

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2015

Sanan Eskandari

RANTARADAN TUNNELEIDEN KORJAUSMENETELMIEN TARKASTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu

Tekniikka, ympäristö ja talous

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

Sanan Eskandari

Opinnäytetyö

Rantaradan tunneleiden korjausmenetelmien tarkastelu

Hyväksytty

Turussa ____/____ 2015

Valvoja

DI Pirjo Oksanen

KT-vastaava

Tekn. lis. Esa Leinonen

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Infratekniikka

Kevät 2015 | 46+3

DI Pirjo Oksanen

Sanan Eskandari

RANTARADAN TUNNELEIDEN KORJAUSMENETELMIEN TARKASTELU

Rantaradan tunneleiden kattojen ja seinien eristerakenteissa on havaittu lukuisia erilaisia ongelmia niiden elinkaaren aikana. Ongelmat liittyvät tunneleiden vesi- ja lämmöneristyksen paikalliseen toimimattomuuteen sekä näihin syntyneisiin vaurioihin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä Tottolan, Högbäckan ja Bäljensin ratatunneleihin ja niiden vedeneristyksen korjausmenetelmiin sekä vertaillaan aikaisempia korjausmenetelmiä nykyiseen korjausmenetelmään. Tavoite on selvittää uuden eristemenetelmän toimivuutta ja kustannustehokkuutta. Rajallinen rahamäärä ja junien kasvaneet koot ja nopeudet aiheuttavat vanhoille tunnelirakenteille kovia rasituksia, joiden takia tunneleiden eristäminen on todella haastavaa. Myös pitkien liikennekatkojen vaikea saaminen karsii huomattavasti mahdollisesti toimivampien ja halvempien korjausratkaisujen toteuttamisen. Aikaisemmista korjausmenetelmistä poiketen tunneleihin asennettiin PE-kalvot, jotka johtavat vuotovedet suoraan salaojiin. PE-kalvo ovat palokestävämpi ratkaisu, mutta sekä työläs että kallis asentaa.

Tunneleissa tehdyn korjausmenetelmän toimivuuden ja kustannustehokkuuden määrittämistä ei voida vielä todeta, sillä korjaus tehtiin hiljattain. Ruiskubetonointi olisi paras ja tehokkain menetelmä, mutta se vaatii todella pitkiä liikennekatkoja. Tunneleiden korjaamiseen annettu rahallinen investointi ei riittänyt korjaamaan kaikkia vuotokohtia, vaan kriittisimmät kohdat korjattiin. Näin ollen tunneleille tehdään todennäköisesti samantapainen korjaus muutaman vuoden päästä uudelleen.

ASIASANAT:

tunnelit, rantarata, eristeet, kalvotekniikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

Spring 2015 | Total number of pages

Instructor Pirjo Oksanen, M.Sc.

Sanan Eskandari

THE RENOVATION TECHNIQUES OF THE TUNNELS OF RANTARATA

During the lifespan of the Rantarata tunnels there has been a lot of insulation problems. The problems are caused by the ineffective insulation system in the tunnels and the damages caused by the ineffectiveness.

The aim of the thesis was to explore the three tunnels of Rantarata: Tottola, Bäljens and Högbacka and also to become familiar with their insulation system. The goal was also to study the previous repair work and compare them to the new way to insulate tunnels which was used in this case. The low number of investments to repair the tunnels and the growth of the speed and size of the trains have been the main cause of the rapture of the tunnels and their insulation system. To start the renovation of the tunnels one must stop the rail traffic which simply cannot be stopped for a long period of time. This limits drastically the renovation techniques. These are the main reason why insulating the tunnels is considered as an extremely difficult task.

The effectiveness of the insulation technique used in the tunnels cannot be determined as the repair was conducted only recently. The best solution to insulate the tunnels would be to spray concrete on the walls of the tunnels but it requires a very long railroad traffic break which is not possible. The budget for the insulation system repair was only sufficient to repair the most critical parts. This will probably mean that the tunnels will need a similar repair in a few years.

KEYWORDS:

tunnels, rantarata, insulator, geomembrane

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 TUNNELEIDEN YLEISET VESIERISTEMENETELMÄT	11
2.1 Tunneleiden vesieristäminen yleisesti	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
3 RANTARADAN TUNNELIT	14
3.1 Tunneleiden nykyiset eristerakenteet	14
3.1.1 Lujiterappaus kallionpinnassa	14
3.1.2 Polyeteenilevyillä suojattu lujiterappaus	15
3.2 Tottola	18
3.2.1 Rakenteet	18
3.2.2 Tehdyt korjaukset	20
3.2.3 Aikaisemmissa tarkastuksissa havaitut eristerakenteen ongelmat	26
3.2.4 Junien aiheuttamat paineiskut rakenteisiin	26
3.2.5 Vuotovesien jäätyminen tunneleissa	27
3.3 Bäljens	30
3.3.1 Perustiedot	30
3.3.2 Tunnelin rakenteissa havaitut vauriot	30
3.3.3 Kuntoarvio	32
3.4 Högbacka	33
3.4.1 Perustiedot	33
3.4.2 Tunnelin rakenteissa havaitut vauriot	33
3.4.3 Kuntoarvio	36
4 TOTEUTTAMISMENETELMÄ	37
4.1 Työssä käytetyt resurssit	37
4.1.1 Rakennustarvikkeet/materiaalitieto	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
4.2 Työmenetelmä	38
4.2.1 Suunnittelun lähtötiedot	38
4.2.2 Ennen liikennekatkoja tehtävät työt	39
4.2.3 Liikennekatkojen aikana tehtävät työt	41
4.3 Asiantuntijoiden kommentit	42
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	44

LIITTEET

Liite 1. Vesitiivis PE-kiinnitys

KUVAT

Kuva 1. Tunnelit Kirkkonummen ja Turun välillä.	9
Kuva 2. Oikealla ja keskellä pelkkä lujiterappaus kallion pinnassa, alhaalla sekä taaempaa polyeteenilevyjä.	14
Kuva 3. Periaatekuva polyeteenilevyjen sijoittamisesta limittäin tunneliin.	16
Kuva 4. Detalji eristuselementtien saumauksesta limittäin.	17
Kuva 5. Periaatekuva polyeteenilevyjen kiinnittämisestä kallioon.	17
Kuva 6. Holvikaarirakenne Tottolan tunnelissa.	19
Kuva 7. Vesi keräytyy Tottolan tunnelin pohjalle.	21
Kuva 8. Auki kaivettu salaoja Tottolan tunnelissa.	22
Kuva 9. Uudella PE-levyllä korjattu verhoursrakenteen sauma.	23
Kuva 10. Laudoilla tuettu vaurioitunut verhoursrakenteen sauma.	24
Kuva 11. Valmis membraanikoerakenne Tottolan tunnelissa.	25
Kuva 12. Paannejäätä Tottolan tunnelissa koteloeristerakenteen kohdalla.	28
Kuva 13. Kuumentunut polyuretaanisauma Tottolan tunnelissa.	29

KUVIOT

Kuvio 1. Bäljensin tunnelin kumulatiiviset ATU-risteämät.	31
Kuvio 2. Bäljensin tunnelin kumulatiiviset halkeamahavainnot.	31
Kuvio 3. Bäljensin tunnelin kumulatiiviset vesivuotohavainnot.	32
Kuvio 4. Högbackan tunnelin kumulatiiviset ATU-risteämät.	34
Kuvio 5. Högbackan tunnelin kumulatiiviset halkeamahavainnot.	35
Kuvio 6. Högbackan tunnelin kumulatiiviset vesivuotohavainnot.	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Perustietoa rantaradan tunneleista Kirkkonummen ja Turun välillä. **Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

1 JOHDANTO

Rantaradan tunneleiden kattojen ja seinien eristerakenteissa on havaittu lukuisia erilaisia ongelmia niiden elinkaaren aikana. Ongelmat liittyvät tunneleiden vesi- ja lämmöneristyksen paikalliseen toimimattomuuteen sekä näihin syntyneisiin vaurioihin. (Ratahallintokeskus 2008.)

Toimimattomuus johtuu tarkoitukseen osin sopimattomista teknisistä ratkaisuista ja materiaalivalinnoista. Ankkuritappiratkaisut, joilla eristysrakenteet on kiinnitetty kallioon, ovat osoittautuneet vettä pitämättömiksi. Polyuretaani eristelevyjien saumoissa ei toimi vesieristeenä ja siellä missä ruiskubetonia on paloeristeenä käytetty, on sitä osittain levitetty liian ohut kerros. (Ratahallintokeskus 2008.)

Vauriot aiheutuvat veden sekä lämpötilavaihtelujen aiheuttamasta eroosiosta eivätkä eristerakenteet nykyisellä tavalla toteutettuina kestä junakaluston aiheuttamia painevaihteluja tunneleissa (Ratahallintokeskus 2008).

Useassa tunnelissa ei ole asennettu palosuojausta eristerakenteiden päälle. Polyeteenilevyt yhdessä polyuretaanisaumausten kanssa muodostavat palaessaan myrkyllisiä kaasuja. (Ratahallintokeskus 2008.)

Olemassa olevaa rakennetta on korjattu eri tavoin, mutta kestävin käytetty ratkaisu on ollut uuden eristelevyn asentaminen revenneen kohdan päälle. Tämä on edelleenkin varteenotettava vaihtoehto. Se ei paranna tilannetta entisestä, mutta on nopeasti ja halvalla toteutettavissa. Olemassa oleviin rakenteisiin syntyneitä repeämiä voidaan myös korjata suihkuttamalla liimamaista elastomeeriä repeämien yli. Paremman lopputuloksen saamiseksi repeämät tulisi korjata, ja eristerakenteet olisi kaikilta osin palosuojattava ruiskubetonoimalla. Tällä tavalla saadaan aikaan turvallisempi ja kestävämpi ratkaisu. (Ratahallintokeskus 2008.)

Erilaisia menetelmiä on olemassa koko verhoustratkaisun uudistamiseksi. Ne perustuvat samoihin periaatteisiin kuin tälläkin hetkellä käytetyt tai ovat elementti-

rakenteisia. Koko eristerakenteen uusiminen mahdollistaa turvallisen ja pitkäikäisen ratkaisun, mutta se vaatii luonnollisesti pitkiä liikennekatkoja. (Ratahallintokeskus 2008.)

Rantaradalla on kaiken kaikkiaan 15 tunnelia Kirkkonummen ja Turun välillä. Ne on esitetty kartalla kuvassa 1. Kirkkonummen ja Siuntion välillä on kaksi tunnelia, kuten myös Salon ja Kupittaa välillä. Loput tunnelit sijoittuvat Karjaan ja Salon välille. Tunneleiden sijoitus ratojen kilometrijärjestelmässä sekä niiden pituus, poikkileikkausala ja rakennusvuosi on esitetty taulukossa 1. (Ratahallintokeskus 2008.)

Taulukko 1. Perustietoa rantaradan tunneleista Kirkkonummen ja Turun välillä (Ratahallintokeskus 2008).

Tunneli	Km-alku	Km-loppu	Pituus [m]	Poikkil. [m ²]	Rak.v.
<i>Helsinki - Karjaa</i>					
Lillgård	46+791	46+977	186	35	1985
Riddarbacken	47+769	48+043	274	35	1985
<i>Karjaa - Salo</i>					
Bäljens	88+920	89+230	310	50	1990
Köpskog	90+490	90+535	45	50	1990
Åminne	92+390	92+500	110	50	1990
Högbacka	94+365	94+565	200	50	1990
Kaivosmäki	113+962	114+060	98	50	1989
Haukkamäki	114+304	114+740	436	50	1989
Harmaamäki	115+150	115+418	268	50	1989
Lemunmäki	125+870	126+590	720	50	1992
Märjänmäki	126+940	128+180	1240	50	1992
Lavianmäki	137+720	138+300	580	50	1992
Tottola	139+086	139+613	527	50 ¹	1959
<i>Salo - Turku</i>					
Halikko	150+207	150+395	188	50	1991
Pepallonmäki	152+420	152+950	530	50	1989

¹ Holvikaariosuus 35 m²

Suurin osa tunneleista on rakennettu 1980- ja 1990-luvuilla toteutettujen oikaisu-hankkeiden yhteydessä. Vanhin tunneli on Salon eteläpuolella sijaitseva Tottolan tunneli, joka on rakennettu vuonna 1959, ja nuorimmat Lemunmäen, Märjänmäen ja Lavianmäen tunnelit on rakennettu vuonna 1992. Lyhin tunneleista, 45-

metrinen Köpskogin tunneli, on lähellä Karjaata, ja pisin, 1 240-metrinen Märjämäen tunneli, on lähempänä Saloa. Kymmenen tunnelia on alle 500 metrin pituisia, neljä 500–1 000 metrin pituisia ja yksi on yli 1 000 metriä pitkä. Pisimmät tunnelit sijoittuvat Salon eteläpuolelle. Yksi noin 500 metrin pituinen tunneli on myös Salon pohjoispuolella. (Ratahallintokeskus 2008.)

Vuonna 1985 rakennetuissa Lillgårdin ja Riddabackenin tunneleissa on 35 m² poikkipinta-ala. Muissa tunneleissa poikkipinta-ala on 50 m², lukuun ottamatta osuutta Tottolan tunnelista, jossa kallio oli huonoa ja tunneli on toteutettu teräsbetonisena holvikaarirakenteena. (Ratahallintokeskus 2008.)

Kaikkia tunneleita ei ole vesi- eikä lämpöeristetty. Siellä, missä vesi- ja lämpöeristys on tehty, on joihinkin kohtiin myös asennettu paloeristys. (Ratahallintokeskus 2008.)



Kuva 1. Tunnelit Kirkkonummen ja Turun välillä (Ratahallintokeskus 2008).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä Rantaradan ratatunneleihin ja niiden verhoukrakenteisiin tehtyihin korjausmenetelmiin. Tarkastelukohteina ovat Tottolan, Högbackan ja Bäljensin ratatunnelit. Tavoitteena on vertailla aikaisempia vedeneristyskorjausmenetelmiä Ralf Ajalin Oy:n käyttämään menetelmään. Ralf Ajalin Oy:n käyttämä korjausmenetelmää ei ole aiemmin koskaan käytetty kyseisissä tunneleissa, joten työssä tutkitaan, onko kyseinen menetelmä toimivampi tai kustannustehokkaampi kuin aikaisemmat korjausmenetelmät ja kannattaako kyseistä korjausmenetelmää tuoda markkinoille ja käyttää tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Ralf Ajalin Oy ja mukana on myös Liikennevirasto. Ralf Ajalin Oy on vuonna 1977 perustettu perheyrittys, joka toimii lähinnä läntisellä Uudellamaalla ja pääkaupunkiseudulla.

2 TUNNELEIDEN YLEISET VESIERISTEMENETELMÄT

Bitumikermieristys

Vedenpaine-eristyksenä voidaan käyttää tavallista kermieristystä. Tunnelirakentamisen kannalta bitumikermeillä on kuitenkin joitakin heikkouksia, kuten haihtuvat liuottimet vaativat hyvän tuuletuksen, kermi kiinnittyvät huonosti epätasaisille ja kosteille pinnoille sekä katto-osan eristäminen kermien avulla on työteknisesti hankalaa. (RIL154-2 51 1987.)

Kumibitumiruiskutus

Ruiskutettavalla kumibitumiemulsiolla ei ole bitumikermien haittapuolia. Ruiskutus tapahtuu kaksoissuuttimella. Toisesta suuttimesta tulee emulsioliuos ja toisesta kovettimena käytetty kalsiumnitraattiliuos. Emulsio tarttuu hyvin myös kosteille pinnoille. Toisaalta lämpötilan tunneleissa on oltava riittävä, jotta emulsion sisältämä vesi haihtuisi. (RIL154-2 51 1987.)

Muovimattoeristys

Keski-Euroopassa on tunnelien veden- ja kosteudeneristyksenä alettu käyttää yhä enemmän muovimattoja. Muovimattoeristykseen yleistyminen johtuu nykyisestä tunnelirakennustekniikasta, jossa välitön lujitus suoritetaan ruiskubetonilla, johon vesieriste kiinnitetään ennen lopullisen rakenteen valua. Yhtenäinen muovimattoeristys muodostetaan hitsaamalla tai liimaamalla yhteen 1,3...1,85 m leveitä ja 1...2 mm paksuja pehmeitä PVC-mattoja. Mattojen kiinnittämistä varten tunnelin seinämiin ja kattoon naulataan muovilevykkeitä. Tavallisesti noin kolme levykettä neliometriä kohden riittää. Matot kiinnitetään levykkeisiin hitsaamalla. Pistemäinen kiinnitys sallii vuotovesien valumisen vapaasti eristeen takana, jolloin eristeeseen ei muodostu vedenpainetta ennen tukirakenteen valmistumista. Saumojen tiiveys ratkaisee muovimattoeristykseen vedenpitävyyden. Saumat tehdäänkin tavallisesti kaksoissaumana, jolloin tiiveys voidaan helposti todeta painekokeella. (RIL154-2 51 1987.)

Liikennetunneleissa muovimattoeristystä käytetään tunnelien suuosilla estämään vuotovesien valumista ja jäätymistä ajoradalle. Eriste rakennetaan ainoastaan kattoon ja seinille. Eristeen takaa valuvat vedet johdetaan salaojiin. (RIL154-2 51 1987.)

Bentoniittieristys

Bentoniittilevyillä voidaan korvata monikerroksinen kermieristys. Bentoniittieristystä on käytetty aina 100 kPa:n pohjaveden paineeseen asti. Eristys muodostuu limittäin alusrakenteeseen naulattavista aaltopahvilevyistä, joiden aallot on täytetty natrium-bentoniitilla. Vedenpainerakenteen ulkopuolelle asennetut levyt haajoavat kosteuden vaikutuksesta. Jäljelle jää viiden millimetrin paksuinen hyytelöitynyt bentoniittikerros, joka estää tehokkaasti veden tunkeutumisen rakenteeseen. (RIL154-2 54 1987.)

Bentoniittieristyksellä on seuraavia etuja:

- kostuessaan se pyrkii laajenemaan ja tiivistää tehokkaasti myös syntyvät mahdolliset halkeamat
- hyytelömäinen eristekerros pystyy repeämättä mukautumaan rakenteen muodonmuutoksiin
- levyjen asennus on helppoa ja nopeaa eikä vaadi lämmitystä
- levyt voidaan kiinnittää betoniin heti muottien purkamisen jälkeen (RIL154-2 54 1987).

Metallieristys

Maatunnelien verhousrakenteena käytetään usein valurauta-, teräs- tai betoni-lohkoja, jotka kiinnitetään pultein toisiinsa yhtenäiseksi rakenteeksi. Pultinreikiin ja saumoihin asennetut lyijy- tai kumitiivisteet varmistavat rakenteen vesitiiveyden. Vesieristeenä käytettävät metallikalvot ovat useimmiten muovipäällysteisiä. (RIL154-2 54 1987.)

3 RANTARADAN TUNNELIT

3.1 Tunneleiden nykyiset eristerakenteet

3.1.1 Lujiterappaus kallionpinnassa

Kallioon louhitun tunnelin sisäpinta lujitetaan betonilla ja/tai pulteilla estämään kalliomateriaalin lohkeaminen ja putoaminen. Veden vuotoa tunneliin ei ole esitetty, ja vesi saattaa jäättyä ja muodostaa halkeamia tai lohkaista betonipalasia lujiterappauksesta. Tällainen ratkaisu on vanhimmissa alueen tunneleissa ja sellaisissa kohdissa, joihin ei ole koettu tarpeelliseksi lisätä eristystä. Kuvassa 2 näkyy lujiterappaus sekä osittain polyeteenilevyillä eristettyjä alueita. (Ratahallintokeskus 2008.)

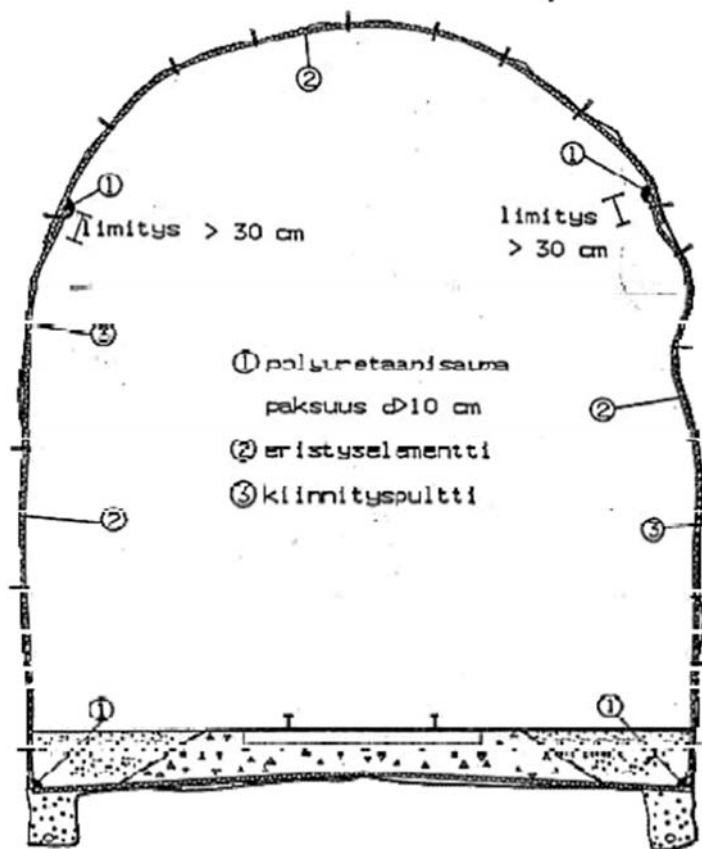


Kuva 2. Oikealla ja keskellä pelkkä lujiterappaus kallion pinnassa. Alhaalla sekä taaempaa on polyeteenilevyjä. (Ratahallintokeskus 2008.)

3.1.2 Polyeteenilevyillä suojattu lujiterappaus

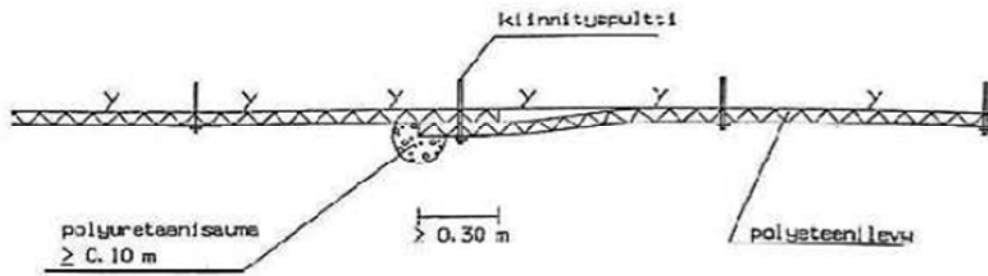
Veden jäätyessä betonin pinnalla sekä mahdollisissa halkeamissa lujiterappaus saattaa haljeta tai halkeamat kasvaa, jolloin lisää vettä pääsee lujiterappauksen läpi tunneliin ja lujiterappaus rapautuu entistä enemmän. Polyeteenilevy toimii sekä vesieristeenä että lämmöneristeenä. Asentamalla polyeteenilevyjä betonin pinnalle siinä olevaa vettä on pyritty estämään jäätymiseltä. (Ratahallintokeskus 2008.)

Polyeteenielementit on koottu kahdesta levystä, jotka on tehtaalla yhdistetty liimatulla puskusaumalla. Elementit on tunneleissa asennettu lujiterapatun kallion pintaa pitkin siten, että elementtien välillä on vähintään 300 mm:n limisauma (kuvat 3 ja 4). Tämä sauma on vahvistettu vähintään 50 mm:n paksuisella polyuretaaniruiskutuksella. Elementit on kiinnitetty kallioon 12 mm:n kemiallisilla ankkureilla (Hilti HIT c100), jotka on asennettu 1 000 mm × 1 000 mm ruutuun. Kierretangon ankkurointipituus lujitusruiskubetonin alla olevaan kallioon on noin 110 mm (kuva 5). Kierretangot on varustettu 100 mm × 100 mm × 3 mm alumiinisella aluslevyllä ja mutterilla, joiden avulla eriste-elementit on kiinnitetty. Lähes jokaisessa tunnelissa eristerakenne on suojattu auringon valolta (auringon valo haurastuttaa polyeteeniä) 20 mm:n ruiskubetonoinnilla noin 20 metrin matkalta suuaukolta tunnelin sisäosia kohti. (Ratahallintokeskus 2008.)

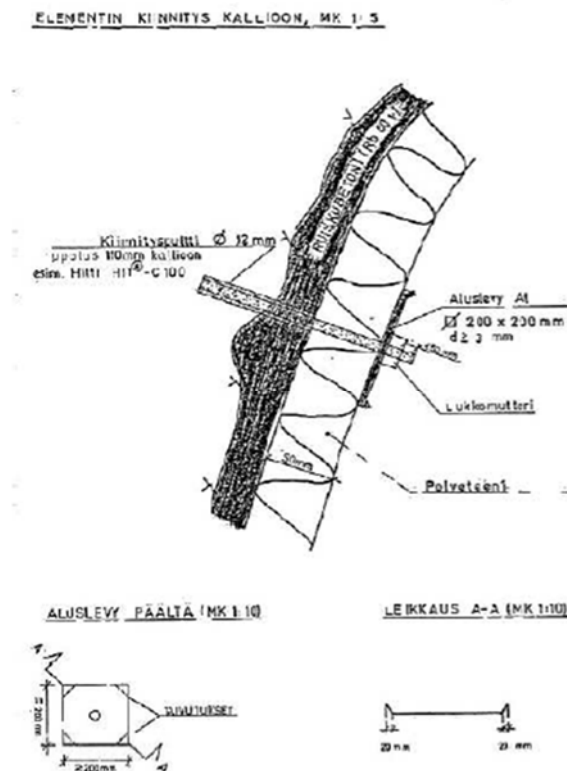


Kuva 3. Periaatekuva polyeteenilevyjen sijoittamisesta limittäin tunneliin (Ratahallintokeskus 2008).

Tämä rakenne ei kuitenkaan pidä vettä kauttaaltaan. Vuotokohtia muodostavat polyeteenilevyjen kiinnitykseen käytettävät ankkuritapit, joiden tyivistä vesi monin paikoin vuotaa. Junien aiheuttamat paineiskut ovat myös paikoin vaurioittaneet polyeteenilevyjä. Levyssä olevasta repeämästä vesi pääsee tunneliin. Polyuretaani on myös vettä imevä eikä toimi vesieristeenä saumoissa. (Ratahallintokeskus 2008.)



Kuva 4. Detalji eristuselementtien saumauksesta limittäin (Ratahallintokeskus 2008).



Kuva 5. Periaatekuva polyeteenilevyjen kiinnittämisestä kallioon (Ratahallintokeskus 2008).

Polyeteenilevyt ovat myös paloarkaa materiaalia, ja paljaina ollessaan ne muodostavat tunneliin selvän turvallisuusriskin. Palaessa yhdessä polyuretaanin kanssa ne muodostavat myrkyllisiä kaasuja. (Ratahallintokeskus 2008.)

3.2 Tottola

Tottolan tunneli on rakennettu vuonna 1959. Tunnelin pituus on 527 m ja poikki-leikkauksen ala on noin 35–50 m². Tunnelin lujitus koostuu hajapultituksesta sekä holviosalla 60 mm:n ja seinillä 40 mm:n paksuisesta märkämenetelmällä tehdystä ruiskubetonoinnista. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Tunnelin pohjaa on alennettu v. 1994 tehdyissä korjaustöissä. Samassa yhteydessä poistettiin raiteensuuntaiset tukimuurit, jotka olivat muodostaneet sivuojille ja putkituksille tilaa. Samassa yhteydessä poistettiin kaikki ruiskubetonisaloajat ja vanhan kuivatusjärjestelmän rakenteet. Tunneliin rakennettiin uusi kuivatusjärjestelmä siten, että salaojat ja tunnelin viemäröinti kaivoineen ovat tunnelin vasemmalla puolella. Kuivatuksen viettosuunta on kasvavan Km-luvun suuntaan. Oikealla puolella on salaojitus, joka jatkuu noin Km-luvulle 139+560. Oikean puolen salaojat on yhdistetty kaivoihin, jotka on viemäröity vasemmalla puolella vastaavalla kohdalla sijaitsevaan kaivoon. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.2.1 Rakenteet

Tunnelin kalliokatto sortui rakentamisen aikana, ja tunnelin kantavana rakenteena on osittain paikalla valettu betoniholvi. Holvikaarirakenne muodostuu pystypilareista, vaakapilareista ja radan yli kulkevista holvikaaripalkeista. Pystypilareiden väliin on kiinnitetty polyeteenilevyjä. Kiinnityspisteiden etäisyys tunnelin pituussuunnassa noin 1 500 mm. Polyeteenilevyjen takana on ilmaa pilareiden paksuuden verran, ja ne lepattavat junakaluston paineiskujen voimasta ja repeävät helposti. Ankkuritapit ovat myös paikoin irronneet kalliosta, mikä edelleen pahentaa tilannetta. Polyeteenilevyjä ei tässäkään rakenteessa ole palosuojattu. Tottolan tunneliin on rakennettu kallion sortumisen takia erikoisrakenne ja se on esitetty kuvassa 6. (Ratahallintokeskus 2008.)

Tottolan tunneli on lähes kokonaan verhottu. Palkin varaan on asennettu tunnelin poikki kulkevat betoniset kaarielementit vieri viereen siten, että ne estävät mahdollisten irtolohkareiden tippumisen tunneliin. Betonikaarielementtien alapinnat on ruiskubetonoitu. Alun perin kallioseinät pilareiden välissä on jätetty paljaaksi, mutta tunnelissa ilmenneiden jääongelmien vuoksi pilareiden välit on eristetty polyeteenilevyillä, jotka on tuettu betonipilareihin kiinnitetyillä kulmateräksillä. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuva 6. Kuva holvikaarirakenteesta Tottolan tunnelissa. Pystypilareiden välissä olevat polyeteenilevyt ovat rikkoutuneet ja niitä on korjailtu. (Ratahallintokeskus 2008.)

3.2.2 Tehdyt korjaukset

Kuivatusjärjestelmän uusiminen vuonna 1997

Kuivatusjärjestelmän uusimisen yhteydessä ei havaittu, että sortuneen tunneli-osuuden kohdalle rakennettujen betonirakenteiden kohdalta on tunnelin pohjalle johdettu kuivatusvesiä kolmelta kohdalta. Tästä aiheutui vesien valumista tunnelin pohjan salaojituskerrokseen, missä siitä aiheutui toistuvaa kunnossapitotarvetta. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Kuivatusjärjestelmän korjaus vuosina 2001–2002

Kuivatusjärjestelmän korjaus tehtiin tunnelin toiselta puoliskolta vuosina 2001–2002 siten, että myös kaikki betoniholvin takaa tulevat vuotovedet kerättiin tunnelin viemärointijärjestelmään. Korjaustöiden yhteydessä todettiin, että tunnelin salaojituksen kuivatustaso on viemärijärjestelmän vesijuoksun tason alapuolella ja että tunnelin salaojien ympärillä on käytetty tarkoitukseen huonosti soveltuvaa hiekkaa. Tästä oli aiheutunut salaojien tukkeutumista ja veden kerääntymistä tunnelin pohjalle (kuvat 7 ja 8). Korjaustöiden yhteydessä kaivettiin kuivatusjärjestelmät auki, ja ne rakennettiin uudelleen vasemmalla puolella Km 139+418...620 ja oikealla puolella Km 139+422...620. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuva 7. Vesi keräytyy Tottolan tunnelin pohjalle (apuna käytetty sinistä väriainetta) (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).



Kuva 8. Auki kaivettu salaojan kohta Tottolan tunnelissa (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

Eristerakenteiden korjaus

Tunnelin eristerakenteiden vaurioita on korjattu kunnossapitäjän toimesta erilaisilla menetelmillä (kuvat 9 ja 10) vuosien saatossa. Käytetyin helpoin korjausmenetelmä on ollut vaurioituneiden PE-levysaumojen tiivistäminen polyuretaanivaahdolla. Yhtenä korjausmenetelmänä on ollut uuden polyeteenilevyn asentaminen kalliositeillä ja uusilla kiinnityspulteilla vaurioituneeseen kohtaan ja tiivistäminen polyuretaanivaahdolla. Vanhempi korjausmenetelmä on ollut kiinnittää laudat muottilukoilla vanhoihin polyeteenilevyjen kiinnityspultteihin tueksi vaurioituneen sauman päälle ja tiivistää sauma polyuretaanivaahdolla. Korjausmenetelmät ovat osoittautuneet varsinkin lautojen osalta huonosti junien paineiskuja kestäviksi, ja samoja kohtia on jouduttu korjaamaan useaan otteeseen uudestaan. Myös polyuretaanivaahdolla tiivistetyt saumat repeytyvät helposti uudestaan.

auki, sillä kovettunut polyuretaanivaaho ei pysty mukautumaan PE-levyjien liikkeisiin. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuva 9. Uudella PE-levyllä korjattu verhousrakenteen sauma (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).



Kuva 10. Laudoilla tuettu vaurioitunut verhousrakenteen sauma (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

Kesällä 2009 Tottolan tunneliin toteutettiin membraanikoerakenne. Koerakenteen tarkoituksena oli selvittää kyseisen korjausrakennusratkaisun toimivuutta veden- ja jääneristeenä rautatietunnelissa. Koerakenne toteutettiin koteloeristerakenteen kohdalle olemassa olevan rakenteen päälle tunnelin kapeimpaan kohtaan, jossa seinälinja on noin 2,5 metriä radan keskilinjasta. Pienestä poikkileikkauksesta johtuen koteloeristerakenne on pahoin vaurioitunut junien painekuormista. Kyseissä kohdassa oli runsasta vesivuotoa vaurioituneesta polyeteenilevyn saumasta, ja talvella kyseiseen kohtaan muodostunut paannejäätä ulottui enimmillään lähimpään kiskoon asti. Pahimpaan aikaan kunnossapitäjä joutui poistamaan jäätä useaan kertaan viikossa junaliikenteen turvaamiseksi.

Membraanikoerakenteen (kuva 11) leveys oli noin seitsemän metriä ja korkeus noin neljä metriä. Membraanikoerakenne koostui yhteen hitsatuista 1,5 mm:n

paksuista ja 1,8 metrin leveistä LLDPE-membraanikaistoista sekä alus- ja päällysyksillä varustetuista kiinnityspulteista. Hitsaamalla rakenteesta saadaan vesitiivis ja asennettujen kiinnityspulttien johdosta rakenne pystyy ottamaan vastaan sekä junien aiheuttamat painekuormat että rakenteen taakse muodostuvan jäänpaineen. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuva 11. Valmis membraanikoerakenne Tottolan tunnelissa (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

3.2.3 Aikaisemmissa tarkastuksissa havaitut eristerakenteen ongelmat

Pilareiden kohdille asennettuja eristerakenteita on jouduttu jälkeinpäin korjaamaan, sillä eristelevyjen kiinnitys betonipilareihin kulmateräksillä ei ole ollut riittävä. Eristelevyt ovat päässeet liikkumaan paineiskujen vaikutuksesta ja levyjen saumat ovat auenneet. Rikkoutuneita saumoja on korjattu polyuretaaniruiskutuksilla ja levyjen päälle asennetuilla eristeen kiinnityspultteihin hitsatuilla kulmateräksillä, joiden tarkoitus on puristaa polyeteenilevyjen saumoja paikalleen. Rakenne on myös kiinni ATU:ssa. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.2.4 Junien aiheuttamat paineiskut rakenteisiin

Tunneleiden rakentamisen jälkeen junien nopeudet ja koot ovat kasvaneet. Tästä sekä pienestä tunnelipoikkileikkauksesta johtuen junien paineiskujen aiheuttamat rasitukset tunneleiden sisä rakenteisiin ovat kasvaneet ja vaurioita on syntynyt helpommin. Vaurioherkin yksittäinen rakenne Rantaradan tunneleissa on rakenteellisesti suojaamaton polyeteenilevyistä rakennettu veden- ja lämmöneristerakenne, joka pääsee heilumaan ja liikkumaan ohi kulkevien junien paineiskujen johdosta. Paineiskuista johtuen polyeteenilevyjen saumat rikkoutuvat, ja kalliosta tuleva vuotovesi pääsee paikoin vuotamaan tunneliin. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Tunneleissa vuosina 2010–2012 tehdyissä laserkeilauksissa on todettu, että lämmön- ja vedeneristerakenteen takana tapahtuu paannejään muodostumista, mistä aiheutuu verhousterakenteen pullistumista tunneliin päin. Muutamassa kohdassa pullistumista on tapahtunut rakenteen puskusauman kohdalla, ja mittausaineistossa havaitaan näillä kohdilla selkeästi rikkoutunut puskusaumarakenne. Osassa näitä havaittuja kohteita on todettu, että paannejään aiheuttamat muodonmuutokset ovat jääneet pysyviksi, eli rakenne ei ole palautunut alkuperäiseen asemaan pakkaskauden päätyttyä. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Ruiskubetonoiduissa tunneleissa on havaittu ruiskubetonin rapautumista ja myös verhousrakenteen ankkureiden korroosiota. Koska myös näissä tunneleissa kohdistuu rakenteisiin rakentamisaikaa suurempia painekuormituksia, on näissä tunneleissa alennettu junien nopeuksia. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.2.5 Vuotovesien jäätyminen tunneleissa

Rantaradan tunneleiden veden- ja lämmöneristerakenteiden on tarkoitus ohjata kallioista tulevat vuotovedet esteettä tunneleiden pohjalla olevaan salaoja- ja viemärijärjestelmään, jota pitkin vuotovedet kulkeutuvat pois tunneleista. Veden vapaa virtaus ei kaikilla osin toteudu, sillä paikoin verhousrakenne on kiristetty tiukasti suoraan kallionpintaan. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Eristerakenteen polyeteenilevyjen paksuus on 50 mm, mikä ei viime vuosina liikennetunneleihin liittyen tehtyjen tutkimusten mukaan riitä lämmöneristeeksi Suomen olosuhteissa. Rikkoutuneiden eristerakenteiden kohdalla kallioista tulevat vuotovedet pääsevät valumaan ratatunneliin ja muodostavat paannejämuodostumia (kuva 12). Paikoitellen paannejäät kasvavat niin suuriksi, että junaturvallisuuden takaamiseksi jäitä joudutaan poistamaan kunnossapitäjän toimesta jopa monta kertaa viikossa. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuva 12. Paannejäättä Tottolan tunnelissa koteloeristerakenteen kohdalla (VR-Track Oy 2012).

Kylmät talvet ja erityisesti rikkoutuneet eristerakenteet aiheuttavat sen, että vesi jäätyy eristerakenteen takana olevalla kallion pinnalla. Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen tekemien lämpötilamittausten perusteella talvivuosien 2009–2010 oli erityisen kylmä, minkä takia ehjänkin eristerakenteen takana tapahtui jäätymistä. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Vakavin vesivuoto oli katossa kohdalla Km 139+192, jossa rikkoutunut vettä vuotava puskusauma oli katossa ratajohdon yläpuolella. Kunnossapitäjän mukaan kyseiselle kohdalle muodostui talvisin jääpuikkoja ja laaja jääalue tunnelin pohjalle. Paikalla oli käytävä talvisin useita kertoja poistamassa jäätä. Katossa vuotoaikan kohdalla oli selvä jälki polyuretaanieristeen kuumenemisestä (kuva 13). Kuumeneminen oli aiheutunut todennäköisesti siitä, että jääpuikot ovat ulottuneet ratajohtoon saakka ja siitä on seurannut valokaari, joka oli kuumentanut eristerakennetta. Valokaari oli todennäköisesti kestänyt erittäin lyhyen (ms) ajan, mutta se oli kuitenkin aiheuttanut vakavan vaaratilanteen tunnelissa. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuva 13. Kuumentunut polyuretaanisäuma Tottolan tunnelissa (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

3.3 Bäljens

3.3.1 Perustiedot

Bäljensin tunneli (Kmv 88+924–89+222) on rakennettu vuonna 1991. Tunnelin pituus on 298 metriä, ja vapaa poikkileikkausala on 37,2 m². Tunnelissa on eristerakenne molemmilla suuaukoilla ja osittain tunnelin sisällä. Osassa tunnelia on lujitusruiskubetoni näkyvissä.

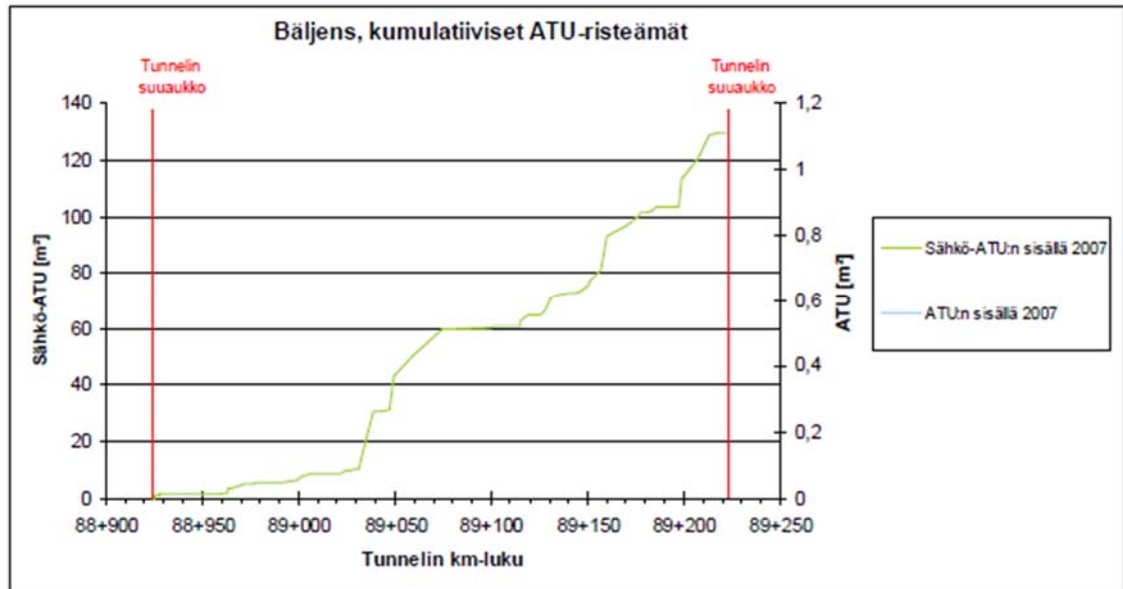
Tunnelin päällä kallio on osittain paljaana ja osittain moreenikerroksen peittämä. Moreenikerroksen paksuus on enimmillään noin neljä metriä. Kivilaji on valtaosaltaan keskirakeista graniittigneissiä. Avokalliot ovat rapautumattomia ja vähärakoisia. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.3.2 Tunnelin rakenteissa havaitut vauriot

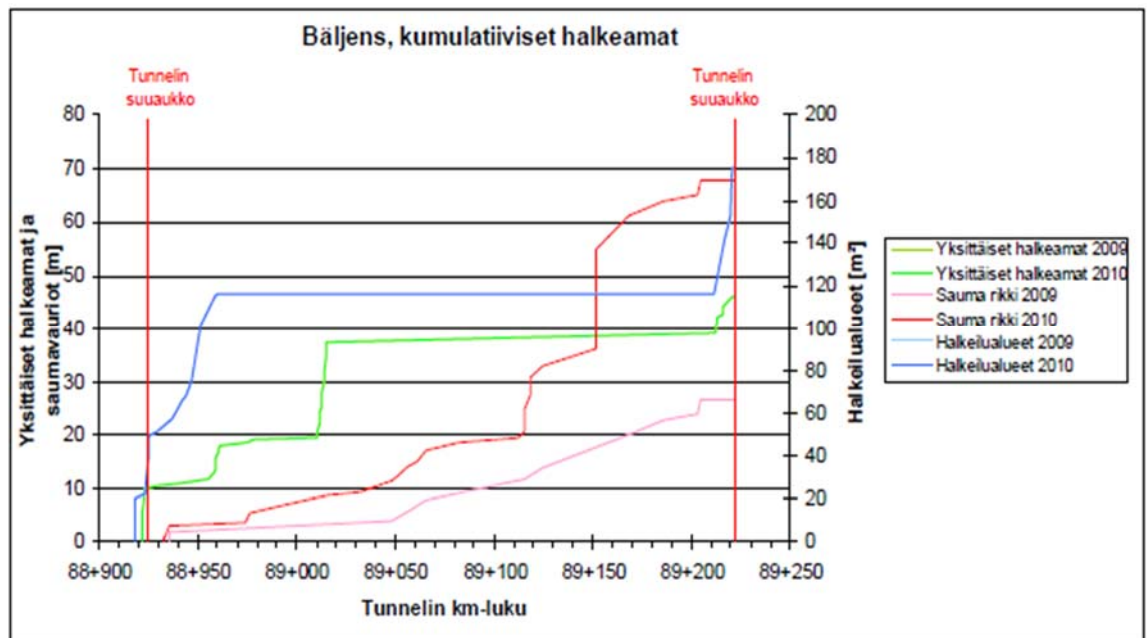
Aukean tilan ulottuman (ATU) risteämät ovat ainoastaan Sähkö-ATU:n sisällä ja sijaitsevat melko tasaisesti koko tunnelin matkalla. ATU-risteämät on esitetty kuviossa 1. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Ruiskubetonipinnoilla oli havaittu yksittäisiä halkeamia ja verkkohalkeilua koko tunnelin alueella, pääsääntöisesti tunnelin suuaukkojen läheisyydessä. PE-levyjen saumavaurioita on havaittu koko tunnelin alueella ja uusia saumavaurioita etenkin tunnelin suuaukon läheisyydessä. Halkeamat on esitetty kuviossa 2. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Vuonna 2009 ei havaittu kosteita pintoja, mutta vuonna 2010 niitä esiintyi. Vesivuodot olivat pysyneet suunnilleen samoissa paikoissa, eikä niitä ollut tullut merkittävästi lisää. Suurin osa vesivuodoista oli tullut eristelevyjien kiinnityspulttien rei'istä. Vesivuodot on esitetty kuviossa 3. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

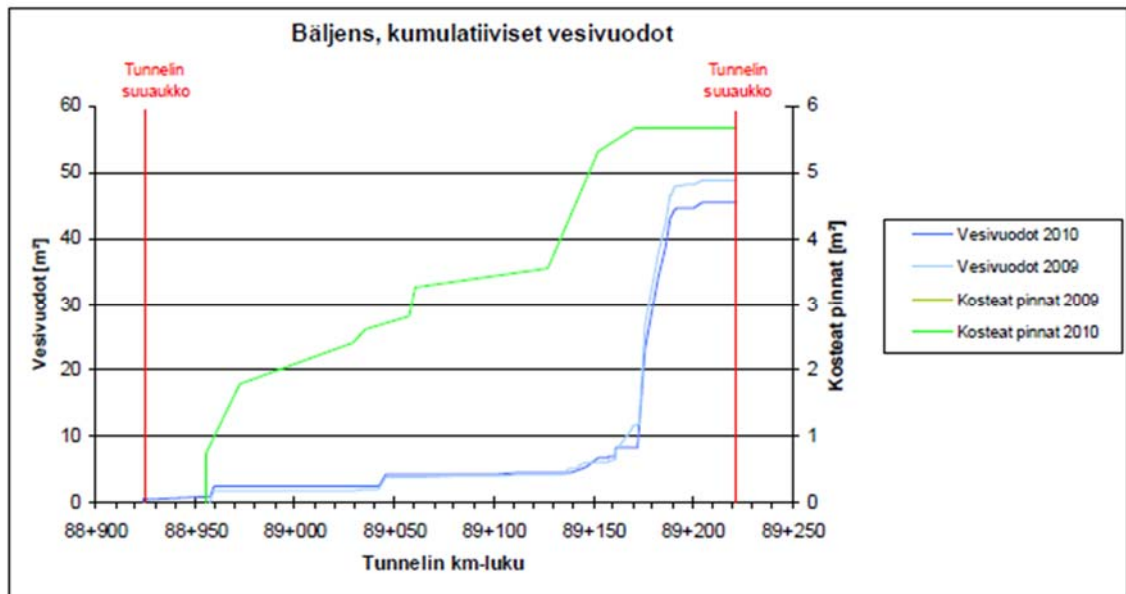


Kuvio 1. Bäljensin tunnelin kumulatiiviset ATU-risteämät perustuen vuoden 2007 laserskannaustuloksiin. ATU-risteämät olivat pelkästään Sähkö-ATU:n alueella. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).



Kuvio 2. Bäljensin tunnelin kumulatiiviset halkeamahavainnot. Yksittäiset halkeamat ja halkeilualueet ovat pysyneet samoina. Polyeteenilevyjen saumavauriot

olivat lisääntyneet lähes koko tunnelin matkalla. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuvio 3. Bäljensin tunnelin kumulatiiviset vesivuotohavainnot. Kosteita pintoja ei havaittu vuonna 2009. Vesivuotopaikat ovat säilyneet melko ennallaan. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.3.3 Kuntoarvio

Bäljensin tunnelin kuntoluokka on heikko. Kunnossapitäjä oli havainnut ja korjannut irronneita kiinnitysankkureita tunnelin suuaukon läheisyydessä oikealla seinällä toukokuussa 2012. Tunnelin verhousrakenne ei kestä liikenteen aiheuttamia paineiskuja. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.4 Högbacka

3.4.1 Perustiedot

Högbackan tunneli (Kmv 94+365–94+565) on rakennettu vuonna 1991. Tunnelin pituus on 200 metriä, ja vapaa poikkileikkausala on 39,2 m². Tunnelissa on eristerakenne molemmilla suuaukoilla ja suurimmalla osalla tunnelin sisällä. Osassa tunnelia on lujitusruiskubetoni näkyvässä. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

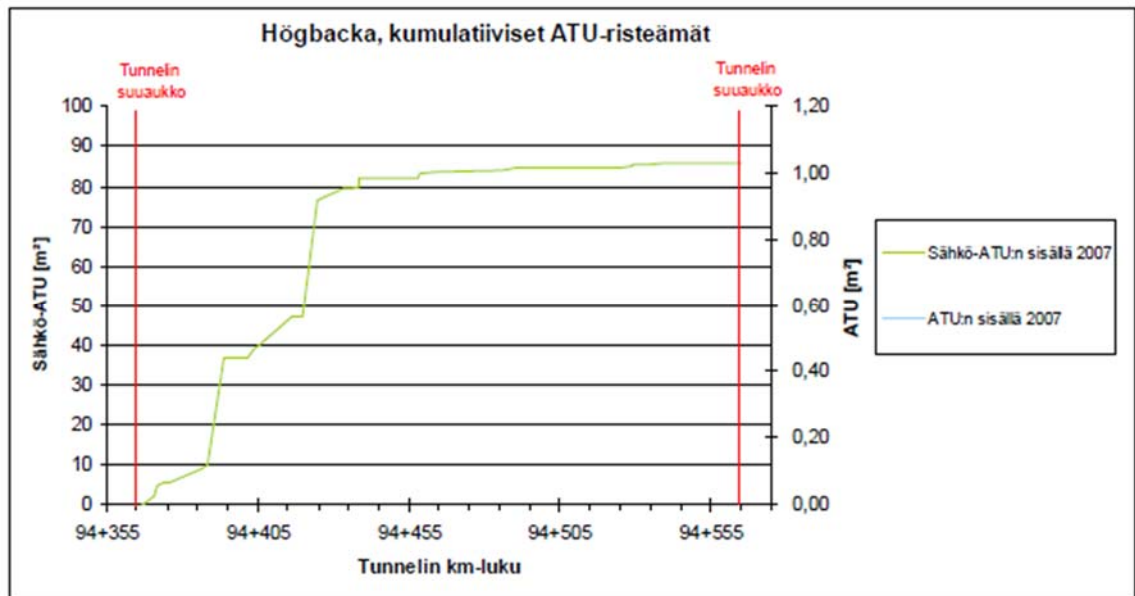
Tunnelin yläpuolella kallio on osittain paljaana, mutta enimmäkseen kivisen ja lohkaraisen moreenin peittämä. Moreenikerroksen paksuus on enimmillään noin seitsemän metriä. Kallionäytekairausten perusteella kallion rakoilu on tunnelissa saman tyyppistä kuin avoleikkauksissa. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.4.2 Tunnelin rakenteissa havaitut vauriot

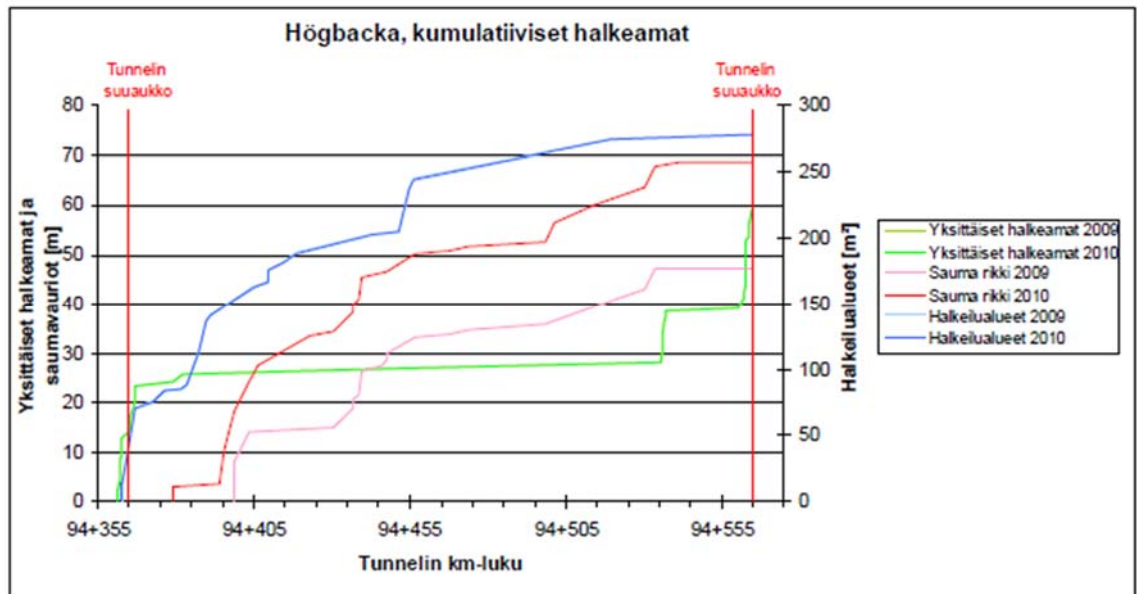
ATU-risteämät olivat ainoastaan Sähkö-ATU:n sisällä ja sijaitsivat melko taksaisesti koko tunnelin matkalla. ATU-risteämät on esitetty kuviossa 4. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Ruiskubetonipinnoilla havaittiin yksittäisiä halkeamia ja verkkohalkeilua koko tunnelin alueella. Lähes kaikki ruiskubetonipinnat olivat halkeilleet. Halkeamat ja halkeilualueet eivät olleet lisääntyneet. PE-levyjen saumavaurioita havaittiin koko tunnelin alueella ja ne olivat hieman lisääntyneet. Halkeamat on esitetty kuviossa 5. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

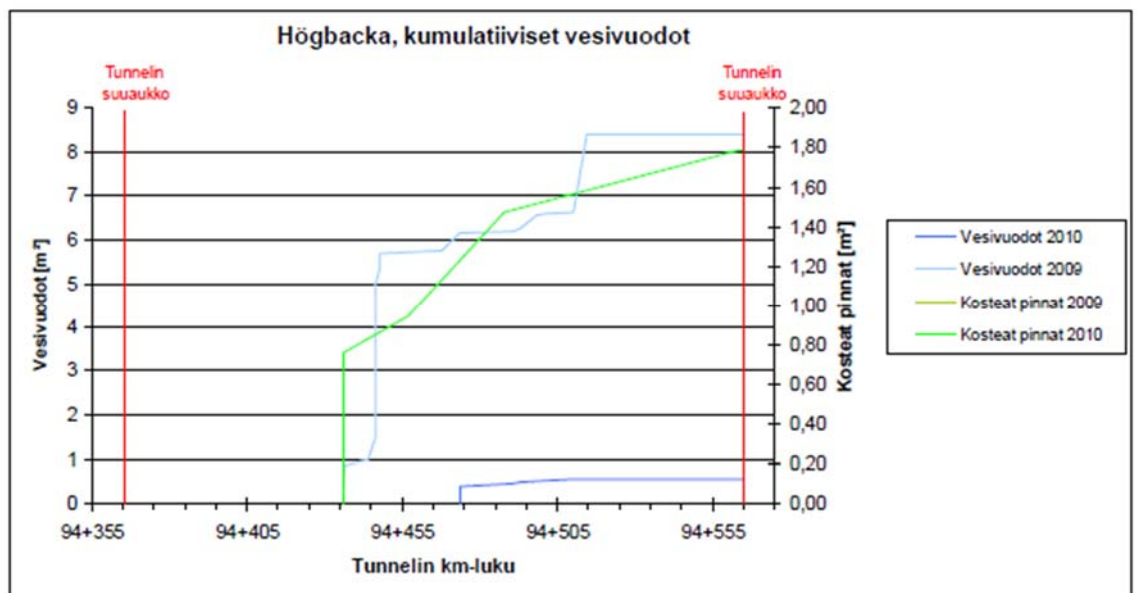
Vuonna 2009 ei havaittu kosteita pintoja, mutta vuonna 2010 niitä esiintyi. Vesivuodot olivat kuitenkin vähentyneet. Suurin osa vesivuodoista tuli eristelevyjen kiinnityspulttien rei'istä. Vesivuodot on esitetty kuviossa 6. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuvio 4. Högbackan tunnelin kumulatiiviset ATU-risteämät perustuen vuoden 2007 laserskannaustuloksiin. ATU-risteämät pelkästään Sähkö-ATU:n alueella (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuvio 5. Högbackan tunnelin kumulatiiviset halkeamahavainnot. Yksittäiset halkeamat ja halkeilualueet ovat pysyneet ennallaan. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)



Kuvio 6. Högbackan tunnelin kumulatiiviset vesivuotohavainnot. Vuonna 2009 ei havaittu kosteita pintoja. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

3.4.3 Kuntoarvio

Högbackan tunnelin kuntoluokka on heikko. Tunnelissa oli havaittu huhtikuussa 2012 useita monen metrin pituisia aukinaisia polyeteenisaumoja, jotka vaativat välitöntä korjaamista. Lisäksi useiden kiinnitysankkureiden kiinnitysmassa oli pettänyt ja ankkureita oli irronnut. Tunnelin verhousrakenne ei kestä liikenteen aiheuttamia paineiskuja. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

4 TOTEUTTAMISMENETELMÄ

4.1 Työssä käytetyt resurssit

Työssä käytettiin teräsosia, joiden vähimmäiskorroosiosuojaus oli kuumasinkitys, joten ennen kuin työ aloitettiin, kuumasinkityt teräsosat passivoitiin varastoimalla niitä ulkoilmassa noin kahden viikon ajan. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

Kiinnitysankkureina käytettiin kuumasinkittyjä kierteellisiä Ø 16 mm:n harjateräspultteja A500HW. Kiinnitysankkureiden tuli olla näkyviltä osilta kierteellisiä ja kalilion sisään työnnettäviltä osilta harjateräspinnan muotoisia. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Vedeneristyskalvon kiinnitysankkureiden kemiallisena kiinnitysmassana käytettiin Hilti HIT-HY 200. Vedeneristyskalvona käytettiin 4 mm:n paksuista HDPE-kalvoa, jonka väri oli musta ja pinta tasainen. Vedeneristyskalvon kiinnittämiseen käytettiin suunnitelmissa esitettyä Pretecin vesitiivistä kiinnityskappaletta. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Rakentamiseen käytettiin normaalisti saatavissa olevia ja käytännössä hyväksi havaittuja rakennustarvikkeita (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

Rakennustarvikkeiden tuli olla asiakirjojen mukaisia, käyttämättömiä, puhtaita ja virheettömiä. Käyttämättömät rakennustarvikkeet sekä keskeneräiset ja valmiit rakennusosat suojattiin tai eristettiin siten, etteivät ne vahingoittuneet rakennustyön aikana, eivätkä työn ollessa pysähdyksissä. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Tuotenimellä tai valmistajan nimellä ja tuotetunnuksella määritetty rakennustarvike voitiin vaihtaa rakennuttajan luvalla toiseen, mutta tarvikkeiden ominaisuuksien tuli olla vähintään samanarvoiset (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

Kaikkien käytettävien materiaalien tuli olla ympäristöystävällisiä, eikä niistä saanut aiheutua terveysriskejä työntekijöille tai ympäristölle. Kaikista käytettävistä kemikaaleista esitettiin käyttöturvallisuustiedotteet. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

4.2 Työmenetelmä

4.2.1 Suunnittelun lähtötiedot

Tunneleiden sisälle oli rakennettu veden- ja lämmöneristerakenne. Veden- ja lämmöneristerakenne koostui 50 mm paksusta polyeteenimattokerroksesta sekä kiinnityspulteista, aluslevyistä ja muttereista, joilla polyeteenimatot oli kiinnitetty kallion tai lujitusruiskubetonin pintaan. Kallion muodoista johtuen polyeteenimatot eivät olleet joka paikassa kiinni kallion tai lujitusruiskubetonin pinnassa vaan il-maväliä saattoi olla useita kymmeniä senttimetrejä. Kiinnityspultteina oli käytetty sähkösinkitettyjä Ø12 mm kierretankoja, jotka oli asennettu noin 1,2 metrin ruu-tuun. Aluslevyt olivat neliön muotoisia 4 mm paksuja metallilevyjä (200 mm x 200 mm), joiden kulmat oli käännetty ylöspäin estämään polyeteenimattojen vaurioi-tumista. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Veden- ja lämmöneristerakenteen avulla ohjattiin tunnelin vuotovedet sulana alas tunnelipohjan rakennekerrokseen ja sitä kautta tunnelin kuivatusjärjestelmään. Tunnelin pohjassa tukikerroksen alla oli lämmöneristeenä routalevyt. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Aivan tunnelin suuaukolla, noin kuusi metriä suuaukolta sisäänpäin, veden- ja lämmöneristerakenteen päälle oli ruiskutettu UV-säteilyltä suojaava ruiskubeto-

nikerros. Osa veden- ja lämmöneristerakenteesta oli ilman suojaavaa ruiskubetonikerrosta. Näillä alueilla polyeteenimatot eivät olleet pysyneet kiinni junan painekuormien vuoksi. Eristeiden kiinnityksiä oli lisätty erilaisilla pulttikiinnityksillä sekä pulttikiinnitysten, kalliositeiden ja lautojen yhdistelmillä. Repsottavia saumoja ja aukkoja oli yritetty liimata ja täyttää polyuretaanivaahdolla. Myös uusia polyeteenimattoja oli käytetty paikkaamiseen. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Alustavia töitä voitiin suorittaa normaalin junaliikenteen ehdoin normaalisti noin klo 24.00–5.30. Tilaaja varasi Karjaa–Salo välille liikennekatkoja töiden suorittamista varten. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

4.2.2 Ennen liikennekatkoja tehtävät työt

Uuden vedeneristysrakenteen asennuksen mahdollistamiseksi korjattavalla alueella tehtiin valmistelevia töitä. Vedeneristyskalvon alla ei saanut olla teräviä kulmia, jotka voivat vaurioittaa kalvoa. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Nykyiset polyeteenilevyt kiinnitettiin aluslevyillä varustetuilla kiinnityspulteilla kallioon tai lujitusruiskubetoniin. Muttereiden ulkopuolelle jäävä kiinnityspultin osa katkaistiin ja myöskin aluslevyjen ulospäin käännetty kulmat leikattiin. Kiinnityspulttien ja aluslevyjen kulmien katkaisussa varmistettiin, ettei kulmiin syntynyt teräviä reunoja, jotka voisivat vahingoittaa uutta vedeneristysrakennetta. Kiinnityspulttien ja aluslevyjen kulmien katkaisu tehtiin uuden vedeneristyksen alle jääville alueille. Kiinnityspulttien ja aluslevyjen kulmien katkaisussa huomioitiin, että polyeteenilevyt ovat erittäin herkästi syttyvää ja räjähdysmäisesti palavaa materiaalia, jonka palokaasut ovat myrkyllisiä. Katkaisutapa valittiin tämä asia huomioiden. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Irti olevat kiinnityspultit, kalliositeet ja vastaavat rakenteet irrotettiin ja löysät aluslevyt kiristettiin. Mikäli aluslevyä ei pystytty esimerkiksi kierretangon korroosion

vuoksi kiristämään, katkaistiin kierretangot polyeteenilevyn tasalle. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Katkaistujen kiinnityspulttien ja aluslevyjen sekä kalliositeiden ja muiden terävien kulmien päälle asennettiin uutta vedeneristettä suojaava polyeteenimatto. Suojaavan polyeteenimaton vähimmäispaksuus oli 5 mm, ja se kiinnitettiin olemassa olevaan polyeteenimattoon kuumahitsaamalla. Suojaavaan polyeteenimaton alareunaan jätettiin 20–50 mm leveä alue, jota ei kiinnitetä alustaan. Näin pultinreistä tulevat vuotoveden pääsivät valumaan tunnelin kuivatusjärjestelmään. Ehdotettu kiinnitystapa hyväksyttiin tilaajalla ennen kyseisen työvaiheen aloittamista. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Polyeteenilevyjen saumoihin asennettu polyuretaanivaaho tasoitettiin, jotta asennettavalla vedeneristyskalvolla olisi ollut mahdollisimman tasainen asennuspinta. Repeytyneet polyeteenilevyt korjattiin 50 mm paksuilla polyeteenilevyillä siten, että lämmöneristeenä toimiva polyeteeni oli ehjä koko vedeneristekalvon taakse jäävällä alueella. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Jotta uusi vedeneristyskalvo voitiin asentaa tunnelin pohjassa sijaitsevan routalevyn alapuolelle, täytyi routalevyn päällä oleva sepeli kaivaa pois. Kaivu ulotettiin syvyyssuunnassa salaojatasoon asti ja leveyssuunnassa enintään radan tukikerrokseen asti. Ennen kalliomurskeen kaivamista levitettiin alueelle suodatinkangas estämään massojen sekoittumista. Ennen liikennekatkoa suoritettavissa kaivutöissä huomioitiin, ettei kaivettuja massoja uloteta ATU:n sisäpuolelle. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Tunnelin pohjalla olevat kaapelit siirrettiin mahdollisimman lähelle lähimpää kiskoja ja suojattiin suodatinkankaalla ja sepelillä. Vedeneristyskalvon kiinnitysankurit ja aluslevyt asennettiin suunnitelmissa esitettyihin paikkoihin. Aluslevyt asennettiin mahdollisimman lähelle PE-levyjen pintaa. Vedeneristyskalvon kiinnitysankurit kiinnitettiin kallioon kemiallisella ankkurointimassalla valmistajan ohjeiden mukaan. Asennussyvyys kallioon oli vähintään 300 mm. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Valmistelevat työt hyväksyttiin tilaajalla, ja korjattava alue valokuvattiin ennen vedeneristyskalvon asennusta. Tunneleiden verhouksrakenteen irronneet kiinnitykset uusittiin liitteessä 1 esitetyllä kiinnitysratkaisulla. Uusiminen voitiin tehdä ennen liikennekatkoa, liikennekatkona aikana tai liikennekatkon jälkeen. (H. Saarikivi, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

4.2.3 Liikennekatkojen aikana tehtävät työt

Tunneleissa olevien nykyisten PE-levyjen päälle asennettiin vedeneristyskalvo suunnitelmapiirustuksissa esitetyssä laajuudessa. Kalvo rakennettiin siten, että hitsausaumojen määrä oli mahdollisimman pieni, ja se asennettiin kiinnitysankureiden väliin tiukasti, ettei kalvo ei roiku. Myöskään vesipesien muodostumista kalvon taakse pyrittiin estämään. Kalvon osat ekstruusiohitsattiin (lämpöhitsaus) toisiinsa, ja hitsisauma testattiin kipinätestillä. Hitsisaumojen tarkastuksesta laadittiin tarkastuspöytäkirja, joka toimitettiin valvojalle. Kalvon hitsaajan pätevyysvaatimuksena oli EN 13067 "Plastic Welding Personnel – Qualification Testing of Welders – Thermoplastic Welded Assemblies" mukainen koulutus. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Tunnelin pohjassa kalvo asennettiin salaojaputkien tasoon ja nykyinen routaeriste poistettiin kalvon asennuksen vaatimassa laajuudessa. Tunnelin pohjassa olevan routaeristeen läpivientikohdan routaeristys varmistettiin 50 mm:n paksuisella XPS lisäroutaeristeellä. Lisäroutaeriste asennettiin pystyyn kalvoa vasten 200 mm:n ja vaakatasossa nykyisen routaeristeen päälle vähintään 200 mm:n limityksellä. Lisäroutaeristeen asennusten jälkeen sepeli siirrettiin takaisin routaeristeiden päälle ja muotoiltiin tasaiseksi. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Kun kalvo kiinnitettiin aluslevyihin ja hitsattiin yhtenäiseksi vesitiiviiksi rakenteeksi, aloitettiin kiristämään päälly levyt ja mutterit. Tämän jälkeen kalliositeet maadoitettiin urakoitsijan esittämällä tavalla ja asennettiin suunnitelmassa esitettyihin paikkoihin. (H. Saarikivi, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015.)

Kalvon ja ruiskubetonin välinen osuus rakenteen reunoilla kalliositeiden alla tiivistettiin elastisella polyuretaanimassalla (Elastinen Megavaahto PRO) (H. Saarikivi, henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2015).

4.3 Asiantuntijoiden kommentit

Opinnäytetyössä haastateltiin tilaajan edustajaa, työn valvojaa ja suunnittelijaa. Haastattelut tehtiin anonymisti, ja jokaiselle haastateltavalle tehtiin omat kysymykset heidän asemansa mukaisesti. Haastatteluista tehtiin kooste ja kysymykset esitetään liitteessä 2.

Kaikki haastateltavat olivat yksimielisiä tunneleiden korjaamisen vaativuudesta ja sen tuomista ongelmista. Korjausmenetelmän valintaan vaikutti olennaisesti liikennekatkojen vaikea saanti ja rajallinen rahamäärä. Haastattelussa todettiin, että kyseinen korjaus on vain väliaikainen elvytys kyseisille tunneleilla, ja asiantuntijat tiedostavat, että mahdollisen uudelleen korjauksen tulevan ajankohdaksi muutaman vuoden päästä.

Suunnittelun lähtökohtana oli suunnitella rakenne, jolla saadaan estettyä vesivuodot ja jään muodostuminen tunneliin. Rakenteen materiaalin piti kestää tunneliolosuhteet (kosteus ja lämpötilavaihtelut) sekä junien aiheuttamat painevaihtelut. Lisäksi materiaali ei saanut paloturvallisuusmielessä huonontaa nykyistä tilannetta. Rakenne piti olla toteutettavissa normaaleissa tai erikseen sovituissa hieman pidemmissä liikennekatkoissa. Usean viikon totaali katkoja ei ollut mahdollista saada.

Ruiskutettava palosuojamassa oli myös mietitty, mutta sen mekaanista kestävyyttä ei voitu riittävästi varmistaa. Myös jonkinlaisia metallisia suojia mietittiin, mutta niiden tekeminen tunnelin vaihteleviin muotoihin koettiin vaikeaksi.

Ennen suunnittelua Rantaradan tunneleissa tehtiin kävelytarkastus, jossa vauriot kirjattiin ylös laserskannausohjelmaan. Näin saatiin jokaiselle vaurioille määritettyä tietoa sen sijainnista ja laajuudesta. Koska nykyisissä liikennekatkoissa sekä

nykyisellä budjetilla ei ollut mahdollista korjata kaikkia tunneleita täysin, valittiin korjattaviksi juna- ja henkilöturvallisuuden kannalta kriittisimmät kohdat.

Tulevaisuutta ajatellen tilaaja ei osannut sanoa, tullaanko tunneleissa käyttämään uudelleen samaa menetelmää, sillä se oli liian aikaista sanoa vielä. Tosin valintahetkellä se oli kustannustehokkain ratkaisu. Tietomallintamisen hyödyntäminen projektissa oli toiveena sekä tilaajalla että valvojalla, sillä seurannan parantaminen oli yhtenä kehittämisen ideana projektissa. Heidän mielestään tietomallintaminen tulee olemaan oleellinen työkalu korjausrakentamisessa, mutta tietomallintamisen ammattilaisia on todella vähän vielä Suomessa.

Kaikki haastateltavat olivat olleet tyytyväisiä tähän asti näkemäänsä lopputulokseen ja urakoitsijan toimintaan.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Nykyajan mukaisesti suuri osa väylistä kärsivät määrärahojen puutteesta, joten tunnelien suurimittaiseen kunnostamiseen ei ole tulossa lähitulevaisuudessa suuria investointimäärärahoja. Rantaradan tunneleiden yleiskunto on hälyttävässä kunnossa, ja ne kaipaavat pikaisesti laajempaa korjausta. Tunnelit ovat vanhoja ja tehty sen ajan standardeilla ja tekniikalla. Junien koot ja nopeudet ovat kasvaneet vuosien saatossa, ja näin ollen niiden aiheuttamat rasitukset tunnelin rakenteille ovat myös kasvaneet. Tunneleiden käyttöikä on täyttynyt, ja ne tarvitsevat suuremman peruskunnostuksen. Nämä ovat suurimmat syyt tunneleiden huonoon kuntoon.

Ralf Ajalin Oy:n tekemää korjausta voidaan pitää eräänlaisena väliaikaisena elvytyspakettina. Tunneleissa korjattiin vain kriittisimmässä kunnossa olevat vuotokohtat, ei koko tunnelia. Tämä jätti siihen siis kohtia, jotka ovat kokonaan korjaamatta tai tarvitsisivat lähitulevaisuudessa korjaamista. Edelleen siellä on vuotokohtia, jotka muodostavat kovan pakkasen sattuessa jääpuikkoja ja voivat tipua sieltä tunnelin läpi ajavaan junaan tuhoisin seurauksin.

Ralf Ajalin Oy:n suorittama korjaus antaa vain muutaman vuoden avun ongelmiin, jonka jälkeen joudutaan miettimään jo uutta korjausprojektia. Paras ja toimivin ratkaisu olisi ollut tunneleiden vesieristyksen uusiminen kokonaan, mutta tämä ei ole kustannussyistä mahdollista. Perusteellinen kunnostus vaatisi liian suuren rahallisen investoinnin, mihin tällä hetkellä ei ole varaa. Toisena isona ongelmana on liikennekatkojen saatavuus, sillä junaliikennettä ei voida pysäyttää kovin pitkäksi ajaksi ja PE-rakenteen asentaminen on todella hidasta.

Vielä on liian aikaista sanoa, oliko tämä uusi korjaustapa toimiva, kustannustehokas ja tulevaisuudessakin käytettävä menetelmä. Edellisiin korjausmenetelmiin verrattuna voidaan kuitenkin sanoa, että tunnelit näyttävät korjauskohdista paljon siistimmältä ja kalvorakenne on teoriassa kestävämpi ja pitkäaikaisempi kuin aikaisemmat korjausmenetelmät. Rakenne on tietyin edellytyksin myös myö-

hemmin ruiskubetonoitavissa, jos siihen tulee tarvetta. Urakoitsijan keksimä innovaatio liimata kuumailmapuhaltimella polyeteenimatot ja jättää uretaanivaahdot pois olivat oivia ratkaisuja. Aikaisemmista menetelmissä suosittiin uretaanivaahdot eristeiden saumoissa, mutta se ei toiminut, sillä uretaanivaahdot ei kiinnittynyt kunnolla eristeeseen ja näin ollen saumat jäivät auki. Muutenkin aikaisemmillä korjausmenetelmillä näytti siltä, että oli ajateltu uretaanivaahdon olevan ratkaisu kaikkeen. Korjausmenetelmän ongelmana on, että PE-rakenteen taakse ei päästä kartoittamaan kalliota ja ruiskubetonia eikä niiden kunnosta ei saada tietoa. Myöskin mahdolliset lisälujitukset on todella vaikea tehdä kun kalvorakenne on asennettu. Ainoa tapa olisi rikkoo rakenne, jotta päästä kalvojen taakse työstämään kalliota. Tämä tosin ei olisi kovinkaan kustannustehokas ratkaisu.

Yksi olennainen ongelma, joka selvisi kenttätutkimuksissa, oli tunneleiden lähes olematon paloturvallisuus, siihen kannattaa erityisesti kiinnittää huomioita seuraavissa katselmuksissa. Paras ratkaisu olisi ollut ruiskubetonointi, joka antaisi sekä palosuojan että mekaanisen suojan, mutta tämän vaihtoehdon toteuttaminen ei ole mahdollista lyhyillä liikennekatkoilla, sillä sen toteutus vaatii huomattavan pitkää katkoa. PE-kalvoilla on kyllä hyvä paloturvallisuus, mutta niitä asennettiin vain kriittisiin kohtiin.

Työ suorittaminen oli erittäin vaativa, koska liikennekatkojen saaminen oli vaikeaa ja työ sijoittui yöaikaan, mutta työ toteutettiin kuitenkin suunnitelmien mukaisesti. Tilannetta kannattaakin nyt seurata vähintään tämän vuoden loppuun asti, ja sitten voidaan arvioida oliko kyseinen korjausmenetelmä toimiva.

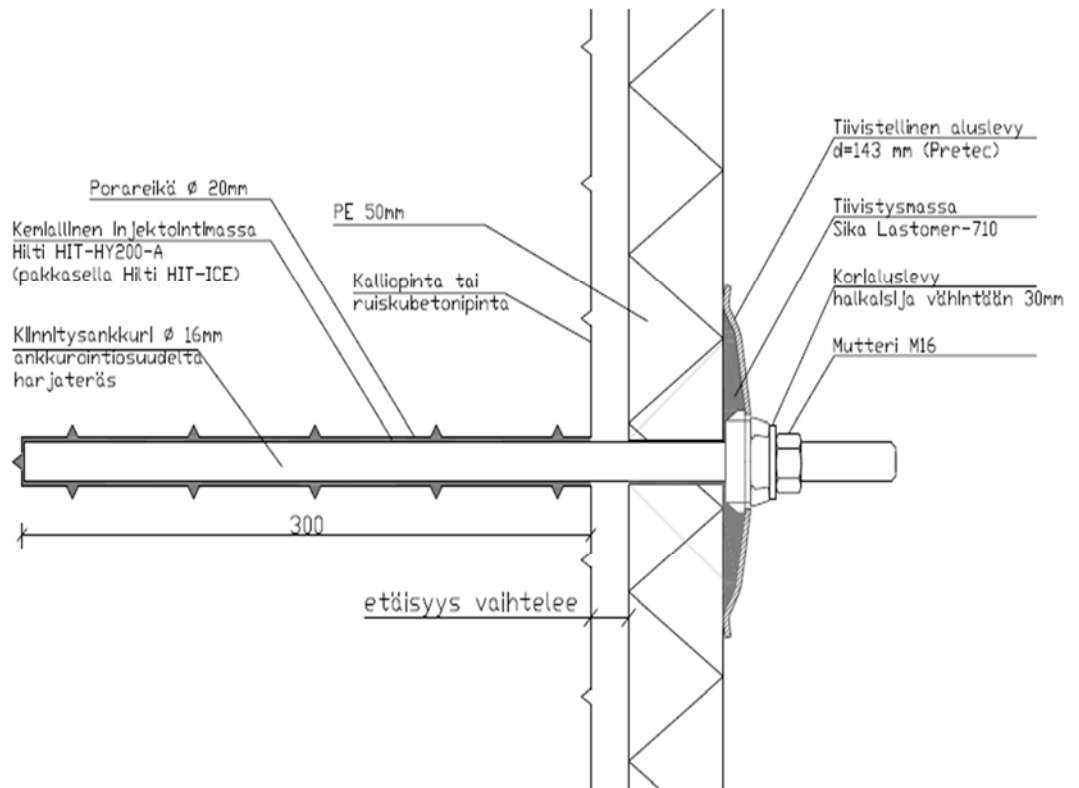
Huomioon otettavaa on myös se, että tässä korjattiin vain kolme Rantaradan tunnelia. Rantaradalla on monia muita tunneleita, jotka ovat suurella todennäköisyydellä myös huonossa kunnossa ja kaipaavat korjausta. Suositeltavaa olisi ennaltaehkäistä tunneleiden kunnan pääsy Tottolan tunnelin tasolle. Selvää on, että Rantaradan tunnelit ovat ongelma myös tulevaisuudessakin. Kannattavaa olisi miettiä, olisiko iso investointi korjata tunnelit kunnolla kustannustehokkaampaa kuin 2–3 vuoden välein tunneleiden korjaaminen paikoitellen.

LÄHTEET

Ratahallintokeskus 2008. Rantaradan ratatunneleiden verhousteriaalivaihtoehtojen selvitystyö. Viitattu 5.1.2015.

RIL154-2 Tunneli- ja kalliorakennus II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Vesitiivis PE-kiinnitys



Haastattelukysymykset

Tilaaaja

1. Kuinka pitkä kokemus sinulla on tilaajana toimimisesta ratatöissä?
2. Kuinka laaja korjaustarve on Liikenneviraston omistamissa tunneleissa?
3. Paljonko Liikennevirastolla on ollut tunnelinkorjausurakoita per vuosi?
4. Miten liikennevirasto on päätenyt kyseiseen korjausvaihtoehtoon ja miksi tähän päädyttiin?
5. Miten tämä vaihtoehto toimii verrattuna aikaisempiin korjaustapoihin?
6. Onko tilaajan mielestä korjausmenetelmä onnistunut?
7. Onko mahdollista, että Liikennevirasto toteuttaa muilla toteutusmenetelmillä tunnelinkorjauksia vai onko tämä menetelmä tulevaisuudessakin käytetty tapa?
8. Voisiko mielestäsi korjausmenetelmää kehittää, ja miten?
9. Onko valittu menetelmä mielestäsi kustannustehokas?
10. Vapaa sana

Valvoja

1. Kuinka pitkä kokemus sinulla on ratatöistä?
2. Kuinka laajat ovat rantaradan tunneleiden ongelmat?
3. Miten päädyit valittuun urakkamuotoon, jossa käytetään yksikkö- ja kokonaihintaurakka yhdistelmää?
4. Mitä mieltä olet suunnitelmista ja saavutetaanko kyseisellä suunnitteluratkaisulla toimiva kokonaisuus tunnelikorjauksessa?
5. Voisiko mielestäsi korjausmenetelmää kehittää?
6. Mitkä ovat mielestäsi suurimmat haasteet tunnelikorjauksessa rakennuskonsultin kannalta?
7. Vapaa sana

Suunnittelija

1. Kuinka pitkä kokemus sinulla on ratatunneleiden korjauksesta
2. Miten päädyit suunnittelussa kyseiseen toteutustapaan, ja millä perusteilla?
3. Mitä hyvää ja huonoa kyseisessä menetelmässä on aikaisempiin menetelmiin verrattuna?
4. Miten tätä rakennetta on tutkittu ennen suunnittelun aloittamista?
5. Millä kriteereillä korjattavat kohdat valittiin?
6. Saavutetaanko valikoiduilla korjauskohdilla toimiva kokonaisuus?
7. Vastaako toteutettu korjaus sinun suunnitelmaa?
8. Mitä kyseisessä korjausmentelmässä voisi kehittää?
9. Mitä mieltä olet urakoitsijan toiminnasta
10. Vapaa sana