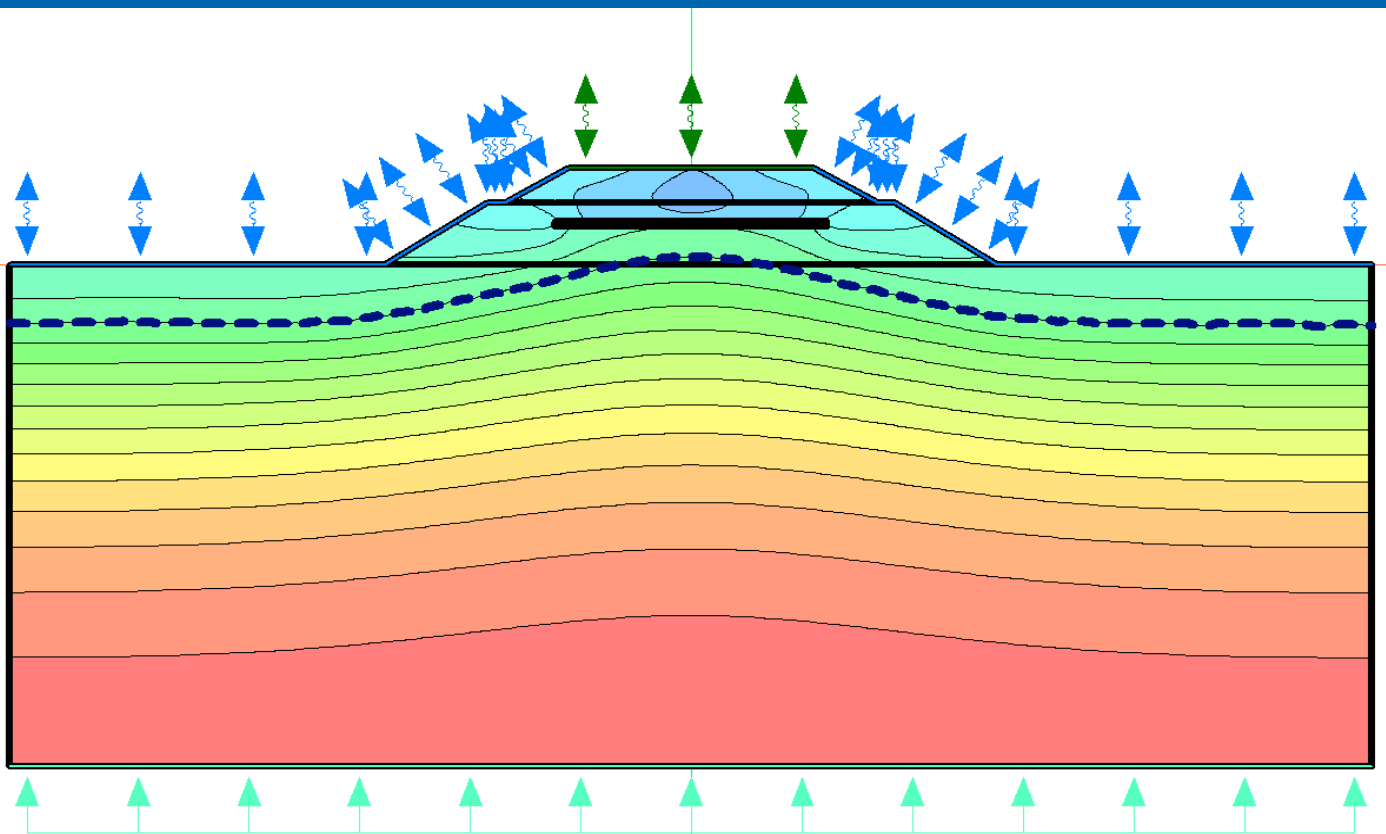




Väylävirasto  
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu  
22/2023

## Tutkimus routalevyn asennussyvyydestä





Heikki Luomala, Marko Peltomäki ja Mika Silvast

# **Tutkimus routalevyn asennussyvyydestä**

Väyläviraston julkaisuja 22/2023

*Kannen kuva: Heikki Luomala*

Verkkajulkaisu pdf ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-058-6

Dokumentin sisältö ei ole kaikilta osin saavutettava.

Väylävirasto  
PL 33  
00521 HELSINKI  
puh. 0295 343 000

**Heikki Luomala, Marko Peltomäki ja Mika Silvast: Tutkimus routalevyn asennussyvyydestä.** Väylävirasto Helsinki 2023. Väyläviraston julkaisuja 22/2023. 52 sivua ja 1 liite. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-058-6.

**Avainsanat:** Routasuojaus, routalevy, rata

## Tiivistelmä

Olemassa olevan radan routasuojausta parannetaan usein lisäämällä rakenteen lämmöneristystä routalevyjen avulla. Aikaisemmin tukikerroksen puhdistukseen tai uusimiseen on käytetty paljon sepelinpuhdistuskonetta, jolloin routalevyt asennetaan tukikerroksen uudistamisen yhteydessä tukikerroksen alle. Routalevyjä on asennettu viime vuosina yhä enemmän kaivinkonemenetelmällä eli kaivamalla. Kaivamalla tapahtuva routalevyjen asennus on ohjeistettu siten, että routalevyt asennetaan välikerroksen alle. Kuitenkin monessa perusparannushankkeessa routalevyt on asennettu kaivamalla suoraan tukikerroksen alle.

Routalevyt asennetaan lähtökohtaisesti pohjatutkimusten perusteella sellaisiin kohtiin rataa, joissa alusrakenteen paksuus on riittämätön estämään pohjamaan routimisen mitoitustalvena. Routalevyjä on asennettu myös radantarkastusaineiston perusteella kohtiin, joissa esiintyy tulkinnan perusteella routimisesta aiheutuvaa geometriavirhettä. Tulkinta perustuu usean vuoden radantarkastusaineiston havaintoihin ja periaatteeseen, että talvella syntyvä ja kesällä itsestään korjautuva korkeuspoikkeama on routimisen aiheuttama geometriavirhe. Vastaavissa analyysissä on kuitenkin huomattu myös, että routalevyjen asentaminen saattaa lisätä geometriavirheitä etenkin sellaisissa kohteissa, joissa routalevyt asennetaan tukikerroksen alle. Routalevyjen asentamisen jälkeen tarvitaan useampi tuentakerta, jotta geometria saadaan kunnossapitotason edellyttämään kuntoon. Tämänkin jälkeen routalevytetyt kohdat erottuvat radantarkastusaineistossa siten, että routalevyjaksojen päihin syntyy geometriavirhe tavallista nopeammin ja koko routalevytetty alue aiheuttaa lisääntyntä korkeuspoikkeaman vaihtelua.

Tässä tutkimuksessa tehtyjen analyysien perusteella routalevyjen asentaminen tukikerroksen alle nopeuttaa geometriavirheiden syntymistä siinä määrin, että routalevytetyjä alueita jouduttaneen kunnossapitämään tukemalla enemmän kuin routalevyttömiä alueita tai niitä alueita, joissa routalevy on asennettu välikerroksen alle. Lämpöteknisesti tarkasteltuna routalevyn asennussyvyydellä ei ole suurta merkitystä, eikä sen perusteella voi perustella tiettyä asennussyvyyttä. Kuormituskestävyyden näkökulmasta routalevyn ja tukikerroksen elinkaari on pidempi, kun routalevyt asennetaan välikerroksen alle. Syvämpi asennustapa mahdollistaa myös uuden välikerroksen rakentamisen, jonka avulla saavutetaan etua radan kuormituskestävyyteen ja vältetään jauhaantuneen ja mahdollisesti routivan vanhan tukikerroksen päätyminen routalevyn alapuolelle. Syvämpi asennustapa mahdollistaa myös tukikerroksen puhdistuksen tai uusimisen tulevaisuudessa ilman routalevyn uusimista. Elinkaarikustannusten näkökulmasta routalevyn asentaminen välikerroksen alle on selkeästi edullisempi ratkaisu, kun operoidaan yksiraiteisella rataosalla. Kaksoisraiteen mahdollisesti edellyttämä työnaikainen tukiseinärakenne on merkittävä lisäkustannus, joka tasoittaa elinkaarikustannuksia.

**Heikki Luomala, Marko Peltomäki ja Mika Silvast: Studie av installationsdjup för tjälisoleringsplatta.** Trafikledsverket Helsingfors 2023. Trafikledsverkets publikationer 22/2023. 52 sidor och 1 bilaga. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-058-6.

## Sammanfattning

Tjältskyddet för en befintlig bana förbättras ofta genom att konstruktionens värmeisolering utökas med hjälp av tjälisoleringsplattor. Tidigare har ofta makadamrengöringsmaskiner använts för att rengöra eller förnya stödsiktet, då tjälisoleringsplattor installeras under stödsiktet i samband med att stödsiktet förnyas. Under de senaste åren har allt fler tjälisoleringsplattor installerats genom en gräv-maskinsmetod, det vill säga grävning. Instruktionerna för installation av tjälisoleringsplattor genom grävning har varit att tjälisoleringsplattorna ska installeras under mellanskiktet. I många ombyggnadsprojekt har dock tjälisoleringsplattorna installerats genom grävning direkt under stödsiktet.

Som utgångspunkt installeras tjälisoleringsplattorna, baserat på förundersökningar, på sådana platser längs banan där underkonstruktionens tjocklek är otillräcklig för att förhindra att det bildas tjäle i undergrunden under en dimensionerande vinter. Baserat på spårinspektionsmaterial har tjälisoleringsplattor också installerats på platser där det tolkningsbaserat orsakas geometrifel på grund av tjälbildning. Tolkningen bygger på resultaten från flera års spårinspektionsmaterial och på principen att den höjdvikelse som uppstår på vintern och som korrigeras av sig självt på sommaren är ett geometrifel som orsakas av tjälbildning. I motsvarande analyser har man dock också upptäckt att installation av tjälisoleringsplattor kan öka geometrifelen, särskilt på platser där tjälisoleringsplattorna installeras under stödsiktet. Efter att tjälisoleringsplattorna har installerats krävs det att stödet förnyas i flera omgångar för att få geometrin till det tillstånd som underhållsnivån förutsätter. Även därefter sticker platserna med tjälisoleringsplattor ut i spårinspektionsmaterialet på det sättet att geometrifel uppkommer ovanligt snabbt i ändarna av sektionerna med tjälisoleringsplattor och hela området med tjälisoleringsplattor orsakar en ökad variation i höjdvikelsen.

Baserat på de analyser som har utförts i denna studie påskyndar installation av tjälisoleringsplattor under stödsiktet uppkomst av geometrifel i sådan omfattning att områden med tjälisoleringsplattor kan behöva underhållas genom mer stöd än områden som saknar tjälisoleringsplattor eller områden där tjälisoleringsplattan är installerad under mellanlagret. Värmetekniskt kontrollerat har tjälisoleringsplattans installationsdjup ingen stor betydelse och kan inte användas för att motivera ett specifikt installationsdjup. När det gäller belastningstålighet blir tjälisoleringsplattans och stödsiktets livscykel längre när tjälisoleringsplattorna installeras under mellanskiktet. En installationsmetod med större djup möjliggör också byggande av ett nytt mellanskikt, med vars hjälp det uppnås en fördel i banans belastningstålighet och undviks att det pulvrerade och eventuellt tjälbildande gamla stödsiktet hamnar under tjälisoleringsplattan. En installationsmetod med större djup möjliggör också rengöring eller förnyelse av stödsiktet i framtiden utan att tjälisoleringsplattan förnyas. Med avseende på livscykel-kostnaderna är installation av tjälisoleringsplattan under mellanskiktet helt klart en mer ekonomisk lösning vid operering på ett banavsnitt med enkelspår. Den stödmurskonstruktion som ett dubbelspår eventuellt förutsätter medan arbetet pågår är en betydande merkostnad som utjämnar livscykelkostnaderna.

**Heikki Luomala, Marko Peltomäki ja Mika Silvast: Study on the installation depth of frost insulation plate.** Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2023. Publications of the FTIA 22/2023. 52 pages and 1 appendix. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-058-6.

## Abstract

The frost protection of an existing railway track is often improved by increasing the thermal insulation of the structure with the help of frost plates. In the past, a ballast cleaning machines have been used to clean or renew the ballast layer, in which case the frost plates are installed under the ballast layer when the ballast is renewed. In recent years, frost plates have increasingly been installed using the excavator method. The installation of frost plates by excavator method is instructed in such a way that frost plates should be installed under the sub-ballast layer. However, in many renovation projects, frost plates have been installed by excavator method directly under the ballast layer.

As a rule, frost plates are installed on the basis of soil investigations at points on the track where the thickness of the substructure is insufficient to prevent the subsoil from freezing. Frost plates have also been installed on the basis of track inspection records at points where, based on interpretation, irregularities caused by frost-action occurs. The interpretation is based on the observation of several years of track inspection data and on the principle that the vertical alignment that arises in winter and disappears in summer without maintenance is an irregularity caused by frost-action. However, similar analyses have also found that the installation of frost plates may increase irregularities, especially in sites where frost plates are installed under the ballast layer. After installing the frost plates, several tamping's are needed to bring the geometry to the condition required by the maintenance level. Even after this, the frost-plated points stand out in the track inspection material in such a way that irregularities are created at the ends of the frost plate sections faster than usual and the entire frost-plated area causes increased variation in vertical alignment.

Based on the analyses carried out in this study, the installation of frost plates under the ballast layer accelerates the generation of irregularities to such an extent that frost-plated areas may have to be maintained by tamping more often than areas without frost plates or those areas where the frost plate is installed under the sub-ballast layer. From a thermal point of view, the installation depth of the frost plate is not of great importance and thermal properties cannot be used to justify a specific installation depth. From the point of view of load resistance, the life cycle of the frost plate and the ballast layer is longer when the frost plates are installed under the sub-ballast layer. A deeper installation method enables the construction of a new sub-ballast layer, which will achieve an advantage in the load resistance of the track. It will also prevent the fouled and possibly frost-susceptible old ballast layer ending below the frost plate. A deeper installation method also allows the ballast layer to be cleaned or renewed in the future without replacing the frost plate. From the point of view of life cycle costs, installing frost plate under the sub-ballast layer is clearly a cheaper solution when operating on a single-line railway section. The retaining wall structure that may be required on the double track during installation is a significant cost that evens out the life cycle costs.

## Esipuhe

Routalevyjä asennetaan nykyisin paljon kaivinkonemenetelmällä tukikerroksen alapintaan, koska se on yksinkertainen ja helppo asennustapa. Menetelmä kuitenkin poikkeaa voimassa olevasta ohjeistuksesta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää routalevyn asennussyvyyden vaikutuksia radan toimintaan ja elinkaarikustannuksiin.

Tämä routalevyn asennussyvyyden vaikutuksia käsittelevä tutkimus on toteutettu Tampereen yliopiston tutkimuskeskus Terran ja Loram Finland Oy:n yhteistyönä. Tutkimus on osa Väyläviraston ja Tampereen yliopiston NOSERA-tutkimusyhteistyötä.

Tutkimuksen tekemiseen ovat osallistuneet Heikki Luomala, Marko Peltomäki, Mikko Sauni ja Linnea Koivuranta tutkimuskeskus Terrasta sekä Mika Silvast ja Juho Nyssönen Loram Finland Oy:stä. Työtä ovat ohjanneet Henri Seppälä, Panu Tolla ja Hannu Siira Väylävirastosta. Tämän raportin on koornut Heikki Luomala tutkimuskeskus Terrasta.

Helsingissä maaliskuussa 2023

Väylävirasto  
Tekniikka ja ympäristö



## Sisältö

1	JOHDANTO.....	8
2	NYKYINEN OHJEISTUS .....	9
3	ROUTALEVYKOHTEIDEN RAIDEGEOMETRIAN KEHITTYMINEN.....	11
3.1	Visuaaliset havainnot.....	11
3.2	Korkeuspoikkeaman keskihajonta .....	12
3.3	Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus.....	14
3.4	Routalevyjen aiheuttama tuentatarve.....	18
3.5	Seurantamittaukset Pori-Mäntyluoto-rataosalla .....	20
4	LÄMPÖTEKNINEN KÄYTTÄYTYMINEN.....	22
4.1	Lähtöparametrit .....	22
4.2	Laskentatulokset .....	25
4.3	Vertailu nykyiseen routamitoitukseen .....	28
5	RADAN KUORMITUSKÄYTTÄYTYMINEN.....	30
5.1	Routalevyn kuormituskestävyys.....	30
5.2	Tukikerroksen toiminta .....	32
5.3	Rakenteen kuormitus.....	33
6	ASENNUSTEKNISIÄ NÄKÖKULMIA .....	36
6.1	Asennusalustan merkitys.....	36
6.2	Routimaton asennusalusta .....	37
6.3	Välikerroksen tiivistämisen merkitys.....	41
6.4	Kunnossapitotaso ja vaihdealueet.....	41
7	HYÖTYKUSTANNUSANALYYSI .....	43
7.1	Rakennusosien kustannukset.....	43
7.2	Kunnossapidon kustannukset .....	45
7.3	Kustannukset ilman routalevyä.....	46
7.4	Elinkaarikustannukset.....	47
8	PÄÄTELMÄT.....	50

## LIITTEET

Liite 1 Geometriahistorian visuaalinen tarkastelu

# 1 Johdanto

Tutkimus routalevyjen asennussyvyydestä lähti itämään radantarkastustulosten perusteella tehdystä havainnosta, jonka mukaan lämmöneristyslevyt eli routalevyt saattavat lisätä geometriavirheitä joissakin tapauksissa. Etenkin routalevyjaksojen päädyissä oli havaittu lisääntyneitä kunnossapitotarvetta, jota ei ollut ennen routalevyjen asentamista. Toisaalta nykyisissä asennuskäytännöissä on ristiriitaisuutta voimassa olevan ohjeistuksen suhteen. Tutkimuksen keskeinen tavoite onkin tarkastella ratarakenteen käyttäytymisen eroja erilaisissa routalevyn asennussyvyyksissä.

Nykyohjeistuksen mukaan routalevyt on tarkoitettu asennettavaksi ratarakenteeseen joko kaivamalla välikerroksen alle tai sepelinpuhdistuskoneella operoitaessa tukikerroksen alle. Kaivamalla tehtävässä asennuksessa routalevyn päälle asennetaan 300 mm paksuinen välikerros, joka tiivistetään asiaan kuuluvalla tavalla. Päällysrakenne rakennetaan vasta tämän työvaiheen jälkeen. Tukikerroksen puhdistuksen yhteydessä raidetta ei pureta, ainoastaan raidesepeli kaavitaan pois raiteen alta. Tällöin routalevyn asennus tehdään välikerroksen päälle tai tukikerroksen ollessa tavallista paksumpi, myös vanhan tukikerroksen alaosaan. Monissa perusparannusurakoissa on kuitenkin asennettu routalevyt ohjeistuksesta poiketen tukikerroksen alaosaan, vaikka työ on tehty kaivamalla.

Routalevyjaksojen päissä on ROPE-projektin sekä radantarkastustuloksia analysoineen tutkimuksen perusteella (Sauni, 2018) havaittu enemmän geometriavirheitä kuin rataosalla keskimäärin. Routalevyn suurempi asennussyvyys vaikuttaa toisaalta työ kustannuksia lisäävästi. Asennussyvyyden vaikutus radan käyttäytymiseen ja elinkaarikustannuksiin tunnetaan kuitenkin kokonaisuuden kannalta varsin huonosti.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli:

- Selvittää routalevyn asennussyvyyden vaikutus radan geometriavirheiden kehittymiseen muutamia vuosia sitten perusparannettujen rataosien geometriahistorian avulla.
- Toteuttaa lämpötekniinen tarkastelu routalevyn asennussyvyyden vaikutuksista radan routasuojaukseen, ottaen huomioon mahdollinen vanhan tukikerroksen alaosan lievä routivuus.
- Arvioida laskennallisesti routalevyn asennussyvyyden vaikutusta radan kunnossapitotarpeeseen.
- Arvioida työrakojen, asennusmenetelmien ja asennustarkkuuden vaikutusta geometriavirheiden kehittymiseen eri asennussyvyysvaihtoehdoissa.
- Arvioida routalevyn käyttöikää eri asennussyvyyksissä.
- Toteuttaa hyötykustannuslaskelma routalevyillä saavutetuista hyödyistä verrattuna routalevyillä mahdollisesti aiheutettuun kunnossapitotarpeen kasvuun.

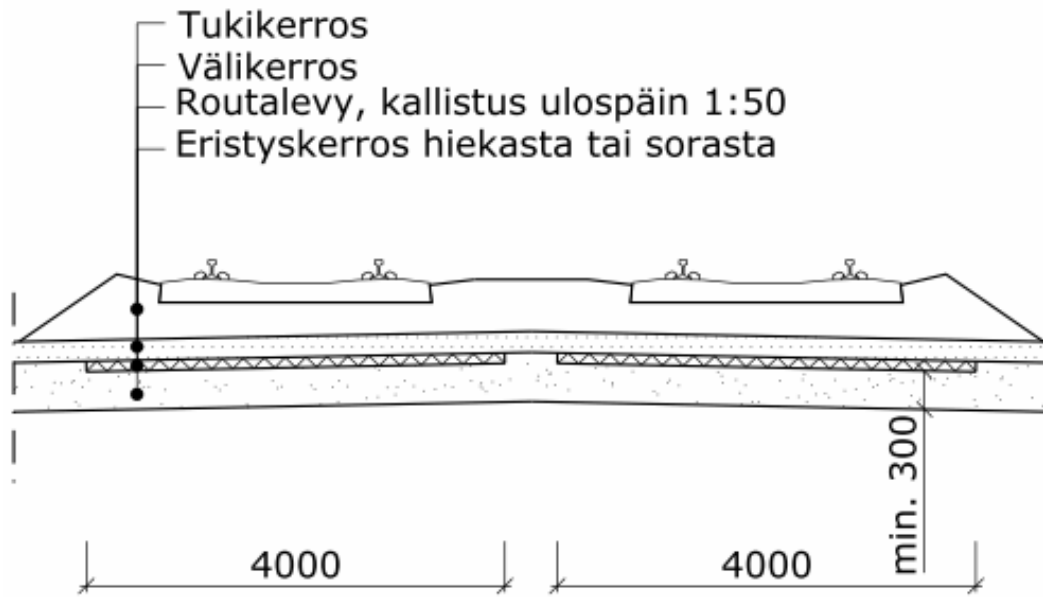
## 2 Nykyinen ohjeistus

Routalevyn asentamista ohjeistetaan RATO 3:ssa ja InfraRYL:ssä. Molemmissa ohjeissa tunnetaan kaksi erilaista asennustapaa: routalevyn asentaminen kaivamalla välikerroksen alapintaan ja routalevyn asentaminen sepelin puhdistuksen yhteydessä tukikerroksen alapintaan. Molemmissa ohjeissa vaaditaan lisäksi, että routaeristelevyn alapuolella oleva materiaali tulee olla routimatonta. RATO 3:ssa vaaditaan, että "Routalevyn alapuolella olevan routimattoman alusrakennekerroksen vähimmäispaksuus on 300 mm käytettäessä luonnonmateriaaleja ja 450 mm käytettäessä murskattua kiviainesta. Lisäksi etäisyys routalevyn alapinnasta ylimpään pohjavedenpintaan tulee olla suurempi kuin routalevyn alla olevan materiaalin kapillaarinen nousukorkeus". RATO 3:n liitteessä 5 esitetään periaatekuva routalevyn asentamisesta kaivamalla, jossa viitataan edelleen InfraRYL:n kohtaan 21220.1, eli eristyskerroksen materiaalivaatimukseen. Routalevyn alapuolelle vaadittavan rakennekerroksen paksuus perustuu ainakin osittain routamitoituksen edellyttämään rakenteen vähimmäispaksuuteen. Riittävän routasuojausvaikutuksen takia murskattuja rakennekerroksia tarvitaan routalevyn alle paksumpi kerros kuin luonnonmateriaaleja. Myös kuivatuksen ja kuormituskestävyyden näkökulmasta routalevyn alapuolelle tarvitaan kerros alusrakenteen laatuvaatimukset täyttävää materiaalia.

InfraRYL:ssä kohdassa 14211.3.3 *Solumuovisten roudaneristysten tekeminen ratarakenteissa* esitetään kaksoisraiteen poikkileikkaus, jossa on myöskin vaatimus 300 mm rakennekerroksesta routalevyn alapuolelle (kuva 1). Kyseisessä kohdassa ei ole erikseen mainittu routimattomuusvaatimusta vaan ainoastaan viittaus eristyskerroksen materiaalivaatimukseen, jonka luonnollisesti tulee olla materiaalina routimatonta. Lisäksi viitataan kohtaan 21400 Tukikerrokset ratarakenteessa, jossa ei kuitenkaan käytännössä ohjeisteta routalevyjen asentamista tukikerroksen alle. Kohdassa mainitaan mahdollisuudesta asentaa routalevyt sepelin vaihdon tai puhdistuksen yhteydessä ja viitataan voimassa oleviin Liikenneviraston (Väyläviraston) ohjeisiin ja geoteknisiin suunnitelmiin. Mahdollisuus routalevyn asentamiseen sepelinpuhdistuksen yhteydessä mainitaan myös Päälysrakennetöiden yleisessä työselityksessä (RHK D16).

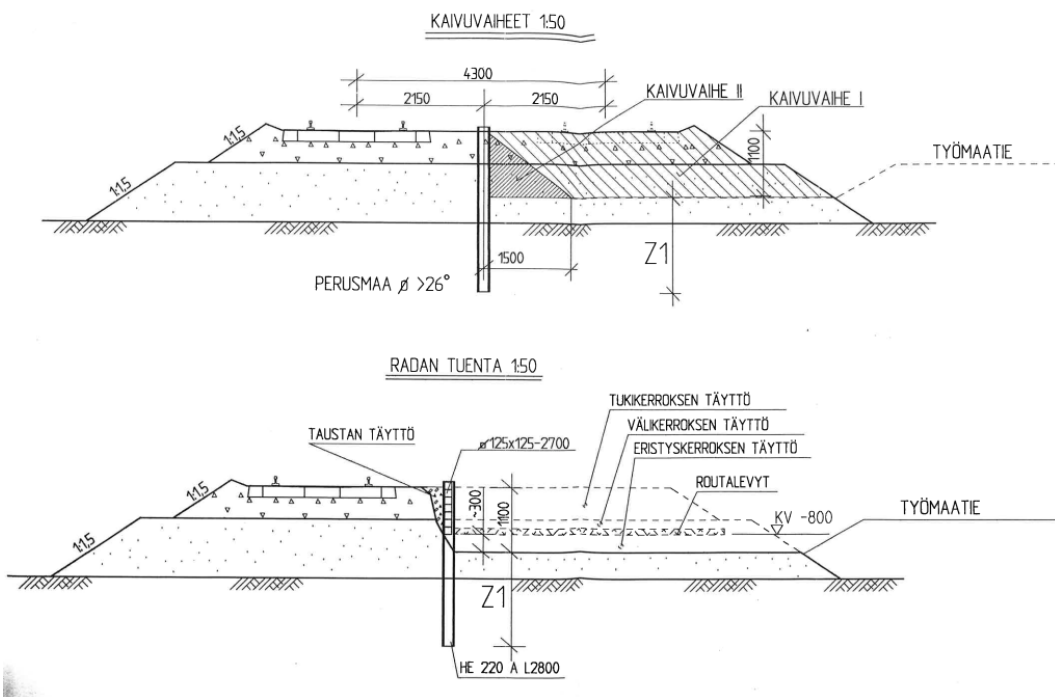
VR Ratayksikön Georyhmän vuodelta 1995 olevassa ja siten jo vanhentuneessa *Ratojen routasuojaustarpeen selvittäminen ja routalevyjen asentaminen* tutkimus- ja asennusohjeessa tunnetaan myös kaksi edellä mainittua asennustapaa. Asennuksessa kaivamalla puhutaan välikerroksen ohella suojaehkakerroksesta, jonka tulee olla tiivistettynä vähintään 150 mm paksuinen. Kyseisen ohjeen mukaan routalevyjen alapuolella tulee olla eristyskerros rakennettuna hiekasta tai sorasta. Ohje on siltäkin osin vanhentunut ettei se tunne mahdollisuutta kalliosta murskattujen materiaalien käyttöön radan alusrakenteessa.

Voimassa oleva ohjeistus ei tunne asennustapaa, jossa routalevy asennetaan tukikerroksen alapintaan kaivamalla. Tätä asennusmenetelmää on kuitenkin käytetty useissa perusparannus- ja päälysrakenteen vaihtokohteissa viime vuosina.



Kuva 1. Periaatekuva routalevyn asentamisesta kaivamalla (InfraRYL, 14211:K2).

Kun routalevy asennetaan kaksoisraiteelle välikerroksen alapuolelle ainoastaan toisen raiteen alle, on toteutettava käytössä olevan raiteen tuenta tukiseinän avulla (kuva 2). Ohjeistus puusettiseinän rakentamisesta löytyy esimerkiksi vanhasta VR Ratayksikön Georyhmän ohjeesta *Radan tuenta routaeristyslevyjen asentamisen yhteydessä*. Nykymenetelmin teräsponttiseinän rakentaminen lienee monessa tapauksessa kustannustehokkaampi ratkaisu, mutta tukiseinän rakentaminen aiheuttaa aina merkittävän lisäkustannuksen ja hidastaa työn etenemistä.



Kuva 2. Periaatekuva raiteen väliin rakennettavasta tukiseinästä.

## 3 Routalevykohteiden raidegeometrian kehittyminen

Keskeinen kimmoke tämän tutkimuksen tekemiseen oli aiemmin tehty havainto, jonka mukaan routalevytetyt osuudet eivät näyttäyty geometriavirheiden kehittymisen näkökulmasta kaikilta osin edukseen ympäröivään rataan verrattuna. Havainto liittyi Kouvola–Kotka-rataosalta tehtyihin tiedonlouhintoihin, joissa havaittiin etenkin routalevyjaksojen päätyihin kehittyvän geometriavirheitä tavallista nopeammin (Sauni, 2018). Geometriavirheiden kasvua arvioidaan yleensä koneellisella radantarkastuksella mitatun korkeuspoikkeaman keskihajonnan perusteella. Keskihajonnan avulla pystytään kuvaamaan radan tasaisuutta yleisellä tasolla ja peräkäisten radantarkastusten aikasarjojen avulla on mahdollista laskea myös korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus. Molemmat suureet ovat tärkeitä, kun arvioidaan seuraavan kunnossapitotuennan ajankohtaa.

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella kahden erilaisen routalevyn asennussyvyyden vaikutusta geometriavirheiden kehittymiseen. Tarkasteltaviksi ratakohteiksi valikoituivat Kouvola–Luumäki-rataosan (Kv–Lä) raide 2 eteläinen sekä Seinäjoki–Vaasa-rataosa (Sk–Vs). Molemmilla rataosilla on tehty ROPE-projektissa määritetyjä routakohteiden parannustoimenpiteitä. Rataosilla on tehty routakorjaustoimenpiteitä vuosina 2016 (Sk–Vs) ja 2019 (Kv–Lä). Kv–Lä-rataosalla routalevy oli asennettu seitsemässä kohteessa tukikerroksen alle ja viidessä kohteessa välikerroksen alle. Sk–Vs-rataosalla routalevy oli asennettu 13 kohteessa tukikerroksen alle ja ainoastaan yhdessä kohteessa välikerroksen alle.

Routakorjauskohteista (26 kpl) koostettiin yhdistetty näkymä visuaalisen tarkastelun mahdollistamiseksi sekä määritettiin korkeuspoikkeaman aikasarjan perusteella kolmen viimeisimmän mittausajon korkeuspoikkeaman keskihajonnan keskiarvo sekä korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus routakorjauskohteiden keskipisteen alueella sekä niiden lähistölle määritetyillä vertailukohteilla (26 kpl).

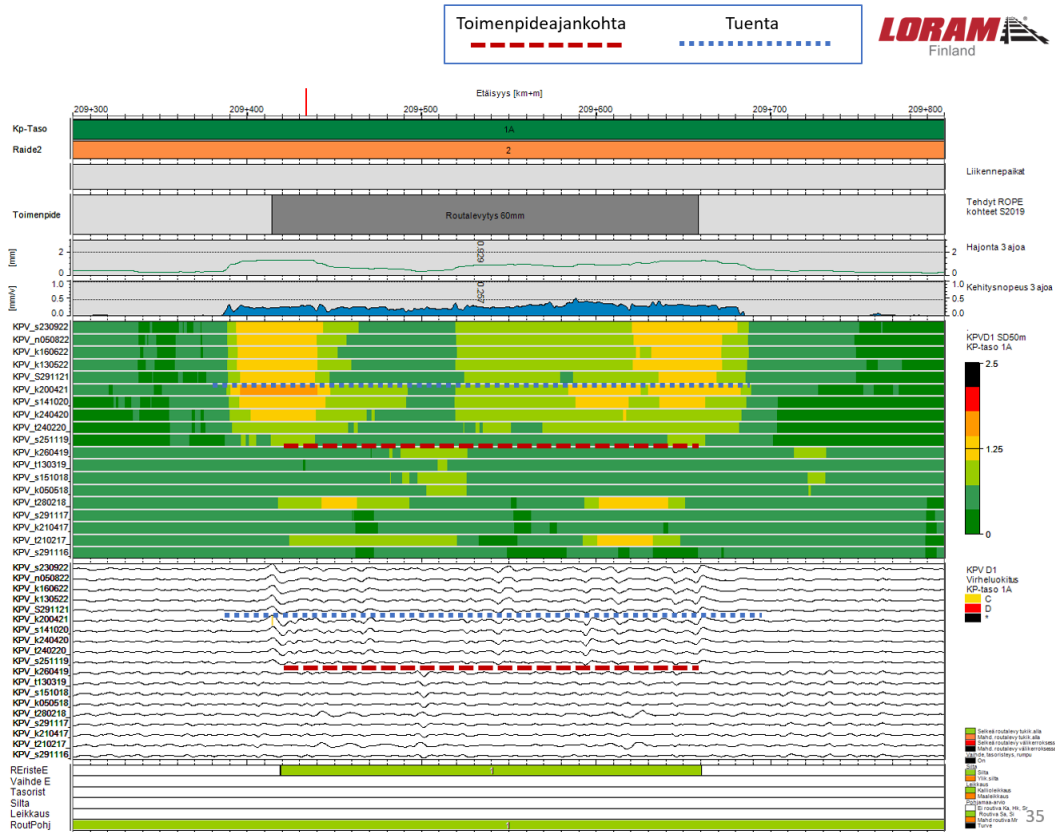
Aineiston analyysi tehtiin Rail Doctor 3.6 -ohjelmistolla. Analyyseissä käytetyt aineistot olivat radantarkastusmittaukset vuosilta 2014–2022 korkeuspoikkeaman (vasen) osalta, routalevytyskohteiden toteumatiedot, maatutka-aineisto routalevyjen sijainnin ja asennussyvyyden varmistamiseen (vain Sk–Vs), ratavideo sekä kartta-aineisto.

### 3.1 Visuaaliset havainnot

Esimerkkikuva visuaalisesta aineistosta ilman ratavideota ja maaperäkarttaa on esitetty kuvassa 3. Kaikkien tarkasteltujen kohteiden visuaaliset kuvat on esitetty liitteessä 1. Kuvasta 3 nähdään kuitenkin keskeiset ilmiöt, jotka toistuvat useimmissa routalevytetyissä kohteissa:

- Routalevyjakson päiden alueella korkeuspoikkeaman keskihajonta on tavallista suurempaa. Routalevytetyin jakson päässä on korkeuspoikkeama alaspäin.

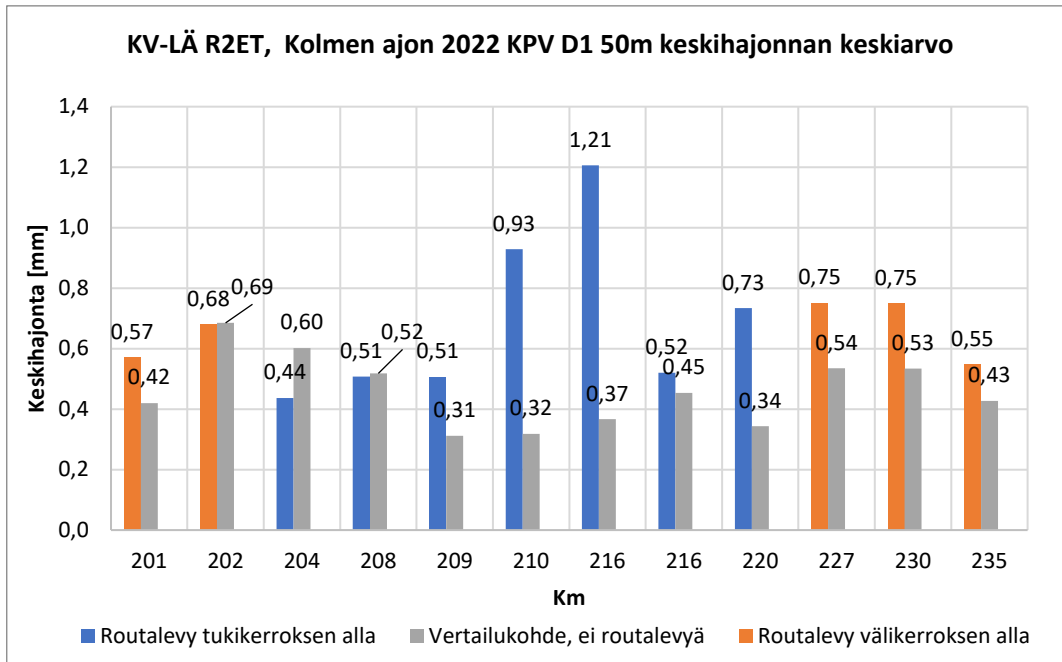
- Routalevytetyn alueen keskihajonta poikkeaa myös keskimäärin ympäröivään rataan verrattuna. Routalevy aiheuttaa ns. korkeuspoikkeaman "huojuntaa" eli raidetta ei saada tuennan avulla yhtä tasaiseksi kuin routalevytön raide saadaan.
- Keskihajonta kasvaa routalevytetyllä alueella ympäröivää rataa nopeammin.
- Kunnossapitotuenta ei poista em. ilmiöitä ainakaan täysimääräisesti, vaikka joissakin kohteissa tuentaa on tehty useita kertoja routalevyn asennuksen jälkeen.



Kuva 3. Esimerkki routalevyn vaikutuksesta korkeuspoikkeamien kehittymiseen Kouvola–Luumäki-rataosalta.

## 3.2 Korkeuspoikkeaman keskihajonta

Kuvassa 3 kuvattu esimerkki silmämääräisestä arvioinnista antoi aihetta tarkempiin numeraalisiin tarkasteluihin. Routalevyn ja sen asennussyvyyden vaikutusta arviointiin siten, että aineistosta laskettiin kolmen viimeisimmän radantarkastusajon vasemman kiskon D1 korkeuspoikkeaman 50 metrin keskihajontojen keskiarvo keskellä routalevytettyä aluetta. Vertailun vuoksi laskettiin vastaava lukuarvo routalevytetyn jakson vierestä. Lasketut lukuarvot on esitetty Kv–Lä-rataosan osalta kuvassa 4, jonka avulla pystytään paremmin tekemään päätelmiä routalevyn vaikutuksesta korkeuspoikkeamien kehittymiseen. Lisäksi laskettiin tarkasteltavien rakennetyyppien keskihajontojen keskiarvot.



*Kuva 4. Korkeuspoikkeaman keskihajonta routalevytetyissä kohteissa ja vertailukohteissa Kv-Lä-rataosalla.*

Keskiarvot:

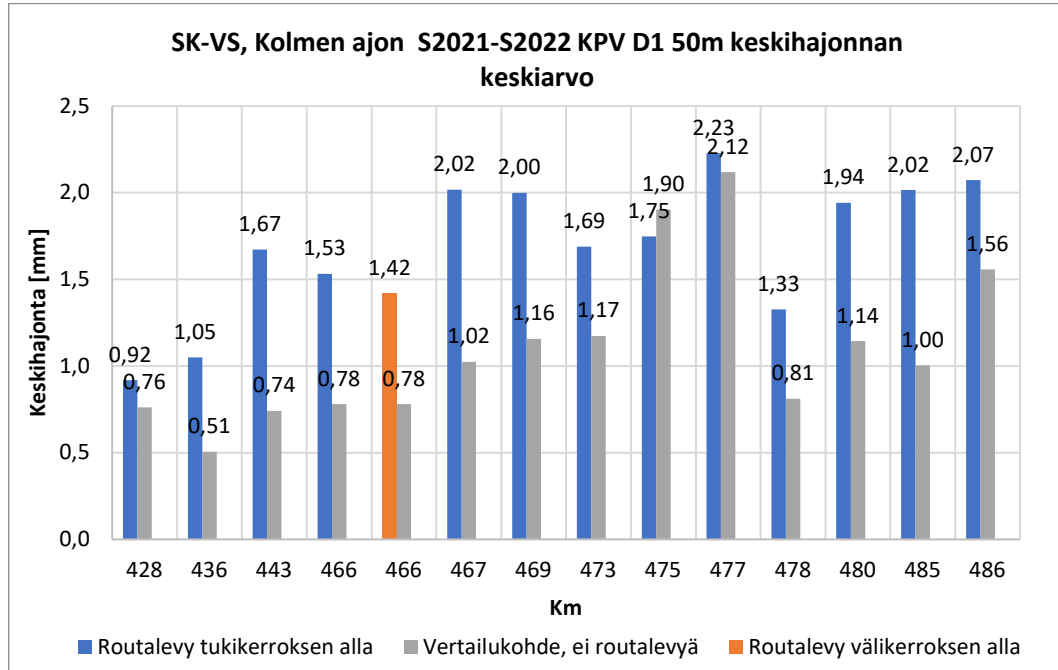
- Routalevy tukikerroksen alla: 0,69 mm (n=7)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,46 mm (n=7)
- Routalevy välikerroksen alla: 0,66 mm (n=5)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,52 mm (n=5)

Kv-Lä-rataosan tuloksista nähdään kohtalaisen selkeästi, että ilman routalevyä olevien vertailukohteiden keskihajonnat ovat pienempiä routalevytettyihin osuuksiin verrattuna. Sen sijaan routalevyn asennussyvyyden vaikutus ei ole yhtä selkeästi näkyvissä, vaikkakin keskiarvojen mukaan keskihajonta olisi hieman suurempi silloin, kun routalevy on asennettu tukikerroksen alle. Tukikerroksen alle asennettujen routalevykohteiden keskiarvoa kasvattaa yksi heikompi kuntoinen kohde, jonka keskihajonta on suurta.

Sk-Vs-rataosan tuloksista (kuva 5) havaitaan vastaavasti, että vertailukohteiden keskihajonta on pienempää routalevytettyihin kohteisiin verrattuna. Kyseisellä rataosalla oli vain yksi välikerroksen alle asennettu routalevytys, jonka keskihajonta osuu melko lähelle viereisten tukikerroksen alle asennettujen routalevykohteiden kanssa. Yleisesti ottaen Sk-Vs-rataosan keskihajonnat ovat suurempia kuin Kv-Lä-rataosalla. Tämä selittyy kunnossapitotason vaatimuksilla, sillä Sk-Vs edustaa kunnossapitotasoa 2, kun Kv-Lä-rataosan kunnossapitotaso on 1A.

Tehtyjen havaintojen mukaan routalevytys aiheuttaa korkeuspoikkeaman vaihtelua, jota on hankala poistaa tuennan avulla. Korkeuspoikkeamat eivät ole varsinaisia geometriavirheitä, sillä vain harvoissa kohteissa on havaittavissa edes C-luokan virheitä. Geometriavirheen syntymisen todennäköisyys kuitenkin kasvaa, kun epätasaisuuden lähtötaso on jo lähtötilanteessa korkeampi. Korkeuspoikkeaman keskihajonnan perusteella voidaan siis todeta, että routalevytys ylipäänsä lisää jonkin

verran kunnossapitotarvetta routalevyttömään vertailukohteeseen nähden. Korkeuspoikkeaman keskihajonnan perusteella routalevyn asennussyvyyden merkitys ei tule yhtä selkeästi näkyviin, mutta syvempi asennustapa vaikuttaisi johtavan hieman pienempään geometrian keskihajontaan.



*Kuva 5. Korkeuspoikkeaman keskihajonta routalevytetyissä kohteissa ja vertailukohteissa Sk-Vs-rataosalla.*

Keskiarvot:

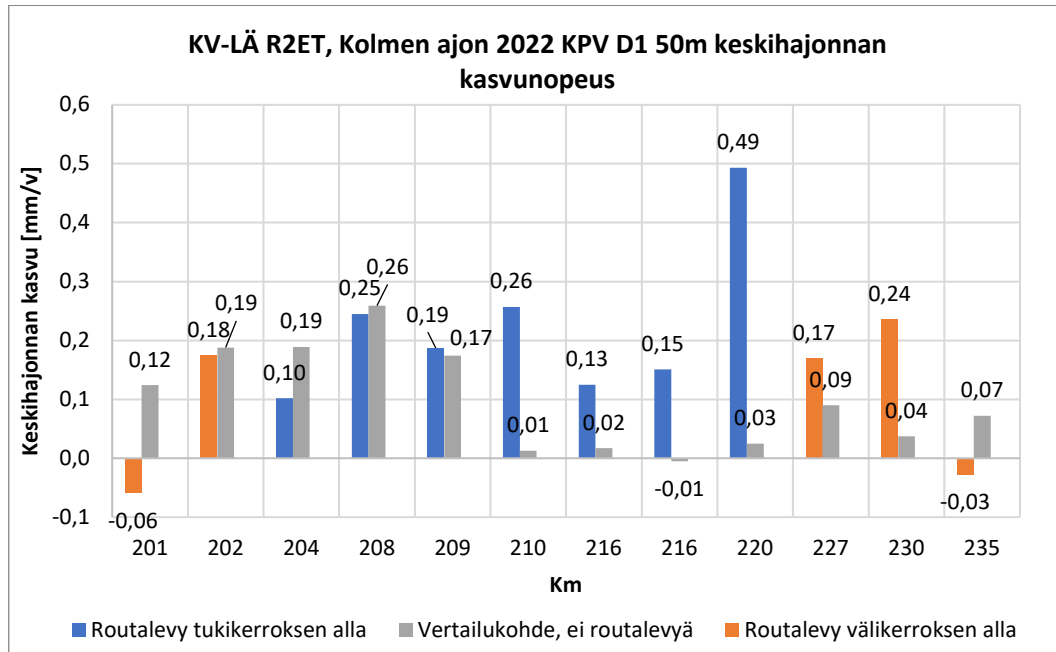
- Routalevy tukikerroksen alla: 1,71 mm (n=13)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 1,13 mm (n=13)
- Routalevy välikerroksen alla: 1,42 mm (huom. vain yksi kohde, n=1)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,78 mm (huom. vain yksi kohde, n=1)

### 3.3 Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus

Kolmen viimeisimmän radantarkastusajon perusteella laskettiin myös korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus. Kv-Lä-rataosan kohteilla kasvunopeus vaihteli jonkin verran kohteiden välillä (kuva 6). Suurimmassa osassa vertailukohteista kasvunopeus oli hyvin pieni, selkeästi pienempi kuin routalevytetyissä kohteissa. Routalevyn asennus tukikerroksen alle vaikuttaisi nopeuttavan geometriavirheiden syntymistä, kun taas asennus välikerroksen alle jopa vähensi kahdessa tapauksessa virheiden kasvunopeutta vertailukohteeseen verrattuna. Näissä kahdessa kohteessa geometria laskennallisesti parani vuoden 2022 aikana, vaikka kohteissa ei tehty kunnossapitoa. Geometrian parantuminen (negatiivinen kasvunopeus) aiheutuu todennäköisesti mittaus- tai laskentaepätarkkuudesta ja tarkoittaa käytännössä sitä, että geometria ei ole mitattavissa määrin muuttunut.



Kasvunopeuden keskiarvojen mukaan routalevy tukikerroksen alla kaksinkertaistaa virheiden kasvunopeuden syvempään asennustapaan ja vertailukohteisiin verrattuna. Havainto on epävarmuudet huomioiden varsin selkeä ainakin sen suhteen, että routalevyn asentaminen nopeuttaa useimmiten geometriavirheiden kasvua. Routalevyn asennussyvyyden vaikutus ei ole yhtä selkeä, sillä havainnot vertailukohteiden kesken menevät jokseenkin ristiin.



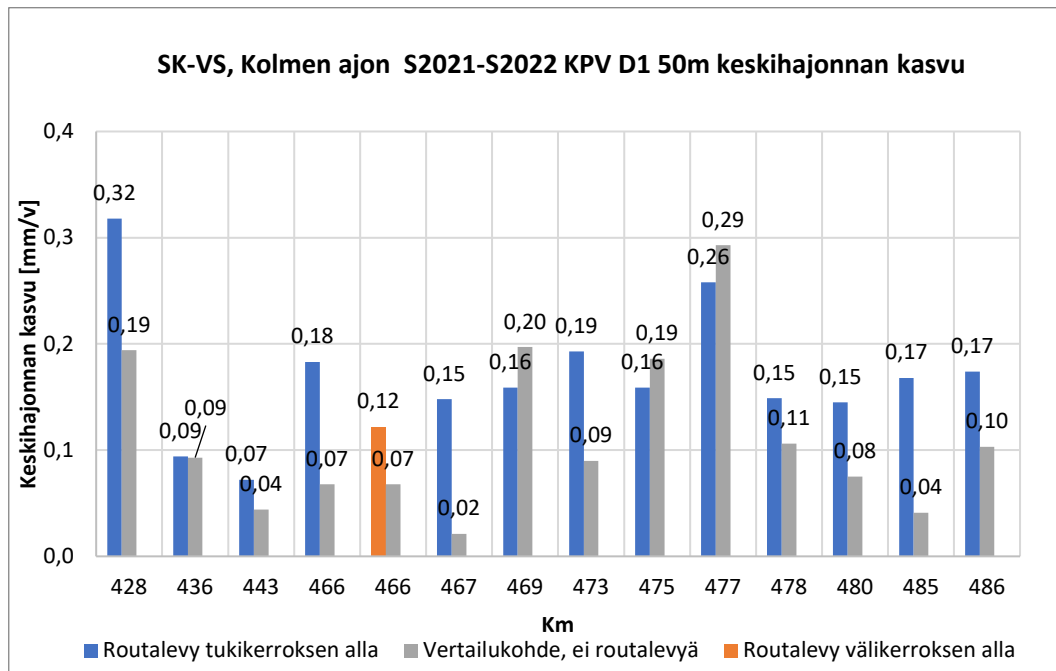
*Kuva 6. Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus Kv-Lä-rataosalla.*

Keskiarvot:

- Routalevy tukikerroksen alla: 0,22 mm/v
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,10 mm/v
- Routalevy välikerroksen alla: 0,10 mm/v
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,10 mm/v

Vastaava tarkastelu Sk-Vs-rataosalla tuotti hyvin samankaltaiset havainnot. Routalevyn asennus nopeuttaa geometriavirheiden syntymistä useimmissa tapauksissa. Myös keskiarvojen perusteella tarkasteltuna kasvunopeus on selkeästi suurempi routalevytetyissä kohteissa. Yksittäisiä poikkeuksia kuitenkin löytyy, mikä osaltaan osoittaa tarkasteluun liittyvän epävarmuuksia. Routalevyn asentaminen välikerroksen alle toimii Sk-Vs-rataosalla kohtalaisen hyvin, ja paremmin kuin

useimmat tukikerroksen alle asennetut kohteet. Kyseessä on kuitenkin vain yksi havainto, jonka perusteella ei voida tehdä liian pitkälle meneviä päätelmiä.



Kuva 7. Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus Sk-Vs-rataosalla.

Keskiarvot:

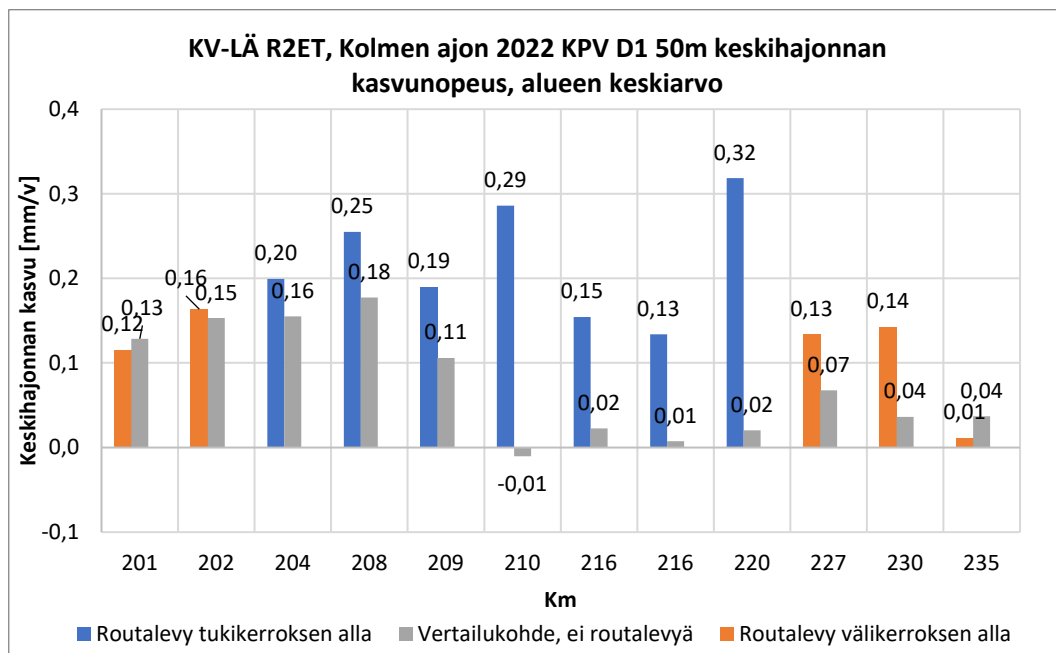
- Routalevy tukikerroksen alla: 0,17 mm/v (n=13)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,12 mm/v (n=13)
- Routalevy välikerroksen alla: 0,12 mm/v (huom. vain yksi kohde, n=1)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,07 mm/v (huom. vain yksi kohde, n=1)

Sk-Vs-rataosalla keskihajonnan kasvunopeus on tarkasteltujen kohteiden perusteella absoluuttisesti lähes samansuuruinen kuin Kv-Lä-rataosalla, vaikka jälkimmäisen rataosan liikennemäärä on merkittävästi suurempi ja akselikohtainen kuormituskin on vilkkaan tavaraliikenteen takia keskimäärin suurempaa. Vuonna 2021 Sk-Vs-rataosan kokonaisliikennemäärä oli 1,7 MBrt ja vastaavasti Kv-Lä-rataosan 28,9 MBrt (Väylävirasto, Rautatietilasto). Kv-Lä-rataosan eteläisen raiteen liikennemäärää ei tätä kirjoitettaessa tarkalleen tunneta, mutta sen voidaan olettaa olevan selkeästi alle puolet rataosan kokonaisliikennemäärästä, koska suurin osa täyteen lastatuista tavarajunista käyttää pohjoista raidetta. Itäisen yhdysliikenteen muutosten takia liikennemäärä on vähentynyt vuoden 2022 aikana merkittävästi, erään arvion mukaan ainakin 5 MBrt. Näin ollen tarkasteluajankohdan liikenne Kv-Lä-rataosalla saattaisi olla 23–24 MBrt, josta eteläisen raiteen liikenteen osuus voisi olla suuruusluokassa vajaat 10 MBrt/v eli noin viisinkertainen Sk-Vs-rataosan liikennemäärään verrattuna.

Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus riippuu rataosan päällysrakenteen, alusrakenteen ja pohjamaan ominaisuuksista ja toisaalta myös kunnossapitotasosta. Sk-Vs-rataosan kunnossapitotaso sallii hieman suurempia geometriavirheitä, jotka aiheuttavat edelleen suurempia dynaamisia kuormituksia, joista voi seurata nopeampaa geometriavirheidensä kasvua. Sk-Vs-rataosan palautuva painuma oli vuonna 2021 tehdyssä mittauksessa varsin suurta, mikä voi myös selittää

rataosan suhteellisen nopeaa geometriavirheiden kasvunopeutta Kv-Lä-rataosaan verrattuna.

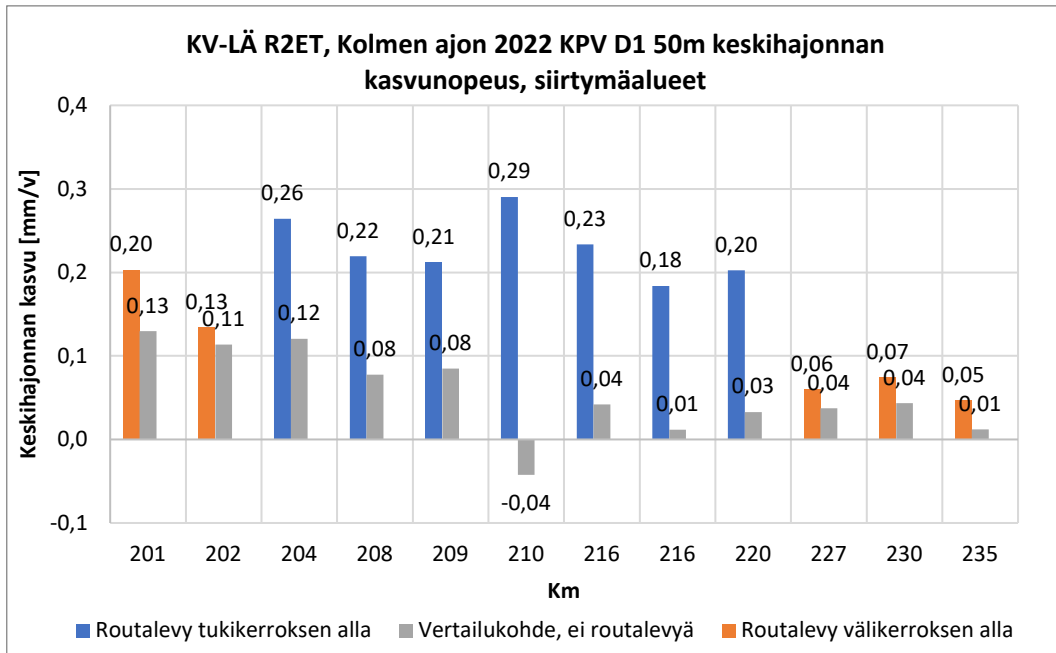
Silmämääräisen tarkastelun valossa tukikerroksen alle ja välikerroksena alle asennettujen routalevyjaksojen erot vaikuttivat suuremmilta kuin kuvat 4–7 antavat ymmärtää. Tästä syystä Kv-Lä-rataosuuden tuloksia tarkasteltiin korkeuspoikkeaman kasvunopeuden kannalta myös siten, että kasvunopeus laskettiin keskiarvona koko routalevytetyn osuuden matkalta (kuva 8) ja 15 metrin matkalta routalevytyksen alusta ja lopusta (kuva 9). Etenkin routalevyjaksojen päiden alueella geometria heikkenee selkeästi nopeammin, kun routalevyt asennetaan suoraan tukikerroksen alle. Myös keskimäärin tarkasteltuna korkeuspoikkeaman kasvunopeus on puolta hitaampaa, kun routalevyt asennetaan välikerroksen alle. Merkillepantavaa on myös se, että kasvunopeuden ero routalevytetyn alueen ja vertailukohteen välillä on absoluuttisesti merkittävästi pienempi, kun routalevy on asennettu välikerroksen alle.



*Kuva 8. Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus Kv-Lä-rataosalla, routalevytettyjen alueiden ja vertailualueiden kasvunopeuden keskiarvo.*

Keskiarvot:

- Routalevy tukikerroksen alla: 0,22 mm (n=7)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,06 mm (n=7)
- Routalevy välikerroksen alla: 0,11 mm (n=5)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,08 mm (n=5)



*Kuva 9. Korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeus Kv-Lä-rataosalla, routalevytettyjen alueiden päätyjen ja vertailualueiden kasvunopeuden keskiarvo.*

Keskiarvot:

- Routalevy tukikerroksen alla: 0,23 mm (n=7)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,05 mm (n=7)
- Routalevy välikerroksen alla: 0,10 mm (n=5)
- Vertailukohde, ei routalevyä: 0,07 mm (n=5)

Eri tavoin määriteltujen tarkastelualueiden korkeuspoikkeaman keskihajonnan kasvunopeudet poikkeavat jonkin verran toisistaan, mikä osoittaa tarkastelutavassa olevan myös virhelähteitä. Etenkin vertailukohteiden keskiarvojen muuttuminen välillä 0,05–0,10 tarkoittaa sitä, että tarkastelualueen valinnalla voidaan vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Eroista huolimatta routalevykohteiden ja vertailukohteiden keskinäinen järjestys pysyy aina samana. Vertailukohteisiin korkeuspoikkeamia syntyy hitaimmin, routalevy asennettuna välikerroksen alle käyttäytyy lähes yhtä hyvin ja routalevy tukikerroksen alle asennettuna aiheuttaa aina nopeimman virheiden kasvun. Routalevy tukikerroksen alle asennettuna muodostaa korkeuspoikkeamaa jopa neljä kertaa nopeammin kuin vertailukohde.

### 3.4 Routalevyjen aiheuttama tuentatarve

Routalevytyksestä aiheutuva tavanomaista suurempi korkeuspoikkeamien keskihajonta ja keskihajonnan kasvunopeus johtavat väistämättä tavallista aikaisemmin ilmenevään kunnossapitotarpeeseen. Korkeuspoikkeaman keskihajonta voi kasvaa yhden suuren korkeuspoikkeaman tai useiden pienempien korkeuspoikkeamien takia. Tästä syystä kunnossapitoa edellyttävän keskihajonnan lukuarvo ei ole täysin yksiselitteinen, mutta voidaan ajatella, että kunnossapitotasolla 1A keskihajonnan arvo 2,0 mm johtaa usein C-luokan virheeseen. Kunnossapitoa edellyttävä D-luokan virhe syntyy hyvin todennäköisesti, kun keskihajonta on kasvanut arvoon 3,0

mm. Kunnossapitotasolla 2 vastaavat virherajaan ja kunnossapitotarpeeseen johtavat keskihajonnan lukuarvot ovat hieman suuremmat, koska kunnossapitotasolla sallitaan suurempaa epätasaisuutta. Käytettävissä olevan aineiston perusteella arvioituna kunnossapitotasolla 2 C-luokan virhe saavutetaan keskihajonnan lukuarvolla 2,5 mm ja D-luokan virheen oletetaan syntyvän lukuarvolla 3,5 mm.

Edellä kuvattujen oletusten perusteella pystytään arvioimaan kunnossapitotarpeen syntymistä erilaisissa rakenteissa. Taulukkoon 1 on laskettu arvio seuraavan tuennan ajankohdasta Kv–Lä-rataosalla eri rakennetyyppien kohdalla keskimäärin. Vastaava laskelma Sk–Vs-rataosan aineistolla on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 1. Laskennallinen seuraava tuenta-ajankohta Kv–Lä-rataosalla korkeuspoikkeaman keskihajonnan avulla arvioituna.*

	<b>Vertailukohteet</b>	<b>Routalevytukikerroksen alla</b>	<b>Routalevyvälikerroksen alla</b>
<b>Keskihajonta [mm]</b>	0,49	0,69	0,66
<b>Keskihajonnan kasvu [mm/v]</b>	0,1	0,22	0,1
<b>C-luokan virheen kehittymiseen kuluva aika [v]</b>	15,1	6,0	13,4
<b>D-luokan virheen kehittymiseen kuluva aika [v]</b>	25,1	10,5	23,4

*Taulukko 2. Laskennallinen seuraava tuenta-ajankohta Sk–Vs-rataosalla korkeuspoikkeaman keskihajonnan avulla arvioituna.*

	<b>Vertailukohteet</b>	<b>Routalevytukikerroksen alla</b>	<b>Routalevyvälikerroksen alla</b>
<b>Keskihajonta [mm]</b>	1,1	1,71	0,78
<b>Keskihajonnan kasvu [mm/v]</b>	0,12	0,17	0,07
<b>C-luokan virheen kehittymiseen kuluva aika [v]</b>	7,2	1,7	17,4
<b>D-luokan virheen kehittymiseen kuluva aika [v]</b>	15,2	7,6	31,7

Laskentatulosten perusteella routalevyn asentaminen tukikerroksen alle lisää kunnossapitotarvetta keskimäärin siten, että kunnossapitotuenta tulee ajankohtaiseksi useita vuosia aikaisemmin kuin vertailukohteessa, jossa ei ole routalevyä. Tämän aineiston perusteella kunnossapitotuenta ei kuitenkaan tarvitsisi tehdä normaalia läpituenta useammin. Tavanomaisesti läpituenta tehdään kerran kunnossapitotuosimuksen aikana eli viiden vuoden välein.

Edellä esitetty tarkastelu tehtiin routalevytettyjen alueiden keskivaiheilla esiintyvän korkeuspoikkeaman keskihajonnan avulla. Routalevyalueiden päissä keskihajonta on tyypillisesti suurempaa kuin routalevytetyn osuuden keskivaiheilla. Varsinkin silloin, kun routalevy on asennettu tukikerroksen alle, routalevyjakson päätyihin syn-

tyy kunnossapitoa vaativa geometriavirhe jo merkittävästi aikaisemmin kuin alueelle keskimäärin. Tämä ilmiö näkyy useimmissa Kv–Lä-rataosan kohteissa, mutta vain muutamassa Sk–Vs-rataosan kohteessa. Routalevyt asennettiin Kv–Lä-rataosalle vuonna 2019, kun Sk–Vs-rataosalla ne asennettiin jo vuonna 2016. Routalevyjakson päätyjen vaikutus geometriavirheen kasvuun saattaa siten vähentyä ajan kuluessa.

Kv–Lä-rataosan aineiston perusteella on oletettavaa, että tuentatarve tukikerroksen alle asennettujen routalevyjen siirtymäalueelle syntyy vähintäänkin puolta nopeammin kuin alueelle keskimäärin, sillä siirtymävyöhykkeellä sijaitseva kuoppa on hyvin pistemäinen ja kasvaa virheeksi todennäköisesti nopeammin kuin 50 metrin keskihajonta antaa ymmärtää. Oletettavasti kunnossapitotarve routalevytyksen päädyssä ilmenee 3–5 vuoden aikajänteellä.

Routalevyjaksojen päätyihin syntyvää suurentunutta korkeuspoikkeaman keskihajontaa ei havaita yhtä voimakkaana silloin, kun routalevy on asennettu välikerroksen alle. Ilmiö geometrian nopeammasta heikkenemisestä routalevytyksen siirtymäalueella on kuitenkin olemassa myös syvemmissä asennustavassa ja se ilmenee selkeämmin korkeuspoikkeaman käyrämuotoisessa esitystavassa. On siis todennäköistä, että routalevyjaksojen päätyihin syntyy kunnossapitoa edellyttävä geometriavirhe liikennemäärän lisääntyessä myös syvemmissä asennustavassa, mutta virheen kehittyminen tapahtuu niin hitaasti, että ylimääräistä kunnossapitotuentaa ei tarvittane läpituottojen välillä. Asennettaessa routalevy välikerroksen alle, ero routalevyjakson päätyjen ja keskimääräisen käyttäytymisen kesken on pienempi verrattuna asennustapaan tukikerroksen alle.

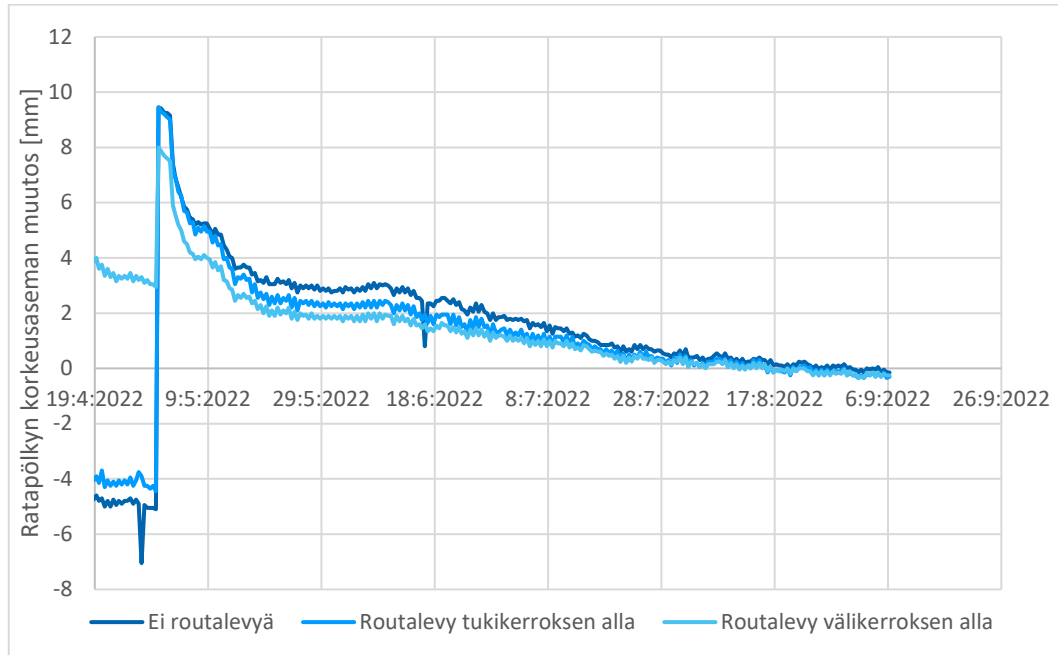
### 3.5 Seurantamittaukset Pori-Mäntyluoto-rataosalla

Pori–Mäntyluoto-rataosan (Pri–Mn) perusparannuksen yhteydessä rakennettiin syksyllä 2021 seurantamittauspisteitä, joissa seurataan geometrian kehittymistä vastaavissa olosuhteissa, mutta eri syvyyksille asennetun routalevyn kohteissa. Kiinteitä seurantapisteitä on kolme: poikkileikkaus ilman routalevyä, routalevy asennettuna tukikerroksen alle ja routalevy asennettuna välikerroksen alle. Routalevyt asennettiin kaivamalla molempiin syvyyksiin. Pitkäaikaisseuranta perustuu siirtymäantureilla toteutettuun ratapölkyn korkeusaseman mittaukseen sekä absoluuttisen geometrian kehittymiseen GEDO-kärryn mittaustuloksiin perustuen. Tätä kirjoitettaessa seurantamittaukset ovat käynnissä ja raportoitavaksi asti on olemassa ratapölkkyistä siirtymäantureilla tehtyjä mittaustuloksia. Kaikki seurantakohteet tuettiin keväällä 2022 huhtikuun lopussa. Tuentaa edeltävät seurantamittaukset eivät ole yhtä relevantteja, ja siksi raportointi ja havainnot perustuvat tuennan jälkeiseen aikaan kesälle 2022.

Kuvassa 10 on esitetty yhden ratapölkyn siirtymät ajan suhteen kolmessa erilaisessa routasuojaustilanteessa. Mittausdata on asetettu samaan korkeusasemaan viimeisimmän mittauksen ajanhetkellä. Tuentanostojen suuruus oli routalevyttömässä ja routalevy tukikerroksen alla tapauksessa merkittävästi suurempi kuin kohteessa, jossa routalevy oli asennettu välikerroksen alle. Liikennekuormasta aiheutuva raiteen painuma sen sijaan oli lähestulkoon identtinen kaikissa kolmessa

kohteessa. Pienin ratapölkyn korkeusaseman muutos havaittiin poikkileikkauksessa, jossa routalevy on sijoitettuna välikerroksen alle. Poikkeama muihin kohteisiin on kuitenkin vähäinen ja voi osin selittyä pienemmästä tuentanostosta.

Siirtymäkuvasta havaitaan, että ratapölkyn painuma hidastuu ajan suhteen, mutta ei täysin tasaisesti. Toukokuun nopea muutos on seurausta tuennan jälkeisestä tukikerroksen tiivistymisestä liikennekuorman vaikutuksesta. Sen sijaan touko-kesäkuussa ilmenevä tasainen vaihe on seurausta hyvin vähäisestä, lähes olemattomasta liikennemäärästä. Kesäkuun puolivälistä elokuun loppuun liikennettä oli melko tasaisesti noin 170 000 Brt/kk. (Fintraffic Oy, Juliadata.fi)



Kuva 10. Pri–Mn-rataosan seurantamittauksen tulokset kesältä 2022.

Jokaisessa kohteessa on instrumentoitu kaksi ratapölkkyä siten, että pölkyn molemmissa päissä on siirtymäanturi. Näiden neljän siirtymäanturin mittaustulosten keskiarvot on esitetty taulukossa 3. Tulosten perusteella on ilmeistä, että routalevyllä tai sen asennussyvyydellä ei ole merkittävää vaikutusta radan kuormituskäyttäytymiseen. Tulokset menevät vieläpä ristiin siten, että routalevy asennettuna välikerroksen alle näyttää parhaimmalta ratkaisulta, sillä pysyvät muodonmuutokset ovat siinä tapauksessa pienimmät. Tarkastelutapaan liittyy epävarmuutta pienen otoskoon takia. Seurantamittaukset kuitenkin vahvistavat käsitystä siitä, että routalevyn asennussyvyyden merkitys on yleisesti ottaen melko vähäinen radan kuormituskäyttäytymisen kannalta.

Taulukko 3. Ratapölkyn keskimääräinen korkeusaseman muutos aikavälillä 30.4.–6.9.2022 Pri–Mn-rataosalla ratapölkkyjen seurantamittausten mukaan.

Seurantakohte	Ratapölkyn korkeusaseman muutos tuennan jälkeen [mm]
<b>Ei routalevyä</b>	9,60
<b>Routalevy tukikerroksen alla</b>	9,75
<b>Routalevy välikerroksen alla</b>	9,25

## 4 Lämpötekniinen käyttäytyminen

Routalevyn asennussyvyyden vaikutuksia routasuojauksen tehoon tutkittiin elementtimenetelmään perustuvalla TEMP/W ohjelmistolla. Asennussyvyyden vaikutuksia on tutkittu aiemmin mm. Soinisen (2013) diplomityössä, jossa on laskettu roudan tunkeutumissyvyyttä kahdella eri paikkakunnalla lumettomassa tilanteessa. Soinisen käyttämät laskentaparametrit pohjautuvat pitkälti Nurmikolun (2002) käyttämiin lähtöarvoihin, joiden perusteella myös nykyinen RATO 3:ssa esitetty routamitoitus on laadittu. Lähtöparametrien osalta ei nähty tarvetta muutoksiin, vaan ennemminkin keskityttiin toistamaan laskennat aluksi siten, että opittiin laskentaohjelmiston käyttäminen ja tämän jälkeen pyrittiin mallintamaan erilaisia skenaarioita muuttaen routalevyn asennussyvyyttä, routalevyn paksuutta, pengerlevyettä, pohjavedenpintaa ja lumitilannetta.

Alustavien laskentojen perusteella havaittiin, että Soinisen työssä käytetty kolme metriä pohjamaakerroksia sisältävä laskentamalli oli syvyyssuunnassa kenties tarpeettoman matala ja siksi mallin alapintaan asetettava rajalämpötila vaikutti suuresti saatuihin laskentatuloksiin. Tämän seikan havaitsemisen jälkeen rakennettiin laskentamalli, jossa pohjamaakerrosten paksuus oli 8 metriä ja mallin leveys oli 20 metriä. Laajempi malli johti merkittävästi suurempiin roudan tunkeutumissyvyyksiin, minkä seurauksena oli tarpeen ottaa huomioon laskelmissa pohjaveden pinta sekä geoterminen lämpö. Nämä huomioiden laskentatulokset näyttivät suunnilleen nykyisen routamitoituksen mukaisilta penkereen keskellä. Etenkin pohjavedenpinta vaikutti merkittävästi laskentatuloksiin. Kuivassa pohjamaassa routa tunkeutuu mitoitustalvena merkittävästi syvemmälle kuin vastaavassa tapauksessa, jossa pohjavesi sijaitsee ratapenkereen alaosan tasolla.

### 4.1 Lähtöparametrit

Laskentojen materiaaliparametreina käytettiin maakerroksille ja routalevylle taulukossa 4 esitettyjä lämmönjohtavuuksia ja ominaislämpökapasiteetteja. Ratapenkeren leveydet olivat 6 m ja 6,8 m kokonaispaksuuden ollessa 1,55 m. Routalevyn paksuutena käytettiin 80 ja 100 mm paksuuksia siten, että routalevy sijaitsi sekä tukikerroksen että välikerroksen alapinnassa. Lunta mallinnettiin kahdella eri menetelmällä. Aluksi lumikerros mallinnettiin kunnianhimoisesti siten, että lumen paksuus kasvoi talven edetessä ja lumen vaikutus huomioitiin Surface energy balance -funktion avulla. Tämän funktion käyttöönotto edellytti useiden lisäparametrien käyttämistä, mistä aiheutui paljon muuttujia ja siten epävarmuutta laskentatuloksiin. Surface energy balance -funktion käyttäminen edellytti mm. kokonaissäteilyn ja albedon eli heijastavuuden määrittämistä sekä tuulen ja kasvillisuuden huomiointia. Osan arvoista oli tosin mahdollista jättää laskennassa nolaksi. Koska Surface energy balance -funktion käyttöön liittyi huomattavissa määrin epävarmuutta, laskennat tehtiin myös yksinkertaisemmin siten, että lumi mallinnettiin heikommin lämpöä johtavana kerroksena, samalla tavoin kuten routalevy. Tällöin lumen paksuus oli talven ajan vakio, mutta laskennoissa käytettiin kahta eri lumitilannetta, 0,2 m ja 0,3 m lumen syvyyttä. Lumen materiaaliparametrit perustuvat kotimaisen kirjallisuuden avulla haarukoituihin keskimääräisiin arvoihin. Lumen tarkka mallintaminen on hankalaa, koska lumitilanne muuttuu koko talven ajan ja myös lumen ominaisuudet muuttuvat. Laskenta on kuitenkin tehtävä joillakin oletuksilla, ja tässä tapauksessa päädyttiin valitsemaan varsin konservatiiviset arvot lumelle.



Talven pakkasmääränä käytettiin kerran 50 vuodessa Pirkanmaalla esiintyvää pakkasmäärää 40 000 h°C (RATO 3). Pakkasmäärä on mallinnettu siten, että laskennassa käytetään kuukausittaista ilman keskilämpötilaa (taulukko 5). Geoterminen lämpövuoto kuvattiin arvolla 42 mW/m<sup>2</sup> (Veikkolainen, T. & Kukkonen, I. 2019). Mallin alareunassa käytettiin 5 °C ja yläreunassa 7 °C alkulämpötilaa.

*Taulukko 4. Laskentojen materiaaliparametrit.*

<b>Materiaali</b>	<b>Lämmönjohtavuus sulana <math>\lambda_u</math> [W/m °C]</b>	<b>Lämmönjohtavuus jäätyneenä <math>\lambda_f</math> [W/m °C]</b>	<b>Tilavuuslämpökapasiteetti sulana <math>c_u</math> [kJ/m<sup>3</sup> °C]</b>	<b>Tilavuuslämpökapasiteetti jäätyneenä <math>c_f</math> [kJ/m<sup>3</sup> °C]</b>	<b>Tilavuusvesipitoisuus w [til-%]</b>
<b>Lumi</b>	0,36	0,36	740	740	50
<b>Sepeli</b>	1,5	1,1	1340	1270	3,2
<b>Routalevy</b>	0,005	0,005	40	40	10
<b>Hiekka</b>	1,5	1,7	1830	1630	9,5
<b>Pohjamaa, kylästetty</b>	1,6	1,8	2230	1830	40
<b>Pohjamaa, kuivatettu</b>	1,6	1,8	2230	1830	15

*Taulukko 5. Mallinuksissa käytetty kuukausittainen ilman lämpötila.*

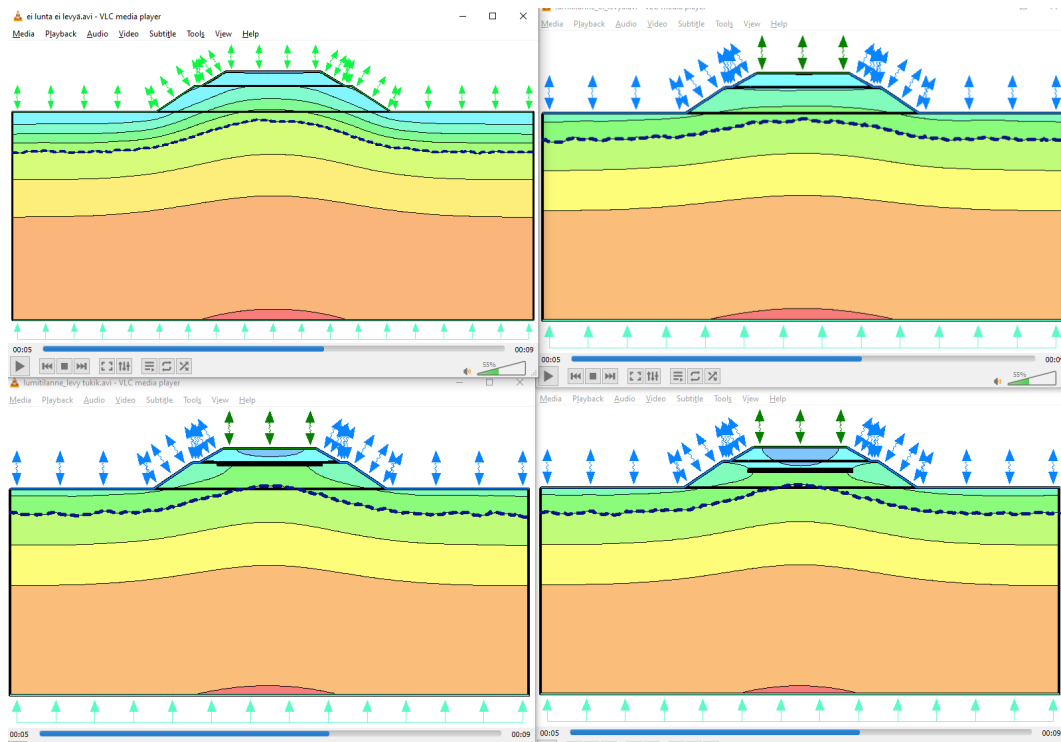
<b>Aika [vrk]</b>	<b>Lämpötila [°C]</b>
<b>0</b>	-1,34
<b>30</b>	-4,16
<b>60</b>	-11,42
<b>90</b>	-15,45
<b>120</b>	-13,39
<b>150</b>	-8,06
<b>180</b>	-1,38

Mallinuksessa laskenta alkoi siitä, kun pakkaset alkoivat. Maksimiroudansyvyudet on määritetty loppupalvesta siltä ajanhetkeltä, kun routaantumissyvyys oli suurin. Routaantumissyvyys on laskettu sulan maan puolelta lineaarisen sovituksen avulla lämpötilan nollakohdasta.

Elementtiverkon tiheyden havaittiin vaikuttavan merkittävästi laskentatarkkuuteen. Harvalla elementtiverkolla laskenta menee läpi nopeasti, mutta laskenta on

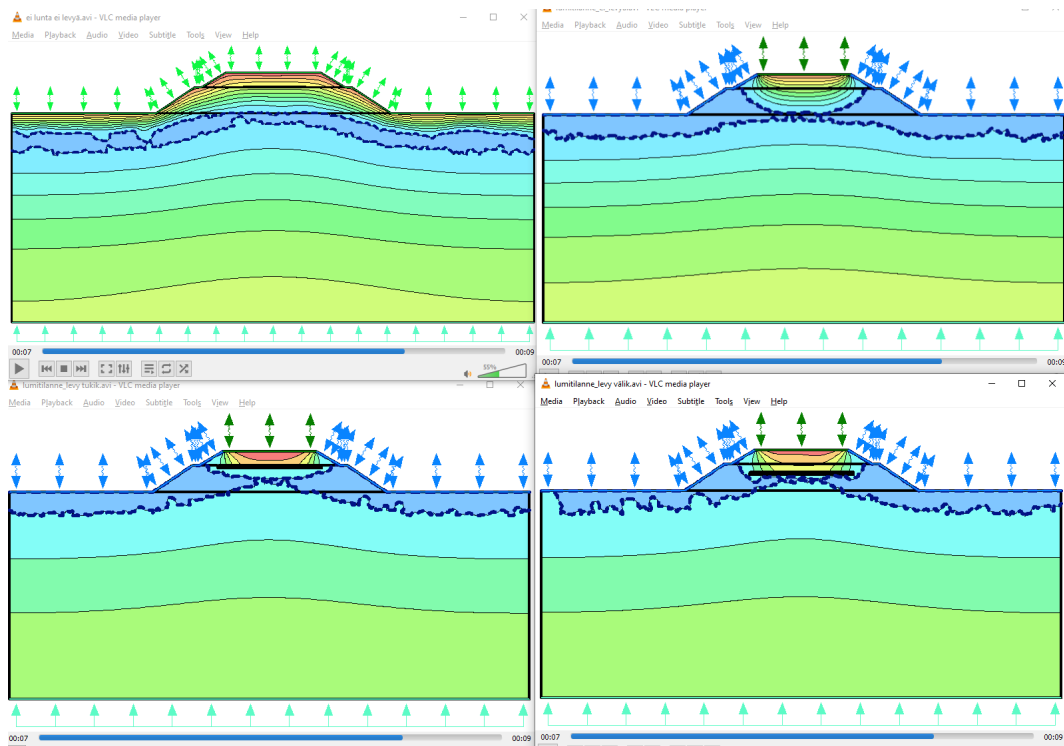
epästabiili aiheuttaen poikkileikkauksen eri puolille toisistaan poikkeavaa käyttäytymistä. Lopullisissa laskelmissa käytetty elementtiverkon tiheys oli 0,05 m, jolla arvioitiin saatavan riittävän tarkat laskentatulokset.

Esimerkkejä laskentamallista ja -tuloksista on esitetty kuvissa 11 ja 12, joista havaitaan jo laskennan perusilmiöt. Lämpötilan nollaraja (musta katkoviiva) tekee mutkan rakenteen keskellä ylöspäin. Näin ollen routaantumissyvyys raiteen pinnasta mitattuna on suurempi raiteen reunan alueella. Roudan tunkeutumissyvyys on suurempi lumettomassa ja routalevyttömässä tilanteessa. Routalevyn asennussyvyys ei vaikuta roudan tunkeutumissyvyyteen raiteen keskellä lumettomassa tilanteessa laskentatarkkuus huomioiden.



*Kuva 11. Esimerkkilaskelma routarajan sijainnista lopputalvesta: ei levyä eikä lunta (vasen ylä), lunta mutta ei levyä (oikea ylä), lunta ja routalevy eri syvyyksillä (alemmat kuvat).*

Sulamisvaiheessa routa sulaa nopeasti routalevyn yläpuolelta. Routalevytön rata-penger on keväällä ratapenkereen osalta sula aikaisemmin kuin routalevytetyssä kohteessa, mutta suuremman routaantumissyvyyden takia pohjamaa sulaa kokonaisuudessaan hitaammin. Lumi hidastaa roudan sulamista ja ratapenkereen luiskat pysyvät jäässä pidempään, jos luiskissa on lunta. Routa tunkeutuu mitoitustalvena aina routalevyn läpi. Routamitoitus perustuukin ajatukseen, että routalevyillä estetään routivan pohjamaan jäätyminen. Routalevyn paksuus valitaan siten, että routimattomat rakennekerrokset ovat riittävän paksut hidastamaan routarajan eteneminen routiviin maakerrokseen.



Kuva 12. Esimerkkilaskelma routarajan sijainnista roudan sulaessa: ei levyä eikä lunta (vasen ylä), lunta mutta ei levyä (oikea ylä), lunta ja routalevy eri syvyyksillä (alemmat kuvat).

## 4.2 Laskentatulokset

Laskentoja tehtiin useita sarjoja erilaisille laskentatilanteille. Laskennoilla pyrittiin ennen kaikkea löytämään routalevyn asennussyvyydestä mahdollisesti aiheutuva ero roudan tunkeutumissyvyyteen. Laskentojen keskeinen ja selkeä havainto oli se, että routa tunkeutuu lumettomassa laskentatilanteessa raiteen keskellä yhtä syvälle alusrakenteeseen tai pohjamaahan riippumatta routalevyn asennussyvyydestä. Leveämpi ratapenger saattaa pienentää hieman roudan tunkeutumissyvyyttä, ainakin joissakin tapauksissa. Lumen vaikutus on suhteellisen pieni routaantumissyvyyteen keskellä pengertä, sillä lunta ei voi olla yli 0,2 metrin paksuudelta raiteella. Lumen merkitys kasvaa raiteen sivuilla ja se voi vaikuttaa merkittävästikin routarajan sijaintiin routalevyn reunan alueella. Lumi toimii eristävänä materiaalina ja vähentää routaantumissyvyyttä ja routasuojaustarvetta yleisesti ottaen.

Laskentatulokset tapauksessa, jossa pohjavedenpinta sijaitsee syvällä pohjamaassa, on esitetty kootusti taulukossa 6. Taulukosta havaitaan, että lumettomassa tilanteessa routa tunkeutuu laskentamallin oletuksilla varsin syvälle, noin 2,5 metrin syvyyteen. Routa tunkeutuu hieman syvemmälle kapeammassa 6,0 metrin ratapenkereessä kuin leveämmässä 6,8 metrin ratapenkereessä. Routalevyn asennussyvyydellä ei ole vaikutusta roudan tunkeutumissyvyyteen lumettomassa tilanteessa. Sen sijaan lumitilanteessa routalevy toimii tehokkaammin, kun routalevy on asennettu rakenteessa ylemmäksi eli tukikerroksen alapintaan.

Routa tunkeutuu routalevyn reunan kohdalla merkittävästi syvemmälle kuin keskellä pengertä kaikissa laskentatapauksissa. Routalevyn vaikutus routaantumissyvyyteen hieman vähenee, kun rakenteen pinnalla on lunta. 100 mm routalevyn vaikutus roudan tunkeutumissyvyyteen on näissä laskelmissa noin 0,6 m, mikä on noin 0,4 metriä pienempi kuin RATO 3 routamitoituksen perusteella voisi olettaa. Sen sijaan lumettoman tilanteen routaantumissyvyys on 0,4 m suurempi kuin RATO 3:ssa esitetty routimattoman rakennekerroksen kokonaispaksuus. Yhtenä selittävänä tekijänä eroavuuteen RATO 3:n mitoituskäyriin verrattuna on kaksiulotteinen laskentatapa. Lämpöä karkaa luiskan suuntaan ja etenkin penkereen reunoilla roudantunkeutumissyvyys on merkittävästi suurempi. Myös mallinnusohjelmiston käyttämissä laskukaavoissa saattaa olla eroa nykyisen routamitoituksen perusteissa käytettyihin laskukaavoihin nähden.

*Taulukko 6. Mallinnetut roudan tunkeutumissyvyydet 6,0 metriä leveälle ja 1,55 metriä paksulle ratapenkereelle, kun pohjavedenpinta sijaitsee syvällä.*

<b>6,0 m penger</b>	<b>Roudan tunkeutumissyvyys keskellä pengertä [m]</b>	<b>Roudan tunkeutumissyvyys routalevyn reunan kohdalla [m]</b>
<b>Lumeton laskentatilanne</b>		
Ei routalevyä	-2,55	-2,93
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,91	-2,66
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,91	-2,67
<b>Lumen paksuus 0,2 metriä</b>		
Ei routalevyä	-1,91	-2,23
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,38	-1,96
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,43	-2,00
<b>6,8 m penger</b>		
<b>Lumeton laskentatilanne</b>		
Ei routalevyä	-2,47	-2,81
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,85	-2,49
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,85	-2,50
<b>Lumen paksuus 0,2 metriä</b>		
Ei routalevyä	-1,87	-2,11
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,29	-1,83
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,36	-1,87

Laskelmia tehtiin eniten tilanteessa, jossa pohjavesi sijaitsi ratapenkereen alapinnassa eli pohjamaa oli kyllästetty vedellä. Kyseiset laskentatulokset on esitetty taulukossa 7, jossa on tulokset roudan tunkeutumissyvyydestä 6,0 metriä leveällä penkereellä erilaisissa lumetilanteissa ja taulukossa 8, jossa on esitetty vastaavat laskentatulokset 6,8 metrin penkereelle. Lumettomassa tilanteessa roudan tunkeu-

tumissyvyys on suurimmillaan mitoitustalven lopussa, kun taas lumetilanteissa roudan suurin tunkeutumissyvyys saavutetaan jo hieman ennen laskentatalven päätymistä. Taulukkoon on valittu suurin mallinnettu routaantumissyvyys.

Tuloksista havaitaan, että routalevyn asennussyvyydellä ei ole tässäkään tapauksessa vaikutusta roudan tunkeutumissyvyyteen lumettomassa tilanteessa, mutta lumen suojaavan vaikutuksen vallitessa ylempi asennussyvyys on routasuojausnäkökulmasta katsottuna jonkin verran tehokkaampi. Vaikutus on sitä suurempi, mitä enemmän rakenteen päällä on lunta. Roudan tunkeutumissyvyys pienenee lumen vaikutuksesta kaikissa tapauksissa, ja routalevyn merkitys routasuojausnäkökulmasta katsottuna vähenee. Etenkin routalevyn reunan alueella routalevyn tuoma hyöty routasuojakseen on jo varsin vähäinen, jos rakenteen pinnalle mallinnetaan 0,3 metrin lumikerros. Luiskassa oleva lumi myös tasoittaa routaantumissyvyyttä poikkileikkauksen keskiosan ja reunan välillä myös siinä tilanteessa, kun rakenteessa ei ole routalevyä. Käytännön tapauksessa raiteen keskellä saattaa olla merkittävästikin vähemmän lunta, minkä seurauksena roudan tunkeutumissyvyys saattaa olla useimpina talvina suurin nimenomaan keskellä poikkileikkausta.

*Taulukko 7. Mallinnetut roudan tunkeutumissyvyydet 6,0 metriä leveälle ja 1,55 metriä paksulle ratapenkereelle erilaisissa lumetilanteissa, kun pohjavedenpinta sijaitsee penkereen alapinnassa.*

<b>Tapaus</b>	<b>Roudan tunkeutumissyvyys keskellä penkettä [m]</b>	<b>Roudan tunkeutumissyvyys routalevyn reunan kohdalla [m]</b>
<b>Lumeton laskentatilanne</b>		
Ei routalevyä	-1,98	-2,23
Routalevy 80 mm tukikerroksen alla	-1,67	-2,09
Routalevy 80 mm välikerroksen alla	-1,67	-2,08
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,63	-2,07
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,60	-2,08
<b>Lumen paksuus 0,2 metriä</b>		
Ei routalevyä	-1,67	-1,76
Routalevy 80 mm tukikerroksen alla	-1,36	-1,64
Routalevy 80 mm välikerroksen alla	-1,44	-1,67
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,29	-1,62
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,37	-1,66
<b>Lumen paksuus 0,3 metriä</b>		
Ei routalevyä	-1,62	-1,65
Routalevy 80 mm tukikerroksen alla	-1,27	-1,51
Routalevy 80 mm välikerroksen alla	-1,42	-1,56
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,20	-1,49
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,27	-1,53

*Taulukko 8. Mallinnetut roudan tunkeutumissyvyydet 6,8 metriä leveälle ja 1,55 metriä paksulle ratapenkereelle erilaisissa lumitilanteissa, kun pohjavedenpinta sijaitsee penkereen alapinnassa.*

<b>Tapaus</b>	<b>Roudan tunkeutumissyvyys keskellä penkertä [m]</b>	<b>Roudan tunkeutumissyvyys routalevyn reunan kohdalla [m]</b>
<b>Lumeton laskentatilanne</b>		
Ei routalevyä	-2,01	-2,21
Routalevy 80 mm tukikerroksen alla	-1,68	-2,04
Routalevy 80 mm välikerroksen alla	-1,68	-2,05
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,65	-2,02
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,63	-2,03
<b>Lumen paksuus 0,2 metriä</b>		
Ei routalevyä	-1,66	-1,71
Routalevy 80 mm tukikerroksen alla	-1,32	-1,58
Routalevy 80 mm välikerroksen alla	-1,40	-1,61
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,25	-1,56
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,33	-1,60
<b>Lumen paksuus 0,3 metriä</b>		
Ei routalevyä	-1,62	-1,56
Routalevy 80 mm tukikerroksen alla	-1,20	-1,39
Routalevy 80 mm välikerroksen alla	-1,39	-1,50
Routalevy 100 mm tukikerroksen alla	-1,15	-1,38
Routalevy 100 mm välikerroksen alla	-1,23	-1,47

### 4.3 Vertailu nykyiseen routamitoitukseen

Tehdyissä laskelmissa suurimpina muuttujina havaittiin talven pakkasmäärän ohella pohjaveden pinnan korkeus ja lumen paksuus. RATO 3 routamitoituskäyrästä on laskettu lumettomalle rakenteelle. Nyt tehdyissä laskelmissa roudan tunkeutumissyvyys on likimain RATO 3 kaltainen, kun pohjavedenpinta sijaitsee alusrakenteen alapinnassa 1,55 metrin syvyydellä. Kun pohjamaa on kuivatettu, routaraja etenee yli 0,5 metriä syvemmälle mitoitustalven vaikutuksesta. Nämä havainnot ovat kuitenkin hyvin linjassa oletusten kanssa.

Routalevyn paksuuden vaikutus on tehdyissä laskennoissa merkittävästi odotusarvoa pienempi. Todellisuudessa uuden routalevyn lämmönjohtavuus on kolmanneksen laskennoissa käytettyä lämmönjohtavuutta pienempi, sillä laskentaparametreissa on huomioitu levyn ominaisuuksien heikkeneminen käytön aikana. Tämä vaikuttaa lineaarisesti katsottuna siten, että laskennallinen 100 mm routalevyn eristysvaikutus saavutetaan uudessa rakenteessa jo 70 mm levypaksuudella. Samoja laskentaparametreja on käytetty myös RATO 3:n routamitoituksen taustalla,

joten routalevyn oletettua vähäisempi teho näissä laskennoissa on jokseenkin yllettävä havainto. Nyt tehdyissä laskelmissa ei otettu huomioon sepelirakeiden tunkeutumista levyyn eikä levypaksuutta siten pienennetty nimellisestä. Tämäkin seikka entisestään kasvattaa havainnon merkitystä.

Yksi selkeä syy laskettuun heikompaan lämmöneristävyyteen on luiskan vaikutus, sillä lämpöä karkaa ratapenkereestä luiskan suuntaan. Tästä osoituksena on merkittävästi suurempi roudan tunkeutumissyvyys penkereen reunoilla. Toinen mahdollinen vaikuttava tekijä on laskennoissa käytetty pohjamaa, joka sisältää melko paljon vettä. Hiekkaisessa ja siten kuivemmassa rakenteessa tai pohjamaassa routa tunkeutuisi helpommin syvemmälle. Myös routalevyn suojausvaikutus olisi silloin suhteessa suurempi.

RATO 3:ssa vaaditaan, että "Routalevyn alapuolella olevan routimattoman alusrakennekerroksen vähimmäispaksuus on 300 mm käytettäessä luonnonmateriaaleja ja 450 mm käytettäessä murskattua kiviainesta. Lisäksi etäisyys routalevyn alapinnasta ylimpään pohjavedenpintaan tulee olla suurempi kuin routalevyn alla olevan materiaalin kapillaarinen nousukorkeus". Vaatimuksen taustalla on routamitoituksen periaate, että routa ei saa tunkeutua routivaan pohjamaahan tai pengertäyteeseen. Routalevypaksuuksien mitoituksessa on lähdetty olettamasta, että alusrakennekerroksia on oltava myös routalevyn alapuolella. Routalevyn paksuus ei yksinään ei siis pysäytä routarajan etenemistä, olipa käytössä kumpi asennussyvyys tahansa. Parannettavilla radoilla rakenteen kokonaispaksuus on oltava routasuojauksen näkökulmasta käytännössä aina vähintään 1,25 metriä, mitä voidaan pitää useimmissa tapauksissa riittävänä rakennepaksuutena myös kuormituskestävyyden näkökulmasta. Routalevyn tekninen toimivuus ei sinällään edellyttäisi kuin ohuen, esim. 50 mm, tasauskerroksen käyttämistä. Kapillaarisen nousukorkeuden ja kuivatustason vaatimus tarkoittaa käytännössä hyvälaatuista eristyskerrosmateriaalia vähintään 300 mm paksuudelta, useimmissa tapauksissa jopa hie-man paksumpaa alusrakennetta routalevyn alapuolelle.

Routalevyn asentaminen tukikerroksen alle mahdollistaa Etelä-Suomessa periaatteessa 0,95 metrin kokonaispaksuuden käyttämisen. Näin ohuet rakennekerrokset eivät välttämättä tuota riittävää kuormituskestävyyttä heikosti kantavilla pohjamailla. Pohjoisemmassa Suomessa myöskään routamitoitus ei täyty näin ohuilla rakennekerroksilla edes 120 mm routalevypaksuudella.

## 5 Radan kuormituskäyttäytyminen

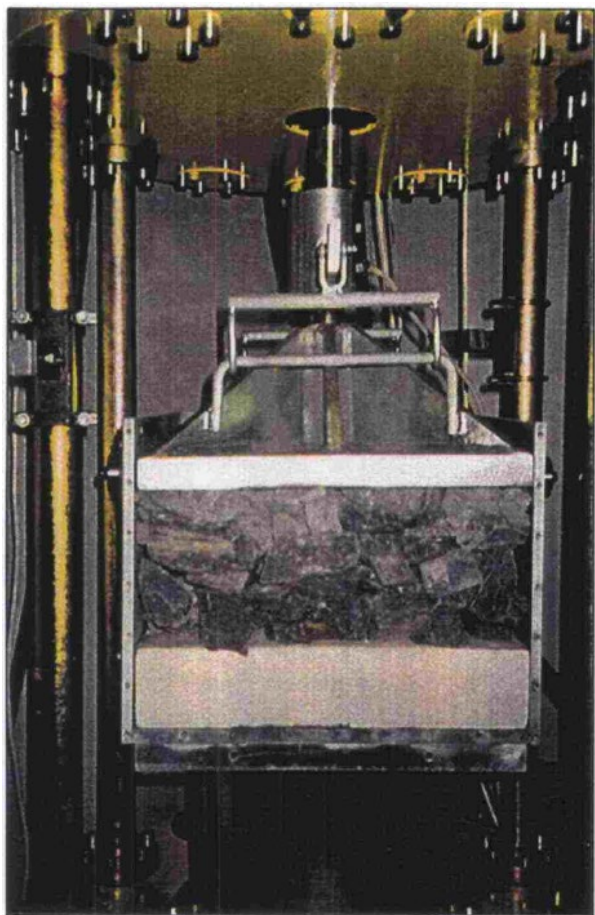
Tässä osiossa keskitytään esisijaisesti Suomessa aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin. Tarkoituksena on ollut, että tutkimuksissa testatut materiaalit ja kuormitusolosuhteet vastaavat mahdollisimman hyvin kotimaisia rataolosuhteita. Routalevyn asennussyvyyden vaikutusta ratarakenteen mekanistiseen toimintaan on esisijaisesti tarkasteltu XPS-routalevyn ja sepelitukikerroksen yhteistoiminnan näkökulmasta.

### 5.1 Routalevyn kuormituskestävyys

Routalevyn rakenneteknisen toiminnan kannalta yksi keskeisimmistä tekijöistä on levyn kuormituskestävyys. Tähän liittyen Nurmikolu ja Kolisoja (2001) tutkivat laboratorio-olosuhteissa XPS-routalevyjen kuormituskäyttäytymistä staattisia puristuskokeita ja syklisiä väsytykokeita käyttäen. Valtaosa routalevyille tehdyistä kuormituskokeista toteutettiin kahden sileän metallilevyn välissä, jolloin näytekappaleeseen kohdistuva kuormitus on täysin tasajakautunut. Kyseinen kuormitusasetelma ei täysin vastaa rataympäristössä levyyn kohdistuvaa rasitusta – etenkin heti tukikerroksen alle asennetun levyn tapauksessa, jolloin kuormitus jakaantuu levyille terävsärmäisten sepelirakeiden kautta. Kuitenkin välikerroksen alle asennetun levyn kuormituskäyttäytymisen tarkasteluun kyseinen koejärjestely voitaneen katsoa kohtalaisen hyvin soveltuvaksi.

Sepeliltä jakautuvan kuormituksen epätasaisuuden huomioimiseksi osa syklisistä väsytykokeista toteutettiin sepelitukikerroksen ja routalevyn yhteistoimintaa simuloivina pienikokoisina raidesepelilaatikkokokeina. Näissä kokeissa routalevy ja kuormituslevyn väliin asennettiin noin 20 cm paksuinen sepelikerros (kuva 13). Tällä kuormitusasetelmalla pyrittiin simuloimaan heti tukikerroksen alle asennetun routalevyn pitkäaikaista kuormituskäyttäytymistä. Kuormituskokeissa levyihin muodostuneet kokoonpuristumat olivat yleisesti ottaen varsin vähäisiä. Sen sijaan levyihin muodostui sepelirakeiden tunkeutumisen aiheuttamia huomattavia painumia. Esimerkiksi 200 kPa kuormitustasolla syvin sepelirakeen painuma oli 11 mm ja 275 kPa kuormalla 14 mm. Nurmikolu & Kolisoja totesivat kuormituskokeissa routalevyihin muodostuneiden painumajälkien (kuva 14) vastaavan ulkomuodoltaan hyvin radasta pois kaivetun, heti tukikerroksen alle asennettuun levyn painumajälkiä. Käytännössä terävsärmäiset sepelirakeet uppoavat herkästi alapuoliseen routalevyyn, mikä lisää rakenteen palautuvaa ja oletettavasti myös palautumatonta painumaa.





*Kuva 13. Heti tukikerroksen alle asennetun routalevyn kuormituskäyttäytymistä simuloiva väsymiskoejärjestely (Nurmikolu & Kolisoja 2001).*

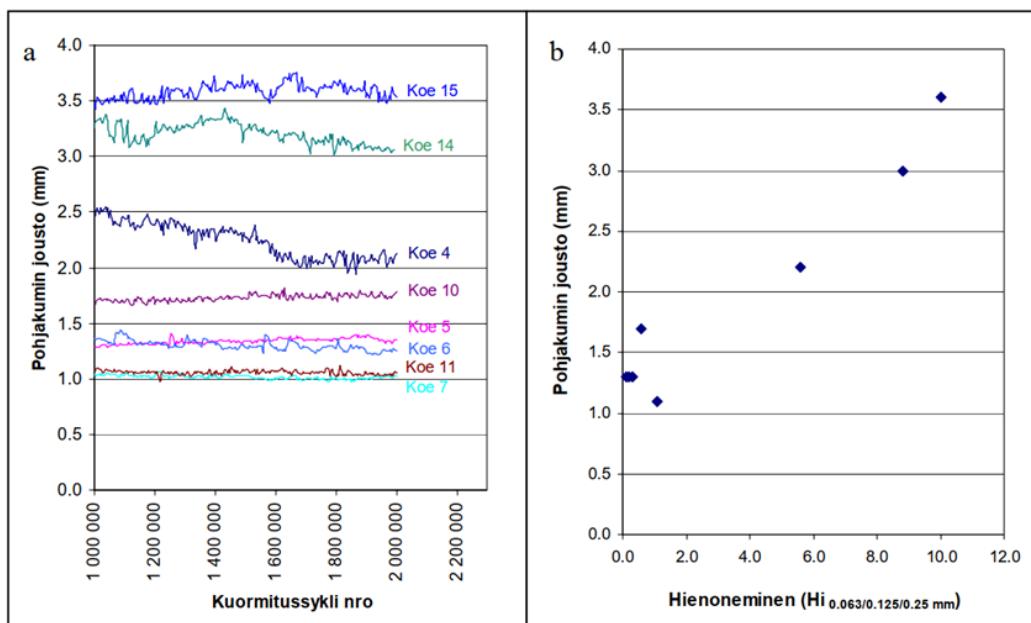


*Kuva 14. Kuormituskokeissa sepelirakeista routalevyihin muodostuneet painumajäljet (Nurmikolu & Kolisoja 2001).*

## 5.2 Tukikerroksen toiminta

Ulkopuolisen kuormituksen kasvun ohella raidesepelin pysyvän muodonmuutoks-kertymän voisi ajatella olevan sitä suurempaa, mitä runsaampaa materiaaliin raerungon pakotettu muodonvääristymä on, esimerkiksi alapuolisen rakenteen joustosta johtuen. Kun muodonmuutokset raerungossa ovat riittävän suuria, eivät yksittäiset rakeet kuormituksen poistuttua kykene enää palamaan alkuperäiseen asemaansa. Muodonmuutosten kasvun myötä sepelirakeisiin kohdistuu hiovaa rasitusta, mikä taas osaltaan kiihdyttää hienonemisprosessia. Hienonemisprosessin myötä raidesepelin kuormituskestävyys ja kuivatusominaisuudet heikkenevät, mikä taas voi kiihdyttää raidegeometrian heikkenemisnopeutta. Esimerkiksi Nurmi-kolu (2004) mukaan raidesepelin jauhaantumista voidaankin pitää kenties keskeisimpänä tukikerroksen kestoian määrittävänä tekijänä.

Nurmikolu (2006) on tutkinut kokeellisesti eri tekijöiden vaikutusta raidesepelin deformaatio- ja hienonemiskäyttäytymiseen suomalaisella kiviaineksella. Tutkimuksessa simuloitiin sepelitukikerroksen pitkäaikaiskäyttäytymistä todellista liikennekuormitusta jäljittelevässä laboratoriomittakaavaisessa kuormituskokeessa jäykäseinäistä Ballast Box -laitteistoa käyttäen. Kokeissa käytetty kuormitusasetelma koostui kolmesta peräkkäin kuormitetusta kuormituslevystä kuormitustaajuuden ollessa noin 3 Hz. Tutkimuksessa varioitiin myös kuormituslaatikon pohjakumin joustoa erilaisten pohjaolosuhteiden huomioimiseksi. Tehtyjen kokeiden pohjalta Nurmikolu (2006) havaitsi kuvan 15 kaltaisen, likipitään lineaarisen yhteyden pohjakumin jouston ja sepelin rakeisuusluvun muutoksen välillä. Palautuvan painuman ja hienonemisnopeuden välillä vaikuttaisi kyseisien tutkimustulosten perusteella olevan selkeä yhteys.



Kuva 15. Kiviaineksen hienonemisen ja pohjakumin jouston välinen yhteys Ballast Box -kokeissa (Nurmikolu 2006).

Erityisesti Nurmikolun (2006) raportoimissa koetuloksissa korostui veden ja hienoaineksen yhteisvaikutuksen rooli; hienoainespitoisen sepelin hienoneminen kiihtyi todella dramaattisesti, kun materiaali oli täysin vedellä kyllästyneessä tilassa.

Tällöin myös kuormituslevyjen palautumattomat painumat olivat moninkertaisia muihin kokeisiin nähden. Käytännössä vesi ja hienoaines muodostavat yhdessä ns. hiomatahnan, jonka hydrostaattisesta painevaihtelusta johtuva edestakainen pumppaantuminen karkeimpien rakeiden välissä hienontaa ympäröivää materiaalia todella voimakkaasti.

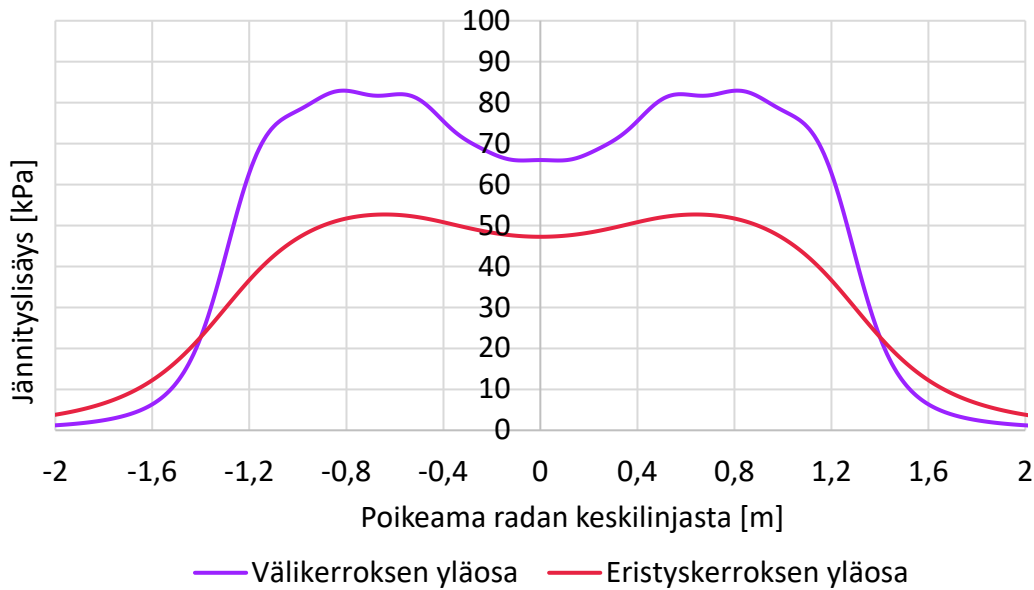
Routalevyn asennussyvyyden näkökulmasta edellä mainitut tutkimustulokset ovat huomionarvoisia useammastakin syystä:

1. Vettä ja hienoainesta läpäisemättömänä materiaalina heti tukikerroksen alle asennettu routalevy luo ratarakenteeseen pystysuuntaisen epäjatkuvuuskohdan, joka periaatteessa luo edellytykset sepeliä voimakkaasti hienontavan hiomatahnan syntymiselle – etenkin heikoissa kuivatusolosuhteissa.
2. Lisäksi veden ja hienoaineksen muodostama seos routii herkästi.
3. Joustavana komponenttina routalevy osaltaan lisää radan palautuvaa painumaa ja tätä kautta kasvattaa sepelirakeiden välistä hiovaa liikettä, mikä teoriassa voisi kiihdyttää sepelin hienonemista. On kuitenkin huomioitava, että routalevyn tuottama lisäjousto (0,1–0,5 mm) on suuruusluokaltaan varsin vähäinen Nurmikolon (2006) kokeiden kokonaisjoustoon verrattuna.

Vallitsevan käsityksen mukaisesti nykyisten laatuvaatimusten mukaiset raidesepelit kestävät liikennekuormituksen aiheuttamia rasituksia varsin hyvin, eikä routalevyn aiheuttaman suurentuneen jouston vaikutuksia pidetä merkittävänä tukikerroksenelinkaarta lyhentävänä seikkana.

## 5.3 Rakenteen kuormitus

Kuvassa 16 on esitetty routalevyyen kohdistuvat keskimääräiset pystyjännitystasot 250 kN staattisen akselikuorman alaisuudessa kahdella eri asennussyvyydellä; heti tukikerroksen alla ja välikerroksen alla. On kuitenkin huomioitava, että laskenta perustuu kontinuumimekaniikkaan ja tästä johtuen kuvassa esitetyt jännitykset ovat keskimääräisiä arvoja. Tällöin erityisesti heti tukikerroksen alle asennettuun routalevyyen kohdistuvat huippujännitykset voivat todellisuudessa olla moninkertaisia nyt esitettyihin arvoihin nähden, mikä käytännössä johtuu kuormituksen diskreetistä jakautumisesta terävsärmäisten sepelirakeiden kautta.

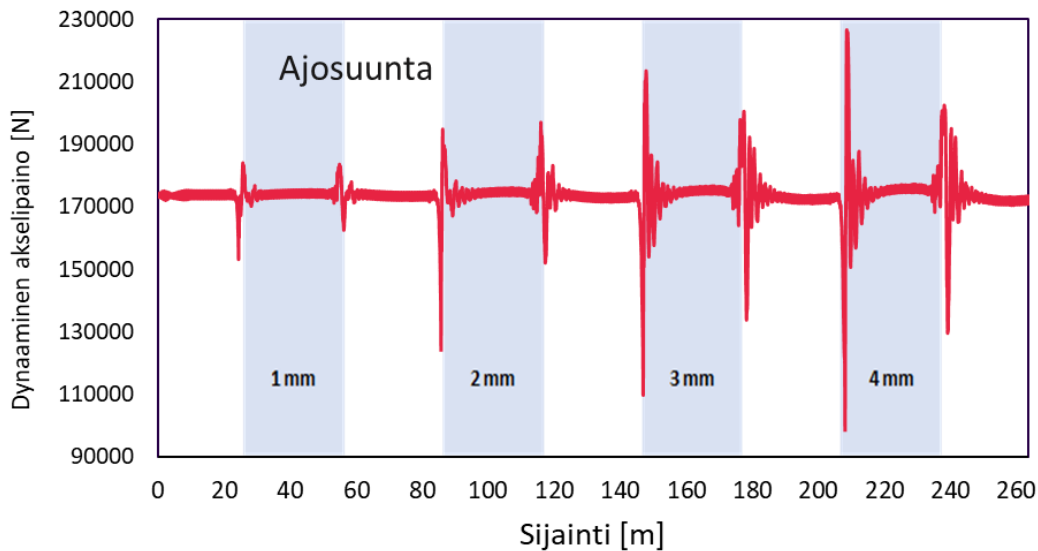


Kuva 16. Routalevyyn kohdistuva laskennallinen pystyjännitys eri asennussyvyyksillä 250 kN akselipainolla.

Edellä mainituista syistä johtuen heti tukikerroksen alle asennettu routalevy voi oletettavasti aiheuttaa pienen painumaeron routalevyttömän ja levyllisen rakenteen liitoskohtaan. Painumaeron seurauksena rakenteen dynaaminen kuormitus-taso kasvaa routalevyalueen päädyssä ja voi tätä kautta kiihdyttää rakenteen vaurioitumista paikallisesti. Kriittisen painumaeron suuruusluokan määrittämiseksi nyt tehdyssä tutkimuksessa on suoritettu dynaaminen simulaatio yhdistelmämallia käyttäen. Kyseisessä laskentamallissa liikkuvan junakaluston käyttäytyminen on kuvattu monikappaledynamiikkaa hyödyntäen ja vastaavasti kiskorakenne on mallinnettu elementtimenetelmällä. Pyörän ja kiskon välinen kontakti perustuu epälineaariseen kontaktiteoriaan ja myös ratapölkyn ja sepelitukikerroksen välinen kontakti on mallinnettu epälineaarisenä, joten malli on kykeneväinen huomioimaan roikkuvien pölkkyjen esiintymisen radan epäjatkuvuuskohtissa.

Tehdyssä laskennassa simuloitu rata koostuu neljästä noin 30 metrin mittaisesta routalevyllisestä alueesta, joiden suhteellinen palautumaton painumaero ympäröivään rataan nähden vaihtelee välillä 1–4 mm. Lisäksi mallissa on huomioitu routalevyllisen ja levyttämän rakenteen välinen palautuva painumaero. Esimerkiksi laskennassa käytetyllä, 175 kN akselipainon omaavalla kalustolla omapainon tuottama palautuva painumaero levyttömän ja levyllisen rakenteen välillä on noin 0,2 mm. Tehdyssä laskennassa kalusto liikkuu ideaalisuoraa rataa pitkin - lisäksi on oletettu, että levyttömän ja levyllisen rakenteen liitoskohdassa rakenteen palautuva ja palautumaton painumataso muuttuu yhden ratapölkyn matkalla.

Kuvassa 17 on esitetty simuloidun junakaluston ensimmäisen pyöräkerran dynaamisen akselikuorman vaihtelu 260 metrin pituisen testiradan ylityksen aikana. Kyseisessä kuvassa taustaväriiltään siniset alueet ovat routalevyllisiä alueita. Kullakin routalevyllisellä alueella käytetty tasainen palautumaton painumaero ympäröivään rataan nähden on esitetty sinisen alueen alaosassa. Edellä mainitusti laskennassa käytetyn kaluston akselipaino on 175 kN ja simuloinnissa käytetty ajonopeus on 200 km/h.



*Kuva 17. Routalevyllisen ja levyttömän rakenteen välisen palautumattoman painumaeron vaikutus rakenteen dynaamiseen kuormitustasoon. Laskennassa käytetty ajonopeus 200 km/h.*

Kuvan 17 mukaisesti dynaaminen kuormituslisäys on kaikkein suurinta routalevylliselle alueelle tultaessa – käytännössä kuormapiikki on seurausta kaluston ”putoamisesta” levyttömän ja levyllisen rakenteen välisestä painumaerosta johtuen. Laskentojen mukaisesti dynaaminen kuormakerroin kasvaa likipitään lineaarisesti palautumattoman painumaeron kasvaessa. Simulaatiossa suurin dynaaminen kuormitus muodostui 4 mm painumaerolla, mikä vastaa likipitään C-luokan korkeuspoikkeamavirhettä. Dynaamisen akselikuorman huippuarvo oli tällöin noin 230 kN vastaten raskaan tavarajunan tuottamaa kuormitusvastetta.

Lähtökohtaisesti voisikin ajatella, että mitä syvemmmälle levy rakenteessa asennetaan, sitä vähäisempi painumapotentialiero levyttömän ja levyllisen rakenteen välillä on. Tällöin myös rakenteeseen kohdistuva dynaaminen kuormitus ja tätä kautta myös geometriavirheiden kehittyminen rakenteiden liitoskohdassa on oletettavasti vähäisempää. Teoriassa routalevyn asentaminen välikerroksen alle vaikuttaisi olevan rakenteen kuormituskestävyyden kannalta hieman parempi vaihtoehto. Kuitenkin käytännön epätarkkuustekijöistä johtuen tarkempien johtopäätösten tekeminen edellyttää pidempiaikaisemman kenttämittausaineiston hyödyntämistä mekanistisen tarkastelun ohella.

## 6 Asennusteknisiä näkökulmia

### 6.1 Asennusalustan merkitys

Routalevyn alle jäävä materiaali vaikuttaa merkittävästi siihen, miten tasainen alusta routalevyille voidaan toteuttaa. Hyvälaatuinen raidesepeleli on teräväsärmäistä, jonka seurauksena rakeet tunkeutuvat jossain määrin levyn alapintaan. Käytännössä routalevytystä tehdään aina pitkään radassa olleeseen hienontuneeseen tukikerrokseen, joka sisältää karkeiden teräväsärmäisten rakeiden lisäksi merkittävässä määrin pienempiä rakeita ja myös hienoainesta. Raidesepeleli hienonemisen seurauksena hieman suhteistunut raekokojakauma mahdollistaa uutta raidesepeleliä tasaisemman asennusalustan rakentamisen. InfraRYL:n mukaiset välikerroksen toleranssit (ylöspäin 0 mm, alaspäin 30 mm) huomioiden on jopa todennäköistä, että routalevy jää asennushetkellä osin irti asennusalustastaan. Tukikerroksen paino ei välttämättä riitä painamaan routalevyä tiiviisti alustaa vasten, mistä seuraa pysyviä muodonmuutoksia junaliikenteen alkaessa kuormittaa rai-detta.

Soratukikerroksen tai luonnonmateriaalista rakennetun välikerroksen tapauksessa tasaisen asennusalustan rakentaminen on usein helpompaa. Soramateriaalin kivi-syys voi kuitenkin aiheuttaa leikkauspohjaan merkittäväkin epätasaisuutta (kuva 18), joka saattaa kasvattaa päällysrakenteen kimmoista kokoonpuristumaa ja pahimmillaan jopa rikkoa routalevyn. Asennushiekan tai murskeen käyttäminen asennusalustan tasaamiseen on perusteltua, jotta asennusalustasta saadaan riittävän tasainen. Syvemmissä asennustavassa välikerroksen ja tukikerroksen massa painavat levyn tukevammin asennusalustaa vasten, vaikka alusta ei olisi täysin suora. Routalevyn yläpuolisten kerrosten massa saattaa olla jopa merkittävässä roolissa ensimmäisen tuennan onnistumiseen. Jos routalevy on tuentahetkellä yksittäisten sepeleirakeiden tai alustan epätasaisuuksien varassa ja joustaa siten kuorman vaikutuksesta merkittävästi, tukemiskone ei pysty ottamaan tällaista huomioon ja tukemistyön laatu kärsii sen seurauksena.

Routalevyn alle jäävä tyhjätila täyttyy hitaasti. Käytännössä tyhjätilan täyttyminen edellyttää jonkinasteisia pysyviä muodonmuutoksia itse levyyn. Sen sijaan täryjyrällä tapahtuva välikerroksen tiivistäminen muokkaa myös alustaa ja mahdollistaa tyhjätilan pienenemisen.



*Kuva 18. Routalevyn asennusalusta soramateriaalissa. Kuva: Henri Seppälä.*

Asennusalustan epätasaisuudet ovat ainakin yksi mahdollinen syy radantarkastustuloksissa havaitulle korkeuspoikkeaman huojunnalle. Jo pienikin asennusalustan epätasaisuus voi aiheuttaa junakuorman seurauksena routalevyn kimmoisan liikkeen, jossa routalevy painuu tiiviimmin alustaansa vasten kuorman vaikutuksesta. Asennusalustan epätasaisuus pääosin poistuu routalevyn mukautuessa alustan muotoihin liikenteen vaikutuksesta ja korkeuspoikkeaman huojunnan pitäisi pienentyä jälkituntojen avulla. On kuitenkin todennäköistä, että epätasaisen asennusalustan vaikutus näkyy liikennemäärästä riippuen jopa vuosia asentamisen jälkeen ja jälkituntoja joudutaan tekemään useammin kuin kerran. Jälkituenta tulisi tehdä myös riittävän ajoissa, jotta kiskoihin ei missään olosuhteissa pääse muodostumaan pysyviä muodonmuutoksia, joiden poistaminen tukemiskoneella on erittäin hankalaa, ellei mahdotonta.

## 6.2 Routimaton asennusalusta

Vaatus routalevyn alapuolelle sijoitettavasta 300 mm routimattomasta alusrakennekerroksesta täyttyy pääosin olemassa olevilla radoilla rakennekerrospaksuuden näkökulmasta katsottuna. Vain harvoilla vähäliikenteisilläkin radoilla rakennekerrosten kokonaispaksuus jää alle 1,25 metrin, mikä on minimivaatus routimattomien rakenteiden paksuudesta, kun routalevy sijoitetaan välikerroksen alle. Tukikerroksen alle asennuksessa edellytettävä rakennekerrospaksuus 0,95 metriä täyttyy käytännössä kaikissa tapauksissa.

Routalevyn alle jäävän materiaalin routimattomuus on jokseenkin hankalaa määrittää, sillä routivuuden määritelmä ei ole täysin yksiselitteinen. Yleisesti ottaen materiaalin routivuus lisääntyy hienoaimespitoisuuden kasvaessa tiettyyn rajaan saakka. Nykyohjeistuksen mukaan routivuuden arviointi perustuu rakenteesta

otettuihin näytteisiin, joista määritetään routivuus silmämääräisesti tai näytteiden pesuseulontojen perusteella. Hienoainespitoisuuden perusteella routivaksi arvioituille näytteille tehdään lisäksi kapillaarisen nousukorkeuden määrittäminen routivuuden varmistamiseksi. Näytteenottoon perustuva routivuuden arviointi on joka tapauksessa työlästä ja kattavan kokonaiskuvan muodostamiseksi näytenäytteitä ja laboratoriotutkimuksia tarvitaan paljon.

2010-luvulla ROPE-hanke on kartoittanut routivia kohteita pääasiassa koneellisen radantarkastuksen geometriahistoriaan perustuen. Käytössä on ollut ajatusmalli, jossa geometriavirheen ilmetessä talviaikaan ja korjaantuessa itsekseen kesällä, on kyseessä routimiseen liittyvä geometriavirhe. Maatutkukseen perustuvien rakennekerrosten paksuuksien perusteella on päätelty, että onko aiheuttajana mahdollisesti riittämätön rakennekerrospaksuus vai rakennekerrosten routiminen.

Kevättalvella syntyvät geometriavirheet tulkitaan usein roudan aiheuttamaksi, vaikka primäärinen syntymekanismi voi olla myös joku muu, kuten esimerkiksi puutteellinen raiteen poikittaisvastus tai väärä kiskon neutraalilämpötila. Usein leutoina talvina toistuvat geometriavirheet liittyvät joko päällysrakenteen ongelmiin, tai vääriin materiaaleihin alusrakenteessa. Kylmimpinä talvina esiintyvät routahaitat liittyvät selkeämmin riittämättömään rakennekerrospaksuuteen ja siten pohjamaan routimiseen. Tulkinta on hankalaa eikä siksi kaikki roudan aiheuttamaksi arvioitu liikennehaitta välttämättä poistu routasuojauksesta parantamalla.

Roudanhallintaraporttien perusteella edellisen kerran routahaittoja on merkittävässä määrin ilmoitettu talvina 2010 ja 2011, jolloin oli kaksi vuosikymmenen ankara talveä. Näin ollen laajamittaista liikennehaittaa aiheuttavat routavauriot liittyvät tyypillisesti riittämättömään rakennekerrosten paksuuteen ja siten pohjamaan tai pengertäytteen routimiseen. Leutoina talvina ilmenevät routahaitat saattavat aiheutua hienontuneen tukikerroksen muuttumisesta routivaksi, jään paantamisesta, tms. rakenteen yläosassa tapahtuvasta routaan liitettävästä ilmiöstä. Rakenteen yläosista aiheutuvat routahaitat ovat suuruudeltaan kuitenkin niin pieniä, että ne aiheuttavat vain vähän esimerkiksi junan kuljettajien ilmoituksia routavaurioista.

Roudanhallintaraporttien avulla voidaan epäsuorasti päätellä, että alusrakenteessa sijaitsevien materiaalien routiminen on jokseenkin harvinaista. Kuitenkin rakenteesta otetut alusrakennenäytteet tulkitaan pesuseulontojen perusteella hyvin usein routiviksi. Näistä ristiriitaisista havainnoista voi päätellä sen, että pesuseulontan perusteella arvioidun routivan materiaalin määritelmä on ns. varmallalla puolen. Monet laboratoriotutkimusten perusteella routiviksi tulkitut materiaalit ovat käytännössä osoittautuneet routimattomiksi.

Tampereen yliopiston vuosina 2008–2020 toteuttamassa routaseurannassa havaittiin, että kyseisissä kohteissa ratarakenteen routimista tapahtuu luonnonmateriaaleista rakennetuissa ratarakenteissa käytännössä ainoastaan alusrakenteen ja pohjamaan rajapinnan läheisyydessä tai yksinomaan pohjamaan puolella. Näissäkin kohteissa alusrakenteen materiaalit oli tulkittu routanousukokeiden perusteella keskinkertaisesti tai osin jopa erittäin routiviksi. Hienoainespitoisuuden perusteella useimmat materiaalit olivat kuitenkin routimattomia, jos kriteerinä pidetään 5 % läpäisyä 0,063 seulalla. Varsin usein vanhojen alusrakennemateriaalien pesuseulonnalla määritetty hienoainespitoisuus on hyvin lähellä 5 %, ja välillä hieman

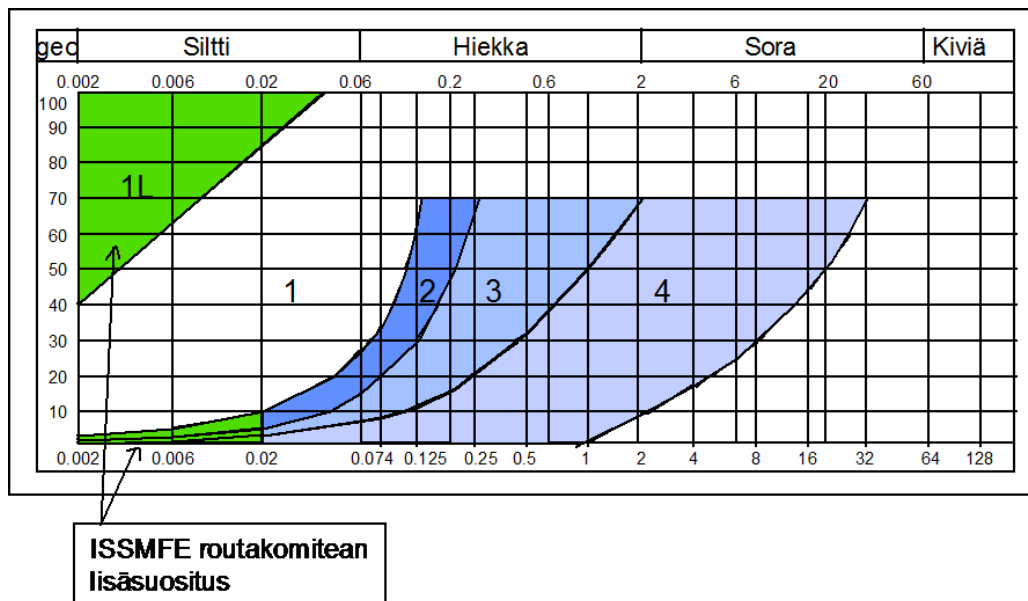


suurempikin 5–7 %. Näin ollen monet alusrakennemateriaalit saattavat olla materiaaliominaisuuksiltaan lievästi routivia, mutta käytännössä eivät aiheuta merkittävää routahaittaa rakenteessa.

ISSMFE:n (1989) luokituksen mukaan maa on muista tekijöistä riippumatta routimaton, mikäli sen sisältämän hienoaineksen osalta pätevät seuraavat kolme ehtoa:

- 1) raekooltaan  $< 0,002$  mm ainesta  $\leq 1$  %
- 2) raekooltaan  $< 0,02$  mm ainesta  $\leq 3$  %
- 3) raekooltaan  $< 0,074$  mm ainesta  $\leq 8$  %

Tätä vaatimusta on havainnollistettu kuvassa 19, jossa rakeisuusalue 3 ja 4 kuvaavat lähinnä radan alusrakennemateriaalien rakeisuusaluetta. Radan alusrakenteissa käytettävät materiaalit ovat keskiraekooltaan hiekkaa tai soraa, joille ISSMFE:n routakomitean mukaan routimattomuuden vaatimus edellyttää alle 7 % hienoainespitoisuutta (läpäisy 0,063 mm seulalla). Materiaalin rakeisuuskäyrä ei saa myöskään ylittää rajakäyriä karkeammasta materiaalista hienompaan. Useimmat alusrakennenytytteet täyttävät kyseisen vaatimuksen, mikä tukee muista havainnoista muodostettua kokonaiskuvaa siitä, että suomalaiset luonnonlajittamat alusrakennemateriaalit eivät tavanomaisesti roudi rakenteessa.



Kuva 19. Routimattomuuden määrittely (Katu2020.info).

Saarikosken (2020) diplomityössä määritettiin alusrakennenytytteille kapillaarinen nousukorkeus sekä putkessa että kapillaarimetrillä. Näissä kokeissa käytettiin Kouvola–Kotka-rataosalta otettuja näytteitä, joiden hienoainespitoisuus oli tyypillisesti hyvin pieni, yleisesti selkeästi alle 5 %. Myös kapillaariset nousukorkeudet jäivät putkikokeessa tyypillisesti merkittävästi alle yhden metrin, jota pidetään yhtenä routivuuden kriteerinä. Sahi-mallin kapillaarimetrillä tehdyissä kokeissa jäätin vielä putkikoetta selkeästi pienempiin nousukorkeuksiin. Kapillaarisen nousukorkeuden perusteella havaittiin myös, että merkittävää kyllästysasteen nousua tapahtuu vain suhteellisen lähellä pohjavedenpintaa. Toimiva kuivatus vähentää alusrakenteen materiaalien mahdollisuuksia kuljettaa vettä rakenteessa ylemmäksi samalla vähentäen esimerkiksi jauhaantuneen tukikerroksen mahdollisuutta routimiseen.

Jauhaantuneen raideseppelin routivuuden arviointi on edellä kuvattua haastavampaa, sillä kalliosta murskaamalla valmistettu kiviaines ei välttämättä noudata luonnonmateriaalien käyttäytymismalleja. Nurmikolun (2006) toteuttamien routanousukokeiden perusteella muodostama käytännöllisen routimattomuuden arviointikriteeri määrittelee useimmat hienontuneet raideseppelit vähintään lievästi routiviksi. Tampereen yliopiston tekemässä routaseurannassa tukikerrosmateriaalien ei ole havaittu routivan käytännössä, vaikka osa kohteista sisälsi laboratoriokokeiden mukaan keskinkertaisestikin routivan tukikerroksen. Sen sijaan kokonaan kalliomurskeesta rakennettujen alusrakenteiden on havaittu muodostavan kenttämitauksissa jonkinasteista routaturpoamaa, joka on paikannettu syvyytetasossa tukikerroksen ja välikerroksen rajamaastoon. Vastaavaa ilmiötä ei tavallisesti esiinny luonnonmateriaaleista rakennetuissa alusrakenteissa. Tämän joka talvi toistuvan 1–3 mm "routimisen" ei ole havaittu aiheuttavan varsinaista liikennehaittaa. Murskatuilla materiaaleilla havaitun routimisilmiön oletetaan liittyvän murskauksessa, kuljetuksessa ja tiivistämisessä syntyvän pölyn ja hienoaineksen kertymisestä rakenteessa tietyille rajapinnoille, kuten välikerroksen alapintaan. Ilmiötä saattaa osaltaan selittää myös lajittuminen tiivistettäessä tai muun materiaalin käsittelyn yhteydessä. Kyse ei ole raideseppelin hienonemisesta, sillä ilmiö on havaittu uudella radalla jo ensimmäisenä talvena päällysrakenteen asennuksen jälkeen.

Raideseppelin jauhaantumisen seurauksena syntyvä hienoaines voi tehdä raideseppelistä myös erittäin routivan. Raideseppeli kuitenkin puhdistetaan tai uusitaan tyypillisesti jo ennen kuin hienoaineksen määrä kasvaa routimisen näkökulmasta haitallisen suureksi. Jos alusrakenteen kuivatus toimii tarkoituksenmukaisella tavalla, routiivaksi luokiteltu raideseppeli ei todennäköisesti pysty muodostamaan merkittävässä määrin routanousua, koska routimisen edellyttämää lisävettä ei ole riittävästi saatavilla. Alusrakennemateriaalien kapillaarisen nousukorkeuden ollessa tyypillisesti noin puoli metriä, kapillaariyhteys pohjavedestä tukikerroksen alaosaan estyy useimmissa kuivatustilanteissa. Lisäksi raideseppeli routaantuu useimmiten hyvin nopeasti konvektiivisen lämmönsiirtymisen takia ja routalevytetyssä rakenteessa myöskin alapuolelta tuleva lämpövuoto on heikko. Nopea routaantuminen ehkäisee osaltaan merkittävän routanousun muodostumista tukikerrokseen, sillä suu-rehko routiminen edellyttäisi kohtalaisen stabiileja olosuhteita, joissa routaraja viipyy pitkään samalla syvyydellä.

Tämän tutkimuksen näkökulmasta kriittisin materiaali on jauhaantuneen tukikerroksen alaosa, joka saattaa olla routiivaa ja routalevyn asennustavasta riippuen materiaalia saattaa myös jäädä routasuojauksen alapuolelle. Edellä kuvatun perusteella, myös jauhaantuneen sepelin alaosan routivuuden arviointi tulee perustua ensisijaisesti hienoaineksen määrään. Jauhaantuneen sepelin voidaan olettaa hienontuvan edelleen liikennekuormituksen vaikutuksesta, vaikkakin merkittävästi hitaammin routalevyn alapuolella kuin lähellä ratapölkyn alapintaa. Pieni turvamarginaali routivuuden arvioinnissa lienee siksi perusteltua. Tämä voi käytännössä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että routalevyn alle jäävän vanhan tukikerroksen hienoaineksen määrän tulee olla alle 5 %, jotta materiaali ei muutu routiivaksi päällysrakenteen käyttöänsä eli seuraavan 40 vuoden aikana. Kalliosta murskatuissa eristys- ja välikerroksen materiaaleissa on varauduttu materiaalin käytönaikaiseen hienonemiseen siten, että hienoaineksen määrän tulee olla ennakkonäytteissä alle 2 %, ja rakenteesta otetuissa näytteissä alle 3,5 %. Näiltä materiaaleilta edellytetään kuitenkin 100 vuoden käyttöikä.

Lievästi routivan materiaalin, kuten jauhaantuneen tukikerroksen, sijoittuminen routalevyn alapuolelle ei aiheuta Etelä-Suomen ilmastossa routahaittaa suurimpana osana talvista, koska leutoina talvina esimerkiksi 100 mm routalevy estää routarajan tunkeutumisen alusrakenteeseen. Selvästi keskimääräistä kylmempänä talvena, Pohjois-Suomen olosuhteissa ja etenkin mitoitustalvena routaraja etenee routalevyn alapuolelle ja mitoituskäytännön mukaisesti eristyskerroksen alaosaan saakka. Jos routalevyn alapuolella sijaitsee routivia alusrakennemateriaaleja, ovat routahaitat mahdollisia mitoitustalven kaltaisissa olosuhteissa routalevyistä huolimatta. Routalevyn alapuolelle ei ole järkevää jättää hienontunutta tukikerrosta varsinkaan silloin, jos kimmoke routasuojaukseen on tullut leutoina talvina esiintyneiden geometriavirheiden takia. Tällaisessa tapauksessa on todennäköistä, että geometriaongelmia esiintyy myös jatkossa, mutta hieman aikaisempaa ankarampina talvina.

### 6.3 Välikerroksen tiivistämisen merkitys

Asennettaessa routalevyt välikerroksen alle, tulee välikerros tiivistää käyttäen täryjyrää. Vanhan välikerroksen materiaali voi olla nykyisiin vaatimuksiin nähden heikompilaatuista ja siihen on todennäköisesti sekoittunut hienontunutta raidesepeliä ja toisaalta eristyskerroksen materiaalia. Tasarakeinen, hienorakeinen tai lajittunut materiaali jo yksinään hankaloittaa tiivistystyön tekemistä. Rakennettavan välikerroksen alapuolella oleva muuta rakennetta pehmeämpi routalevy heikentää täryjyrän tiivistysvaikutusta ja hankaloittaa hyvään tiiveyteen pääsemistä. Lisäksi routalevy vaikeuttaa tiivistystyön laadunvalvontaa. Levykuormituskokeen tulokset jäävät alhaisiksi routalevyn seurauksena, sillä routalevy lisää rakenteen kokoonpuristumaa ja alentaa mitattua  $E_2$  moduulin lukuarvoa merkittävästi. Suoraan rakennekerroksen tiheyttä mittaavaan mittaamenetelmään, kuten säteilymittauslaiteella tehtävään tiiviystarkkailuun, routalevy ei suoraan vaikuta. Tiiviystarkkailun haasteena on lisäksi se, että keinot vaikuttaa puutteellisiin mittaustuloksiin ovat varsin rajalliset. Työvuoron päätteeksi raide laitetaan takaisin paikalleen ja annetaan liikenteelle riippumatta siitä, saavutettiinkö vaadittu tiiviystarkkailun tavoitetaso. Tästä näkökulmasta katsottuna koerakenteen tekeminen ja käyttökelpoisten tiivistys- ja laadunvalvontamenetelmien selvittäminen ennen varsinaista rakentamista on varsin perusteltu tapa toimia.

Tiivistystyön vaikutuksesta routalevy asettuu paremmin alustaansa vasten jo tiivistystyön edetessä. Lisäksi väli- ja tukikerroksen paino pakottaa routalevyn tiiviimmin epätasaisempaakin alustaa vasten. Välikerroksen tiivistystyöllä saattaa olla siten merkittäväkin vaikutus raidegeometrian kehittymiseen raiteen liikenteelle ottamisen jälkeen.

### 6.4 Kunnossapitotaso ja vaihdealueet

Routasuojauksen merkitys ja asennustyön onnistuminen korostuvat korkean kunnossapitotason rataosilla, joissa pienetkin geometriavirheet aiheuttavat herkästi nopeusrajoituksen. Vaihdealueet ovat toinen herkästi geometriavirheitä aiheuttava kohta, sillä teräsosat kuluvat maarakenteiden muodonmuutosten lisäksi. Vaihdealueiden routahaitat pyritään minimoimaan myös hieman alemman kunnossapitotason radoilla mitoittamalla routasuojaus F50 pakkasmäärälle. Varman puolella oleva routamitoitusfilosofia huomioiden, routalevyt tulisi sijoittaa vaihdealueilla

pääsääntöisesti välikerroksen alle, jotta routalevystä mahdollisesti aiheutuva geometriavirheiden kasvu olisi mahdollisimman vähäistä. Lisäksi on syytä kiinnittää erityistä huomiota asennusalustan tasaisuuteen, siirtymärakenteisiin ja työsaumoihin. Vaihdealueet ovat kriittisiä kohteita geometrian pysyvyyden kannalta myös kuormitusten näkökulmasta, koska korkeuspoikkeamaa syntyy herkästi risteyksen kohtaan iskukuormituksen vaikutuksesta myös ilman routalevyn vaikutuksia. Lisäksi vaihdealueiden tukeminen on tavallista linjaraidetta hitaampaa ja hankalampaa.

Useita raiteita sisältävillä osuuksilla tilan puute voi hankaloittaa merkittävästi routalevyn sijoittamista välikerroksen alle. Myös tarvittavat työraot saattavat heikentää mahdollisuutta syvemmän asennustavan käyttöön. Siksi routalevyn sijoittaminen kategorisesti välikerroksen alle ei välttämättä johda aina kokonaistaloudellisesti edullisimpaan ratkaisuun.

Routalevyn asennussyvyyttä onkin tarpeen tarkastella kunnossapitotason mukaisesti. Korkeilla kunnossapitotasoilla (1AA ja 1A), joilla pienetkin geometriavirheet aiheuttavat nopeusrajoituksen, on syytä sijoittaa routalevy pääsääntöisesti välikerroksen alle. Alhaisemmillä kunnossapitotasoilla routalevyn sijoittaminen tukikerroksen alapintaan voi olla perusteltua, sillä routalevyn mahdollisesti aiheuttamat alkavat geometriavirheet poistuvat pääsääntöisesti normaalien kunnossapitotuentojen yhteydessä.

## 7 Hyötykustannusanalyysi

Tässä luvussa pyritään kartoittamaan rakennusosien ja kunnossapidon kustannukset ja perustelevaan niiden avulla tarkoituksenmukaista routalevyn asennussyvyyttä. Hyötykustannusanalyysiä varten hintatietoa on hankittu IHKU-laskenta-palvelusta, haastatellen sekä laskennallisesti arvioiden.

### 7.1 Rakennusosien kustannukset

Päälysrakenteen vaihtoa tehdään nykyisin paljon kaivinkonetyönä. Ainoastaan joissakin isoissa hankkeissa käytetään sepelinpuhdistuskonetta sepelin puhdistamiseen tai uusimiseen. Työsuoritukseen vaikuttavat työrajojen pituudet ja käytännössä järkevä työrajojen pituus on vähintään 10 tuntia. Päälysrakenteen vaihtoa tehdään tavallisesti 150 metrin osuuksissa, koska uudet kiskot ovat sen mittaisia. Pitkässä työvuorossa pystytään toteuttamaan kaivinkonetyönä yhden työryhmän toimesta 450 metriä päälysrakenteen vaihtoa ja asentamaan samalla routalevyt tukikerroksen alle. Sepelinpuhdistuskoneella työsuoritus on yleensä suurempi. Kaivinkoneella tehtävässä päälysrakenteen vaihdossa kaivussyvyys ja routalevyjen asennussyvyys ovat vapaasti valittavissa. Sepelinpuhdistuskoneella kaivussyvyys on rajoitettu ja routalevyjen asennus välikerroksen alapuolelle edellyttää erilaisen koneen tai kaksi ajokertaa, jolloin työsaavutus puolittuu. Lisäksi välikerroksen tiivistäminen raiteen ollessa paikallaan on nykykalustolla mahdotonta. Myös sellaisia koneita on olemassa, jotka kykenevät tiivistämään välikerroksen päälysrakenteen vaihdon yhteydessä.

Routalevyn asennus välikerroksen alle kaivamalla lisää tarvittavien työkoneiden määrää verrattuna asennukseen tukikerroksen alle. Syvempi asennustapa edellyttää työryhmään lisäksi kaksi kaivinkonetta ja tiivistyskaluston. Jos rataosa on suljettu liikenteeltä ja aikaa työn tekemiseen on rajattomasti, kustannuslisä muodostuu ainoastaan suuremmasta kaivumäärästä ja tiivistystyöstä. Näin ollen routalevyn asennus välikerroksen alle on suuruusluokassa 15 % kalliimpaa kuin asennus tukikerroksen alle (Sundström, 2022).

Asennettaessa routalevy välikerroksen alle, myös välikerrosmateriaali on kannattavaa uusaa, mistä aiheutuu logistisia haasteita etenkin, jos radan vieressä ei ole huoltotietä. Välikerroksen uusiminen parantaa radan kuormituskestävyyttä eikä välikerroksen uusimisesta aiheutuvia kustannuksia voida siten ajatella pelkästään routalevyn asennussyvyydestä aiheutuviksi.

Jos välikerrosmateriaali on käytettävissä uudelleen ja sen pystyy siirtämään raiteen sivulle varastoon sellaiseen paikkaan, että se on edelleen kaivinkoneen ulottumassa, routalevyn asennus välikerroksen alle on silloin kohtalaisen yksinkertainen toimenpide. Todennäköisesti työ hidastuu suuremman kaivumäärän takia siinä määrin, että 450 rd-m/tv työsaavutus alenee 300 rd-m/tv. Näin ollen asennuskustannukset kasvavat työsuorituksen hidastumisen seurauksena 1,5-kertaiseksi lisätynä kasvaneilla konekustannuksilla. Routalevyn asentaminen välikerroksen alle voikin siis olla 1,75 kertaa kalliimpaa kuin asentaminen tukikerroksen alle. (Sundström, 2022)

Päällysrakenteen vaihdon kustannukset ovat joidenkin julkisesti saatavilla olevien hanketietojen perusteella olleet muutama vuosi sitten suuruusluokassa 500–600 €/rd-m. Eryteisesti ratakiskon hinnan noustua viime aikoina, päällysrakenteen vaihdon kustannukset ovat nousseet merkittävästi, mutta teräksen hinta on tällä hetkellä jo laskussa. Päällysrakenteen vaihdon kustannukset muodostuvat pääasiassa materiaalikustannuksista, sillä ratakiskot, ratapölkkyt, raidesepeleli ja routaeristeet muodostavat merkittävän osan kokonaiskustannuksista.

Päällysrakenteen uusimisen kustannuksiksi kokonaisuudessaan IHKU-laskentapalvelut ilmoittaa 422,44 €/rd-m (MAKU-pisteluku 127,5), mikä on jonkin verran hankekohtaista arviota pienempi arvo.

IHKU-laskentapalveluiden mukaan päällysrakenteen purkamisen ja uudelleen rakentamisen kustannus on 164,55 €/rd-m sisältäen uuden tukikerroksen. Tukikerrosmateriaalin osuus hinnasta on noin 100 €/rd-m riippuen hieman raidesepeleliin laadusta. Näin ollen päällysrakenteen vaihdon työkustannukset ovat tavanomaisesti suuruusluokassa 65 €/rd-m.

100 mm paksun XPS routalevyn hinta on vastaavasti 19,25 €/m<sup>2</sup>tr sisältäen asennuksen, jolloin 4 metriä leveän routalevytyksen hinnaksi muodostuu 77 €/rd-m.

Uuden välikerroksen rakentamiskustannus murskeesta on 25,20 €/m<sup>3</sup>rtr, jolloin 0,3 metrin paksuinen ja 6,0 metriä leveä välikerros maksaa 45 €/rd-m.

Eristyskerroksen rakentaminen on tilavuutena saman hintaista kuin välikerroksen. Routimattoman alusrakenteen rakentaminen neitseellisistä materiaaleista edellyttää suurien materiaalmäärien käsittelyä, mikä vaatii pitkät työraot. 1,5 metriä paksun ja 6 metriä leveän alusrakenteen tilavuus on 11,25 m<sup>2</sup>/rd-m, mistä aiheutuu 284 €/rd-m rakennuskustannus. Routasuojauksen toteuttaminen uusilla alusrakennemateriaaleilla on siten 3–4 kertaa kalliimpaa kuin vastaava routasuojaus routalevyjä käyttämällä.

Raitteen tukemisen ja oikomisien x 3 kustannus sisältäen täydennyssepeleliöinnin x 2 maksaa IHKU-laskentapalvelujen mukaan 9,10 €/rd-m, mutta tukemistyö voi sisältää merkittävän yli 15 000 euron mobilisointikustannuksen. Vastaava työsuorite sisältäen täydennyssepeleliin maksaa 41,01 €/rd-m.

Päällysrakenteen vaihdon työkustannuksia voi arvioida karkeasti myös seuraavalla tavalla: palkkakustannukset, maarakennuskoneiden kustannukset ja radanrakentamiseen käytettävien koneiden kustannukset. Tietämättä täsmällisesti tarvittavien yksiköiden määrää tai hintaa, oletan työryhmään kuuluvaksi työmaapäällikön, työnjohtajan, ratatyövastaavan, 10 jalkamiestä sisältäen sähkömiehet, mittamiehen ja hitsarin. Lisäksi työryhmässä on neljä kaivinkonetta, sepelelijuna ja tukemiskone. Sepeliä lastataan pyöräkuormaajalla ja muuhun logistiikkaan tarvitaan 2 kpl kuljetusvälineitä. Pitkän työvuoron kustannukset voisivat olla siten esim.

- Henkilökustannukset 15 hlöä x 12 tuntia x 50 €/t = 9 000 €/tv
- Kaivinkoneet 4 kpl x 12 tuntia x 85 €/t = 4 080 €/tv
- Sepelijuna 8 000 €/tv
- Pyöräkuormaaja 12 tuntia x 85 €/t = 1 020 €/tv
- Tukemiskone 8 000 €/tv
- Logistiikka 2 kpl x 12 tuntia x 85 €/t = 2 040 €/tv
- Yhteensä n. 32 000 €/tv

Työsaavutuksen ollessa 450 rd-m/tv, päällysrakenteen vaihdon työkustannus olisi suuruusluokassa 71 €/rd-m. Työsaavutuksen ollessa 300 rd-m/tv, työkustannus olisi 106 €/rd-m. Tämän laskelman perusteella IHKU-laskentapalveluiden antama yksikköhinta osuu melko hyvin samaan suuruusluokkaan 450 rd-m/tv yksikköhinnan kanssa.

Routalevyn asentaminen välikerrokseen nostaa 450 rd-m/tv työsaavutuksen työkustannukset aiemmin arvioituna 1,75-kertaisiksi, mikä on merkittävä lisä asennuskustannuksiin. IHKU:n mukaisilla kustannuksilla arvioituna ja suhteutettuna kokonaiskustannuksiin, asennustavasta aiheutuva kustannusnousu on paljon pienempi, suuruusluokassa 11,5 %.

Routalevyn asentaminen välikerroksen alle aiheuttaa lisätyötä ja sitä kautta lisäkustannuksia, mutta ei vaadi ylimäärisiä tukirakenteita yksiraiteisella rataosalla operoitaessa. Kaksi- tai useampiraiteisen radan tapauksessa asennustyö yhdelle raiteelle kerrallaan saattaa edellyttää tukiseinän rakentamista raiteiden väliin, jotta viereinen raide säilyy liikennöitävässä kunnossa. Tukiseinän rakentaminen on hidasta, kallista ja myös hankalaa. Esimerkiksi ponttiseinän rakentaminen ei etene yhtä nopeasti kuin varsinainen päällysrakenteen vaihto. Tukiseiniä joudutaan siksi tekemään etukäteen liikenteen ehdoilla tai lyhyemmissä liikennekatkoissa. Väliaikaisen teräsponttiseinän asentaminen maksaa IHKU-laskentapalveluiden mukaan 78,67 €/m<sup>2</sup> ja tässä tapauksessa tarvitaan arviolta 2 metriä syvä tukiseinä. Tukiseinän asennuskustannus on siten suuruusluokassa 157 €/rd-m. Asennettaessa routalevy tukikerroksen alle, tukiseiniä ei tarvita.

## 7.2 Kunnossapidon kustannukset

Päällysrakenteen kunnossapito on organisoitu Suomessa siten, että Väyläviraston kilpailuttama kunnossapitäjä ylläpitää kunnossapitotason edellyttämää raidegeometriaa. Linjaraitteella tärkein kunnossapitotoimenpide on raiteen tukeminen, jonka avulla liikenneturvallisuutta vaarantavat geometriavirheet korjataan kunnossapitotason edellyttämälle tasolle. Kunnossapitotoimet kohdistetaan ensisijaisesti koneellisen radantarkastuksen havaitsemiin geometriavirheisiin ja kehittyviin geometriapoikkeamiin. Aika-ajoin koko rataosa tuetaan kokonaisuudessaan, jolloin puhutaan läpituennasta. Läpituennan tarkoituksena on korjata laaja-alaisia geometriavirheitä, joita voi syntyä esimerkiksi lyhyiden tuentajaksojen tai pohjamaan painumisen seurauksena. Lopulta päällysrakenne tulee elinkaarensa päähän, jolloin päällysrakenne uusitaan. Routalevyn mahdolliset haittavaikutukset liittyvät tuentakertojen tihentymiseen tai ääritapauksessa aikaistuneeseen raidesepelin uusimistarpeeseen.

Kunnossapitosopimuksen mukainen pistemäinen tuenta maksaa suuruusluokassa 7–9 €/rd-m. Tuntihintana hankittu tuenta maksaa suuruusluokassa 800 – 1 200 €/t ja käytännössä silloin hankitaan koko 8 tunnin työvuoro, jolloin työvuorokustannus on 6 400 – 9 600 €/tv. (Sauni, 2022) Suomessa tyypillisesti käytetty yhden pölkyn tukemiskone pystyy tukemaan keskimäärin noin 100–200 rd-m/t. Usein tarvitaan myös enemmän kuin yksi tuentakerta. Tuennan yksikköhinta ratametriä kohden voi vaihdella merkittävästi ollen jopa 20 €/rd-m. Lisäksi saatetaan tarvita täydennyssepelöinti, joka on suuruusluokassa hieman suurempi kustannus kuin itse tuenta. IHKU-laskentapalveluiden mukaan täydennyssepelöinti sisältäen tuennan maksaa 41,01 €/rd-m.

Elinkaarikustannusten näkökulmasta katsottuna läpituennan välillä tapahtuvien lisätuntojen määrä ja täydennyssepelöintitarve sekä toisaalta mahdollinen raidesepelin aikaistunut uusimistarve määrittelevät pitkälti kunnossapitokustannusten mahdollisen lisääntymisen. Radantarkastustulosten analyysin perusteella arviotuna routalevyn asentaminen tukikerroksen alle johtaa Kv-Lä-rataosan aineiston perusteella kunnossapitotuennan tarpeeseen 3–5 vuoden aikavälillä. Routalevyn asentaminen välikerroksen alle johtaa vastaavasti tuentatarpeeseen 5–10 vuoden aikavälillä, mikä ei käytännössä realisoidu läpituontojen takia. Näin ollen routalevyn asentaminen tukikerroksen alle aiheuttaa tyypillisesti yhden ylimääräisen tuennan läpituontojen välillä ja siten kahdeksan ylimääräistä tuentaa päällysrakenteen 40 vuoden käyttöiän aikana. Jos ajatellaan, että joka toinen ylimääräinen tuenta tehdään ilman täydennyssepelöintiä, ja joka toisella kertaa raide myös täydennyssepelöidään, niin lisääntyneestä kunnossapidosta aiheutuu peräti 244 €/rd-m kunnossapitokustannus. Asennettaessa routalevy välikerroksen alle, tätä kunnossapitokustannusta ei synny Kv-Lä-rataosan havaintoaineiston perusteella lainkaan.

## 7.3 Kustannukset ilman routalevyä

Routalevyjen tarkoituksena on vähentää routimisesta aiheutuvia geometriavirheitä ja siten routimisesta aiheutuvaa liikennehaittaa. Roudanhallintaraporttien perusteella routimisesta aiheutuvia nopeusrajoituksia on ollut runsaasti viimeksi talvina 2010 ja 2011. Kyseisinä talvina roudasta aiheutuvia nopeusrajoituksia oli vastaavasti yhteensä 1 068 ja 827 raidekilometrin matkalla. Tämän jälkeen routasuojauksista on parannettu ongelmallisilla rataosilla ja talvet ovat olleet myös leutoja. Talven 2022 aikana nopeusrajoituksia oli yhteensä 11,3 raidekilometrin matkalla ja routapaikkoja ilmoitettiin yhteensä 27 kpl, joista kahdelle asennettiin säätölevyjä. Teoreettiset routahaitan aiheuttamat myöhästymisminuutit olivat Tornio-Kolari-rataosalla 3,7 min ja muilla rataosilla alle 2 min. Kunnossapitoalueilla 1, 2, 3, 6 ja 9 ei tullut lainkaan routailmoituksia. Arvioitu korjaustarve routakestävyys F10 tavoitetasolle pääsemiseksi on 291–364 raidekilometriä. (Roudan hallintaraportti 2022)

Eniten mahdollisia myöhästymisminuutteja aiheuttavat vilkkaasti liikennöidyille rataosille asetetut nopeusrajoitukset. Näitä on viime vuosina ilmennyt suhteellisen vähän. Viimeksi merkittävää liikennehaittaa (3 001 – 5 000 myöhästymisminuuttia) aiheuttivat vuonna 2019 Kv-Lä-rataosalle roudan takia asetetut nopeusrajoitukset. Tätä aikaisemmin merkittävää liikennehaittaa roudan takia on ollut talvella 2013, jolloin useilla rataosilla kirjattiin myöhästymisminuutteja alkaen muutamista minuuteista Kokkola-Ylivieska-rataosan 20 001 – 30 000 minuuttiin. Tätä aikaisemmin vastaavaa myöhästymisminuuttien tulostusta ei ole tehty. Talven 2010 routahaittaa kuvataan teoreettisena matka-ajan hidastumisena, joka on ollut esim. Kokkola-Ylivieska-rataosalla yli 20 min. (Roudan hallintaraportit vuosilta 2010–2022)

Nopeusrajoitusten takia aiheutuvat myöhästymiset aiheuttavat harmia monella tasolla, mutta myöhästymisistä aiheutuva kustannus on silti hankalasti määriteltävä asia. Esimerkiksi *Ratahankkeiden arviointiohje* (VO 39/2020) ja *Rataverkon korjaushankkeiden arviointiohje* (VO 10/2022) määrittelevät laskentatapoja rakennustai korjaushankkeen vaikutuksista. Näissä ohjeissa otetaan huomioon ratahakkeen tuottaman ajansäästön vaikutuksia laajasti, mutta ikään kuin päinvastaisesta näkökulmasta myöhästymisiin verrattuna. Arvioinnit sisältävät monia näkökulmia, joita on hankala määrittää. Yksinkertaisimmillaan liikennehaitta voidaan määrittää



junassa olevien ihmisten ajankäytön avulla. Esimerkiksi vuonna 2021 Kv–Lä-rataosalla tehtiin 650 000 henkilöliikenteen matkaa, mikä on keskimäärin 1 780 matkaa päivässä. Kyseisellä rataosalla liikennöi 7 junaparia vuonna 2022, eli 14 junavuoroa arkipäivisin. Keskimäärin yhdessä junassa oli siis 127 matkustajaa. Vuonna 2019 aiheutuneet myöhästymiset aiheuttivat siten matkustajien ajankäytön lisääntymisen 6 350 – 10 580 tunnilla. Suomalaisten palkkatulon mediaani tammikuussa 2022 oli 2 968 €/kk, josta yhden tunnin arvoksi saadaan 19,15 euroa (Tilastokeskus). Routahaitasta Kv–Lä-rataosalla aiheutui ajankäytön näkökulmasta katsottuna 122 000 – 203 000 euron kustannukset.

Välilliset kustannukset lisäävät liikennehaitan aiheuttamia kustannuksia ja myös operaattoreilla on myöhästymiseen liittyviä sakkomaksuja. Yksittäisen myöhästymisen suuruutta ei tunneta tarkasti, mutta routahaittaa voidaan olettaa ilmenneen ajanjaksolla maaliskuu–toukokuu, jolloin rataosalla liikennöi noin 1 200 junavuoroa. Keskimääräinen myöhästymisen oli siten 2,5–4 minuuttia. Routahaitasta aiheutuneet myöhästymiset olivat keskimäärin niin pieniä, että välilliset kustannukset voidaan yksinkertaisuuden vuoksi jättää huomiotta.

Kv–Lä-rataosalla on ollut muina 2010-luvun talvina varsin vähän myöhästymisminuutteja, joten routahaitasta syntyvät kustannukset matkustajille ovat varsin pienet vuositasolla. On kuitenkin todennäköistä, että ilman routasuojauksen parantamista vastaavat tai suuremmat liikennehaitat realisoituvat muutaman kerran päällysrakenteen elinkaaren aikana. Esimerkiksi päällysrakenteen uusimista pystytään tekemään myöhästymisistä aiheutuvilla teoreettisilla kustannuksilla vain muutamman sadan metrin matkalle. Pelkästään routalevyn materiaali- ja asennuskustannukset huomioden routasuojauksista pystytään tekemään jonkin verran laajemmin, jopa 2,6 rd-km matkalle. Esimerkiksi Kv–Lä-rataosalla kyseinen routasuojauslaajuus olisi enemmän kuin riittävä poistamaan kaikki routimisesta aiheutuvat geometriavirheet tulevaisuudessa.

## 7.4 Elinkaarikustannukset

Tämän tutkimuksen havaintojen valossa on ilmeistä, että suoraan tukikerroksen alle asennettu routalevy lisää kunnossapitotarvetta aiheuttaen ylimääräisiä kunnossapitokustannuksia verrattuna vastaavaan routalevyttömään rakenteeseen ja routalevyn asennukseen välikerroksen alle. Routalevyn asennuksesta tukikerroksen alle aiheutuvat kunnossapitokustannukset päällysrakenteen elinkaaren aikana ovat jopa merkittävästi suuremmat kuin lisääntyneet asennuskustannukset asennettaessa routalevy välikerroksen alle yksiraiteisella radalla.

Syvempi asennustapa pidentää routalevyn elinkaarta, koska routalevyn kohdistuu pienempi junaliikenteen aiheuttama kuormitus. Myös raideseppelin elinkaari pitee, sillä routalevystä aiheutuva kimmoinen muodonmuutos pienenee. Voidaan kuitenkin perustellusti olettaa, että nykyisin käytetty XPS-routalevy kestää päällysrakenteen elinkaaren ajan molemmilla asennussyvyyksillä liikennemäärästä riippumatta. Myös tukikerroksen hienoneminen on hallittavissa molemmilla asennussyvyyksillä, sillä nykyisten raideseppelin laatuvaatimusten mukaiset sepelit kestävät hyvin liikennekuormitusta.

Välikerroksen uusiminen kasvattaa kustannuksia tehden syvemmästä asennustavasta entistä kalliimman. Uuden välikerroksen avulla parannetaan radan kuormituskkestävyyttä kokonaisuutena ja välikerroksen uusimisen kustannus on lopulta

melko vähäinen päällysrakenteen elinkaarikustannuksiin verrattuna. Uuden välikerroksen myötä myös vanha jauhaantunut raidesepeleli tulee poistetuksi, eikä jauhaantuneen raidesepelelin mahdollinen routivuus tai muuttuminen routivaksi aiheuta routahaittaa myöskään tulevaisuudessa.

Kaksoisraiteella routalevyn asentaminen välikerroksen alle saattaa olla mahdollisesti tarvittavan tukiseinätarpeen takia niin kallista, että kokonaiskustannusten kannalta voi olla järkevämpää asentaa routalevy suoraan tukikerroksen alle. Mikäli liikenne voidaan pysäyttää molemmilla raiteilla työn ajaksi tai raideväli on niin suuri, että tukiseinää ei tarvita, myös kaksoisraiteella on elinkaaritaloudellisesti järkevämpää sijoittaa routalevy välikerroksen alle.

Otetaan hypoteettinen laskuesimerkki Kv–Lä-rataosaa vastaavalta liikennepaikkaväliltä, jossa viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävää routahaittaa on esiintynyt yhtenä talvena ja routahaittaa esiintyy kokonaispituudeltaan 2000 metrin matkalla. Pyritään laskemaan routasuojauksen elinkaarikustannukset eri asennussyvyyksillä ja verrataan sitä nolatilanteeseen, jossa routasuojausta ei paranneta. Liikennehaittana käytetään edellisessä kappaleessa määritettyä summaa myöhästymisistä aiheutuvasta aikamenetyksistä matkustajaliikenteessä. Routahaitat oletetaan niin vähäisiksi, että nopeusrajoitukset eivät vaikuta tavaraliikenteen matka-aikoihin. Myöskään kerrannaisvaikutuksia eri rataosille ei oteta huomioon. Laskenta-aikana käytetään 40 vuotta eli päällysrakenteen elinkaarta. Oletetaan, että tukikerros ja routalevy kestävät päällysrakenteen elinkaaren ajan.

Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 9. Tehdyillä laskentaoletuksilla routasuojaus routalevyjä käyttämällä vaikuttaa kannattavalta investoinnilta molemmilla asennussyvyyksillä tarkasteltuna. Tapauksessa, jossa routalevy asennetaan tukikerroksen alle, kunnossapitokustannukset ovat merkittävän suuret. Routalevyn asennus välikerroksen alle johtaa selkeästi pienempiin elinkaarikustannuksiin yksiraiteisella rataosalla. Kaksoisraiteen mahdollisesti tarvitsema työnaikainen tukiseinärakenne tasoittaa tilannetta asennussyvyyksien välillä. Suurin yksittäinen vaikuttava tekijä on ylemmästä routalevyn asennussyvyydestä aiheutuva kunnossapitokustannus. Routalevyn asennus välikerroksen alle on kokonaistaloudellisesti järkevää myös siksi, että välikerroksen uusiminen parantaa radan kuormituskestävyyttä yleisesti ottaen.

*Taulukko 9. Routasuojauksen elinkaarikustannukset esimerkkitapauksessa erilaisissa routasuojausvaihtoehdoissa päällysrakenteen 40 vuoden elinkaaren aikana, kun routasuojaustarvetta ilmenee rataosalla 2 000 metrin matkalla.*

	<b>Ei routalevyä</b>	<b>Routalevy tuki-kerroksen alla</b>	<b>Routalevy välikerroksen alla</b>
<b>Routimisesta aiheutuva liikennehaitta</b>	203.000 €/talvi 4 routatalvea 812.000 €		
<b>Routimisesta aiheutuva kunnossapitokustannus</b>	2 x tuenta 20 €/rd-m 2 x tuenta + sepelöinti 41 €/rd-m 244.000 €		
<b>Routalevyn asennuskustannus</b>		65 €/rd-m 130.000 €	113 €/rd-m 226.000 €
<b>Routalevyn materiaalikustannus</b>		77 €/rd-m 154.000 €	77 €/rd-m 154.000 €
<b>Raiteiden välinen työnaikainen tukiseinä *</b>			157 €/rd-m 314.000 €
<b>Uuden välikerroksen asennuskustannus</b>			45 €/rd-m 90.000 €
<b>Kunnossapitokustannus **</b>		4 x tuenta 20 €/rd-m 4 x tuenta + sepelöinti 41 €/rd-m 488.000 €	
<b>Elinkaarikustannukset yhteensä</b>	1.056.000 €	772.000 €	470.000 €

\* Tukiseinätarve on tapauskohtainen, saatetaan tarvita kaksoisraiteella

\*\* Tuentatarve saattaa vähentyä liikenteen tiivistettyä rakenteen, mutta vastaavasti tuentatarvetta ilmenee todennäköisesti laajemmalla alueella kuin ainoastaan routasuojattavalla pituudella.

## 8 Päätelmät

Radantarkastustulosten analyysin perusteella uuden routalevyosuuden rakentaminen tukikerroksen alle aiheuttaa raiteeseen pienipiirteistä korkeuspoikkeaman vaihtelua. Alkavia geometriavirheitä esiintyy painumana routalevyjakson alussa ja lopussa sekä satunnaisena muutoksena routalevyjakson matkalla. Vaihtelun poistaminen siedettävälle, työn vastaanottovaatimuksen mukaiselle, tasolle edellyttää ylimääräisiä raiteen tuentoja. Tämänkin jälkeen raiteeseen jää tavanomaista rata-rakennetta enemmän korkeuspoikkeaman vaihtelua. Lisäksi korkeuspoikkeamat kasvavat nopeammin routalevytyksissä rakenteessa kuin vastaavassa routalevyttömässä rakenteessa. Routalevytyksistä aiheutuvat geometriavirheet ovat suurimmillaan routalevytysten päädyissä. Routalevyn asentaminen tukikerroksen alle toimii radantarkastushistorian valossa heikommin kuin routalevyn asentaminen välikerroksen alle. Routalevyn asentaminen tukikerroksen alle aiheuttaa korkean kunnossapitotason radoilla ylimääräisiä kunnossapitotuentoja myös käytön aikana.

Routalevyn asentaminen välikerroksen alle tuottaa geometrian kehittymisen näkökulmasta hieman paremman lopputuloksen, sillä korkeuspoikkeaman vaihtelua esiintyy heti asennuksen jälkeen vähemmän ja poikkeamien kasvu on hitaampaa. Korkeuspoikkeaman kasvaminen D-luokan virheeksi routalevyn vaikutuksesta edellyttää varsin suurta liikennemäärää. Tavallisesti normaalit kunnossapitotuennat pystyvät pitämään korkeuspoikkeamat hallinnassa eikä varsinaisia geometriavirheitä pääse syntymään läpituentojen välillä, kun routalevy on asennettu välikerroksen alle. Ratapölkystä tehtyjen seurantamittausten havainnot vahvistavat käsitystä siitä, että routalevyn ja sen asennussyvyyden merkitys radan kuormituskäytettyymiseen on yleisesti ottaen hyvin vähäinen.

Lämpöteknisesti tarkasteltuna routalevyn asennussyvyydellä ei ole suurta käytännön merkitystä. Roudan tunkeutumissyvyys penkerein keskellä on laskennallisesti arvioituna sama routalevyn asennussyvyydestä riippumatta lumettomassa tilanteessa. Kun lumen suojaava vaikutus otetaan huomioon, routasuojausvaikutus on hieman parempi silloin, kun routalevy sijoitetaan rakenteessa mahdollisimman ylös. Routalevyn reunan alueella routa tunkeutuu syvemmälle kuin keskellä penkertä. Lumetilanteessa routalevyn hyöty routasuojausnäkökulmasta katsottuna vähenee, varsinkin raiteen reunan alueella.

Lähtökohtaisesti routalevyt auttavat ainoastaan riittämättömän rakennekerrospaksuuden aiheuttamiin routaongelmiin. Routimisen ilmetessä myös leutoina talvina, routalevyjä ei tulisi käyttää lainkaan korjaustoimenpiteenä. Jokavuotisessa routaongelmassa routiva materiaali sijaitsee niin korkealla rakenteessa, että routaongelmia ilmenee jatkossa ankarampina talvina routalevytyksestä huolimatta. Routalevyt ovat kustannustehokas korjaustapa, kun routimattomien rakennekerrosten paksuus on riittämätön. Silloinkin routalevyjen käytössä kannattaa suosia melko pitkiä jaksoja tarpeettomien epäjatkuvuuskohtien välttämiseksi.

Liikennekuormasta routalevyyn kohdistuva rasiustaso on pienempi, kun routalevy asennetaan välikerroksen alle. Pienempi rasiustaso pidentää routalevyn käyttöikää ja välillisesti myös raidesepelin käyttöikää, sillä pienemmän palatuvan painuman takia myös sepelin hienoneminen on vähäisempää. Nämä tekijät yhdessä tuottavat pitkällä aikavälillä pienemmän kunnossapitotarpeen. Kuormituskestävyyteen liittyvillä seikoilla on tosin oletettavasti merkitystä vain kaikista vilkasliikenteisimmillä radoilla ja niilläkin vaikutukset lienevät hallittavissa laadukkaana raidesepelin avulla.

Vaikutussuunta on kuitenkin kiistaton, eli kuormituskestävyyšnäkökulmasta katsottuna routalevy kannattaa asentaa mahdollisimman syvälle.

Asennusteknisesti routalevyn asentaminen tukikerroksen alle on helpompaa ja halvempaa. Kustannuslisä syvemmästä asennussyvyydestä aiheutuen on runsaat 10 % -yksikköä päällysrakenteen vaihdon kokonaiskustannuksista. Routalevyn asentaminen tukikerroksen alle aiheuttaa kuitenkin tätä suuremmat kunnossapitokustannukset. Asennuspaikan olosuhteet, kuten käytettävissä olevat työraot, huoltotien olemassaolo, viereiset raiteet, jne. vaikuttavat merkittävästi työsuoritukseen etenkin silloin, kun myös välikerros rakennetaan uusista materiaaleista. Useampi-raiteisilla rataosilla syvempi asennustapa voi edellyttää tukiseinän rakentamisen raiteiden väliin, mikä nostaa asennuskustannuksia merkittävästi. Näistäkin reunaehdoista huolimatta useimmissa tapauksissa routalevyn asentaminen välikerroksen alle on elinkaarikustannuksiltaan edullisempi ratkaisu.

Routalevyjen asentaminen välikerroksen alle ja uusista materiaaleista rakennettu välikerros tuottaa teknisesti ja myös elinkaarikustannusten valossa parhaan lopputuloksen. Vanha jauhaantunut tukikerros poistuu samalla aiheuttamassa mahdollisia routaongelmia tulevaisuudessa. Uuden välikerroksen rakentaminen parantaa rakenteen kuormituskestävyyttä kokonaisuutena. Varautuminen kunnossapitotason nousuun tulevaisuudessa onnistuu myös parhaiten asentamalla routalevyt aina välikerroksen alle. Lisäksi syvempi asennustapa mahdollistaa tukikerroksen vaihdon tai puhdistuksen tulevaisuudessa ilman, että routalevyt ovat vaarassa rikkoutua.

## Lähdeluettelo

- /1/ IHKU-laskentapalvelut. Ihku-allianssi.
- /2/ InfraRYL. Rakennustieto.
- /3/ Katu.info. Viitattu 28.11.2022. Saatavilla <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/pohjarakennussuunnittelu/>
- /4/ Nurmikolu A. & Kolisoja P. (2001). XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- /5/ Nurmikolu A. & Kolisoja P. (2002). Ratarakenteen routasuojaus. Ratahallintokeskuksen julkaisuja 1/2002.
- /6/ Nurmikolu, A. (2004). Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa; Kirjallisuusselvitys. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 4/2004. Helsinki, Ratahallintokeskus. 193 s.
- /7/ Nurmikolu A. (2006). Ratarakenteessa käytettävien kalliomurskeiden hienoneminen ja routimisherkyys. Kokeellinen tutkimusosuus.
- /8/ Päälysrakennetöiden yleinen työselitys (RHK D16).
- /9/ Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3. Radan rakenne. Liikenneviraston ohjeita 13/2018
- /10/ Saarikoski, T. (2020). Kapillaarisen nousukorkeuden määrittäminen ja hyödynnettävyys radan alusrakennemateriaalien laadun arvioinnissa (Diplomityö, Tampereen yliopisto).
- /11/ Sauni, M. (2018). Radan kuormituskestävyyden arviointi tiedonlouhintamenetelmällä (Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto).
- /12/ Sauni, M. (2022). Sähköpostikirjeenvaihto Mikko Sauni 1.11.2022
- /13/ Soininen, S. (2013). Ratojen routaongelmat Suomessa (Diplomityö, Aalto yliopisto).
- /14/ Sundström, E. (2022). Sähköpostikirjeenvaihto Emil Sundström 17.10.2022
- /15/ Ratahankkeiden arviointiohje (VO 39/2020)
- /16/ Rataverkon korjaushankkeiden arviointiohje (VO 10/2022)
- /17/ Ratojen routasuojaustarpeen selvittäminen ja routalevyjen asentaminen (1995). Tutkimus- ja asennusohje. VR Ratayksikkö, Georyhmä.
- /18/ Roudanhallintaraportit vuosilta 2010-2022. Väylävirasto.
- /19/ Veikkolainen, T. & Kukkonen, I. (2019). Highly varying radiogenic heat production in Finland, Fennoscandian Shield. Tectonophysics, vol. 750, 93–116.

---

## Geometriahistorian visuaalinen tarkastelu

Sk-Vs-rataosan tarkastelut, sivut 2–15

Kv-Lä-rataosan tarkastelut, sivut 16–27

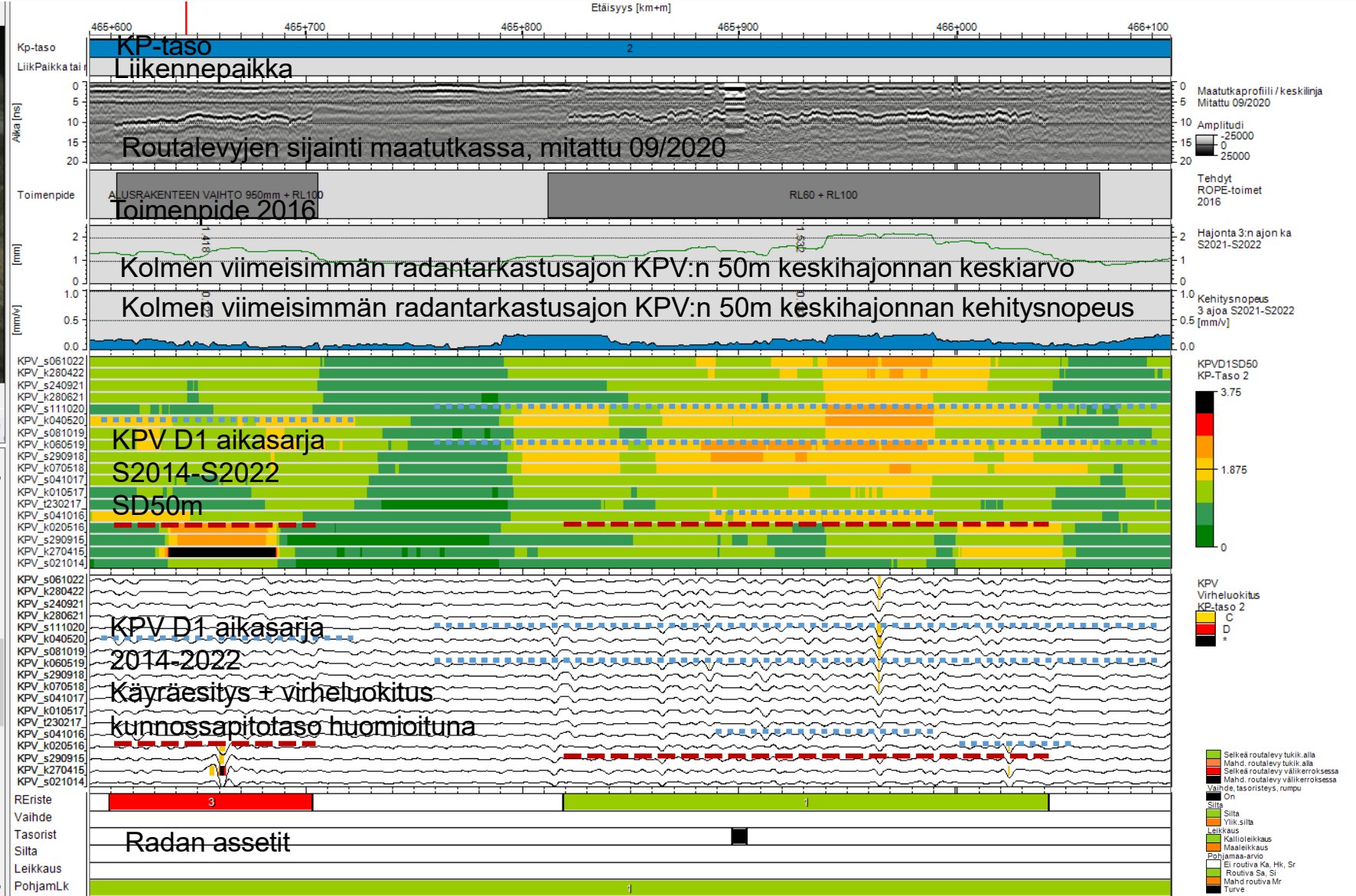
# Rail Doctor näkymäselite Sk-Vs

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 465+644.964 Rate: 1x

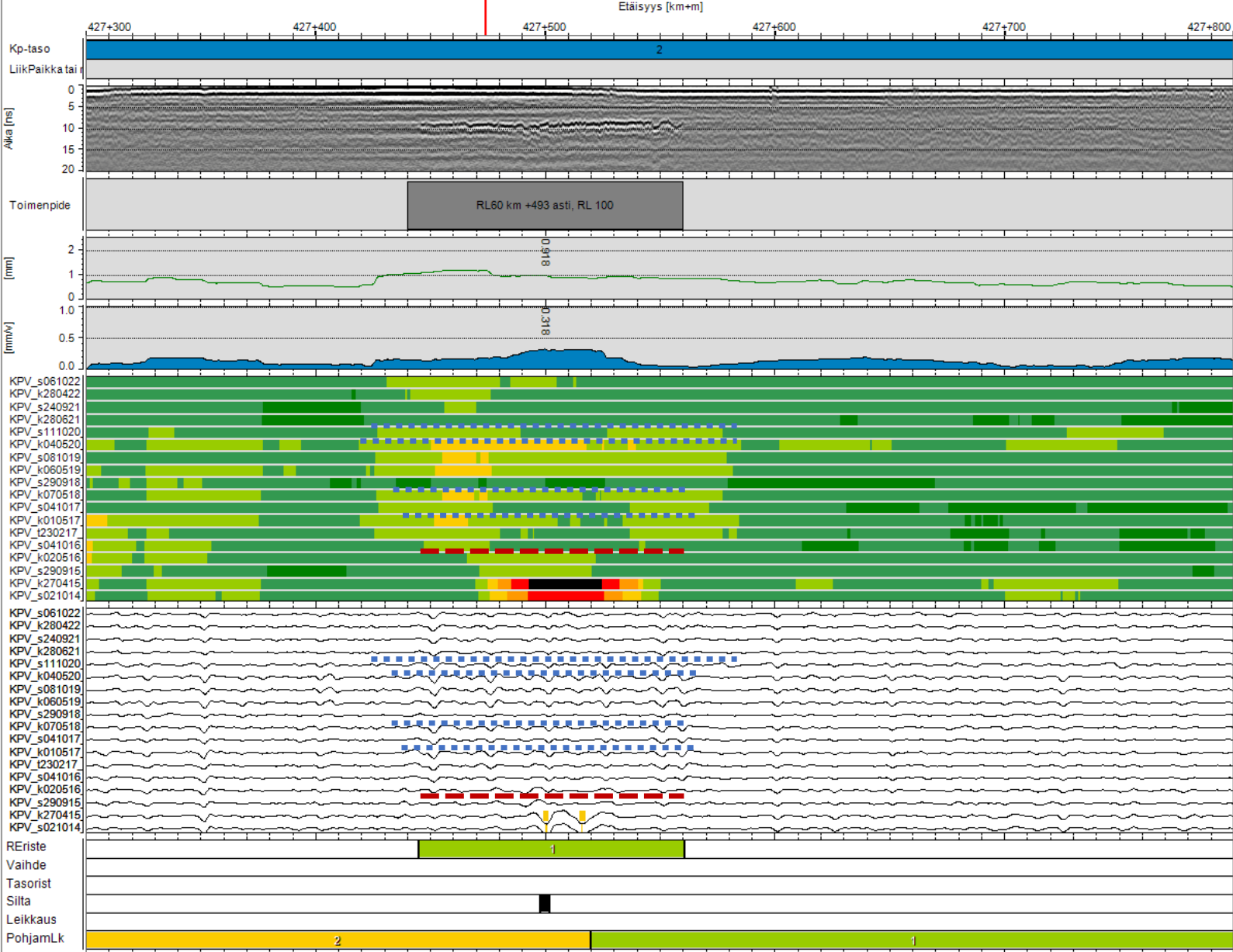




# Sk-Vs km 427 kohde 5 Routalevy tukikerroksen alla

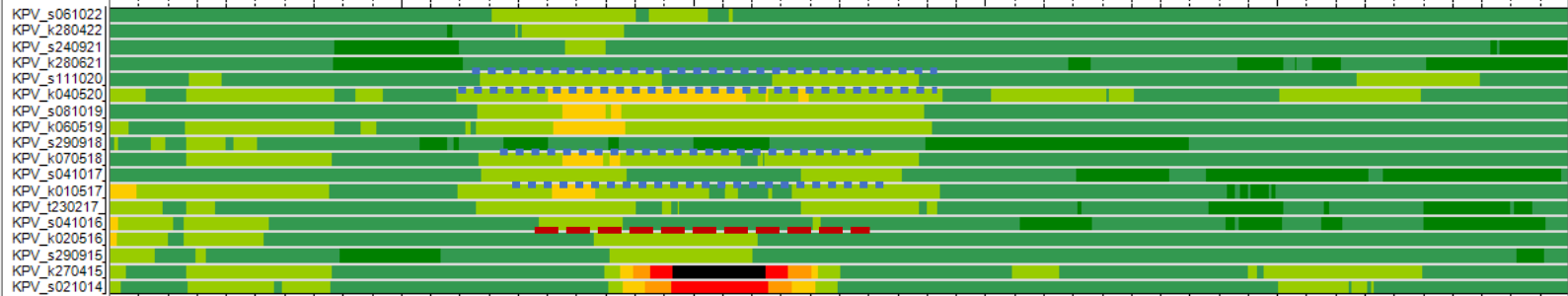


Loc: 427+ 474.46 Rate: 1x

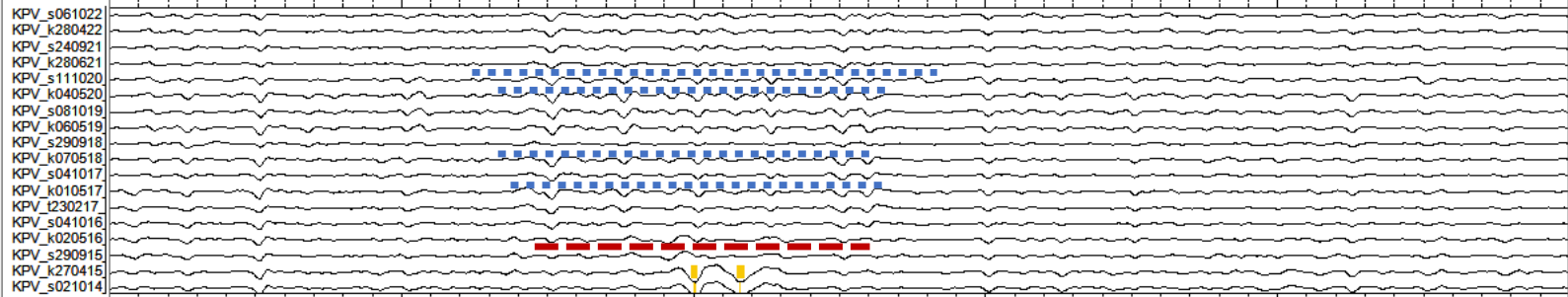


Kp-taso  
LiikPaikka tai  
Alue [ms]  
Toimenpide  
[mm]  
[mm/v]

Etäisyys [km+m]  
2  
0  
5  
10  
15  
20  
0  
2  
1.0  
0.5  
0.0



Amplitudi  
25000  
0  
25000  
Tehdyt ROPE-toimet 2016  
Hajonta 3:n ajon ka S2021-S2022  
Kehitysnopeus 3 ajoa S2021-S2022  
KPVD1SD50  
KP-Taso 2  
3.75  
1.875  
0

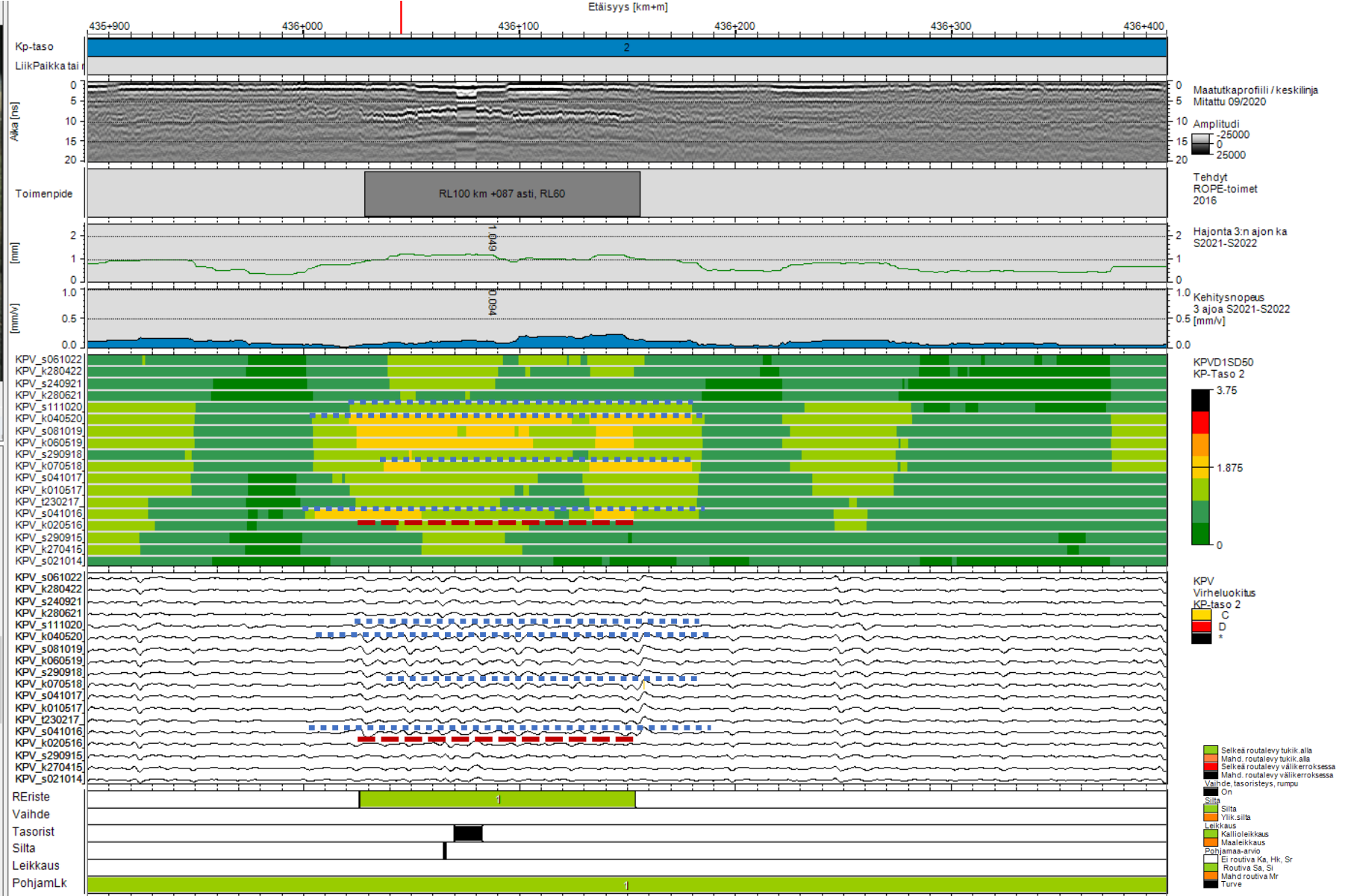
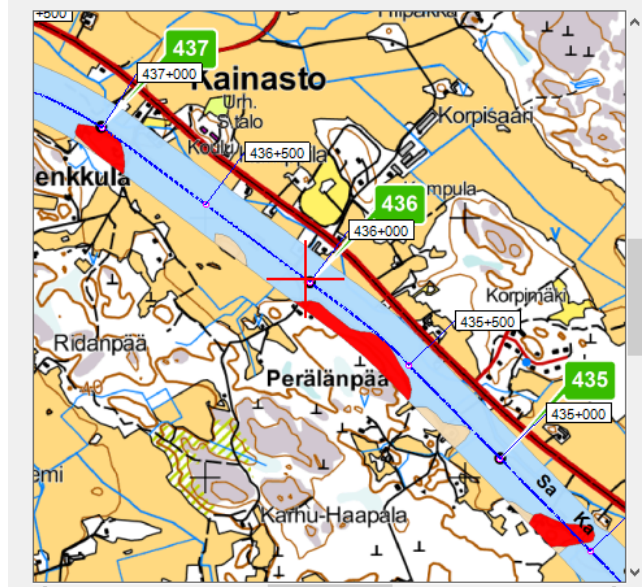
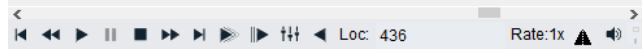


KPV Virheluokitus  
KP-taso 2  
C  
D  
\*



REiste  
Vaihte  
Tasorist  
Siita  
Leikkaus  
PohjamLk  
Selkeä routalevy tukik. alla  
Mahd. routalevy tukik. alla  
Selkeä routalevy välikerroksessa  
Mahd. routalevy välikerroksessa  
Vaihte, tasonisteytys, rumpu  
On  
Siita  
Siita  
Ylik. siita  
Leikkaus  
Kallioleikkaus  
Maaleikkaus  
Pohjamaa-arvio  
Ei routiva Ka, Hk, Sr  
Routiva Sa, Si  
Mahd routiva Mr  
Turve

# Sk-Vs km 436 kohde 7 Routalevy tukikerroksen alla



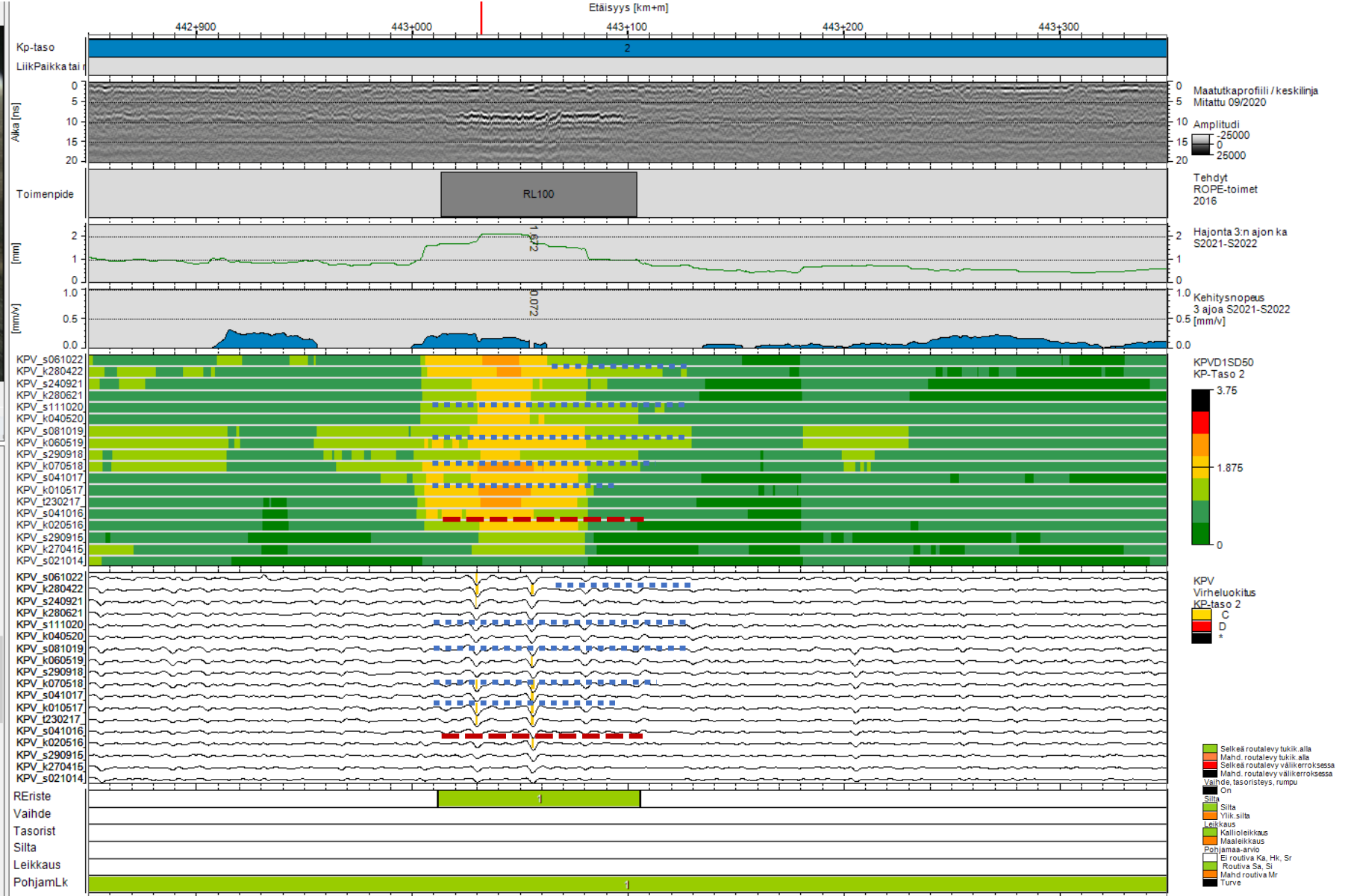
# Sk-Vs km 442-442 kohde 15 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 443+032.554 Rate:1x

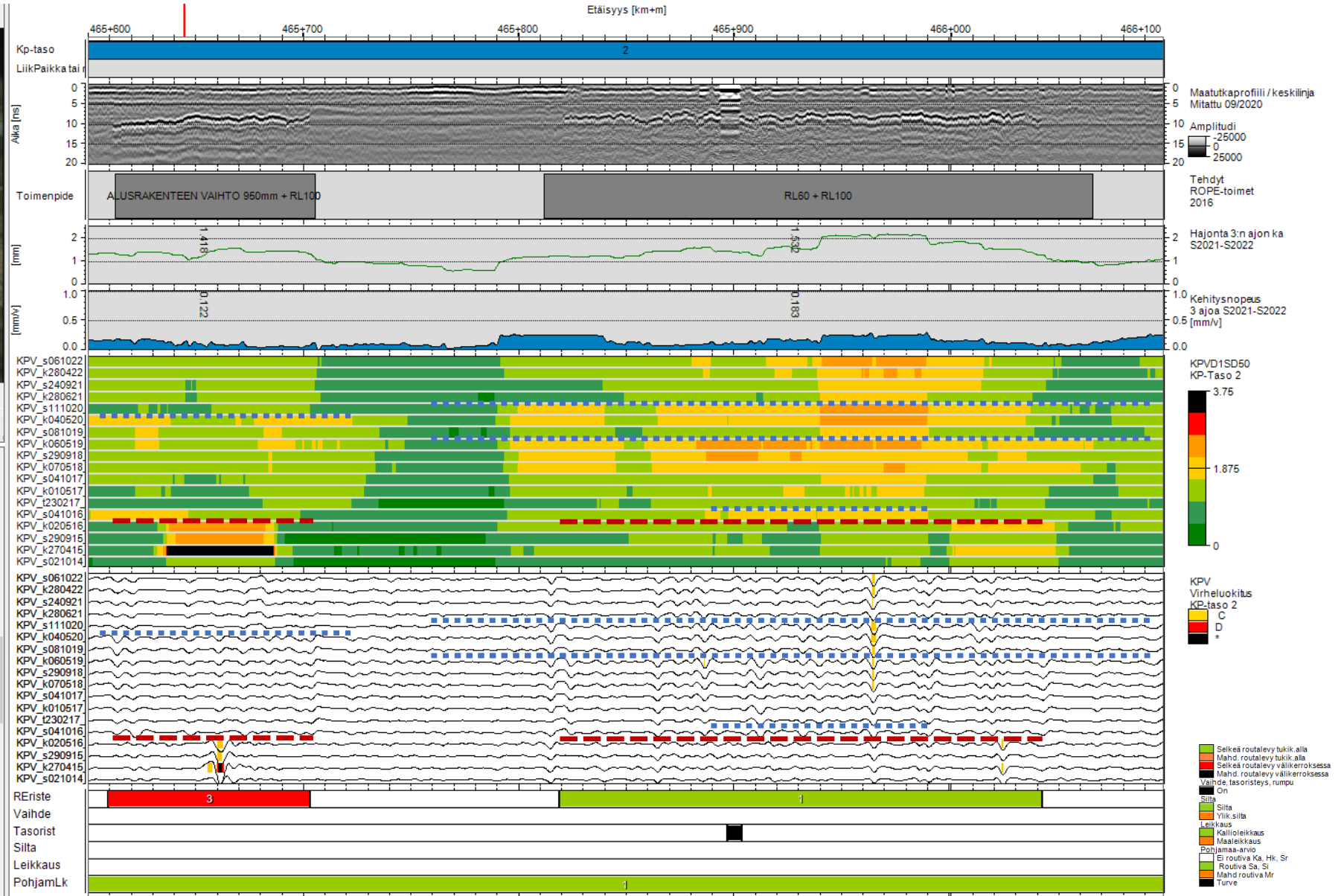


# Sk-Vs km 465-466 kohteet 36, 37-38 Routalevy alusrakenteessa & routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta - - - - - Tuenta . . . . .



Loc: 465+644.964 Rate: 1x



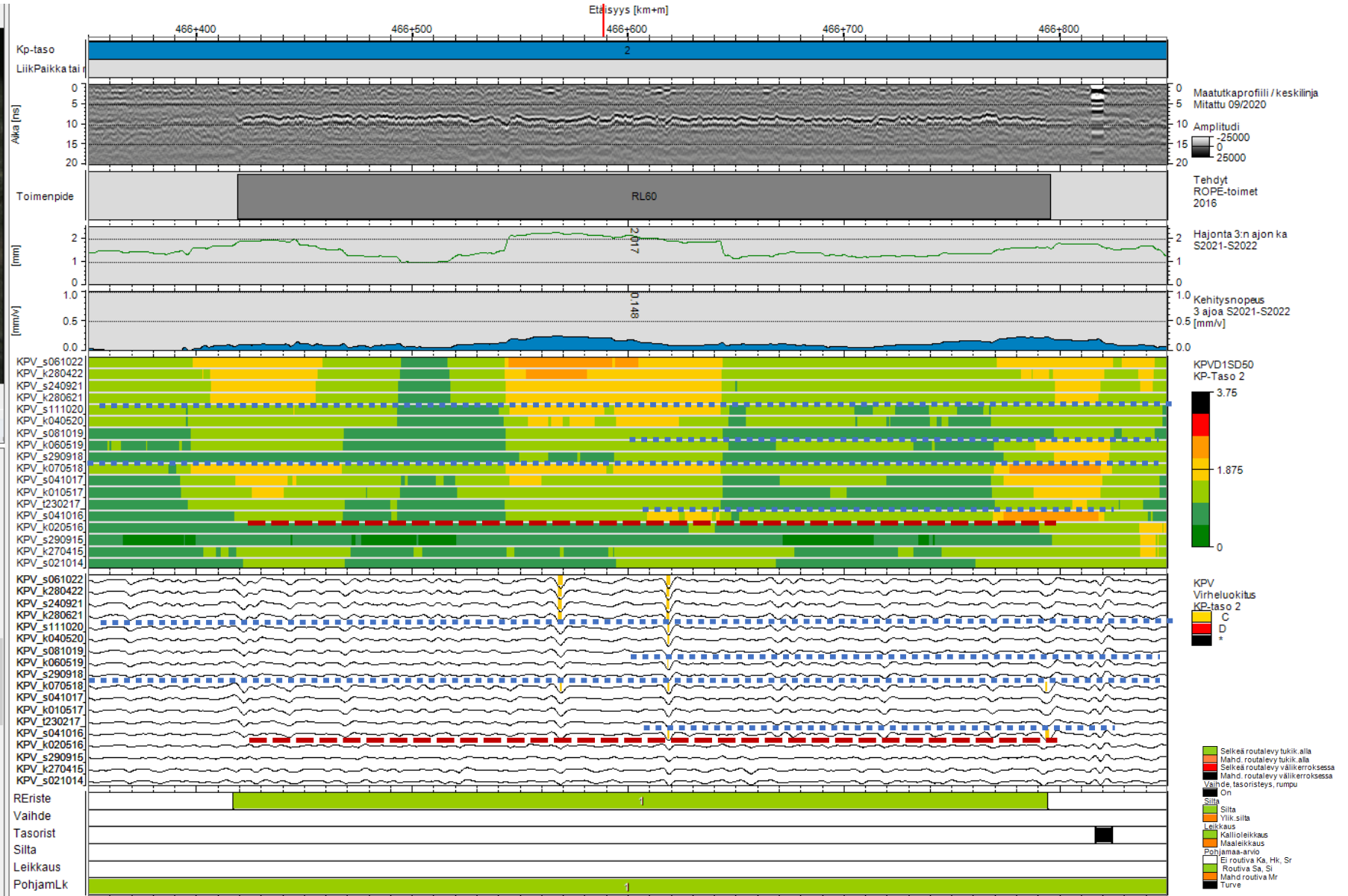
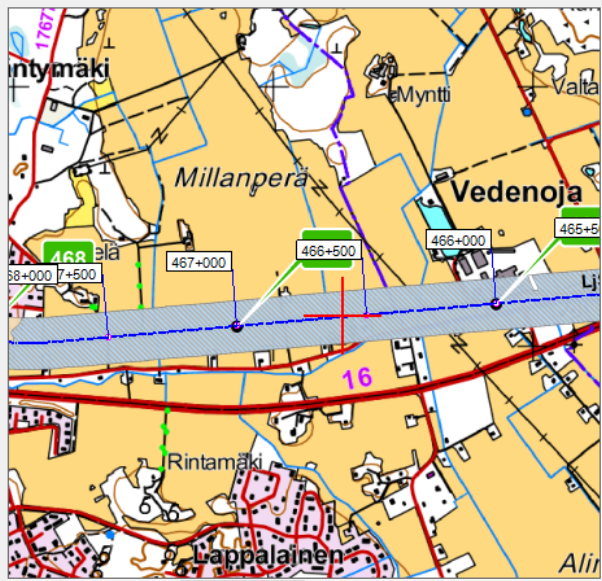
# Sk-Vs km 465-466 kohde 39 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 466 + 589.209 Rate: 1x



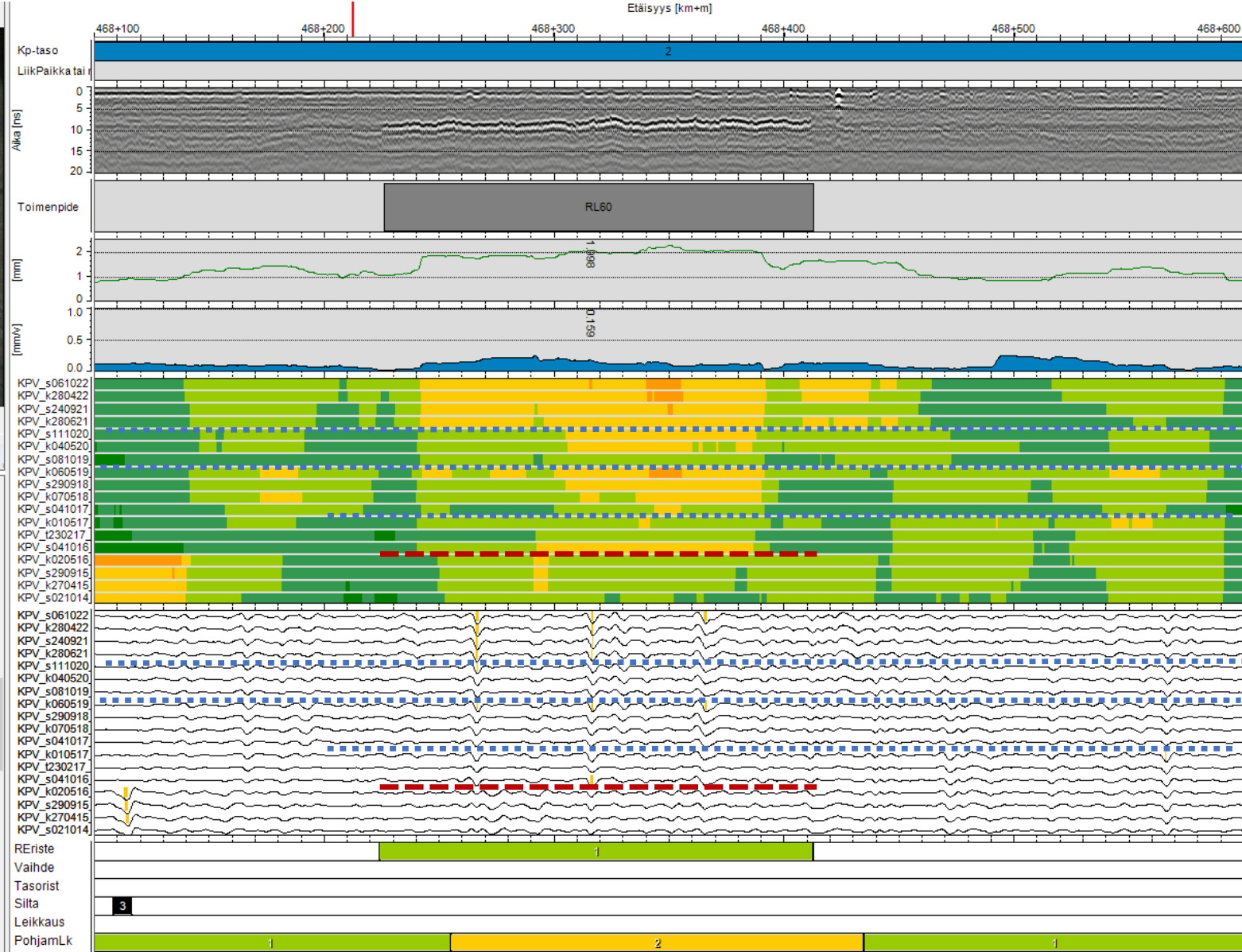
# Sk-Vs km 468 kohde 42 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 468+273.343 Rate:1x



- Maatutkaprofiili / keskilinja Mitattu 09/2020
- Amplitudi: -25000, 0, 25000
- Tehdyt ROPE-toimet 2016
- Hajonta 3:n ajon ka S2021-S2022
- Kehitysnopeus 3 ajoa S2021-S2022 [mm/v]
- KPVD1SD50 KP-Taso 2
- KPV Virheluokitus KP-taso 2
- Selkeä routalevy tukik alla
- Mahd. routalevy tukik alla
- Selkeä routalevy välikerroksessa
- Mahd. routalevy välikerroksessa
- Vaihte, tasoistustyys, rumpu
- On
- Silta
- Ylik. silta
- Leikkaus
- Kallioleikkaus
- Maatleikkaus
- Pohjama-arvio
- Ei routiva Ka, Hk, Sr
- Routiva Sa, Si
- Mahd. routiva Mr
- Turve

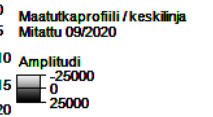
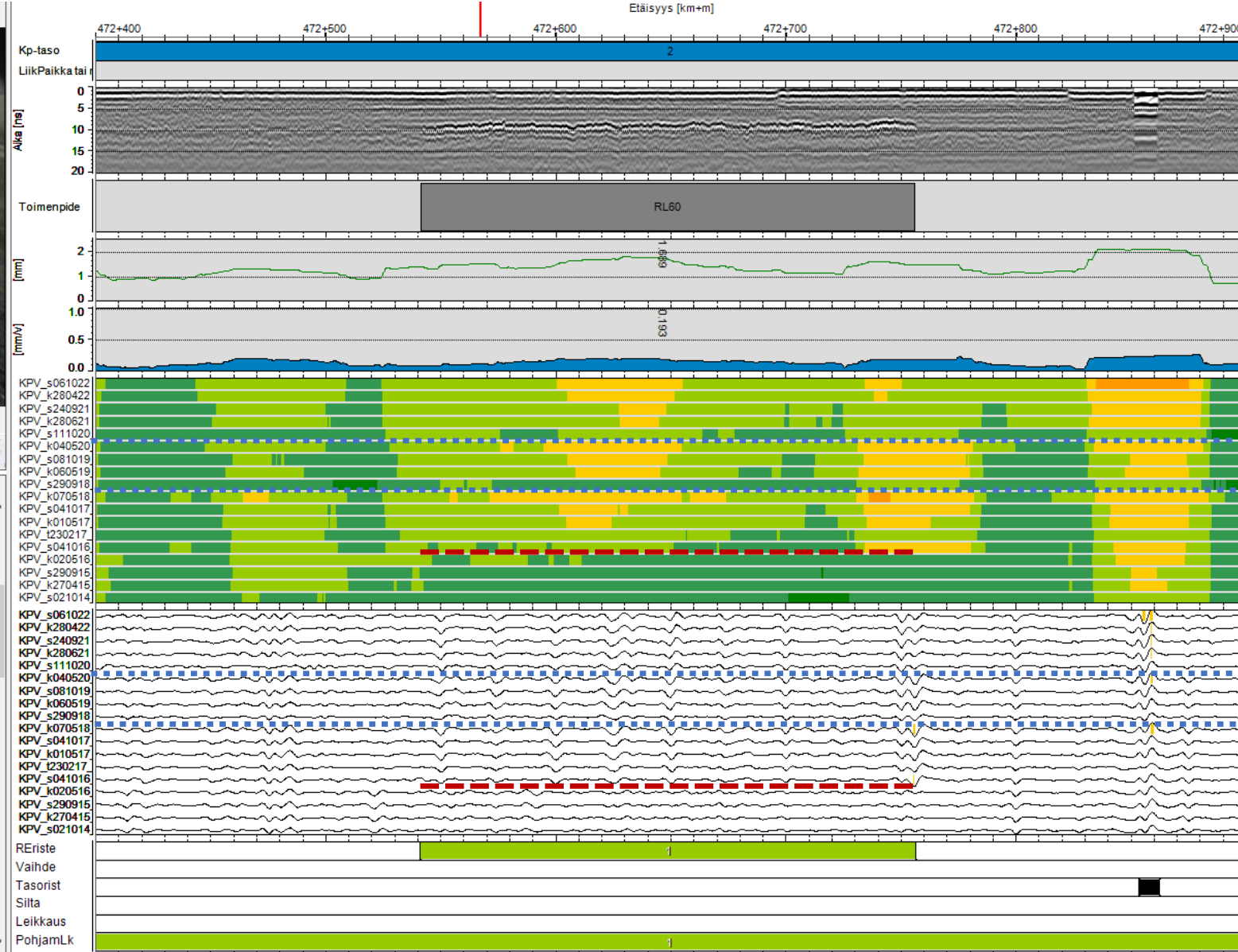
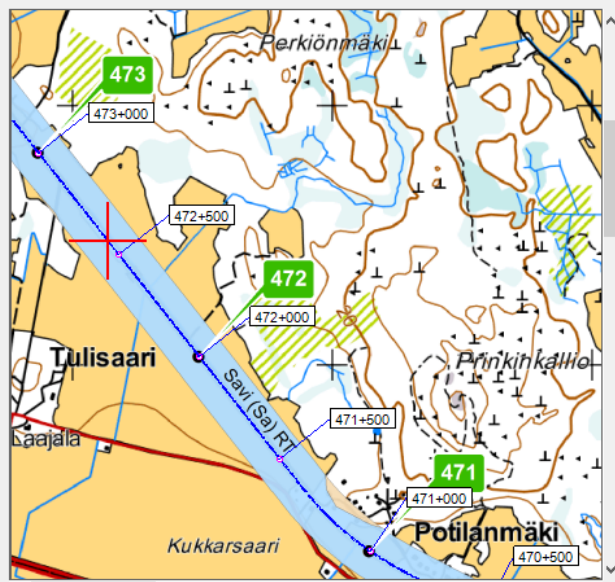
# Sk-Vs km 472 kohde 45 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



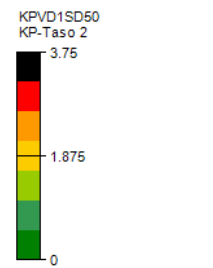
Loc: 472+567.716 Rate: 1x



Tehdyt ROPE-toimet 2016

Hajonta 3:n ajon ka S2021-S2022

Kehitysnopaus 3 ajoa S2021-S2022 [mm/V]



KPV Virheluokitus KP-taso 2

- Seikä routalevy tukik alla
- Mähd. routalevy tukik alla
- Seikä routalevy välikerroksessa
- Mähd. routalevy välikerroksessa
- Vaihte. tasoristeys, rumpu
- On
- Silta
- Silta
- Leikkaus
- Kallioleikkaus
- Määriikkaus
- Pohjamaa-arvio
- El. routiva Ka, Hk, Sr
- Routiva Sa, Si
- Mähd. routiva Mr
- Turve

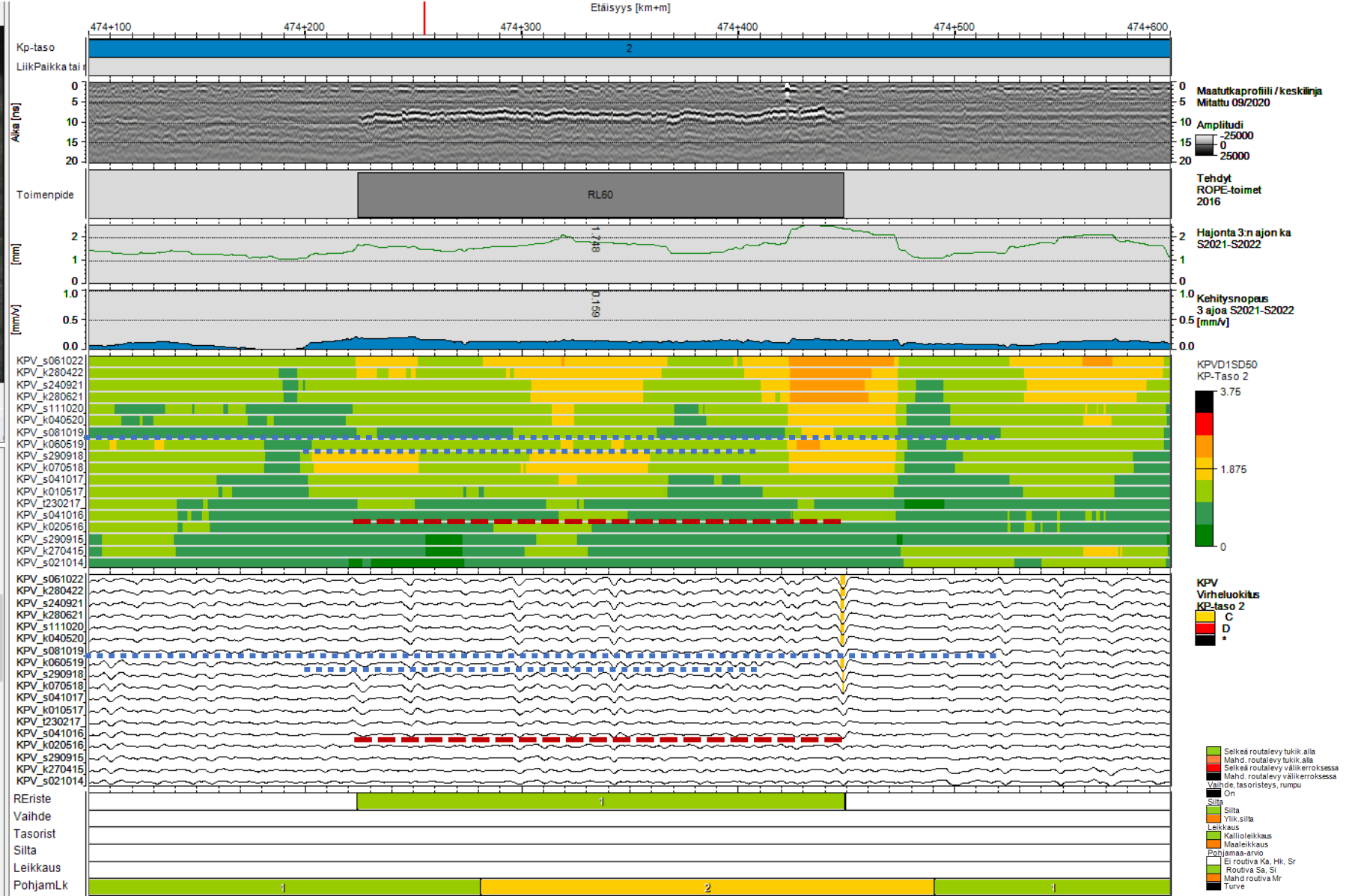
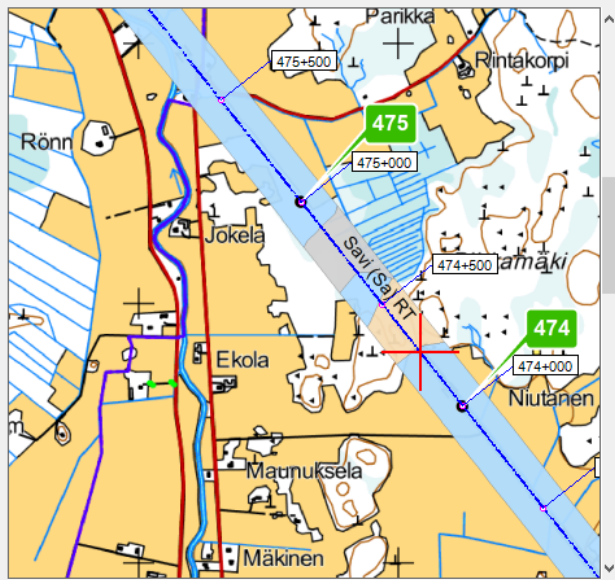
# Sk-Vs km 474 kohde 46 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 474+255.576 Rate: 1x





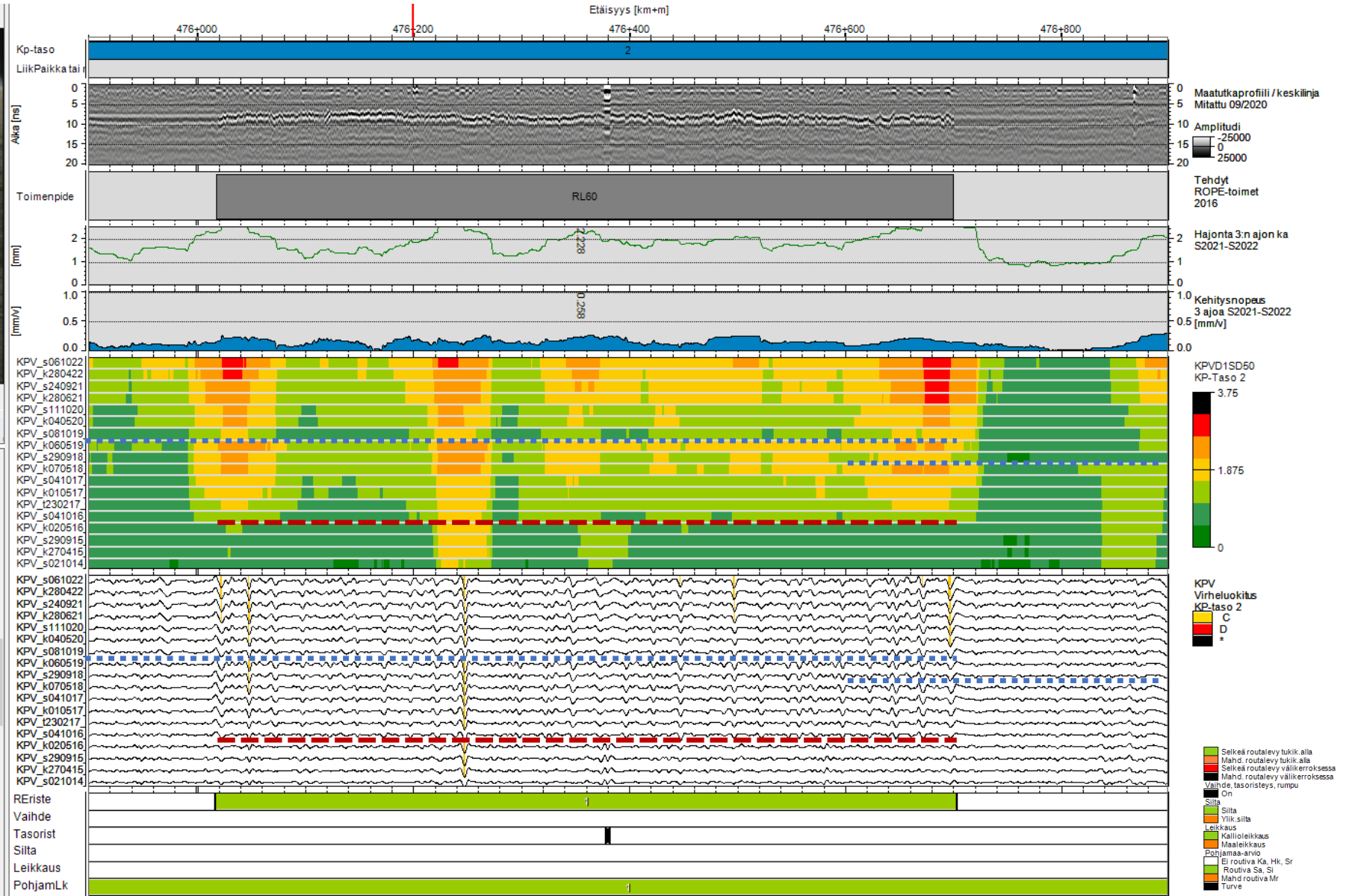
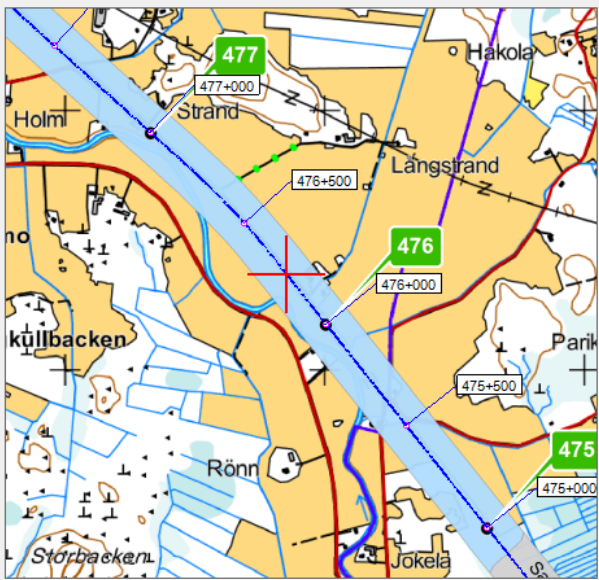
# Sk-Vs km 476 kohde 48 (huom 1 km / sivu) Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 476+200.259 Rate:1x



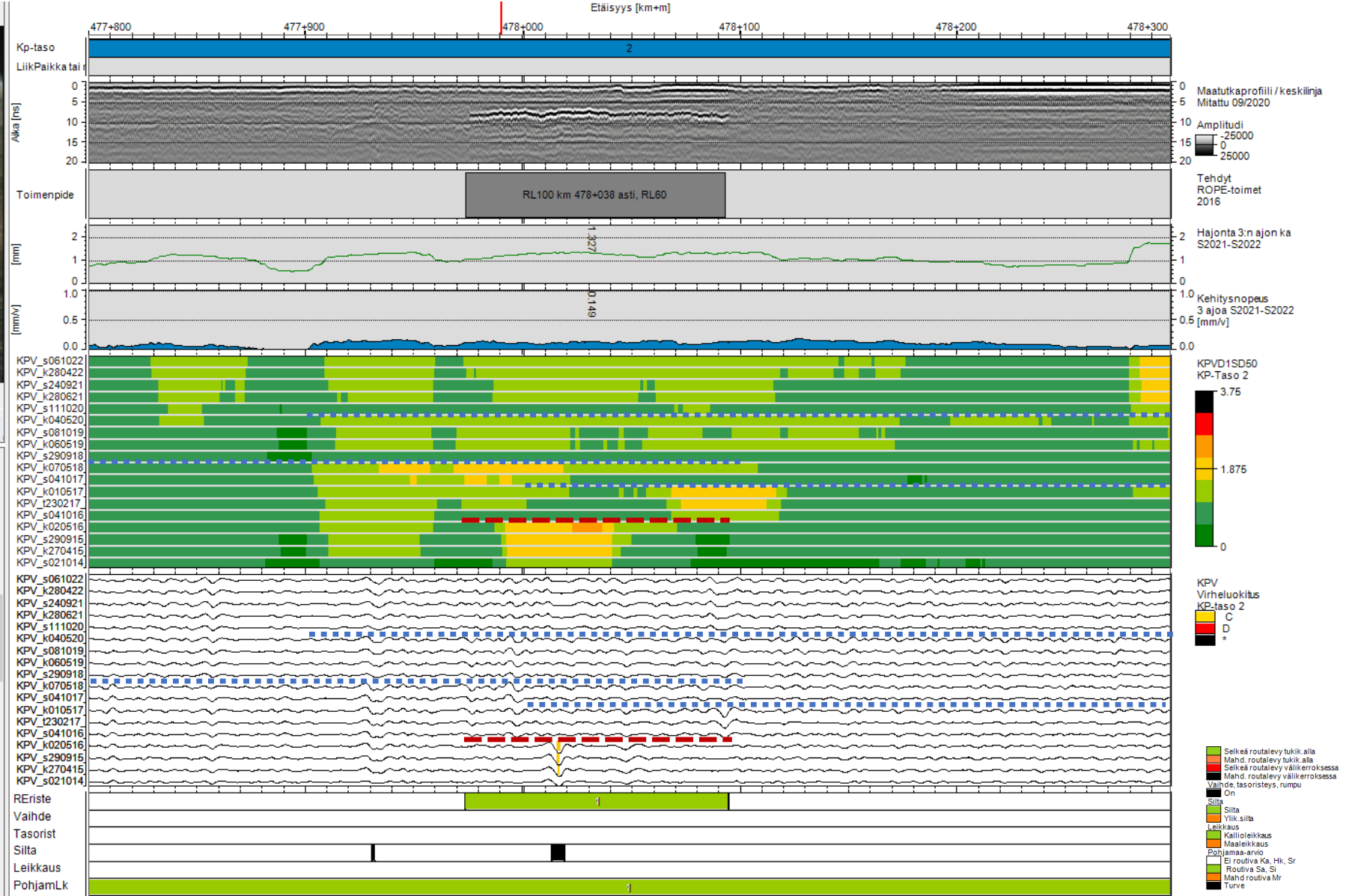
# Sk-Vs km 477-478 kohde 49 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 477+991.097 Rate: 1x



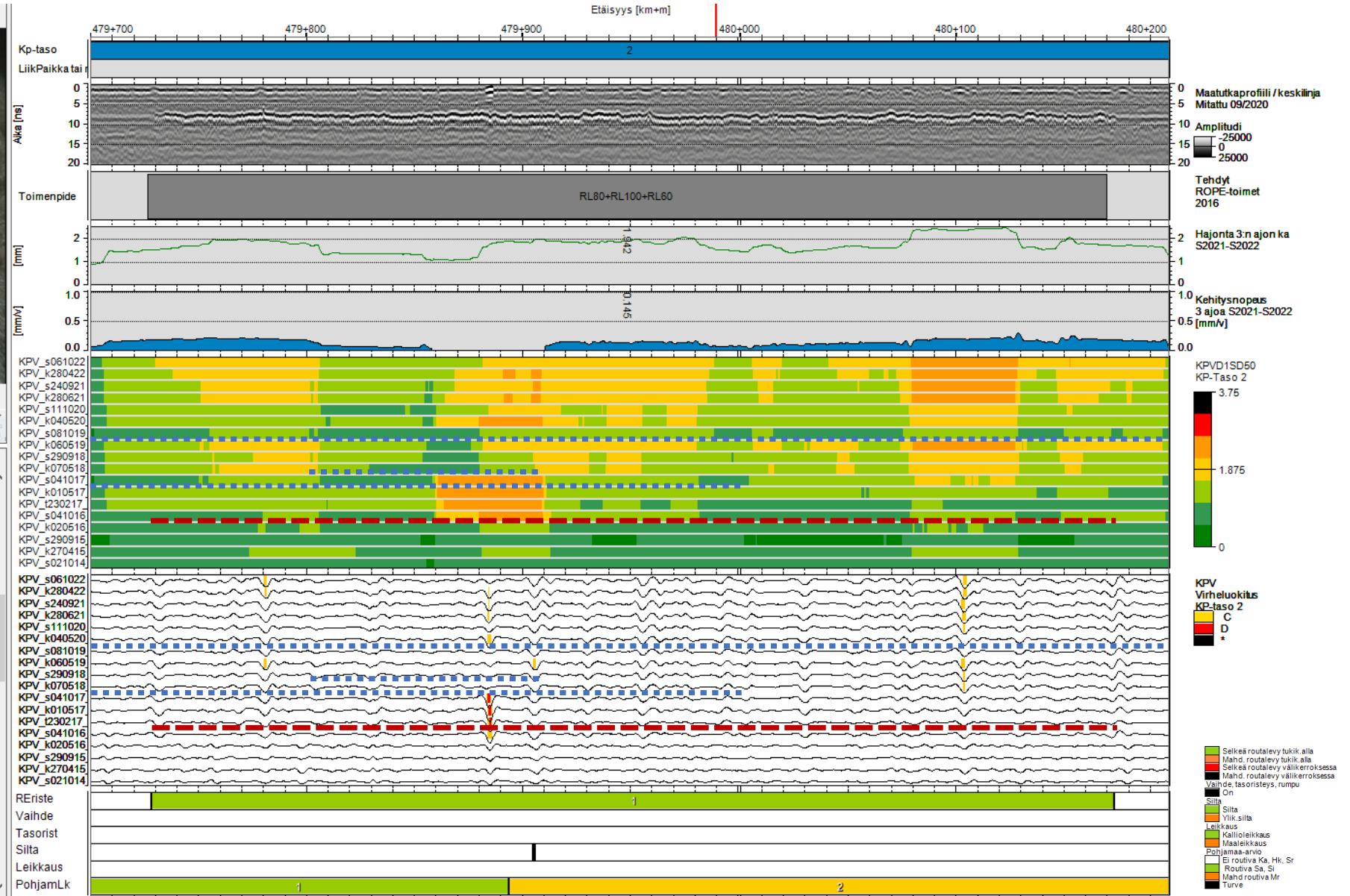
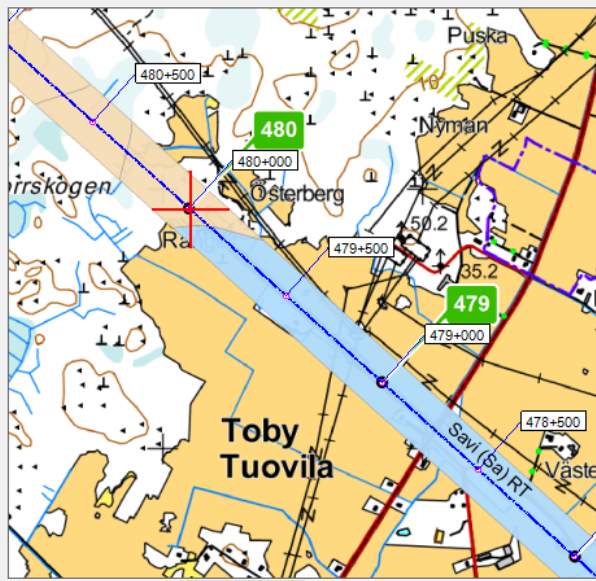
# Sk-Vs km 479-480 kohde 51-52 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



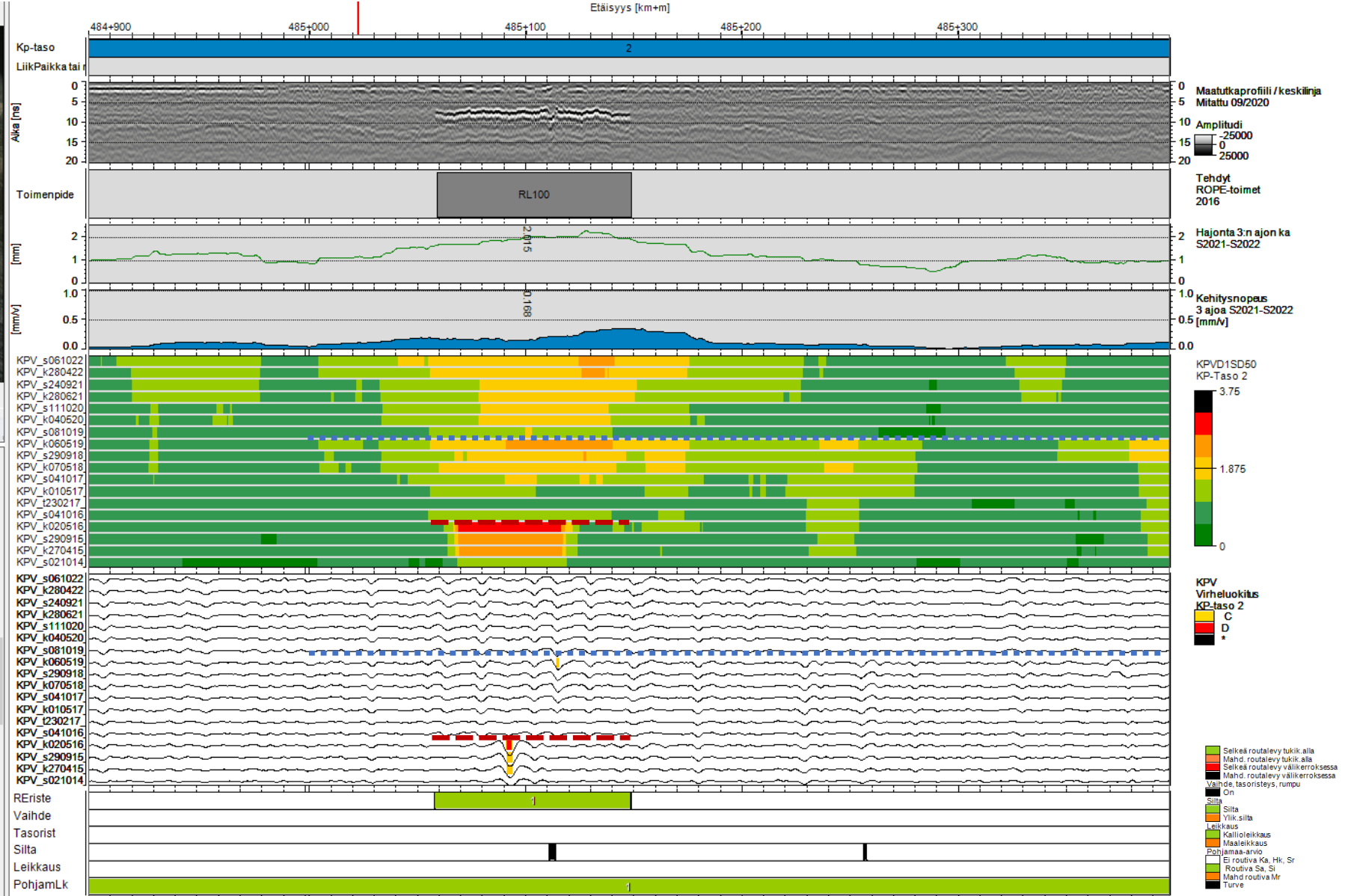
Loc: 479+990.468 Rate: 1x



# Sk-Vs km 485 kohde 54 Routalevy tukikerroksen alla



Loc: 485+089.989 Rate:1x



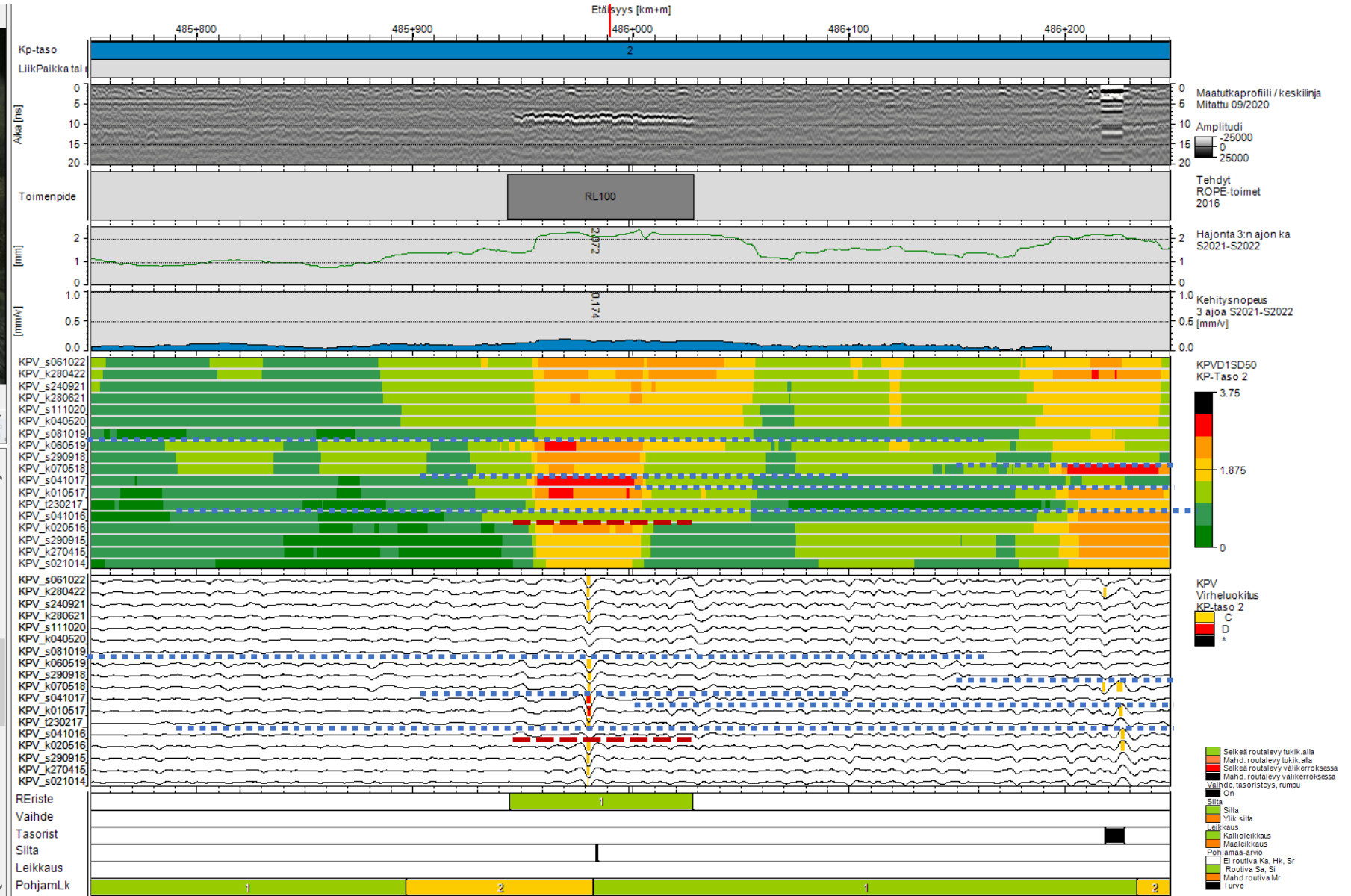
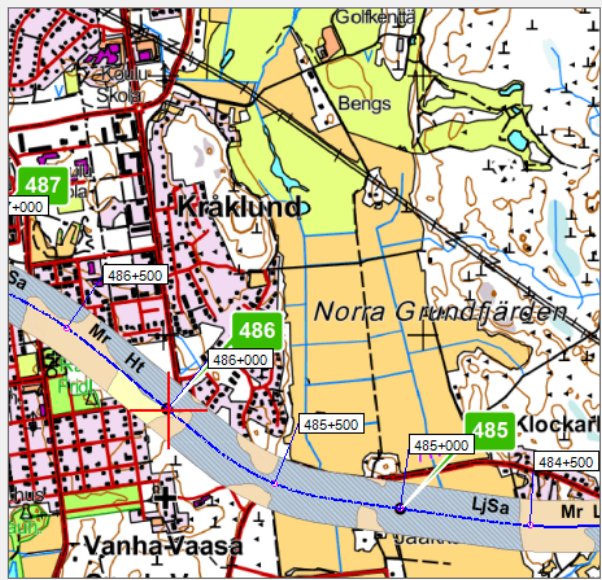
# Sk-Vs km 485-486 kohde 56 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 485+991.906 Rate:1x

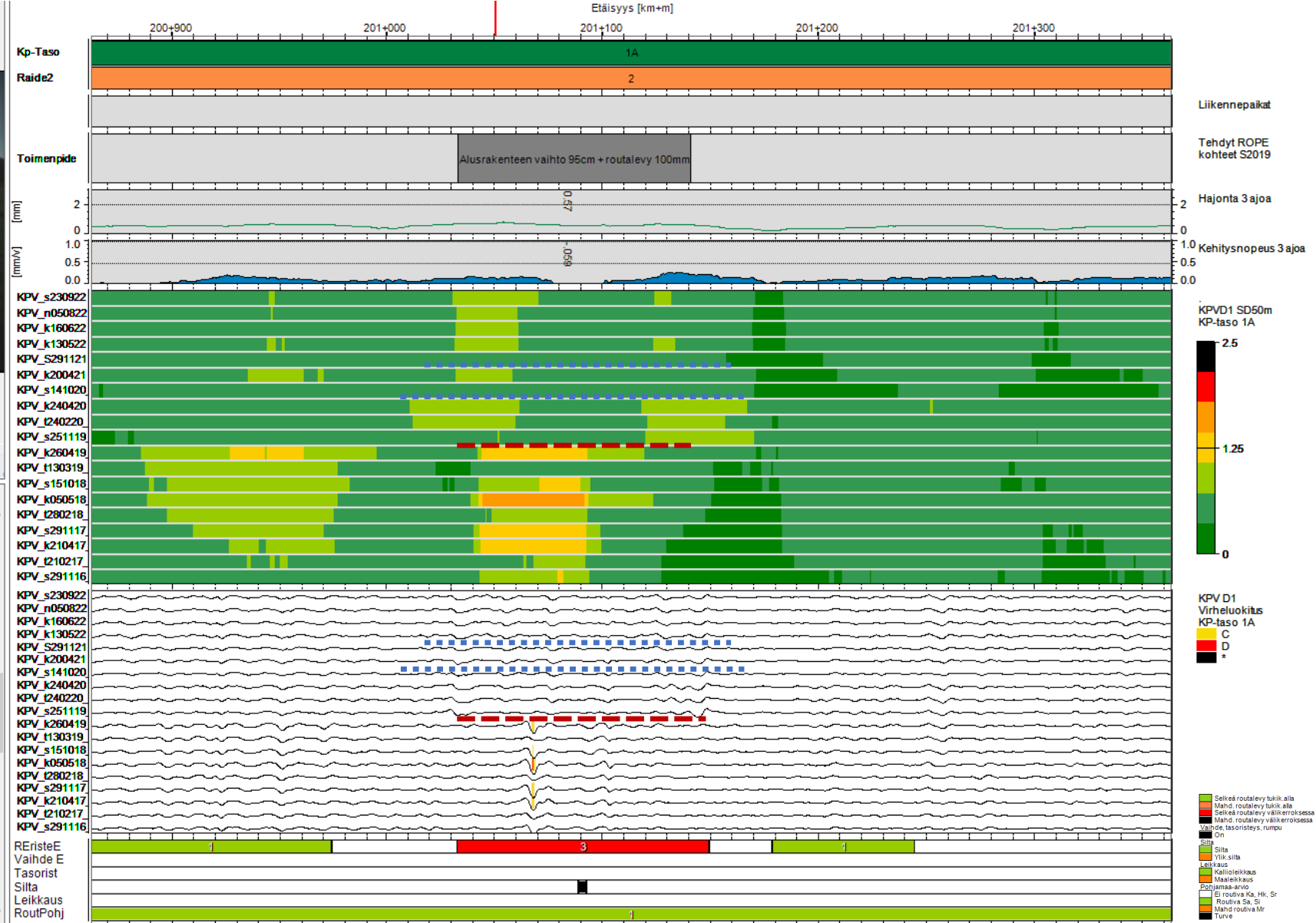
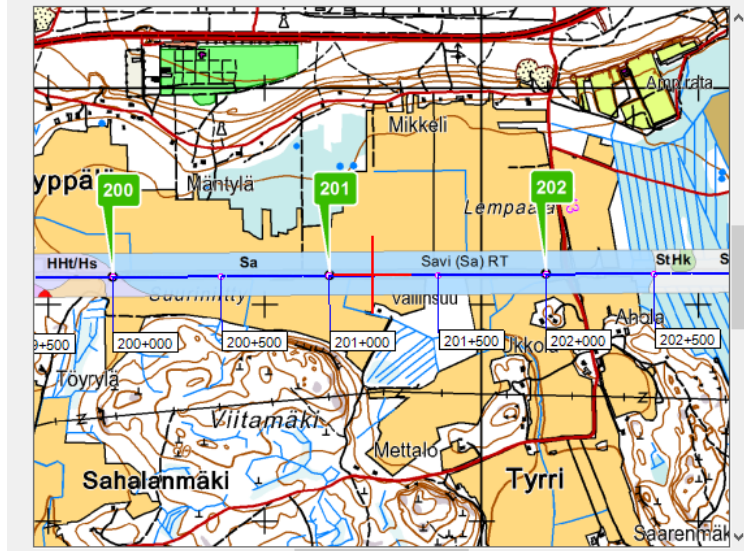


# Kv-Lä R2E km 201 kohde 2 Routalevy alusrakenteessa

Toimenpideajankohta ..... Tuenta - - - - -



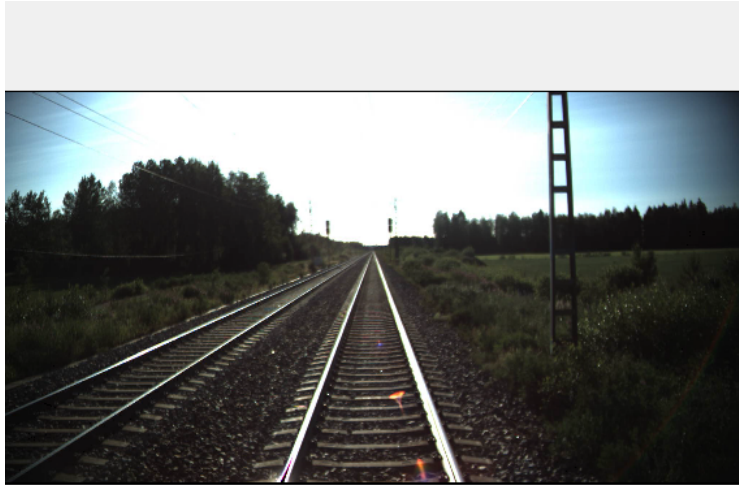
Loc: 201+051.158 Rate:5x



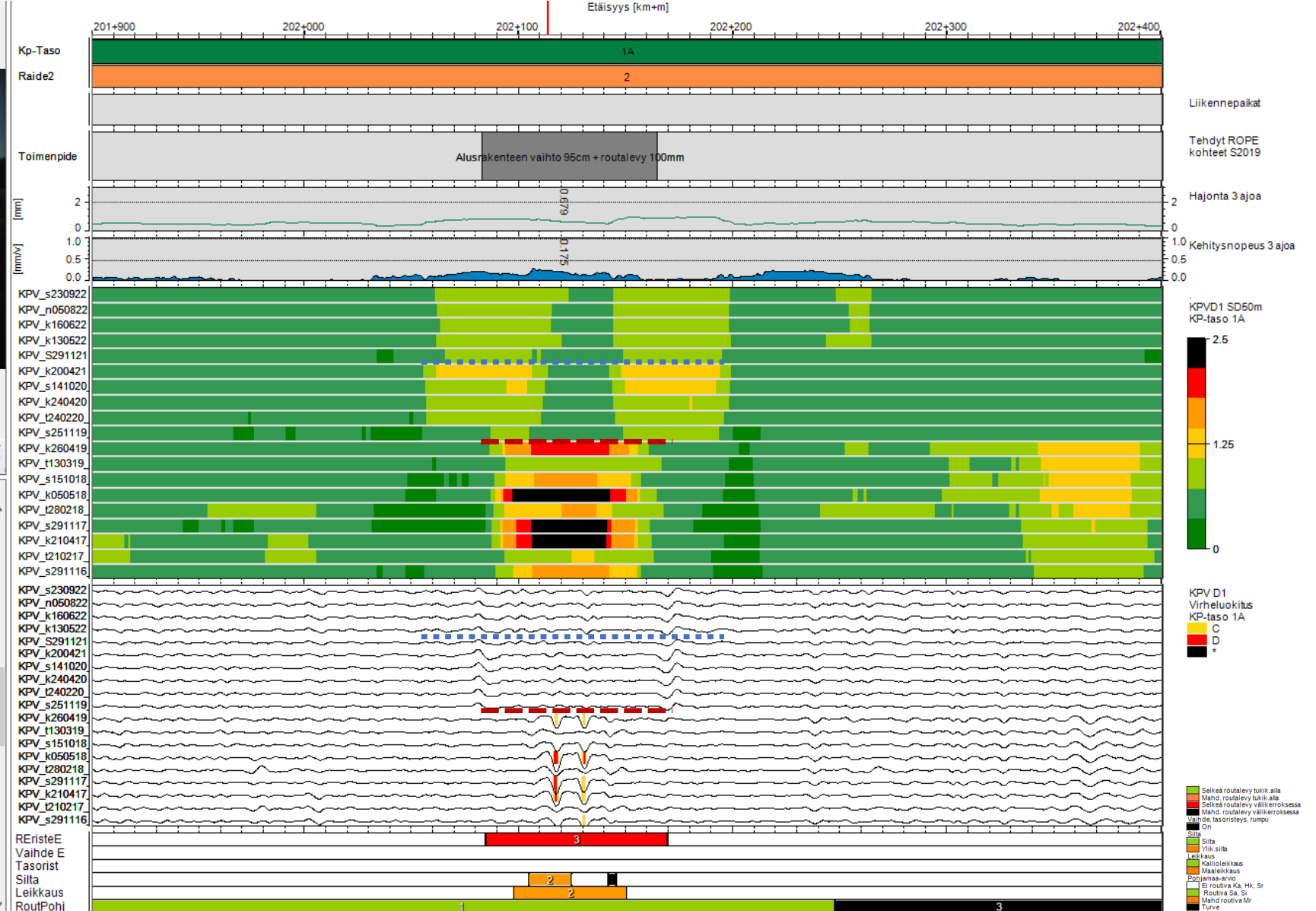
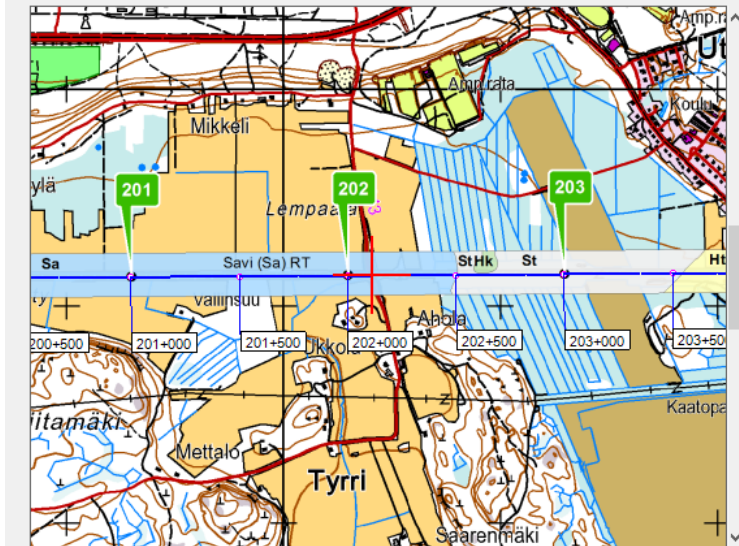
# Kv-Lä R2E km 202 kohde 4 Routalevy alusrakenteessa

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 202+ 114.426 Rate:1x







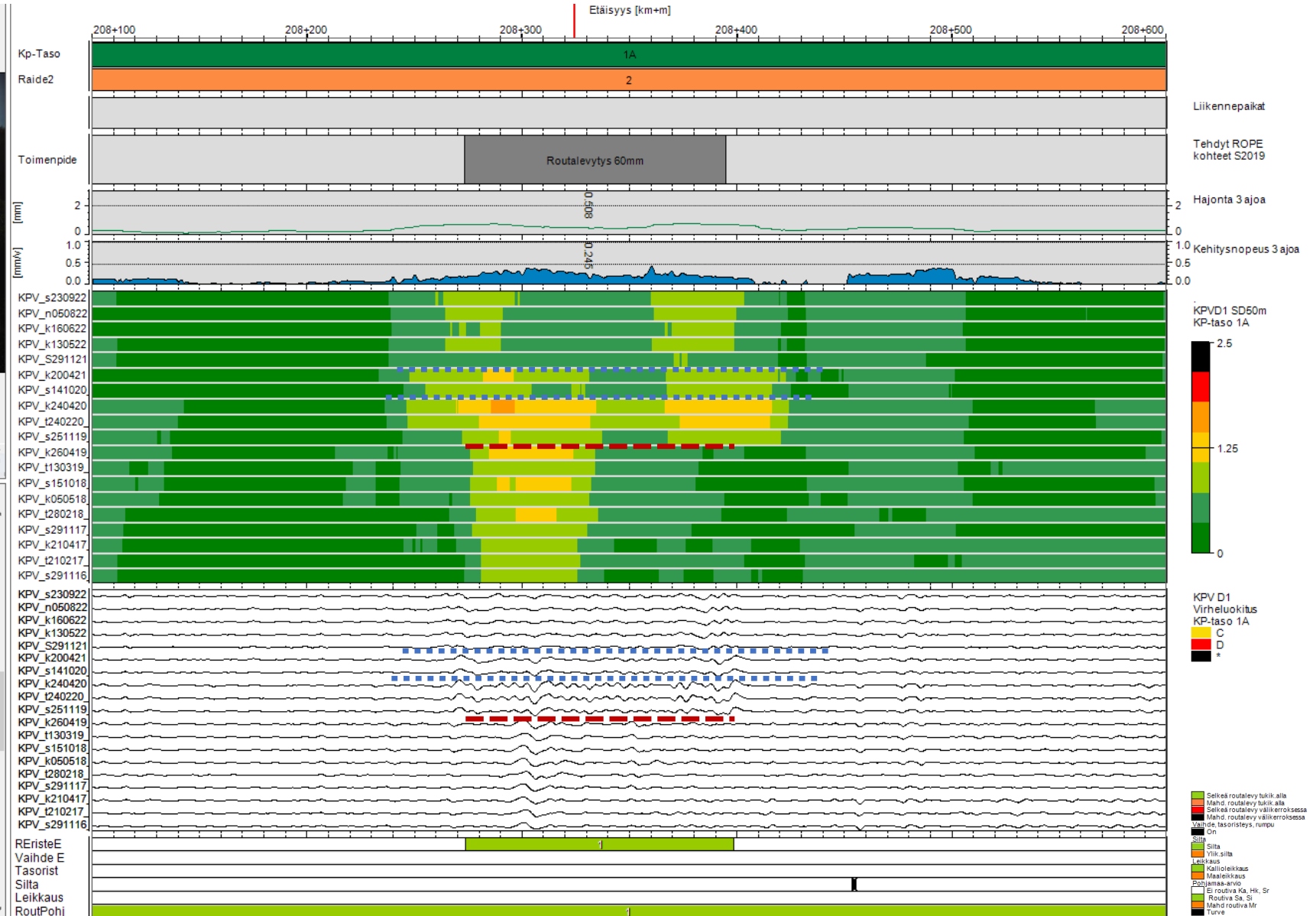
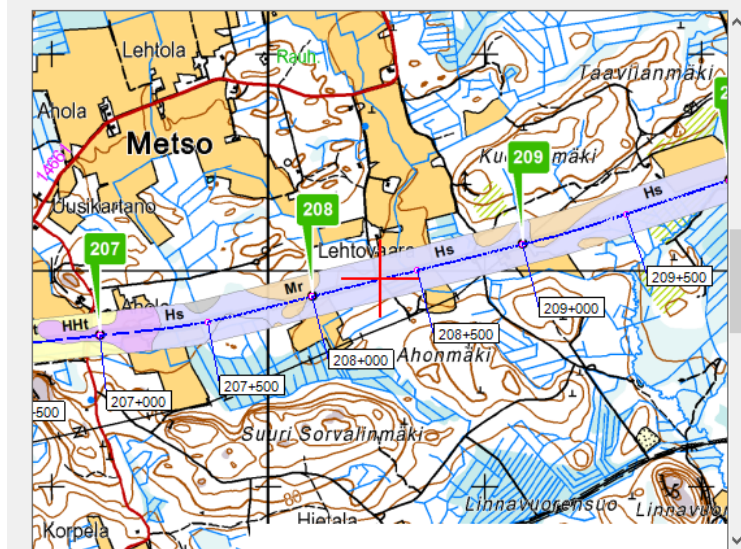
# Kv-Lä R2E km 208 kohde 8 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



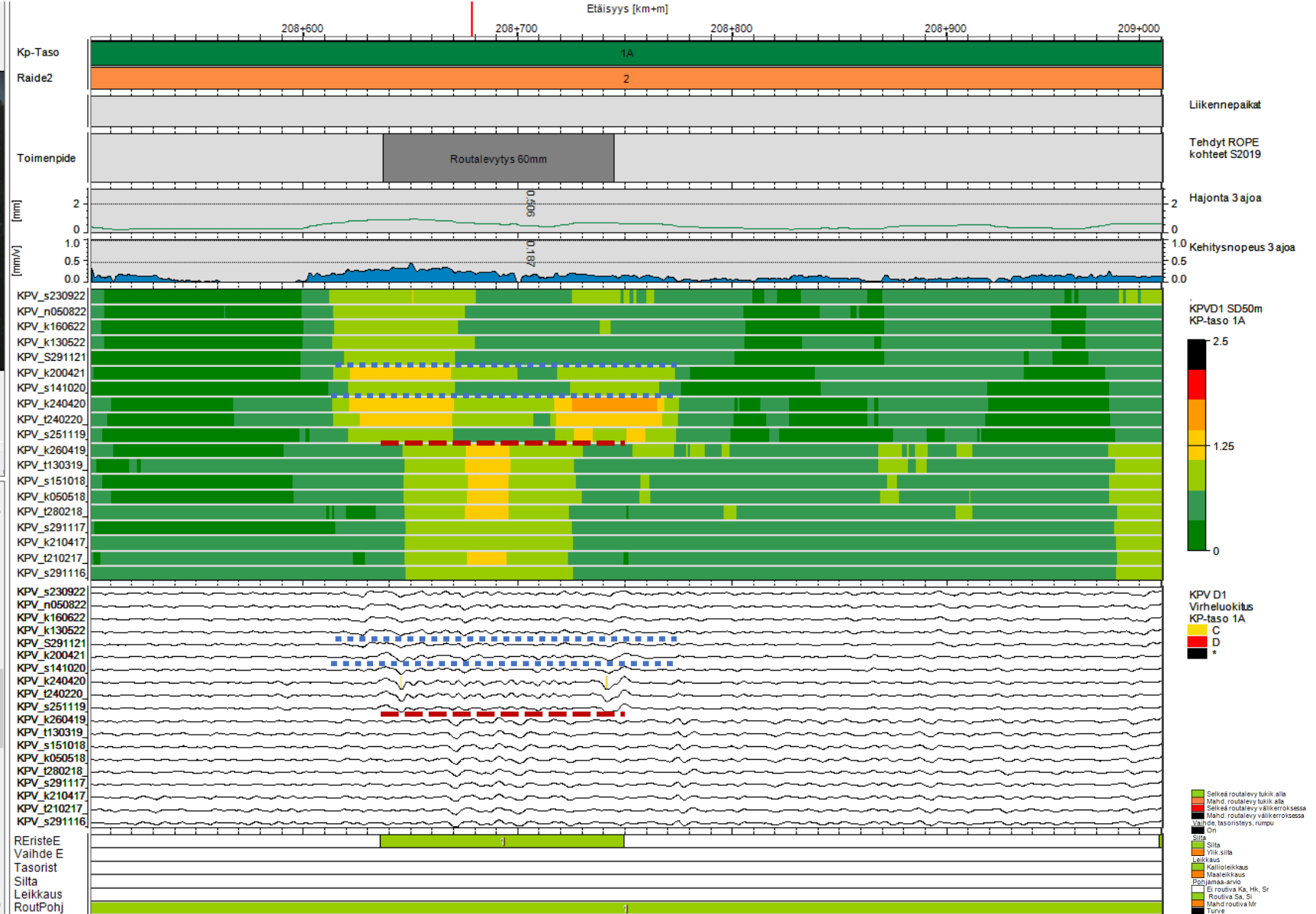
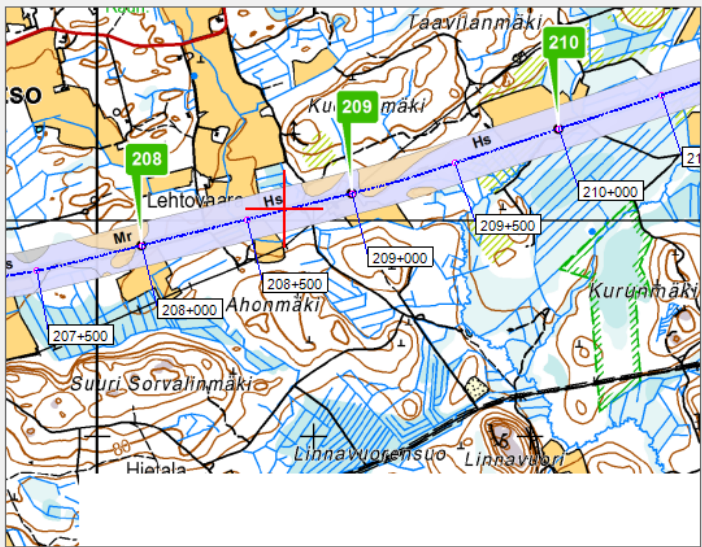
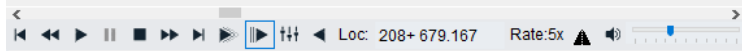
Loc: 208+325 Rate: 1x



# Kv-Lä R2E km 208 kohde 9 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



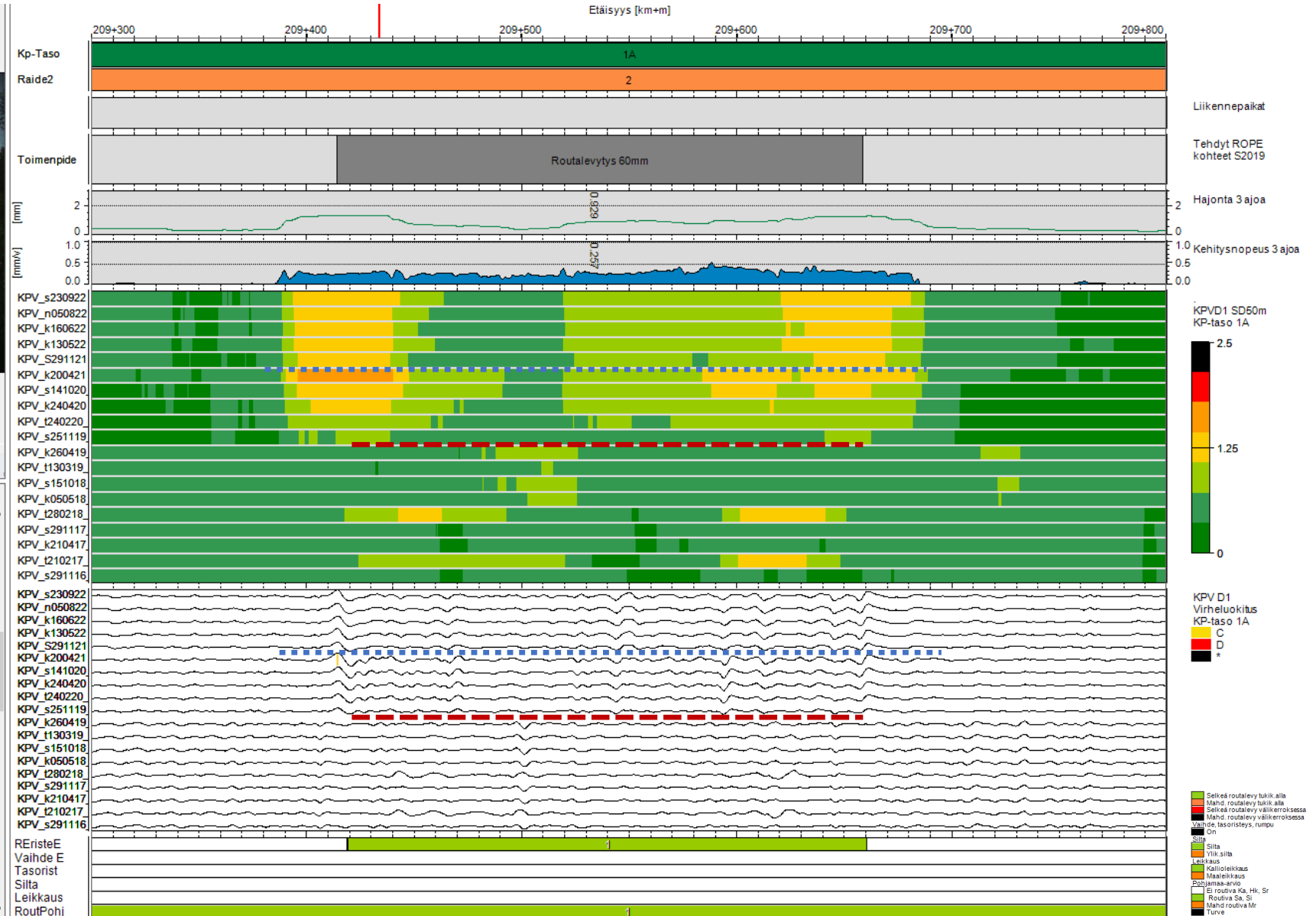
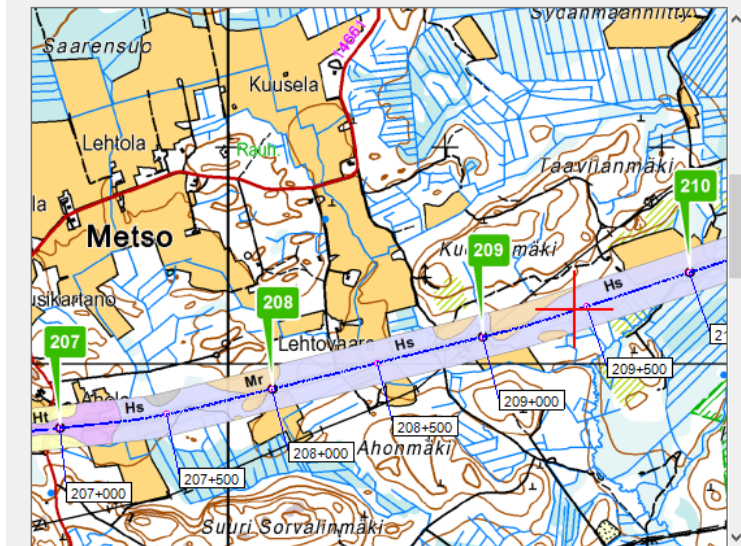
# Kv-Lä R2E km 209 kohde 10 Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



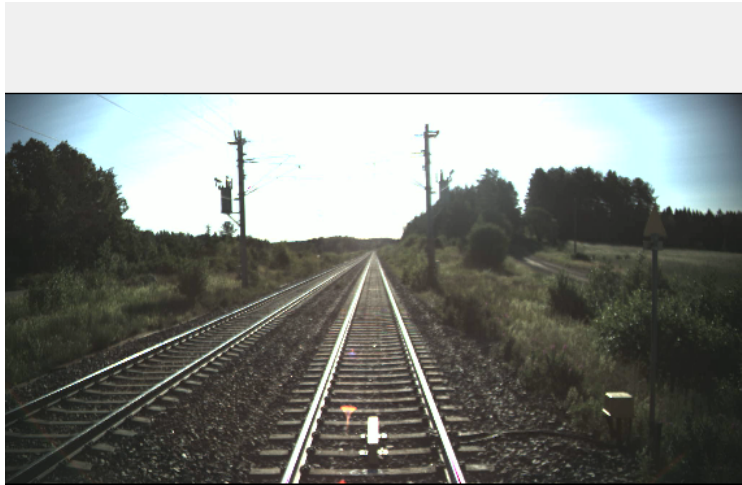
Loc: 209 Rate: 1x



# Kv-Lä R2E km 215 kohde 15

## Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta ..... Tuenta - - - - -



Loc: 215+ 645.833 Rate:5x



# Kv-Lä R2E km 215-216 kohde 16

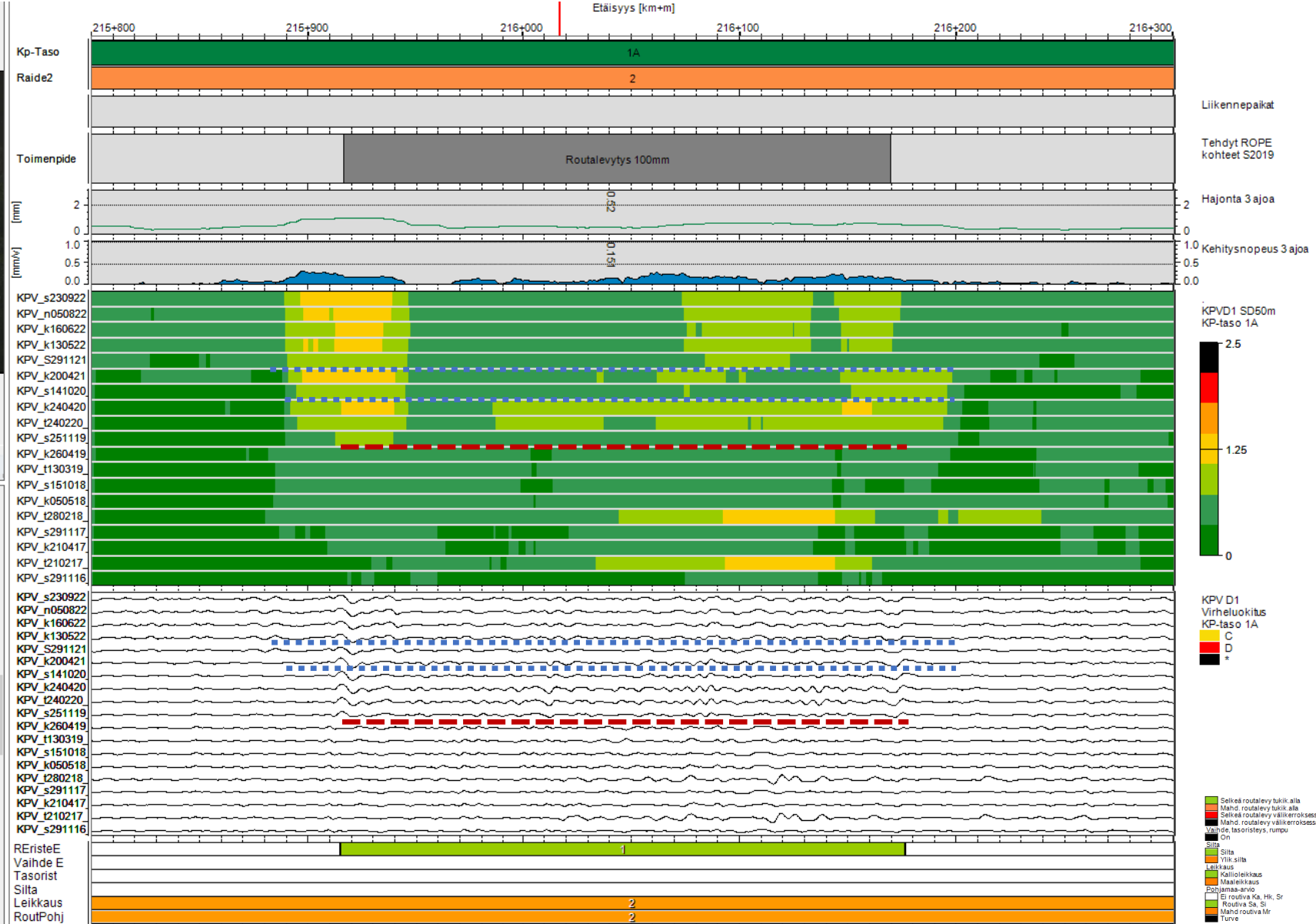
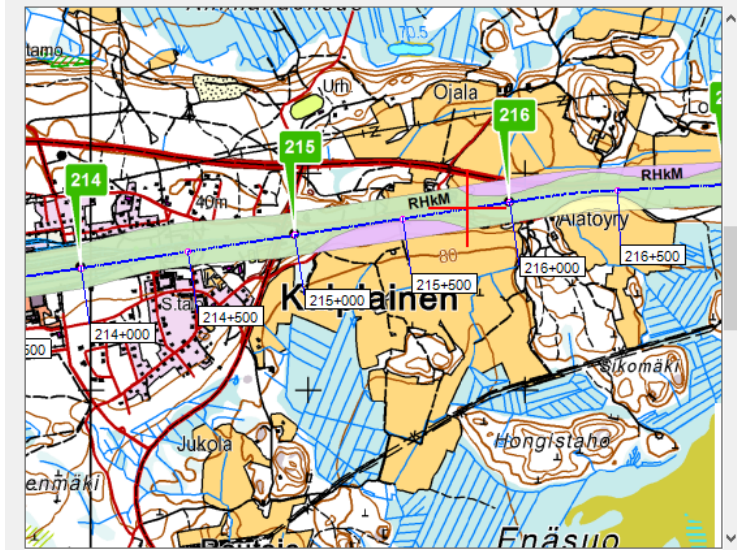
## Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



Loc: 216+017.667 Rate:5x



# Kv-Lä R2E km 220 kohde 17

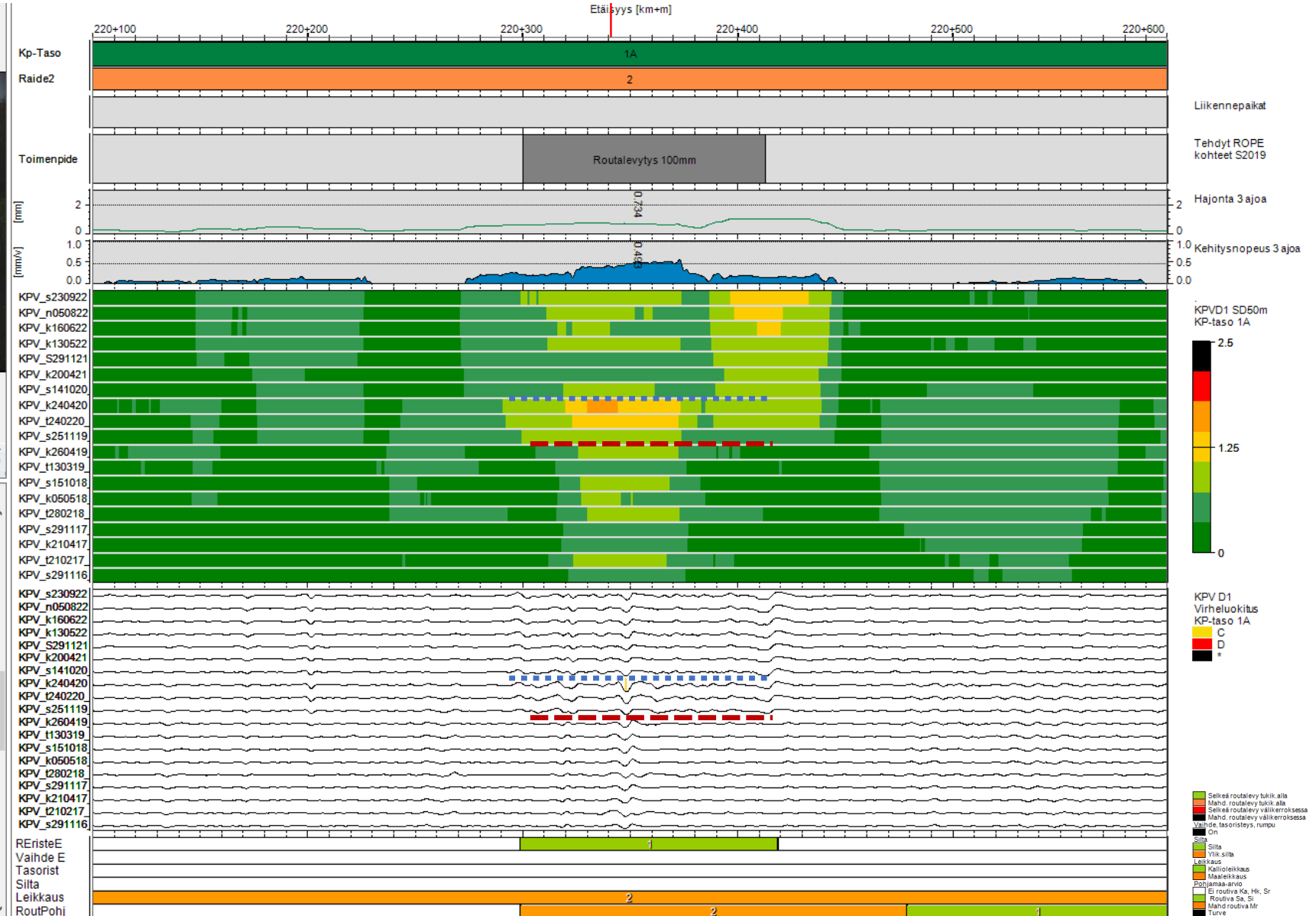
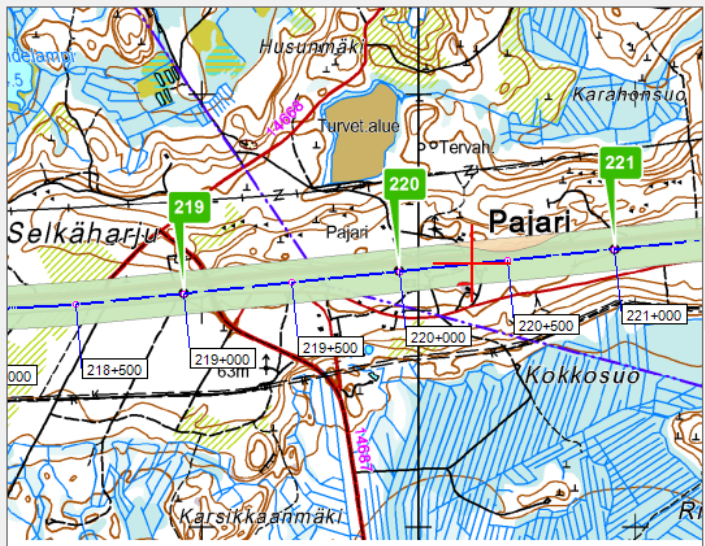
## Routalevy tukikerroksen alla

Toimenpideajankohta

Tuenta



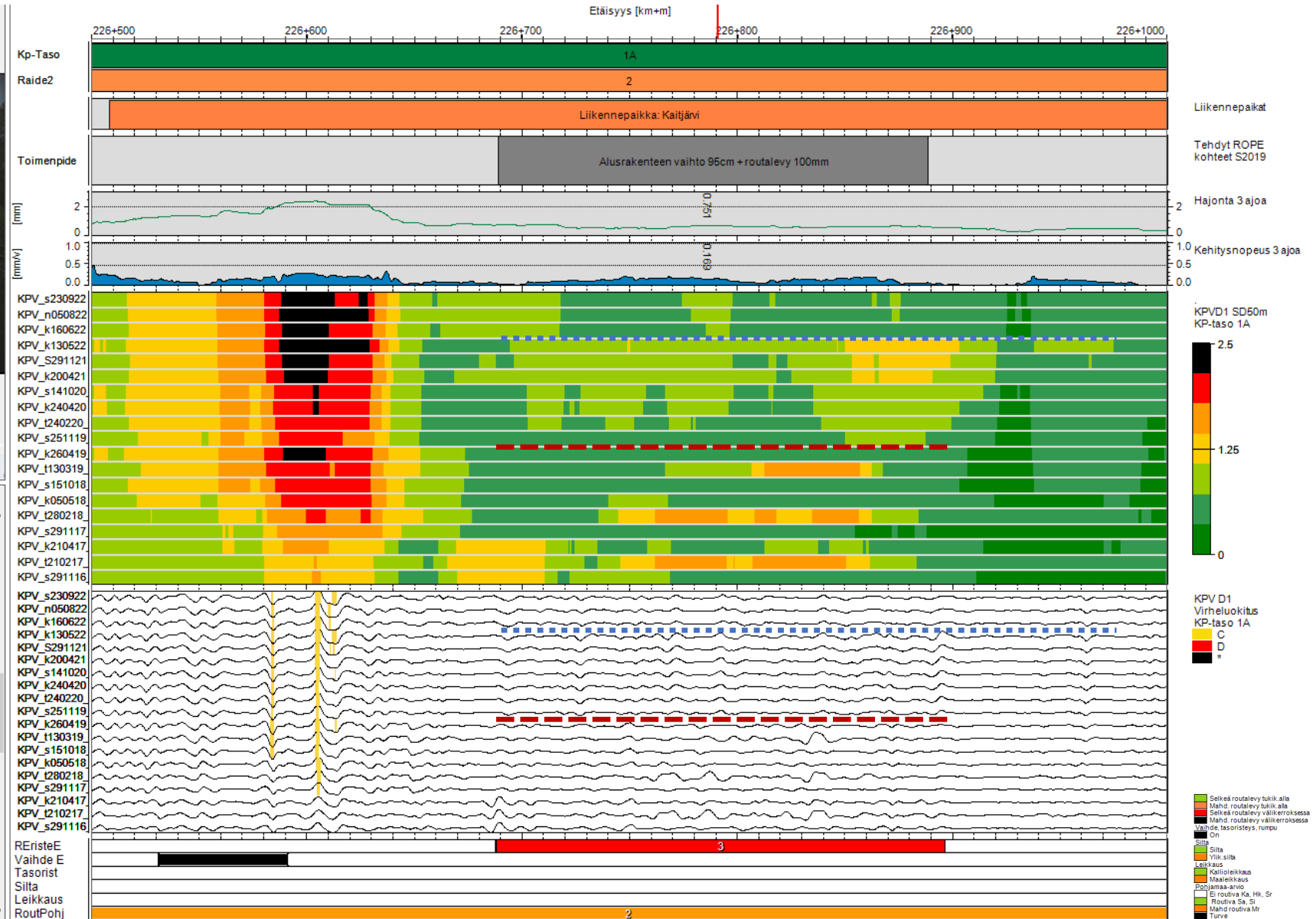
Loc: 220+341.667 Rate:5x



# Kv-Lä R2E km 226 kohde 19 Routalevy alusrakenteessa



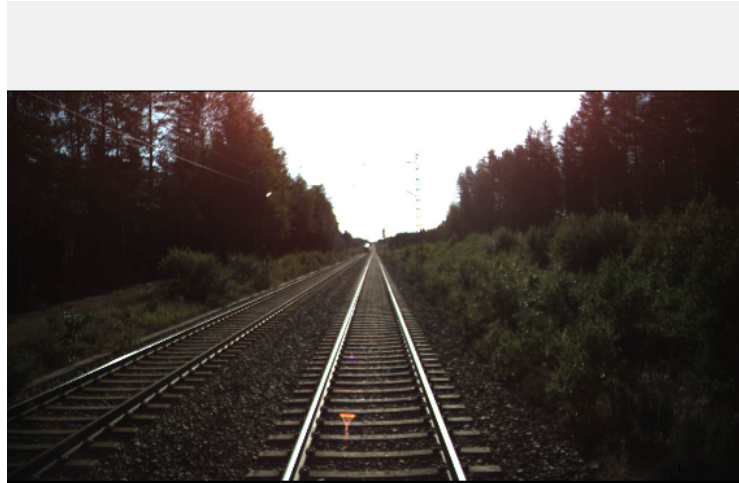
Loc: 226+791.667 Rate:5x



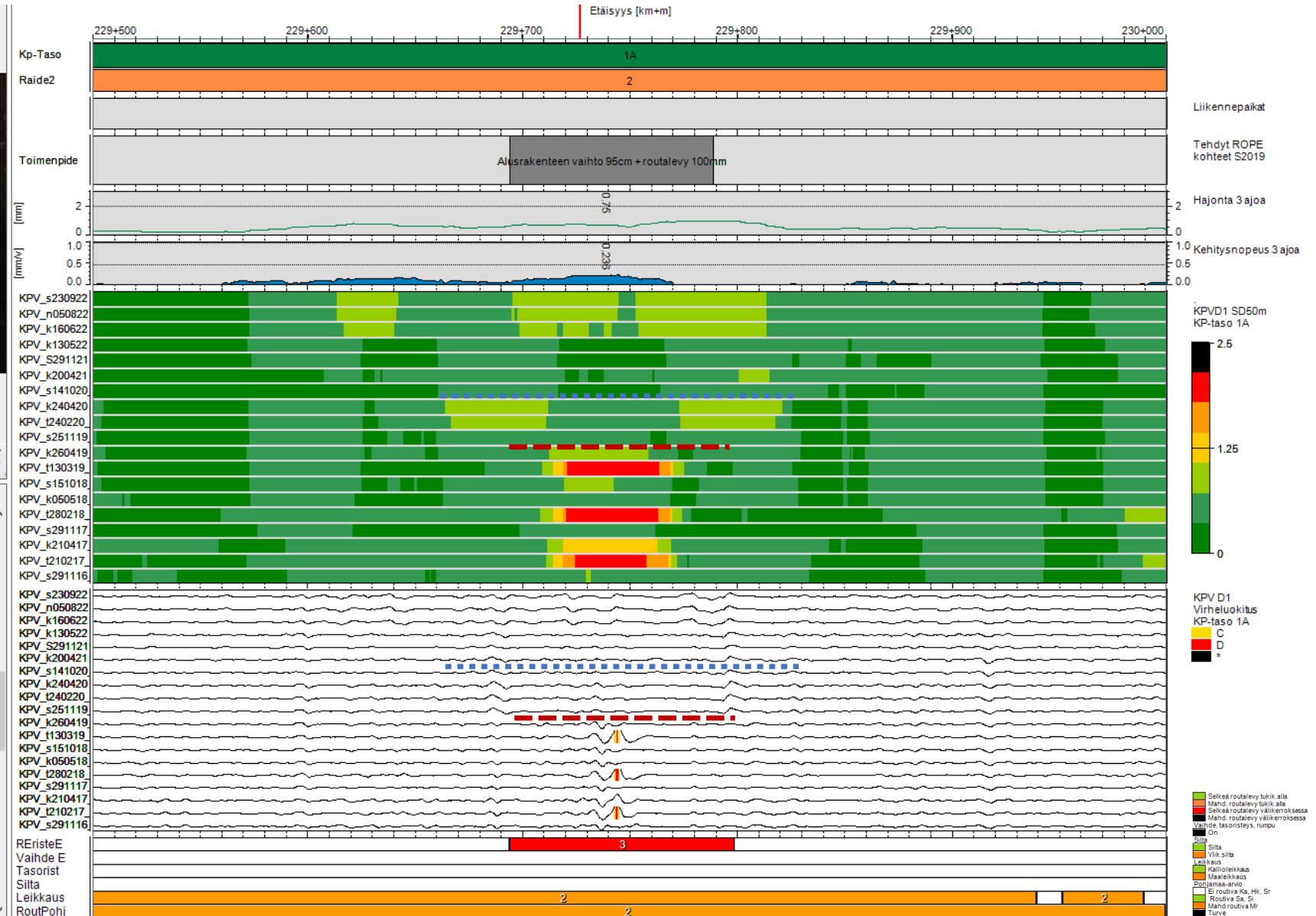
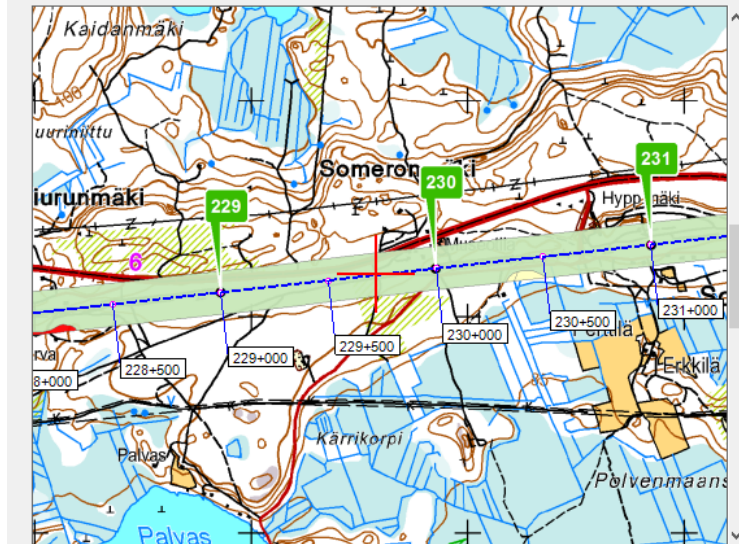
# Kv-Lä R2E km 229 kohde 95 Routalevy alusrakenteessa

Toimenpideajankohta

Tuenta



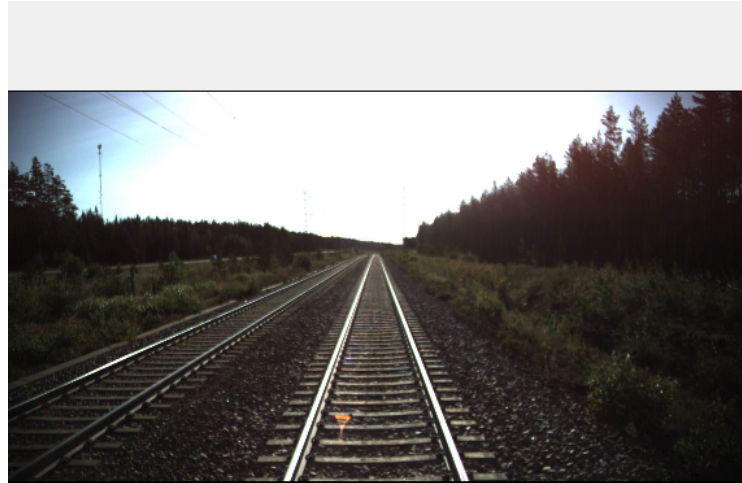
Loc: 229+727.315 Rate: 1x



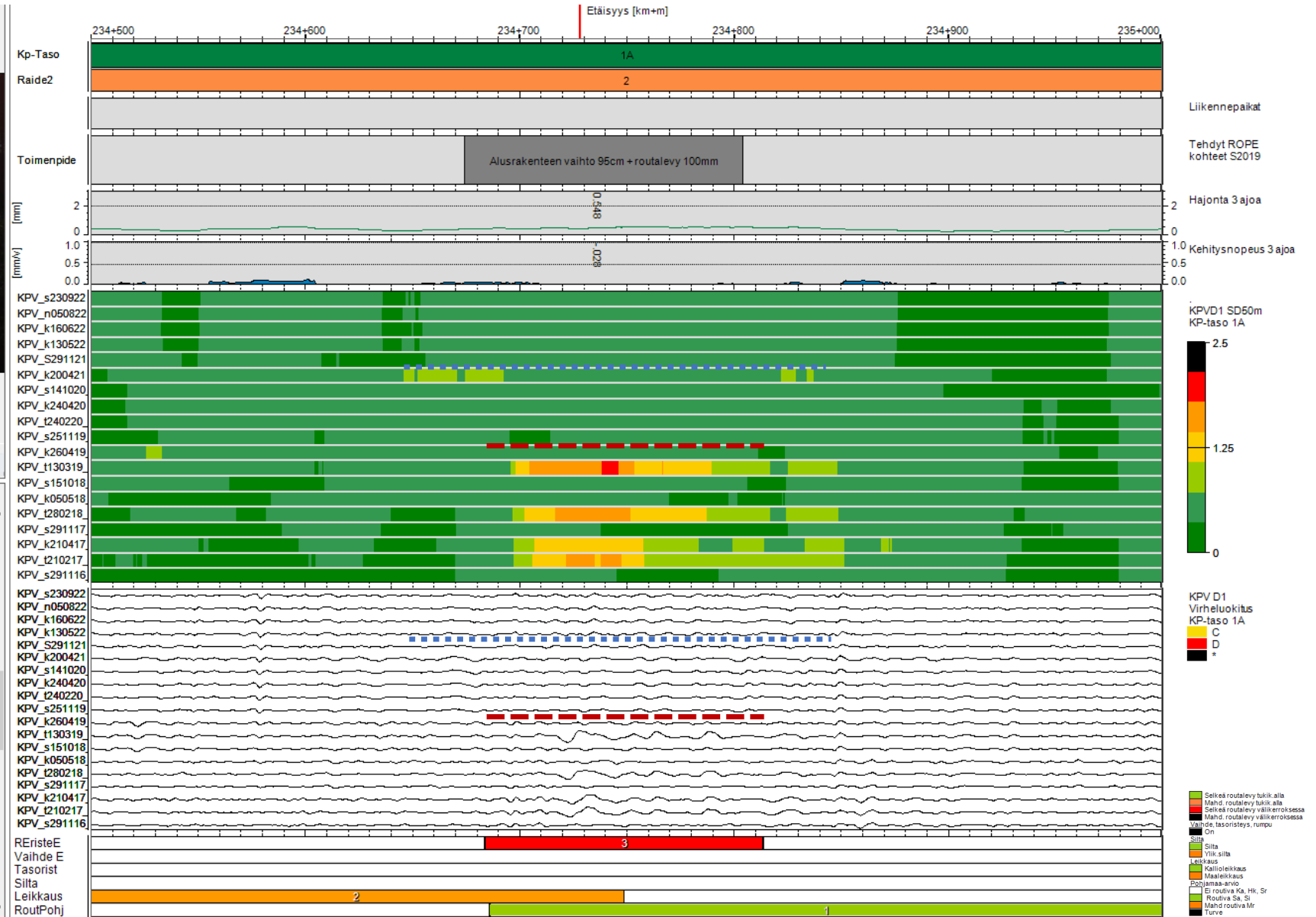
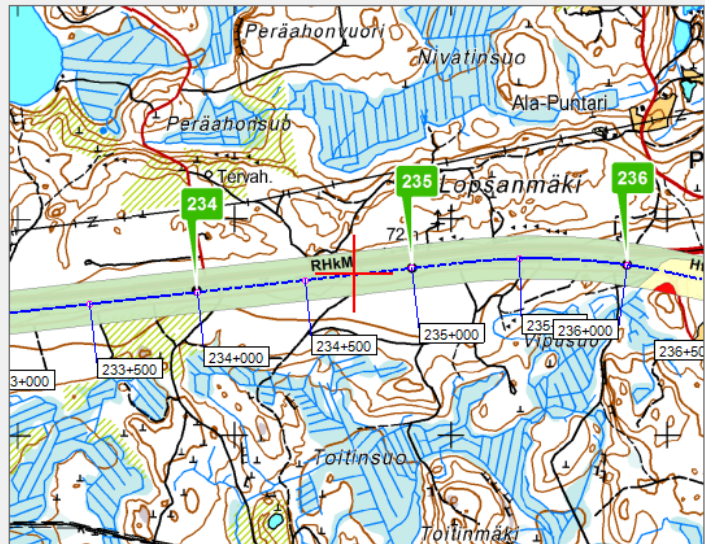


Kv-Lä R2E km 234 kohde 23 Routalevy alusrakenteessa

Toimenpideajankohta



Loc: 234+ 728.704 Rate:5x





Väylävirasto  
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745  
ISBN 978-952-405-058-6  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)