

Tampereen ammattikorkeakoulu, amk-tutkinto
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infrarakentaminen
Ari Loukkalahti

Opinnäytetyö

Radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantaminen

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 9/2010

Tekniikan lisensiaatti Reijo Rasmus
Liikennevirasto, Rautatieosasto

Tekijä	Loukkalahti, Ari
Työn nimi	Radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantaminen
Sivumäärä	61
Valmistumisaika	9/2010
Työn ohjaaja	Reijo Rasmus
Työn tilaaja	Liikennevirasto, Rautatieosasto

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä oli kyse radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantamiseen soveltuvi-
en uusien työmenetelmien tutkimisesta ja vertailusta.

Työn tavoitteena oli selvittää eri kuivatus- ja rakentamismenetelmien toimivuutta radan
kallioleikkauksen kuivatuksessa ja vertailla niiden toteuttamiskustannuksia. Pääpaino
tutkimuksessa oli kahdella menetelmällä, joista toista ei ole aiemmin radan kuivatukses-
sa käytetty. Vertailu perustuu VR-Radan kesällä 2009 toteuttamaan projektiin, jossa
Jepuan kallioleikkauksen kuivatusta parannettiin kolmella eri menetelmällä rataosalla
Seinäjäki–Oulu.

Opinnäytetyö laadittiin uuden työmenetelmän soveltuvuuden selvittämiseksi ja tilaajan
työkaluksi helpottamaan menetelmän valintaa ja sopivuutta erilaisiin olosuhteisiin. Pro-
jektin yhteydessä kerättiin tietoja eri työmenetelmistä ja niiden toimivuudesta sekä eri
menetelmien kustannuksista. Raporttitietojen lisäksi käytössä oli työmaapäiväkirja sekä
työhön osallistuneiden henkilöiden haastatteluja. Tietoja hyödyntämällä saatiin realisti-
nen kuva radan kallioleikkauksen kuivatuksen toteutuksesta ja kustannuksista.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää vastaavanlaisissa hankkeissa koko rataver-
kolla. Tuloksia voidaan myös hyödyntää uusien menetelmien vertailussa opinnäytetyös-
sä saatujen kokemusten pohjalta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kustannustietoutta ja kokemuksia kahden eri menetel-
män toimivuudesta. Toimivuuden mittaaminen ei vielä yhden talven perusteella ole
mahdollista, mutta eri salaojalinjoista tulevan veden määrää vertailemalla on mahdollis-
ta vetää joitain johtopäätöksiä.

Seuraava askel uuden menetelmän toimivuuden varmistamiseksi on toteuttaa lisää vas-
taavanlaisia hankkeita eri puolilla rataverkkoa ja kerätä niistä lisää tietoa ja kokemuksia
menetelmien kehittämiseksi. Samoin on syytä seurata toteutuneen työn toimivuutta ai-
nakin muutaman vuoden ajan ja tarkentaa saaduilla tiedoilla tätä tutkimusta

Writer	Loukkalahti, Ari
Thesis	Improving the draining of a railway rock cutting
Pages	61
Graduation time	9/2010
Thesis Supervisor	Reijo Rasmus
Co-operating Company	Finnish Transport Agency, Railway Department

ABSTRACT

The scope of this Bachelor's Thesis was to investigate and compare new working methods suitable for improving the drainage of a railway cutting.

The aim of this study was to find out how well the different drainage and construction methods work in the drainage of a rock cutting and to compare their costs. In the study the main emphasis was laid on two methods of which the other method had not been used before for drainage purposes. The comparison was based on a project carried out in the summer of 2009 by VR-Track Ltd when the drainage of a rock cutting on the railway between Seinäjoki and Oulu was improved by employing three different methods.

This thesis was devised to clarify if the new working method is suitable for the purpose and could be used as tool by the orderer when choosing the right method in different circumstances. During this project information was gathered about different working methods and their costs. The report also includes information from a site daybook and interviews with the workers who were taking part in this project. By compiling this collected information a realistic view was formed of how the drainage operation of the railway cutting was carried out as well as its costs.

The research results of this thesis can be put to use in similar projects in the whole railway network and new methods can be tested based on the experiences gathered from this study.

Cost information and experience of how two different methods work was obtained by this research. It was not yet possible to assess the functional differences between the two drainage systems on the basis of one winter only. However, some conclusions can be drawn by comparing the amount of water flowing out of the different under drains.

The next step to ascertain that the new method really works will be to carry out similar projects in different parts of the railway network and to gather more information and experience in order to develop the methods. Furthermore, there is a need to follow up how the methods of this research work for at least a few years and then to specify this study by utilising those new research results.

Keywords: railway, rock cutting, draining, drilling, frost in the ground

Esipuhe

Ratahallintokeskus (nykyinen Liikennevirasto) tilasi Oy VR-Rata Ab:ltä Seinäjoki–Oulu -rataosalla sijaitsevan Jepuan kallioleikkauksen kuivatuksen parantamisen vuonna 2009. Työsuunnitelmat laadittiin keväällä 2009 Destia Oy:n toimesta ja työ toteutettiin 1.6.2009–31.7.2010. Rakennuttajakonsulttina urakassa toimi Pöyry CM Oy, työn valvonnasta vastasi RN-Rakennuttajapalvelu Oy ja Oy VR-Rata Ab:n projektipäällikkönä oli rakennusmestari Antti Pelkonen. Allekirjoittanut toimi työmaan projekti-insinöörinä sekä vastaavana työnjohtajana yhdessä rakennusmestari Arto Kemin kanssa.

Opinnäytetyön laatiminen radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantamisen eri menetelmistä oli odotettua mielenkiintoisempaa ja haastavampaa. Huolimatta yli kahdenkymmenen viiden vuoden kokemuksesta radalla tehtävistä töistä avasi tutkimus, eri tietolähteisiin tutustuminen ja itse kirjoittaminen uusia näkökulmia aiheeseen. Sen lisäksi alan asiantuntijoiden kanssa käydyt keskustelut toivat lisää sisältöä ja näkökulmaa veden käyttäytymiseen ratarakenteissa.

Kiitän opinnäytetyön ohjaajaa Reijo Rasmusta Tampereen ammattikorkeakoulusta, työn tilaajaa Erkki Mäkelää Liikennevirastosta sekä VR-Radan asiantuntijoita Timo Cronvalia ja Kimmo Laatusta ammattitaitoisesta ja tinkimättömästä ohjauksesta. Samoin kiitän työyhteisöä VR-Radalla arvokkaista kommentteista ja kannustuksesta. Lopuksi haluan kiittää työnantajaani Oy VR-Rata Ab:tä, joka tarjosi osallisuuden kiinnostavaan projektiin ja mahdollisuuden laatia tämä opinnäytetyö.

Porissa syyskuussa 2010

Ari Loukkalahti

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto.....	9
1.1	Tutkimuksen lähtökohdat	9
1.2	Tavoitteet	9
1.3	Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät.....	10
2	Radan kallioleikkaukset Suomen valtion rataverkolla	11
2.1	Vanhat perusparantamattomat kallioleikkaukset	11
2.2	Perusparannetut kallioleikkaukset.....	11
2.3	Nykyvaatimusten mukaan rakennetut kallioleikkaukset.....	12
2.4	Tunneliin liittyvä kallioleikkaus.....	13
3	Kallioleikkauksien tyypilliset kuivatusongelmat	14
3.1	Ulkopuolelta tulevat vedet	14
3.2	Rakenteessa olevat vedet.....	14
3.3	Veden poisjohtaminen.....	17
4	Kuivatuksen parantaminen	18
4.1	Radan tarkastaminen	18
4.2	Olemassa olevien ojien puhdistaminen	22
4.3	Salaojan rakentaminen olemassa olevaan ojaan.....	23
4.4	Salaojan rakentaminen kallioon louhittuun kanaaliin	24
4.5	Salaojan asentaminen kallioon porattuun reikään	25
5	Kuivatusratkaisujen suunnittelu	27
5.1	Suunnitteluperusteet	27
5.2	Maastotutkimukset	27
5.3	Kuivatuksen suunnittelu	28
5.4	Rakentamisen suunnittelu	29
6	Toteutuksen suunnittelu	30
6.1	Rakentamisen reunaehdot	30
6.2	Turvallisuus, riskinhallinta ja ympäristö.....	31
6.3	Resurssisuunnittelu.....	32
6.4	Materiaalit	32
7	Kuivatuksen toteuttaminen.....	34
7.1	Työkohteelle asetettavat yleiset vaatimukset	34
7.2	Laatuvaatimukset	36
7.3	Salaojan rakentaminen kallioon louhittuun kanaaliin	36

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infrarakentaminen

7.4	Salaojan asentaminen kallioon porattuun reikään	39
7.5	Työalueen viimeistely	45
7.6	Turvallisuus ja ympäristö	46
7.7	Eri ratkaisujen toimivuus ja soveltuvuus	48
8	Toteutuskustannukset	50
8.1	Kustannuksien muodostuminen	50
8.2	Kanaalimenetelmän kustannukset	51
8.3	Porausmenetelmän kustannukset.....	52
8.4	Menetelmien kustannusvertailu.....	53
8.5	Menetelmien kehittäminen	55
9	Yhteenveto.....	58
	Lähteet.....	59
	Liitteet	61

Erityissanasto

54 E1 alusrakenneluokka	kiskon metripaino [kg] ja poikkileikkauksen tyyppi määräytyy joko henkilöliikenteen tai tavaraliikenteen mukaan riippuen siitä, kumman vaatimustaso on korkeampi
Aukean tilan ulottuma	Aukean tilan ulottumalla (ATU) tarkoitetaan sitä pitkin raidetta ulottuvaa tilaa, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita.
jännitekatko	ajojohdinten kytkeminen jännitteettömäksi ratatyön turvallisen suorittamisen varmistamiseksi
jätkänpolku	välikerroksen yläpinta tukikerroksen ja välikerroksen ulko-reunan välillä
kiilaus	kiilauksella pienennetään raiteen pystysuuntaisia epätasaisuuksia ja kallistusvirheitä, kun raidetta ei voida korjata normaaleilla tukemis- ja oikomistoimenpiteillä
kunnossapitotaso	määrää radan tarkastusmenetelmät ja tarkastustarpeet sekä suurimman sallitun nopeuden
kv	korkeusviiva, määrittelee raiteen korkeusaseman
Liikennöinti ja ratatyö rautatiejärjestelmässä	Liikenteen turvallisuusviraston ylläpitämä sääntökokoelma, jolla ohjataan junaliikenteen ja ratatyön turvallisuutta
Pandrol -kiinnitys radan päällysrakenne raide	betoniratapölkyn kiskonkiinnitystyyppi radan rakenneosa, johon kuuluu tukikerros ja raide ratapölkkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkosista sekä vaihteista ym. raiteen erikoisrakenteista koostuva rakenne
raidesepeleli	radan tukikerrosmateriaalina käytettävä kalliosta murskattu karkea kiviaines
raiteentukemiskone	päällysrakennetyökone, joka oikoo raidetta ja tiivistää tukikerrosta
RAMO	lyhenne Ratahallintokeskuksen ylläpitämästä julkaisusta Ratatekniset määräykset ja ohjeet (ennen vuotta 2008)
ratakuorma-auto	vaunujen kuljettamiseen tarkoitettu radalla liikkuva työkone, joka on yleensä varustettu hydraulisella nosturilla
ratatyölupa	liikenteenohjauksen antama lupa tehdä radalla työtä, joka vaikuttaa liikenteeseen ja/tai radan rakenteeseen

ratatyöturvallisuuspätevyys

	ratatyöturvallisuuspätevyyttä edellytetään kaikissa rautatie-alueella tehtävissä radanpitoon liittyvissä töissä sekä töissä, joita tehdään liikennöidyn radan välittömässä läheisyydessä
RATO	lyhenne Ratahallintokeskuksen, nyk. Liikenneviraston Rautatieosaston ylläpitämästä julkaisusta Ratatekniset ohjeet (vuodesta 2008 alkaen)
Skl 14 -kiinnitys	betoniratapölkyn kiskonkiinnitystyyppi
sähköratapylväs	sähköradan ajojohtimen kannatusrakenteen osa
totaalikatko	junia perumalla ja junien kulkuaikoja muuttamalla aikaan-saatu tauko junaliikenteessä
tukeminen ja oikominen	raiteen saattaminen sivu- ja pystysuunnassa haluttuun asemaan ja asentoon
tukikerros	kalliosta murskatusta karkeasta sepelistä rakennettu kerros, joka pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle ja muodostaa raiteelle tasaisen ja kantavan alustan
turvamies	lähestyvistä rautatieliikenteestä radalla työskenteleviä henkilöitä varoittava henkilö
työrako	junien kulkuaikojen välissä oleva aika, jolloin voidaan tehdä työtä ratatyöluvalla
välikerros	muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan ja estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin rakennekerroksiin
välilevy	kiskonkiinnityksessä kiskon ja betonipölkyn tai kiskon ja aluslevyn välissä käytettävä kumista valmistettu levy, joka vaimentaa iskuja ja lisää kiskon ja kiskonkiinnityksen välistä raiteen pituussuuntaista kitkaa

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Suomen valtion omistaman rataverkon n. 6 000 ratakilometristä useita satoja kilometrejä sijaitsee kallioleikkauksissa. Kallioleikkaukset on suurimmaksi osaksi rakennettu ennen 1970-lukua, jolloin rakentamisvaatimuksia tarkennettiin merkittävästi. Sähköistyksen laajentuessa, ratojen perusparannuksien edetessä ja kaluston uusiutuessa junanopeuksia ja akselipainoja on nostettu ja liikennöintimääriä lisätty. Edellä mainitut asiat ovat lisänneet paineita vaatimusten tiukentamiseen erityisesti sen vuoksi, että Suomi on pohjoisimpia maita, joiden rataverkolla liikennöidään nopeudella 200 km/h.

Pakkanen ja kallion pinnalle tukikerroksen alaosaan kerääntyvä vesi sekä paikoitellen liian hienoksi jauhautunut tukikerros yhdessä aiheuttavat sen, että päällysrakenne routii ja vesi jäätyy niin paljon, että raiteen kierouden ja korkeuspoikkeaman sallitut raja-arvot ylittyvät nykyisillä kunnossapitotasolla 1A ja 1AA. Tämä heikentää matkustusmukavuutta ja aiheuttaa pahimmillaan paikallisia nopeusrajoituksia.

Liikennöidyn radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantaminen etenkin yksiraiteisella radalla on lyhyistä työraoista johtuen haastavaa. Työ edellyttää raskaita koneita, louhintaa ja jännitekatkoja. Erityisesti louhintatöiden kallioporausta on kallis työvaihe. Töiden tekeminen kahdeksaa tuntia lyhyemmässä liikennekatkossa lisää kustannuksia entisestään.

Tehokkaalle, toimivalle ja taloudelliselle kuivatuksen parantamiseen sopivalle työmenetelmälle on kysyntää. Olemassa olevien ojien syventäminen louhimalla on toimiva menetelmä, mutta radan sähköistyslaitteet ja kallioleikkauksen mahdollinen kapeus asettavat työlle lisävaatimuksia. Sen lisäksi töiden toteutuksessa on otettava huomioon ympäristön ja turvallisuuden vaatimukset.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön päätavoitteena on esitellä erilaisia radan kallioleikkauksen kuivatusrakenneiden parantamismenetelmiä ja niiden toteuttamiseen liittyviä seikkoja. Parantamismenetelmät ovat olemassa olevien leikkausojien puhdistaminen, salaojan rakentaminen olemassa olevaan ojaan, salaojan rakentaminen louhimalla tehtävään kanaaliin ja

salaojan asentaminen radan suuntaiseen kallioon porattuun reikään. Menetelmien vertailussa pääpaino on kahdella jälkimmäisellä menetelmällä, joista porausta ei ole aiemmin käytetty radan kallioleikkauksen kuivatukseen. Tavoitteena on kuvata ja verrata vaihtoehtoisia menetelmiä teknisesti ja taloudellisesti. Tarkastelussa otetaan huomioon myös eri vaihtoehtojen toteuttamiskelpoisuus erilaisissa olosuhteissa.

Työn tuloksena saadaan tietoa toteutuskustannuksista ja menetelmien toimivuudesta. Näiden perusteella infran haltijalla on tulevaisuudessa paremmat edellytykset tehdä päätöksiä kallioleikkauksien kuivatuksen parantamisesta ja valita kuhunkin kohteeseen parhaiten soveltuva menetelmä.

1.3 Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön rajauksena ovat kallioleikkauksen alusrakenteen kuivattaminen ja sen vaikutukset päällysrakenteen toimivuuteen. Työssä verrataan louhimalla tehtävään kanaaliin rakennettavaa ja vaakaporauksella tehtävään reikään asennettavaa salaojaa.

Työssä ei tarkastella kallioleikkauksen ulkopuolelta tulevien pintavesien jääytymistä kallioseinämiin ja ojiin ja siitä aiheutuvia turvallisuusriskejä. Työn tarkoituksena on tuottaa tilaajalle aineistoa, jonka avulla voidaan valita sopivin menetelmä radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantamiseen jo suunnitteluvaiheessa ja ohjata urakoitsijoita töiden toteuttamisessa.

Tutkimusmenetelminä käytetään eri rakentamistapojen vertailua ja niiden vaikutusta junaliikenteeseen ja ympäristöön. Vertailussa otetaan huomioon eri vaihtoehtojen toimivuus ja rakentamisen kustannukset sekä hyödynnettävien työrajojen pituuksien vaikutukset kustannuksiin.

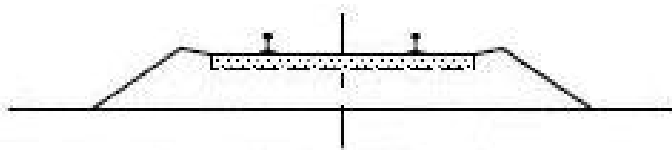
2 Radan kallioleikkaukset Suomen valtion rataverkolla

2.1 Vanhat perusparantamattomat kallioleikkaukset

Vanhimmat Suomen rataverkolla olevat kallioleikkaukset on rakennettu 1800-luvulla. Tuolloin ei roudan vaikutusta vielä tunnettu hyvin, ja sen aikaiset rakenteet toteutettiin alhaisella vaatimustasolla. Leikkauksen pohjan epätasaisuutta ja vettä kerääviä maljoja ei pidetty merkittävänä häirtana. Tukikerroksen paksuus saattoi vaihdella, koska raiteen tuenta suoritettiin käsityökaluin. Tasaisille savikoille rakennettujen ratojen matalien rakennekerrosten routiminen oli suurempi ongelma kuin kallioleikkauksien niihin verrattuna vähäiset routanousut.

2.2 Perusparannetut kallioleikkaukset

Radan liikennöitävyys edellyttää säännöllistä kunnossapitoa ja määräajoin tapahtuvaa perusparannusta. Perusparannus tehdään yleensä ennen radan päällysrakenteen elinkaaren päättymistä. Päällysrakenteen kuluvia osia ovat kiskot, pölkyt ja tukikerros (kuva 1). Perusparannuksia toteutetaan n. 30–40 vuoden välein. Uusimissykliin vaikuttaa päällysrakenteen laatu ja liikennekuormitus. 54 E1 -kiskojen käyttöikä 10 miljoonan vuosittaisen bruttotonnin kuormituksella on 30 vuotta (RATO 11 Radan päällysrakenne, 11.5.8 Käytettyjen ratakiskojen luokittelu). Puuratapölkyt kestävät n. 30 vuotta ja ennen vuotta 1982 valmistetut betoniratapölkyt saman verran (RATO 11 Radan päällysrakenne, 11.4.1.2 Pölkyn vaihto).



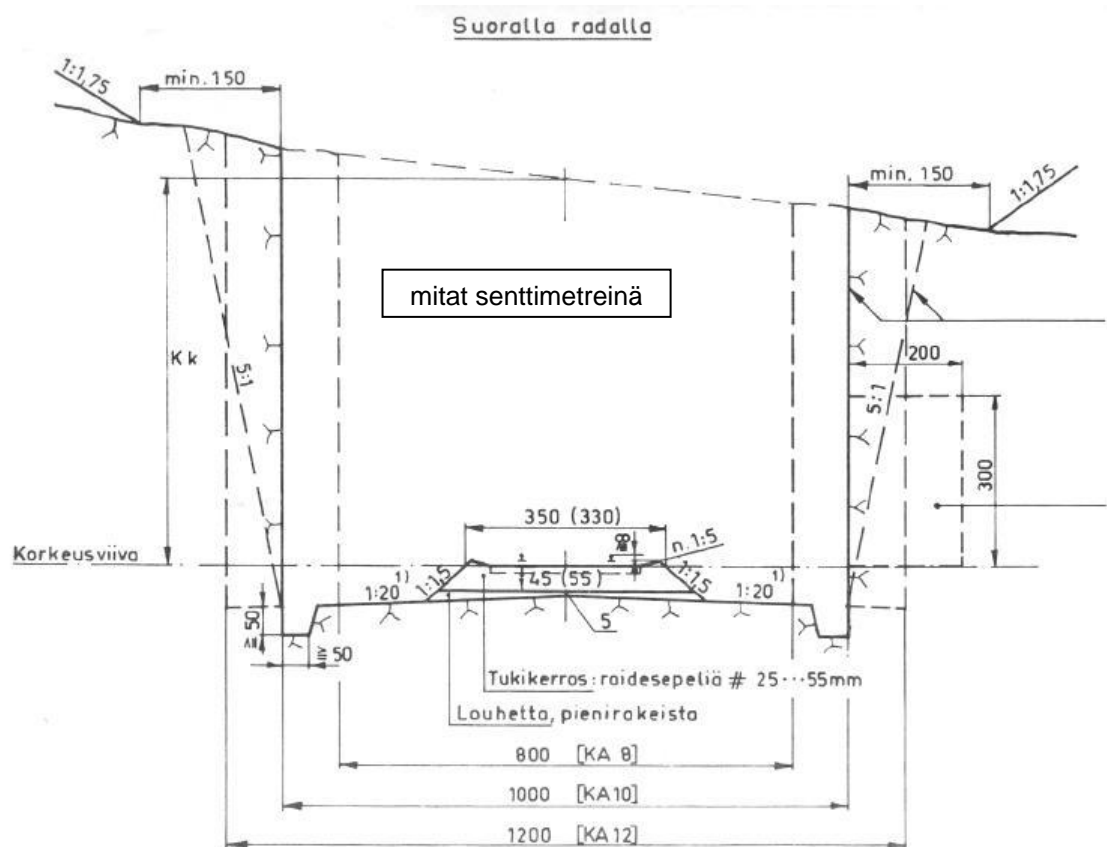
Kuva 1: Radan päällysrakenteen poikkileikkaus

Päällysrakenteen koneellinen tukeminen ja oikominen sekä liikennekuormitus hienontavat tukikerros materiaalina käytettävää raidesepeä. Kunnossapitotoimenpiteiden ja liikennekuormituksen lisäksi tukikerroksen hienoainespitoisuuden kasvunopeuteen vaikuttaa oleellisesti raidesepeelin raaka-aineena olleen kiven iskunkestävyys. Kun hienoksi jauhautunut tukikerros ei enää tue raidetta riittävästi, hienoaines on seulottava pois tai tukikerros on vaihdettava. Tukikerroksen puhdistus ajoitetaan yleensä raiteen uusimisen yhteyteen.

Ratojen perusparannuksien yhteydessä myös kallioleikkauksia on parannettu. Sen lisäksi on tehty yksittäisiä parannuksia johtuen esim. roudan aiheuttamista haitoista. Parannukset ovat keskittyneet lähinnä kallioseinämien lujittamiseen ja ojien syventämiseen leikkauksen pohjan oikaisun ja betonoinnin jäädessä vähemmälle huomiolle. Perusparannuksien yhteydessä saavutettu tulos on vaihdellut paljolti kallioleikkauksen leveyden mukaan, sillä leveä leikkaus on mahdollistanut tehokkaammat parannuskeinot kuin kapea leikkaus. Kapean kallioleikkauksen leventäminen on riskeille ja liikennehäiriöille alttiina työnä jätetty usein tekemättä.

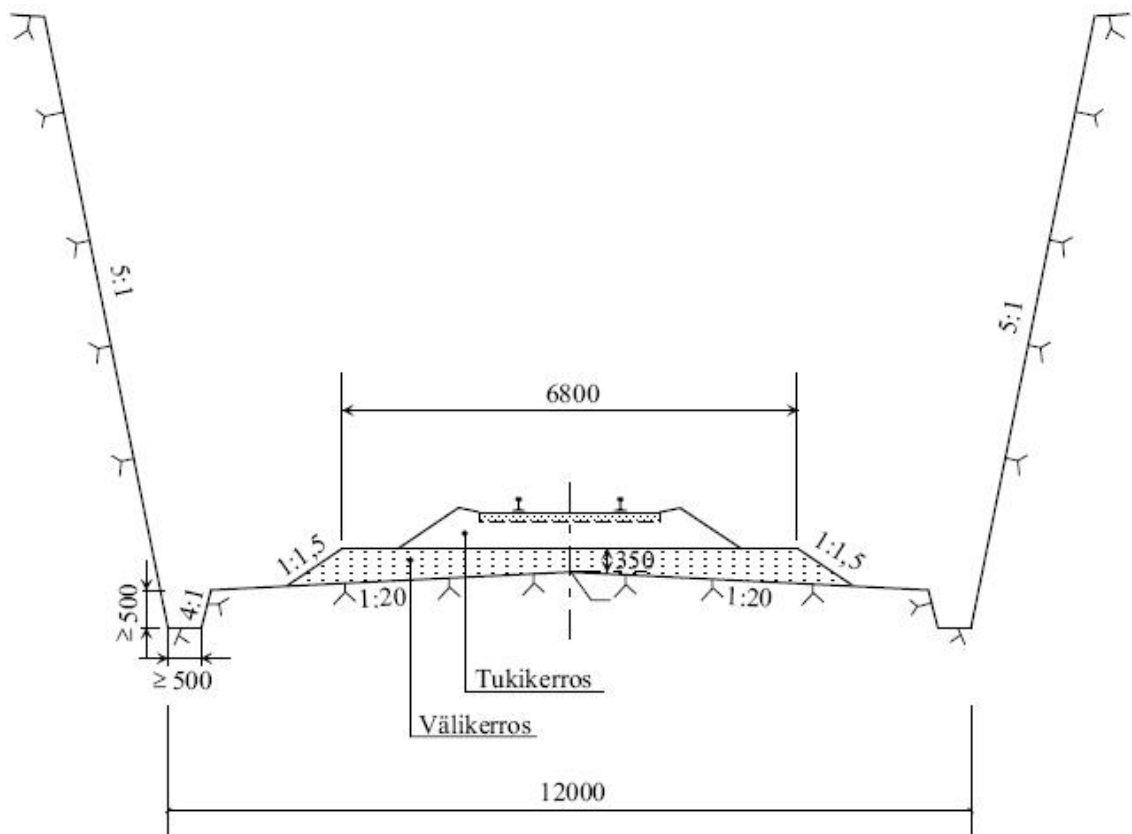
2.3 Nykyvaatimusten mukaan rakennetut kallioleikkaukset

Betonoitu tai louheella kiilattu, radan sivuille viettävä leikkauspohja on ollut vaatimuksena 1970-luvulta lähtien (kuva 2).



Kuva 2: Radan kallioleikkauksen tyyppiopikkileikkaus suoralla radalla, mitat senttimetreinä (RAMO 1976 Liite, ei voimassa)

Voimassa olevissa radan normaalipoikkileikkauksissa (RATO 3 Radan rakenne) kallioleikkaukseen on 1990-luvulta lähtien edellytetty betonoinnin lisäksi välikerros (kuva 3, liite 1). Mikäli kallio on ollut riittävän laadukasta esim. raidesepelin raaka-aineeksi, uusien ratojen ja rataoikaisujen kallioleikkaukset on voitu tehdä avariksi, ja kaikki rakennekerrokset on tehty kiviaineksista. Samalla on voitu rakentaa syvemmät ja leveämmät sivuoijat.



Kuva 3: Nykyvaatimuksien mukainen radan normaalipoikkileikkaus kallioleikkauksessa (RATO 3 Liite 2/10 (23))

2.4 Tunneliin liittyvä kallioleikkaus

Kallioleikkauksen liittyessä tunneliin joudutaan tunnelista tulevat vedet johtamaan kallioleikkauksen kuivatusjärjestelmään tai päinvastoin. Lisävedet on huomioitava kuivatusjärjestelmän mitoituksessa, ja usein on taloudellisinta rakentaa muualta tuleville vesille erillinen poistoviemäröinti.

3 Kallioleikkauksien tyypilliset kuivatusongelmat

3.1 Ulkopuolelta tulevat vedet

Kallioleikkauksen ulkopuolisen maaston muoto ja valuma-alueen laajuus vaikuttavat siihen, kuinka paljon leikkaukseen tulee valumavesiä. Mikäli radan kuivatus ei toimi, vesi kertyy sulan maan aikana radan rakennekerrokseen ja kallion halkeamiin. Pakkas-kautena vesi jäätyy paannejääksi leikkauksen seinämiin. Ulkopuolelta tulevan veden määrää voidaan rajoittaa niskaojilla, mutta veden siirtymistä kallion sisällä halkeamia ja railoja pitkin on hankalampi estää. Suurin osa vuotovesistä tulee pintavaluntana, mutta paikoitellen myös rakoilun johtamat vesimäärät ovat merkittäviä.

3.2 Rakenteessa olevat vedet

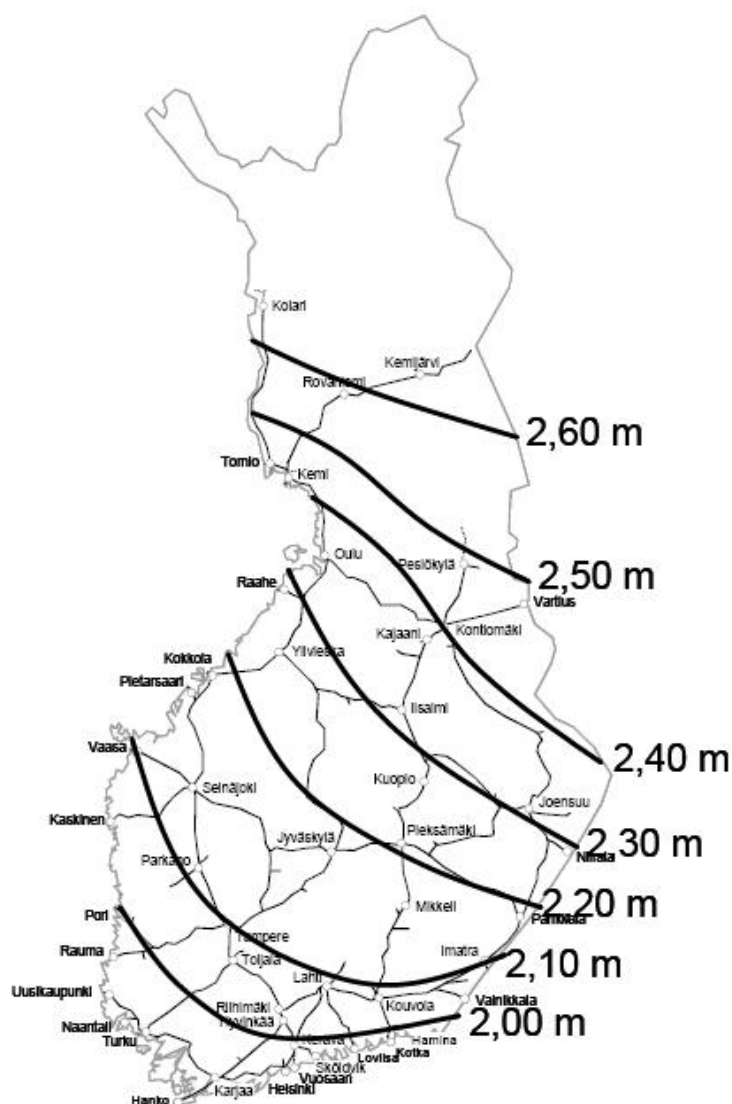
Liikenneviraston laatimassa Roudan hallintaraportti 2010:ssä selvitetään routaan ja routimiseen liittyviä asioita. Routiminen on maassa olevan veden jäätymistä ja sen seurauksena aiheutuvaa maan tilavuuden muutosta. Ratarakenteiden kannalta merkityksellisiä roudan eri esiintymismuotoja ovat massiivinen routa ja kerrosrouta. Massiivisella roudalla ymmärretään talvikauden aikana syntyvää routakerrosta, jonka kokonaistilavuudessa ei tapahdu muutoksia. Maalajeja, joissa muodostuu massiivista routaa, sanotaan routimattomiksi maalajeiksi.

Roudan hallintaraportista ilmenee, että routaongelmien varsinainen aiheuttaja on kerrosrouta. Kerrosrouta on routamuodostuma, jossa pääosin vaakasuorat ja paksuudeltaan vaihtelevat jäätyneen maan kerrokset ja jäälinssit vuorottelevat. Jäälinssejä muodostuu, kun jäätyneen maan ja sulan maan rajakohtaan nousee kapillaarisesti vettä. Jäälinssijä saattaa esiintyä myös kallioleikkauksissa, joissa on vettä kerääviä painanteita. Niissä olevan veden jäätyminen ja laajeneminen aiheuttaa routahaittoja. Vanhoissa kallioleikkauksissa on myös usein todettu rakennekerrosten olevan selvästi liian ohuita.

Roudan hallintaraportissa kerrotaan myös, että routaan liittyy kiinteästi myös ilmiö, jota nimitetään routapehmenemiseksi. Ilmiö liittyy roudan sulamiseen. Sulaminen alkaa pääasiassa routakerroksen yläosasta. Sulamaton routakerros estää sulaneen veden poistumisen alaspäin ja sulanut maakerros muuttuu vedellä kyllästyneeksi ja pehmenee. Pehmenevä maakerros on yleensä hienorakeista maalajia. Hienorakeisia maa-aineksia kulkeutuu sulaneeseen kerrokseen lisää sade- ja sulamisvesien mukana yläpuolella ole-

vasta sepelikerroksesta, jos se on heikkolaatuista. Junakuormasta aiheutuva paine ja tärinä saavat aikaan ylikostean maakerroksen häiriintymistä ja kantavuuden heikkene- mistä.

Alusrakenteen mitoituksen kannalta radat jaetaan viiteen alusrakenneluokkaan. Luokka 0 on alin ja luokka 4 korkein. Alusrakenneluokkia 2, 3 ja 4 käytetään nopean liikenteen ratojen (nopeus vähintään 200 km/h) suunnittelussa ja ne mitoitetaan kerran 50 vuodes- sa toistuvalla pakkasmäärällä (kuva 4). Tällöin puhutaan routimattomasta rakenteesta. (RATO 3 Radan rakenne, 3.9.2 Alusrakenneluokat.)



Kuva 4: Kerran 50 vuodessa toistuvan suurimman pakkasmäärän F50 (h °C) edellyttämä rakennekerrosten paksuus päällysrakenneluokilla 2, 3 ja 4 (RATO 3 Liite 1/2 (11))

Tukikerrokseen ennen pakkaskauden alkamista jäävä vesi voi jäätyessään aiheuttaa epä- tasaista routanousua radan päällysrakenteeseen. Radan kallioleikkauksessa routanousun

suuruus ja epätasaisuus on riippuvainen tukikerroksen hienoaineksen määrästä, tukikerroksen paksuudesta ja leikkauspohjalla olevien vettä keräävien maljojen muodosta ja tilavuudesta.

Routanousun aiheuttamien erisuuruisten kohoumien tasaaminen on työlästä. Betoniratapölkyille, joissa on Skl 14 -kiinnitys, on olemassa kiilaussarja, jolla korkeuseroja voidaan tasata. Pandrol -kiinnityksellä varustetulla betoniratapölkkyllä routakiilaukseen käytetään ylimääräisiä välilevyjä ja routakiilaukseen tarkoitettuja kiinnitysjoisia (kuva 5). Puuratapölkkyraiteessa käytetään vanerista valmistettuja kiiloja pölkyn ja aluslevyn välissä.



Kuva 5: Pandrol -kiinnitteisen betonipölkkyraiteen routakiilausta välilevyjä lisäämällä

Kiilausten käyttö rajoittuu yksittäisiin, lyhyisiin kohteisiin. Kiilauksen lisäksi routaheitojen aiheuttamaa turvallisuusriskiä ja matkustusmukavuuden laskua kompensoidaan radan paikallista nopeutta alentamalla. Roudan sulamisen yhteydessä raiteen asento muuttuu päivittäin, ja senkin vuoksi kiilojen käyttö pitkällä matkalla ei ole suositeltavaa. (RATO 15 Radan kunnossapito 15.5.6.5 Nopeusrajoitukset.)

3.3 Veden poisjohtaminen

Veden poisjohtamisella pyritään estämään radan rakenteen routiminen. Mikäli ratarakenteen poikkileikkauksen rakennekerrospaksuus kallioleikkauksessa on matalampi kuin routimattomien kerrosten vaadittu paksuus, vedet on johdettava pois leikkauspohjalta. Veden poisjohtaminen saadaan aikaan betonoimalla leikkauspohja niin, että se viettää radan sivuosiin päin.

Kallioon louhittu kuivatusoja soveltuu vesien poisjohtamiseen, mikäli kuivatussyvyys on riittävä ja vesi siirtyy rakenteiden alta ojaan. Kuivatustaso on kuitenkin usein liian korkealla. Toimiva kuivatus saadaan tällöin aikaan joko louhimalla oja syvemmäksi ja rakentamalla näin syntyneeseen kanaaliin salaoja, tai poraamalla kallioon radan sivuun riittävän iso radan pituussuuntainen reikä toimimaan salaojana.

4 Kuivatuksen parantaminen

4.1 Radan tarkastaminen

Talven 2009–2010 pakkasmäärä oli huomattavasti normaalia suurempi ja talvi oli runsasluminen. Runsas lumi ei kuitenkaan suojannut ratoja routimiselta ja kevättalvella 2010 rataverkolla oli useita satoja kilometrejä osuuksia, joilla suurinta sallittua liikennöintiä jouduttiin rajoittamaan.

Rautateillä on oma radantarkastusjärjestelmä, jonka avulla varmistetaan junien turvallinen liikennöinti ja häiriöiden ennaltaehkäisy. Tarkastukset kohdistuvat rautatiealueeseen, radan rakenteeseen ja geometriaan sekä sähkörataan ja radan turvalaitteisiin. Radan geometrian tarkastusmenetelmiä ovat koneellinen tarkastus radantarkastusvaunulla (RATO 13 Radan tarkastus 13.4.1 Tarkastusvaunumittaukset), kävellen tehtävä havainnointiin perustuva tarkastus (RATO 13.5.1 Radan kävelytarkastus) ja tarkastaminen junan tai veturin ohjaamosta (RATO 13.5.4 Tarkastus liikkuvasta kalustosta).

Tarkastus perustuu tarkastustuloksien sähköiseen tallentamiseen ja raportointiin. Tarkastustiheys perustuu kunnossapitotasoihin (taulukko 1), jotka määrittävät radan suurimman nopeuden, päällysrakenteen laadun ja liikenteen tarpeiden perusteella (RATO 13.3.1 Kunnossapitotasot). Mikäli kyseessä on kova pakkastalvi, ajetaan radantarkastusvaunulla keväisin vielä erityiset routa-ajot. Routa-ajojen ja kunnossapittäjien tekemien tarkastusten perusteella päätetään rataverkolle asetettavista nopeusrajoituksista.

Taulukko 1: Pääratojen tarkastukset kunnossapitotasoin (RATO 13 Radan tarkastus, tiivistelmä taulukosta 13.3:2)

kp-taso	tarkastusvaunulla (kertaa/v)	kiiktyvyysmittaus (kertaa/v)	liikkuvalla kalustolla (kertaa/v)	vaihdetarkastus (kertaa/v)	kävelytarkastus (kertaa/v)
1AA	6	X	≥ 6	4	2-3
1A	6	X	≥ 6	4	2
1	3		≥ 6	4	1-2
2	2		≥ 6	2-4	1-2
3	2		≥ 6	2-4	1-2
4	2		≥ 4	2-4	1-2
5	2		≥ 2	1	1-2
6	2		≥ 2	1	1-2

Raiteen asema kertoo raiteen absoluuttisen sijainnin koordinaatistossa, raiteen asento kuvaa sen muotoa. Koneellisessa tarkastuksessa raiteen asennon eri suureita mitataan tietyillä mittakannoilla ja niitä verrataan teoreettisiin arvoihin. Mitattavat suureet ovat

- nuolikorkeus eli kiskojen sivusuuntainen suoruus ja kaarevuus
- kallistus eli kiskojen keskinäisen korkeusero
- kierous eli kiskojen keskinäisen korkeuseron muutosnopeus
- raideleveys eli raideleveyden levenemä tai kapenema arvosta 1524 mm
- korkeuspoikkeama eli kiskojen kulkupinnan pystysuuntainen suoruus.

Mitattujen ja teoreettisten arvojen erotus tulkitaan raiteen geometrian virheenä. Jokaisella kunnossapitotasolla on geometrian virheille omat virherajat, joiden mukaan raiteen kunto arvostellaan. Virherajojen ylityksien määrän perusteella määritellään radan geometrisen kunnan palvelutaso. Mittaus tallentuu tarkastusvaunun järjestelmään sähköisesti ja tulokset luovutetaan tarkastusajon jälkeen kunnossapitäjälle ja tilaajalle. (RATO 13.4.1. Tarkastusvaunumittaukset.)

Radan kävelytarkastuksessa rata tarkastetaan kävellen havaintoja ja mittauksia tehden. Havainnoitavia asioita ovat mm. alus- ja päällysrakenteen kunto, radan geometria ja rautatiealue. Kuivatusrakenteista tarkastetaan ratarummut ja pengert-, leikkaus-, niska- ja salaojat. Kävelytarkastaja tallentaa havainnot ja siirtää ne tarkastustietokantaan, josta ne siirretään tilaajalle. (RATO 13.5.1 Radan kävelytarkastus.)

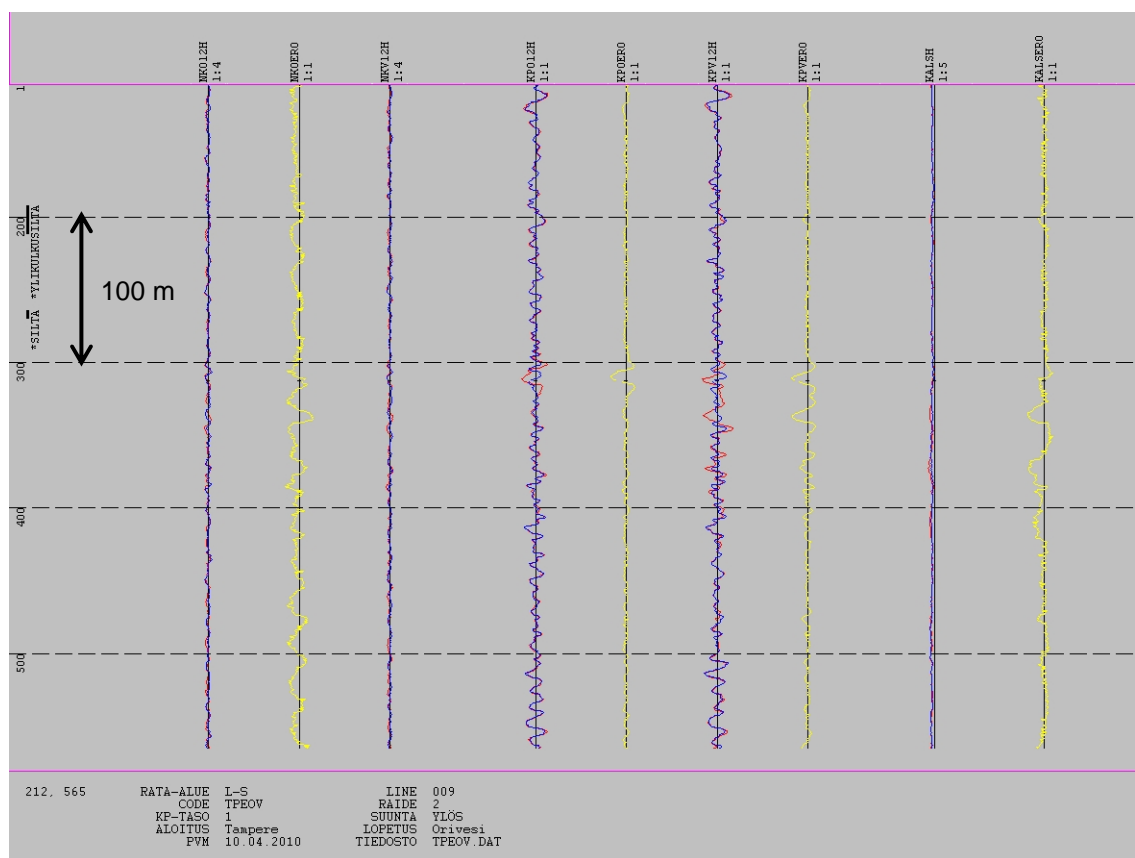
Veturin tai junan ohjaamosta suoritettavassa tarkastuksessa havainnoidaan kaluston liikkeiden perusteella raiteen asennon virheitä ja muutoksia edellisen tarkastuskerran jälkeen. Raiteen geometrian ohella voidaan havainnoida mm. kasvillisuutta, merkkien ja opastimien näkyvyyttä ja kuivatuksen toimivuutta.

Koneellisen raiteentarkastuksen tuloksena saadaan virhelistaus ja tarkastuskäyrä. Virhelistaus sisältää ne radan kohdat, joissa on ollut raiteen geometrian virherajojen ylityksiä. Tarkastuskäyrälle tulostuvat kaikki mitatut suureet virherajoineen. Mittauskäyrien poikkeamat eli raiteen geometriavirheet voidaan mitata A3-kokoisesta paperitulosteesta mitakaava huomioiden suoraan. (RATO 13.4.1.8 Tarkastusvaunumittauksen raportointi.)

Kävelytarkastuksen, liikkuvasta kalustosta suoritettujen tarkastusten ja koneellisen tarkastuksen tietoja vertailemalla voidaan tehdä johtopäätöksiä radan kunnosta ja sen kehitymisestä. Koneellisessa tarkastuksessa keväällä esiintyvät raiteen asennon virheet ja

kävelytarkastuksessa havaittu ojissa seisova vesi viestivät, että radan rakenteen kuivatus ei toimi suunnitellulla tavalla.

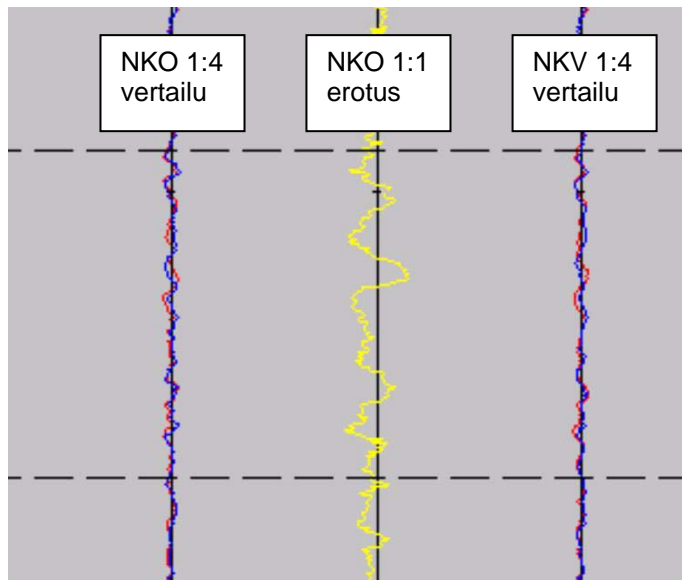
Kuvan 6 käyrät kuvaavat raiteen geometrisia suureita ja niiden poikkeamia vertailuarvosta tietyllä mittakannalla mitattuna. Sinisellä tulostetut käyrät ovat syksyn 2009 tarkastuksen tuloksia ja punaiset käyrät ovat kevään 2010 tarkastuksista. Keltaiset käyrät kuvaavat syksyn ja kevään tarkastuksien eroa. Mitä enemmän keltaiset käyrät poikkeavat perusviivasta, sitä suurempi muutos raiteen asennossa on syksyn ja kevään välillä tapahtunut. Tarkastustuloksien tulkintaa ja merkintöjen selityksiä on kuvattu Ratahallintokeskuksen ohjeessa Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta.



Kuva 6: Raiteentarkastuksen vertailukäyrää syksyn 2009 ja kevään 2010 tarkastusajoina rataosalla Tampere–Orivesi (Lavola, Sanna, Oy VR-Rata Ab, Radantarkastuspalvelut 2010)

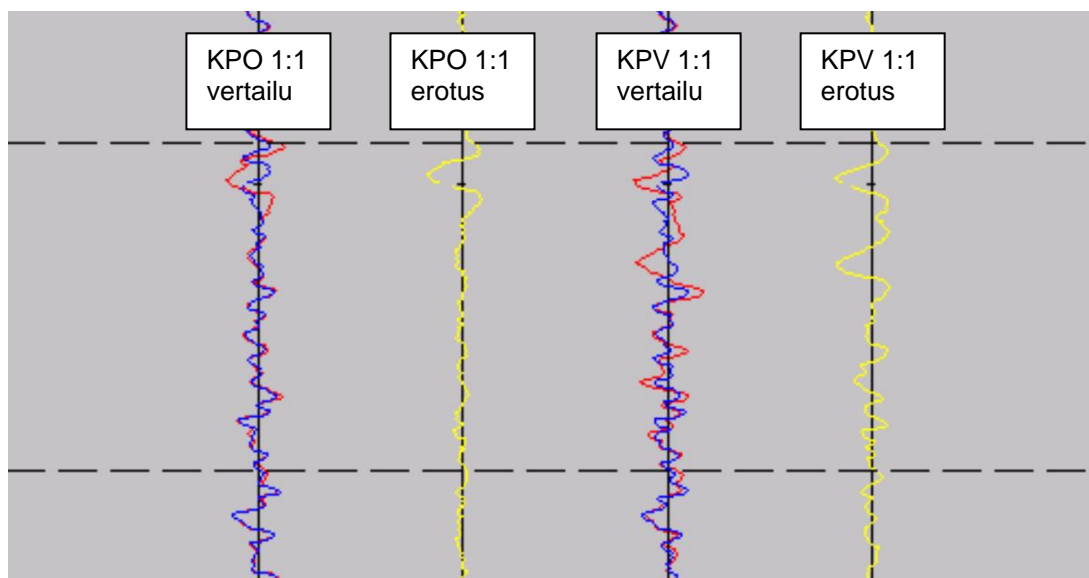
Raiteentarkastuksen ns. "play back" -ajolla voidaan peräkkäisiä tarkastuksia verrata keskenään. Leutona talvena syksyn ja kevään tarkastuksissa ei ole suuria eroja, mutta roudan aiheuttamat muutokset raiteen asennossa näkyvät mm. kiskojen keskinäisen korkeuseron muutoksina (kallistus).

Koneellisessa tarkastuksessa raiteen molempien kiskojonojen nuolikorkeudet tulostetaan 20 metrin mittakannalla mittakaavaan 1:5. Kuvassa 7 on suoritettu play back -ajo vasemman (NKV) ja oikean (NKO) kiskojonon nuolikorkeudesta mittakaavalla 1:4 ja kevään ja syksyn tarkastuksien vertailu on tehty oikeasta kiskojonosta mittakaavalla 1:1. Play back -ajossa kunnossapitotason mukaiset virherajat on jätetty pois.



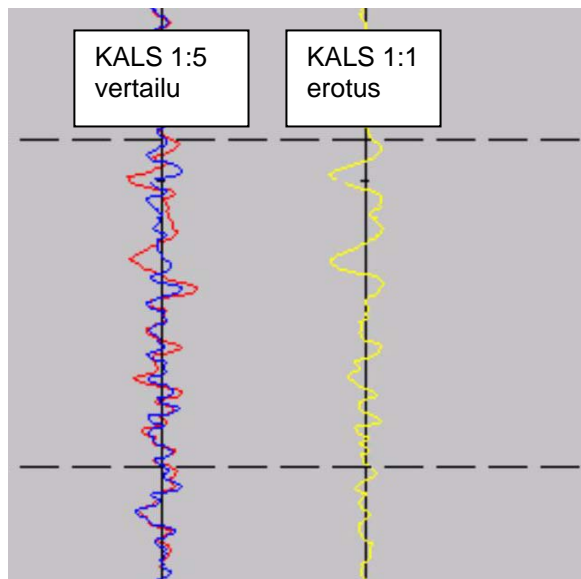
Kuva 7: Nuolikorkeusvirheen erotus oikealla kiskojonolla (Lavola 2010)

Vasemman kiskojonon (KPV) ja oikean kiskojonon (KPO) korkeuspoikkeamat tulostetaan viiden metrin mittakannalla mittakaavassa 1:1. Kuvassa 8 kevään ja syksyn tarkastuksien vertailu on tulostettu mittakaavalla 1:1. Play back -ajossa kunnossapitotason mukaiset virherajat on jätetty pois.



Kuva 8: Korkeuspoikkeamien erotus oikealla ja vasemmalla kiskojonolla (Lavola 2010)

Raiteen kallistus (KALS) tulostetaan mittakaavassa 1:5 ja peräkkäisten mittauksien vertailu mittakaavassa 1:1 (kuva 9). Play back -ajossa kunnossapitotason mukaiset virherajat on jätetty pois.



Kuva 9: Kallistusvirheen erotus (Lavola 2010)

Opinnäytetyötä varten vertailtiin yli kahdenkymmenen kallioleikkauksen koneellisen tarkastuksen tuloksia syksyltä 2009 ja keväältä 2010 rataosalta Tampere - Orivesi. Tarkastuskäyristä tehtyjen havaintojen perusteella ei kuitenkaan voitu tehdä päätelmiä siitä, onko tukikerroksen alapuolisten rakennekerroksien puuttumisella merkitystä päällysrakenteen routimiseen.

4.2 Olemassa olevien ojien puhdistaminen

Kallioleikkauksien ojiin kertyy tuulen ja veden kuljettamana puiden lehtiä ja muuta eloperäistä ainesta. Tämä luo hyvän kasvualustan kasveille ja puustolle (kuva 10). Kasvuston vesonta lisää maassa olevan ravinteen määrää ja kiihdyttää vesakon kasvua. Mikäli oja ei puhdisteta, veden virtaus estyy, ja radan rakenteen kuivatus heikkenee. Ojiin on myös saattanut valua tukikerrosmateriaalia, ja se vaikuttaa osaltaan veden virtaukseen.

Ojat voidaan puhdistaa esimerkiksi raiteella kulkevalla kiskopyörillä varustetulla kaivukoneella. Ojista kaivettu maa- ja kiviaines tulee siirtää sellaiseen paikkaan, missä siitä ei ole haittaa rakenteiden kuivatukselle ja radanpidon töille. Mikäli on epäily pilaantuneis-

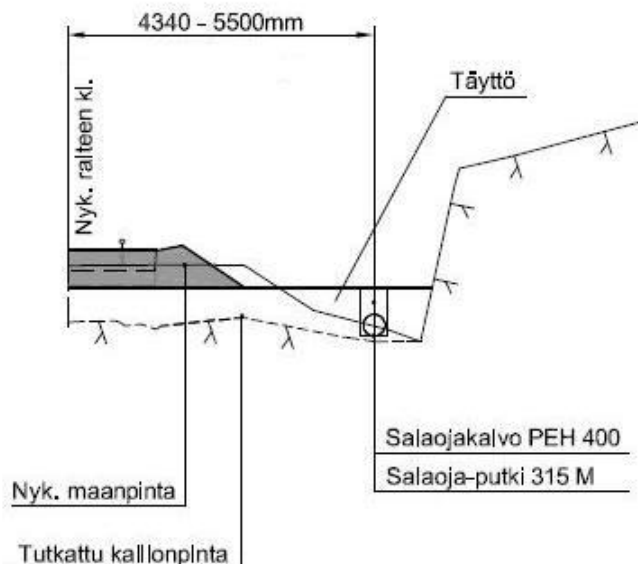
ta maista, kaivettu maa-aines on tutkittava. Ojien puhdistamisen yhteydessä on aina selvitettävä vesien valumasuunta ja purkupaikka.



Kuva 10: Radan kallioleikkauksen kuivatusojassa kasvillisuutta ja tukikerrosmateriaalia

4.3 Salaojan rakentaminen olemassa olevaan ojaan

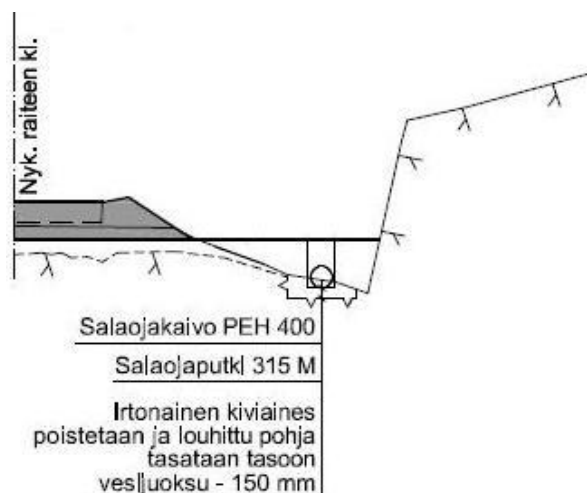
Salaojan rakentaminen olemassa olevaan ojaan on tarpeen, mikäli välikerroksen yläpinnan leveys ei ole riittävä ja tukikerrosmateriaali valuu ojiin (kuva 11). Salaojan rakentaminen on mahdollista, kun kuivatustaso saadaan riittävän alas. Ennen salaojan rakentamista olemassa oleva oja puhdistetaan. Sen jälkeen salaoja rakennetaan normaaleilla työmenetelmillä ja rakenteilla. Lopputäyttö tehdään välikerroksen yläpinnan eli jätkänpolun tasoon. Kun salaoja rakennetaan kuivatuksen kannalta riittävän syväälle ja putkikoko on riittävä, ei routasuojaukselle ole tarvetta.



Kuva 11: Salaojan rakentaminen olemassa olevaan ojaan (Kerokoski, Annukka, Destia Oy Infrasuunnittelu 2009, Kallioleikkaus km 497+530 – 498+230)

4.4 Salaojan rakentaminen kallioon louhittuun kanaaliin

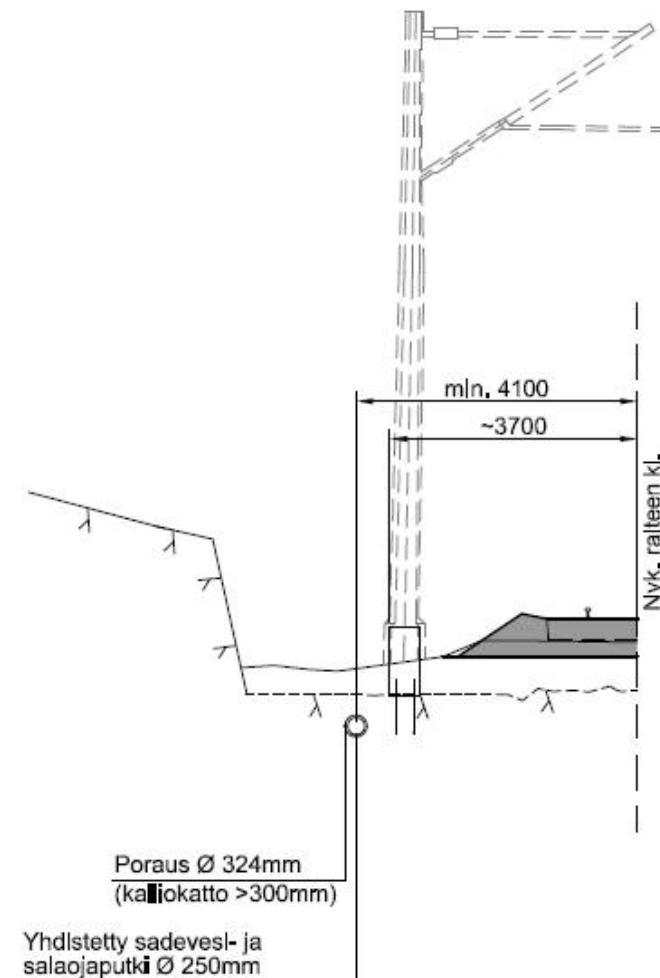
Mikäli olemassa olevan ojan vesijuoksu ei ole kuivatuksen kannalta riittävän alhaalla, voidaan uudelle salaojalle louhia kallioon kanaali ja rakentaa salaoja kanaaliin (kuva 12). Kanaaliin tuleva salaoja tehdään normaaleilla työmenetelmillä ja rakenteilla. Lopputäyttö tehdään välikerroksen yläpinnan eli jätkänpolun tasoon. Veden poisjohtuminen alusrakenteesta tapahtuu kalliossa olevien halkeamien ja railojen kautta. Ulkopuolelta tulevat vedet imeytyvät salaojaan täytön läpi. Kanaalin louhinta ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista sähköratapylväasperustuksen kohdalla ilman perustuksen siirtoa.



Kuva 12: Salaojan rakentaminen kallioon louhittavaan kanaaliin (Kerokoski 2009)

4.5 Salaojan asentaminen kallioon porattuun reikään

Salaojan asentaminen kallioon porattuun radan suuntaiseen reikään on uusi sovellus radan rakenteen kuivatuksessa (kuva 13). Poralaitetta ja porausta varten porauslinjalle louhitaan kallioon poteroita. Porattuun reikään asennetaan salaojaputki ja poteroiden kohdalle tarkastuskaivo. Kaivojen ja salaojaputkien ympärystäyttöön käytetään siihen soveltuvaa kiviainesta. Lopputäyttö voidaan tehdä poteroiden louhinnasta syntyneellä pienlouheella ja eristys-/välikerrosmurskeella.



Kuva 13: Salaojan asentaminen kallioon vaakasuunnassa porattavaan reikään (Kerokoski 2009)

Reiän poraus suoritetaan kruunukärjellä varustetulla poralla iskuenergiaa käyttäen. Vaakaporaus mahdollistaa salaojan rakentamisen pylväsperustuksien kohdalla ja on tällä hetkellä toimivin tekniikka sähköistetyllä radalla ja erityisesti sähköistetyllä kaksoisraiteella. Veden poisjohtuminen päällysrakenteesta salaojaan tapahtuu radan sivuille

viettävää betonoitua pohjaa pitkin. Ulkopuolelta tulevat vedet poistuvat salaojaan alku-
peräisiä ojia myöden ja porausta varten louhittujen poteroiden kohdilta.

Porausmatkaan vaikuttaa poraus- ja välipoteroiden järkevä sijoittelu. Sähköratapylväi-
den väli on normaalisti 65–71 metriä (RAMO 5 Sähkörata 5.3.2.3.2 Jänteen pituus ja
siksakit), ja pylväsväli on otettava huomioon poteroiden sijoittelussa. Porausmatkan
kasvaessa kallion ruhjeisuus ja kallion laadun muuttuminen alkavat vaikuttaa suuntauk-
seen. Suurin porausmatka on käytännössä 50 metriä. Sitä pidemmällä matkoilla suuntaus
on epävarmaa ja erityisesti pienillä vietoilla lopputulos saattaa olla toimimaton. Lyhyet
porausmatkat parantavat tarkkuutta, mutta kasvattavat vastaavasti poteroiden louhinta-
kustannuksia. (Stålfors, Tom, Styrod Boreal Oy 2010.)

5 Kuivatusratkaisujen suunnittelu

5.1 Suunnitteluperusteet

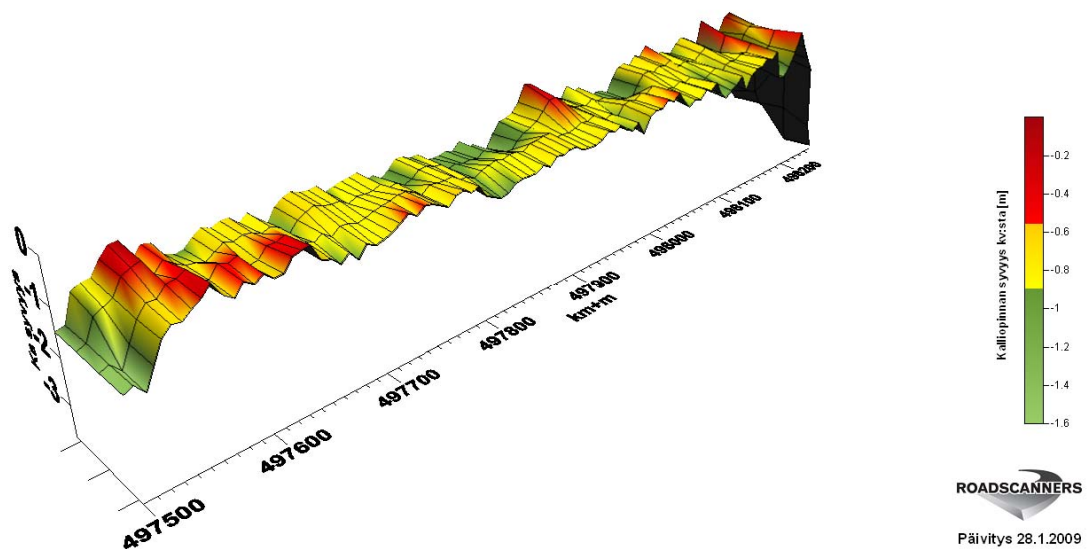
Kuivatusratkaisujen suunnittelu, kuten muukin rataan liittyvä suunnittelu, toteutetaan Radan suunnitteluohjeen B 20 mukaisesti. Suunnittelu alkaa tarveselvityksellä, jossa määritellään mm. työn tarpeellisuus, eri toteutusvaihtoehdot ja niiden vaikutukset ja kustannukset. Varsinainen suunnittelu sisältää lähtötietojen hankinnan mittausten, maastokartoitusten ja maaperäkartoitusten avulla. Maaperäkartoituksessa selvitetään maaperän laadun lisäksi mm. aistinvaraisesti pilaantuneiden maiden mahdollisuus ja otetaan tarvittaessa näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. (Kinnunen, Aarno, Oy VR-Rata Ab Rautatiesuunnittelu 2010.)

Lähtötietojen keruun jälkeen laaditaan varsinainen rakentamissuunnitelma. Rakentamissuunnitelmassa esitetään työn toteutustapa, laatuvaatimukset, suunnitelmapiiirustukset ja rakentamisessa käytettävät materiaalit. Rakentamissuunnitelman tärkein osa on työkohtainen työselostus, jossa esitetään kohteen lähtötiedot sekä kohdekohtaiset työmenetelmät ja työssä noudatettavat yleiset työselitykset ja laatuvaatimukset. (Kinnunen 2010.)

5.2 Maastotutkimukset

Ennen kuivatuksen suunnittelua suoritetaan maastotutkimukset ja -katselmukset. Niiden avulla saadaan kokonaisvaltainen kuva kallioleikkauksesta sekä sen ulkopuolisesta alueesta. Kallioleikkauksen ulkopuolisen alueen tutkiminen on tärkeää mm. sen vuoksi, että saadaan tietoa valuma-alueista ja niiden laajuudesta ja kuivatusjärjestelmällä kerättävien vesien poisjohtamismahdollisuuksista. Katselmuksessa selvitetään myös silmämääräisesti kallion laatua ja ruhjeisuutta. (Kinnunen 2010.)

Varsinaisesta kallioleikkauksesta laaditaan maastomalli, jonka avulla suunnittelija pystyy määrittämään kuivatustason ja kuivatusrakenteiden sijoituksen. Radan rakennekerroksista laaditaan maastokaluotauksen avulla kolmiulotteinen malli, jolla kuvataan rakennekerroksien paksuudet ja kalliopinnan sijainti rakennekerrosten alapuolella (kuva 14). Maastokauksen yksi rajoite on, että kapeissa, alle kymmenen metriä leveissä kallioleikkauksissa liian lähellä oleva leikkauksen pystyseinä aiheuttaa häiriöitä tuloksiin. (Kinnunen 2010.)



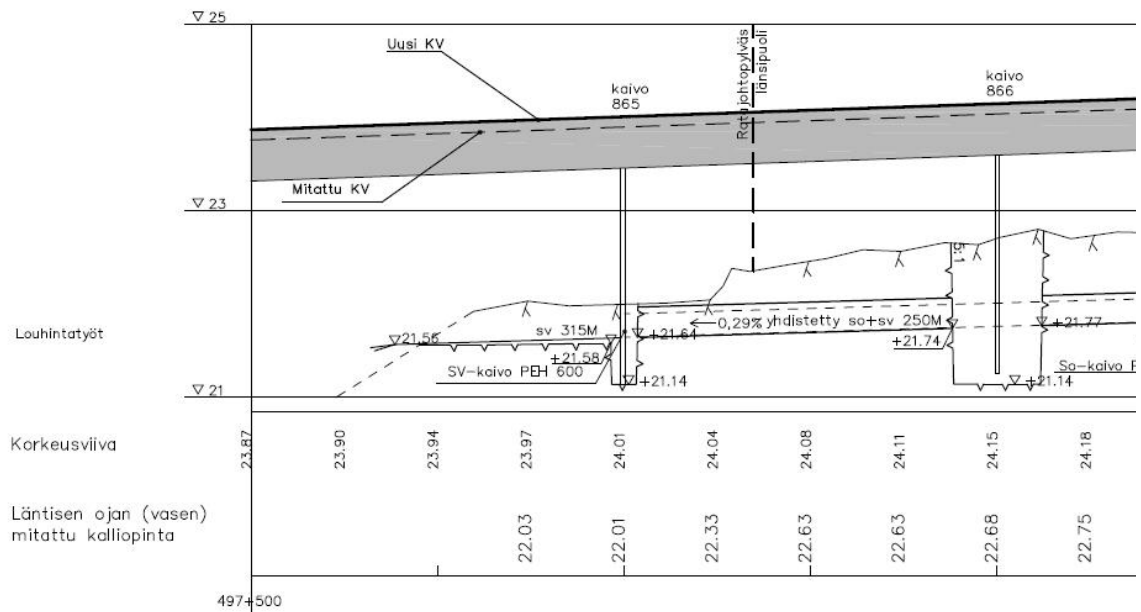
Kuva 14: Tulosraportti: Jepuan kallioleikkauksen 3D maatutkaluotaus (Silvast, Mika, Roadscanners Oy, 2009)

5.3 Kuivatuksen suunnittelu

Kuivatuksen tekninen suunnittelu käsittää kuivatusmenetelmän valinnan ja mitoituksen. Johdettavien vesimäärien ollessa verrattain pieniä perustuu ratarakenteen salaojan mitoitust pääasiassa huollettavuuteen ja kunnossapitoon. Mikäli järjestelmään johdetaan runsaasti pintavesiä, asia on otettava huomioon putkikoon ja putkimateriaalin määrittelyssä. Kun kyseessä ovat vähäiset vesimäärät, voidaan käyttää yhdistelmäputkea. Tarvittaessa rakennetaan kaksi rinnakkaista järjestelmää, joista ylempi linja toimii salaojana ja alempi linja viemärinä (InfraRYL 2010, 14311.3.3 Salaojien asentaminen ratarakenteissa).

Salaojan pituuskaltevuuden suunnittelussa on otettava huomioon radan pituuskaltevuus ja salaojissa sallittavat minimipituuskaltevuudet (kuva 15, liitteet 2 ja 3). Mikäli kallioleikkauksen osuudella radan pituuskaltevuus on vaakasuora tai hyvin pieni, on myös salaojan pituuskaltevuus suunniteltava pieneksi. Suurien pituuskaltevuuksien käyttö salaojassa radan tasaisella pituuskaltevuusjaksolla lisää louhinnan määrää. Hyvin pitkissä salaojalinjoissa pituuskaltevuus voi olla merkittävä kustannuksia lisäävä tekijä.

Työn toteutuksen aikana urakoitsijan on seurattava salaojakaivantoon kallion raoista tulevia vesimääriä. Mikäli vesimäärät tuntuvat salaojan mitoitukseen nähden liian suurilta, on otettava yhteyttä suunnittelijaan.



Kuva 15: Radan pituusleikkaus, jossa on esitetty kuivatusjärjestelmä ja vaakaporausta varten louhittavat poterot (Kerokoski 2009)

5.4 Rakentamisen suunnittelu

Rakentamisen suunnittelu aloitetaan selvittämällä työhön tarvittavien työrajojen saataavuus. Rataosasta riippuen työraot sijoittuvat pääsääntöisesti joko päivään, yöhön tai viikonloppuun. Työrajojen pituus vaikuttaa mm. kerralla tarvittavien kone- ja henkilöresurssien määrään. Työajan vuorokautisen sijoittumisen perusteella tehdään myös ilmoitus melua ja tärinää aiheuttavasta työstä kunnan ympäristöviranomaiselle.

Louhittavaan kanaaliin ja kallioon porattavaan vaakasuuntaiseen reikään toteutettavien salaojien louhintamäärät ovat samaa suuruusluokkaa. Louheen poiskuljetusta varten tarvitaan joko työmaatie tai louhe siirretään pois raiteella kulkevalla kalustolla. Mikäli kuljetuskalusto ja/tai kaivurit työskentelevät raiteen päällä, raide on suojattava.

Kallioleikkauksen ollessa vähintään kymmenen metriä leveä voivat kaivurit ja dumppeirit liikkua ja työskennellä raiteen ulkopuolella, ja raiteen vaurioituminen ei ole todennäköistä. Raiteen ulkopuolella liikkuminen edellyttää, että dumpperien toisen puolen pyörät kulkevat jätkänpolulla ja toisen puolen pyörät louhitun kanaalin louheen päällä. Porausvaihtoehdossa poteroiden välit voidaan jo etukäteen täyttää välikerrosmurskeella ja poteroiden louhe tasata kulkukelpoiseksi, mutta sähköratapylviä ohitettaessa raide pitää suojata.

6 Toteutuksen suunnittelu

6.1 Rakentamisen reunaehdot

Rakentamisen reunaehdot lähtevät rahoituksesta ja päätyvät työn konkreettiseen toteuttamiseen. Suomen valtion budjetissa ratojen ylläpitoon on varattu vuosittain tietty rahasumma. Rataverkon kunnan heikentymisen vuoksi kiireellisimpiä kohteita ovat radat, joissa päällysrakenteen huono kunto on aiheuttamassa liikennöinnille nopeus- ja/tai akselipainorajoituksia. Etelä-Suomen liikenteen kasvutarpeelle menee tietty osa määrärahoista ja ratojen sähköistys nielee rahaa vielä useiden vuosien ajan. Tässä tilanteessa yksittäisten korjauskohtien ottaminen toteutuslistoille vaatii virkamiehiltä erityistä panostusta.

Jotta radan kalliroleikkauksen kuivatusta voitaisiin alkaa perusteellisesti parantaa, sille on oltava todellinen tarve. Tarve syntyy esim. roudan aiheuttamien nopeusrajoitusten määrän vähentämisestä. Myös radan kunnossapitotasolla on merkitystä kuivatuksen tehostamiseen. Kunnossapitotasoa 1 alemmilla radoilla päällysrakenne harvoin routii niin paljon, että siitä aiheutuu matkustusmukavuuden huononemista suurempia haittoja.

Kuivatuksen parantamiselle pitää olla realistiset toteutusmahdollisuudet. Mikäli kalliroleikkaus on alle kymmenen metriä leveä, on porauslaitteistolle louhittavan poteron taloudellinen toteuttaminen usein kannattamatonta. Salaojan rakentaminen kallioon louhittavaan kanaaliin vaatii sekin yli seitsemän metriä leveän leikkauksen. Liikennöidyn radan kalliroleikkauksen leventäminen voi tulla jopa niin kalliiksi, että uuden leikkauksen rakentaminen on edullisempaa.

Yksiraiteisella radalla liikenteen tiheys asettaa rajoituksia toteutuksen taloudellisuudelle. Liikennevirasto neuvottelee säännöllisesti liikenteenhoidon ja liikennöitsijän kanssa radalla tehtävien töiden vaatimista rajoitteista ja muutoksista rautatieliikenteeseen. Tiheästi liikennöidyllä radalla työrajoja pystytään järjestämään korvaamalla matkustajajunia linja-autoilla, ja osalla rataverkkoa voidaan tavarajunia ajaa korvaavia reittejä pitkin. Tällöin puhutaan yleensä totaalikatkosta. Mikäli riittävän pitkiä työrajoja ei voida järjestää, työn taloudellisesti järkevä suorittaminen ei ole mahdollista.

Louhittuun kanaaliin rakennettavan salaojan ja kallioon porattuun reikään tehtävän salaojan vaatimukset työraolle ovat hyvin samankaltaiset. Louhinnan vaatima poraus ja

räjäytykset voidaan suorittaa jopa alle tunnin pituisissa työraoissa. Mikäli työkohdetta lähinnä olevalle liikennepaikalle on pitkä matka, työraon pituuden raja tulee kuitenkin vastaan rataa pitkin kulkevan kaluston tehokkaassa hyödyntämisessä. Ratakuorma-auton ja päällysrakennetyökoneiden matkaan käyttämä aika on käytännössä n. kaksi minuuttia/kilometri, sillä Liikenteen turvallisuusviraston kansalliset turvallisuussäännöt, määräys Liikennöinti ja ratatyö rautatiejärjestelmässä, rajaa ratatyökoneiden ajonopeuden ratatyössä enintään 50 km/h:iin ja vaunuja työnnettäessä 35 km/h:iin.

6.2 Turvallisuus, riskinhallinta ja ympäristö

Tilaaajan velvollisuus on toimittaa päätoteuttajalle ennen töiden alkua kohteen Turvallisuusasiakirja, johon pohjautuen päätoteuttaja laatii urakan turvallisuussuunnitelman ja tekee riskikartoituksen. Turvallisuussuunnitelmassa esitetään työn turvallinen ja ympäristöä säästävä toteuttamistapa. Riskikartoituksessa tuodaan esille työssä esiin tulevat riskit, niiden toteutumismahdollisuus ja keinot riskien pienentämiseksi. Ennen työn aloitusta päätoteuttaja tekee rakennustyön ennakoilmoituksen siihen aluehallintovirastoon, jonka alueella työmaa sijaitsee (Vna 205/2009).

Rautatiealueella tehtävissä töissä edellytetään aina ratatyöturvallisuuspätevyyttä (Ratahallintokeskus 2009, B 24 Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO)). Ennen töiden alkua päätoteuttaja perehdyttää oman henkilöstönsä ja omien aliurakoitsijoidensa henkilöstön työkohteeseen. Sen lisäksi päätoteuttaja perehdyttää yhteisellä työmaalla olevien muiden urakoitsijoiden vastuuhenkilöt (Vna 205/2009).

Radan kallioleikkauksessa riskit koostuvat seuraavista asioista:

- juna töytäisee työntekijää
- juna tulee työmaalle kesken ratatyöluvan
- raiteilla kulkevat työkoneet törmäävät toisiinsa
- raiteilla kulkeva työkone törmää raiteen sivussa olevaan koneeseen
- liikenteenohjaus ilmoittaa liikkuvalla yksikölle työmaan sijainnin väärin
- työkoneen osa joutuu liian lähelle jännitteisiä rakenteita
- kallioon louhitun poteron tuenta pettää ja aiheuttaa junan suistumisen
- työntekijä horjahtaa kallioon louhittuun poteroon
- louhinnassa kiviä sinkoutuu räjäytyssuojamattojen alta
- louhinnan tärinät vaurioittavat rakenteita ja niiden perustuksia.

Riittäväällä perehdyttämisellä, viikoittaisilla turvallisuustarkastuksilla ja työvaiheisiin opastamisella riskien toteutumista voidaan pienentää. Perehdyttämisen ja opastamisen tulee olla jatkuvaa. Sattuneiden 'läheltä piti' -tapauksien raportteja tulee hyödyntää turvallisuuden kehittämisen suunnittelussa. Sen lisäksi koko työmaan henkilöstöllä pitää olla mahdollisuus vaikuttaa oman työnsä turvallisuuteen.

Ympäristön kannalta on tärkeää, että salaojista purkautuvan veden laatu ja vaikutukset ympäristöön selvitetään ennen työn toteutusta. Jos salaojavedet johdetaan maastoon, on huolehdittava siitä, että ne eivät aiheuta haittaa muille rakenteille tai ympäristölle (InfraRYL 2010, 14311.6 Salaojien tekemisen ympäristövaikutukset).

6.3 Resurssisuunnittelu

Resurssisuunnittelussa on otettava huomioon työmaan yleisjohdon lisäksi työvaiheiden työnjohto, mittaustyöt, aputyöt ja kaivu-, kuormaus- ja kuljetuskalusto. Konekalusto sisältää kaivukoneet, kuormaajat, louheen siirtoon soveltuvat kuljetusvälineet ja rautatiekaluston. Rautatiekalusto sisältää veto- ja kuljetuskaluston raidetta pitkin toimitettavia materiaaleja kuten kiviainesta varten. Sen lisäksi on otettava huomioon raiteen tukemiseen ja oikomiseen sekä tukikerroksen muotoiluun tarvittava kalusto. Louhintakalusto sisältää porauskaluston ja räjäytyssuojauksen. Vaakaporauskalusto sisältää varsinaisen poralaitteiston lisäksi koneikon ja voimanlähteen.

6.4 Materiaalit

Salaojien rakentamisessa käytettävät materiaalit ovat yleisiä rautakaupoissa myytäviä tuotteita ja maarakentamisessa käytettäviä kiviaineita. Materiaalien suunnittelussa tulee huomioida kanaalin poikkileikkausala, kuivatussyvyyden mukaan määräytyvät tarkastuskaivojen korkeudet ja linjan pituuden mukaan määräytyvä salaojaputkimäärä. Kuivatussuunnitelmissa on esitetty salaojaputkien ja tarkastuskaivojen vaadittava koko ja laatuvaatimukset sekä salaojan ympärys- ja lopputyössä käytettävän kiviaineksen rakeisuusvaatimukset.

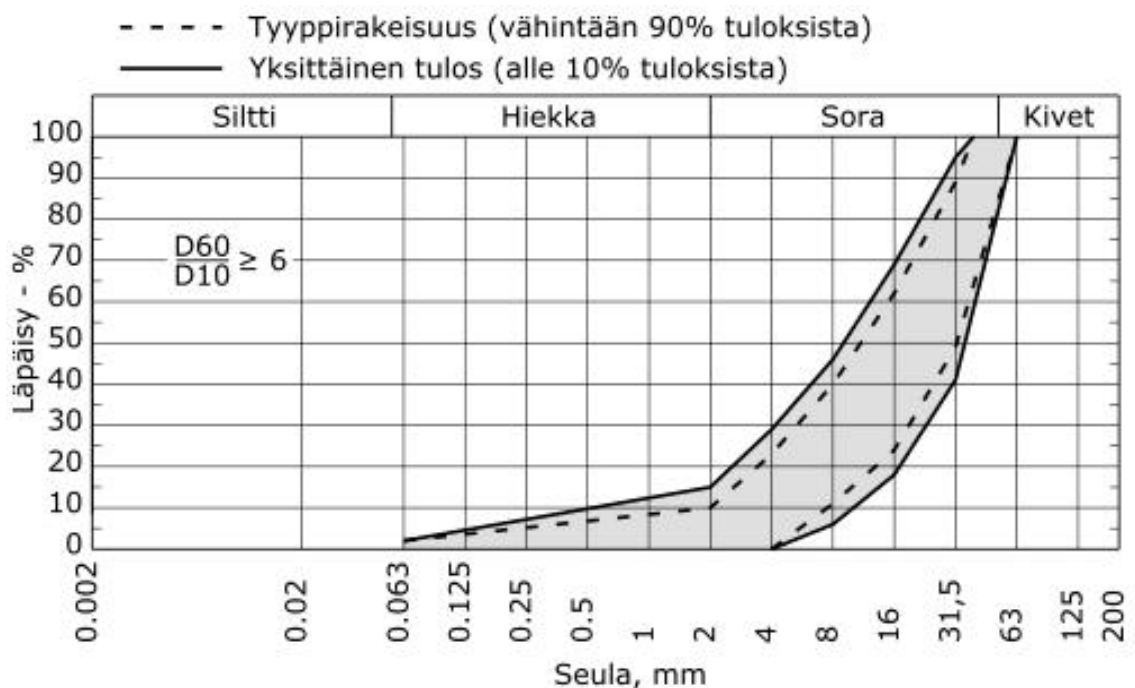
Ratarakenteissa salaojien laskuputkina käytetään betoniputkia tai reiättömiä SN8-luokan muoviputkia. Muoviputken sisähalkaisija on vähintään 250 mm ja betoniputken

vähintään 300 mm. (InfraRYL 2010, 14311.1.2 Aluesalajien materiaalit ratarakenteissa.)

Muovi- ja teräsputkien alla asennusalustana käytettävän luonnonkiviaineksen suurin sallittu raekoko on 10 % putken nimellimitasta kuitenkin siten, että putkille DN < 200 suurin sallittu raekoko on 20 mm ja putkille DN > 600 suurin sallittu raekoko on 63 mm. Murskeen käyttö on sallittua muoviputkien DN > 100 asennusalustaan, ja murskeen suurin sallittu raekoko on 16 mm. (InfraRYL 2010, 18310.1.3 Muovi- ja teräsputkien asennusalustojen materiaalit.)

Salaojaputken asennusalustan tulee olla rakeisuudeltaan sellaista, että se muodostaa kantavan ja tasaisen alustan putkelle. Putken ympärystytön tulee olla hyvin vettä läpäisevää. Ympärystytöön voidaan käyttää salaojasoraa tai -sepeliä, jonka rakeisuus on alueella 2.

Lopputytön materiaalin ratkaisee se, pitääkö tytön olla hyvin vettä läpäisevää vai tiivistä. Hienoainespitoisuuden tulee olla niin vähäistä, että hienoaines ei kulkeudu veden mukana ja tuki salaojan ympärystytöä. Yhdistetty välikerros- / eristyskerrosmurske on kummassakin suhteessa tarkoitukseen soveltuvaa (kuva 16).



Kuva 16: Eristys- ja välikerros murskeesta, rakeisuusalue InfraRYL 2010, 21220.1.3 Kalliomurske

7 Kuivatuksen toteuttaminen

7.1 Työkohteelle asetettavat yleiset vaatimukset

Kallioleikkauksen leveydestä riippuen työkohteelle voidaan joko rakentaa työmaatie raiteen sivuun tai hoitaa kuljetukset pelkästään kiskoja pitkin. Raiteen sivuun rakennettu työmaatie helpottaa esim. louheen siirtoa läjityspaikalle. Mikäli louhe joudutaan siirtämään työkohteesta rautatiekalustolla, siirtokustannus on lyhyissä työraoissa suurempi. Salaojan täyttömateriaalin toimittaminen työkohteeseen on yleensä taloudellisempaa rautatiekalustolla kuin maantiekalustolla suuremman kuljetuskapasiteetin vuoksi.

Kallioleikkauksen leveys vaikuttaa käytettävän kaivu- ja siirtokaluston valintaan. Leikkauksen puolileveyden ollessa vähintään viisi metriä on mahdollista käyttää 25 tonnin painoluokan tela-alustaisia kaivukoneita niin, että koneen molemmat telat kulkevat raiteen ulkopuolella. Kaivukone pystyy myös kääntymään 180 astetta, mikäli koneen vastapaino ei ulotu liian pitkälle koneen keskiöstä. Traktoridumpperit voivat samoin edellytyksin hyödyntää työmaatietä.

Riittävän leveä leikkaus mahdollistaa myös raiteella kulkevan työkonekaluston valvotun ohituksen. Leikkauksen puolileveyden ollessa alle neljä metriä joutuvat koneet ajamaan toinen pyörä ja tela kiskojen välissä ja raide on suojattava esim. vanhoilla puuratapölkkyillä vaurioiden välttämiseksi. Tällöin myös raiteilla kulkevan kaluston ohitusmahdollisuus menetetään.

Kallion louhinnassa syntyvälle louheelle pitää olla loppusijoituspaikka. Taloudellisinta on käyttää louhe lähistöllä olevan toisen radanrakentamiskohteen rakenteissa. Mikäli tällaista käyttömahdollisuutta ei ole, louhe on läjitettävä. Ennen käyttöä uudessa kohteessa tai mahdollista läjitystä louheen mahdolliset pitoisuudet on selvitettävä joko aistinvaraisesti tai näytteitä ottamalla. Mikäli on tieto tai epäily esim. radalla sattuneesta öljy- tai polttoainevuodosta, louheen tutkimiseen on kiinnitettävä huomiota. Kiinteästä kalliosta louhitussa louheessa ei sallittuja rajoja ylittäviä pitoisuuksia yleensä ole.

Kaapelit ja muut varottavat rakenteet on selvitettävä ennen rakentamisen aloittamista. Radan turva- ja sähköratalaitteiden kaapelointien lisäksi rautatiealueella on paikallisten teleoperaattoreiden ja sähkölaitosten kaapeleiden risteämiä. On myös otettava huomioon lentokenttien ja puolustusvoimien omistamat kaapelit. Lähellä olevat kaapelit on yleensä

sä kaivettava esiin ja suojattava. Rakentamisen aikana ja sen jälkeen kaapelit tulee asentaa ja suojata Ratahallintokeskuksen julkaisun B13 Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella mukaisesti.

Louhinnasta syntyvälle tärinälle alttiit kohteet on selvitettävä jo työn suunnitteluvaiheessa ja esitettävä ne työkohtaisessa työselostuksessa. Tärinälle alttiita rakenteita ovat mm. asetinlaitetilat, teräsbetonista valmistetut sähköratapylväsperustukset ja ylikulkusillat. Louhinnassa syntyvää tärinää mitataan rakenteisiin kiinnitettävillä mittareilla, jotka yleensä ovat kaukoluettavia. Tärinäaltistus pienenee etäisyyden kasvaessa (taulukko 2).

Taulukko 2: Ohjeelliset tärinäraja-arvot rakenteille ja laitteille (Ratahallintokeskus 2007, B 19 Louhintatyöt rautatien läheisyydessä)

A Asetinlaitetilat (rele- ja tietokone- pohjaiset) sekä tunnelit				B Syöttöasemat, sähkökeskustilat sekä kytkinkentät				C Maavaraiset yli- ja alikulkusillat, rummut, tukimuurit, laitekaapit ja opastimet			
R(m)	vVe(mm/s)	W(kg)	nW(kg)	R(m)	vVe(mm/s)	W(kg)	nW(kg)	R(m)	vVe(mm/s)	W(kg)	nW(kg)
10	10	0,14	0,96	10	20	0,62	4,0	10	35	2,0	13
20	10	0,57	3,8	20	20	2,5	16	20	28	5,0	32
40	10	2,3	15	40	20	9,8	64	40	23	13	85
60	10	5,1	34	60	20	22	144	60	20	22	144
80	10	9,2	61	80	20	39	256	80	18	32	206
100	10	14	96	100	20	62	400	100	17	44	286
150	10	32	215	150	20	138	900	150	15	76	497
200	10	57	383	200	20	246	1600	200	14	116	767
D Pylväät, portaalit, muuntajat, kalliovaraiset yli- ja alikulkusillat				E Radassa kiinni olevat laitteet							
R(m)	vVe(mm/s)	W(kg)	nW(kg)	R(m)	vVe(mm/s)	W(kg)	nW(kg)				
10	70	8,6	53	10	100	18	110				
20	55	21	129	20	100	73	442				
40	44	52	325	40	100	292	1767				
60	36	76	484	60	100	656	3976				
80	32	106	674	80	100	1166	7068				
100	28	125	800	100	100	1822	11044				
150	25	221	1425	150	100	4100	24848				
200	22	301	1947	200	100	7289	44174				

7.2 Laatuvaatimukset

Laatuvaatimukset salaojien rakenteelle on esitetty InfraRYL 2010:ssä. Vaatimukset koskevat salaojaputkien asennusalustaa, salaojaputkien ja -kaivojen ympärystäytystä, salaojaputkien ja -kaivojen asentamista ja niiden materiaaleja, salaojan asentamista rata-rakenteissa ja valmiin salaojan kelpoisuuden osoittamista. Rakenteen laatuvaatimukset löytyvät seuraavista Infra-RYL 2010:n kohdista:

- InfraRYL 14311.2 Aluesalaojien alusta
- InfraRYL 18310.4 Valmis asennusalusta
- InfraRYL 14311.3.1 Salaojien asentaminen, yleistä
- InfraRYL 14311.3.3 Salaojien asentaminen ratarakenteissa
- InfraRYL 14320 Salaojan kaivot ja tarkastusputket
- InfraRYL 14311.4 Valmis salaoja
- InfraRYL 14311.5 Salaojien kelpoisuuden osoittaminen.

Salaojan asentamiselle kallioon porattuun reikään ei tätä kirjoitettaessa ole olemassa laatuvaatimuksia.

7.3 Salaojan rakentaminen kallioon louhittuun kanaaliin

Salaojan tekeminen kallioon louhittuun kanaaliin on todettu olevan käytännössä lopputulokseltaan toimiva ratkaisu. Kuivatussyvyydestä ja olemassa olevan leikkausojan syvyydestä riippuen louhittavaa on 1–1,5 kiintokuutiota salaojan pituusmetriä kohti. Sopivalla porauksella ja panostuksella louhinta ei riko liikaa päällysrakenteen alla olevaa kalliota.

Aluksi vanha oja puhdistetaan sinne valuneesta maa-aineksesta. Mahdolliset puut kaadetaan ennen ojan puhdistamista. Puhdistamisen jälkeen panostaja suunnittelee kanaalin porauksen ja panostamisen. Vanhan ojan muodosta johtuen sopivin kalusto panosreikien poraukseen on poralaitteella varustettu raiteella kulkeva kaivukone (kuva 17). Normaalisti poraus tehdään kahteen riviin. Porauksen jälkeen kenttä panostetaan ja räjäytetään lyhythidastentalleilla. Räjäytyksen jälkeen kanaalista kaivettava louhe kuormataan kuljetuskalustoon ja siirretään joko välivarastoon tai loppusijoituspaikkaan (kuva 18).



Kuva 17: Panosreikien porausta poralaitteella varustetulla kiskoilla kulkevalla kaivurilla



Kuva 18: Salaojalle louhitun kanaalin auki kaivua

Louhitun kanaalin pohjan taso vaaitaan ja varmistetaan, että salaoja voidaan rakentaa suunniteltuun tasoon. Mikäli kanaaliin tulee kallion raoista paljon vettä, pumpataan vesi

pois uoppopumpuilla. Salaojaputkilinjalle rakennetaan ennen putkien asentamista asennusalusta suunnitelmassa esitetystä materiaalista. Asennusalusta tiivistetään huolellisesti ja tiivistämisen jälkeen varmistetaan vielä mittauksin, että taso on oikea. Putkien asennuksen jälkeen tehdään ympärystäyttö ja sen jälkeen lopputäyttö.

Täyttöjen tiivistäminen tehdään putkien valmistajan ohjeiden ja suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Lopputäyttönä voidaan käyttää kanaalista louhitun louheen pienempirakeista osaa. Täytön yläpinta on kuitenkin muotoilun helpottamiseksi tehtävä esim. eristys- ja välikerros murskeesta tai vastaavasta vettä läpäisevästä kiviaineksesta.

Kiviainekset toimitetaan kohteeseen parhaalla soveltuvalla tavalla. Esimerkkikohteessa asennusalustan, ympärystäytön ja lopputäytön kiviainekset kuormattiin rautatievaunuun lähimmällä liikennepaikalla. Työkohteeseen kiviainekset siirrettiin ratakuorma-autolla. Uad-vaunuissa on kuljetin, jonka avulla kiviaines saadaan purettua vaunusta haluttuun kohtaan (kuva 19). Kiviainesta kohteeseen purettaessa tukikerros on tarvittaessa suojattava, jotta siihen ei pääse sekoittumaan muita lajikkeita.



Kuva 19: Salaojan lopputäyttöä rautatievaunusta

Tarkastuskaivojen asentamisessa on otettava huomioon, että kaivon liittyvän putken asennusalusta tiivistetään erityisen hyvin kaivon vierestä putken leikkautumisen estämi-

seksi. Tarkastuskaivot ympäröidään suunnitelmassa esitetyllä materiaalilla. Kaivojen vaurioitumisen estämiseksi louhetta ei voida käyttää ympärystäytönä.

Kaivon asentamisen jälkeen tulo- ja lähtöputken vesijuoksujen korkeudet kartoitetaan ja dokumentoidaan. Ennen lopullisen täytön ja tasauksen tekoa kaivojen kansien alle asennetaan esim. suodatinkankaan pala estämään kiviaineksen valuminen kaivoon rakentamisen aikana. Täyttöjen valmistuttua kansien alle asennetut suodatinkankaan palaset poistetaan ja kaivojen kansien korkeudet säädetään niin, että ne ovat hieman ympäröivää tasoa alempana.

7.4 Salaojan asentaminen kallioon porattuun reikään

Salaojan tekoon uutena ratkaisuna kokeiltu vaakaporaustekniikka on toimiva ratkaisu kalliossa olevien vesien poisjohtamiseen. Vaakaporaus soveltuu erityisen hyvin sähköistetylle radalle, jossa sähköratapylväsperustuksien kohdalla louhiminen on yleensä mahdotonta ilman perustuksen uusimista tai vaativien väliaikaistuentojen rakentamista (kuva 20).



Kuva 20: Poraus sähköratapylväsperustuksen ohi

Vaakaporaus suoritetaan kallioon louhitusta poterosta. Ideaalitulanteessa poterosta joka toinen on porauspotero ja joka toinen välipotero. Jokaisesta porauspoterosta porataan

kahteen suuntaan porauspoteroiden välille louhittuun välipoteroon. Porauslaitteiston käännöllä ja välipoteroiden käytöllä saavutetaan säästöjä louhinnassa. Porausta varten louhittavien porauspoteroiden suunnitellut mitat pilottikohteessa Jepuan kallioleikkauksessa olivat 2.3 m * 10 m ja välipoteroiden 2.0 m * 3.0 m (Kerokoski 2009).

Porauspoteroiden koko riippuu porauslaitteiston koosta. Laitteiston lisäksi poterossa pitää olla riittävästi tilaa poratankojen vaihtoa ja porauksen suuntausta varten. Porauspoteroiden kokoon voidaan vaikuttaa porauslaitteiston valinnalla. Välipoteroiden kokoon vaikuttaa porauksen vaakatarakkuus, käytettävien kaivojen koko ja kaivojen asentamisen ja salaojaputkien liittämisen vaatima tila.

Esimerkkikohteessa porauslaitteiston leveys oli 2.3 metriä ja pituus 7.0 metriä (kuva 21). Porauslaitteen mittasuhteista johtuen porauspoteroiden leveyttä jouduttiin kasvattamaan suunnitelluista mitoista niin, että poteroiden leveys pohjan tasossa oli laitteen tukijalkojen kohdalla vähintään 2.5 metriä. Sen lisäksi osaa poteroista jouduttiin avartamaan laitteen koneikon kohdalta. Kohteessa käytetyllä porauslaitteella porauspoteroiden pohjan tason piti olla vähintään 0.6 metriä porattavan reiän alapinnan alapuolella.



Kuva 21: Vaakaporauslaite

Jepuan kallioleikkauksessa salaojaa varten kallioon porattavan reiän halkaisija oli 324 mm. Reiän tekoon käytettiin porakruunun (kuva 22) ja avartimen (kuva 23) yhdistelmää. Avarrin avartaa porattavaa reikää ja mahdollistaa ohjainputken käytön.



Kuva 22: Porausjärki ja poratanko



Kuva 23: Avarrin

Vaakaporaustyö alkaa porauslaitteiston asentamisella porauspoteroon. Laitteisto tukeutuu neljään hydraulisesti toimivaan tukijalkaan. Tukijalkojen avulla säädetään porauksen suuntausta. Korkeusaseman ja porattavan reiän pituuskaltevuuden lisäksi on mahdollisuus säätää laitteen asentoa sivusuunnassa $n. \pm 500$ mm ja ohjata porauksen sivuttaissuuntausta.

Porauksen alussa ensimmäisen poratangon mukana lähtee etenemään ohjainputki, jolla varmistetaan porauksen suunnan säilyminen. Esimerkkikohteessa ohjainputken pituus oli kolme metriä. Poratankoja, joiden pituus esimerkkikohteessa oli kolme metriä, jatketaan porauksen edetessä. Tangot liitetään toisiinsa ruuviliitoksien avulla. Poratangoissa on ohjainputken sisähalkaisijan suuruinen kierre, joka siirtää porauksessa syntyvän poraussoijan porauspoteroon. Porattavaa reikää huuhdellaan paineilmalla ja porauksessa syntyvän pölyn leviämistä torjutaan suihkuttamalla vettä porauskärkeen (kuva 24).



Kuva 24: Vaakaporauskalustolla porataan kallioon reikää salaojaa varten

Jepuan kallioleikkauksessa porausta varten louhitut poterot täyttyivät louheen kaivun jälkeen vedellä tasoon kv – 1.5 m. Vettä alettiin pumpata vuorokausi ennen porauslaitteen siirtoa poteroon. Vesi pumpattiin pois tavallisilla vuokraamosta saatavilla oppopumpuilla. Poistoletkut vietiin kiskojen alta ja vesi johdettiin radan toisella puolella olevaan salaojaan. Vesimäärien ollessa suhteellisen pieniä tästä menettelystä ei katsottu olevan haittaa salaojan tulevalle toiminnalla.

Porauksen mentyä läpi seuraavaan poteroon poratangot poistetaan ja reikä huuhdellaan vedellä puhtaaksi kivipölystä (kuva 25). Poralaitteisto käännetään 180 astetta toisen suunnan porausta varten tai poistetaan poterosta. Porauksen jälkeen reikään asennetaan salaojaputki työntämällä. Lyhyet matkat menevät käsin työntämällä, pitkiin reikiin käytetään apuna kaivukonetta. Putken sujutuksen jälkeen poteron pohjaan rakennetaan kiiviaineksesta asennusalusta ennen tarkastuskaivojen asentamista ja putkien liittämistä. Putken ja tarkastuskaivon ympärys- ja lopputäyttö tehdään vastaavalla tavalla kuin kanaaliin asennettavan salaojan teon yhteydessä.



Kuva 25: Reiän ulostuloaukko ja ohjainputki

Porauslaitteen siirtoon on kiinnitettävä huomiota sen vuoksi, että laitteen massa on n. 2000 kg. Porauslaite käännetään tai siirretään seuraavaan poteroon, kun yksi porausväli valmistuu. Porausmatka vaikuttaa suoraan siirtojen ja kääntöjen väliseen aikaan. Porausmatkan ollessa 40 metriä menee poraukseen aikaa vähintään kaksi työvuoroa. Raitteella kulkevaa nosturia käytettäessä ongelmaksi muodostuu nosturin pitkäaikainen kiinnitys pelkkää porauslaitteen siirtoa varten. Taloudellisempi tapa on käyttää porauslaitteen siirtoon kahta kiskoilla kulkevaa kaivukonetta, joita joka tapauksessa tarvitaan työkohteessa koko sen keston ajan. Kaivukoneita käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon, että kaivuri ei ole nosturi ja siirtosuunnitelma on laadittava sen mukaisesti.

Poraaminen vaatii energiaa, joka saadaan erillisestä koneikosta (kuva 26). Kohteesta riippuen koneikko voi olla radan varressa kulkevalla huoltotiellä tai radalla kohteen vieressä. Poraamisen lisäksi energiaa tarvitaan myös pumppuja ja valaistusta varten.



Kuva 26: Vaakaporausvoiman lähde ja koneikko

Vaakaporausvoiman suuntauksen tarkkuuden merkitys korostuu porausmatkan pidentyessä. Tarkkuutta vaaditaan sekä salaojan suunnitellun pituuskaltevuuden saavuttamiseksi että riittävän etäisyyden säilyttämiseksi sähköratapylvästapereustuksista. Mittaustarkkuuden lisäksi on otettava huomioon se, että kalliossa oleva halkeama ja kalliolaadun muutos ohjaavat poran suuntaa. (Stålfors 2009.)

Vaakaporausvoiman tarkkuuden on todettu käytännössä olevan n. 1 mm/m, kun kallio on tasalaatuista. Ohjainputken käyttö lisää tarkkuutta merkittävästi (Stålfors). Porauksen aloituksessa on tärkeää, että ensimmäisen tangon suuntaus tehdään vähintään tarkkuudella 1/3000. Pituuskaltevuuden toteutumisen lisäksi on otettava huomioon, että poratun reiän laen ja kallionpinnan väliin tulee jäädä ehjää kalliota vähintään 300 mm (Kerokoski 2009).

Esimerkkikohteessa kallioon porattiin 420 metriä vaakasuuntaista reikää. Porausvälejä oli yhteensä viisitoista, ja kerralla poratun reiän pituus vaihteli 12.5 metristä 47.5 met-

riin (liite 4). Seurantamittaus tehtiin ainoastaan pystysuunnan tarkkuudesta, koska vaakasuunnan tarkkuus oli jokaisella porausvälillä riittävä. 13 porausvälin osalta tarkkuus oli riittävä, mutta kaksi väliä jouduttiin korjaamaan. Tulokset on esitetty liitteessä 5.

Porauksen tehokas etenemisnopeus esimerkkikohteessa Jepuan kallioleikkauksessa oli n. 2.6 metriä tunnissa. Kun porausnopeuteen lasketaan mukaan porauslaitteiston siirrot ja porauskärkien ja -tankojen huollot, etenemisnopeus laskee n. 10.8 metriin työvuorossa. Käytännössä toteutunut porausnopeus oli laiterikot ja korjauksiin käytetty aika huomioiden n. 10 metriä työvuorossa.

7.5 Työalueen viimeistely

Salaojan lopputäytön rakentamisen jälkeen raide ja sen ympäristö siistitään ja viimeistellään (kuva 27). Työkohtaisessa työselostuksessa kerrotaan valmiiden pintojen laatuvaatimukset. Esimerkkikohteessa lopputäytön pinta rakennettiin välikerroksen yläpinnan tasoon käyttäen eristys- ja välikerrosmurskeen vaatimukset täyttävää kiviainesta. Kiskoilla kulkevalla kaivukoneella tasattu pinta tiivistettiin 400 kilon tärylevyllä täytön paksuudesta riippuen kahdella tai kolmella ylityskerralla.



Kuva 27: Viimeisteltyä työaluetta

Kallioleikkauksen kuivatuksen yhteydessä on edullista parantaa leikkausta muutenkin kuin kuivatuksen osalta. Kallioseinämien rusnauksella irtonaiset ja putoamisvaarassa olevat kivet irrotetaan ja siirretään pois leikkauksesta. Kalliotasanteilla ja -taskuissa olevat puut ja pensaat poistetaan, ja leikkauksen yläreunasta kuoritaan eloperäinen maa kahden metrin leveydeltä (RATO 15 Radan kunnossapito 15.8.3 Kasvillisuuden torjunta).

7.6 Turvallisuus ja ympäristö

Työturvallisuus on otettava huomioon kaivantoja auki kaivettaessa. Jokainen yksittäinen auki kaivettu potero on eristettävä kaiteella (kuva 28) ja radan rakenne on tuettava niin, ettei tukikerros- ja välikerrosmateriaali pääse valumaan poteroon (kuva 29). Kaidetta raiteen puolelle rakennettaessa on otettava huomioon Aukean tilan ulottuman vaatimukset (liite 6). Mikäli kaiteen ja tukikerroksen reunan väliin jää aukko, poteron kohdalle on rakennettava kulkusilta. Työskenneltäessä junaliikenteen aikana varmistetaan koneiden ja henkilöiden turvallisuus turvamiehen käytöllä. Turvamiestä käytetään myös rata-työlupien aikana henkilöturvaustyöhön.



Kuva 28: Suojakaide porauspoteron kohdalla



Kuva 29: Porauspoteron tuentaa

Sekä junaturvallisuuden että työturvallisuuden vuoksi poteroiden tuenta on tehtävä huolellisesti ja ainoastaan hyväksi todettuja menetelmiä käyttäen. Urakka-asiakirjojen liitteenä tulee olla suunnittelijan laatima tuentasuunnitelma. Tuentatapaan vaikuttaa mm. poteron etäisyys raiteesta ja radan rakennekerroksien materiaali. Tuennan avulla radan rakennekerroksia estetään valumasta ja aiheuttamasta raiteen asennon muuttumista.

Liikennöidyllä ja sähköistetyllä radalla on aina otettava huomioon junaturvallisuus ja sähköturvallisuus. Junaturvallisuus saavutetaan tekemällä työt ratatyöluvan aikana. Junien nopeus rajoitetaan työalueella niin alhaiseksi, että muutokset päällysrakenteen asennossa havaitaan ajoissa. Mikäli radan rakennekerroksien sortumisen estämiseksi on rakennettava tukiseinä, junien nopeus rajoitetaan 50–80 km/h:iin. Rajoituksen suuruudesta päättää geosuunnittelija. Sähköturvallisuus otetaan huomioon tekemällä räjäytystyöt jännitekatkojen aikana tai käyttämällä joko Nonel-nalleja tai VS-nalleja (B 19 Louhintatyöt rautatien läheisyydessä). Jännitteisten rakenteiden alla työskenneltäessä koneissa käytetään nostokorkeuden rajoittimia (Ratahallintokeskus 2009, B 24 Sähkörahoitteet 3.4 Pienin työskentelyetäisyys jännitteisen osan sivulla ja alapuolella työskenneltäessä).

Räjätystyöstä laaditaan turvallisuussuunnitelma, jossa yksiselitteisesti kerrotaan turvallisuustoimenpiteet ja toimintatavat räjäytyksien yhteydessä. Räjätystyön johtaja laatii jokaisesta räjäytettävästä kentästä räjäytysuunnitelman. Ennen räjäytystä räjäytystyön johtaja varmistaa, että työmaalla työskentelevät henkilöt ovat suojautuneet ja ulkopuolisten henkilöiden pääsy vaaralliselle alueelle on estetty. (Räjäytys- ja louhintatöiden järjestysohjeet Vnp 410/86.)

Ympäristö otetaan huomioon tiedottamalla lähialueen asukkaita käynnissä olevasta työstä. Päätoteuttaja varmistaa, että tiedotteet on jaettu ja asianmukaiset ilmoitukset viranomaisille on tehty. Yksityisteiden käytöstä sovitaan tiehoitokuntien edustajien kanssa ja kaikkien käytettävien teiden pölyäminen estetään pölynsidonnalla. Vaakaporauksesta aiheutuvaa pölyämistä vähennetään riittäväällä kastelulla, minkä vuoksi poraus tulisikin suorittaa pakkaskauden ulkopuolella.

Häiritsevää ja melua aiheuttavasta työstä tehdään päätoteuttajan toimesta ilmoitus asianomaisen kunnan ympäristöviranomaiselle. Mikäli työalue sijaitsee usean kunnan alueella, tehdään ilmoitus sille elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskukselle, jonka toimialueella melu tai ääni pääasiassa ilmenee. (Ympäristöministeriö, Melua ja ääniä aiheuttava tilapäinen toiminta, www-sivu.)

Yöaika käsittää klo 22–7 välisen ajan. Räjätystöitä suunniteltaessa niitä ei tulisi tarpeettomasti sijoittaa yöllä suoritettaviksi. Vaakaporaus aiheuttaa erittäin voimakasta melua, ja elleivät erityiset syyt muuta edellytä, porausta ei suositella tehtäväksi öisin.

7.7 Eri ratkaisujen toimivuus ja soveltuvuus

Jepuan kalliroleikkauksessa rataosalla Seinäjoki–Oulu toteutettiin vuonna 2009 kuivatus kolmella eri ratkaisulla. Radan oikealle puolelle rakennettiin n. 750 metrin matkalla salaoja kallioon louhittuun kanaaliin. Radan vasemmalle puolelle rakennettiin salaoja kallioon porattuun radan suuntaiseen reikään n. 550 metrin matkalle ja vanhaan louhituun ojaan n. 200 metrin matkalle.

Radan korkeusviivaan verrattuna kallioon poratun reiän vesijuoksu oli alimpana (kuva 13 s.25). Seuraavaksi alimpana oli kanaaliin rakennetun salaojan vesijuoksu ja ylimpänä vanhaan ojaan rakennetun salaojan vesijuoksu (kuvat 12 ja 11 s. 24). 15.4.2010 suorite-

tussa katselmuksessa todettiin, että kallioon porattuun reikään asennetun salaojan purkuaukosta tuli runsaasti vettä, kun taas muut salaojat olivat kuivia.

Edellä todetusta voisi päätellä, että alimpana oleva linja pystyy hoitamaan kuivatuksen yksinään. Kanaaliin rakennetun salaojan kohdalla vesi on myös saattanut painua kalliossa ennestään olleisiin ja louhinnassa syntyneisiin halkeamiin. Toisaalta roudattomassa syvyydessä olevasta vedestä ei ole haittaa radan rakenteille, mikäli vesi ei pääse kapillaarisesti nousemaan ja aiheuttamaan routimista.

Eri kuivatusratkaisujen toimivuuteen ja soveltuvuuteen vaikuttavat kohteen olosuhteet ja lopputulokselle asetettavat vaatimukset. Kallioleikkauksen leveydellä on suuri merkitys työn toteuttamiseen ja kustannuksien muodostumiseen. Liikenteen tiheys ja työhön saatavien työrakojen pituus vaikuttavat työmenetelmän valintaan ja syntyviin kustannuksiin. Salaojiin johdettavan veden määrä ja olemassa olevien leikkausojien kuivatus-taso vaikuttavat valintaan eri ratkaisujen välillä. Päätökset syntyvätkin usein kompromissina edellä kuvattujen reunaehtojen asettamista vaatimuksista.

Kolmesta eri toteutusvaihtoehdosta salaojan rakentaminen olemassa olevaan kuivatusoajaan on yksinkertaisin ja edullisin. Mikäli olemassa olevien kuivatusojien vesijuoksu on riittävän alhaalla, salaoja voidaan toteuttaa ilman louhintaa ja porauksia. Salaojan rakentaminen ei myöskään edellytä vaativaa suunnittelua ja lopputulos on toimiva.

Sähköistämättömällä radalla kanaalilouhinta on selkeä ja yksinkertainen tapa kuivatuksen toteuttamiseen, kun olemassa olevien kuivatusojien kuivatustaso ei ole riittävän alhaalla. Salaojan asentaminen oikeaan tasoon ja oikeaan kaltevuuteen on varmaa ja veden poisjohtuminen rakenteista on tehokasta. Rakenteissa olevan veden lisäksi salaojaan menevät myös kallioleikkauksen ulkopuolelta tulevat vedet.

Vaakaporaus on vaihtoehto kanaalilouhinnalle sähköistetyllä radalla. Se on tällä hetkellä paras käyttökelpoinen tapa ohittaa sähköratapylväsperustukset, mikäli pitkiä totaalikatkoja ei ole saatavissa. Veden poisjohtuminen on vähintään yhtä tehokasta kuin kanaaliin tehdyn salaojan avulla. Kallioleikkauksen ulkopuolelta tulevien vesien poisjohtaminen ei kuitenkaan ole niin tehokasta kuin kanaaliin louhitussa salaojassa, sillä siihen vaikuttaa porauspoteroitten välissä olevan vanhan leikkausojan täytön vedenjohtavuus.

8 Toteutuskustannukset

8.1 Kustannuksien muodostuminen

Kustannukset muodostuvat materiaaleista, työstä, koneista ja kuljetuksista. Radalla tehtävissä töissä välillisiä kustannuksia syntyy myös liikennehaitoista, joita ovat nopeusrajoitukset ja totaalikatkojen aiheuttamat junaan korvaavat kuljetukset. Korvaavien kuljetusten kustannukset vaihtelevat sen mukaan, kuinka pitkiä matkoja matkustajia kuljetaan. Koska tilanteet eri rataosilla ja liikennemäärillä vaihtelevat paljon, käsitellään tässä työssä ainoastaan suoria rakentamiskustannuksia.

Kanaaliin rakennetun ja vaakaporauksella toteutetun salaojan materiaalikustannukset ovat täyttöjä lukuun ottamatta suuruusluokaltaan samat. Kanaaliin rakennetun salaojan ympärystäyttö tehdään salaojasoralla tai -murskeella. Kallioon porattuun reikään asennettu salaojaputki ei vaadi ympärystäyttöä, mutta kaivojen kohdille täyttö pitää tehdä. Kaapelien siirto- ja suojauskustannukset sisältyvät kumpaankin menetelmään.

Työ- ja konekustannukset eroavat kanaaliin rakennetun ja vaakaporauksella toteutetun salaojan välillä. Kuljetuskustannuksissa ei ole kiviaineksen välivarastosta työkohteeseen siirtoa lukuun ottamatta eroa. Kun kanaalin ja porauksessa tarvittavien poteroiden louhintamäärät ovat käytännössä samaa suuruusluokkaa, ei menetelmien välille synny merkittäviä kustannuseroja. Louhintakustannuksiin vaikuttaakin enemmän kallioleikkauksen kapeus, joten yleisesti käytettävien keskihintojen soveltaminen ei tule kysymykseen.

Mittaustyöt muodostuvat paikalleen mittauksesta ja valmiin työn tarkastusmittauksista. Salaojan lähtökorkeudet varmistetaan sidonnoilla mittapaaluihin tai kallionseinämään. Vaakamitat voidaan sitoa joko raiteeseen tai kallioon. Kanaaliin tehtävän salaojan korkeustason mittaus on varmintä tehdä tasolaserilla tai takymetrillä. Työn edetessä suoritetaan tarkistusmittauksia ja työn valmistuttua tarkistusmittaukset kootaan yhteen pöytäkirjaan (liite 5). Mittaustöiden määrä molemmissa vaihtoehdoissa on yhtä suuri.

8.2 Kanaalimenetelmän kustannukset

Salaojan rakentaminen kallioon louhittavaan kanaaliin sisältää seuraavat työvaiheet:

- olemassa olevan ojan puhdistus maa-aineksesta
- poraus, panostus ja louhinta
- louheen kaivu kanaalista ja louheen poiskuljetus
- asennusalustan teko ja putkien ja kaivojen asennus
- salaojan ympärystäyttö
- kanaalin lopputäyttö ja tiivistys
- pinnan muotoilu.

Olemassa olevan ojan puhdistamiskustannukset muodostuvat konetyöstä ja maansiirrosta. Kustannuksiin vaikuttaa se, voidaanko kohteelle rakentaa työmaatie ja kuinka pitkän matkan raiteella kulkevat kaivukoneet joutuvat maa-ainesta kuljettamaan. Kuljetettava maa-aines on yleensä veden kyllästämää ja sen vuoksi on tärkeää, ettei kaivukoneen kauhasta valu veden mukana hienoaainesta radan tukikerrokseen.

Raiteelta käsin kaivukoneen lisälaitteella suoritettava poraus vaatii laitteen suuren ulottuvuuden vuoksi aina jännitekatkon. Myös alle viiden metrin etäisyydellä jännitteisistä rakenteista tehtävä räjäytys pitää tehdä jännitekatkon aikana (Ratahallintokeskus 2007, B19 Louhintatyöt rautatien läheisyydessä). Jännitekatkomenettely lisää työmaan kustannuksia ja vaatii vähintään puolen tunnin työraon.

Kanaalin kaivun ja louheen poiskuljetuksen kustannuksiin vaikuttaa se, voidaanko louhe siirtää pois maantiekalustolla vai rautatievaunuilla. Mikäli kallioleikkaus on kapea, ison ja tehokkaan kaivukoneen käyttö saattaa olla hankalaa ja kaivu joudutaan tekemään kiskoilla kulkevalla kevyemmällä kalustolla. Louheen poiskuljetus esim. traktoridumpereilla on tehokasta. Rautatievaunuun kuormattaessa joudutaan tekemään siirtokuormaustarkoitukseen soveltuvalla liikennepaikalla ennen läjityspaikalle toimittamista.

Kanaalin pohjan tasauksen, asennusalustan teon ja salaojan ja kaivojen asennuksen kustannukset muodostuvat työnjohdosta, asennustyöstä, mittauksesta, konetyöstä, kivaiineksesta ja salaojan putki- ja kaivomateriaalista. Salaojan ympärystäytön ja kanaalin lopputäytön kustannukset muodostuvat työnjohdosta, tiivistystyöstä, konetyöstä ja kivaiineksesta. Pinnan muotoilun kustannukset muodostuvat työnjohdosta ja konetyöstä.

8.3 Porausmenetelmän kustannukset

Salaojan asentaminen kallioon porattuun reikään sisältää seuraavat työvaiheet:

- olemassa olevan ojan puhdistus maa-aineksesta
- poteroiden poraus, panostus ja louhinta
- poteroiden kaivu ja louheen poiskuljetus
- radan rakenteen tukeminen poteroiden kohdalla
- porauskaluston siirto ja porauksen valmistelu
- vaakareiän poraus
- salaojaputkien ja kaivojen asennus
- putkien ja kaivojen ympärystäyttö poteroiden kohdalla
- poteroiden lopputäyttö ja tiivistys
- raiteen tukeminen ja oikominen poteroiden kohdalla ja läpituenta
- pinnan muotoilu.

Olemassa olevan ojan puhdistamiskustannukset ovat samat kuin louhittuun kanaaliin rakennettaessa. Kallion poraus-, panostus- ja louhintakustannukset muodostuvat samoin kuin kanaalin louhinnassa. Poteroiden tyhjentämisen ja louheen poiskuljetuksen kustannukset ovat myös samansuuruisia, mikäli käytetään samaa kaivu- ja kuljetuskalustoa ja kuljetusreitti on sama.

Vaakaporauksen vaatimat poterot kaivetaan louhinnan jälkeen auki ennen porauksen aloittamista. Ennen poteroiden tyhjentämistä radan rakenne tuetaan, mikäli kallioleikkaus ei ole erityisen leveä. Välipoterot, jotka ovat porauspoteroita pienempiä, tuetaan ta-pauskohtaisesti. Tuentakustannukset muodostuvat työnjohdosta, asennustyöstä, kone-työstä ja tuentamateriaalin hinnasta tai vuokrasta. Vaakaporauksen kustannukset muodostuvat poratusta matkasta ja laitteiston siirroista ja porauskuntoon saattamisesta.

Poteroiden tuennan laadulla on suoranainen vaikutus raiteen asennon muuttumiseen poteroiden kohdalla. Mitä kapeampi kallioleikkaus on, sitä lähempänä poteron reuna on raidetta ja sitä todennäköisempää on raiteen asennon muuttuminen. Muutokset ovat lähinnä pistemäisiä kallistusvirheitä raiteessa. Raiteen työnaikainen tarkkailu ja virheiden mittaaminen on erittäin tärkeää junaturvallisuuden kannalta. Mikäli raiteen asennon geometrian virherajat ylittyvät, on raidetta tuettava ja oiottava työn aikana. Raiteen lopullinen

tukeminen ja oikominen tehdään, kun salaojakaivot ja putket on asennettu ja poterot on täytetty ja tiivistetty.

8.4 Menetelmien kustannusvertailu

Pilottikohteessa kallioon louhittuun kanaaliin rakennetun salaojan pituus oli 750 metriä. Työ tehtiin kokonaisuudessaan n. kahdeksan tunnin totaalikatkoksa jännitekatkon aikana. Kallioon porattuun reikään asennetun salaojan kokonaispituus oli 550 metriä. Poteroiden louhintatyöt tehtiin n. kahdeksan tunnin totaalikatkoksa jännitekatkon aikana, mutta poteroiden kaivu ja louheen poiskuljetus, vaakaporaus, salaojaputkien ja kaivojen asennus sekä lopputäytöt tehtiin normaaleissa junien välisissä työraoissa ilman jännitekatkoja. Työrakojen yhteenlaskettu pituus kahdeksan tunnin työvuoron aikana oli neljästä viiteen tuntia. Työrakojen määrä ja kesto ei kuitenkaan vaikuttanut vaakaporaus-työsaavutuksiin, sillä poraustyö suoritettiin Aukean tilan ulottuman ulkopuolella.

Toteutuskustannuksia voidaan vertailla yksinkertaisen matriisin avulla. Oheisissa taulukoissa (taulukot 3 ja 4) on esitetty esimerkkikohteen kustannukset eri resurssien laskutushinnoilla laskettuna. Työvuoron pituus oli kahdeksan tuntia.

Taulukko 3: Louhittuun kanaalin rakennettavan salaojan työkustannukset (Oy VR-Rata Ab, Jepua 2009)

Kanaalin louhinta 550 m3ktr, 18 tv	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
työnjohtaja	18	144	51	7344	
sähköasentaja	18	144	48	6912	
panostaja	18	144	58	8352	
panostajan apulainen	18	144	40	5760	
mittamies	18	144	43	6192	
kiskopyöräkaivuri	18	144	60	8640	
kiskopyöräporakone	36	288	118	33984	77184

Kanaalin aukikaivu 550 m3ktr, 16 tv	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
telakaivuri kaivu	16	128	50	6400	
telakaivuri vastaanotto	14	112	50	5600	
dumpperi	16	128	58	7424	
traktori	14	112	45	5040	24464

Salaojan ja kaivojen asennus 750 m, 16 tv	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
työnjohtaja	16	128	51	6528	
työntekijä	45	360	37	13320	
mittamies	16	128	43	5504	
kiskopyöräkaivuri	16	128	60	7680	
ratakuorma-auto+Uad-vaunusto	16	128	166	21248	
työkonekuljettaja	32	256	46	11776	66056

yhteensä € **167 704**
€/m: **224**

Taulukko 4: Kallioon porattuun reikään asennettavan salaojan työkustannukset (Oy VR-Rata Ab, Jepua 2009)

Poteroiden louhinta 495 m3ktr, 20 tv	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
työnjohtaja	20	160	51	8160	
sähköasentaja	20	160	48	7680	
panostaja	20	160	58	9280	
panostajan apulainen	20	160	40	6400	
mittamies	20	160	43	6880	
kiskopyöräkaivuri	20	160	60	9600	
kiskopyöräporakone	48	384	118	45312	93312

Poteroiden aukikaivu ja tuenta 70 tv	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
työnjohtaja	70	560	51	28560	
työntekijä	90	720	37	26640	
kiskopyöräkaivuri (kaivu ja siirto)	63	504	60	30240	
telakaivuri (vastaanotto)	10	80	50	4000	
dumpperi	10	80	58	4640	94080

Vaakaporausurakka (sis. kaluston ja työntekijät)	määrä	€/yks.	yht. €	
poraus [m]	420	242	101640	
kaluston siirto [kpl]	15	1650	24750	126390

Porauksen aputyöt ja putken asennus 550 m, 43 tv	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
työnjohtaja	45	360	51	18360	
työntekijä	45	360	37	13320	
mittamies	43	344	43	14792	
ratakuorma-auto+Uad-vaunusto	7	56	166	9296	
työkonekuljettaja	14	112	46	5152	
kiskopyöräkaivuri	45	360	60	21600	82520

Raiteen tukeminen ja oikominen	työvuorot	tunnit	€/h	yht. €	
työnjohtaja	2	16	51	816	
työkonekuljettaja	4	32	46	1472	
raiteentukemiskone	2	16	521	8336	10624

yhteensä € **406 926**
€/m: **740**

Resurssitiedot on kerätty työmaapäiväkirjoista ja laskettu kokonaisien työvuorojen mukaan. Työn luonteesta johtuen resurssit on sidottu koko työvuoron ajaksi. Vertailusta on jätetty pois vanhan ojan puhdistustyön osuus ja salaojatarvikkeet, jotka kummassakin vaihtoehdossa ovat samanhintaisia. Kiviaineksen menekin on oletettu olevan kummasakin vaihtoehdossa samaa suuruusluokkaa, koska porauksella toteutettaessa vanha leikkausjoka tapauksessa täytetään eristys- ja välikerrosmurskeella ja poteroiden täyttöön käytetään mursketta vähintään puolet poteron tilavuudesta.

Vertailun perusteella voidaan todeta, että kallioon porattuun reikään asennettu salaoja on työkustannuksiltaan n. kolme kertaa kalliimpi kuin kallioon louhittuun kanaaliin rakennettu salaoja. Vertailussa tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että sähköratapylvään kohdalla louhinta ei ole mahdollista ilman uuden perustuksen asentamista.

Kanaalilouhinnan ja poterolouhinnan yksikköhinnan eroon vaikuttaa kanaaliin syvyys ja poteroiden koko ja kallioseinämän läheisyys. Esimerkkikohteessa kanaalia louhittiin ainoastaan minimimäärä eli keskimäärin n. $0.8 \text{ m}^3\text{ctr}/\text{m}$ ja kustannus oli n. $140 \text{ €/m}^3\text{ctr}$. Porauspoteroiden louhinnan yksikköhinnaksi toteutui n. $189 \text{ €/m}^3\text{ctr}$. Hintaero muodostui siitä, että kallioleikkauksen kapeuden vuoksi poteroita varten piti louhia ensin avaus ja vasta sen jälkeen voitiin suorittaa varsinainen poteron louhinta.

Esimerkkitapauksessa kanaalin louhinnassa louheen siirron hinta oli n. $44 \text{ €/m}^3\text{ctr}$ ja poteroiden louhinnassa siirron hinta oli n. $79 \text{ €/m}^3\text{ctr}$. Kanaalista louhittu louhe kuormattiin 25 tonnin kaivurilla ja kuljetettiin pois dumpperilla ja traktorilla raiteen sivua pitkin. Poteroista louhittu louhe kuljetettiin ensin raidetta pitkin kiskoilla kulkevilla kaivureilla radan sivuun ja siirrettiin eri työvaiheena läjitysalueelle. Osa poteroista tulleesta louheesta hyödynnettiin poteroiden täyteenä salaojan asennuksen jälkeen.

Kanaali louhittiin ja louhe kuljetettiin pois kahdeksan tunnin totaalikatkoksa. Poraus- ja välipoterot louhittiin yhtä pitkässä katkoksa, mutta louhe siirrettiin pois lyhyissä, n. tunnin pituisissa työraoissa, joiden yhteenlaskettu pituus oli päivästä ja junaliikenteestä riippuen neljästä viiteen tuntiin.

Esimerkkikohteessa kanaaliin rakennettavan salaojan toteutuksen olosuhteet olivat poikkeuksellisen hyvät, sillä louhinnan jälkeen louheen päälle levitettiin raiteen alustan kaivusta tullutta vanhaa tukikerrosmateriaalia. Auki kaivamattoman kanaalin päällä oli helppoa liikkua dumpperilla ja kaivurilla ja louheen kaivu ja siirto oli nopeaa. Kapeamassa kallioleikkauksessa koneet olisivat joutuneet operoimaan raiteen päällä ja raide olisi pitänyt suojata. Raiteen suojaaminen olisi sitonut yhden kaivukoneen ja kaksi työntekijää työn keston ajaksi.

8.5 Menetelmien kehittäminen

Tutkimuksessa selvisi, että radan kallioleikkauksen kuivatukseen käytettäviä menetelmiä on edelleen kehitettävä. Kehittäminen kohdistuu lähinnä kanaalimenetelmään ja porausmenetelmään sekä niiden yhdistämiseen. Sen lisäksi olisi etsittävä muita vaihtoehtoisia menetelmiä. Yksi vielä kokeilematon menetelmä on kallion sahaaminen sähköratapylväasperustuksien kohdalla.

Kanaalimenetelmän kehittämällä voidaan saavuttaa pieniä säästöjä, mutta tärkein kehittämiskohde on porausmenetelmä. Varsinaisen poraustekniikan kehittämällä ei vielä päästä suuriin säästöihin, mutta porauslaitteistoa kehittämällä on mahdollisuus säästää louhintakustannuksissa. Käytännössä kehittäminen tarkoittaa porauskaluston koon pienentämistä.

Porauskalustoa pienentämällä louhintamäärää voidaan vähentää. Louhintamäärä puolittamalla esimerkkikohteen porauksen kustannusarvio muodostuu seuraavasti:

- salaojan teko porausmenetelmällä 406926 €
- poteroiden louhinta- ja kaivukustannukset 132192 €
- louhintakustannuksien puolittamisen vaikutus -66096 €.

Arvioitu yksikköhinta on $(406926 \text{ €} - (0.5 * 132192 \text{ €})) / 550 \text{ m} = \text{n. } 620 \text{ €/m}$. Esimerkkikohteessa työskennelleen urakoitsijan mukaan porauslaitteiston muuttaminen kapeampaan poteroon soveltuvaksi on mahdollista.

Kanaali- ja porausmenetelmän yhdistämisellä voidaan myös saavuttaa merkittävä säästö louhintakustannuksissa. Kanaali- ja porausyhdistelmän hinta muodostuu esimerkkikohteen hinnoilla laskettuna yhtä sähköratapylväsväliä kohden seuraavasti:

- kanaalilouhinta ja kaivu pylväiden välillä n. 60 m á 185 € * 1.5
- lisälouhinta ja kaivu porausta varten n. 20 m³ktr á 185 €
- poraus pylvään kohdalla n. 10 m á 740 €
- porauslaitteen siirto 1650 €.

Yksikköhinnaksi tulee $(60 \text{ m} * 185 \text{ €/m} * 1.5 + 20 \text{ m}^3\text{ktr} * 185 \text{ €/m}^3\text{ktr} + 10 \text{ m} * 740 \text{ €} + 1650 \text{ €}) / 70 \text{ m} = \text{n. } 420 \text{ €/m}$. Kanaalilouhinnan laskennassa on käytetty kerrointa 1.5 sen vuoksi, että porattu reikä vaatii vähintään 0.3 metrin kalliokannen reiän päälle. Tämän vuoksi salaojan vesijuoksu on putkikoosta riippuen suunniteltava n. 0.5–0.6 metriä alemmaksi koko kanaalin osalla.

Sähköratapylväiden siirto tulee kysymykseen, jos salaoja toteutetaan kanaalilouhinnalla radan kummallakin puolella. Kustannukset muodostuvat uusien perustuksien rakentamisesta, uusien pylväiden ja kääntöorsien asentamisesta ja ajojohtimen siirrosta ja säädöstä (taulukko 5). Kustannuksiin vaikuttaa oleellisesti se, tehdäänkö työ työvuoron pituisessa totaalikatkossa vai lyhyissä työraoissa.

Taulukko 5: Kustannusarvio sähköratapylväiden siirrosta raiteen toiselle puolelle kahdeksan tunnin totaalikatkossa

Sähköratapylväiden siirto 500 m matkalla, 8 h työrajo	määrä	€/yks.	yht. €	
sähköratapylväs	8	600	4800	
kääntöorsi	8	1200	9600	
pylväsperustus + asennus	8	3000	24000	
vastaava työnjohtaja	64	60	3840	
sähköasentaja	200	48	9600	
sähköradan huoltovaunu	32	325	10400	62240

yhteensä € **62 240**
€/kpl: **7 780**

Mikäli kanaaliin rakennettavan salaojan kustannuksiin lisätään sähköratapylväiden siirto, tulee kustannuslisää n. 140–200 €/m työhön saatavan työrajo pituudesta riippuen. Sähköratarakenteiden siirron kustannusvaikutus, aikatauluvaikutus ja liikennehaitta vaihtelevat sen mukaan, voidaanko muutostyöt tehdä samassa yhteydessä kuivatustyön kanssa vai tehdäänkö ne erillään siitä. Kuivatustyössä käytettävien koneiden yhteiskäyttö ja yhteiset jännitekatkot alentavat kustannuksia.

Pilottikohteesta saadun kokemuksen ja menetelmien edelleen kehittämisen jälkeen radan kallioleikkauksen kuivatuksen toteutuneet kustannukset ja arviot kehitettävien menetelmien kustannuksista ovat seuraavat:

- kanaalimenetelmä 224 €/m (toteutunut)
- porausmenetelmä 740 €/m (toteutunut)
- yhdistetty kanaali- ja porausmenetelmä 420 €/m (arvio)
- porausmenetelmä pienemmällä porauslaitteella 620 €/m (arvio)
- kanaalimenetelmä ja sähköratapylväiden siirto n. 360–420 €/m (arvio).

Yhdistetty kanaali- ja porausmenetelmä vaikuttaa laskelmien perusteella olevan kilpailukykyinen kanaalimenetelmän ja sähköratapylväiden siirron kanssa.

Esimerkkikohteeseen toteutettiin pilottihankkeena, mutta se päästiin viemään läpi hyvissä olosuhteissa ja pääosin pitkissä koko työvuoron mittaisissa katkoissa. Seuraavissa vastaavanlaisissa kohteissa pilottihankkeen kokemuksia hyödyntämällä kustannuksia voidaan leikata ainakin poteroiden louhinnan, kaivun ja louheen siirron osalta. Sen lisäksi poteroiden tuennassa voidaan saavuttaa säästöjä, mikäli urakoitsijalla on käytössään valmiit tuentasuunnitelmat.

9 Yhteenveto

Radan kallioleikkauksen kuivatuksen parantamiseen käytettävät menetelmät ovat olemassa olevien ojien puhdistaminen, salaojan rakentaminen olemassa olevaan ojaan, salaojan rakentaminen louhittavaan kanaaliin ja salaojan asentaminen kallioon vaakaporauksella toteutettavaan vaakasuuntaiseen reikään. Tässä tutkimuksessa vertailu ja yhteenveto on tehty vain kahden jälkimmäisen välillä.

Liikennöidyllä radalla tehtävät radan rakenteisiin vaikuttavat työt vaativat toteutuakseen riittävän pitkän työraon tai liikennekatkon. Radan sähköistys asettaa lisähaasteita työn suunnittelulle ja toteutukselle, ja suunnittelijan on tehtävä ratkaisuja rakenteen toimivuuden, toteutuskustannuksien ja liikennehaitan välillä. Parhaat ratkaisut voidaan toteuttaa vähillä liikennehäiriöillä laadukkaasti ja tehokkaasti.

Louhittuun kanaaliin rakennettavan ja kallioon porattuun reikään asennettavan salaojan vertailussa suoranaisten toteutuskustannusten perusteella pelkkää vaakaporausta tulisi käyttää ainoastaan kohteissa, joissa muut vaihtoehdot eivät ole kustannustehokkaita. Vaikka vertailuun otetaan mukaan sähköratapylväiden siirto kanaalilouhinnan mahdollistamiseksi, kustannusero on vielä lähes kaksinkertainen kanaalimenetelmän eduksi.

Yhtenä vaihtoehtoisena kehityskohteenä on porauskaluston muuttaminen kapeammaksi. Mikäli kalustoa voidaan käyttää alle kahden metrin levyisessä poterossa, on poraaminen alle kymmenen metriä leveissä kallioleikkauksissa vielä mahdollista. Porauskaluston pienentäminen laskee porauksessa tarvittavien poteroiden louhintakustannuksia ja vähentää radan rakenteen tuentatarvetta.

Kanaali- ja porausmenetelmän yhdistäminen on tämän tutkimuksen perusteella paras mahdollisista uusista vaihtoehdoista. Seuraavassa vastaavanlaisessa kohteessa tulisi kokeilla yhdistettyä tekniikkaa, jossa sähköratapylväiden välille louhitaan kanaali ja pylväiden kohdalle porataan reikä. Porauspituudeksi muodostuisi tällöin enintään kymmenen metriä yhtä sähköratapylvästä kohti. Pilottikohteen kokemusten perusteella lopputuloksesta tulisi rakenteellisesti toimiva ja toteutuskustannuksiltaan kohtuullinen ratkaisu.

Lähteet

Painetut lähteet

- Rakennustietosäätiö 2010. InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 1 Väylät ja alueet. Rakennustieto Oy. Helsinki.
- Ratahallintokeskus 2004. B13 Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella. Helsinki.
- Ratahallintokeskus 2007. B19 Louhintatyöt rautatien läheisyydessä. Helsinki.
- Ratahallintokeskus 2009. B 24 Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Helsinki.

Painamattomat lähteet:

- Kerokoski, Annukka, insinööri (AMK). Destia Oy Infrasuunnittelu 2009. Helsinki. Kallioliikkaus km 497+530 – 498+230.
- Kinnunen, Aarno, rakennusmestari. Oy VR-Rata Ab Rautatiesuunnittelu. Tampere. Keskustelut keväällä 2010.
- Lavola, Sanna, insinööri. Oy VR-Rata Ab Radantarkastuspalvelut. Pori. Tarkastusaineistoa keväällä 2010.
- Silvast, Mika, FM (geologia). Roadscanners Oy. Tampere. Tulosraportti: Jepuan kallioleikkauksen 3D maatumkaluotaus 2009.
- Stålfors, Tom, FM (geologia). Styrod Boreal Oy. Ylitornio. Keskustelut syksyllä 2009 ja kesällä 2010.

Sähköiset lähteet:

- Liikennevirasto 2010. Roudan hallintaraportti 2010. [www-sivu]. [viitattu 5.9.2010]. https://rhk-fi.directo.fi/tietopalvelu/rhk_n_extranet/hallintaraportit/vuosi-2010/
- Liikenteen turvallisuusvirasto 28.12.2009. Liikennöinti ja ratatyö rautatiejärjestelmässä. [www-sivu]. [viitattu 8.9.2010]. http://www.finlex.fi/data/normit/35183-RVI_1092_412_209.pdf
- Ratahallintokeskus 2000. Ratatekniset määräykset ja ohjeet osa 15 Radan kunnossapito. [www-sivu]. [viitattu 15.5.2010]. <https://rhk-fi.directo.fi/@Bin/1704886/RAMO%2015%20Radan%20kunnossapito.pdf>
- Ratahallintokeskus 2002. Ratatekniset määräykset ja ohjeet osa 11 Radan päällysrakenne. [www-sivu]. [viitattu 15.5.2010]. <http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/900e804af03486bfee0357c0dde52480/1284448587/application/pdf/1704873/RAMO%2011%20Radan%20pÄÄllysrakenne.pdf>

- Ratahallintokeskus 2004. Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta. [www-sivu]. [viitattu 8.9.2010]
<http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/81071a6f98ee060811175a9592e5e619/1284456061/application/pdf/33466/Raiteentarkastustulokset%20ja%20niiden%20tulkinta.pdf>
- Ratahallintokeskus 2004. Ratatekniset määräykset ja ohjeet osa 13 Radan tarkastus. [www-sivu]. [viitattu 15.5.2010].
<http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/e8685012497578cfc496c39a121922aa/1284290020/application/pdf/1704879/RAMO%2013%20Radan%20tarkastus.pdf>
- Ratahallintokeskus 2005. Ratatekniset määräykset ja ohjeet osa 5 Sähköistetty rata. [www-sivu]. [viitattu 28.8.2010].
<http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/2fa5f6b2d92916fc3544c179637da31b/1284289946/application/pdf/1704849/RAMO%205%20S%C3%A4hk%C3%B6istetty%20rata.pdf>
- Ratahallintokeskus 2008. B 20 Radan suunnitteluohje. [www-sivu]. [viitattu 8.9.2010].
http://www.rhk.fi/tietopalvelu/julkaisut/b-sarjan_julkaisut/?x39219=2072739
- Ratahallintokeskus 2008. Ratatekniset ohjeet osa 3 Radan rakenne. [www-sivu]. [viitattu 30.4.2010].
https://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/9678c28a4c3d6a5fe54ce3a9af69e809/1284286851/application/pdf/2070438/RATO%203%202008_06%20web.pdf
- Ratahallintokeskus 2009. B 24 Sähkörataohjeet. [www-sivu]. [viitattu 8.9.2010].
http://www.rhk.fi/tietopalvelu/julkaisut/b-sarjan_julkaisut/?x39219=2654998
- Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009 Vna 205/2009. [www-sivu]. [viitattu 4.9.2010].
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>
- Valtioneuvoston päätös räjäytys- ja louhintatyön järjestysohjeista 29.5.1986/410 Vnp 410/86. [www-sivu]. [viitattu 28.8.2010].
<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19860410>
- Ympäristöministeriö. Melua ja tärinää aiheuttava tilapäinen toiminta. [www-sivu]. [viitattu 4.9.2010].
www.ymparisto.fi/default.asp?node=1437&lan=fi

Liitteet

Liite 1: Radan kallioleikkauksen normaalipoikkileikkaus, RATO 3, Ratahallintokeskus 2008

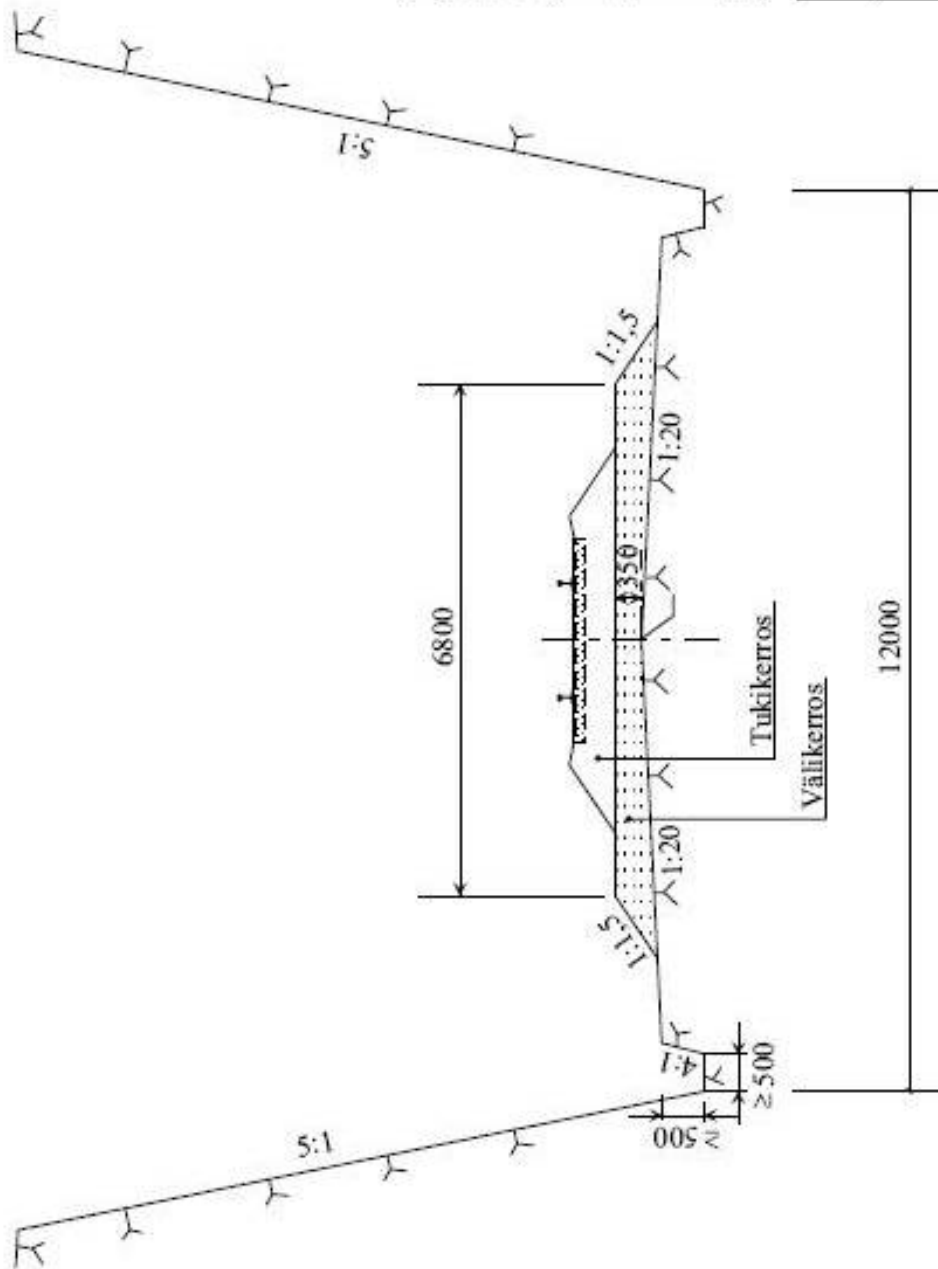
Liite 2: Pituusleikkaus 1, Kallioleikkaus km 497+530 – 498+230, Destia Oy 2009

Liite 3: Pituusleikkauksen nimiö, Kallioleikkaus km 497+530 – 498+230, Destia Oy 2009

Liite 4: Poraus- ja kaivopoteroiden sijainnit ja välimatkat

Liite 5: Vaakaporauksen toteutuman tarkemittaukset, JT-Mittaus Oy 2009

Liite 6: Aukean tilan ulottuma (Atu)



Leikkauspohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raitteen keskilinjasta lukien

Luiskien kaltevuus kallion rakoilusta riippuvainen
Kaltevuus voidaan toteuttaa esitettyä loivempana

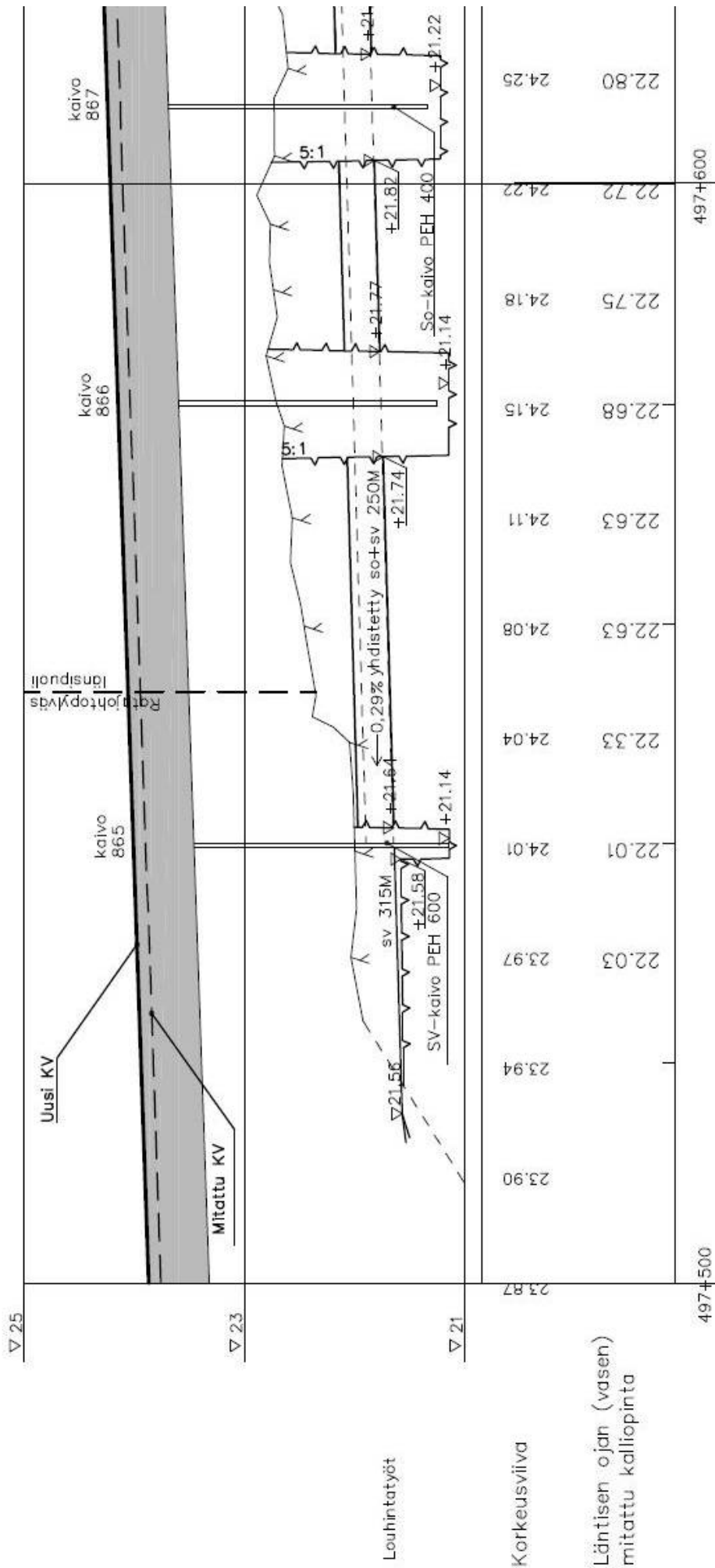
Rakennetyyppi	Poikkileikkauksmitat				Eristyskerros murskeesta
	Tukikerros	Eristyskerros	Välikerros	Välikerros + eristyskerros	
Betoni- ja puurakenteinen tukkerros	550	350	-	900	900
Betoniratapölkkyraide					
Puurakenteinen tukkerros	450	350	-	800	450
					900



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
Lk-1-KaB900-12,0
Pk-1-KaB900-12,0
Jk-1-KaB900-12,0
Lk-1-Ka800-12,0
Pk-1-Ka800-12,0
Jk-1-Ka800-12,0

Liite 2: Pituusleikkaus 1, Kalliroleikkaus km 497+530 - 498+230, Destia Oy 2009



Liite 4: Poraus- ja kaivopoteroiden sijainnit ja porausmatkat

Jepuan kallioleikkaus, vasemman puolen salaojan poteroitten paikat

keskikohta [km + m]	poteron tehtävä	kaivon numero	porausmatka [m]
497,540	kaivopotero	865	
			33,5
497,580	porauspotero	866	
			17,0
497,607	porauspotero	867	
			43,5
497,657	kaivopotero	868	
			40,5
497,704	porauspotero	869	
			28,0
497,742	porauspotero	870	
			47,5
497,796	kaivopotero	871	
			44,5
497,847	porauspotero	872	
			17,0
497,874	porauspotero	873	
			36,5
497,917	kaivopotero	874	
			34,5
497,958	porauspotero	875	
			24,5
497,989	kaivopotero	876	
			24,5
498,020	porauspotero	877	
			15,0
498,045	porauspotero	878	
			12,5
498,064	kaivopotero	879	

porauspotero: L=10,0 m

kaivopotero: L=3,0 m

Liite 5: Vaakaporauksen toteutuman tarkemittaukset, JT-Mittaus Oy 2009

Jepuan kallioliikkaus, vaakaporausten tarkkeet
Toteutuneet vietet laskettu JT-mittaus Oy:n toimittamista tiedoista

Kaivoväli	Suunniteltu korkeus	Mitattu korkeus	Ero [m]	Suunniteltu korkeusero	Mitattu korkeusero	Ero [m]	Suunniteltu vietto [%]	Mitattu vietto [%]
865	21,658	21,656	0,002	0,12	0,083	0,037	0,36 %	0,25 %
866	21,739	21,730	0,009	0,07	0,039	0,031	0,41 %	0,23 %
866	21,760	21,802	-0,042	0,15	0,155	-0,005	0,34 %	0,36 %
867	21,871	21,841	0,030	0,13	0,133	-0,003	0,32 %	0,33 %
867	21,847	21,855	-0,008	0,11	0,08	0,03	0,39 %	0,29 %
868	21,977	21,970	0,007	0,15	0,254	-0,104	0,32 %	0,53 %
868	21,987	21,975	0,012	0,16	0,127	0,033	0,36 %	0,29 %
869	22,045	22,108	-0,063	0,08	0,055	0,025	0,47 %	0,32 %
869	22,129	22,124	0,005	0,12	0,293	-0,173	0,33 %	0,80 %
870	22,204	22,204	0,000	0,12	0,047	0,073	0,35 %	0,14 %
870	22,236	22,224	0,012	0,09	0,066	0,024	0,37 %	0,27 %
871	22,385	22,478	-0,093	0,09	0,07	0,02	0,37 %	0,29 %
871	22,404	22,387	0,017	0,04	0,04	0	0,27 %	0,27 %
872	22,509	22,514	-0,005	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
872	22,539	22,556	-0,017	0,00	0,00	0	0,32 %	0,32 %
873	22,596	22,611	-0,015	0,00	0,04	0	0,32 %	0,32 %
873	22,631	22,625	0,006	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
874	22,723	22,918	-0,195	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
874	22,736	22,939	-0,203	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
875	22,841	22,982	-0,141	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
875	22,861	22,914	-0,053	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
876	22,930	22,980	-0,050	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
876	22,953	23,155	-0,202	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
877	22,963	22,938	0,025	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
877	23,050	23,050	0,000	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
878	23,090	23,090	0,000	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
878	23,120	23,120	0,000	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %
879	23,160	23,160	0,000	0,04	0,04	0	0,32 %	0,32 %

Vaakaporauksen suuntaus epäonnistunut 100 mm, korjattu kaivoon liitynnöissä

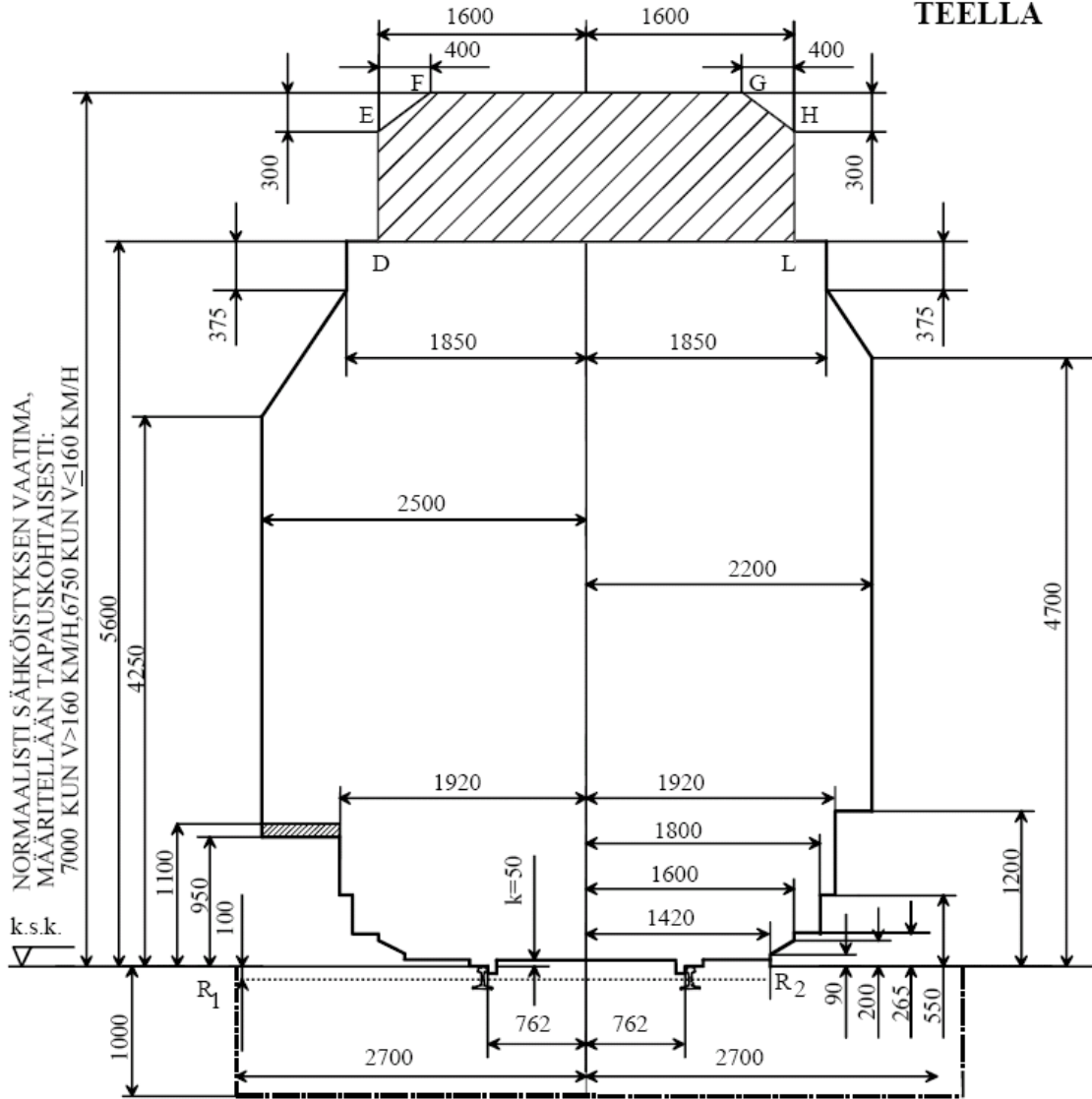
Vaakaporauksen suuntaus epäonnistunut 170 mm, korjattu kaivoon liitynnöissä

Vaakaporauksen suuntaus epäonnistunut, korjattu piikkaamalla suunniteltuun tasoon
Vaakaporauksen suuntaus epäonnistunut, korjattu piikkaamalla suunniteltuun tasoon

Liite 6: Aukean tilan ulottuma (ATU)

PÄÄRAITEELLA

***) SIVURAI-
TEELLA**



Aukean tilan ulottuma on samanlainen pää- ja sivuraiteella korkeuteen 950mm asti.

Kaarteessa ulottuman puolileveyksiä on kasvatettava kaavan $\frac{360000}{R} + \frac{HD}{1600}$ mukaan.

- rajaviiva aukean tilan ulottumalle
- rajaviivan yläpuolella sallitaan vain vaihteiden ja turvalaitteiden osia, tasoristeysten päällysteitä yms.
- rajaviivan yläpuolella ei sallita rataan kuulumattomia perustuksia, köysiä, putkijohtoja, kaapeleita ym.

$u_{\min} = 41$

$u + \Delta G =$ laippauran levitys kaarteessa

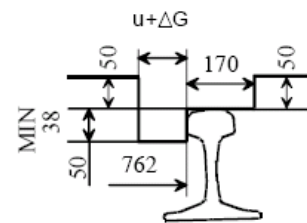
$k = 50$ mm, kun pystysuoran pyör.säde $s > 1000$ m

$k = 0$ mm kun pystytason pyör.säde $s = 500$ m

k kasvaa lineaarisesti 0... 50 mm pyör.säteen kasvaessa vastaavasti 500...1000 m

sähköistetyt ja sähköistettävät raiteet

alue, johon saa asentaa vain radan merkkejä ja opastimia



LAIPPAURA

*) Rautatieliikennepaikalla on oltava vähintään yksi raide, joka täyttää kiinteiden esteiden osalta suurkuljetusraiteen ulottuman (liite 6).