

Tytti Anttila

Kehäradan haitta-ainealueen suojarakenne

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

29.4.2013

Tekijä(t) Otsikko	Tytti Anttila Kehäradan haitta-ainealueen suojarakenne
Sivumäärä Aika	45 sivua + 5 liitettä 29.4.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Osastopäällikkö Magnus Långsted Projektipäällikkö Jaakko Vuopio Lehtori Timo Leppänen
<p>Insinööriyössä selvitettiin Kehäradan haitta-ainesuojusrakenteen valintaa ja toteutustavan toimivuutta sekä syitä siihen, miksi tällaisen massiivisen suojausrakenteen rakentaminen oli tarpeellista.</p> <p>Työn pohjamateriaalina käytettiin raportteja, selvityksiä, pöytäkirjoja, suunnitelmaselostuksia ja suunnitelmia vuosilta 2011 – 2013. Haastatteluja tehtiin sekä sähköpostilla että kasvotusten ja vastaajina toimivat niin urakoitsijan, kalvourakoitsijan, valvojan kuin suunnittelijankin edustajat.</p> <p>Selvitystyön jälkeen voidaan todeta, että suojarakenteeksi on valittu oikea suojakalvo ja että kalvourakoitsija työskentelee laadukkaasti. Kalvourakoitsijan oma valvonta toimii moitteettomasti eikä työskentelyn laadussa ole ollut havaittavissa puutteita.</p> <p>Tämän perusteella voidaan esittää päätelmä siitä, että tavoiteltu 100 vuoden käyttöikä on mahdollista saavuttaa. Tämä kuitenkin vaatii sitä, että kaikkien toimijoiden yhteispeli jatkuu saumattomana koko projektin loppuun asti. Tämän insinööriyön puitteissa on kuitenkin seurattu suojakalvoasennuksen alkuvaiheita.</p>	
Avainsanat	Kehärata, haitta-aine, glykoli, suojaus, suojakalvo

Author(s) Title	First name Last name Protection structure of the Ring Rail Line contaminant area
Number of Pages Date	45 pages + 5 appendices 29 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Environmental Construction
Instructor(s)	Magnus Långstedt, Department Manager Jaakko Vuopio, Project Manager Timo Leppänen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this bachelor thesis was to investigate the choice procedure of the contaminant protection structure of the Ring Rail Line and the functionality of its implementation. In the thesis is also investigated the reasons why the building of such a massive protective structure was necessary.</p> <p>The material of this thesis is based on includes reports, inquests, minutes, plan reports and designs between the years 2011 – 2013. The interviews were conducted via e-mail, as well as face to face. The interviewees were the contractor's, the membrane contractor's, the supervisor's and the designer's representatives.</p> <p>After the investigation it can be concluded that the appropriate membrane was chosen for the protective structure and the contractor responsible for the installation of the membrane is doing high quality work. Self-control and quality of work of the membrane contractor is proper and no deficiencies have been reported.</p> <p>Based on the investigation, it can be concluded that the target of 100-year lifespan can be achieved. This, however, requires that all of the participants continue to work seamlessly throughout the project. Within the framework of this thesis, however, only the early stages of membrane installation have been followed.</p>	
Keywords	Ring Rail Line, contaminant, glycol, protection, membrane

Sisällys

Lyhenteet ja sanasto

1	Johdanto	1
2	Haitta-ainealueen organisaatio	4
3	Kehäradalla havaitut haitta-aineet	5
3.1	Haitta-aineiden kulkeutuminen ratatunneliin	7
3.2	Haitta-aineiden vaikutukset tunnelin rakennusmateriaaleihin	9
4	Haitta-ainesuojaus	11
4.1	Yleissuunnitelmavaiheen valintaperusteet	12
4.2	Toteutustavan valinta	13
4.2.1	Betonielementtiratkaisu	14
4.2.2	Teräspoimulevyratkaisu	15
5	Suojakalvo	16
5.1	Suojakalvon vaatimukset	16
5.2	Vaihtoehdot suojakalvoksi	17
5.3	Valittu suojakalvo	19
6	Suojakalvon laadunvarmistus	19
6.1	Kalvorullien käsittely	22
6.2	Saumauksen laadunvalvonta	23
6.2.1	Paineilmakoe	23
6.2.2	Jännitetestaus	24
7	Suojakalvon asennus ja hitsaus	25
7.1	Ratatunneli	25
7.1.1	Pohjalaatta	26
7.1.2	Pohjalaatan mallikatselmus	27
7.1.3	Elementtirakenne	28
7.2	Yhdystunneli	30
7.3	Ankkurointiuloke	31
7.4	Paikan manuaalinen hitsaus	32
8	Suojakalvon liitokset	34

8.1	Suorakulmainen liitos	34
8.2	HST-pellin ja suojakalvon liitos	35
8.3	Vesikourun ja pohjalaatan liitos	35
8.4	Pohjalaatan alle ja tunnelin päälle tulevan kalvon yhdistäminen	36
8.5	Valulevyn ja suojakalvon liitos	36
8.6	Valulevyn ja ankkurointitappien liitos	37
8.7	Valubetonirakenteen ja kallion liitos	38
8.8	Rondell-liitos	39
8.9	Suojakalvon kiinnitys kallioon	40
9	Yhteenveto	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. Toimivuusominaisuudet	
	Liite 2. Tasokuva ja leikkaukset A – A ja B – B	
	Liite 3. Kalvovertailu	
	Liite 4. Suojakalvoasennuksen laadunvarmistuksen sisällysluettelo	
	Liite 5. Esitys kalvoasennuksen eroista	

Lyhenteet ja sanasto

Biofilmi	Pinnoilla kasvava, liman ympäröimä, mikrobisolupopulaatio
Ekstruusio	Eli suulakepuristus, on menetelmä, jolla muoviraaka-aine plastisoidaan ja muotoillaan jatkuvana prosessina suulakkeen läpi halutun muotoiseksi tuotteeksi
Geotekstiili	Kangas tai kudος, jota voidaan käyttää esimerkiksi erilaisten maakerrosten erottamiseen toisistaan
HDPE	Suurtiheyspolyeteeni
HST	Haponkestävä teräs
LLDPE	Lineaarinen pientiheyspolyeteeni
Mikrobi	Yleisnimitys mikroskooppisen pienelle eliölle
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, asetus kemikaalirekisteröinnistä, kemikaalien arvioinnista, lupamenettelyistä sekä rajoituksista
XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti
XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti

1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehdään Pöyry Finland Oy:lle, Liikennejärjestelmät ja infrarakentaminen yksikköön, Kalliotilat ja suojat -osastolle. Pöyry on Suomessa 1958 perustettu insinööritoimisto, jonka päätoimialoina ovat energia, metsäteollisuus, kemian prosessiteollisuus, liikennejärjestelmät ja infrarakentaminen, vesi- ja ympäristö ja rakentamisen palvelut. Pääkonttori sijaitsee Vantaan Martinlaaksossa, aivan Kehärata-projektin läntisen alkupisteen, Vantaankosken aseman vieressä. Suomessa Pöyryllä on 11 toimipistettä. Maailmanlaajuisesti Pöyry työllistää 7000 asiantuntijaa 49 maassa. Pöyry on kirjautunut Helsingin pörssiin vuonna 1997 ja sen vuotuinen liikevaihto vuonna 2012 oli 775 miljoonaa euroa. [1.]

Kehärata on Vantaan poikittainen kaupunkirata Vantaankoskelta Hiekkaharjuun, jossa se liittyy päärautaan. Uusi rataosuus on pituudeltaan 18 kilometriä ja tuo rataverkon piiriin uusia alueita Vantaalta ja luo uuden ratayhteyden Helsingin keskustasta Helsinki-Vantaan lentoasemalle. Ensimmäisessä vaiheessa rakennetaan viisi uutta asemaa ja kolme asemavarausta. Rata on kaksiraiteinen vain henkilöliikenteelle tarkoitettu rata, joka kulkee kaksoistunnelissa 8 kilometrin matkan, ja alittaa lentokentän alueen. [2.]



Kuva 1. Kehäradan reitti sekä uudet asemat ja asemavaraukset [2]

Kehäradan ensimmäinen suunnitteluvaihe alkoi vuonna 2001. Toukokuussa 2010 tehtiin ensimmäiset havainnot haitta-aineesta Kehäradan louhitussa tunnelissa. Aiemmin laadituissa ympäristöluvista tai kokousmuistioissa ei ole mainintoja haitta-aineesta. Kehäradan suunnitteluvaiheen aikana vuosien 2001 ja 2008 välillä ei suunnitelmasiakirjoista löydy mainintaa glykolin esiintymisestä pohjavedessä. Todellisuudessa ensimmäiset havainnot kalliopohjaveteen imeytyneestä glykolista oli tehty Päijännetunnelin peruskorjauksen yhteydessä syksyllä 2008. [3, s. 1.]

Finavia Oyj tarkkailee Uudenmaan ympäristökeskuksen hyväksymän ohjeen mukaan Helsinki-Vantaan lentokentän vaikutusta sekä pinta- että pohjavesiin. Tarkkailuohjelma on vuodelta 2007. Tarkkailun painopiste on ollut maapohjavedessä. Kalliopohjavettä on tarkkailtu vain kolmella kalliopohjavesipisteellä. Glykolin ja niiden hajoamistuotteiden esiintymistä näytteissä ei varsinaisesti ole analysoitu. Arvioita esiintyvyydestä on esitetty happipitoisuuden, kemiallisen hapenkulutuksen ja hajun perusteella. [3, s. 7.]

Liikenteelle rata piti avata heinäkuussa 2014, mutta haitta-ainesuojauksen takia rata otetaan käyttöön vasta kesällä 2015. Radan valmistuminen viivästyy noin vuodella. On

lisäksi arvioitu, että haitta-ainesuojarakenteen rakentaminen aiheuttaa hankkeelle 50 miljoonan euron lisäkustannukset. [4.]

Tämän insinööriyön tavoitteena on laatia raportti, jossa arvioidaan varsinaisen haitta-ainesuojarakenteen eli suojakalvon laadun, asennuksen, hitsauksen ja laadunvalvonnan toteutumista kehäradan haitta-ainesuojaus alueella. Kyseisiin asioihin perehdytään työlle asetettujen laadullisten vaatimusten sekä ehdotettujen ja hyväksytyjen suunnitelma- ja toteutusratkaisuiden kautta.

Lopputuloksena esitetään arvioita tehtyjen valintojen vaikutuksista. Työssä selostetaan myös syitä siihen, miksi ja mistä lähtökohdista haitta-ainesuojarakennetta on lähdetty suunnittelemaan, mikä haitta-aineesta tekee rakenteille haitallisen ja miten haitta-aine on tunneliin kulkeutunut.

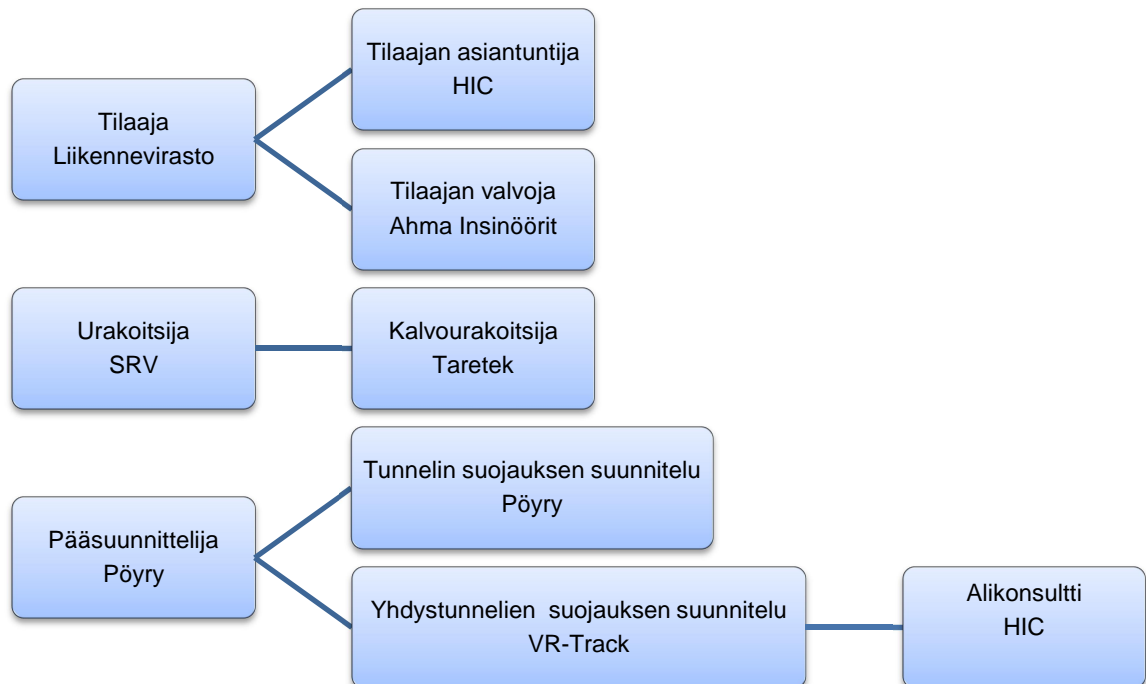
Tätä insinööriyön aihetta ehdotettiin siksi, että kaikesta hajallaan ja erinäisissä raporteissa olevista tiedoista halutaan kooste, jossa haitta-ainerakennesuunnittelun ja toteutuksen pääkohdat ovat yhdessä raportissa.

Työ käsittelee suojakalvon asennusta Kehäradan ratatunnelissa, hitsausta, kiinnityksiä ja laadunvalvontaa tunnelin pohjalaatan, kaarielementin ja yhdystunnelirakenteen kohdalta. Suojakalvoa asennetaan myös Lentoaseman (tässä työssä Lentoasemalla tarkoitetaan samannimistä juna-asemaa) itäpäädyn tekniikkakuiluun ja Lentoaseman sisäänkäynnin kuiluun, mutta insinööriyön ajallisten puitteiden vuoksi kuilujen osuutta ei työssä käsitellä. Monet edellä mainitut menetelmät, joita yllä esitellyissä kohteissa käytetään, soveltuvat myös kuilujen suojaukseen.

Ensimmäiseksi esitellään haitta-ainealueen suunnittelusta ja toteutuksesta vastaava organisaatio, jonka jälkeen selostetaan haitta-aine, haitta-ainesuojaus ja suojakalvon valinta. Tämän jälkeen käsitellään laadunvarmistusta, suojakalvon asennusta ja hitsausta sekä suojakalvon liitoksia. Lopuksi tässä työssä tehdään yhteenveto käsitellyistä aiheista.

2 Haitta-ainealueen organisaatio

Kehäradan tilaajana toimii Liikennevirasto, joka on kilpailuttanut Kehäradan suunnittelun ja urakoinnin. Haitta-ainesuojauksen liittyvät toimijat ja toimijoiden suhteet on esitelty kuvassa 2.



Kuva 2. Kehäradan haitta-ainealueen toimijat ja toimijoiden suhteet

Tilaajan rakennuttajana ja valvojana on Ahma insinöörit Oy, joka on suomalainen vuonna 2002 perustettu yksityisomisteinen projektinjohtoyhtiö. Ahma insinöörit Oy:n toimialaan kuuluvat hankesuunnittelu, ympäristövaikutusten arviointi, työmaavalvonta, käyttöönotto ja vastaanottotarkastukset. Isoista infrahankkeista he ovat olleet mukana esimerkiksi Vuosaaren Sataman projektissa, projektinjohtototeuttajan ja työmaan valvonnan tehtävissä. [5.]

Pääsuunnittelijana ja tunneliosuuden haitta-ainesuojaurakenteen suunnittelijana on Pöry Finland Oy. Pöry on aikaisemmin suunnitellut muun muassa Vuosaaren satamaradan Savion rautatietunnelin ja Töölönlahden alle tulleen pysäköintilaitoksen. Töö-

lönlahden projektissa Pöyryn vastuualueisiin kuuluivat kalliorakennus- ja rakennesuunnittelu, arkkitehtisuunnittelu, LVI ja sähkösuunnittelu ja pohjavesi- ja painumaseurantojen hallinnointi. [1.]

Yhdystunneleiden haitta-ainesuojauksen suunnittelusta vastaa VR-Track, jonka alikon-sulttina suunnittelun tekee saksalainen Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH. Yrityksen toimintakenttään geotekniikan ja tunnelirakennuksen alalla kuuluvat suunnittelu, neu-vonta, arviointi ja projektinhallinta. [6.]

Liikenneviraston asiantuntijana suojakalvon asennuksen ja hitsauksen osalta on saksalainen Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH eli lyhyemmin HIC, jonka erikoisalaa ovat geotekniikka ja tunnelinrakennus. Sama yritys on myös suunnitellut VR-Track:in alikon-sulttina yhdystunneleiden suojarakenteet. [7.]

Lentoaseman aseman rakennusurakasta vastaa suomalainen SRV Yhtiöt Oy, joka on Suomessa 1987 perustettu projektinjohtourakoitsija. Infrarakentamisen puolelta SRV:n erikoisalaa on maanalaisten tilojen rakentaminen. SRV:n kädenjälki näkyy muun muassa Helsingin P-Cityssä, joka on 500-paikkaiseksi laajennettu pysäköintilaitos Kam-pissa. [8.]

Asennuksen ja saumauksen suorittaa SRV:n aliurakoitsijana kalvourakointiin erikoistu-nut Taretek Oy. Taretek on perustettu 1982 ja sen päätoimialoihin kuuluvat maa- ja vesirakentamisessa käytettävien geosynteettien asennus ja myynti. Näistä kahdesta Taretekin erikoisalaa on geomembraanien asentaminen. Yhtiön palveluksessa on 9 TÜV-muovihitsaussertifikaatin saanutta hitsaajaa. [9.]

3 Kehäradalla havaitut haitta-aineet

Kehäradan ratatunneleista löytynyt haitta-aine ei sisällä vain yhtä ainetta, vaan se on sekoitus aineita sekä aineiden hajoamistuotteita. Tutkimuksissa havaittiin, että aineet ovat etyleeni- ja propyleeniglykolia sekä näiden hajoamistuotteina syntynyttä etikka- ja propionihappoa ja pieniä pitoisuuksia aldehydejä ja alkoholeja. Alueen pohjavedestä havaittiin myös aggressiivista hiilidioksidia. Aggressiiviseksi hiilidioksidiksi kutsutaan vedessä olevaa vapaata hiilidioksidia, joka on ominaisuuksiltaan syövyttävää. [10, s. 4; 11, s.13; 12, s. 6.]

Glykoleja on käytetty Helsinki–Vantaan lentokentällä lentokoneiden jäänestoon suihkuttamalla sitä koneiden rakenteisiin, useita vuosikymmeniä melko laajalla alueella. Etyleeniglykolia käytettiin jäänestoon 1990-luvun alkuun asti, jonka jälkeen siirryttiin käyttämään propyleeniglykolia. Glykolia liukenee siis oletettavasti edelleen maa- ja kallio-perään sekä pohjaveteen huolimatta muuttuneista käytännöistä kuten glykolipitoisten lumien keräilystä sekä sade- ja valumavesien käsittelystä. [10, s. 4–5.]



Kuva 3. Biofilmiä Kehäradan tunnelissa (Pöyry Finland Oy)

Glykolia on pidetty luonnossa biohajoavana. Vaikka glykolin on todettu olevan laboratorio-oloissa biohajoavaa, osoittaa sen löytyminen pohjavedestä hajoamisolosuhteiden lentoaseman alueella olevan puutteelliset. Maaperäkäsittelyn on useissa tutkimuksissa todettu olevan riittävä käsittelymenetelmä jäänpoistokemikaalien saastuttamille hulevesille. Biohajoamisen tehokkuus riippuu maaperän ominaisuuksista, maakerroksen paksuudesta ja veden viipymääjasta pohjavesivyöhykkeen yläpuolella. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että korkeat glykolipitoisuudet hidastavat hajoamista. Jos pienelle maa-alueelle johdetaan suuria määriä glykolia, biohajoaminen hidastuu. [13; 14, s. 9, 19.]

Oslon Gardermoen lentokentällä pohjaveden laatua tarkkaillaan säännöllisesti, koska lentokenttä sijaitsee merkittävän pohjavesialueen päällä. Siellä glykoli biohajoaa riittävästi maaperässä jo ennen kuin se vajoaa pohjavesikerrokseen. Kehäradan alueella hajoamiselle suotuisat olosuhteet näyttävät olevan puutteelliset, jolloin hajoamista ta-

pahtuu vasta maanalaisissa tiloissa, hajoamisen ilmetessä hajuna ja mikrobikasvustona. [13.]

Pohjaveden laatua seurataan Gardermoenin lentokentällä näytteenottoaivojen avulla. Jos vesinäytteissä havaitaan etyleeniglykolia tai formiaattia, vesi pumpataan takaisin pinnalle. Pinnalla vedet voidaan joko johtaa jätevedenpuhdistamolle tai takaisin maaperään. Käsittelyä jatketaan niin kauan kunnes pohjaveden laatu on palautunut ennalleen. Tämä toimintamalli soveltuu hyvin kohteeseen, jossa haitta-aineiden lähde ja kulkeutumisreitti on hyvin tiedossa. Kehäradalla tilanne on toinen, lähteitä on useita ja epämääräiset kulkeutumisreitit tunneleihin hyvin vaikeasti hallittavissa pumppauksilla. [14, s. 9; 15.]

VTT:n suorittamassa kirjallisuusselvityksessä etsittiin VTT:n omia tietokantoja sekä julkisia hakukoneita avuksi käyttäen tietoa glykolin aiheuttamista ongelmista rakennushankkeiden yhteydessä. Tietoa etsittiin suomeksi, ruotsiksi, saksaksi ja englanniksi. Julkisista lähteistä ei löytynyt suoranaisia viitteitä glykolin aiheuttamiin ongelmiin rakentamisen yhteydessä. Haittavaikutuksista löytyi mainintoja niin esteettisistä muutoksista, kuten väristä, hajusta, vaahtoamisesta, kuin lisääntyneestä hapenkulutuksesta vesistöissä. [14, s. 5–6.]

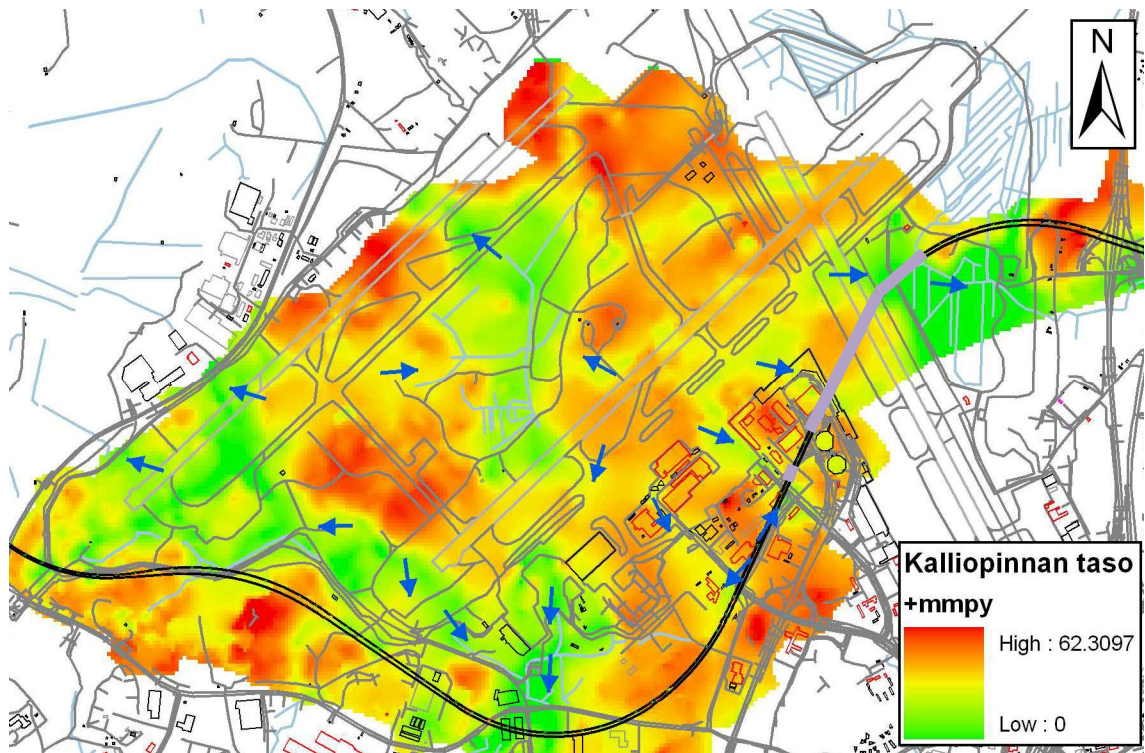
3.1 Haitta-aineiden kulkeutuminen ratatunneliin

Kehäradan alueella haitta-aine ja pohjavesi liikkuvat verkostossa, jonka muodostavat kallion raot, vettä johtavat rikkonaisuusvyöhykkeet ja ruhjeet sekä rakotihentymät. On mahdollista, että maapohjaveden, kalliopohjaveden tai molempien virtaus on ollut lentokentän alueella kohti etelää. Näin haitta-aine on voinut kulkeutua Kehäradan rakennusalueelle jo ennen ratatunnelin rakentamista. [10, s. 8–9.]

Louhittuun ratatunneliin haitta-aine kulkeutuu joko pohjaveteen liuenneena tai liukene-mattomana päästönä vettä johtavan kallion kautta. Esi- ja jälki-injektoinneilla pyritään tiivistämään ratatunnelit, mutta jonkin verran vuotoja tunneleihin tulee joka tapauksessa jäämään. Kehäradan haitta-ainealueella injektointeja on tehty sekä polyuretaani- että sementtipohjaisella injektointimassalla. Ajan kuluessa vuodot voivat lisääntyä tai kasvaa kallion rakotäytteiden huuhtoutuessa pois. Uusia vuotokohtia voi muodostua myös

injektoiduille alueille. Ratatunneliin tapahtuvat vuodot muuttavat kalliosta olevaa pohjaveden virtausta kohti tunneleita. [10, s. 8–9; 16.]

Teoriassa ratatunneliin kulkeutuva pohjavesi voi olla peräisin mistä tahansa sellaisesta kohteesta, joka on hydraulisesti yhteydessä tunnelin vuotokohtaan ja jossa painetaso on korkeampi kuin tunnelin vuotokohdassa. [10, s.9.]



Kuva 4. Kallionpinnan korkeusmalli ja pohjaveden virtaussuunnat Helsinki – Vantaan lentokentän ja kehäradan alueella. Suojattava alue merkitty kuvaan harmaalla. (Pöyry Finland Oy)

Kuvassa 4 on esitetty pohjaveden virtaussuunnat ja korkeusmalli kalliopinnasta lentokentän alueella. Pohjaveden virtaussuuntien tiedot perustuvat paine-eroihin ja vedenpinnan tasoihin pohjaveden havaintopisteissä. Kallion pintamalli puolestaan perustuu kairaustietoihin yli 35000 eri kairauspisteestä. Mallia on käytetty hyväksi arvioitaessa veden virtausreitit. [10, s.10.]

3.2 Haitta-aineiden vaikutukset tunnelin rakennusmateriaaleihin

Kemiallinen ympäristö Kehäradan alueella on paikoin hyvin aggressiivinen. Alueelta otetut vesinäytteet ovat olleet happamia. Hapan pohjavesi aiheuttaa ongelmia sementille ja betonirakenteen raudoitukselle. Myös muille hydraulisilla sideaineilla sidotuille rakennusmateriaaleille hapan pohjavesi aiheuttaa kestävyysongelmia. Kehäradan tunnelin kannalta merkittävimpiä ovat juotosmassat, injektointimassat ja ruiskubetoni. [10, s. 4.]

Jäänpoistoaineiden vaikutuksia rakenteisiin ei ole tutkittu. Sen sijaan on tutkittu aineiden vaikutusta lentokenttien päällysteiden kestävyteen. Wijoyon (2007) tutkimuksista selviää, että jäänpoistokemikaalit ja sementti reagoivat keskenään muodostaen saostumia. Saostumien pitkän aikavälin vaikutuksista betoniin ei kuitenkaan ole tietoa. Ma et al. (2010) tutkimuksessa selvitettiin, miten jäänestoaineet vaikuttavat Portlandsementin sulamis-jäätymiskestävyteen. Tässä tutkimuksessa havaittiin betonin kestävyden riippuvan glykoliliuoksen konsentraatiosta siten, että väkevämpi liuos aiheutti lievemmät vauriot. [14, s. 6.]

Kalliosta vuotava vesi syövyttää betonia. Happamuudeltaan haitta-aineympäristö sijoittuu eurokoodin SFS-EN 19921-1 mukaiseen rasisluokkaan XA2, alhaisimmat mitatut pH:t ovat olleet luokkaa 4,8. Aggressiivisen hiilidioksidin määrän arvioitiin mitattujen hiilidioksidi-arvojen pohjalta. Arvion perusteella aggressiivisen hiilidioksidin määrä vuotovedessä vastaa rasisluokkaa XA3. Aggressiivisessa ympäristössä tulee siis käyttää rasisluokan XA3 edellyttämiä betonin ominaisuuksia ja raudoitteiden betonipeitteitä. [10, s. 5; 14, s.28–29.]

Glykoli sellaisenaan ei ole ongelma betonille, sillä siitä aiheutuva syöpyminen on erittäin hidasta. Pahimmassakin tapauksessa glykoli aiheuttaa vain betonin pintakerroksen rapautumisen. Ongelmaksi betonin kestävyden kannalta osoittautuvat happamat yhdisteet ja hiilidioksidi, joita syntyy mikrobitoiminnan vuoksi. [13.]

Betoniterästen kannalta glykoli on suhteellisen harmitonta. Sen sijaan glykolin hajoamisen sivutuotteina syntyvät orgaaniset hapot, kuten etikkahappo, syövyttävät betoniterästä. Suurina määrinä hiilidioksidi voi osaltaan nopeuttaa syöpymisprosessia. [13.]

VTT:n tutkimuksissa ruiskubetonoituun pintaan tehtiin koeporauksia, joilla selvitettiin ruiskubetonin rakennetta ja laatua tartuntapinnassa ja betonikerroksessa. Näytteitä otettiin yhteensä 32 kappaletta. Ruiskubetonin ja kallion tartuntapinnassa ei ollut havaittavissa ruiskubetonin turmeltumista. Ruiskubetonin ulkopinnassa sen sijaan oli paikoin havaittavissa 0,1 mm paksuinen muuttumiskerros. Kerros on paksuudeltaan niin ohut, ettei sillä ole rakenteen käyttöikänsä aikana vaikutusta rakenteen lujuuteen. Näytteissä havaittiin myös kalkin saostumista ja liukenemista. Tämä ei kuitenkaan heikennä rakenteen lujuutta. Sen sijaan pitkällä aikavälillä ruiskubetonin vedenjohtavuus lisääntyy merkittävästi. Tämä johtuu kalkin liukenemisen aiheuttamasta huokoisuuden kasvusta. [17, s. 33–34, 45.]

VTT:n tutkittavaksi toimitettiin haitta-ainealueelta tunnelin lujitukseen käytettyjä sinkittyjä kalliopultteja, jotka olivat olleet asennettuina vuoden. Näytteissä oli jo silmämääräisesti havaittavissa sinkkikatoa. Monin paikoin syöpyminen oli edennyt sinkkipinnoitteen alla olevaan teräkseen asti. Pulttien vaurioista voidaan päätellä, että olosuhteet ovat olleet aggressiiviset. [17, s. 20–21, 31.]



Kuva 5. Vuoden vanha kallioankkurin pää aluslevyineen [13]

Aggressiivisen pohjaveden vaikutuksesta pulttien sinkitys syöpyy keskimäärin 0,15 mm vuodessa. Tyypillisen sinkkipaksuuden ollessa 0,2–0,25 mm syöpyy sinkkikerros 1,5 vuodessa. Reilussa 2 vuodessa sinkkikerros on poistunut kokonaan. Sinkin alla oleva

hiiliteräs voi paikallisesti syöpyä jopa 0,4 mm vuodessa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että suojaamaton hiiliteräsankkuri menettää rakenteellisen kestäväytensä 8–12 vuoden kuluessa. Kun ankkuri on menettänyt rakenteellisen kestäväytensä, muodostuu riski, että kalliokatosta irtoaa lohkareita. Lohkareet voivat mitoiltaan olla isoja ja aiheuttaa mittavia vahinkoja radan rakenteille sekä matkustajille ja kalustolle. [16; 17, s. 33.]

Mikrobit pystyvät käyttämään hyväksi tunneliin vuotavaa hapetonta kalliovettä. Tunneliin päästessään hapeton vesi hapettuu ja aiheuttaa mikrobien voimakasta kasvua. Ravinnokseen mikrobit käyttävät glykolia ja sen hajoamistuotteita. Mikrobikasvustosta aiheutuu epämiellyttävää hajua ja rakenteiden pintaan limamaista muodostumaa eli biofilmiä. Biofilmin on todistetuksi havaittu tukkineen ruiskubetonisalojien reikiä. [10, s. 4–5.]

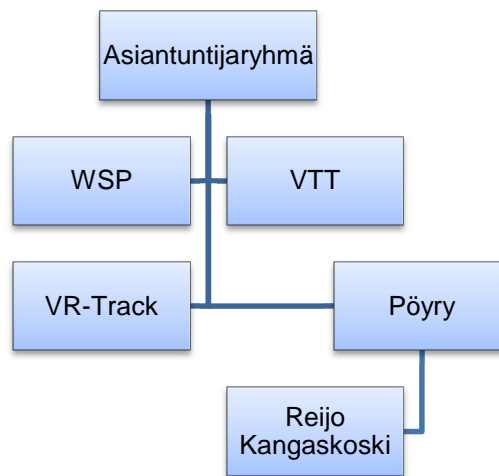
Biofilmin aiheuttama ongelma ei rajoitu pelkästään ruiskubetonisalojiin. Kasvustoa kulkeutuu vesien mukana avouomiin ja kuivatusjärjestelmän putkiin, joissa se voi kasvaa ja kiinnittyä rakenteiden pinnoille. Mikäli veden virtaus putkistossa pysähtyy tai hidastuu, voi kasvu pinnoilla olla vähintään samanlaista kuin tunnelin seinillä. Tunnelin seinillä on havaittu noin 1 cm paksuisia, limaisia kasvustoja. [17, s. 7, 16,19–20.]

Biofilmin kasvua voidaan kuitenkin hallita toistuvalla huuhtelulla siten, ettei kuivumista pääse tapahtumaan. Kuivumaan päässeen massan irrottamiseen tarvitaan joko mekaanista puhdistusta tai painevesihuuhtelua. Vuoden 2011 vuotovesimäärällä on arvioitu biofilmiä syntyvän noin 3 m³ kuukaudessa. [17, s. 19–20.]

4 Haitta-ainesuojaus

Keväällä 2011 Liikennevirasto järjesti ideasuunnittelukilpailun, jonka tavoitteena oli löytää toimiva rakenneratkaisu haitta-aineen vuotoalueelle. Ideasuunnitteluvaiheeseen saatiin ehdotukset kahdeksalta eri toimijalta. Kesäkuussa 2011 tilaaja käynnisti yleisuunnitelmavaiheen, jossa tilaajan koollekutsuma asiantuntijaryhmä tarkasteli ideasuunnittelun rakenneratkaisuja ja valitsi niistä toimivimmat ratkaisut detaljisuunnittelua varten. Asiantuntijaryhmä koostui Pöyryn, WSP:n, VR-Trackin ja VTT:n asiantuntijoista. Tämän lisäksi jatkoon valituista ehdotuksista on Reijo Kangaskosken toimesta suoritettu toteutettavuuden arviointi, jossa selvitettiin eri vaihtoehtojen rakentamisen toteutusta

ja aikataulua. Rakennusmestari Kangaskoski on 40 vuoden kokemus kalliotilojen ja tunneleiden sisustusrakentamisesta. [18, s. 3,10.]



Kuva 6. Asiantuntijaryhmä

4.1 Yleissuunnitelmavaiheen valintaperusteet

Esitettyjä suojausratkaisuita arvioitiin kolmessa vaiheessa erilaisten toimivuusominaisuuksien pohjalta. Toimivuusominaisuudet ja niiden kuvaukset esimerkkeineen on esitelty liitteessä 1. Toimivuusperusteisella arvioinnilla pyrittiin tasapuolistamaan eri ratkaisujen arviointia tilanteessa, jossa suunnitelmien rakenneratkaisuiden esitystavassa ja tarkkuudessa oli huomattavia eroja. Suunnitelmien tekniset ominaisuudet jaoteltiin toimivuusominaisuuksien alle, jonka jälkeen toimivuudet pisteytettiin asteikolla 1...0. Pisteytyksen jälkeen toimivuspisteet painotettiin tilaajan hyväksymillä painoarvoker-toimilla. Näin suunnitelmaratkaisuja pystyttiin vertailemaan keskenään. [18, s. 3-4, 6.]

Ensimmäisellä suunnitelmien arviointikierröksellä painotettiin turvallisia ja matkustus-viihtyvyyttä ylläpitäviä ratkaisuja. Tällä haluttiin varmistaa, ettei epämiellyttävästä ha-joamistuotteiden hajusta tulisi Kehäradalle tunnusomaista piirrettä. Käytännössä tämä tapahtui siten, että suunnitelmien arvioinnissa turvallisuudelle ja viihtyvyydelle annettiin suurimmat prosentuaaliset painotukset. (Katso taulukko 1.) Näillä pisteiden painotuksil-la joukosta karsiutui ensimmäisellä kierroksella neljä suunnitelmaa pois. [18, s. 3-4, 6-7.]

Toisessa vaiheessa mukaan suunnitelmien arviointiin otettiin 100 vuoden kustannukset. Kevään 2011 ideasuunnitteluvaiheen kustannusarviot olivat osin puutteellisia, ja niiden vertailu sellaisenaan oli vaikeaa. Toiseen vaiheeseen muutettiin myös painotuksia siten, että turvallisuutta ja viihtyvyyttä painotettiin vähemmän kuin ensimmäisessä vaiheessa ja vastaavasti toteutettavuuteen, ylläpitoon ja liikennöitävyyteen kohdistettiin enemmän huomiota. Ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa käytetyt kriteerien painoarvot on esitetty taulukossa 1. [18, s. 7,9.]

Taulukko 1. Arviointivaiheiden prosentuaaliset painotukset

Ominaisuudet	Ensimmäinen vaihe	Toinen vaihe
Turvallisuus	50 %	30 %
Toteutettavuus	10 %	10 %
Ylläpidettävyys		10 %
Liikennöitävyys		25 %
Viihtyisyys	40 %	25 %

Arvioinnin kolmanteen vaiheeseen selvisivät WSP:n suojakalvorakenne, Pöyryn betonielementtirakenne sekä VR-Trackin teräspoimulevyrakenne. Kustannusten epätarkkuudesta johtuen kehitettäväksi valituille kolmelle ratkaisulle laadittiin tarkemmat kustannusarviot. Samassa yhteydessä suunnitelmien laatijat korjasivat myös suunnitelmien mahdollisia laadullisia puutteita. [18, s. 9,11.]

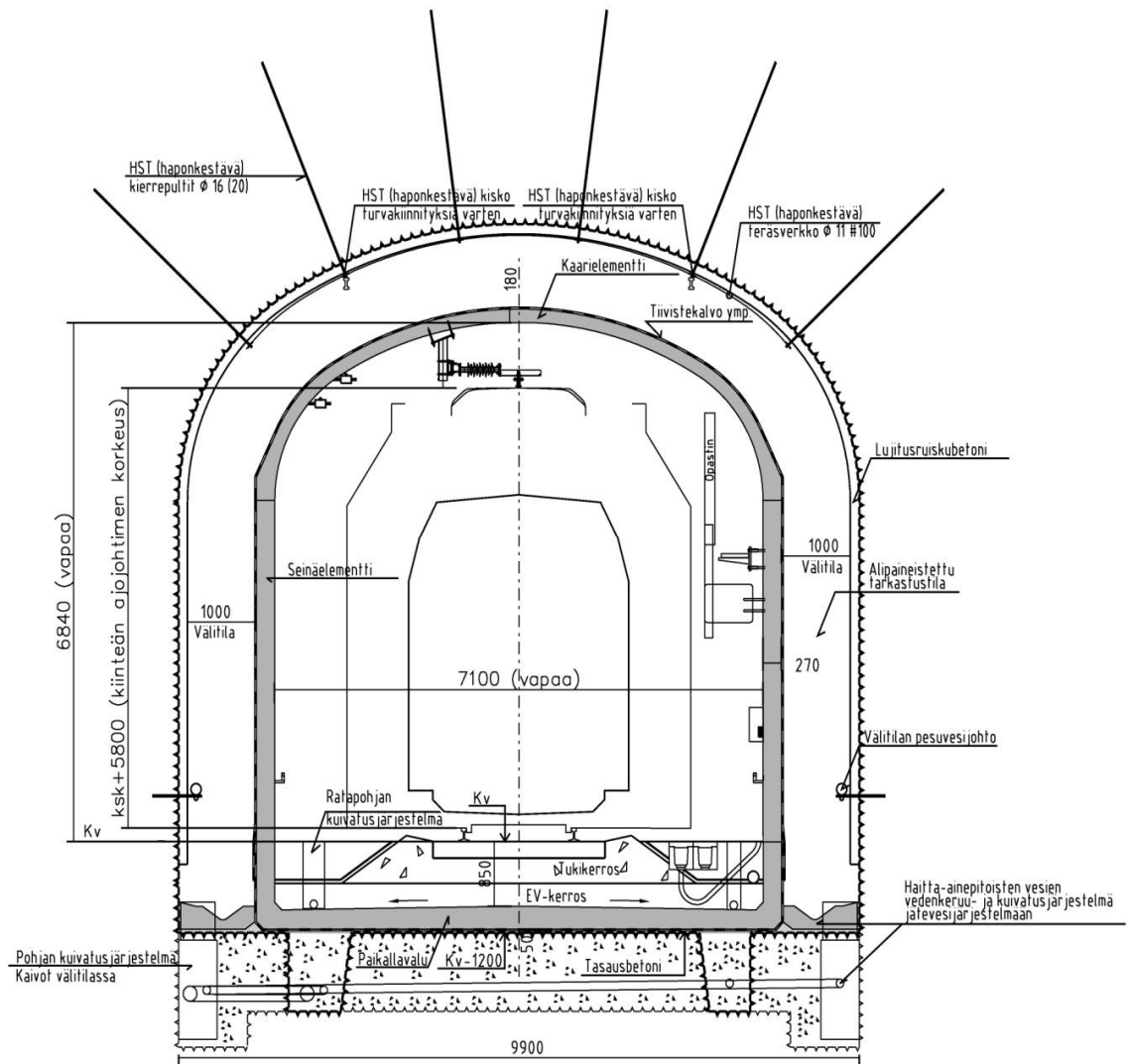
4.2 Toteutustavan valinta

Asiantuntijatyöryhmän tehtävänä oli selvittää, mikä ideasuunnittelukilpailun ratkaisusta olisi paras suojaamaan radan rakenteet haitta-aineelta. Työryhmä ei voinut selkeästi esittää vain yhtä lopullista ratkaisua, sillä vartenotettavimpien ratkaisujen pisteet olivat keskenään lähellä toisiaan. Lopputuloksena työryhmä esitteli tilaajalle kaikki kolme ratkaisua, joista tilaajan tuli tehdä päätöksensä. [15.]

Tilaaajan päätöksellä ratatunneleissa käytetään betonielementtiratkaisua ja yhdystunneleissa teräspoimulevyratkaisua. Teräspoimulevyratkaisulla haetaan käyttökokemuksia sen ollessa eräs betonielementtiratkaisua kevyempi ratkaisu liikennetunneleissa sovellettavaksi suojarakenteeksi tulevaisuuden tarpeita varten. [15.]

4.2.1 Betonielementtiratkaisu

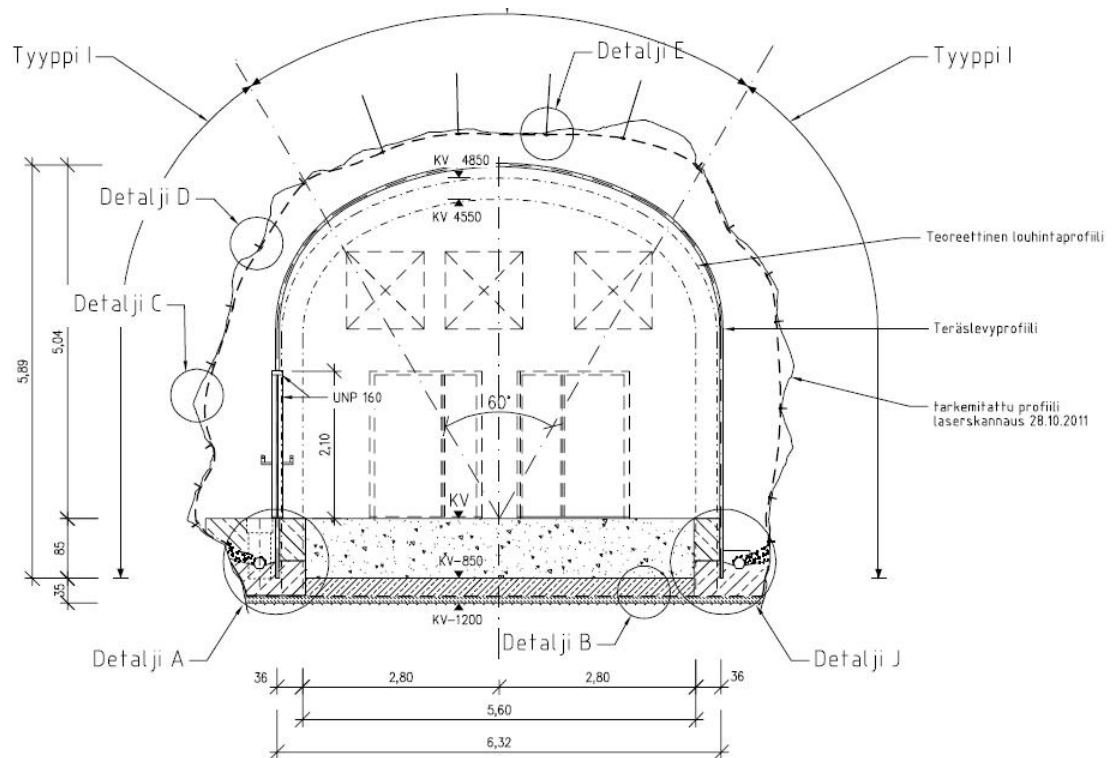
Suunnitelmassa betonielementtirakenne toimii kantavana rakenteena, jonka sisäpuolelle kiinnitetään kaikki ratatunnelissa tarvittava tekniikka. Näin toimimalla betonielementtien päälle asennettavaa suojakalvoa ei tarvitse lävistää. Elementtitunnelin molemmin puolin sijaitsevat välitilat, joiden kautta voidaan tarkkailla kalvon kuntoa ja vuotoja, sekä tehdä huoltotoimenpiteitä junaliikennettä merkitsevästi häiritsemättä. Likaiset vedet kerätään välitilan pohjalla olevien kourujen, sekä ratapohjan kuivatusjärjestelmän kautta, jätevesijärjestelmään. Painehuuhtelua varten välitilassa on pesuvesijohto, jolla voidaan huuhdella salaojiin tai kouruihin mahdollisesti kertyvä mikrobikasvusto. [19, s. 3-4.]



Kuva 7. Betonielementtitunnelin teorettinen poikkileikkaus (Pöyry Finland Oy)

4.2.2 Teräspoimulevyratkaisu

Suunnitelmassa teräspoimulevyratkaisu toimii itsekantavana rakenteena, jonka sisälle kaikki tarvittava tekniikka kiinnitetään. Kevyemmät laitteet ja varusteet voidaan kiinnittää suoraan teräspoimulevyyn. Raskaammille kuormille tulee kiinnitysratkaisut suunnitella erikseen, jotta teräslevy ei vaurioidu painon vuoksi. Suojakalvo kiinnitetään tässä ratkaisussa erillisten pulttien ja aluslevyjen avulla tunnelin kattoon ja seinille. Teräsrakenteessa on erilliset tarkastusluukut ja ovet, joiden kautta päästään rakenteen välitilaan tarkkailemaan kalvon kuntoa. [18, s. 20–21.]



Kuva 8. Yhdystunnelin teoreettinen poikkileikkaus (VR-Track)

5 Suojakalvo

Kalvorakenteen on oltava kaasu- ja vesitiivis. Suojakalvon tehtävänä on toimia eristeenä haitta-ainepitoisia vesiä ja niiden aiheuttamia hajuja vastaan. Jotta kalvorakenteesta saadaan tiivis, tulee suojakalvon asennuksen toteuttaa urakoitsija, jolla on aikaisempaa kokemusta kalvoasennuksista. Tiiviyden varmistamiseksi jokaisesta liitostyypistä ja detaljiinnityksestä suoritetaan mallityö, jolle suoritetaan laadunvarmistustarkastus. Työsuoritus arvioidaan, ja vasta kun mallityöt ovat detaljikohtaisesti hyväksytyt, voidaan varsinainen kalvon asennustyö aloittaa. [20, s. 10.]

Suojakalvon kulkua tunnelissa ja yhdystunnelissa on havainnollistettu liitteessä 2.

5.1 Suojakalvon vaatimukset

Suojakalvolle on asetettu tietyt minimivaatimukset, jotka kalvon tulee täyttää. Kaikki vaatimukset on esitetty englanniksi liitteessä 3. Taulukossa 2 on suomennettu tärkeimmät kohdat. Näiden ominaisuuksien lisäksi kalvon tulee täyttää myös REACH-

asetus. Asetuksella tarkoitetaan Euroopan unionin asetusta kemikaalirekisteröinnistä, kemikaalien arvioinnista, lupamenettelystä sekä rajoituksista. Suojakalvon vaatimusten määrittelyssä hyödynnettiin Norjalaisen Giertsen Tunnel AS:n ammattitaitoa. [20, s. 10.]

Taulukko 2. Suojakalvolle esitetyt vaatimukset

Ominaisuus	Testimenetelmä	Vaatus
Paksuus (ilman signaalikerrosta)	DIN EN 1849-2	2 mm
Signaalikerroksen paksuus	DIN EN 1849-2	≤ 0,2 mm
Vetolujuus	DIN EN ISO 527-1 ja -3	≥ 15 MPa (pitkittäis- ja sivusuunnassa)
Venymä murtoon asti	DIN EN ISO 527-1 ja -3	≥ 500% (pitkittäis- ja sivusuunnassa)
Biaksaalinen venymä	DIN EN 14151 (näyte ø 1 m)	≥ 50%
Puhkaisulujuus	DIN EN 12691 (paino 500 g)	Ei vuotoa pudotuskorkoedeltä 750 mm

Suojakalvon tulee materiaaliltaan olla jotakin seuraavista: polyvinyylidikloridia (PVC-P), polyeteeniä (PE), polypropeeniä (PP-flex) tai polyolefiinia (TPO tai FPO). Suojakalvon paksuuden tulee olla 2 mm. Jotta suojakalvon kuntoa olisi helppo tarkkailla silmämääräisesti, kalvossa tulee olla signaalikerros. Signaalikerros poikkeaa kalvon väristä siten, että kalvon tiedetään vahingoittuneen, kun kalvon oma väri näkyy signaalikerroksen alta. Monimuotoisten rakenneratkaisuiden ja saumausten vuoksi kalvon tulee olla sekä taipuisaa että joustavaa. [20, s. 10.]

5.2 Vaihtoehdot suojakalvoksi

Marraskuun 2012 kalvovertailuun Kehäradan haitta-ainesuojauksen urakoitsija, SRV, toimitti tiedot kolmesta eri kalvosta: Junifol T (LLDPE), Carbofol (PE) ja Mapeplan TU S (PVC). Kalvojen kaikki ominaisuudet on esitetty liitteessä 3. Taulukossa 3 on esitetty tärkeimmät kohdat suomeksi. [15.]

Kuten taulukosta havaitaan, Junifol T ja Carbofol täyttävät tärkeimmät asetetut vaatimukset. Mapeplan TU S sen sijaan ei täytä venymä murtoon asti -arvoa, vaan jää selvästi vaaditun arvon alapuolelle. Liitteestä 3 voidaan myös huomata, että kalvoille ei ole saatavilla kaikkia vaadittuja testituloksia. Arvot eivät kuitenkaan ole suoraan keskenään vertailukelpoisia, sillä PVC-kalvolle asetetut vaatimukset poikkeavat PE-kalvosta. [21; 22.]

Taulukko 3. Esitettyjen suojakalvojen ominaisuudet

Ominaisuus	Vaatus	Junifol T	Carbofol	Mapeplan TU S
Paksuus (ilman signaalikerrosta)	2 mm	2,0 mm	2,06 mm	2,0 mm
Signaalikerroksen paksuus	≤ 0,2 mm	≤ 0,20 mm	0,09 mm	0,1-0,15 mm
Vetolujuus	≥ 15 MPa (pitkittäis- ja sivusuunnassa)	28 MPa	19,9/26,5 (pituus/leveys)	17 MPa
Venymä murtoon asti	≥ 500 % (pitkittäis- ja sivusuunnassa)	750 %	660/815 (pituus/leveys)	300
Biaksaalinen venymä	≥ 50 %	OK	> 55 %	OK
Puhkaisulujuus	Ei vuotoa pudotuskorkeudelta 750 mm	OK	OK	OK

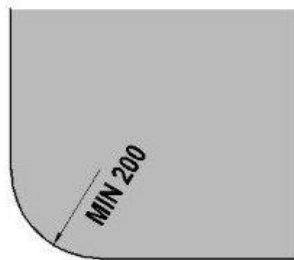
Junifol T ja Carbofol ovat molemmat polyeteenikalvoja ja testituloksiltaan tasavertaisia. Junifolin kohdalla lopputuotteelle ei ole suoritettu testejä hapettumisenkestävyydestä 100 vuoden käytössä eikä testiä siitä, miten tuote käyttäytyy varastoitaessa vesiliuoksessa, mutta valmistusmateriaalin huomioiden tulisi lopputuotteen läpäistä testit. Carbofolista puuttuvat mittaukset tuotteen mittatarkkuudesta lämpimän säilytyksen jälkeen. Muutoin molemmat kalvot ovat soveltuvia käytettäväksi Kehäradan haitta-ainesuojaurakenteessa. [21.]

Polyeteenikalvoa on Suomessa aikaisemmin käytetty lähinnä kaatopaikkojen tiivistysrakenteisiin, suojarakenteena teollisuuden prosessialtaissa, vesitornien ja säiliöiden eristämiseen sekä huoltoasemien mittarikenttien suojaukseen. Suuruudeltaan suojattavien alueiden koot vaihtelevat pienistä mittarikentistä useiden hehtaareiden kokoihin kaatopaikkoihin. [9.]

5.3 Valittu suojakalvo

Urakoitsija esitti haitta-ainesuojauksessa käytettäväksi Junifol T -kalvoa. Junifol T täyttää kalvolle asetetut vaatimukset. Sen palonkestävyysluokka on E, joka on vaatimusten mukainen. Suunnittelija ja tilaaja hyväksyivät urakoitsijan ehdotuksen käytettävästä kalvosta. Käytännössä paloluokka E tarkoittaa materiaalin palavan niin, että muodostuu palavia pisaroita, jotka eivät kuitenkaan sytytä paperia palamaan. Luokan E tuotteelle ehtona on myös, että 20 sekunnin kuluessa liekin leviämä materiaalissa on alle 150 mm. [22; 24, s.66.]

Junifol T on ominaispaksuudeltaan 2,2 mm LLDPE–kalvoa, ja siinä on valkoinen signaalikerros itse kalvon ollessa musta. Kalvon reunassa on punaiset merkinnät kalvojen limittämistä varten. Asennuksessa tulee huomioida, ettei kalvoa saa taittaa liian jyrkkiin kulmiin, taitoksen säde tulee olla minimissään 200 mm. Pienemmillä säteillä kalvon ominaisuudet voivat muuttua. [25.]



Kuva 9. Taitoksen minimi säde. (Lektar Oy)

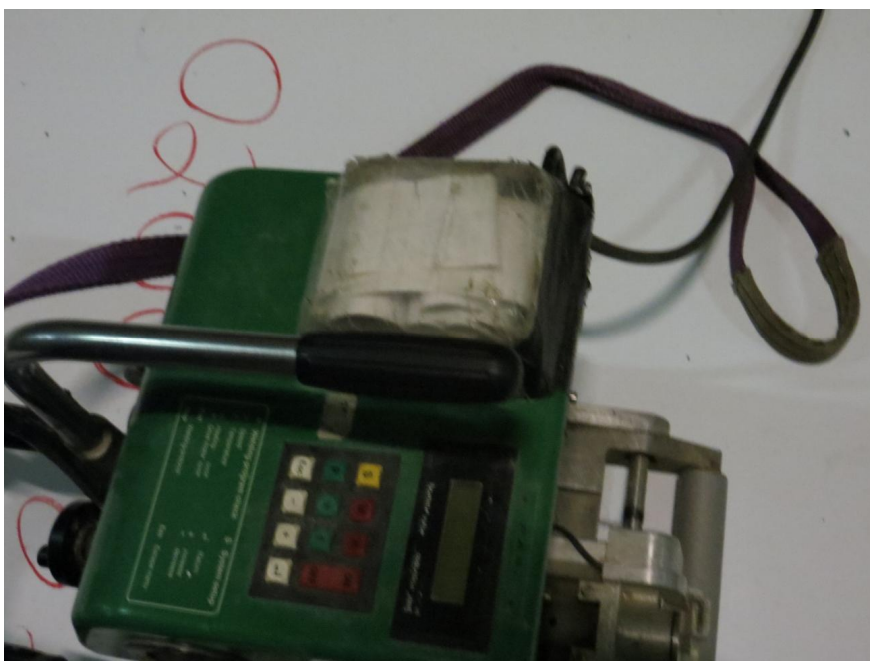
6 Suojakalvon laadunvarmistus

Laadunvarmistus on merkittävässä osassa haitta-ainesuojarakenteen rakentamista. Rakenteen suunnitelluksi käyttöiäksi on määritetty 100 v. Suojaus kattaa vesi- ja kaasuviivisti reilun 1 km kaksoistunnelia, viisi yhdystunnelia, Lentoaseman itäpäädyn tekniikkakuilun LK2 ja Lentoaseman sisäänkäynnin kuilun. Suojakalvon monimuotoiset asennukset sekä valujen alle piiloon jäävät kalvotukset, asettavat laadullisia haasteita, sillä paikoin kalvojen tiivyyttä ei jälkikäteen ole enää mahdollista tarkastella. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi pohjalaatan alle jäävät kalvot.

Kalvourakoinnin kannalta suurimmat ongelmat asennuksessa ja hitsauksessa johtuvat ahtaista tunnelioloista. Kalvoa asennetaan paikoitellen kohdissa, joissa asennustilaa on alle metri. Tilaa työskentelylle on muutenkin rajallisesti, koska samalla työmaalla työskentelevät myös muut urakoitsijat ja oma työrytmi tulee sovittaa muut huomioiden. Toisaalta taas tunneliympäristössä olosuhteet ovat tasaiset eikä niin kutsuttua keliriskiä esiinny. Hitsauksia kun ei voida suorittaa alle +5 °C:ssa, tietyissä ilman kosteuspitoisuuksissa tai sateella. [9.]

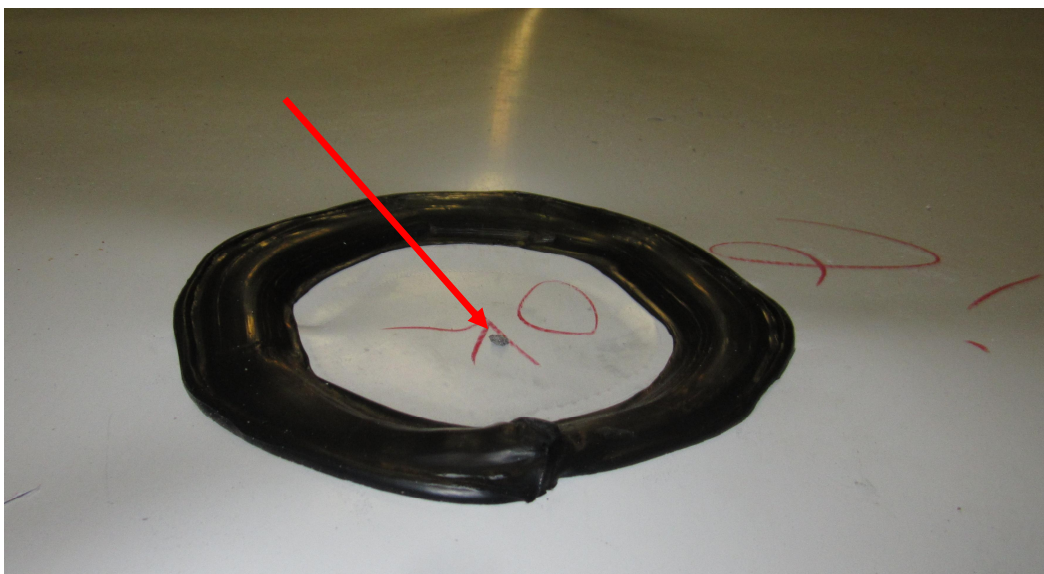
Ennen kalvojen asennusta, tehdään jokaisesta kiinnitys- ja liitosdetaljista sekä koe-asennus että laadunvalvontakoe. Nämä kokeet hyväksytetään valvojalla ja suunnittelijalla. Kattoon tulevien läpivientikiinnitysten vedenpitävyys testataan juoksevalla vedellä ennen kalvon hitsaamista yhteen. Hyväksytyistä saumauksista kirjoitetaan testiraportti, jonka urakoitsija ja valvoja hyväksyvät. [20, s. 26.]

Kalvourakoitsija Taretek tekee jokaisen sauman testauksesta pöytäkirjan, jossa esitetään sauman sijainti tunnelissa, sauman suunta, hitsauskoneen tulosteet, ilmanpaine testauksen alussa ja lopussa sekä testaus aika. Koneellisesta saumauksesta kone tallentaa saumauksen ajan saumauksen parametrejä, jotka liitetään osaksi kalvoasennuksen pöytäkirjaa. [26, s. 4; 27.]



Kuva 10. Hitsauskone ja hitsauskoneen tulostamia sauman hitsausparametrejä (Pöyry Finland Oy)

Käsin hitsattujen paikkojen testauksesta pöytäkirjaan merkitään paikan numero ja sijainti sekä testauksen päivä ja aika. Paikan sijainti merkitään näkyviin myös erilliseen karttaan. Paikan testauksen jälkeen myös kalvoon merkitään testaustulos, kuten kuvasta 11 voidaan nähdä. Näin toimimalla varmistetaan kaikkien paikkojen testaus. [27; 28.]



Kuva 11. Paikattu suojakalvo. Kuvassa näkyy myös kivi, joka paikkauksen aiheutti. (SRV Yhtiöt Oy)

Kehäradan haitta-ainesuojaurakenteen laadunvarmistuksesta on luotu yhdessä urakoitsijan ja valvojan kanssa sisällysluettelo. Tämän sisällysluettelon mukaan suoritetaan erilaisia laadunvarmistustoimenpiteitä. Laadunvarmistuksen sisällysluettelo on esitetty liitteessä 4. Urakoitsija tallentaa laadunvarmistusdokumentit sähköiseen projektipankkiin, jossa ne ovat kaikkien osapuolten helposti saatavissa. [29; 30.]

Valvontaa ja dokumentointia tekevät urakoitsija, suunnittelija ja tilaaja. Urakoitsija huolehtii asennukseen, saumaukseen ja koeasennuksiin liittyvien dokumenttien keräyksestä ja tietojen siirrosta projektipankkiin. Suunnittelijan vastuulla on suojausrakenteen liitosten rakenteellisen toimivuuden kommentointi ja ratkaisuiden hyväksyminen. [29.]

Kalvoasennuksen yhteydessä on havaittu vain hyvin vähäisiä turvallisuuspuutteita. Varsinaisena turvallisuuspuutteena voidaan pitää sitä, että puhdistuksen jälkeen märkä suojakalvo on hyvin liukas. Laadullisia puutteita on havaittu enemmän. Ne eivät tosin koske varsinaista suojakalvon asennusta, vaan lähinnä jatkorakennustöitä. Jatkora-

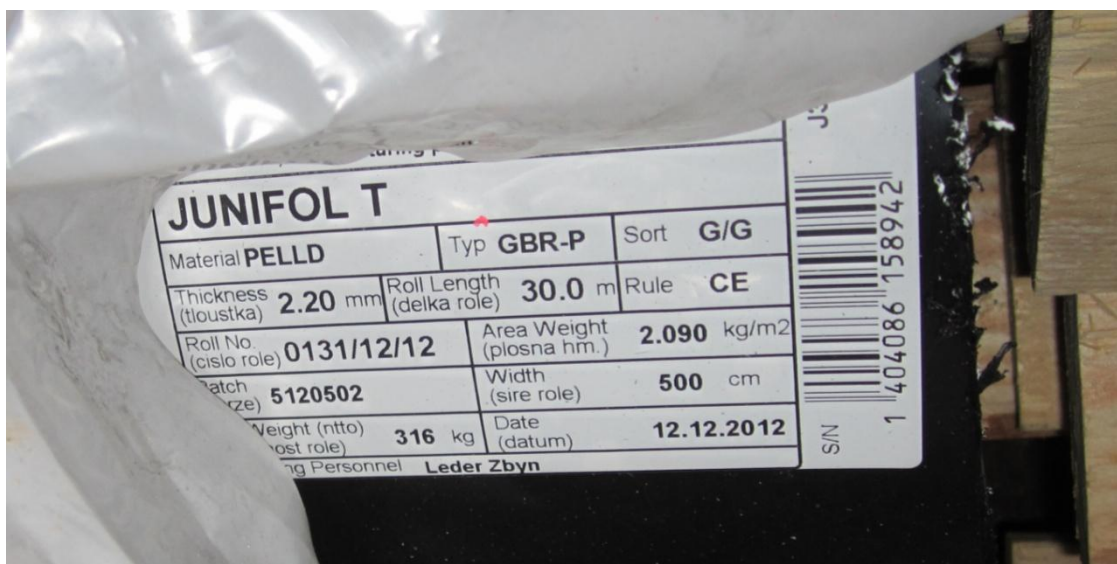
kennustöissä, kuten pohjalaatan muotin rakentamisessa, eivät työntekijät aina huomioi kalvon suojaustarvetta riittävästi. Tämä voi johtua siitä, ettei muualta tulevilla työmiehillä ole tarvittavaa tietoa kohteen rakentamisesta. [31.]

6.1 Kalvorullien käsittely

Käytetystä kalvosta tallennetaan todistukset sekä materiaalista että sertifiointista. Kalvon valmistaja toimittaa kyseiset dokumentit. Valmistaja myös vastaa siitä, että kalvon valmistusaineet ovat REACH-asetuksen mukaiset. [25.]

Kalvorullia liikutellaan nostoliinujen avulla. Liikuttamiseen voidaan käyttää myös nostotai levityspuomia. Työmaalla rullat kuljetetaan liinujen varassa lähelle asennuspaikkaa ja asetetaan koolausten päälle. Lyhyillä matkoilla ja yksittäisiä rullia kuljetettaessa kun rulla lepää koolausten päällä on rullien liikutteluun ilman nostoliinoja sallittua käyttää nostohaarukkaa. Useampien rullien ollessa kyseessä ei nostohaarukkaa saa käyttää. [28; 32.]

Urakoitsija huolehtii kalvorullien säilytyksestä säältä ja ilkivallalta suojassa. Kehäradalla rullat säilytetään maan alla välivarastossa, mistä rullat kuljetetaan tarpeen mukaan asennuspaikalle. Rullat tarkastetaan ja numeroidaan niiden saapuessa. Asennuksen alkaessa kalvosta kirjataan muistiin rullan tiedot, jotka liitetään osaksi asennusraporttia. Kalvon tiedot saadaan rullassa olevista merkinnöistä, kuten kuvassa 12 näkyy. Ennen varsinaisen asennuksen alkamista kalvo tarkastetaan vielä silmämääräisesti. Jos epäilyjä kalvon laadusta silmämääräisessä tarkastuksessa ilmenee, voidaan työmaalla tarkistaa kalvon paksuus mikrometrillä tai ottaa koepala ja lähettää se tarkempiin tutkimuksiin. [28; 33.]



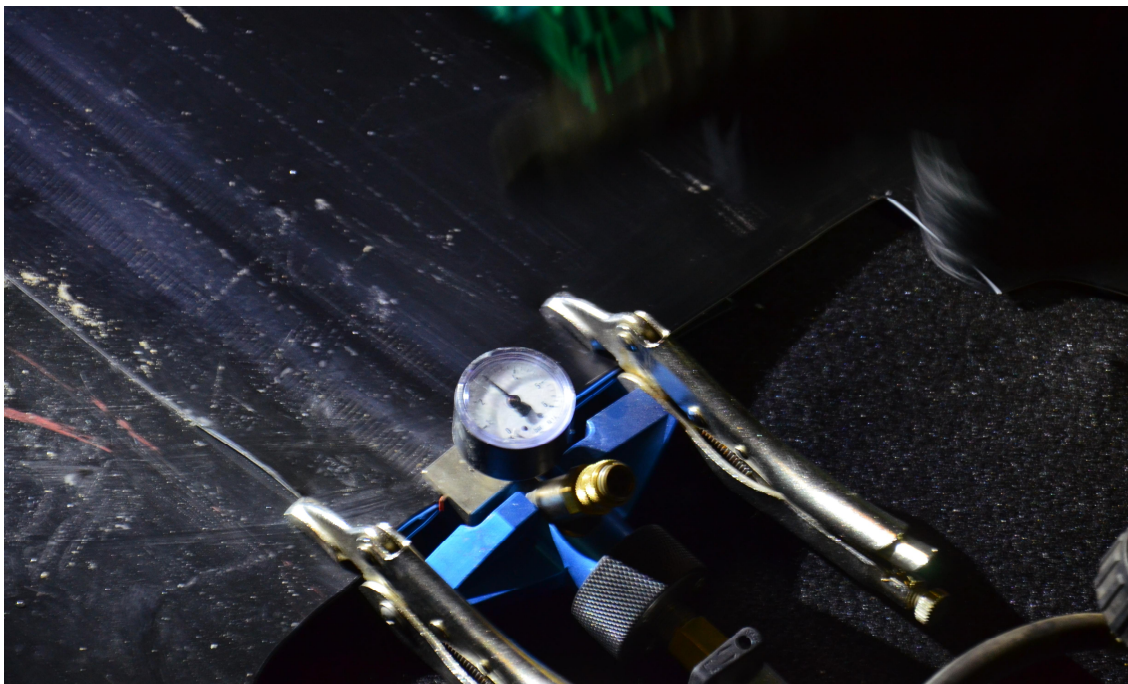
Kuva 12. Kalvorullan informaatiotarra (Pöyry Finland)

6.2 Saumauksen laadunvalvonta

Saumauksen laatua valvotaan kahdella erilaisella kokeella, jotka on esitelty alla.

6.2.1 Paineilmakoe

Saumojen jäähtyttyä tarkastetaan saumojen tiiveys paineilmakokeella. Kokeessa sauman toinen pää saumataan käsin umpeen ja toiseen päähän kiinnitetään paineilmlaite. Laitteella pumpataan ilmaa ilmatiehyeen ja painemittarilla tarkkaillaan paineen muutosta 10 minuutin ajan. Painetaso saumassa ei saa laskea enempää kuin 10 %. [26, s. 3.]



Kuva 13. Painemittari kiinnitettynä suojakalvoon (Liikennevirasto)

Jos sauman testausvaatimus ei täyty, tarkistetaan ensin, ovatko testauslaitteiden kiinnitykset pitäviä ja testaus suoritettu oikein. Jos näin on, tarkoittaa se, että saumassa on vuoto. Vuoto voidaan paikantaa tarkastelemalla hitsauskoneen tallentamia hitsausparametrejä, sillä automaattikone rekisteröi mahdolliset häiriöt saumauksen aikana. Toinen mahdollinen keino on leikata hitsattu kalvo kahtia ja toistaa painekoe molemmille puolille ja paikantaa vuotokohta siten. [26, s. 4; 34.]

Sauman laadulle voi aiheutua poikkeamia tilanteissa, joissa kalvon pinnalle on jäänyt epäpuhtauksia, kalvo on kostea tai materiaalin lämpötila on liian alhainen. Poikkeaman laatuun voi aiheuttaa myös hitsauskoneen toimintahäiriö. [20, s. 26; 34.]

6.2.2 Jännitetestaus

Jännitetestausta käytetään yksittäisten paikkojen tiivyyden toteamiseen. Testaus perustuu valokaareen, joka on sekä nähtävissä että kuultavissa. Jos saumassa on virhe, aiheutuu testistä valokaari, joka on sekä nähtävissä, että kuultavissa. Valokaaren avulla virheellinen kohta löydetään ja hitsataan uudestaan ekstruusiolla. [26, s. 5.]

Jännitetestaus toimii siten, että alla olevaan kalvoon, kiinnihitsatun paikan reunaan kiinnitetään kuparilanka. Kuparilanka ja paikan reuna hitsataan kiinni ekstruusiohitsauksella. Hitsin jäähdyttyä saumaan syötetään laitteella virtaa. Jos kuparilanka on jäänyt näkyviin tai langan päällä on liian ohut saumaus, muodostuu selkeästi nähtävissä ja kuultavissa oleva valokaari. [26, s. 5.]

7 Suojakalvon asennus ja hitsaus

Tunneleiden suojaaminen kalvolla ei ole uusi tai erikoinen toimintatapa, mutta kalvon asennus elementtitunnelin päälle ei ole tavanomainen ratkaisu. Yleensä tunneleissa kalvo asennetaan kallion pintaa vasten. Sinänsä kuitenkin kalvon asennus ja hitsaus elementtitunnelin päälle tapahtuu samoilla menetelmillä kuin muissakin kohteissa. [9.]

Suojakalvot liitetään toisiinsa koneellisesti kuumalevyhitsaamalla siten, että muodostuu kaksoishitsisauma. Hitsisaumojen väliin jää ilmatila, jonka avulla saumojen tiiveys koetetaan paineilmalla. Suojakalvojen liitoskohdissa kuumalevyhitsausta jatketaan niin pitkälle kuin mahdollista. Vain paikallisia korjauksia ja lyhyitä hitsaussaumoja voidaan tehdä kuumailmapistoolia käyttäen. Käsintehtyjen saumojen tiiviys todetaan jännitekokeella. [20, s. 26.]

Ennen varsinaista asennustyötä tulee kalvon asennuksesta ja hitsauksesta suorittaa mallikatselmus. Katselmuksessa tarkkaillaan kaksoissauman hitsausta, painetestausta, paikan asentamista sekä paikan laadun tarkistusta jännitetestillä. [26, s. 2.]

Liitteessä 2 on esitetty viitteellisesti, missä luvussa 7 käsiteltävät kohteet sijaitsevat.

7.1 Ratatunneli

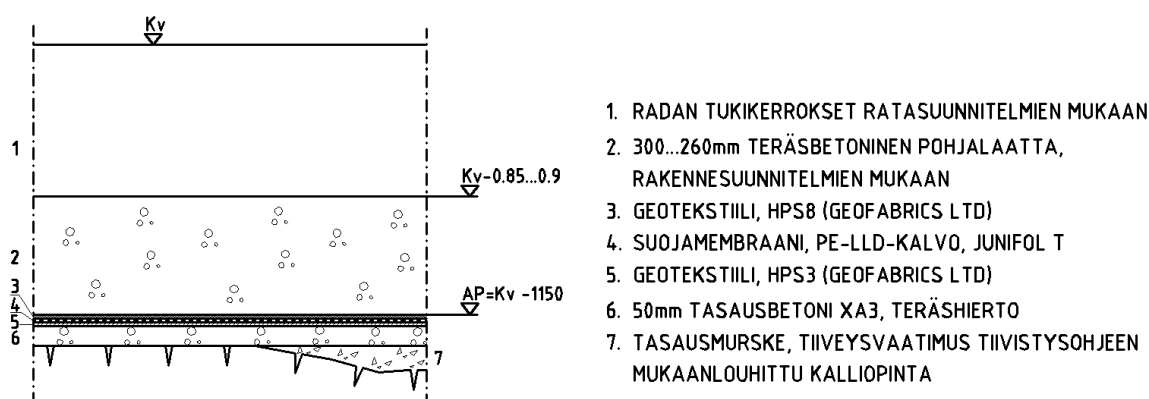
Ratatunneli eristetään kauttaaltaan haitta-ainepitoisista vesistä suojakalvolla. Näin ollen koko betonisen ratatunnelirakenteen ympärille muodostuu jatkuva kaas- ja vesitiivis suojarakenne. Tällä estetään haitta-aineen kulkeutuminen ratatunnelin rakenteisiin sekä turvataan viihtyisä loppukäyttö. [20, s. 27.]

7.1.1 Pohjalaatta

Kalvon asentaminen aloitetaan pohjalaatan alle tulevasta suojakalvosta. Ennen asennuksen aloitusta tunnelin pohja on tasattu tasausmurskeella ja murskeen päälle on valettu 50 mm paksu tasausbetoni, jonka rasiusluokka on XA3. Tasausbetoni valetaan päälle tulevan betonitunnelin ulkopuolelle, koko louhitun tunnelin leveydeltä, helpottamaan myöhempiä asennustöitä. [28; 35.]

Tasausbetonin päälle suojakalvoa suojaamaan tulee geotekstiili. Ennen geotekstiilin asentamista tasausvalu puhdistetaan huolellisesti. Geotekstiilit asennetaan ja limitetään materiaalitoimittajan ohjeiden mukaisesti niin, että minimilimitys on 25 cm. [32, s. 1.]

Suojakalvon asentamisessa pyritään minimoimaan saumojen määrää. Tämä tapahtuu levittämällä kalvo tunnelin suuntaisesti, mahdollisimman pitkinä mattoina. Mattojen leveydet poikkeavat toisistaan jonkin verran, minkä vuoksi kalvo voidaan vaakajatkosten kohdalta limittää siten, että pituussuuntaiset saumat eivät tule kohdakkain. Tämä parantaa saumojen varmuutta, kun paksuja neljän kalvon liitoksia ei tarvitse tehdä. [28; 32, s. 1.]



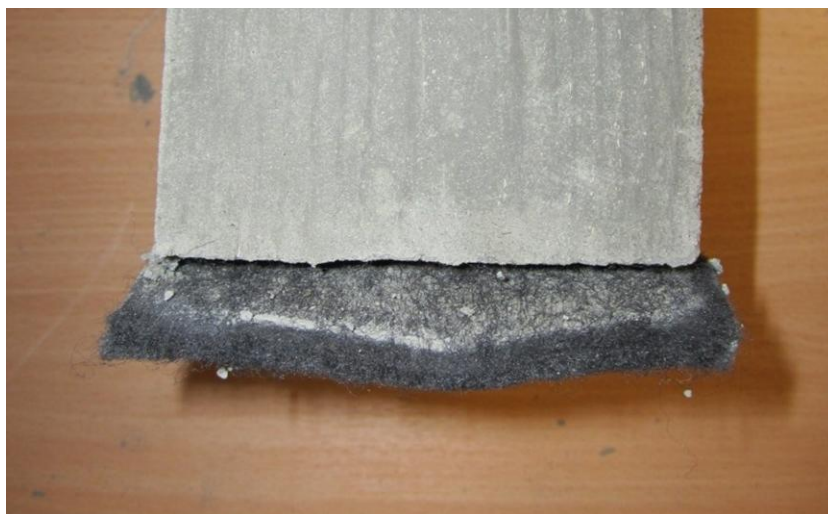
1. RADAN TUKIKERROKSET RATA SUUNNITELMIEN MUKAAN
2. 300...260mm TERÄSBETONINEN POHJALAATTA, RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN
3. GEOTEKSTIILI, HPS8 (GEOFABRICS LTD)
4. SUOJAMEMBRAANI, PE-LLD-KALVO, JUNIFOL T
5. GEOTEKSTIILI, HPS3 (GEOFABRICS LTD)
6. 50mm TASAUSBETONI XA3, TERÄSHIERTO
7. TASAUSMURSKKE, TIIVEYSVAATIMUS TIIVISTYSOHJEEN MUKAAN LOUHITTU KALLIOPINTA

Kuva 14. Leikkaus tunnelin alapohjarakenteesta. (Pöyry Finland Oy)

Alkuperäisen suunnitelman mukaan suojakalvoa suojaasi raudoitustöiltä polyeteenimatto, mutta urakoitsijan ehdotuksesta polyeteenimatto vaihdettiin geotekstiiliin. Urakoitsijan näkemyksen mukaan geotekstiili suojaa kalvoa paremmin kolhuilta ja lävistymiseltä raudoituksen asennusvaiheessa kuin polyeteenimatto. Läntisen suuaukon työmaalla oli

saatu viitteitä siitä, ettei polyeteenimatto suojaa kalvoa riittävästi teräviltä esineiltä. [28; 35.]

Ratkaisun varmistamiseksi joulukuussa 2012 suoritettiin valutesti, jossa tarkasteltiin geotekstiilin reagoimista valubetonin kanssa. Epäilyksenä oli, että sementtiliima imeytyy geotekstiiliin kovettaen sen ja muuttaen geotekstiilin suojausominaisuuksia. Sementtiliima ei imeytynyt geotekstiiliin, kuten kuvasta 15 näkyy, joten sen käytölle ei todettu olevan esteitä. Suunnittelijan hyväksynnällä polyeteenimatto korvattiin koko asennusalueella 1000 g/m²:n painoisella geotekstiilillä. [36; 37.]



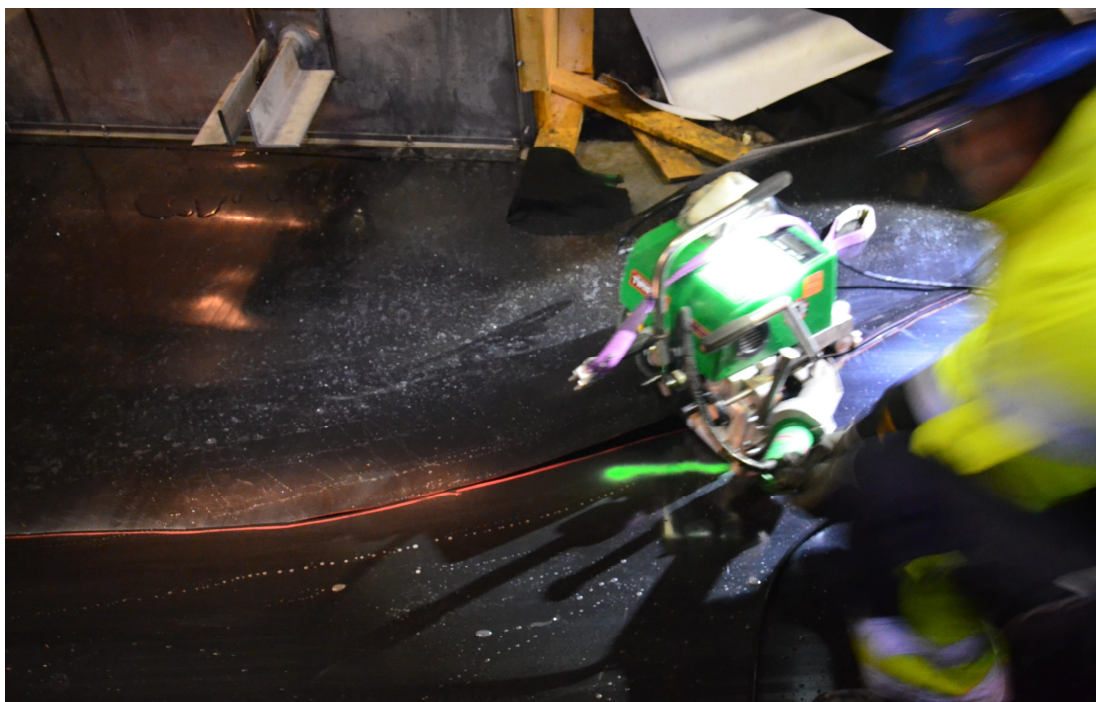
Kuva 15. Geotekstiilille suoritettu valutesti (Pöyry Finland Oy)

7.1.2 Pohjalaatan mallikatselmus

Mallikatselmuksessa yhteenhitsattiin kaksi pituudeltaan noin 30-metristä ja leveydeltään 4,5 m ja 5,0 m leveätä kappaletta. Suojakalvot oli limitetty noin 15 cm matkalta, kalvossa näkyvien punaisten merkkien mukaan. Työ aloitettiin hitsauskoneen saavutettua tarvittavan lämpötilan, hitsauskone asetettiin paikoilleen ja kone suoritti omatoimisesti koko 30 m sauman hitsauksen. Sauma oli noin 5 cm leveä, ja saumojen väliin jäi selkeästi erottuva ilmatila. [26, s. 2-3.]

Hitsauskone tallentaa koko hitsausajan hitsauksen parametrejä, jotka tulostuvat reaaliaikaisesti paperille koneen yläosasta, niin kuin kuvasta 11 nähdään. Näitä parametrejä voidaan tarvittaessa käyttää sauman vuotokohdan paikallistamiseen. Saumaus etenee

2 mm kalvossa noin 1,5 m/min. Kone säättää etenemisnopeutta kalvon oheneman mukaan. Hitsauslämpötilana käytetään +500 °C ja puristusvoimana 1400 N. [26, s. 3; 27.]



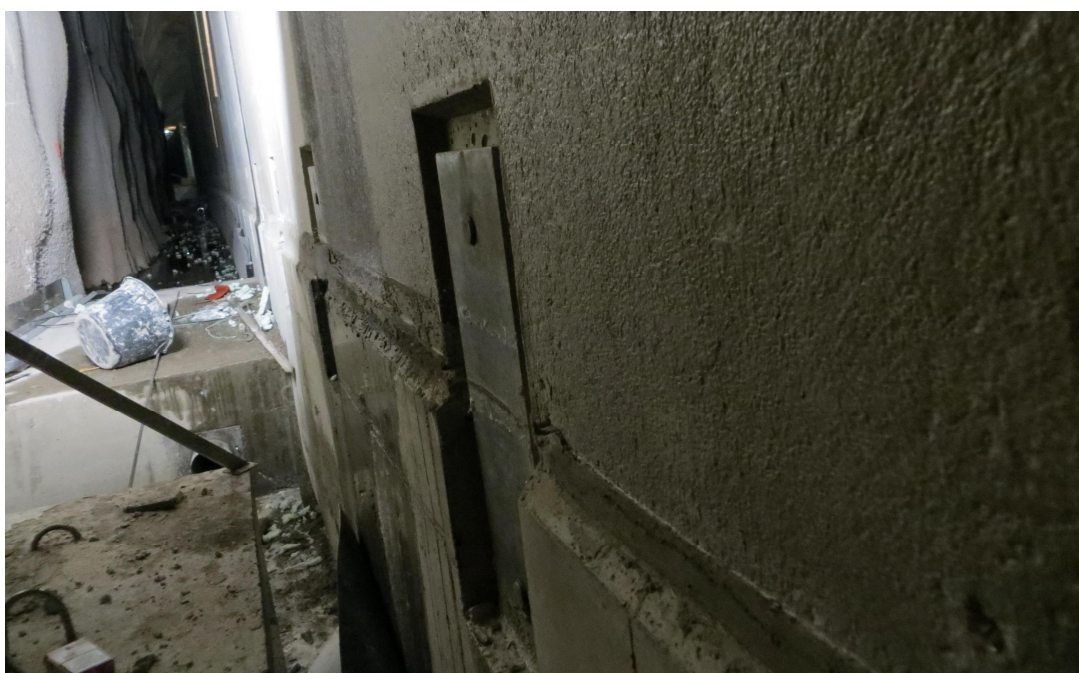
Kuva 16. Kaksoissauman hitsaus (Liikennevirasto)

Mallikatselmuksessa tehdylle saumalle suoritettua painetestauksessa paine lähti nopeasti laskemaan ja oli selvää, että paineen lasku on enemmän kuin 10 % 10 minuutissa. Seuraavina toimenpiteinä tarkastettiin kaksoissauma, sauman pään hitsaus ja painemittarin kiinnityskohta. Vuodon havaittiin olevan painemittarin kiinnityksessä. Koe toistettiin ja tällä kertaa vaatimus sauman pitävyydestä täyttyi. [26, s. 4.]

7.1.3 Elementtirakenne

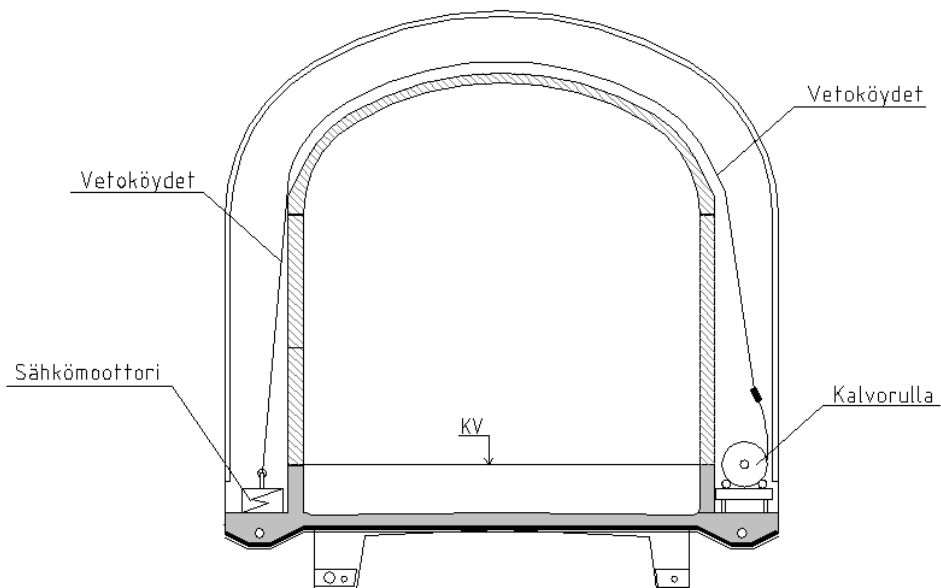
Elementtitunnelin elementtien asennus alkaa pohjoisesta tunnelista kohti länttä, eteläreunan elementtien asennuksella. Näin paikallavalu rakenteiden valmistumiselle jää riittävästi aikaa. Pohjoisreunan elementtien asennus suoritetaan kaarielementtien asennuksen tahdissa. Kalvon asennuksen helpottamiseksi, ja työnaikaisten kuljetusmatkojen lyhentämiseksi ahtaassa välitilassa, kalvorullia siirretään valmiiksi elementtitunneliin odottamaan asennusta. Kalvo pyritään asentamaan tarkasti ja huolellisesti paikoilleen siten, että kalvoa ei tarvitse siirrellä turhaan elementin päällä. [27; 28; 38.]

Ennen kalvon levitystä elementtitunnelin päälle elementtien saumakohtien terävät kulmat tasoitetaan tai hiotaan. Paikalla valetun pohjakaukalon ja paikoilleen asennetun seinäelementin liitoskohtaan jäävä kynnyks tasoitetaan viistäen. Elementin ja pohjalaa-
tan kiinnityslevyn kolo tasoitetaan kokonaan umpeen kiinnikkeen asennuksen ja injek-
toinnin jälkeen. Sekä kynnyks, että elementin liitoskohta näkyvät kuvassa 17. Kaariele-
mentin terävä kulma, joka näkyy liitteessä 2, leikkauksessa A - A, hiotaan pyöreäm-
mäksi. Kuvassa 17 näkyvälle elementin pinnan epätasaisuudelle ei tarvitse tehdä mi-
tään, koska suojakalvon levitysvaiheessa kalvo ei pääse hankaamaan karheaa seinää
vasten. Kattoelementin pinta puolestaan on riittävän tasainen, ettei kalvo vahingoitu.
[27; 28; 39.]



Kuva 17. Kuvassa näkyy paikalla valetun pohjalaatan kynnyks, elementin epätasainen pinta ja elementin kiinnike. (Pöyry Finland Oy)

Neljä metriä leveä kalvo asennetaan elementtitunnelin päälle lepäämään vetämällä kalvo tunnelin yli. Katso kuva 18. Kalvorulla lepää kalvon levityksen aikana laakeroidul-
la alustalla, joka mahdollistaa kalvorullan pyörimisen. Kalvon reunaan kiinnitetään me-
kaanisesti metallinen, pyörällinen latta. Elementtitunnelin yli viedään vetoliinat, jotka
kiinnitetään lattaan. Tunnelin eteläpuolelta kalvo vedetään sähkömoottorin avulla ele-
menttiprofiilin yli. Kalvoa ei kiinnitetä mitenkään tunnelin päälle, vaan se jää lepäämään
paikoilleen painollaan. [27; 28.]



Kuva 18. Periaatekuva kalvon vedosta

Elementtitunnelin päällä saumat hitsataan samalla periaatteella kuin pohjalaatankin alla. Kalvojen saumat limitetään noin 15 cm:n matkalta ja hitsataan kiinni koneellisesti. Saumaus etenee 80 cm/min itsenäisesti, työmies varmistaa koneen toiminnan. Näin varmistetaan se, että sauma tulee hitsatuksi oikeaan kohtaan. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että saumaus aloitetaan elementtitunnelin toiselta reunalta ja työntekijä saattaa koneen tunnelin harjalle, mistä toinen työntekijä ottaa koneen vastaan ja valvoo toisen puolen saumauksen. [27.]

Suojakalvon levityksestä ja hitsauksesta kaaren yli sekä liittämisestä pohjakalvoon suoritetaan malliasennus, jonka tilaaja hyväksyy. [38].

7.2 Yhdystunneli

Haitta-ainealueella sijaitsee viisi yhdystunnelia, jotka yhdistävät pohjoisen ja eteläisen ratatunnelin toisiinsa. Suojakalvo kiertää koko yhdystunnelin pohjan, seinien ja kalliokaton kautta yhdistyen ratatunnelien suojakalvorakenteeseen kaasu- ja vesitiiviisti. [20, s. 21–22.]

Yhdystunneleissa kalvo kiinnitetään seiniin niin kutsutulla Rondell-liitoksella. Tämän liitoksen ominaisuus on, että joutuessaan normaalista poikkeavan rasituksen alaiseksi liitos antaa hallitusti periksi. Tässä tapauksessa se tarkoittaa sitä, että kalvon ja Ron-

dellin välinen liitos ratkeaa kalvoa vahingoittamatta. Tunnelin kallio kattoon kalvo kiinnitetään roikkumaan ankkurointitappien varaan. [27; 40.]

Yhdystunneleiden lopullisesta suojaustavasta käydään vielä keskustelua. Esille on nostettu toinen vaihtoehto, missä suojakalvo asennettaisiin makaamaan kaarielementtien päälle samalla tavalla kuin elementtitunneliosuudella. Tämän ratkaisun hyviin puoliin lukeutuu sauma ja liitosmäärän jääminen minimiin. Kalvourakoitsija on havainnollistanut tilannetta levityskuvalla, joka on esitetty liitteessä 5. [33; 41.]

7.3 Ankkurointiuloke

Betonielementtitunnelin pohjalaatta ankkuroidaan kallioon ankkurointiulokkeilla ja teräksisillä ankkurointitapeilla. Ankkuroinneilla siirretään junan jarruvoimat kallioon ja estetään tunnelin liikkuminen jarrutuksen aiheuttaman voiman vaikutuksesta. [33; 35.]

Alkuperäisen suunnitelman mukaan ankkurointiuloke erotettiin kallioseinän tasausvalusta 2 mm:n HST-pellillä, tappien kohdille hitsattiin HST-laipat. Tätä suojaustapaa käytettiin ensimmäisten ankkurointiulokkeiden kohdalla. Suojaustavassa kuitenkin huomattiin tarvetta parantamiseen. 2 mm paksu pelti ei kestänyt laippojen liitosta suorana, vaan alkoi kupruilla. Kupruilevan pellin asentaminen tiiviisti tasausvalua vasten osoitautui ongelmalliseksi. [33; 35.]

Ratkaisuksi ehdotettiin pellin korvaamista HDPE-valulevyllä. Tällä ratkaisulla päästiin myös eroon suojakalvon ja pellin välisistä mekaanisista liitoksista, koska suojakalvo voidaan hitsata kiinni suoraan valulevyyn. Esitys valulevyn käytöstä ja uudesta valulevyn ja ankkurointitapin liitoksesta sai suunnittelijan hyväksynnän ja otettiin heti käyttöön. [33; 35.]

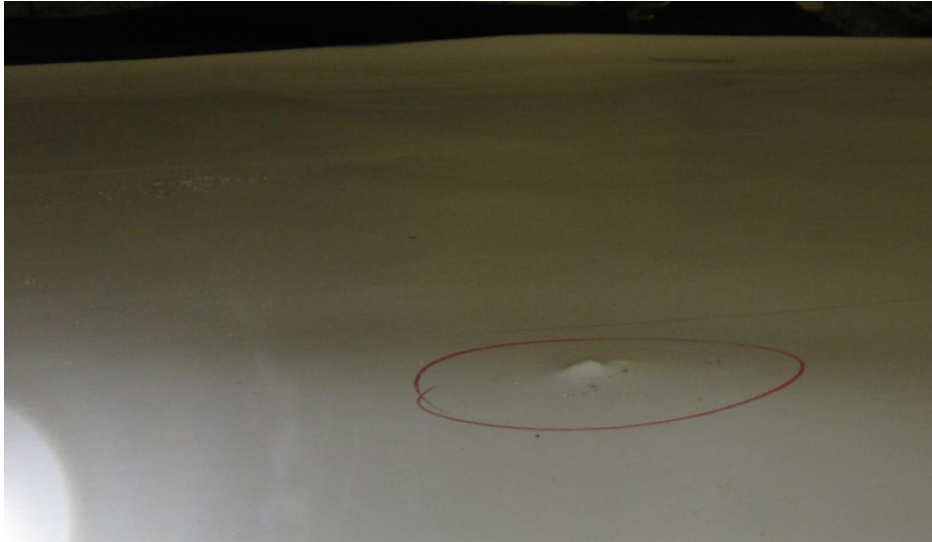
Valulevy sijoitetaan muotin pintaan siten, että valulevyn kiinnikkeet tarttuvat valuun kiinni. Muotin poiston jälkeen jäljelle jää tasainen ja siisti muovipinta. [42.]



Kuva 19. Ankkurointiuloke ennen valua. Valulevy kiinnitettynä ankkurointiin. Bb (Liikennevirasto)

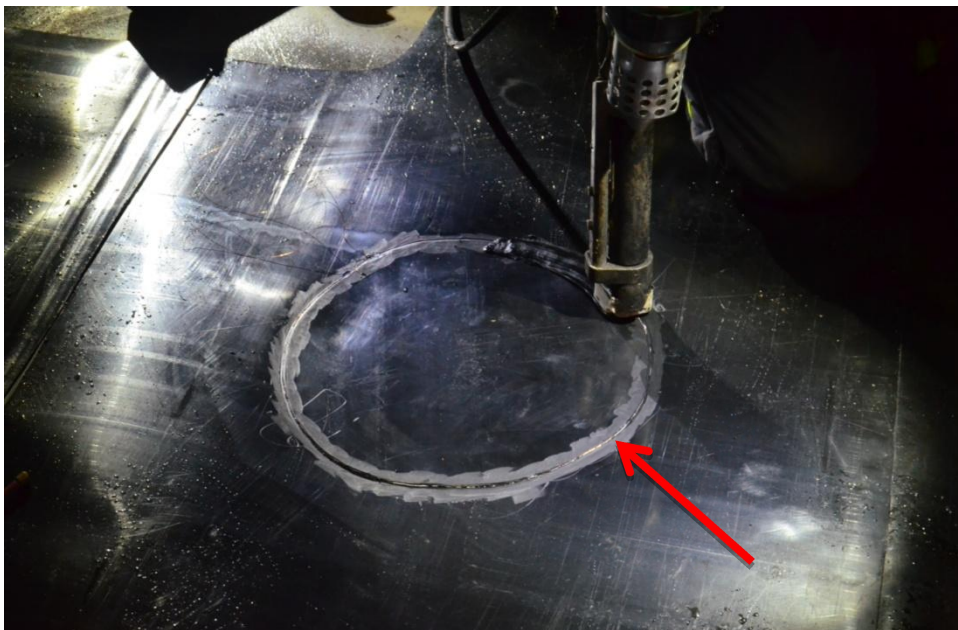
7.4 Paikan manuaalinen hitsaus

Kalvoon muodostuu väkisinkin epäjatkuvuuskohtia esimerkiksi kahden kaksoissauman vierekkäisissä päissä tai kalvon paikallisessa vaurioitumisessa. Paikallisesti vaurioituneena kalvona käsitetään myös pohjalaatan alta tulevat reunakappaleet, joissa on muottityön tai irtokivien aiheuttamia painaumuksia, kuten kuvassa 20. Tällaiset kohdat korjataan hitsaamalla paikka manuaalisesti. [26, s. 4; 42.]



Kuva 20. Painunut kalvo. Painauman aiheuttanut kivi, kooltaan noin 3-5 mm näkyy kuvassa 9. (SRV Yhtiöt Oy)

Paikkauksen ensimmäisessä vaiheessa pyöreän paikan reunat hitsataan kiinni manuaalisesti. Tämän jälkeen hitsin ulkoreunaan asetetaan kuparilanka, minkä jälkeen ensimmäisen hitsin päälle hitsataan ekstruusiohitsi. Jäähdytymisen jälkeen paikan ulkoreuna testataan jännitekokeella, kuten luvussa 6.2.2 on selostettu. [26, s. 5.]



Kuva 21. Paikan kiinnitystä ekstruusiohitsauksella. Kuvassa näkyy myös paikkaa kiertävä kuparilanka. (Liikennevirasto)

8 Suojakalvon liitokset

Liitteessä 2 on esitetty viitteellisesti, missä luvussa 8 käsiteltävät liitokset voivat esimerkiksi sijaita.

8.1 Suorakulmainen liitos

Kalvon kestävyys voi kärsiä, jos suojakalvo taitetaan liian jyrkkään kulmaan. Tästä syystä suorakulmaiset liitokset tehdään käyttäen erilaisia sovitekappaleita riippuen siitä, onko kyseessä sisä- vai ulkokulma. Sisäkulman kiinnitykseen käytetään HDPE-kolmiorimaa ja ulkokulmaan L:n muotoista HDPE-listaa. Katso kuva 22. Molemmissa tapauksissa sovitekappaleet kiinnitetään kalvoon ekstruusiohitsauksella ja saumojen tiiviyttä todetaan jännitekokeella, joka on esitelty luvussa 6.2.2. [25; 27.]

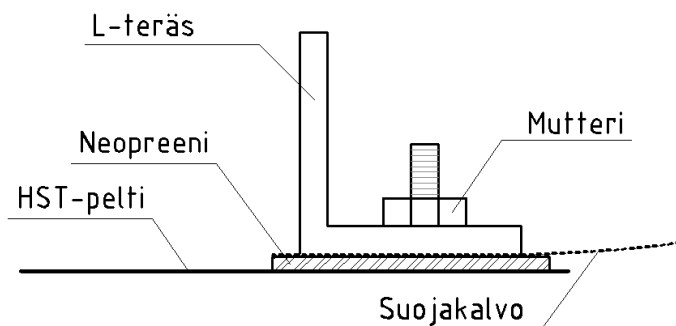


Kuva 22. Vasemmalla puolella on kolmiorima ja oikealla ulkokulma. (Liikennevirasto / Pöyry Finland Oy)

Kalvoa leikataan käsivaraisesti, joten täysin samansuuntaisten kappaleiden leikkaaminen on hidasta. Vaikka leikkaus suoritettaisiin äärimmäisen tarkasti, reuna jää aina hieman epätasaiseksi. Tällaisten kappaleiden yhteenliittäminen pelkästään hitsaamalla saattaa jättää saumaan heikompia kohtia, jotka eivät näy jännitetestauksessa. Sovitekappaleita käyttämällä saavutetaan suurempi varmuus saumoihin ja hitsauksia ei tarvitse tehdä jyrkkiin kulmiin. [27; 28.]

8.2 HST-pellin ja suojakalvon liitos

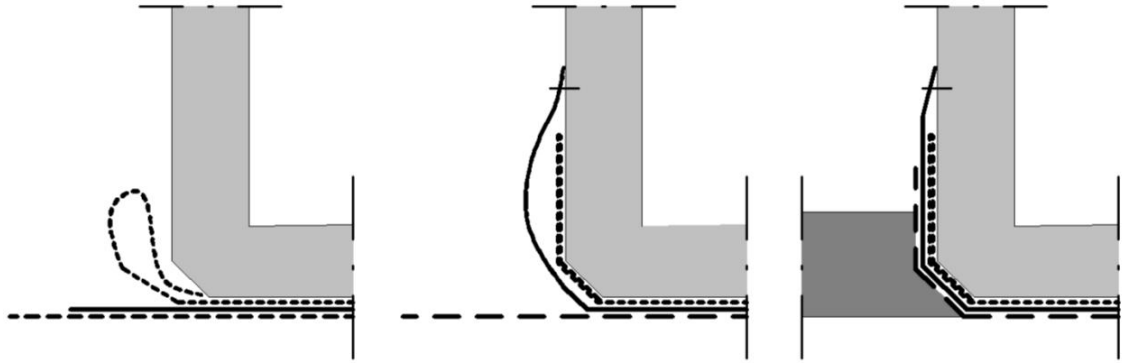
HST-pelti ja suojakalvo liitetään toisiinsa mekaanisella liitoksella. Myös liimaliitosta kehitettiin, mutta liima ei tartu PE-kalvoon. Mekaanisesta liitoksesta oli arvioitavana kaksi erilaista mallia. Ensimmäinen malliliitos oli pulttiliitos prikoilla. Tätä vaihtoehtoa ei saatu vesitiiviiksi. Toisena vaihtoehtona oli pulttiliitos jatkuvaan L-teräkseen. L-teräs pultataan kiinni peltiin. Tämä liitos saatiin vesitiiviiksi, ja sitä voidaan käyttää suorilla pinnoilla. Kaarevilla pinnoilla HST-peltiin hitsataan kierretapit kalvoasennuksen yhteydessä. Kalvo kiinnitetään tappeihin lattateräksellä. [36; 37; 43.]



Kuva 23. Mekaaninen liitos. (Pöyry Finland Oy)

8.3 Vesikourun ja pohjalaatan liitos

Ennen kuin reunoille tulevia kouruja voidaan alkaa valaa, pohjalaatan alta tuleva suojakalvo nostetaan ylös ja kiinnitetään kaukalon reunoihin. Työ aloitetaan puhdistamalla geotekstiili roskista ja valuroiskeista. Tämän jälkeen päällimmäinen geotekstiili taivutetaan kaksinkerroin siten, että vapaa pää työnnetään pohjalaatan viisteen alle. Viisteen kulmat ovat hieman terävät, joten kaksinkertainen geotekstiili kulmissa suojaa kalvoa vahingoittumiselta. Tämän jälkeen kalvo voidaan kiinnittää väliaikaisesti kaukaloon. Ennen valua alimmainen geotekstiili nostetaan ylös suojaamaan kalvoa valulta. Vaiheet on esitetty kuvassa 24. [28.]



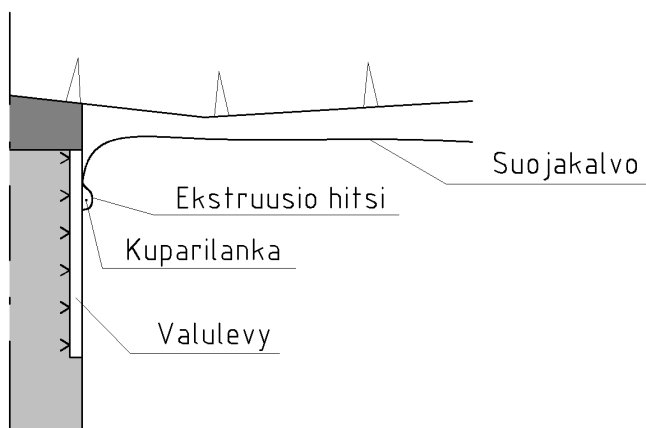
Kuva 24. Geotekstiili työnnetään pohjalaatan alle, jonka jälkeen suojakalvo ja alimmainen geotekstiili voidaan nostaa ylös. (Pöyry Finland Oy)

8.4 Pohjalaatan alle ja tunnelin päälle tulevan kalvon yhdistäminen

Pohjalaatan alta tuleva ja elementtitunnelin päällä lepävä kalvo yhdistetään toisiinsa hitsaamalla koneellisesti. Ennen hitsausta pohjalaatan ylösnostettu ja kiinnitetty kalvo irrotetaan ja kiinnityskohta leikataan pois. Pohjalaatan kalvon ja elementtitunnelin päällä olevat kalvot limitetään niin, ettei neljän kalvon paksuisia liitoksia synny. Kaikki liitokset ovat niin kutsuttuja T-liitoksia, joissa yhteen liitetään kolme kalvoa. Saumojen tiiviys todetaan paineilmakokeella kuten kohdassa 6.2.1 on esitetty. [26, s. 7; 28.]

8.5 Valulevyn ja suojakalvon liitos

Suojakalvo kiinnitetään valukalvoon hitsaamalla, kuten kuvassa 25. Suojakalvo hitsataan kiinni valulevyn ja sauman jäädyttyä saumaan kiinnitetään kipinätestauslanka. Tämän jälkeen päälle hitsataan toinen sauma ekstruusiolla. Sauman tiiviys testataan jännitetestauksella, kuten kohdassa 6.2.2 on esitetty. [27; 28.]



Kuva 25. Valulevyn ja suojakalvon välinen liitos.

8.6 Valulevyn ja ankkurointitappien liitos

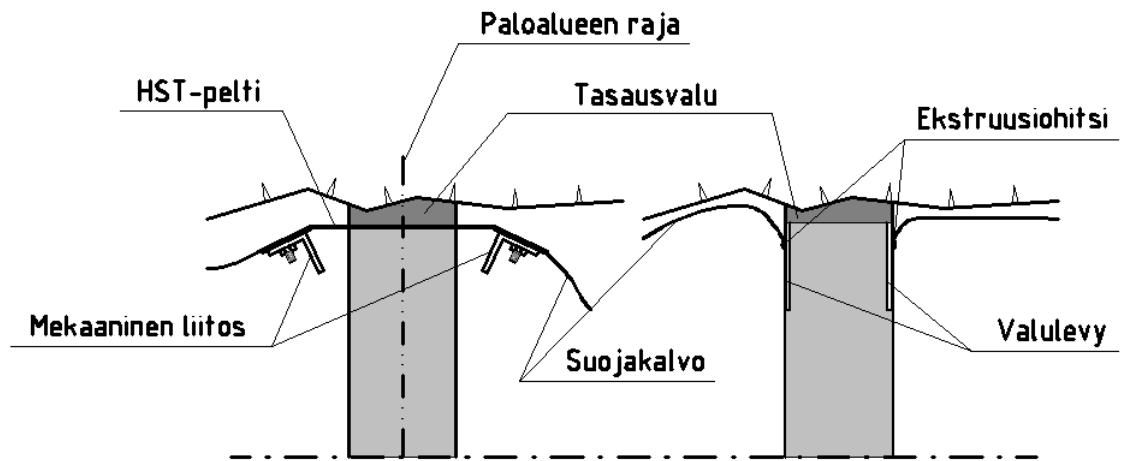
Vaihtoehtoisia kiinnitystapoja oli arvioitavana kaksi. Ensimmäisessä ehdotuksessa ankkurointitapin ympärille asennetaan mahdollisimman lyhyt suojakalvoholkki, joka kiristetään ankkurointitappiin putkipannalla. Toisessa vaihtoehdossa valukalvon ja ankkurointitapit liitetään toisiinsa HST-pellillä ja mekaanisella liitoksella. Ankkurointitappiin hitsataan HST-peltilaippa. Peltilaippaan liitetään valulevy hitsattuihin kierretappeihin kiristettävällä peltilaipalla. Näistä toteutettavaksi tavaksi valittiin jälkimmäinen vaihtoehto. Kuvassa 26 on näkyvillä HST-peltilaipat ennen valukalvon liitosta. Kuvassa 19 näkyy sama liitos kiinnitettyinä. [29; 41.]



Kuva 26. HST-peltilaippa hitsattuna ankkurointitappiin. (Liikennevirasto)

8.7 Valubetonirakenteen ja kallion liitos

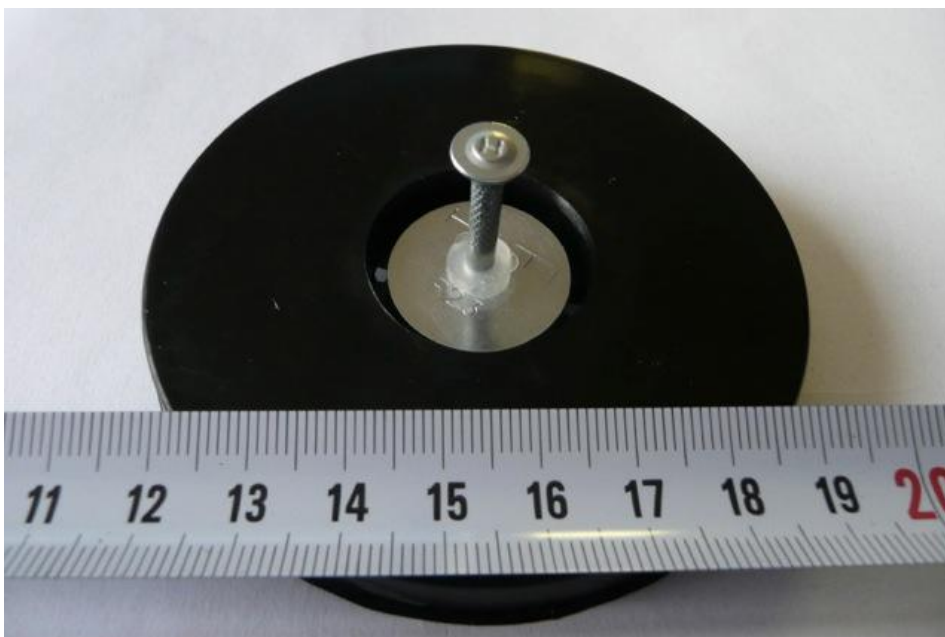
Betonitunneli liittyy useilta osin kallioon paikallavaletuilla betoniseinillä. Seinän kohta muodostaa epäjatkuvuuskohdan kalvoasennukselle. Kalvoasennuksen jatkamiselle on kaksi eri toteutustapaa riippuen siitä, onko kallioon liittyvä seinä luokiteltu palokatkoiseksi vai ei. Tavallisen seinän ollessa kyseessä seinän valuun upotetaan valulevyt, joihin suojakalvo voidaan kiinnittää hitsaamalla. Liitos on esitelty kuvassa 27. Palokatkoiseinän ollessa kyseessä, kallion epätasaiseen pintaan tehdään ensin tasausvalu. HST-pelti asennetaan tasausvalun ja seinävalun väliin. Liitos on esitelty kuvassa 27. Suojakalvo kiinnitetään HST-peltiin mekaanisella liitoksella, joka on esitelty luvussa 8.2. [33.]



Kuva 27. Vasemmalla puolen palokatkoseinän liitos HST-pellillä ja oikealla liitos valulevyllä. (Pöyry Finland Oy)

8.8 Rondell-liitos

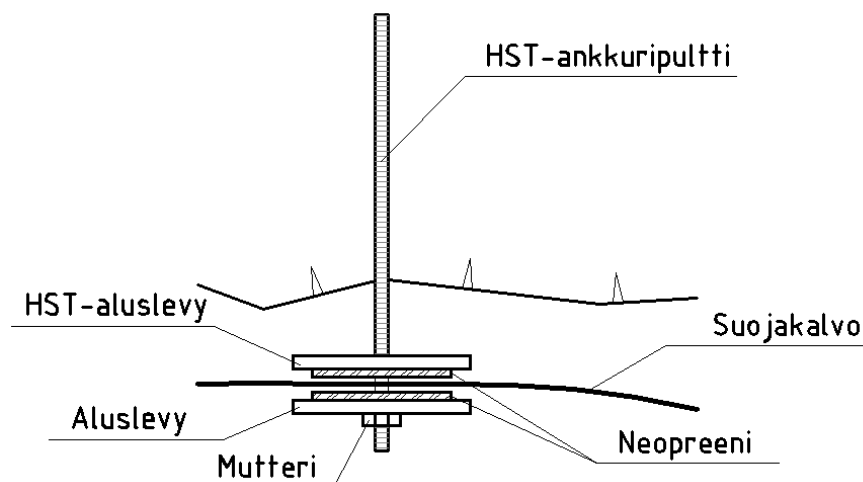
Rondell on pyöreä, muovinen noin 7 cm halkaisijaltaan oleva ja 10 mm paksu muovilevy, joka kiinnitetään ruiskubetonoituun seinään haponkestävällä naulalla tai pultilla. Katso kuva 28. Kehäradalla kiinnittämiseen käytetään haponkestäviä nauvoja. Rondellin muoviosaa kuumennetaan polttimella ja sitten kalvo painetaan muovii kiinni. [27; 28.]



Kuva 28. Rondelli (Taretek Oy)

8.9 Suojakalvon kiinnitys kallioon

Kalliokattoon suojakalvo kiinnitetään roikkumaan HST-ankkuripulteilla, kuten kuvassa 29. Ripustuksessa huomioidaan kallionpinnanmuotojen ja ankkuripulttien pituudet niin, että haitta-ainepitoinen vesi pääsee vapaasti virtaamaan pois kalvon päältä siten, että vesipusseja ei pääse syntymään. Ankkuritankoon hitsataan kiinni HST-aluslevy, jonka päälle tulee neopreenitiiviste. Jotta suojakalvo saadaan kiinnitettyä ankkuripulttiin, tehdään suojakalvoon reikä, ja pujotetaan suojakalvo ankkuritappiin. Kalvon päälle tulee tiivisteeksi vielä neopreenitiiviste ja tiivisteen päälle aluslevy. Liitos kiristetään tiiviiksi mutterilla. [30.]



Kuva 29. Suojakalvon kiinnitys kalliokattoon. (Pöyry Finland Oy)

9 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin Kehäradan haitta-ainealueen suojarakenteen, suojarakenteen asennuksen, hitsauksen ja laadunvalvonnan toteutumista. Nämä kaikki omalta osaltaan vaikuttavat rakenteelle annetun 100 vuoden käyttöiän toteutumiseen.

Kalvon asennuksista, hitsauksista ja detaljeista on suoritettu hyväksytysti mallityöt. Käytettyjen menetelmien ja liitosten on todettu olevan soveltuvia kohteeseen.

Suojakalvolle oli asetettu tietyt vähimmäis vaatimukset. Näistä tärkeimmät ovat suoja- kalvon paksuus ilman signaalikerrosta, signaalikerroksen paksuus, vetolujuus, venymä murtoon asti, biaksaalinen venymä ja puhkaisulujuus. Valittu suojakalvo Junifol T täyt- tää alussa edellytetyt vaatimukset.

Suojakalvon asennuksesta ovat urakoitsija ja valvoja luoneet sisällysluettelo, minkä perusteella laadunvalvontaa suoritetaan. Sisällysluettelo kattaa kaiken materiaalitie- doista, asennuksesta ja saumauksesta, saumojen tarkastuksesta ja tarvittavista korja- ustoimenpiteistä. Myös malliasennukset, katselmukset ja dokumentointi on sisällytetty sisällysluetteloon.

Koska laadunvalvontaa tehdään jatkossakin laadunvalvonta ohjelman sisällysluettelon mukaan, jää urakasta jäljelle asianmukainen laatukansio. Laatukansiossa on esitetty

tiedot suoritetuista suojakalvon asennuksista, paikkauksista, hitsauksista, käytetystä laitteistosta ja saumojen tiedoista. Näin on jälkikäteen mahdollisten ongelmien ilmetessä tarkistettavissa kyseisen alueen tiedot ja suojakalvolle tehdyt toimenpiteet.

Isoja turvallisuuspuutteita ei valvojan mukaan työmaalla ole havaittu. Pienempiä riskitekijöistä ilmeni esimerkiksi kalvon liukkaus. Työ on edennyt suunnitellussa aikataulus- sa ilman suurempia viivytyksiä. Mikään työvaihe ei ole jäänyt jälkeen siten hidastaen muita työvaiheita.

Suojakalvon asennusta suorittaa kalvourakointiin erikoistunut yritys, jolla on aikaisem- paa kokemus isoista kalvourakoinneista kuten Ämmässuon-kaatopaikan laajennukses- ta. Aikaisempaa kokemusta tunnelissa työskentelystä urakoitsijalla ei ole ollut. Tästä ei kuitenkaan ole ilmennyt ongelmia, vaan kalvoasennus on onnistuttu sovittamaan hyvin muiden tunnelityövaiheiden lomaan huomioiden haasteellinen maanalainen ympäristö.

Sekä pääurakoitsija SRV Yhtiöt Oy, että kalvourakoitsija Taretek Oy ovat ottaneet aktii- visen roolin liitosten ja asennustapojen kehittämisessä. Tämä on ollut hyvä, sillä täysin vastaavaa kohdetta ei ole aikaisemmin tehty ja liitoksia on jouduttu muokkaamaan yh- teistyössä suunnittelijan kanssa työn edetessä.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tässä insinööriyössä olisi pitänyt olla mukana myös elementtirakenteen päälle asennettavan suojakalvon katselmus. Katselmusta lykättiin useita kertoja eteenpäin ja lopulta se jouduttiin jättämään aikataulullisista syistä kokonaan pois.

Jos projekti jatkuu tästä eteenpäin samalla huolellisuudella ja tarkkuudella, on raken- teen mahdollista saavuttaa suunniteltu 100 vuoden käyttöikä.

Lähteet

- 1 Pöyry Oyj. 2013. Yrityksen verkkosivut. <<http://www.poyry.fi/>>. Luettu 4.4.2013
- 2 Liikennevirasto. 2013. Hankkeen verkkosivut. <<http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/kaynnissa/keharata>>. Luettu 27.3.2013.
- 3 Harju, Pöyhönen. 2012. Glykolin ja niiden hajoamistuotteiden sekä liukkaudentorjunta-aineiden ilmeneminen pinta- ja pohjavesissä ja asioiden tule tiedoksi Kehärata-projektille. Raportti 26.3.2012. Pöyry Finland Oy.
- 4 Häkkinen, Mölsä. 2012. Kehäradan valmistuminen myöhästyy vuodella. Verkkolehti 5.9.2012. <<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/infra/29234.html>> Luettu 2.4.2013
- 5 Ahma Insinöörit Oy. 2013. Yrityksen verkkosivut. <<http://www.ahmainsinoorit.fi/>>. Luettu 4.4.2013.
- 6 VR-Track Oy. 2013. Yrityksen verkkosivut. <<http://www.vrtrack.fi/>>. Luettu 4.4.2013
- 7 Holzhäuser Ingenieur Consult BmbH. 2013. Yrityksen verkkosivut. <<http://www.hic-engineering.de/>>. Luettu 4.4.2013.
- 8 SRV Yhtiöt Oy. 2013. Yrityksen verkkosivut. <<http://www.srv.fi/>>. Luettu 4.4.2013
- 9 Ikuli, Janne. 2013. Osakas, Taretek Oy, Turku. Sähköpostihaastattelu. 3.4.2013.
- 10 Kehäradan tunneliosuus, Haitta-aineiden riskienarviointi. 2012. Raportti 9.3.2012. Pöyry Finland Oy.
- 11 Rantala, Marjo. 2007. Kalkkivirouheella suoritettava alkaloinnin optimoiminen. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
- 12 Kalkkivialkalointi, opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. 2002. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys.
- 13 Carpén, Koskinen, Rättö, Talja, Törnqvist. 2012. Verkkojulkaisu. Liikenneviraston T&K lehti 3/12. <<http://www.liikenteensuunta.fi/fi/artikkelit/recent/glykoliuhkaa-keharadan/>>. Luettu 23.3.2013.

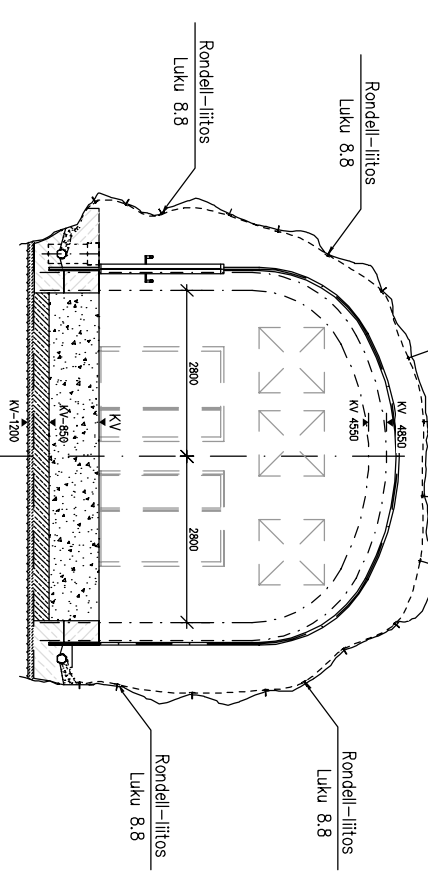
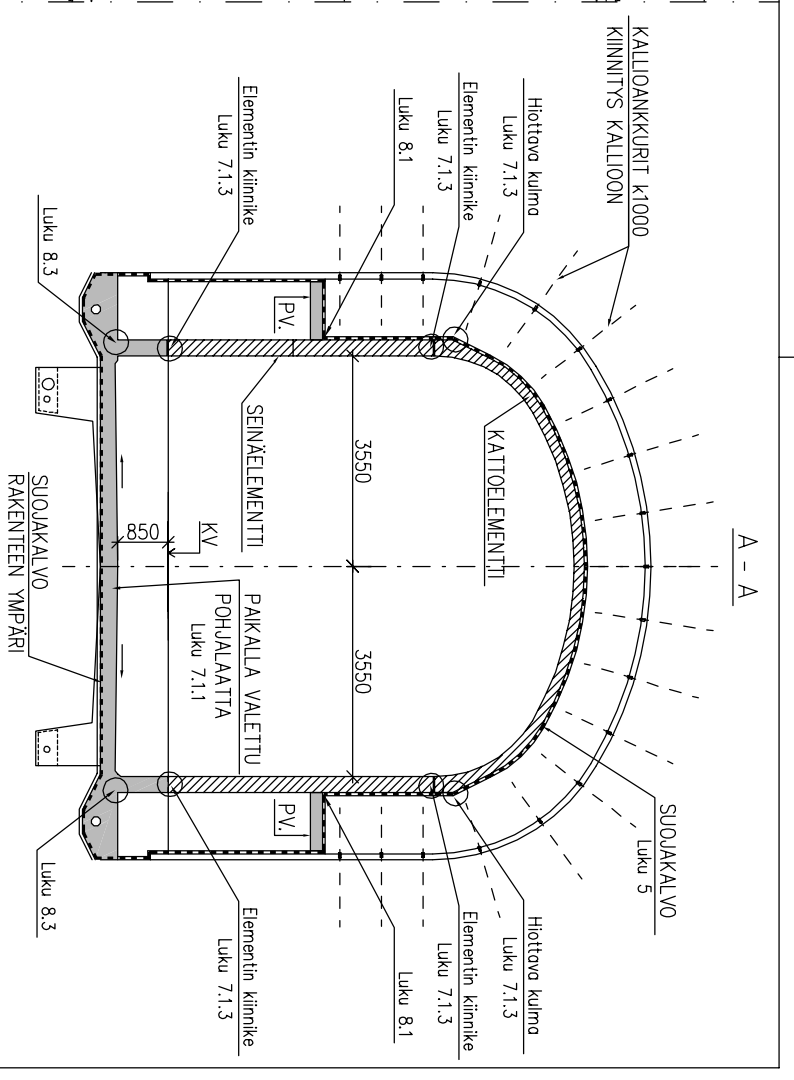
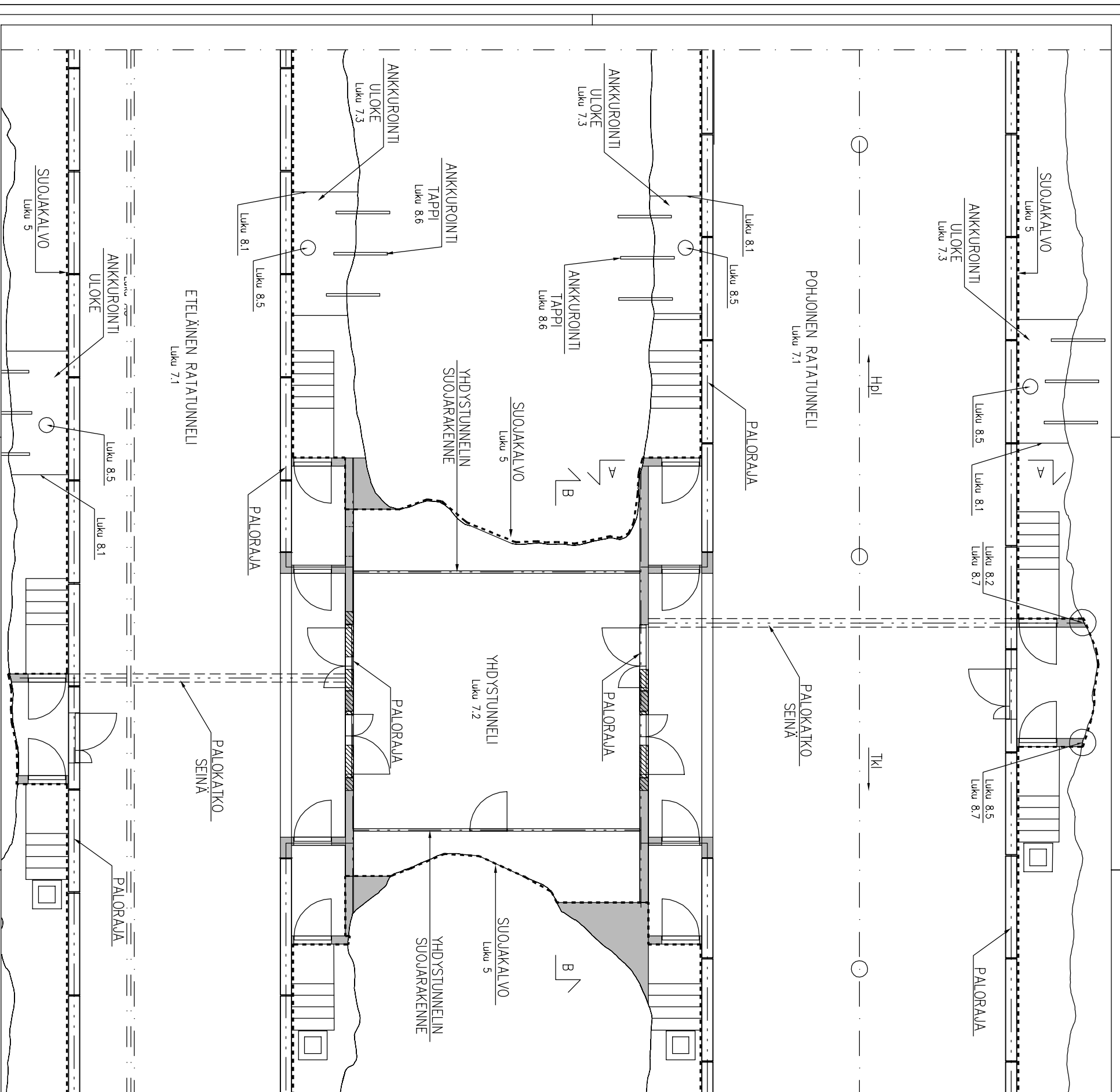
- 14 Carpén, Itävaara, Koskinen, Merta, Punkkinen, Purkamo, Talja, Törnqvist. 2011. Kehäradan glykolivuodon vaikutukset materiaalien säilyvyydelle. Esiselvitys 9.2.2011. VTT.
- 15 Vuopio, Jaakko. 2013. Projektipäällikkö, Pöyry Finland Oy, Vantaa. Keskustelu 22.2.2013.
- 16 Einsalo, Klaus. 2013. Suunnittelija, Pöyry Finland Oy, Vantaa. Keskustelu 16.4.2013.
- 17 Carpén, Kuusela-Lahtinen, Pyy, Raulio, Rättö, Tähtiharju, Törnqvist. 2011. Kehäradan rakenteiden turmeltumisen pikaselvitykset. Asiakasraportti 30.12.2011. VTT.
- 18 Lentoaseman urakkaosuus, Glykoliratkaisun yleissuunnitelmavaihe Versio 3. 2011. 28.9.2011. Suunnittelu- ja asiantuntijaryhmä: Pöyry Finland Oy, WSP Finland Oy, VR-Track Oy ja VTT
- 19 Esitys suojautumisesta Kehäradan tunneliosuudella havaittavia haitta-aineita vastaan. 2012. Esitys haitta-ainesuojauksesta, 22.8.2012. Pöyry Finland Oy.
- 20 Lentoaseman rakennus- ja sisustusurakka, Urakka T042, Kohdekohtainen työselostus, Haitta-aineiden suojarakenteet . 2012. Tunneliosuuden toteutussuunnitelma REV.3 3.12.2012. Pöyry Finland Oy.
- 21 Suojakalvon vaatimukset ja vertailu. 2012. Taulukko, 6.11.2012. Pöyry Finland Oy.
- 22 Vanne, Heikki. 2013. Suunnittelija, Pöyry Finland Oy, Vantaa. Keskustelu 24.4.2013
- 23 Långstedt, Magnus. 2012. Lausunto, 27.11.2012. Pöyry Finland Oy
- 24 SFS-EN 13501-1 + A1. 2010. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 25 Hopponen, Juha. 2013. Tuotepäällikkö, infarakentaminen, Lectar Oy, Helsinki. Puhelinkeskustelu 18.4.2013.
- 26 Holzhäuser, Heidenreich. 2013. New Ring Rail Line, Helsinki, Report of the site visit. Raportti, 10.1.2013. Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH.
- 27 Eskeli, Vällilä. 2013. Työmaakäynti, 28.3.2013. Taretek Oy.
- 28 Heinäaho. 2013. Työmaakäynti, 28.3.2013. SRV yhtiöt Oy.

- 29 Karjalainen, Seppo. 2013. Muistio, 4.2.2013. SRV Yhtiöt Oy.
- 30 Karjalainen, Seppo. 2013. Muistio, 15.2.2013. SRV Yhtiöt Oy.
- 31 Alantie, Minna. 2013. Sähköpostihaastattelu, 5.4.2013. Ahma Insinöörit Oy.
- 32 Pohjalaatan alapuoliset materiaalit sekä pohjakalvon liittäminen muihin rakenteisiin. 2013. Asennussuunnitelma. Taretek Oy.
- 33 Kaydamov, Metodi. 2013. Projektipäällikkö, Pöyry Finland Oy, Vantaa. Keskustelu 26.3.2013
- 34 Eskeli, Lassi. 2013. Sähköpostihaastattelu, 8.4.2013. Taretek Oy.
- 35 Tunneliosuuden toteutussuunnitelmat. 2012. Suunnitelmakuvat, 5.1.2012. Pöyry Finland Oy.
- 36 Karjalainen, Seppo. 2012. Muistio, 17.12.2012. SRV Yhtiöt Oy. 1
- 37 Karjalainen, Seppo. 2013. Muistio, 11.1.2013. SRV Yhtiöt Oy. 3
- 38 Kaari- ja seinäelementtien päälipuolisen tiivistyskalvon asentaminen ja sen liittäminen pohjakalvoon. 2013. Asennussuunnitelma. Taretek Oy.
- 39 Alantie, Minna. 2013. Katselmusmuistio, 28.3.2013. Ahma Insinöörit Oy.
- 40 Tunneliosuuden toteutussuunnitelmat. 2012. Yhdystunnelit. VR-Track.
- 41 Karjalainen, Seppo. 2013. Muistio, 20.2.2013. SRV Yhtiöt Oy. 7
- 42 Peltonen, Jukka-Pekka. 2013. Työmaakäynti
- 43 Karjalainen, Seppo. 2013. Muistio, 4.1.2013. SRV Yhtiöt Oy. 2

Toimivuusominaisuudet

Turvallisuus	<p>Rakenteen tai rakennusosan kyvykkyys kestää ja toimia asianmukaisesti uhkaamatta matkustusturvallisuutta ja olennaisia omaisuuden menetyksiä kohtuullisen käyttöiän ajan.</p> <p><i>Esim. rakenteiden sortuminen , paloturvallisuusvaje jne.</i></p>
Toteutettavuus	<p>Rakenteiden tuoteosat ja kokonaisuus ovat toteutettavissa olennaisilta osin tunnetuilla ja käyttöön saatavilla tuotteilla, materiaaleilla, rakennuskoneilla ja rakentamismenettelyillä.</p> <p><i>Esim. rakenneosista käytössä olevat käyttökokemukset, rakentamiskaluston ja -tekniikoiden olemassa olo jne.</i></p>
Ylläpidettävyys	<p>Rakennetta voidaan korjata ja huoltaa olennaisilta toimivuuteen vaikuttavilta rakennusosiltaan kohtuullisen käyttöiän ajan rakennetta olennaisesti purkamatta.</p> <p><i>Esim. kriittisten rakenneosien tarkastamisen vaikeudet, varautumisen vaikeus työ tai materiaalivirheiden korjaamiseen, työskentelytilat tai rakenneyksityiskohdat, jotka eivät mahdollista korjaamista tai huoltoa</i></p>

Liikennöitävyyys	<p>Rakenteiden ratkaisuiissa ei ole sellaisia rajoitteita, jotka uhkaavat sujuvaa liikennettä tavanomaisia liikennöintitapoja ja kalustoja käytettäessä.</p> <p><i>Esim. vuotojen pääsy on mahdollista kalustoon, turvalaitteisiin jne.</i></p>
Viihtyisyys	<p>Rakenteissa tai käyttöolosuhteissa ei ole sellaisia matkustajaviihtyvyyttä olennaisesti laskevia tekijöitä tavanomaiseen tunneliin verrattuna.</p> <p><i>Esim. ilmanvaihdon toimivuus, hajuriskit, rakenneosan häiritsevä resonointi, paineiskut junaan jne.</i></p>



KUUTI. SELOITUS	Kortit/Ita	Tontti/luento	PKM	TEHTY	PKM	HIVY
Kaan/tyyl						
Rakennusvalvontapöytä	UUDISRAKENNUS		Pinatuntori	RAKENNEPIIRUSTUS	Järjelmä	
YHVE	ALUE	TEHDAS				
PRINSIPINTELLIA	 PÖYRY FINLAND OY PÖYRY FINLAND OY	 LTK LTK SITE		 Vantaa		
SUUNNITTELUA	PÖYRY FINLAND OY		PIIRUSTUKSEN SUKATTO			
			TUNNELIÖSUDUN			
			TOTEUTUSSUUNNITELMA			
PIIRIT.	YHDYSKÄYTTÄVÄ					
SUUNNI.	TASO					
TRAAK.	LEIKKAUKSET A - A JA B - B					
HIVY	YHTÄKÄÄVÄ					
TRAAKASTAUA	KORREKSIUS-KOORD. JÄRJEKSTELMÄ					
	PÄTÖSÄ		MAAL	VUJ/N60		
TRAAK.	Hpl-Tkl	MAAL				
HIVY	PIRAKO	MAAL				
UUNNISTIVYHÄSTÄVÄDÄG		1				

Suojakalvon vaatimukset ja vertailu

No/Property	Testausmetodi	Yks.	Vaatimus	Junifol T	Carbofol	Mapeplan TUS
1 Marking	DIN EN ISO 10320	text	Supplier, type, material, thickness, manufacturing date	OK	OK	OK
2 General condition	DIN EN 1850-2	text	No blisters, fissures, bubbles or intrusions, homogeneous composite between signal layer and base sheet	OK	OK	OK
3 Straightness (g) Flatness (p)	DIN EN 1848-2	mm	$g \leq 50$ $p \leq 10$	$g \leq 50$ $p \leq 10$	5 0	-
4 Thickness without signal layer	DIN EN 1849-2	mm	Nominal thickness: 2,0 Average : \geq Nominal thickness Minimum: \geq Average -5% Maximum: \leq Average +5%	2,0 \geq Nominal thickness \geq mean -5% \leq mean +5%	2,06 $\pm 0,03$ mm (1,45%)	2,0 - (ei ilm.) - (ei ilm.)
5 Thickness of signal layer	DIN EN 1849-2	mm	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	0,09	0,1 - 0,15
6 Density	DIN 53479	g/cm ³	max. deviation: $\pm 0,005$	0,925 ($\pm 0,005$)	1,122 ($\pm 0,003$)	
7 Tensile strength	DIN EN ISO 527-1 and -3	Mpa	≥ 15 (longitudinal and lateral)	28	(long. 19,9; lat.26,5) ≥ 15	17
8 Tensile elongation at break	DIN EN ISO 527-1 and -3	%	≥ 500 (longitudinal and lateral)	750	(long. 660; lat.815) ≥ 500	300 !!!
9 Biaxial elongation	DIN EN 14151 specimen $\varnothing 1$ m	%	≥ 50	OK	> 55	OK
10 - Behavior of seam in shear test - Short time welding factor fz	DIN EN 12317-2	-	Break outside of welding seam $\geq 0,6$	OK	OK (0,96)	OK
11 - Behavior of seam in peel test - Peel resistance RS	DIN EN 12316-2	N/mm	Break outside of welding seam $\geq 6,0$	OK	OK ($>13,5$)	-
12 Puncture resistance	DIN EN 12691 500 g weight	mm	No leakage for falling height 750 mm	OK (DIN 16726)	OK	OK

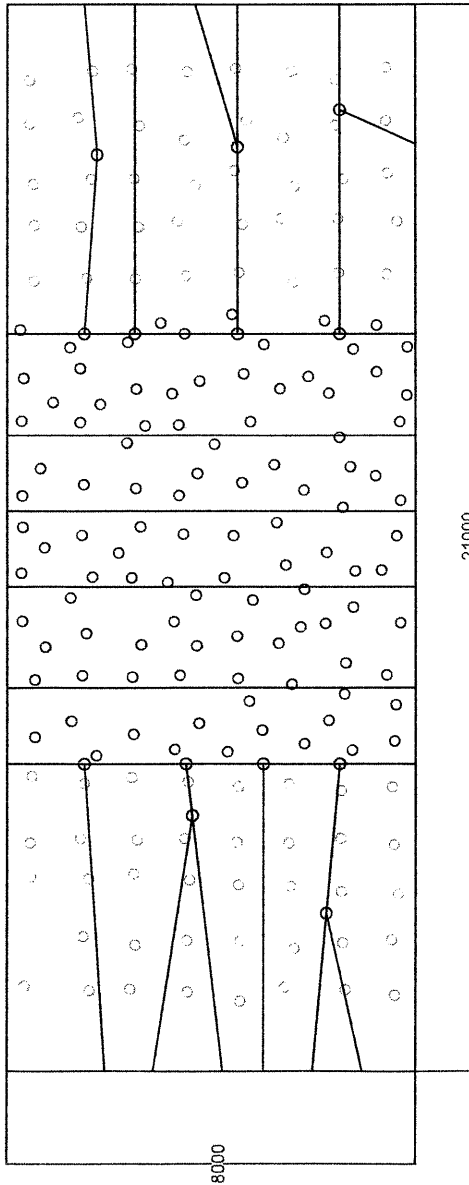
Suojakaivon vaatimukset ja vertailu

No	Property	Testausmetodi	Yks.	Vaatimus	Junifol T	Carbofol	Mapeplan TUS
Behavior after warm storage							
13	Surface			No bubbles	OK	OK	-
14	Dimension stability after warm storage (6 h at 80°C)	DIN EN 1107-2	%	± 2 compared to initial status	OK	OK (1 h/100°C)	-
Long term stability							
15	Dimension stability after warm storage (70 d at 80°C)	DIN EN 1296	%	Deviation of tensile strength and elongation at break compared to initial status: ≤ 20 Behavior when folding at -20°C: no cracks	OK	-	-
16	Oxidation resistance for use of 25 years: - oven test: 90 d at 85°C, or - autoclave test: 14 d at 80°C at 5,1 Mpa	- DIN EN 14575 - DIN EN ISO 13428	%	Deviation of tensile strength and elongation at break compared to initial status: - oven test: ≤ 20 - autoclave test: ≤ 50	OK	OK	OK (-25 °C)
17	Oxidation resistance for use of 100 years: autoclave test at 3 temperatures (80, 70 abd 60°C at 5,1 Mpa) and at two additional pressure levels (80°C at 2,1 and 1,1 Mpa)	- DIN EN 14575 - DIN EN ISO 13428	%	Deviation of tensile strength and elongation at break compared to initial status: - autoclave test: ≤ 50	Testejä ei suoritettu lopulliselle tuotteelle; valmistusmateriaali huomioiden, tuotteen tulisi läpäistä vaatimukset	OK (testattu isommilla lämpötiloilla kuin standardi vaatii lyhyempien koestusaikojen takia)	-
18	Behavior after storage in aqueous solutions (50°C, 120 d) - saturated limewash solution - 5% to 6% sulfurous acid	DIN EN 1847	%	Deviation of tensile strength and elongation at break compared to initial status: ≤ 50		OK	-

Suojakalvoasennuksen laadunvarmistuksen sisällysluettelo

1. Materiaalitiedot
 - 1.1 Materiaalitodistukset
 - 1.2 Sertifiointi
2. Kuljetus ja varastointi
 - 2.1 Rullien tarkastus
 - 2.2 Rullien käsittely
3. Asennus ja saumaus
 - 3.1 Työryhmä
 - 3.2 Kalusto
 - 3.3 Saumausparametrit
 - 3.4 Työturvallisuus
4. Saumojen tarkastus
 - 4.1 Kalusto
 - 4.2 Painekeho
 - 4.3 Kipinätesti
5. Malliasennukset ja katselmukset
6. Korjaustoimenpiteet ja korjausten tarkastus
 - 6.1 Korjaussuunnitelmat
 - 6.2 Mahdolliset ongelmat jatkorakentamisessa
7. Valvonta ja dokumentointi
 - 7.1 Urakoitsijan omavalvonta
 - 7.2 Suunnittelijan valvonta
 - 7.3 Tilaajan valvonta
 - 7.4 Laatuaineisto
 - 7.4.1 Sisältö
 - 7.4.2 Arkistointi

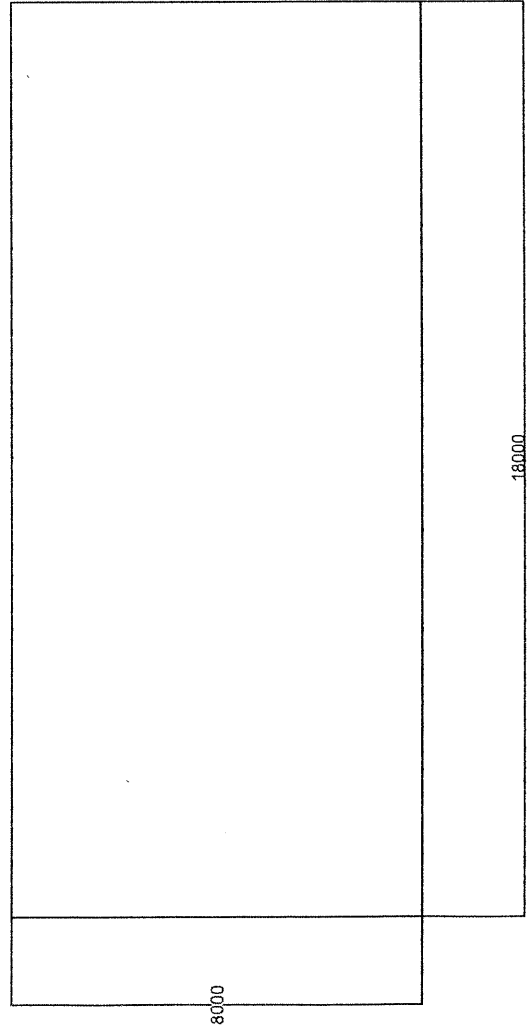
MALLI 1 (MEMBRAANIN ASENNUS
KALLIOKIINNITYKSELLÄ)



- = DET. E LÄPIPULTTAUSKIINNITYS N. 1,5 KPL / M2
- = DET. D RONDELLIKIINNITYS N. 1 KPL / M2
- = DET. E EXTRUUSIOPAIKKA
- = HITSAUSSAUMA KAKSOISSAUMA SEKÄ EXTRUUSIOSAUMA

ÄÄRIMITAT OVAT ARVIOITUJA MITTOJA

MALLI 2 (MEMBRAANIN ASENNUS
KAARIELEMENTIN PÄÄLLE)



- = KAIKKI HITSAUKSET KAKSOISSAUMALLA