

Lauri Pölönen

Ilmanvaihtokanavissa esiintyvän korroosion hallitseminen tunneliolosuhteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto, LVI

Opinnäytetyö

23.11.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lauri Pölönen Ilmanvaihtokanavissa esiintyvän korroosion hallitseminen tunneliolosuhteissa 28 sivua + 1 liite 23.11.2016
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka työnjohto
Ohjaaja	lehtori Jyrki Viranko
Opinnäytetyössä ilmanvaihtokanavissa esiintyvän korroosion hallitseminen tunneliolosuhteissa tutkitaan korroosion hallitsemista kaukolämpötunneleissa ja kuiluissa puuttamalla korroosion aiheuttajaan, valumavesiin. Tavoite työssä on käydä läpi erilaisia menetelmiä joilla ilmanvaihtokanavaa voidaan suojata korroosiolta. Opinnäytetyössä tutkittiin Helen Oy:n kaukolämpötunnelissa vallitsevia olosuhteita, tunnelirakentamisen periaatteita, nykyisiä menetelmiä miten ilmanvaihtokanavistoa on suojattu, sekä vaihtoehtoisia materiaaleja ja suojaustekniikoita ilmanvaihtokanavalle. Työssä todettiin Helen Oy:n kaukolämpötunneleiden ominaispiirteiden tuovan omat haasteensa tunneliin sijoitettavalle ilmanvaihtokanavistolle. Palokuorma, kanavan ominaispaine ja vuotovesien esiintyvyys ovat vaikeita asioita ratkaista hyvän loppuratkaisun kannalta. Tiedetyt suojausmenetelmät ja muovimateriaali soveltuvat tunneliolosuhteisiin. Työssä tehtyjä havaintoja materiaalin ja suojauksen suhteen voi toteuttaa muussakin tunnelitekniikassa kuin ilmanvaihtokanavissa. Oikein valittu suojaus tai materiaali antaa ilmanvaihtokanavalle pitkän eliniän korroosion näkökulmasta.	
Avainsanat	ilmanvaihtokanava, tunneli, korroosio

Author Title	Lauri Pölönen corrosion control in air ducts in a tunnel environment
Number of Pages Date	28 pages + 1 appendices 23 November 2016
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor	Jyrki Viranko, Senior lecturer
The Bachelor's thesis studied corrosion control in air ducts in a tunnel environment. The tunnel environment, cause of corrosion in air ducts, methods to control corrosion and air duct materials that are corrosion resistant were looked into. The strengths and weaknesses of current corrosion control methods were studied. An essential part of solving the problems that emerged was to examine what types of corrosion exists in current air duct systems, and to study the tunnel environment for signs of corrosion sources. The results showed that water leaking from the tunnel concrete lining is the main cause of corrosion in the air ducts. The current corrosion control methods work well if they are correctly applied. In order to improve the current methods, the use of plastics is recommended, because some plastics can indeed be used as air duct material without causing a large fire load in a tunnel. In conclusion, plastic can be used as an air duct material since it offers a long term solution for corrosion control. Current methods work well if applied correctly, but because of their weaknesses they are only fit for small scale solutions.	
Keywords	Tunnel, corrosion, air duct

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kallioperän yleispiirteet Suomessa	2
2.1	Kallioperän synty	2
2.2	Kallioperän ruhjeisuus	2
3	Tunnelirakentaminen	3
3.1	Kaukolämpötunnelit	3
3.2	Työn suunnittelu	3
3.3	Kalliorakentaminen	4
3.4	Kuivanapito	5
4	Korroosio	6
4.1	Metallin korrosoituminen	6
4.1.1	Yleinen korroosio	7
4.1.2	Pistekorroosio	8
4.1.3	Rakokorroosio	8
4.2	Korroosionopeus	8
4.3	Passiiviset metallit	9
5	Nykyiset toimenpiteet	9
5.1	Havainnot	9
5.2	Valumavedet ja korroosio	10
5.3	Kanaviston suojaaminen	11
5.3.1	Muovikate	11
5.3.2	U-profiilisuojaus	13
5.4	Tunnelin kiinteät suojaukset	14
5.4.1	Kattolautanen	14
5.4.2	Tunnelikangas	14
5.4.3	Tunnelimatto	15
5.4.4	Betonointi	15

5.4.5	Injektointi	16
5.5	Materiaalin vaihto	16
6	Kanavamateriaalit	17
6.1	Teräs	17
6.2	Ruostumaton teräs, RST	17
6.3	Haponkestävä teräs, HST	18
6.4	Muovikanavat	18
7	Ilmanvaihtokanavan pinnoitteet	18
7.1	Pinnoitus	18
7.2	Maalaaminen	19
7.3	Metallipinnoitus	20
8	Ratkaisujen vertailu	21
8.1	Ratkaisujen vertailu	21
8.2	Kustannukset ja elinikä	23
9	Pohdinta	25
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelu, Kysymykset	

Lyhenteet ja termit

akryyli	PMMA, Polymetyylimetakrylaatti. Synteettinen läpikuultava muovi
anodi	Elektrodi, joka vastaanottaa elektroneja
kannake	Kappale, jolla putki tai kanava kiinnitetään rakenteeseen
katodi	Elektrodi, joka luovuttaa elektroneja
PPs	polyfenyleenisulfidi. Palonkestävä polymeerimuovi
ruhje	kalliorakenteen heikko alue
rusnaus	Kalliorakenteessa heikosti kiinni olevan kiviaineksen irrottaminen

1 Johdanto

Helen Oy on yksi Suomen suurimmista energia-alan yrityksistä jonka myyntituotteita ovat kaukolämpö, kaukojäähdytys ja sähkö. Helen Oy siirtää lämpöä, sähköä ja jäähdytystä maanpinnalla sekä maan alla. Helen Oy:n maanalaisen verkon laajuus on noin 60 kilometriä kaukolämpötunnelia sekä yhteiskäyttötunnelit. Näiden tunneleiden ilmanvaihto on oleellinen osa tunneleiden kunnossapidon kannalta. Suomen kirjava kallioperä ja ilmasto luovat suotuisat olosuhteet valumavesille, jolla taas ovat suotuisan olosuhteen korroosiolle.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kaukolämpötunneleiden ilmanvaihtokanavien kuntoon suuresti vaikuttavaa tekijää, korroosiota. Valitsin aiheen, koska korroosion torjuminen ja valumavesien hallitseminen ovat suuri tekninen haaste johtuen tunneleissa valitsevista olosuhteista. Työ käsittelee ilmanvaihtokanavien korroosiota, sekä sen hallintaa eri menetelmillä, esimerkiksi kontrolloimalla valumavesiä ja puuttumalla ilmanvaihtokanavien materiaaleihin. Lisäksi käydään lyhyesti läpi Suomen kallioperän ominaispiirteet. Työ ei ota kantaa kaukolämpötunneleiden ilmanvaihtototeutukseen, tai valumavesi-liuoksen vaikutuksiin korroosionopeuteen tai muuhun ilmanvaihtotekniikkaan.

Tämän opinnäytetyön tavoite on havaita, miten valumavesistä aiheutuvaa korroosiota voidaan torjua erilaisilla suojauksilla tai materiaalivevaihdolla ja mitkä ovat kyseisten menetelmien hyödyt ja haitat. Pääasiassa keskitytään vaihtoehtoisten materiaalien etsimiseen ja niiden vertailuun sekä nykyisten suojausten tutkimiseen ja niiden vertailuun.

Opinnäytetyön tulokset ja niistä johdetut ratkaisuehdotukset tarjoavat Helen Oy:lle vaihtoehtoisia tapoja ratkaista kaukolämpötunneleiden ilmanvaihtokanavien toteutus ja siten vähentää korroosioperäisiä taloudellisia kuluja.

Tärkeimpiä lähteitä ovat Geologian tutkimuslaitoksen sivut ja sen tarjoamat erinäiset raportit, Rakennusinsinööriliiton kirjalliset ohjeet, Rakennustieto-kortit sekä Helen Oy:n rakennuttajien havainnot.

2 Kallioperän yleispiirteet Suomessa

2.1 Kallioperän synty

Suomen kallioperä on Euroopan vanhinta ja vakainta. Se muotoutui nykyiseen tilaansa noin 3 000–1 400 miljoonaa vuotta sitten ja on paikoin jopa 230 kilometriä syvää kiinteää kiviainesta [1]. Suomen vuorijonon kohotessa 590 miljoonaa vuotta sitten se altistui rapautumiselle ja kuluikin lähes nykyiselle tasolleen. Mannerjäätiköt 2 miljoonaa vuotta sitten kuluttivat kallioperää vain muutamia metrejä. [2, s. 9.] Vuorijonon kohotessa se poimuttui sulamisen ja uudelleen kiinteytymisen yhteydessä. Tästä syystä Suomen kiviperä sai liuskerakenteen. Tämän prosessin luomia kivilajeja ovat happamat gneissit, amfibouraliitit, tyynylaavat jne. Näitä kutsutaan pintasyntyisiksi kivilajeiksi. Toisen osan kivilajeista, ns. syväkivilajit, sai aikaan prosessi, jossa maankuoren magma tunkeutui vuorijonoon sen noustessa. Näitä kivilajeja ovat yleensä graniitit, granodioriitit ja tonaliitit. [2, s. 9.] Myös muut kivilajit, kuten esimerkiksi sedimenttikivet ja rapakivigraniitit ovat osa Suomen kallioperää, mutta syntyivät edellä mainitun prosessien jälkeen ja niiden jatko tuotteena [1]. Nykyisen kallioperän kivilajikkeet ovat erittäin kirjava, epähomogeeninen seos, jossa eri kiviaineista voidaan tavata liuskeina, poimuina, sedimentteinä tai muissa eri variaatioissa [2, s. 9.].

2.2 Kallioperän ruhjeisuus

Kirjava kallioperämme luo haasteita kalliorakentamiseen. Kallioperän poimuisuuteen liittyvät ominaispiirteet mahdollistavat pohjavesien siirtymisen kallioperän sisällä [4, s. 15; 5, s. 27.]. Kallioaineksesta veteen liuenneet tai kulkeutuneet mineraalit taas muuttavat veden ominaisuuksia [3, s. 11.].

Kallioperän poimuttumisen loppuvaiheessa syntyi kalliosiirtymiä, joissa jäähtymisen ja jännitteen alainen kalliomassa murtui ja liikkui. Siirtymävyöhykkeen murtuma altistaa rikkonaisen kiviaineen rapautumiselle ja vedelle. [5, s. 24–25.] Heikentynyttä kiviainesta siirtymävyöhykkeen alueella kutsutaan ruhjevyöhykkeeksi, jossa kiviaines on yleensä rikkoutunut tiheärakoiseksi. Mekaaninen särkyminen ja kuluminen jauhaa joissain ääritapauksissa kiviaineksen kalliosaveksi, ja tiheärakoisuus sekä mekaaninen särkyminen luovat suotuisat edellytykset kemialliselle rapautumiselle. [5, s. 26.] Kallioruhje voi olla

täytteinen, esimerkiksi haarniskaraot, saviraot ja mururaot. Rakotäytteen syntyyn on erilaisia mekanismeja. Täyte voi olla veden mekaanisesti tuomaa ainesta, kemiallisesti saostunutta ainesta, rakopinnoista uuttamaa kiviainesta tai kalliosavea. [5, s. 27.] Esimerkiksi Kluuvin ruhjeen kallioaines on mekaanisesti jauhaantunut Rautatientorin alta. Kemiallinen rapautumisen takia rakotäyte on täynnä savimineraaleja ja paisuvahilaisia. Ruhjetta läpäisevät monet kalliorakenteet, kuten jätevesitunneli Pohjoisesplanadin ja Unioninkadun alapuolella. Tunnelin heikkousvyöhyke ruhjeen kohdalla on 160 m siinä kallioaines vaihtelee vähän rapautuneesta tai täysin rapautuneeseen savirakenteeseen ja murrosrakenteeseen. [5, s. 31–32.]

3 Tunnelirakentaminen

3.1 Kaukolämpötunnelit

Helen Oy omistaa 60 kilometriä kaukolämpötunneleita, joiden tarkoitus on suojata kaukolämpöputkistoja maanalla. Tunnelien käyttämisen etuna on se, että kaukolämpöputket ovat helposti tarkastettavissa ja vaihdettavissa. Putket eivät myöskään vie maanpäällistä tilaa, ja kaukolämpöputket saadaan vedettyä virtaviivaisesti paikasta toiseen ilman, että joudutaan kiertämään jo valmiita rakenteita. Tunneleihin myös sijoitetaan erilaista tekniikkaa kuten kylmäakkuja, pumppaamoita ja muuntamoita. Tunnelirakentaminen tuo omat haasteensa kaikelle sinne asetetulle tekniikalle. [6, s. 13–14.]

3.2 Työn suunnittelu

Tunnelirakentaminen aloitetaan kalliorakennesuunnittelulla, jossa hyödynnetään kallio-perästä mahdollisesti aikaisemmin kerättyä tietoa. Kalliosuunnittelulla pyritään ratkaisemaan mahdollisia ongelmia jo etukäteen ja kartoittamaan mahdollisia riskejä kalliorakentamisessa. kalliooperän suunnittelu kulkee yleisesti seuraavien pääkohtien mukaan:

- Suunnittelussa pyritään käyttämään kallion ominaisuuksia hyväksi, kuten rakentamalla tasalaatuiselle kalliolle ruhjeita lävistämättä.
- Kokonaiskustannuksen pidetään mahdollisimman edullisena huomioiden laadun ja turvallisuuden teknisten ratkaisujen toimiminen toteutuksessa.

- Kallioperän käyttö on tarkoituksenmukaista myös tulevaisuuden kannalta (laajentamisen tarve).
- Riskien hallintaan kiinnitetään huomiota kuten kallion jännitystilojen, pohjavesien, louhintatärinän huomiointi. [7, s. 35, 37, 28, 39.]

3.3 Kalliorakentaminen

Kalliorakentamisen keskeisimpänä osana on louhintatyö, jossa aikaisempien suunnitelmien mukaan pyritään räjäytystekniikalla avartamaan kalliota. Louhintatyö voidaan karkeasti yksinkertaistaa neljään työvaiheeseen: poraus-, panostus-, räjäytys- ja kuor-mausvaiheeseen. Porauksessa louhittavaan kallioon porataan sarja ennalta suunnitel-tuja reikiä, joihin panos voidaan asettaa. Panostuksessa reikiin asetetaan ennalta las-kettu määrä valittua räjähdettä. Räjäytyksessä pyritään hallittuun räjäytykseen. Kuor-mauksessa irrotetaan irtonainen kiviaines räjäytysalueelta, rusnataan heikosti kiinni olevat kivet ja kuljetetaan pois. [7, s.46, 49, 51.]

Louhimisen jälkeen kalliota ei yleensä jätetä paljaaksi vaan lujitetaan. Lujituksella pyri-tään tukemaan kallioholvia romahdukselta, irtonaisten kivien, jotka eivät rusnauksessa irronneet, paikallaan pito ja vuotovesien hallinta. Kallion lujitustarve on ennalta päätetty suunnittelussa, mutta lujitusta voidaan lisätä tai parantaa työssä tehtyjen tai välitarkis-tushavaintojen perusteella. [7, s. 59.] Lujituksessa käytettävät menetelmät ovat pultitus, injektointi ja ruiskubetonointi. Pultteja on kahdenlaisia: jännittämätön ja jännitetty pultti. Jännitetty pultti, tai niin sanottu kitkapultti, on työaikainen ratkaisu ja ei sovellu lopul-liseksi ratkaisuksi. Edellä mainitun pultin kiinnitys perustuu vain kitkaan. Jännittämätön pultti puolestaan kiinnitetään reikään laastilla tai hartsimassalla koko pultin pituuden matkalta. Jännittämätön pultti soveltuu pysyviin ratkaisuihin, koska jännittämättömän pultin pinta on suojattuna korroosiolta ja soveltuu siten pitkäaikaisiin asennuksiin. [7, s. 61.]

Injektoinnissa pyritään lujittamaan ja tiivistämään kalliota. Injektiossa kallioon porataan reikä, johon johdetaan paineella sementtiä. Sementti tunkeutuu kalliorakenteeseen ja kovettuessaan sitoo kallion.[7, s. 74–75.] Ruiskubetonoinnissa puolestaan käytetään kahta erilaista menetelmää, joita ovat märkä- ja kuivaseosmenetelmä. Molemmissa

menetelmissä käytetään paineilmaa betonin ruiskuttamiseen, mutta kuivaseosmenetelmässä vesi, sementti ja kiviaines sekoitetaan vasta suuttimessa. Ruiskubetonoinnissa kallion pintaan ruiskutetaan betonikerros, joka kovettuessaan muodostaa tiiviin kuoren ja tukee kallioholvia sekä ohjaa vuotovesiä. Ruiskubetonointia voidaan myös tukea hehkutetulla teräsverkolla [7, s. 65–66, 78.].

3.4 Kuivanapito

Kalliotilan kuivana pitäminen on tärkeä osa kalliotilan toimintakunnon ylläpitämistä sekä tärkeä turvallisuustekijä. Tunneli, jossa ei ole kuivanapito ratkaisua, täyttyy ajan mittaan vedellä. Kuivanapito toteutetaan avo- ja/tai salaojituksella. Tunnelin kattoon ja seiniin tulevat vuotovedet ohjataan kalliotilan pohjalle ruiskubetonoinnin ja kallion välissä olevilla niin sanotuilla ruiskubetonisalaojituksilla pitkin. Kuva 1 esittää tällaista salaojitusta. Näistä vesi ohjataan salaojituksiin, ja siitä pumppualtaisiin. Pumput taas pumppaavat vuotovedet pois kalliotiloista. [7, s. 78.]

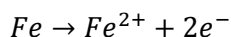


Kuva 1. Salaojitus kaukolämpötunnelin seinämässä odottamassa betonointia

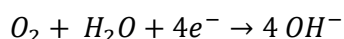
4 Korroosio

4.1 Metallin korrosoituminen

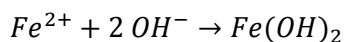
Korroosio on metallin syöymistä epäsuotuisien ympäristöolosuhteiden seurauksena, kuten kuvassa 2 on tapahtunut. Ruoste taas on korroosiota, joka esiintyy raudassa. Korroosiosta puhutaan myös kansankielessä hapettumisena. Korroosiossa hapettuva metalli luovuttaa elektroneja toiseen aineeseen. Aine voi olla nestettä tai muuta ainetta. Kun aine vastaanottaa elektroneja, aine pelkistyy. Jos metalli ei kykene luovuttamaan elektroneja, ei myöskään tapahdu korroosiota. [10, s. 235–236.] Yksinkertainen malli raudan sähkökemiallisesta korroosiosta on raudan anodinen syöpyminen, jossa rauta toimii anodina ja hapettuu ioneiksi. Metallionit saostuvat metallin pinnalle muodostaen kiinteän oksidipinnan. Raudan anodireaktio on seuraavanlainen:



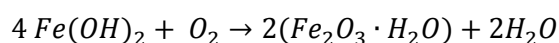
Jotta hapettuminen voi tapahtua, katodin täytyy vastaanottaa elektroneja. Vapautuneet elektronit kulkeutuvat metallia pitkin katodiin. Korroosiotapahtumassa anodikohdat syöpyvät ja katodikohdat pysyvät ehjinä. Yleinen katodi raudan korrosoitumisessa on hapellinen vesi, joka pelkistyy neutraaleissa ja emäksisissä vesiliuoksissa raudan elektronien kanssa seuraavasti:



Reaktiot tapahtuvat samanaikaisesti ja yhtä nopeasti, joten niistä hitaampi määrää reaktionopeuden. Anodialueella muodostuneet rautaionit (Fe^{2+}) ja katodialueella muodostuneet hydroksidi-ioni (OH^{-}) kohtaavat elektrolyytissä ja muodostavat rauta(II)hydroksidia.



Rauta(II)hydroksidi muodostaa uusia ruosteyhdisteitä kosteissa ja happipitoisissa olosuhteissa. Tyypillinen rauta(II)hydroksidin jatkoreaktio on rauta(III)oksidi, jossa rauta(II)hydroksidi reagoi hapen kanssa.



Ruosteyhdisteit  on muitakin kuin rauta(III)oksidi kuten rauta(II,III)oksidi (Fe_3O_4). Tyypillinen punaruskea ruoste on rauta(III)oksidi. [17, s. 203]. Korroosion muotoja on erilaisia niistä merkittävimmät ilmanvaihtokanaville ovat yleinen korroosio, galvaaninen korroosio, pistekorroosio ja rakokorroosio. [8; 12, s. 128.]

4.1.1 Yleinen korroosio

Yleinen korroosio on korroosion esiintymistä tasaisesti koko kappaleen pinnalla, jossa metalli syöpyy tasaisesti koko metallin pinta-alalta [10, s. 237].

Galvaaninen korroosio tapahtuu kahden eri metallin välillä ja sen jalostusaste saa korroosion hapettamaan epäjalompaa metallia. Esimerkiksi jos rauta on elektrolyttisess  liuoksessa nikkelin kanssa, rauta hapettuu. Sen sijaan raudan ollessa elektrolyttisess  liuoksessa sinkin kanssa sinkki hapettuu. Reaktionopeus riippuu jalostusasteen suuruudesta ja elektrolyytistä [10, s. 236.]



Kuva 2. Yleinen korroosio on syönyt kaikki kuumasinkityt pinnat.

4.1.2 Pistekorroosio

Pistekorroosio on paikallista korroosiota, joka eroaa yleisestä korroosiosta siten, että se syöpyy pistemäisesti edeten metallin sisään, sen sijaan että metalli korrosioituisi tasaisesti. Passiiviset metallit, kuten ruostumaton teräs, ovat alttiimpia pistekorroosiolle kuin yleiselle korroosiolle. [10, s. 238.]

4.1.3 Rakokorroosio

Rakokorroosio on paikalliskorroosiota, joka tapahtuu kahden metallin, tai metallin ja jonkin muun materiaalin muodostamassa raossa tai sen ympäristössä. Raon väli vaikuttaa korroosion etenemiseen. Rakokorroosiota voidaan havaita esimerkiksi metallin saumoissa ja putkikannakkeissa, kuten kuvassa 3 on tapahtunut. [10, s. 237.]



Kuva 3. Kanaviston saumassa havaittu rakokorroosio

4.2 Korroosionopeus

Korroosionopeutta on vaikea ennustaa. Muuttujina toimivat ilmanvaihtokanavan materiaali, ilmankosteus, valumavesien esiintyvyys, valumavesien pH-arvo, valumavesiin liuenneet aineet sekä ilmanvaihtokanavan mekaaniset ominaisuudet. Lämpötila ja joiltakin osin ilmankosteus ovat vakio muuttujia. On havaittu, että ilmanvaihtokanavissa esiintyvä korroosio on paikoittain pahempaa ruhjealueilla ja kuiluissa. [8]

4.3 Passiiviset metallit

Passiiviset metallit ja metalliseokset ovat metalleja, joissa esiintyy korroosiota mutta korroosioreaktiossa syntyvä sivutuote muodostaa suojaavan pinnoitteen. Esimerkiksi alumiinin reagoiessa ilman hapen kanssa muodostuu kova oksidikerros metallin pinnalle, joka suojaa alempia kerroksia korroosiolta. Tämän tyyppisiä metalleja ja metalliseoksia ovat esimerkiksi titaani, haponkestävä teräs, ruostumaton teräs ja duralium. Passiiviset metallit eivät ole varma ratkaisu korroosion ehkäisyyn, sillä suojaava oksidikerros antaa rikkoutuessa mahdollisuuden metallin korroosion. Myös erilaisten korroosimuotojen, kuten pistekorroosion tai galvaanisen korroosion, tiedetään vaikuttavan passiivisiin metalleihin. [10, s. 236.]

Galvanoitu metalli, esimerkiksi kuumasinkitty teräs, on metalli, joka on suojattu korroosiota vastaan pinnoittamalla metalli epäjalommalla metallilla. Suojaava sinkkipinta toimii kahdella tapaa metallin suojana. Se estää kosteuden pääsemisen suoraan suojattavan teräksen pinnalle, ja pinnan rikkoutuessa sinkki korrosoituu raudan sijasta. Sinkki itsessään on huonosti korrosoituvaa. Pinnan rikkoutuessa sinkki silti suojaa korroosiolta, sillä sinkki on epäjalompaa suhteessa teräkseen ja korrosoituu teräksen sijaan. Yleisin galvanoitu metalli onkin sinkitty teräs (kuumasinkitty ja sähkösinkitty), mutta metalleja voidaan suojata sinkin lisäksi myös muilla metalleilla. [12, s. 187–188.]

5 Nykyiset toimenpiteet

5.1 Havainnot

Helen Oy:n kaukolämpötunneleissa on havaittu valumavesien korrosoivan kaikkia paljaita metallipintoja. Tämä on johtanut erinäisiin toimenpiteisiin valumavesien hallitsemiseksi. Yleensä toimenpiteet ovat olleet suojauksia metalleille itsessään, mutta myös materiaalien vaihtoa on tehty. Valumavesien koostumuksen vaihtelu alueittain tunneliverkostossa aiheuttaa erittäin aggressiivista korroosiota, ja pahimmillaan ilmanvaihtokanavistoa onkin jouduttu uusimaan jopa neljän vuoden välein. Ilmankosteuden ei ole havaittu aiheuttavan erityistä korroosioriskiä kanavistoissa; erityistapauksia lukuun ottamatta näin on tapahtunut esimerkiksi kylmäakuissa, joissa korroosioriskiä on alennettu

valitsemalla niihin olosuhteisiin paremmin soveltuva materiaali, kuten vaikkapa haponkestävä teräs. [8]

Helen Oy:n kaukolämpötunneleiden ilmanvaihtokanavistoissa on käytetty pääosin normaalia terästä, sillä valumavesien tuomaa korroosioriskiä ei ole osattu ennakoida. Nykyinen ratkaisu kestää hyvin ilmankosteuden aiheuttamaa korroosiota, mutta valumavesien aiheuttama korroosio on aiheuttanut merkittäviä ongelmia. Helen Oy onkin todennut, että tällä hetkellä valumavesiin puuttuminen on avainkysymys ilmanvaihtokanavien kestävyyskannalta. Ongelmaan on puututtu pääosin kahdella tavalla: joko suojaamalla tai ilmanvaihtokanavan materiaalia vaihtamalla. Materiaalin vaihtaminen tekee kanavasta itsestään korroosiokestävä, mutta suojaamisella voidaan suojata myös muuta tunnelitekniikkaa [8]

5.2 Valumavedet ja korroosio

Kuten luvussa 4.1 todettiin, valumavedet rajoittavat ilmanvaihtokanavien elinikää merkittävästi. Valumavesiä tavataan kuiluissa ja tunneleissa, jossa jälkimmäisessä valumavesiä on eniten tunneliruhjeiden kohdilla. Teräskanavan on havaittu kärsivän eniten korroosiosta siellä, missä valumavedet koskettavat kanavaa. Kuiluissa kanavat on asennettu pystysuuntaisesti. Pystyasennuksen luonteen takia kanavan pinnalle tippunut valumavesi valuu koko kanavan mitalta. Korroosio on pahinta kuilun alaosan kanavistossa, jossa kanavisto pysyy märkänä melkein koko vuorokauden ympäri. Kuilun yläosan kanavat ovat yleensä hyvässä kunnossa, koska kanaviston alue on suhteellisen kuiva. Kanavistossa on havaittu yleistä korroosiota, joka pahenee mentäessä kuilua alaspäin. Korroosio ilmenee kanavaa alaspäin mentäessä korroosion lisääntymisenä ja korroosiotyyppien vaihtuessa. Kuilun yläosassa korroosio on rakokorroosiota, ja siitä alaspäin mentäessä rakokorroosiota sekä paikallista korroosiota. Rakokorroosio on joko kierresaumakanavassa tai kannakointisangan yhteydessä. Kuilun alaosassa kanaviston väri voi olla kokonaan vaihtunut, teräksiselle kanavalle tyypillisestä kiiltävän harmaasta, kokonaan ruskeaksi. Yleisen korroosion lisäksi kanavistossa tavataan rakokorroosiota, jossa kierresaumakanavan kierteiden on havaittu korroosoituvan normaalia kanavan pintaa nopeammin, kuten kuvassa 4 on tapahtunut. [8]



Kuva 4. Pahoin korrosoitunut ilmanvaihtokanava kaukolämpötunnelissa.

Tunneleissa kanavien kunto vaihtelee laidasta laitaan. Vuotovesialueilla kanavistoissa havaitaan yleistä- ja rakokorroosiota. Konkreettisen esimerkin teräksen ja kuumasinkityn teräksen erosta korroosiokestävyydessä antaa kanavan kannakointi asennuksissa. kuumasinkitty teräksinen kannake on kärsinyt pahoin korroosiosta, kun taas normaali teräksinen kanava on selvinnyt suhteellisen hyvin. Helen Oy on päättänyt, että kanavan kannakointia ei korjata, ennen kuin koko kanava uusitaan. [8]

5.3 Kanaviston suojaaminen

Kanaviston suojaaminen voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: paikalliset suojaukset ja tunneliin tehtävät suojaukset. Paikalliset suojaukset ovat nimensä mukaan paikallisia ja rakennettu varta vasten suojaamaan tietty tekniikka valumavesiltä. Tunneliin tehtävät suojaukset taas suojaavat tunnelia valumavesiltä. Kustannukset tunnelin rakenteisiin kiinnitettävissä suojauksissa ovat paljon suuremmat, mutta samalla saavutetaan paljon laajempi kate suojaukselta. [8]

5.3.1 Muovikate

Ilmanvaihtokanaviston suojaaminen akryyliaaltolevyillä on osoittanut tehokkaaksi. Akryyliaaltolevy on akryylista (PMMA) valmistettu muovilevy, joka on profiloitu aaltomaiseksi antamaan levyille jäykkyyttä [16]. Suojauksessa ilmanvaihtokanavan päälle

asetetaan akryyliaaltolevy, joka toimii eräänlaisena kattona ilmanvaihtokanavalle. Katteen tarkoitus on estää valumavesiä valumasta ilmanvaihtokanavien pinnalle, eli kate ohjaa valumavedet sivuun. Katteen asettelua on kahdenlaista, jossa akryyliaaltolevyn vietto on kanavan mukaisesti tai kanavaa vastaan. Vastakkaisessa asettelussa valumavesi valuu suoraan kalliotunnelin pohjalle, kun taas ilmanvaihtokanavan suuntaisesti asetettu akryyliaaltolevy on järjestetty ohjaamaan vesi yhteen pisteeseen. Ilmanvaihtokanavan suuntaisesti asetettujen katteiden loppupäässä on yleensä vielä ilmanvaihtokanavan vastaisesti asetettu levy, jolloin saadaan ohjattua valumavedet yhteen pisteeseen. Eräänlaista viemärointiäkin, levyjen keräyspisteestä eteenpäin on havaittu.

Katteiden elinikä on verrattavan korkea normaaliin teräksiseen ilmanvaihtokanavaan verrattuna. Myös katteiden materiaalin hinta ja asennukseen käytetyt työtunnit tekevät katteiden asennuksesta kannattavan. Katteiden on myös havaittu toimivan erityisen hyvin kantillisten ilmanvaihtokanavien kanssa. Normaalissa pyöreässä ilmanvaihtokanavassa valumavesi vain valuu pyöreää pintaa pitkin pois, kun taas kantillinen kanava lamмикoi valumavedet itsensä päälle. Tämä tarkoittaa sitä, että pahimmassa tapauksessa kantillisen ilmanvaihtokanavan ulkopuolinen yläpinta on aina märkä. Kate toimii parhaiten ilmanvaihtokanavissa, jotka on asetettu vaakatasoon. Tällaisessa tilanteessa valumavesien tippumissuunta (pääpiirteittäin valumavesi tulee ”ylhäältä päin”) on ennustettavissa. Pystykanavissa, kuten kuiluasennuksissa, ilmanvaihtokanava pitää koteloida kauttaaltaan. Kuvassa 5 on esitetty kanavan kotelointi kauttaaltaan kuiluasennuksessa. Pystykanavia on yleensä koteloitu noin 1/3 kuilun alapohjasta katsoen, koska on havaittu valumavesien aiheuttavan eniten korroosiota kanavistossa. Syy tähän johtuu valumavesien kumuloituvasta määrästä, mitä syvemmälle pystykuilua mennään. [8]



Kuva 5. Kuilun pystykanava on kauttaaltaan suojattu akryyliaaltolevyllä

5.3.2 U-profiilisuojaus

U-profiilisuojausta esiintyy enemmän kaukolämpöputkiston, kuin ilmanvaihtokanaviston pellityksen päällä, jossa muovista tai metallista on asetettu U-muotoinen suojaus, kuten on kuvassa 6. Suojauksen molemmissa päissä voi olla paino, joka pitää suojaa paikoillaan sekä toimii eräänlaisena tippalevynä, jolloin valumavesi ei tipu pellityksen pintaan. U-profiilin materiaaleina on käytetty elastista PVC-muovia ja pinnoitettua metallilevyä. U-profiilisuojauksessa etuna on asennuksen helppous, koska mitään erinäistä kannakointia ja kiinnikkeitä ei tarvita. Ongelmana tämäntyyppisissä ratkaisuissa on tunnelin palokuorman lisääminen. Maanalaisten tilojen rakentamisessa, sen laitteissa ja asennuksissa tulisi pääsääntöisesti käyttää palamattomia tai ei helposti syttyviä materiaaleja (vähimmäisluokka B-s1, d0) [9, s. 53.]. Tämä tarkoittaa, että muovisia suojauksia ei voida toteuttaa koko kanavan mitalta pääratkaisuna vuotovesien torjuntaan, jos muovikate on helposti syttyvä. [8]



Kuva 6. Kaukolämpöputken pellitystä on suojattu U-profiili-suojalla

5.4 Tunnelin kiinteät suojaukset

5.4.1 Kattolautanen

Kattolautanen on muovista valmistettu alusta, jonka pyöreässä pinta-alassa ja reunan liitoskohdassa on tyypillinen V50 tai V75 viemärimuhvi-yhde, kuten kuvassa 7 näkyy. Kattolautanen on nimensä mukaan profiililtaan lautasmainen. Lautanen on sijoitettu pistemäisen vuotokohdan alapuolelle kiinnittämällä se rappaukseen reikänauhalla. Tunnelilautasesta valumavedet ohjataan tunnelin pohjalla olevaan salaojitukseen normaalilla muhvilisellä PVC-viemäriputkella. [8]



Kuva 7. Kattolautasilla pyritään hallitsemaan pistemäisiä valumavesivuotoja

5.4.2 Tunnelikangas

Tunnelikangas eli niin sanottu Tunnelituuka on kangasmainen materiaali, joka kiinnitetään vuotovesialueiden kohdalle, kalliotunnelin katon ja seinämien rappauksiin pulteilla. Kangas on materiaaliltaan PVC-kangasta mutta muutakin materiaalia voidaan käyttää. Tunnelikangas ohjaa valumavedet tunnelin sivuissa olevaan salaojaverkostoon. Tunnelikankaan käyttö on Suomessa kyseenalaista, sillä orgaanisten ja muovituotteiden pelätään lisäävän palokuormaa tunneliverkostossa. [8]

5.4.3 Tunnelimatto

Tunnelimatto on umpisolumuovista valmistettua mattoa, joka kiinnitetään tunnelikankaan tavoin. Kuvassa 8 on esimerkki tunnelimatton käytöstä. Tunnelimattoa on käytetty ennaltaehkäisevänä tekniikkana esimerkiksi muuntamoiden ylle alueilla, joissa vuotovesiä oletetaan esiintyvän, tai alueilla, joissa vuotovesiä esiintyy. Tunnelimatto on samaa materiaalia, jota tunnelin betonoinnin alla olevat salaojitukset ovat, eli PE-umpisolumuovimattoa. Tunnelimatto on Helen Oy:n kaukolämpötunneleissa huomattavasti yleisempi kuin tunnelikangas. [8]



Kuva 8. Tunnelimatolla pyritään hallitsemaan suurempia vuotovesiä

5.4.4 Betonointi

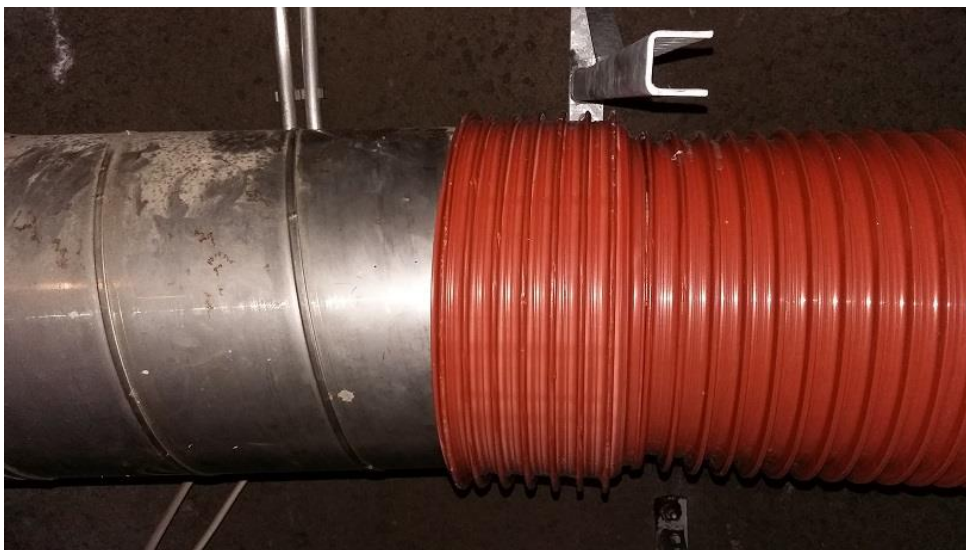
Kaikki Helen Oy:n kaukolämpötunnelien osuudet eivät ole betonoituja. Paikoitellen, etenkin vanhoissa tunneleissa on nähtävissä paljas kalliopintatunneliosuus. Tällaisessa tunnelissa ei ole seinien tai katon salaojitusta. Paikallista suojausta on käytetty kyseisissä osuuksissa. Helen Oy:n tavoite on betonoida kaikki kaukolämpötunnelit, vaikka vuotovesiä ei olisikaan havaittu. Joissain tapauksissa betonointi on rapistunut, jolloin uuden betonoinnin lisäys on kannattavaa. Ongelmana betonoinnissa on se, että jos paikallisen vuotoveden pääsemisen tunneliin onnistutaan estämään, vuotovesi etsii uuden reitin tunneliin. [8]

5.4.5 Injektointi

Injektointia käsiteltiin luvussa 3.3. Injektiota voidaan käyttää lisäsuojana vuotovesialueilla, joissa betonointi ei riitä. Injektointia on käytetty myös kuilujen yläosassa eli pinnan läheisyydessä, jossa vuotovedet ovat olleet ankaria. [8]

5.5 Materiaalin vaihto

Materiaalin vaihtoa on kokeiltu joissain osin Helen Oy:n kaukolämpötunnelistoa. Materiaalin vaihto on tapahtunut kuumasinkitystä teräskanavasta Uponor Ultra Rib 2 -muovi-putkeen, kuten kuvassa 9 on tapahtunut. Materiaalin vaihdon ongelmaksi on havaittu, että sellaista muovista ilmanvaihtokanavaa ei ole löydetty, joka vastaisi metallista ilmanvaihtokanavaa suurimmissa kanavakoissa. Koska tarpeeksi suurta muovista ilmanvaihtokanavaa ei ole markkinoilla, on vain osa kanavistosta pahoilla vuotovesialueilla korvattu muovisella viemäriputkella. Ominaisuudet, jotka rajoittavat muovin käyttöä, ovat palokuorma ja paino. Paino nousee huomattavaksi tekijäksi kuiluissa joiden pituus voi olla jopa 100 metriä ja kalliorakenteiden betonoinnin ei luoteta kestävän kyseistä painoa. Jälkikäteen kannakoinnin pultitus kallioon on kustannussyistä poissuljettu. Palokuorman lisäys tunneleihin on myös riskitekijä. [8]



Kuva 9. Uponor Ultra RIB 2 -putkea ilmanvaihtokanavaan liitettynä

6 Kanavamateriaalit

Kanavan materiaalin vaihtamisella voidaan vaikuttaa ilmastointikanavan korroosioherkyyteen, painoon, palokuormaan ja kustannuksiin. Kallein materiaali ei välttämättä takaa parasta lopputulosta. Korroosio on osoittautunut suurimmaksi ilmanvaihtokanavan elinikää rajoittavaksi tekijäksi. Valumavesien on puolestaan havaittu aiheuttavan eniten korroosiota. [8]

6.1 Teräs

Teräksinen kierresaumattu ilmanvaihtokanava on yleisin materiaali Helen Oy:n kaukolämpötunneleissa. Teräskanaviston koko vaihtelee pyöreiden kanavien osalta koosta 100 aina kokoon 1250. Suurimmat ilmamäärät siirretään joko kahdella kanavalla tai isoilla kanttikanavilla. Materiaalina teräs on korroosiolle altis. Elinikä teräskanavissa vaihtelee aina neljästä vuodesta kolmeenkymmeneen vuoteen, jaon hyvin riippuvainen kohteen sijainnista. [8] Teräskanava kestää parhaiten kohteissa jotka ovat kuivia ja valumavesistä vapaita. RT-kortti LVI 01-10424 määrittelee ilmanvaihtokanavalle eliniän hyvin korkeaksi, sillä kyseisessä dokumentissa katsotaan kanavan olevan kaikista rasituksista vapaa. Teräkselle kuitenkin voidaan olettaa yleinen oheneminen, joka on 10–50 mikrometriä vuodessa (teollisuusilmastossa). [12, s. 256.] Voidaankin todeta, että kyseinen materiaali ei juuri tästä syystä ole sopiva materiaali kaikkiin kaukolämpötunneleiden olosuhteisiin. [8]

6.2 Ruostumaton teräs, RST

Ruostumaton teräs, RST, on korroosiota kestävä. Vaikka ruostumattomana materiaalina onkin passiivinen metalli, se ei ole täysin immuuni korroosiolle. Korroosiota tavataan ruostumattomassa teräksessä pistekorroosion muodossa tai galvaanisena korroosiona. Syyt tähän ovat joko metallin hilerakenteen virheellisyys, metallin epäpuhtaudet tai jalompien metallien kosketus elektrolyytissä. [11, s. 20–21.] Ruostumatonta terästä käytetään taipuisissa ilmanvaihtokanavissa asuinrakennuksissa, jotka eivät sovi kaukolämpötunneleiden ilmanvaihtoon koska kanaviston tulee olla jäykkää. RST-kierresaumakanavalle suurissa putkikoissa, jotka soveltuisivat kaukolämpötunneleihin, ei ole löydetty toimittajaa. [8]

6.3 Haponkestävä teräs, HST

Haponkestävä teräs on ruostumattomampaa terästä passiivisempi metalliyhdiste. Ominaisuudet ruostumattomaan teräkseen verrattuna ovat hyvin samankaltaiset, mutta haponkestävä teräs on paljon korroosionkestävämpi. Haponkestävässä teräksessä tavaataan yleensä pistekorroosiota mutta vähemmän kuin ruostumattomassa teräksessä. Haponkestävä teräs ei välttämättä kestä alkaleja liuoksia yhtä hyvin kuin happamia liuoksia. [11, s. 23–24.] Haponkestävästä teräksestä valmistetun kierresaumakanavan materiaalihintaa on huomattavasti teräksestä valmistettua kierresaumakanavaa korkeampi [8, s. 20–21].

6.4 Muovikanavat

Muovista valmistetut kanavat eivät ole korroosiolle alttiita ja siksi soveltuvat kosteaan ympäristöön [13, s. 2]. Muovisen ilmanvaihtokanavan riskitekijäksi nousee palokuorma. Luvussa 5.3.2 todettiin, että tunneleihin ei saa asettaa tuotteita, jotka nostavat tunnelin palokuormaa. Markkinoilla on kuitenkin muovimateriaaleja kuten PPs, joka on itsestään sammuva muovimateriaali, soveltuen siten tunneliolosuhteisiin asennettavaksi palokuormakysymyksen kannalta. PPs-materiaalista valmistetun muovikanavan, ominaispaino on myös hyvin kevyt, noin $1,42 \text{ g/m}^3$, verrattuna metallisiin kanaviin. Kanavan paino ei täten nouse ongelmaksi pitkissä kuiluvedoissa. PPs materiaali itsessään tuo omat haasteensa, sillä PPs materiaalin osat ja liitokset pitää hitsata. [13, s. 3.]

7 Ilmanvaihtokanavan pinnoitteet

7.1 Pinnoitus

Ilmanvaihtokanavan pinnoitteella voidaan myös ehkäistä korroosiota. Pinnoitteella estetään ilmanvaihtokanavan materiaalin mekaaninen kostuminen, jolloin korroosio-reaktiota ei synny. Pinnoitteen suojamekanismi voi perustua myös muuhun kuin kosteuden poissa pitämiseen. Pinnoittamista, kuten maalausta, voidaan toteuttaa myös muissakin tarkoituksissa kuin korroosiosuojaksessa, kuten vaikkapa kosmeettisista syistä. [12, s. 194.]

7.2 Maalaaminen

Maalaamisella pyritään estämään kosteuden pääsy metallin pinnalle maalaamalla metallin pinta. Maali itsessään koostuu sideaineista, pigmenteistä, liuottimista, täyteaineista ja apuaineista:

- Sideaineen ominaisuudet määrittelevät suurelta osin tartunnan, maalin lujuuden ja kestävyys
- Pigmentit antavat maalille sen peittokyvyn, korroosionesto-omaisuudet ja värin
- Täyteaine määrää maalikalvon kestävyys ja kiillon
- Liuotin vaikuttaa maalin kuivumiseen ja viskositeettiin.

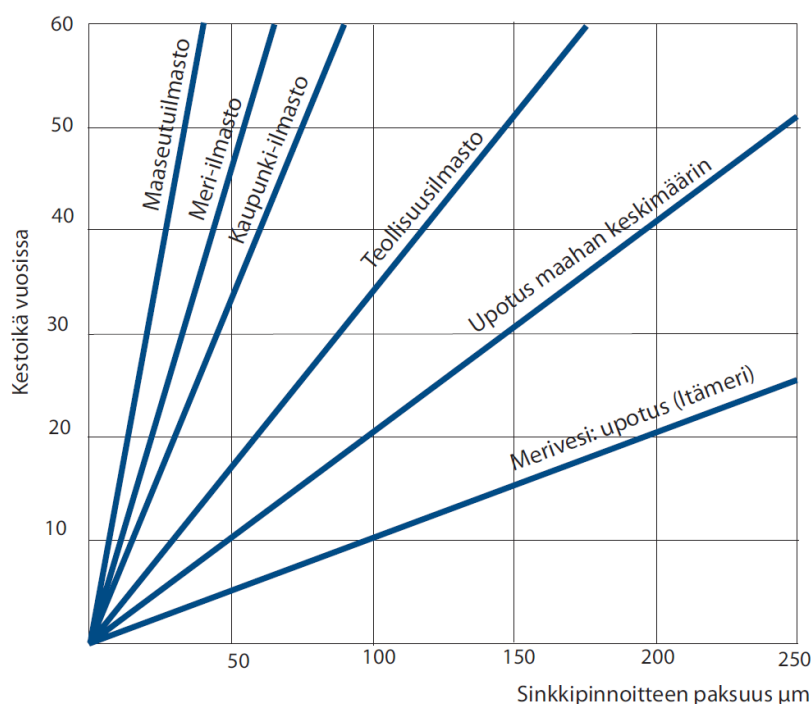
Korroosionestomaalauksen SFS-standardi (SFS-EN ISO 12944) määrittelee maalausvaiheet, työmenetelmät ja työn valvonnan. Korroosionestomaalityypit taas on eritelty standardissa SFS-EN ISO 12944-5. Yleensä ilmanvaihtokanavia maalataan korroosioneston sijasta esimerkiksi kosmeettisista syistä, kuten vaikkapa tilanteessa, jossa kanavisto on näkyvillä huoneistossa. Riskinä korroosiosuojamaalaustekniikassa on se, että maalipinnan rikkoutuessa metalli on altis korroosiolle ja sen etenemiselle maalipinnan alapuolelle. [12, s. 162.] Kuvassa 10 on esimerkki maalipinnan pettämisestä korroosiota vastaan.



Kuva 10. Maalattu huoltoluukku on alkanut korrosoitua pinnoitteesta huolimatta

7.3 Metallipinnoitus

Metallipinnoituksella pyritään maalin tavoin estämään kosteuden pääsy suojattavan metallin pinnalle. Metallin myös suojaa suojattavaa terästä pinnoituksen rikkoutuessa, muodostaen reaktion itsensä kanssa, suojaten alla olevaa metallia. Tätä reaktiota käsiteltiin jo luvussa 4.3. Teräksen yleisiä metallipinnoitus-tekniikoita ovat sähkösinkkipinnoittaminen ja kuumasinkkipinnoittaminen. Sähkösinkityksessä metalli varataan sähkövarauksella ja upotetaan sinkitysaltaaseen. Kuumasinkityksessä pinnoitettava kappale upotetaan sulaan sinkkiin. [12, s. 188.] Kuumasinkityksessä muodostuu paksumpi sinkkikerros kuin sähkösinkityksessä. Sinkkikerroksen paksuus on suoraan verrannollinen korroosiokestävyyteen [kuvio 1]. Nykyisissä sinkitysmenetelmissä ei käytetä puhdasta sinkkiä, vaan sinkkiin on lisätty alumiinia tai muita passiivisia metalleja. Molemmissa tapauksissa, sähkösinkityksessä ja kuumasinkityksessä, kappaleen sinkkisuojausta ei voi toteuttaa paikan päällä kohteessa, vaan kappale pitää erikseen toimittaa sinkitettäväksi. [12, s. 188.] Teräs voidaan sinkittää kohteessa ruiskusinkitysmenetelmällä, mutta menetelmä soveltuu ainoastaan pieniin töihin kuten hitsausseaman suojaamiseen. Sinkityksen korroosiosuojaa voidaan parantaa entisestään maalaamalla pinta. [14, s. 5.]



Kuvio 1. RT-kortti 39-11037 sinkin kestoikä vuosissa sinkin pinnoitteen paksuuteen verrattuna

8 Ratkaisujen vertailu

Ilmanvaihtokanavien eliniän kasvattamiseksi nykyiseen tilanteeseen verrattuna voidaan soveltaa kahta toimenpidettä. Ilmanvaihtokanavat voidaan joko suojata valumavesiltä, tai ilmanvaihtokanavan materiaalivalintaan tai sen pinnoitteisiin puututaan. Suojaukset jakaantuvat paikallisiin suojauksiin ja tunneliin tehtäviin suojauksiin [kuvio 2].



Kuvio 2. Korroosion esto, toimenpiteet

8.1 Ratkaisujen vertailu

Suojauksia käsiteltiin luvussa 5.3. Materiaaleja ja pinnoituksia käsiteltiin luvuissa 6 ja 7. Suojauksia on hyvä käyttää alueilla, jossa valumavedet ovat paikallisia ja vähäisiä. Vaakasorat tunnelit ovat otollisia suojauksille, koska valumavedet valuvat vain lyhyen matkan ilmanvaihtokanavan pintaa pitkin. Yleisimmät suojaukset vaakasuoriin ilmanvaihtokanaviin ovat muovikate ja u-profiilisuojaus. Suojaukset suojaavat vain ilmanvaihtokanavaa valumavesiltä. Valumavesien laaja ja tiheä esiintyvyys taas lisää paikallisten suojauksien tarvetta, jolloin kustannukset nousevat. Paikalliset suojaukset suojaavat vain ilmanvaihtokanavaa eivätkä muuta tunnelitekniikkaa. Tunnelirakenteisiin tehtävät suojaukset ovat kattolautanen, tunnelimatto ja tunnelituuka. Tunneliin tehtävät suojaukset suojaavat myös muuta tunnelitekniikkaa, jolloin suurissa ja tiheissä vuotovesiolosuhteissa on järkevämpää suojata koko tunnelitekniikka yhdellä kertaa, kuin paikallissuojata kaikki tunnelitekniikka yksitellen. Varsinkin suuret tekniikkakeskittymät, kuten pumppaamot tai muuntamot, on hyvä suojata etukäteen tunnelirakenteisiin tehtävin suojauksin.

Tunnelimatolla saadaan suojattua laaja alue valumavesiltä. Tunnelimattoa käytetään myös maanalaisten muuntamorakennusten vesikaton yläpuolella, ylimääräisenä suojana valumavesiltä. Tunnelituukan ja tunnelimaton asentaminen on hankalampaa kuin esimerkiksi paikallisten suojausten toteuttaminen, sillä tunnelimatto pitää kiinnittää laajalta alalta koko tunnelin betonointiin, tunnelin katonrajaan. Yleensä tunnelissa jo oleva tekniikka on tunnelimaton asennustöiden tiellä. Tästä syystä tunnelirakenteisiin tehtävät suojaukset olisi hyvä toteuttaa ennen tekniikan asennusta.

Kattolautanen soveltuu pistemäisiin vuotoihin eikä kata kovinkaan laajaa aluetta, toisin kuin tunnelimatto. Kattolautasen asennus on tunnelimaton tavoin ongelmallista, sillä myös se asennetaan tunnelin kattoon ja muu tunnelin tekniikka saattaa olla tiellä kattolautasten ja viemäroinnin asennukselle.

Tunnelikuilut ovat ongelmallisia valumavesien suhteen, sillä kuilujen pystysuorat asennukset ovat painovoiman suuntaisia, jolloin valumavedet valuvat vertikaalisesti ilmanvaihtokanavaa pitkin. Paikalliset suojaukset ja kuilurakenteisiin tehtävät suojaukset pitää tehdä koko kuilun mitalta tai alkaen kohdasta, jossa valumavesiä esiintyy. Jos tunnelikuilussa esiintyy suuria valumavesiä määriä, voi olla tehokkaampaa estää valumavesihaittoja rakenteellisin muutoksin tai kallioinjektoinnin avulla. Kuvioon 3 on koottu suojaustoimenpiteiden valitsemiseen merkittävästi vaikuttavia ominaisuuksia, jotka helpottavat lopullisessa päätöksenteossa.

Toimenpide	valumavesien määrä/laajuus			palokuorma			kustanne (työtunnit, materiaali)		
	pieni	kohtalainen	iso	pieni	kohtalainen	iso	pieni	kohtalainen	iso
tunnelimatto			X	X				X	X
tunnelituuka			X	X				X	X
kattolautanen	X			X			X		
akryyliaaltolevy	X	X				X	X	X	
u-profiili	X	X			X		X		

Kuvio 3. Suojaustoimenpiteiden vertailun yhteenveto sijoitettuna taulukkoon

Materiaalin vaihto tai materiaalin pinnoittaminen korroosiota paremmin kestäväksi tai korroosiokestäväksi, on hyvä ratkaisu silloin kun valumavesien laajuus ja tiheys on suuri, ja paikallisten suojauksien tai tunnelirakenteisiin tehtävien suojauksien kustannukset nousevat suuriksi. Esimerkki tällaisesta kohteesta on pitkään vaakasuoraan kulkeva tunneli, jossa valumavesiä on tiheästi koko matkalta. Tällaisessa tapauksessa joko koko ilmanvaihtokanava tai vain osa siitä korvataan uudella materiaalilla, tai koko ilmanvaihtokanava pinnoitetaan.

Kun materiaalinvaihtoa tehdään, on kustannuksia arvioitaessa otettava huomioon vanhan ilmanvaihtokanavan purkaminen ja mahdollinen kannakoinnin uusimisen tarve. Teräskanavia voidaan vaihtaa muihin metallisiin kanaviin kuten haponkestävään teräkseen, mutta tällöin materiaalikustannukset nousevat. Teräksisen ilmanvaihtokanavan vaihtaminen muoviseen kanavaan antaa täyden korroosiokestävyyden mutta palokuormasta pitää keskustella viranomaisten kanssa. Tällöin arvioidaan yleensä, sopiiko muovinen kanava kyseessä oleviin maanalaisiin tiloihin. Muovisia kanavia voidaan korvata myös muillakin kuin ilmanvaihtoon tarkoitetuilla tuotteilla, kuten viemäriputkella.

Maalaamista ilmanvaihtokanavan suojana, ei ole kokeiltu Helen Oy:n kaukolämpötunneleissa, mutta yleisesti korroosiomaalaamisen on todettu olevan hyvä keino suojata metalliesineitä korroosiota vastaan. Etuna on se, että kanavaa ei tarvitse vaihtaa ja työ voidaan toteuttaa valmiiseen kanavaan. Maalaamisen haittana on se, että kustannuksissa on otettava huomioon se, että kanavan ulkopinta pitää puhdistaa korroosiosta ja liasta ennen maalaamista. Sinkitys on pinnoittamisen muoto, jossa kanava on korvattava uudella kanavalla, sillä paikallaan olevaa kanavaa ei voida sinkittää. Kiinteitä kappaleita voidaan sinkittää vaikkapa ruiskusinkittämällä, mutta menetelmänä se ei sovellu suurien alojen kattamiseen. Muoviset ilmanvaihtokanavat soveltuvat kuiluihin hyvin, sillä ne ovat täysin korroosiovapaat. Kaupallisten muovikanavien paino ei nouse suurissakaan kanavakoissa, verrattuna samankokoisiin viemäriputkiin, joten kannakointikaan ei nouse ongelmaksi.

8.2 Kustannukset ja elinikä

Hintojen vertailu eri materiaalien välillä on hankalaa, sillä materiaalin hinta riippuu materiaalin määrästä, saatavuudesta, laadusta, työstö kustannuksista, raaka-ainehinnoista, asennuskustannuksista ja toimittajasta. Laajassa urakassa jossa käytetään suuria määriä materiaalia, voi toimittajalta saada hyvän tarjouksen materiaalille, jolloin yksikköhinta laskee, kun taas yksittäisten materiaalien ostaminen on yleensä kallista. Voidaan kuitenkin todeta, että haponkestävä teräs (Cr-Ni-Mo-teräs) [11, s. 24] ja ruostumaton teräs (Cr-Ni-teräs) [11, s. 20] ovat kalliimpia normaaliin teräkseen verrattuna. Syy tähän on yksinkertaisesti se, että nikkeli on kalliimpaa kuin teräs. Haponkestävä teräs taas on kalliimpaa kuin ruostumaton teräs, johtuen molybdeenin hinnasta. Pinnoittaminen kuten sinkitys tuo lisäkustannuksia, sillä se on oma lisätyövaihe materiaalille. [15]

Eliniän ennustaminen kanavistolle pelkästään materiaalivalinnan pohjalta on mahdotonta, sillä valumavesien mahdollista esiintyvyyttä ei pystytä ennustamaan riittävän tarkasti. Voidaan kuitenkin todeta, että passiiviset metallit kuten ruostumaton teräs ja haponkestävä teräs ovat korroosiokestävämpiä kuin normaali teräs. Muovimateriaalit ovat taas täysin korroosiovapaita. Pinnoitteilla kuten sinkityksellä ja maalaamisella voidaan tehdä teräskanavasta korroosiota vastustava.

9 Pohdinta

Vuotovesien aiheuttama korroosio ilmanvaihtokanavistossa on pääasiallinen syy siihen, miksi ilmanvaihtokanavia joudutaan uusimaan kaukolämpötunneleissa. Aikaisemmin kaikki ilmanvaihtokanavistot tehtiin teräksestä, ajattelematta että korroosiojohdannaisia ongelmia voisi ilmaantua. Kyseinen ongelma on aiheuttanut Helen Oy:lle huomattavan suuria kustannuksia. Tästä johtuen Helen Oy pyrkii aktiivisesti löytämään ratkaisuja vuotovesien ja korroosion aiheuttamiin ongelmiin. Ongelmiin voidaan puuttua kahdella tavalla: ilmanvaihtokanavan materiaalille tehtävillä toimenpiteillä tai suojaamalla ilmanvaihtokanava. Suojaamisella saavutetaan se, että vanhaa kanavaa ei välttämättä tarvitse uusia ja samalla voidaan suojata muutakin tunnelitekniikkaa. Ilmanvaihtokanavan materiaaliin tehtävät toimenpiteet kuten maalaaminen tai materiaalin vaihtaminen vaikuttavat korroosiokestävyyteen tai tekevät ilmanvaihtokanavasta kokonaan korroosiokestävän.

Itse näen paikalliset suojaukset vain hätäratkaisuna siihen asti, kunnes saadaan kehitettyä pitkäaikaisempi ratkaisu ongelmalle. Suojaaminen on yleinen ratkaisu kaukolämpötunneleissa valumavesiä vastaan. Suojausta on toteutettu, kun valumavesiä on havaittu tai valumavedet ovat vaikuttaneet tunnelitekniikkaan tai tunnelin kuntoon. Materiaalin vaihtoa muoviseen on toteutettu vain palovirnaomaisen poikkeusluvalla. Pääsyy siihen, miksi vaihtoa ei ole toteutettu suuremmassa mittakaavassa, on palokuorman lisäys tunneliin. Maalaamista ei ole toteutettu ilmanvaihtokanavistossa ollenkaan, mutta muissa sovelluksissa vaihtelevin tuloksin.

Pidän materiaalin vaihtoa palamattomaan muoviin kuiluasennuksissa parhaana ratkaisuna pinnoitteen ja suojaamisen sijaan. Olen tyytyväinen, että löysin opinnäytetyössäni vaihtoehtoisen materiaalin ilmanvaihtokanavalle. Muovi ilmanvaihtomateriaalina antaa täyden korroosiokestävyyden eikä tiedetyissä muovityypeissä lisää palokuormaa kaukolämpötunneleihin. Muovista myös voidaan valmistaa seinämäpaksuudeltaan ohuita kanavia, jolloin muovisen ilmanvaihtokanavan kannakointi ei tuota ongelmaa painon suhteen. Kustannukset eivät näytä olevan normaaliin teräksiseen ilmanvaihtokanavaan merkittävät verrattuna muovin elinikään. Kustannuksien arviointi kahden materiaalin välillä on vaikea tehdä, sillä materiaalin hinta vaihtelee toimittajan mukaan. Työtunnit asennuksen suhteen ovat samat pois lukien muovisen ilmanvaihtokanavan hitsaustek-

niikka, jota voidaan pitää muovisen ilmanvaihtokanavan heikkona puolena. Arvioin teräksisen ilmanvaihtokanavan korvaamisen muovisella PPs-ilmanvaihtokanavalla olevan toteutettavissa, ainakin tunnelikuilujen osalta.

Työtäni voisi kehittää tutkimalla kanavamateriaalien korroosiokestävyys erilaisiin kiviaines-liuoksiin ja suhteuttamalla havainnot ruhje kartastoon. Tätä tietoa hyödyntämällä voisi valita materiaalin sopimaan vuotovesien koostumuksen mukaan, oli vuotovesi sitten emäksinen tai hapan. Tätä tietoa voisi soveltaa muissakin kuin ilmanvaihtokanaviston materiaalivalinnoissa.

Lähteet

- 1 Turunen Mikko, 2011. Suomen kallioperä. Verkkodokumentti. Luonnontieteellinen keskusmuseo / Geologian museo.
<http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-39-11/2011-12-21-12-39-38/suomen-kallioperae> Luettu 26.9.2016
- 2 Laitala Matti. 1991. Helsingin kartta-alueen kallioperä. Espoo. Geologian tutkimuskeskus.
- 3 Mälkki Matti, 1998. Geologia, geokemia ja mineralogia: Yleiset perusteet ja merigeologiset sovellutukset (erityisesti itämeren alueella)-kirjallisuusselvitys. Helsinki. Merentutkimuslaitos.
- 4 Elminen Tuija, Ikävalko Ossi, Kuivamäki Aimo, Laine Mirva, Wennerström Marit ja Vaarma Markus. 2012. Kallioperän rakennettavuuteen liittyvien tulkintojen arviointi pääkaupunkiseudulla tunnelikartoitusten ja -tutkimusten perusteella, johtopäätökset. Espoo. Geologian tutkimuskeskus.
- 5 Vänskä Päivi & Pekka Raudusmaa. 2005. Helsingin keskustan kallioruhjeet. Geotekninen osasto. Helsinki
- 6 Rytilahti Mikko. 2012. Helen Group's annual report 2011. the report on social responsibility. Verkkolehti. Helsingin Energia. https://issuu.com/helsingin-energia/docs/helen_annual_report_2011 Luettu 26.9.16
- 7 Kalliotilojen rakennusohjeet. RIL169-1987. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto
- 8 Mäkitalo Arja. 2016. LVIA-Rakennuttaja/projektipalvelut, Helen Oy.
- 9 Maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelu. 2007. perusteet ja soveltamisohjeet. RIL 233-2007. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto
- 10 Raaka-aine käsikirja 1: Muokatut teräkset. 2001. Helsinki. Metalliteollisuuden keskusliitto. Metalliteollisuuden kustannus Oy
- 11 Latvala Tapani. 2011. Korroosiokokeet. Theseuksen tietokanta. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 12 Aromaa Jari. 2013. Korroosion ja korroosioneston historia. Espoo. Aalto yliopisto Kemiantekniikan, Materiaalitekniikan laitos,
- 13 AN/VKP Oy/ Rakennustieto Oy, Rakennustietokortti RT 38-381. 2013. Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki

- 14 AN/VKP Oy/ Rakennustieto Oy. Rakennustietokortti RT 39-11037. 2011. Helsinki Rakennustietosäätiö RTS.
- 15 Suini Paavo. 2015. Raaka-aineiden hinnat kääntymässä lievään nousuun. Verkkodokumentti. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos (ELTA).
<https://www.etla.fi/uutiset/raaka-aineiden-hinnat-kaantymassa-lievaan-nousuun/>
Luettu 27.9.2016
- 16 Kenno ja aaltolevyt. 2012. Verkkodokumentti. Etola yhtiöt/ Foiltek Oy Vantaa.
<http://www.foiltek.fi/tuotteet/muovilevyt-ja-kalvot/kenno-ja-aaltolevyt> Luettu 31.10.2016
- 17 Anttila Anna-Maija, Karppinen Maarit, Leskelä Markku, Mölsä Heini ja Pohjakallio Maija. 2008. Tekniikan kemia. Helsinki Edita Prima Oy

Haastattelu Arja Mäkitalo, LVIA-Rakennuttaja, Helen Oy

Haastattelu toteutettiin puhelimitse 3.10.2016 klo 13:00. Alla on esitetty haastattelussa esitetyt kysymykset

1. Näytekö valumavesien olevan pääsyyntekijä korroosiolle kaukolämpötunneleissa?
2. Millä aikavälillä kanavistoa on jouduttu pahimmillaan vaihtamaan?
3. Millä tavoin kanavistoa on pyritty suojaamaan?
4. Onko valumavedet ongelmallisempia, kun ne valuvat kuilun pystykanavaa pitkin kuin tunnelin vaakatasossa olevaa kanavaa pitkin?
5. Oletko samaa mieltä, että suojaus voidaan toteuttaa kahdella tapaa: Paikallinen suojaus ja kanavistolle tehtävä suojaus?
6. Kanaviston korvaaminen viemäriputkella on ongelmallista koska sen paino on suuri suhteessa putkikokoon ja tuote lisää palokuormaa tunneliin?
7. Onko totta, että ruhjealueilla valumavesiä esiintyy huomattavasti enemmän?
8. Miten valumavedet vaikuttavat ylipäättänsä tunnelin kuntoon?
9. Miksi toimiva ilmanvaihto on tärkeä tunnelistolle?