, GPR, GPR EDZ menetelmä, louhinnan laadunvalvonta, numeerinen mallinnus, GPRMax2D, Road Doctor, ONKALO®