

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma / Rakennesuunnittelu

Tommi Mikkeli

BETONIRAKENTEISEN RIKKIALTAAN KORJAUSTAVAT

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma / Rakennesuunnittelu

Mikkeli Tommi	Betonirakenteisen rikkialtaan korjaustavat
Opinnäytetyö	31 sivua + 17 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtorit Juha Karvonen, Sirpa Laakso
Toimeksiantaja	Neste Oil Oyj
Maaliskuu 2011	
Avainsanat	Rikki, betoni, pinnoitus

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Neste Oil Oyj:n Porvoon jalostamolla sijaitsevien rikkialteenottoyksiköiden rikkialtaiden korjaustapoja. Tutkimuksen tavoitteena on löytää rikkialtaisiin sopivat korjausmateriaalit sekä tavat. Valmiin työn tulisi auttaa tilaajaa päättämään korjausmenetelmistä rikkialtaissa.

Altaiden ongelmaksi on muodostunut betonipinnan rapautuminen. Olosuhteet altaissa ovat erittäin ankarat. Normaalikäynnissä allas on täytettyä sulalla rikillä jonka lämpötila on noin 140 °C. Häiriötilanteissa rikin lämpötila voi nousta yli 160 °C, mikä johtaa rikkipinnan syttymiseen. Palava rikkipinta nostaa altaan yläosan lämpötilan erittäin korkeaksi sekä antaa mahdollisuuden rikkihapon muodostumiselle.

Rapautumisesta johtuen altaita on säännöllisesti korjattava. Materiaalien valintaa sekä löytämistä hankaloittaa epäselvät sekä ankarat olosuhteet altaassa. Pelkkää betonia käyttämällä voidaan karkeasti sanoa, että sementti tulee valita joko kestävämpiä korkeita lämpötiloja tai vaihtoehtoisesti sietämään sulfaatteja sekä happoja. Yhdistelmänä korkea lämpötila sekä haponkestävyys ei nykytietämyksen valossa onnistu, ja tästä syystä betonirakennetta tulisi ajatella vain kantavana rakenteena, jonka suojaaminen rasituksilta tapahtuisi muilla materiaaleilla. Epoksi-pohjaisilla pinnoitteilla voidaan saavuttaa hyvä haponkesto, mutta korkeat lämpötilat polttavat pinnoitteen. Keraamisilla pinnoitteilla saadaan rakenne sietämään erittäin korkeita lämpötiloja, mutta happojen suhteen tulisi teetättää lisäkokeita, jotta saataisiin varmuus asiaan. Ruostumattomia teräslevyjä käyttämällä saavutetaan korkeahko lämmön- sekä haponkesto, mutta korroosio-ongelmien vaara syntyy rikkivedystä, rikkikaasusta sekä rikkidioksidista. Haponkestävä tiilimuuraus saavuttaa myös omalta osaltaan happojen kestävyys sekä kestää lämpötiloja aina 450 °C:seen asti. Lopullinen rakennevaihtoehtojen pitkäaikaiskestävyys selvinnee vasta kokemusten perusteella.

Työn liitteinä on tilaajaa varten kootut tarkemmat materiaalien tiedot.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Constructual Engineering

MIKKELI TOMMI

Repairing methods for sulfur pits

Bachelor's Thesis

31 pages + 17 pages of appendices

Supervisor

Juha Karvonen, Sirpa Laakso. Senior lecturers

Commissioned by

Neste Oil Oyj.

March 2011

Keywords

Sulfur, concrete, coating

This thesis is about repairing the sulfur pits that are a part of sulfur recovery units in the Neste Oil refinery that is located in Porvoo, Finland. Pits have been made of concrete which has some weathering problems due to very aggressive environmental effects.

The goal of thesis was to find out if there was a material that would meet the given requirements and to hold up in the challenging chemical environment. The finished thesis is being given to Neste Oil Oyj as a guideline to be used when repairing the pits.

The methods that were used in the research was earlier literature concerning the subject, guides and detailed information on materials as also the interviews made via e-mail with experts and enterprises that usually deal with this area of building methods.

As a result, several products were found that meet the requirements in some way. Different kind of cement can be used either in high temperatures or in chemically challenging environment. Combining the high temperature and chemical resistance is not possible. Therefore the concrete structure should be only used as carrying element and some other product should be used to protect the concrete. Epoxy –based coatings can be used if the stress is solely chemical but high temperatures will melt the coating. Ceramic coatings have the ability to withstand high temperatures but if being used with chemicals, laboratory tests are strongly recommended in order to find out if the coating can also hold up for acid and other aggressive chemicals. Steel lining with enamel coating should hold up but the corner structures will be a challenge for a solid structure that can keep unwanted chemicals away from concrete. Using AISI 904L stainless steel as lining material will give a good protection against acids and the material itself can also hold up in high temperatures but stainless steel is known to have corrosion problems when dealing with hydrogen sulfide, sulfur gas and sulfur dioxide. Acid-proof brick linings will hold decent temperatures and also acids, and therefore has good overall results.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN KOHDE	7
	2.1 Rikki	9
3	BETONIN OMINAISUUDET	9
	3.1 Betonimassa	10
	3.2 Betonimassan ominaisuudet	10
	3.3 Betonin palonkestävyys	11
	3.4 Lämpötilojen vaikutukset	11
	3.5 Lujuusominaisuudet	13
	3.6 Lohkeilu	15
	3.7 Kemialliset rasitukset	16
	3.8 Hapot	16
	3.9 Sulfaatit	19
4	BETONIRAKENTEIDEN KORJAUS JA PAIKKAUSTYÖT	20
	4.1 Betonirakenteiden vauriot ja niiden syyt	20
	4.2 Vaurioanalyysin tekeminen	21
	4.3 Betonin paikkaus ilman muotteja	22
5	MATERIAALIEN VALINTA	24
	5.1 Sementit	24
	5.2 Pinnoitteet	25
	5.3 Teräslevyt	26
	5.4 Haponkestävät tiilimuuraukset	28
6	YHTEENVETO	29

Liite 1. Full Range of Secar Calcium aluminate

Liite 2. 585 Nanostrengthened epoxy-coating Data Sheet

Liite 3. Loctite 7257 Technical Data Sheet

Liite 4. Didier SF Bricks Product Information

Liite 5. Stellakit AE Product Information

1 JOHDANTO

Ajatus työhön tuli työskennellessäni Neste Oil Oyj:n palveluksessa vuoden 2010 suurseisokissa. Seisokin aikana rikkialtaat avattiin, ja rapautumisvaurioita katsellessani heräsi mielenkiintoni aiheeseen. Ehdotin keväällä, että tutkisin asiaa opinnäytetyönäni ja syksyllä teimme sopimuksen työn tekemisestä. Työhön vaadittavien tuotteiden tutkimisen aloitin jo samana syksynä, ja käytäntö osoittikin, että tämä oli työn haastavin osuus, sopivien tuotteiden sekä alan tutkimusten ollessa hyvin niukat.

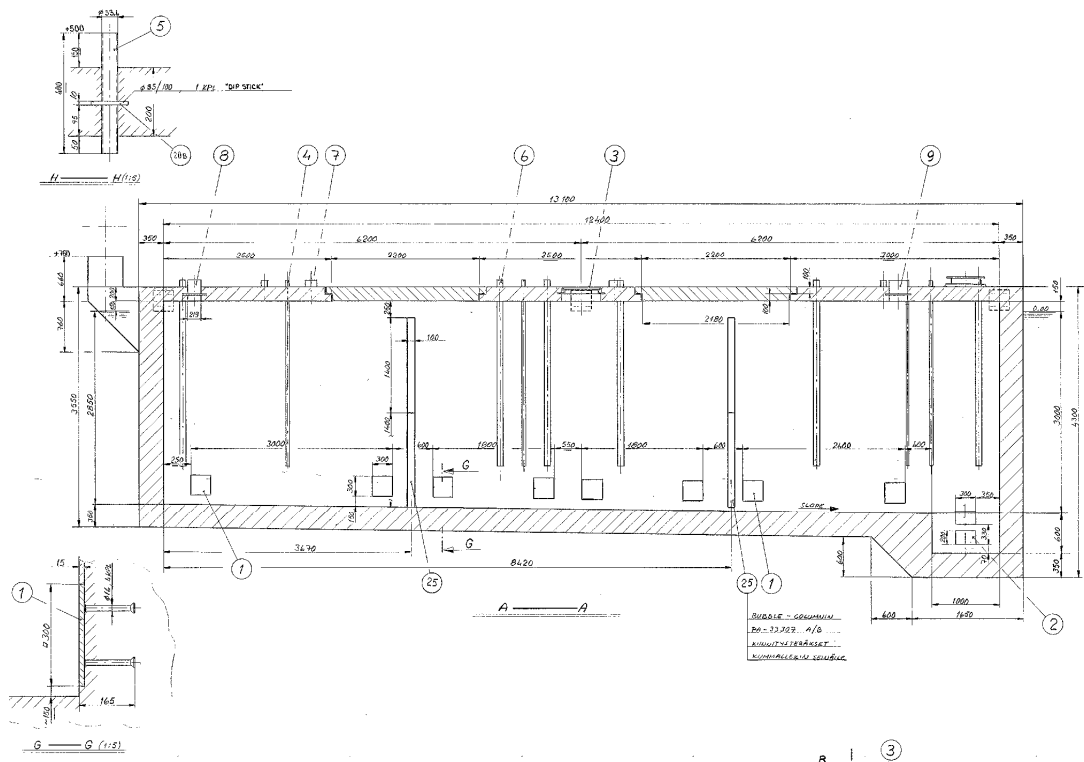
Työn tavoitteena on selvittää, mitä eri korjausmenetelmiä Neste Oilin Porvoon jalostamon rikin talteenottoyksiköiden rikkialtaille löytyy. Teräsbetonirakenteiset altaat on alun perin rakennettu 1990-luvun alkupuolella, ja ongelmana rakenteessa on betonin rapautuminen sulan rikki-pinnan tuntumassa. Korjausmenetelmiä valitessa tutkitaan sekä rakenteen kestävyyttä että itse korjausmenetelmän vaatimaa työaikaa, jotka ovat rajaavimmat tekijät menetelmän valinnassa.

Työ rajataan koskemaan vain altaan betonirakenteen vaatimia korjaustapoja sekä mahdollisen pinnoitteen käyttämistä. Valmis työ luovutetaan Neste Oil Oyj:n käyttöön rikkialtaan korjausta varten.

2 TYÖN KOHDE

Opinnäytetyön kohteena ovat betonirakenteiset rikkialtaat. Alun perin 1990-luvun alkupuolella rakennetut altaat ovat alkaneet rapautua rikkipinnan tuntumasta. Koska rakenne on maanpainetta vastaan kuormitettu, niin korjaaminen on syytä tehdä, ennen kuin rapautumisvauriot ovat liian suuret ja rakenteen kantokyky heikkenee.

Altaat sijaitsevat Neste Oilin Porvoon jalostamolla kantajalostamon alueen pohjoispäässä ja ovat kytköksissä rikin talteenottoyksiköihin (RTO3, RTO4, RTO5). Yksiköitä on kolme, ja niissä samanlainen allas. Työssä käsitellään lähinnä yksiköiden kolme sekä ja altaita, joita on jo aikaisemmin yritetty korjata. RTO3-yksikön altaassa kokeiltiin suurseisokissa keväällä 2010 Epoksi-pohjaista pinnoitetta niissä kohdin, joissa betoni oli rapautunut (kuvat 2 ja 3). Altaassa on pohjalla höyryllä toimivat lämmityspatterit sekä kannen läpi ulottuvat rikkipumput.



Kuva 1. Rikkialtaan rakennekuva (Neste Oil Oyj arkisto)



Kuvat 2 ja 3. Punaiset kohdat ovat Epoksi-pohjaisella pinnoitteella käsitellyjä kohtia joissa oli rapautumisvaurioita. (T.Mikkeli 2010)

2.1 Rikki

”Rikki (lat. sulfur, sulphur) on alkuaine, jonka kemiallinen merkki on S, järjestysluku 16 ja CAS-numero 7704-34-9. Se on yleinen, mauton ja hajuton, väriltään keltainen epämetalli. Luonnossa rikkiä esiintyy sekä vapaana alkuaineena että erilaisina yhdisteinä. Vapaana alkuaineena rikkiä on tuliperäisten alueiden maaperässä. Toimivasta tulivuoresta purkautuu mm. rikkiä ja rikin yhdisteitä ilmakehään ja maan pinnalle. Suurin osa rikistä on kuitenkin luonnossa erilaisina yhdisteinä. Nämä ovat pääasiassa rikin ja metallin yhdisteitä. Rikkiä saadaan metallinjalostuksen sivutuotteena, kun metalleja erotetaan näistä yhdisteistä. Rikki on tunnettu jo antiikin aikana. Siitä on käytetty suomen kielessä myös vanhahtavaa nimeä tulikivi, sillä se syttyy helposti palamaan, jolloin syntyy pistävän hajuista, ”tulikivenkatkuista” rikkidioksidia, SO_2 .” (Wikipedia 2011)

”Rikki on tärkeä alkuaine kaikille eliöille, joissa sitä tarvitaan kysteini ja metioniini aminohapoissa proteiinien osana. Kyseisten aminohappojen väliset sidokset, rikkisillat, mahdollistavat proteiinien sekundaarirakenteen muodostumisen. Myös elektroninsiirtoketjuissa esiintyy rauta-rikki-komplekseja. Kasvi ottaa rikin maasta sulfaatti-ioneina (SO_4^{2-}). Rikkiä on maassa yleensä riittävästi kasvin tarpeisiin, mutta lannoitteet kuitenkin sisältävät rikkiä, sillä hivenaineet ovat lannoitteissa sulfaatteina eli rikin yhdisteinä. Rikin puute näkyy kasvissa etenkin nuorten lehtien kellastumisena. Teollisuudessa rikkiä käytetään esimerkiksi lannoitteisiin, mustaan ruutiin, laksatiiveihin, tulitikkuihin, hyönteis- ja sienimyrkkyihin ja rikkihapon, yleisimmän rikkiyhdisteen valmistukseen. Kumin raaka-aineeseen, kautsuun, lisätään rikkiä. Tätä kumin valmistusprosessia kutsutaan vulkanoinniksi. Tällöin saadaan kumia, joka kestää hyvin sekä kylmää että kuumaa. Monet lääkkeet, esimerkiksi penisiliini, sisältävät rikkiä. Myös nopeasti kuivuvissa liimoissa on rikkiä.” (Wikipedia 2011)

3 BETONIN OMINAISUUDET

Kappaleessa käsitellään betonin ominaisuuksia sekä yleisellä tasolla että niiltä osin, kuinka ne liittyvät altaiden käyttöön ja voivat aiheuttaa erityisiä vaatimuksia betonin suhteen.

Betoni on keinotekoinen kivi. Betonin runkoaineena käytetään yleensä kiviainesta, jota saadaan suoraan luonnon soraesiintymistä tai kalliosta murskaamalla. Sementtiliima on veden sekä sementin seos, jota käytetään kiviaineksen liimaamisessa. Kiviaines sekä sementtiliima muodostavat kuivuessaan keinotekoisesta kiviaineksen, jota kutsutaan betoniksi. Kiviaineksen sekä sementtiliiman lisäksi voidaan betonissa käyttää erilaisia lisä- ja seosaineita, joilla voidaan vaikuttaa mm. betonimassan työstettävyyteen ja betonin kovettumisreaktioon. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

Betonille ominaista on korkea puristuslujuus mutta huono vetolujuus. Tämän takia betonirakenteissa käytetään betoniteräksiä. Näitä rakenteita kutsutaan teräsbetoniksi, jonka toiminta perustuu siihen, että raudoitus ottaa vastaan vetorasitukset ja betoni puristusrasitukset. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

Rakenteita suunniteltaessa betonin tärkeimmät ominaisuudet ovat sen lujuus sekä säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan. Lämmönlaajenemiskertoimet betonilla sekä betoniteräksillä ovat hyvin lähellä toisiaan, minkä vuoksi rakenteeseen ei suurillakaan raudoitusmäärillä pääse syntymään sisäisiä jännityksiä, jotka johtuisivat erilaisesta lämpölaajenemisesta lämpötilan muuttuessa. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

3.1 Betonimassa

Betoni on plastisessa tilassa sitoutumiseen asti, joka tapahtuu noin 2-4 tuntia betonin sekoituksesta +20 °C:in lämpötilassa. Sitoutumisen jälkeen betoni alkaa kovettua sekä samanaikaisesti tuottaa lämpöä hydrataatioreaktion tuloksena. Kovettumisen ollessa kemiallinen reaktio tarkoittaa 10 °C:n muutos lämpötilassa joko reaktioajan puoliintumista tai kaksinkertaistumista. Tästä johtuen kylmässä ilmassa betonin sitoutuminen voi siis kestää huomattavan kauan, mikä omalta osaltaan tekee talvella tehtävät betonityöt haasteellisiksi. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

3.2 Betonimassan ominaisuudet

Betoninormien mukaan betonimassalla tulisi olla sellaiset ominaisuudet, ”että se tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä käyttäen tiivistettynä ja käsiteltynä sekä kovetettuaan täyttää sille asetetut vaatimukset”. Massan tärkeimpänä ominaisuutena voidaan pitää sen työstettävyyttä, jota yleensä arvioidaan massan notkeudesta. Notkeutta voidaan

mitata painumakokeella, leviämänä tai laboratoriokokeissa VB-laitetta käyttäen. Erit-
täin jäykkien massojen työstettävyyden testaukseen on käytettävä nk. IC-testeriä. (Be-
toniyhdistys 2005, BY 201)

Massan notkeus on yleensä joko nestemäinen tai vetelä. Notkea betonimassa voi hel-
pottaa betonointityötä, mutta tämä johtaa kasvuun massan plastisissa ja pitkäaikaisissa
muodonmuutoksissa sekä erottamistaipumus ja halkeiluriski kasvavat. Yleisesti ottaen
on suotavaa käyttää niin suurikivistä ja jäykkää massaa kuin betonointimenetelmä
vain sallii. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

3.3 Betonin palonkestävyys

”Arvioitaessa betonin käyttäytymistä tulipalotilanteessa on yleensä tarkasteltava koko
teräsbetonirakennetta eikä vain betonia materiaalina. Rakenteen käyttäytymiseen ra-
kenteena vaikuttaa oleellisesti materiaaliominaisuuksien lisäksi myöskin rakenneosien
muotoilu, mitat ja liitokset.” (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Lyhytaikainen palotilan korkea kuumuus ei vaikuta betonirakenteisiin merkittävästi,
mikäli rakenteessa ei pääse tapahtumaan räjähdysmäistä tuhoisaa lohkeilua, koska be-
tonirakenteen sisäosa lämpiää verrattain hitaasti. Tärkeää on kuitenkin tiedostaa, että
tulipalon ollessa pitkäikäinen betonipoikkileikkaus ehtii kuumentua myös sisäosista,
jolloin heikkeneminen raudoitteissa sekä betonin lujuudessa voi johtaa rakenteen kan-
tokyvyn menetykseen. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Ominaista betonille ja betonin raudoitteen väliselle tartunnalle on, että niiden lujuudet
ovat rakenteen jäähtymisen jälkeen alhaisemmat kuin itse tulipalon aikana rakenteen
ollessa kuumentunut. Raudoitteiden osalta lujuudet eivät laske tulipalon aikaisesta lu-
juudesta, mutta voivat olla alhaisemmat kuin ennen tulipaloa. (Betoniyhdistys 2005,
BY 201)

3.4 Lämpötilojen vaikutukset

Korkean lämpötilan vaikutus betonin ominaisuuksin eri ilmiöiden kautta voidaan jao-
tella seuraavasti:

A) Kalkkikiven käyttö runkoaineen joukossa parantaa betonin palonkestävyyttä koska se on stabiili tulipalossa. Kvartsipitoinen kiviaines taas heikentää betonin lujuusominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa. Sulamispisteenä betonille voidaan runkoaineen laadusta riippuen pitää 1300...1500 °C. Fysikaaliset ja kemialliset muutokset ovat esitetty taulukossa 1. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

B) Sementtiliiman ja kiviaineksen terminen yhteensopimattomuus aiheuttaa sisäisiä jännityksiä : Koska betonin kiviaineksella ja sementtikivellä on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet, aiheuttavat suuret lämpötilamuutokset sisäisiä jännityksiä, jopa halkeamia.

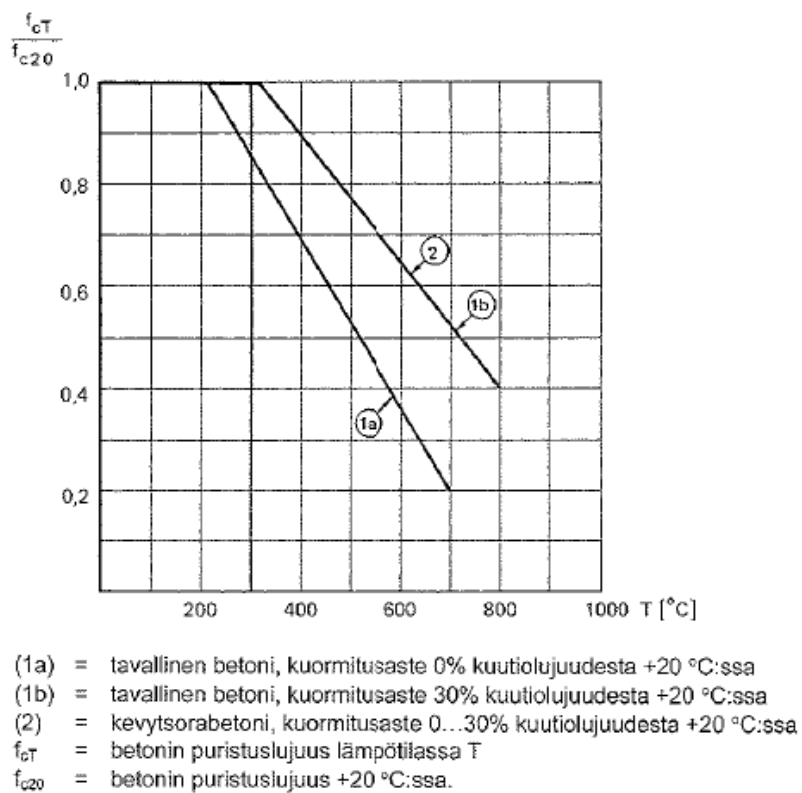
C) Lämpötilan epätasaisesta jakaantumisesta aiheutuu sisäisiä jännityksiä. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Lämpötila-alue °C	Vallitseva reaktio	Reaktiotyyppi
20...300	Huokosveden poistuminen	Veden poistuminen
300...490	Absorboituneen veden poistuminen	Veden poistuminen
490...540	Kalsiumhydroksidin hajoaminen	Hajoaminen
573	Kvartsin kiderakenteen muutos	Muutos
580...750	Beeta-dikalsiumsilikaatin muodostuminen	Hajoaminen

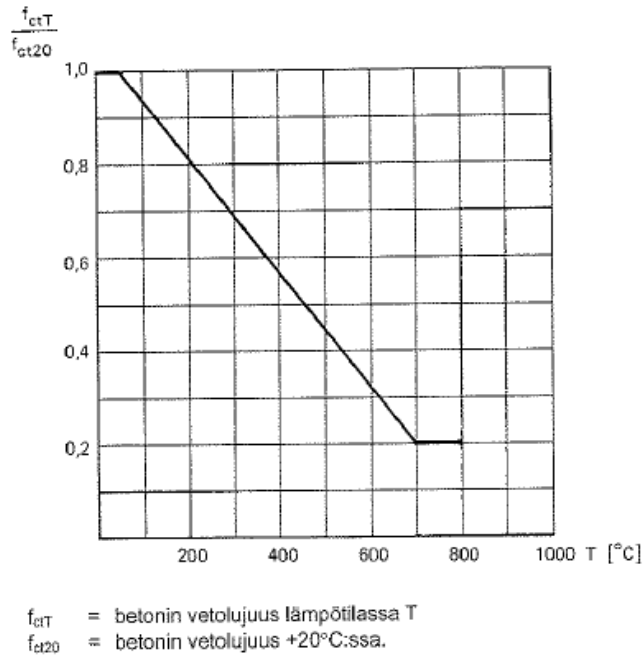
Taulukko 1. Eri lämpötilojen vaikutukset betoniin (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

3.5 Lujuusominaisuudet

Rakenteen täytyy tulipalotilanteessa kantaa siihen kohdistuvat kuormitukset, minkä vuoksi paloteknisessä suunnittelussa on otettava huomioon betonin lujuuden heikkeneminen lämpötilan kohotessa. Seuraavissa kuvissa on esitetty betonin puristus- ja vetolujuuden lämpötilariippuvuudet. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)



Kuva 4. Lämpötilan vaikutus betonin puristuslujuuteen (Betoniyhdistys 2005, BY 201)



Kuva 5. Lämpötilan vaikutus betonin vetolujuuteen (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Betonin kuumentuessa siitä pyrkii luonnollisesti poistumaan kosteus. Kiviaines laajenee, mutta samanaikaisesti sementtikivi kutistuu. Tämän johdosta on ilmeistä, että betonin kaltainen homogeeninen materiaali ei voi säilyä täysin ehjänä, vaan siihen syntyy ainakin mikrohalkeamia. Tulipalon aikana kuumentunut betoni voi olla alkuvaiheessa jopa lujempaa kuin ennen tulipaloa. Sen sijaan betonin jäähtyttyä takaisin käyttölämpötilaan sen lujuus laskee tulipalonaikaisesta lujuudesta. Jäännöslujuuteen vaikuttavat tekijät ovat mm. kiviaines, sementin ja kiviaineksen sekoitussuhde, sementti, olosuhteet betonin jäähtymisjälkeen sekä jäähtymisnopeus. Betonin lämmittäminen kertaalleen noin 200 °C:n lämpötilaan ja tämän jälkeinen hidas jäähtytys alentaa betonin loppulujuutta noin 25 %. Alhaisen lujuuden omaavilla betoneilla suhteellista lujuuden alentumista korkeissa lämpötiloissa tapahtuu vähemmän kuin korkealujuuksisilla betoneilla. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Tulipalon jälkeen voidaan tulipalonaikaista betonin lämpötilaa päätellä betonin värin perusteella seuraavan taulukon mukaisesti: (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Betonin lämpötila	Betonin väri
➤ 300 °C	punertava
➤ 600 °C	harmahtava
➤ 900 °C	ruskehtava, kellertävä

Taulukko 2. Betonin värin muuttuminen lämpötilojen seurauksena (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

3.6 Lohkeilu

Kantavissa rakenteissa betonipeite suojaa betoniteräksiä liian suurelta lämpötilan nousulta. Jotta betonipeite voi suojata raudoitusta, sen täytyy ehdottomasti pysyä paikoillaan vahingoittumattomana. Betonilla on kuitenkin taipumusta lohkeilla, mikäli lämpötila kohoaa voimakkaasti. Lohkeilu siis aiheuttaa oleellisen vaaran kantaville rakenteille palotilanteessa. Täysin aukotonta teoriaa lohkeilulle ei useista maailmanlaajuisista polttokokeista huolimatta ole pystytty johtamaan. Lohkeilua voi siis tapahtua heti tulipalon alkuvaiheessa räjähdysmäisesti tai se voi edetä vasta hyvin korkeissa lämpötiloissa.

Lohkeilua lisääviä tekijöitä ovat:

- 1) Suuri kosteuspitoisuus
- 2) Lämpölaajenemiserot kuuman pintakerroksen ja kylmän sisäkerroksen välillä
- 3) Suuri puristusjännitys
- 4) Ohut poikkileikkaus ja äkilliset poikkileikkauksen muutokset
- 5) Palolle alttiiden pintojen osuus poikkileikkauksen piiristä

- 6) Nopea palotilan lämpötilan nousu
- 7) Tiheä raudoitus
- 8) Kvartsipitoinen kiviaines
- 9) Alhainen huokoisuus

3.7 Kemialliset rasitukset

”Betonin kemiallinen vaurioituminen on yleensä sementti-kiven eri hydrataatio tuotteiden kemiallinen reaktio betonin ulkopuolisten aineiden kanssa.” Sen sijaan betonin osa-aineiden ominaisuuksien tai niiden mukana tulevien sivuaineiden vuoksi vaurioituminen on Suomessa harvinaista. Tämän lisäksi Suomessa käytettävä kiviaines kestää hyvin myös ulkoisia kemiallisia rasituksia.(Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Kemiallisen korroosion perusedellytyksenä on, että haitallisesti vaikuttavien aineiden lisäksi betonissa tulee olla riittävästi kosteutta. Myös haitallisten aineiden pitoisuuden on oltava riittävän suuri. Yleensä betonia vaurioittavat aineet tunkeutuvat siihen veden mukana. Korroosiota edistävät myös liuoksen aiheuttama paine tai sen virtaus, korkea lämpötila ja betonin ajoittainen mahdollisuus kuivumiseen.(Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Kemiallisen rasituksen kestävyyttä voidaan parantaa valitsemalla tilanteeseen sopiva sideainetyyppi. Tämä voi toisinaan estää jopa kokonaan haitallisten kemiallisten reaktioiden tapahtuminen. Mikäli tämä ei ole kemiallisen rasituksen luonteen vuoksi mahdollista, voidaan betonin säilyvyyttä parantaa oleellisesti lisäämällä betonin tiiviyyttä sekä jälkihoitamalla betoni mahdollisimman hyvin. Tämä hidastaa kemiallisten reaktioiden tapahtumista, koska reagoivien aineiden tunkeutuminen betoniin hidastuu. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

3.8 Hapot

Hapot syövyttävät sementtikiven yhdisteitä, koska sementtikivi on emäksistä. Tällöin ne muuttavat kalsiumyhdisteet sementtikivessä kyseisten happojen kalsiumsuoloiksi. Tämä taas johtaa sementtikiven sisäisen rakenteen turmeltumiseen. Vahvojen epäor-

gaanisten happojen liuokset syövyttävät kaikkia sementtikiven yhdisteitä, kun heikot liuokset syövyttävät lähinnä vain kalsiumhydroksidia.(Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Vaurioitumisnopeus happojen vaikutuksesta riippuu hapon aggressiivisuudesta sekä siitä, kuinka suuri määrä happoa pääsee kosketuksiin betonin kanssa tietyssä ajassa. Useimmiten betonin vaurioitumisnopeuden määrää kuitenkin muodostuvien suojojen liukenevuus. Virtaavaan liuokseen suojojen liukeneminen on nopeampaa kuin seisovaan, joten tämä myös lisää vaurioitumisnopeutta. Joissain tapauksissa happojen vaikutuksista syntyy betonin pintaan niin vaikealiukoinen saostumakerros, että betonin korroosio pysähtyy.(Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Ensisijaisesti happojen vaikutus kohdistuu betonin pintaan, josta sementtikiven rakenne turmeltuu kokonaan. Mikäli betoni ei ole riittävän tiivistä, voi siihen tunkeutuva happo aiheuttaa myös vaurioita syvemmillä betonissa. Eri sementtilaaduilla on haponkestävyyden suhteen vain pieniä eroja. Aggressiivisilta kuten orgaanisilta hapoilta voidaan betoni suojata vain käyttämällä sopivaa pinnoitetta.(Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Rikkihappo on muita happoja vaarallisempi, koska sen reaktiotuotteena syntyvät tuotteet, sulfaatit, aiheuttavat myös betonin paisumisvaurioita. Rikkivety ei sinänsä ole vaarallinen betonille, mutta sopivissa olosuhteissa se voi muuttua rikkihapoksi. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Seuraavat kuvat ovat koekappaleesta jota on säilytetty 12 kuukautta 1-prosenttisessä rikkihappoliuoksessa.



Kuva 6. koekappale ennen rikkihappoliuokseen laittamista (KYAMK rakennuslaboratorio)



Kuva 7. Koekappale 12kk jälkeen (KYAMK rakennuslaboratorio)

3.9 Sulfaatit

Betonin ja sulfaattien reagoidessa keskenään sulfaatti-ionit tunkeutuvat betoniin ja reagoivat vain sementtikiven tiettyjen yhdisteiden kanssa. Tapahtumassa syntyvien reaktiotuotteiden tilavuus on suurempi kuin lähtöaineiden, mikä aiheuttaa paisumista sekä halkeilua betonissa. Betonin halkeilu edesauttaa sulfaattien tunkeutumista betoniin, mikä voi lopulta johtaa koko rakenteen sortumiseen. Vaurion muodostuminen edellyttää betonilta riittävän korkeaa kosteuspitoisuutta. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

Sulfaattivaurio:

1. Sulfaatit reagoivat sementtikiven kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kipsiä.
2. Sulfaatti-ionit ja kipsi reagoivat edelleen kalsiumluminaatti-hydraattien kanssa muodostaen ettringiittiä.
3. Etringiitin tilavuus on moninkertainen verrattuna lähtöaineiden tilavuuteen, mikä johtaa paisumiin ja halkeiluun. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

Sulfaattivaurioon vaikuttavat erityisesti ympäristön sulfaattien määrä sekä kosteuden pääsy betoniin. Betonin tiiveys vaikuttaa selvästi sen sulfaatinkestävyyteen ja määrää sulfaatti-ionien tunkeutumisnopeuden. Suurin vaikuttava tekijä betonin sulfaatinkestävyydessä on kuitenkin sementin laatu, jossa vaikuttavin tekijä on trikalsiumluminaattipitoisuus. Riippuen halutusta sulfaatinkestävyydestä voidaan trikalsiumluminaatin pitoisuus rajoittaa 2...8 %:iin. Esimerkiksi suomalaisen sulfaatinkestävän Portland-sementin trikalsiumluminaattipitoisuus on standardien mukaan maksimissaan 3 %. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

Masuunikuonan käyttö parantaa merkittävästi betonin sulfaatinkestävyyttä, mikäli sen osuus sideaineesta on vähintään 70 %. Tämä johtuu siitä, että masuunikuona ei sisällä trikalsiumluminaattia, minkä johdosta sulfaattien aiheuttama ettringiitin muodostuminen vähenee. Tämän lisäksi masuunikuona on riittävän pitkän kuivumisajan jälkeen tiiviimpää kuin Portland-sementti. (Betonyhdistys 2005, BY 201)

4 BETONIRAKENTEIDEN KORJAUS JA PAIKKAUSTYÖT

Tämän kappaleen tarkoituksena on kertoa yleisempiä syitä betonirakenteen vaurioitumiseen sekä esittämään betonin paikkaamisessa huomioon otettavia seikkoja. Yleisellä tasolla ajateltaessa betonin paikkaamiseen olisi useampiakin metodeja, mutta koska työn tilaajan kannalta oleellista on korjaavan toimenpiteen laadun lisäksi myös toimenpiteen vaativa työaika, keskityin vain ilman muotteja tehtävään paikkaamistapaan.

4.1 Betonirakenteiden vauriot ja niiden syyt

Betonirakenteiden vauriot ovat jaettavissa alkuperänsä perusteella neljään ryhmään:

- Valmistusaineista ja suunnittelusta johtuvat vauriot
- Valmistusmenetelmistä johtuvat vauriot
- Käytöstä, rasitusolosuhteista ja katastrofeista johtuvat vauriot
- Suunnitteluvirheet rakenneosien liitoksissa (Betonyhdistys 2005, BY 201)

Työtä koskevissa rikkialtaissa rakenne joutuu alttiiksi seuraaville rasituksille:

- Vaihteleva lämpö
- Kosteusolosuhteet
- Ilman hiilidioksidi
- Kemialliset rasitukset

Edellä mainittujen rasitusten ollessa erittäin haasteelliset sekä toisaalta epäselvien olosuhteiden takia on vaikeaa määrittellä tarkasti, mistä syystä betoni on rapautunut. Laboratoriokokeet betonista kertoisivat enemmän, mutta koekappaleiden poraaminen yksikön ollessa käynnissä on käytännössä mahdotonta. Työni materiaaliosuudessa onkin

esiteltyinä erilaisia korjaukseen soveltuvia materiaaleja ominaisuuksineen sekä tapoja, joita työn tilaaja voi käyttää apuna valitessaan parasta mahdollista korjaustapaa.

4.2 Vaurioanalyysin tekeminen

”Betonirakenteet on tarkastettava ja tutkittava huolellisesti ennen korjaussuunnitelman laatimista. Tarkastuksessa pyritään selvittämään kunkin vaurion syy. Mikäli mahdollista, vaurion aiheuttaja on aina poistettava. Jos rakenteita puretaan vai silmämääräisiin havaintoihin perustuen on erittäin suuri vaara, että korroosio jatkuu perusrakenteessa ja vaurio uusiutuu jopa muutaman vuoden kuluessa.” (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

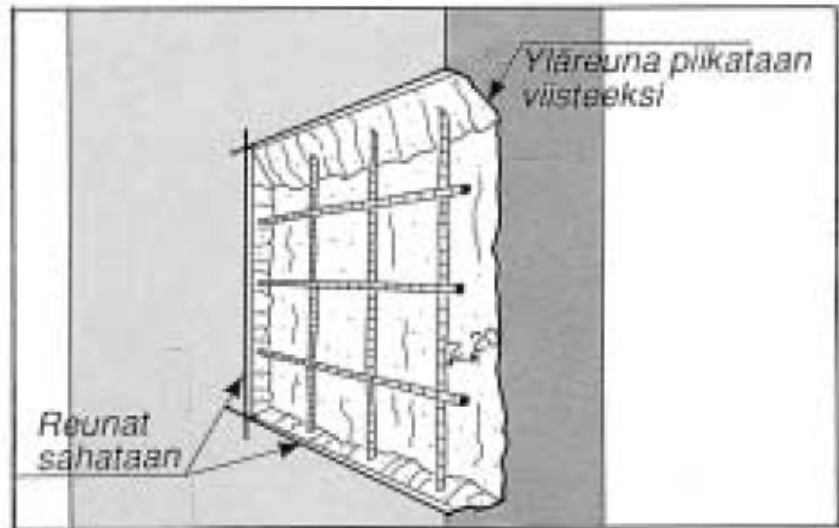
Betonin karbonisoitumissyvyyden määrittämistä varten on rakennetta joko piikattava auki tai porattava rakenteesta lieriönäyte. Paljastettuun pintaan ruiskutetaan fenoliftaleiiniliuosta, joka kertoo värillään, onko betoni emäksistä vai karbonisoitunutta. Pinnan muuttuessa violetiksi on betoni edelleen emäksistä, ja värin pysyessä ennallaan on betoni karbonisoitunut. Karbonisoitumissyvyys saadaan mittaamalla keskiarvo betonin pinnalta värjäytyneeseen betoniin. (Betoniyhdistys 2005, BY 201)

Neste Oilin rikkialtaat ovat jatkuvasti käytössä, mikä omalta osaltaan tekee vaurioanalyysin tekemisen haasteellisemmaksi. Yksikkösisokin aikana altaan betoniin pääsee käsiksi, ja tämän takia vaurioanalyysi pitäisi tehdä mahdollisimman nopeasti. Koepalojen poraaminen ei ole mahdollista käynnin aikana muualta kuin itse altaan kansirakenteesta, jolloin mahdollinen karbonisoitumissyvyys voidaan laskea yksinkertaisesti, kun otetaan huomioon, että koepala on porattu rakenteen ulkopuolelta. Kannen koepalat eivät taas anna realistista kuvaa altaan varsinaisista ongelmakohteista, jotka sijaitsevat noin metrin syvyydessä altaan rikki-pinnan tuntumassa. Sama periaate pätee betonin kloridipitoisuutta sekä kemikaaleista johtuvaa rapautumista määrittäessä ja testit tulisi suorittaa kenttäkokein altaan ollessa auki. Tästä syystä ainoaksi vaihtoehdoksi jää rakenteen piikkaaminen auki, ja korjaustoimenpiteet on päätettävä heti, kun saadaan varmuus, miltä osin betonia on korjattava. Yleisesti ottaen kaikki rapautunut betoni on kuitenkin poistettava sekä tarpeen vaatiessa myös raudoitteet piikkattava riittävässä määrin näkyviin ja puhdistettava siten, ettei rakenteen vaurioituminen jatku raudoitteissa enää korjaavien toimenpiteiden jälkeen.

4.3 Betonin paikkaus ilman muotteja

Piienhköt vauriot betonirakenteissa voidaan korjata ilman muotteja. Käytännössä tämä kuitenkin asettaa toimenpiteelle erityisiä vaatimuksia, jotta lopputulos on riittävän kestävä :

1. Olosuhteiden on oltava valittujen aineiden vaatimusten mukaiset. Paikkaustyön ja paikkauksen kovettumisen aikana rakenteen on oltava kauttaaltaan vähintään +5 °C (laastit) tai +10 °C (massat). Mikäli ulkoilman olosuhteet eivät ole vaatimusten mukaiset tulee kohteessa lisäksi käyttää sääsuojaa. Suositeltava lämpötila paikkasaineiden käytölle on +10... +15 °C. Sopiva lämpötila paikkausaineiden varastoinnille on n. +20 °C.(Tiehallinto 2005, Betonirakenteen paikkaus ilman muotteja)
2. Piikkausrajat tulee määrittää huolellisesti. Käytäntö on osoittanut, että mikäli piikkausraja määritetään liian kapeaksi ja kloridipitoista tai liian karbonatisoitunutta betonia jää rakenteeseen raudoituksen ympärille, johtaa tämä vaurioiden nopeaan uusiutumiseen. Huomiota tulee myös kiinnittää piikkattavan alueen reunoihin (Kuva 8). Piikkauksella on myös merkittävä osa vanhan pinnan tartuntalujuuteen. Vesipiikkausta käyttämällä saavutetaan helpoiten suositeltava 1,5 MPa. Vesipiikkauksen etuna on myös raudoituksen samanaikainen puhdistava vaikutus, joka säästää aikaa muiden työvaiheiden osalta. Piikkaussyvyys tulee ulottua raudoitustangon halkaisijan verran tai vähintään 20 mm uloimpien raudoitteiden taakse, jotta saavutetaan riittävä tartuntalujuus.



Kuva 8. (Tiehallinto 2005, Betoni rakenteen paikkaus ilman muotteja)

3. Paikkauksen tulee olla kiinni alustassaan. Kaikki paikkaukset tulee koputella vasaralla, ja mikäli koputtelusta syntyvä ääni on ”kopo”, tulee paikkaus uusiksi. Mikäli paikkauksen pinta-ala on suurempi kuin 0,25 m², tulee ensimmäisestä paikkauksesta tehdä tartuntavetokoe ja tämän jälkeen vähintään joka viidennestä. Tartuntalujuuden lujuus-suositus on 1,5 Mpa, ja mikäli tämä ei täyty, tulisi paikkaus tehdä uudelleen. (Tiehallinto 2005. Betonirakenteen paikkaus ilman muotteja)

Mikäli raudoitustangoissa on ruostetta, tulee raudoituksen korroosiotila selvittää potentiaalimittauksella tai tankoa tulee piikata esiin pituussuunnassa niin paljon, että ruosteetonta tankoa on näkyvissä vähintään 100 mm. Yleensä raudoituksen korrosio on käynnistynyt myös jo paljastuneen alueen ulkopuolella. Piikkausrajoja määrittäessä potentiaalimittauksella käytettäessä tulee piikata esiin kaikki rauditus jonka potentiaali on negatiivisempi kuin -200 mV. (Tiehallinto 2005. Betonirakenteen paikkaus ilman muotteja)

Vanhan ja näkyviin jäävän betonipinnan karbonatisoituminen ja raudoituksen betonipinnan paksuus tulee selvittää. Karbonatisoituminen saadaan selville halkaisemalla rakenteesta porattu lieriön muotoinen koepala, jonka halkaistulle pinnalle suihkutetaan fenolftaleiiniliuosta, jonka pitoisuus on yksi prosentti. Karbonatisoitumaton betoni värjäytyy välittömästi punaiseksi ja karbonatisoitunut jää harmaaksi. Betonin kloridi-

pitoisuus voidaan tutkia kohteeseen poratusta reiästä eri syvyyksiltä otetun betonijauheen avulla. Raudoituksen betonipeitteen paksuuden tarkistaminen tapahtuu käyttämällä magneettista betonipeitemittaria, mutta tulee huomioida, että mikäli rakenne on runsaasti raudoitettu, voivat tulokset olla harhaanjohtavia. Tällöin voidaan suojapeitteen paksuus määrittää myös poraamalla koepaloja. (Tiehallinto 2004. Sillantarkastusohje)

5 MATERIAALIEN VALINTA

Työtä aloittaessani oli tarkoitukseni löytää altaisiin suoraan soveltuva rakenne. Työn edetessä kuitenkin huomasin, että koska olosuhteet voivat olla häiriötilanteissa hyvinkin aggressiiviset, ei korjaavaa toimenpidettä löydy välttämättä löydy ilman, että rakennetta tai materiaalia ensin testataan altaassa. Osaltaan tämä johtuu epäselvistä olosuhteista, sillä tarvittavien mitoittavien arvojen rajaaminen on pelkkää harkintakykyä käyttämällä mielestäni liian epävarmaa. Tästä syystä käsittelen materiaaleja vain yleisellä tasolla ja tilaaja voi käyttää tutkimustani ohjenuorana rakenteen korjaamisen yhteydessä.

5.1 Sementit

Sementille vaadittavat ominaisuudet määräytyvät häiriötapausten perusteella joissa lämpötilat voivat nousta erittäin korkeiksi sekä altaaseen voi mahdollisesti muodostua rikkihappoa. Tämä tarkoittaa, että betonilta vaaditaan erittäin kovaa lämmönsietokykyä, sulfaatinkestävyyttä sekä mahdollisimman tiivistä pintaa. Mikäli, rikin lämpötila altaassa ylittää 160 °C, johtaa tämä rikkipinnan syttymiseen. Kuvien perusteella betonipinnan yläpuolella on ruskehtavan väristä, joka viittaa yli 900 °C:n lämpötiloihin. Tämän lisäksi altaaseen on mahdollisuus muodostua rikkihappoa.

Aluminaattisementeillä (liite 1) saavutetaan erittäin korkeat lämmönkestävyydet. Näitä sementtejä Suomessa saa Semtu Oy:stä Keravalta sekä Renotech Oy:stä Turusta. Näiden sementtien osalta sulfaattien kestävyys on kuitenkin huono, sillä sulfaattirasituksissa betonilta vaaditaan alhaista C3A-pitoisuutta, joka ei siis tämän sementin kohdalla tule täyttymään. Mikäli aluminaattisementtiä käytetään, niin rakennetta mitoittaessa tulisi pitää mielessä että betoni saa altistua vain lämpörasituksille, ja jonkin muun pinnoitteen tulisi suojata rakennetta sulfaattirasituksilta ja hapoilta.

Mikäli rakenteessa käytetään perinteisempää sulfaatinkestävää sementtiä, joka Suomessa merkitään tunnuksella SR, esimerkiksi Portland tai masuunikuonapohjaista sementtiä, saavutetaan rakenteelle huomattavasti parempi kyky vastustaa sulfaattia sekä happorasituksia, mutta tämä johtaa siihen, että korkeat lämpötilat voivat lohkaista betonia. Pinnan hajoaminen johtaa taas siihen, että sulfaattien kestävyys laskee huomattavasti. Käyttölämpötiloihin sementit riittävät hyvin, mutta häiriötilanteissa ongelmat ovat mahdollisia. Edellä mainittujen lisäksi myös polymeeripohjaisilla sementeillä tai muovibetonilla voidaan saavuttaa parempi kemiallinen kestävyys, mutta koska näiden lämmönkestot ovat jopa huonompia kuin normaalilla Portland-sementillä, en käsittele tuotteita tämän enempää. Pelkkää betonia käyttämällä rapautuminen on myös pitkällä aikavälillä erittäin todennäköistä, vaikka rakenteeseen kohdistuisikin ainoastaan normaalin käytön rasitukset.

Koska mikään sementtilaatu ei täytä haluttuja vaatimuksia kokonaan, tulee korjaavaa rakennetta miettiä 2-osaisena, jolloin sementin betonin tarkoituksena on toimia kantava rakenteena ja vaatimukseksi jää lähinnä kestävä vaadittavat lämpötilat häiriötilanteen jatkuessa pidempään. Tämän lisäksi tulisi ottaa huomioon, että koska rakenteella on ankarista käyttöolosuhteista johtuen lyhyempi käyttöikä, tulisi myös tarkastella rakenteen korjaamista siltä kannalta, että varsinaisen altaan sisäpuolella asetettaisiin kulutettavaksi tarkoitettut betonilaatat, joiden vaihto olisi huomattavasti helpompaa sekä nopeampaa kuin koko valurakenteen korjaaminen.

5.2 Pinnoitteet

Pinnoitteita käyttämällä saavutetaan helposti riittävä haponkestävyys. Tyypillisesti nämä pinnoitteet ovat epoksipohjaisia, minkä johdosta tässäkin tulee ongelmia. Epoksipohjaisten pinnoitteiden käyttölämpötilat ovat yleensä 200-300 °C, joka häiriötilanteissa on auttamatta liian vähän. Tässä kohtaa tuleekin arvioida häiriötilanteiden esiintymismäärä, jotta voitaisiin miettiä, onko perusteltua käyttää pinnoitetta, jota joutuisi näiden tilanteiden jälkeen korjata. Hyvänä puolena pinnoitteiden osalta on, että useimmat ovat helposti levitettäviä, jolloin korjaustoimenpiteet olisi jatkoa ajatellen helpohkoja tehdä. Parhaana tarkoitukseen soveltuvana Epoksipohjaisena pinnoitteena voidaan pitää rikkialtaissa jo testattavanakin olevaa Teke Oy:n MSS 585 -pinnoitetta, joka on testien perusteella on kestänyt jopa 300 °C:n lämpötiloja (liite 2). MSS 585 -pinnoittaminen voidaan myös suorittaa hyväksikäyttäen alueella jo toimivia urakoitsi-

joita, mikä voidaan katsoa myös suureksi eduksi etenkin pinnoitteen mahdollisissa korjaustoimenpiteissä.

Keraamisilla pinnoitteilla saavutetaan korkeampi lämmönkesto, mutta happojen suhteen ei ole varmuutta. Esimerkkinä Kuortaneen Teollisuuspalvelun tarjoama Loctite 7257 -pinnoite (liite 3), jonka lämmönkesto on jopa 1092 °C. Tuotteelle luvataan erittäin hyvät ominaisuudet mekaanisia rasituksia vastaan. Itse pinnoitekerros olisi altaassa noin 6 mm paksu. Tuotteen jälleenmyyjän mukaan tuote voisi sopia kohteeseen, mutta kirjallista dokumentaatiota happojen kestävyys suhteen ei ole. Mikäli rakenteen valinnalle ei ole kiire, olisi hyvä vaihtoehto tietenkin koekappaleen lähettäminen rakennuslaboratorioon rikkihappoliuoskokeeseen. Kyseisen Loctite-pinnoitteen tekeminen vaatisi ilmeisemmin myös ulkopuolisen urakoitsijan käyttöä sekä noin kolmea työpäivää pelkästään altaan pinnoittamiseen. (Alaviitala H. 2010)

Pinnoitteiden yhdistäminen voisi tietenkin olla yhtenä ratkaisuna. Mikäli betonirakenteet korjattaisiin käyttäen erittäin lämmönkestävää keraamista pinnoitetta, joka sitten suojattaisiin epoksipohjaisella happoja kestävällä pinnoitteella, saavutettaisiin myös normaalia käyttöolosuhteita erittäin hyvin kestävä konstruktio sekä häiriötilanteissa korkeita lämpötiloja kestävä pinta. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että mikäli häiriötilanne jatkuu pitkään ja betoni pääsee lämpenemään sisäosistaan liikaa, voi seurauksena olla lohkeamista rakenteessa. Tämän kaltaisessa rakenteessa tulee tietenkin pitää mielessä, että häiriötilanteessa Epoksipinnoitteet palavat, joten altaan pinnoitus tulisi tehdä aina uudelleen tämän kaltaisen tapahtuman jälkeen.

5.3 Teräslevyt

Yhtenä vartenotettavana mahdollisuutena tulisi pitää altaan sisäpinnan vuoraamista teräslevyillä. Tässä tapauksessa rakenteesta tulisi tarkastella, johtaako suurista lämpötiloista johtuva lämpölaajeneminen rakenteen rikkoutumiseen. Heikoimpana paikkana rakenteessa voidaan pitää saumoja. Teräslevyjen käytön yhteydessä tulisi myös käyttää pohjarakenteena alkaliaktivoitua kuonabetonia tai muuta sulfaatinkestävää rakennetta.

Tekniikan tohtori Seppo Matalan mukaan rikkihappoa ajatellen levyjen emalointi olisi yksi vaihtoehto, jota tulisi tarkastella. Emalointi tapahtuu yleensä uunissa, jonka läm-

pötila on n. 900 °C, joten tämä rajaa myös käyttölämpötilan. Tämän enempää en aiheta kuitenkaan käsittele, sillä en löytänyt toimittajaa tai tutkimuksia emaloituille teräslevyille. Levyjen käytössä tulisi huomioida myös mahdolliset lämpölaajenemiset häiriötilanteiden keston perusteella ja selvittää, onko tämä ongelma. Emaloitujen levyjen saumat voivat myös osoittautua haasteellisiksi rakenteensa puolesta. (Matala 2010)

Haponkestävistä teräslevyistä AISI 904L-materiaali luokitellaan rikkihappoa kestäväksi. Tuotteen luvataan pitävän hyvät ominaisuudet myös korkeissa lämpötiloissa. Yli 550 °C:n lämpötiloissa tulee rakenteita mitoittaessa ottaa huomioon myös metallin viruma, joka aiheuttaa lujuuden laskua ajan suhteen. Toisaalta koska kyseessä on vain pinnoitteena toimiva levy, en usko, että lujuuden laskulla on merkittävää vaikutusta johtuen verrattain lyhyistä ajoista, joissa rakennetta kuormittaa normaalia suurempi lämpötila. Huonona puolena ruostumattomien terästen suhteen on, että rikkidioksidi, rikkivety sekä rikkikaasu aiheuttavat usein korroosio-ongelmia. (Outokumpu 2004, Ruostumattomat teräkset)

Levyjä käyttäessä tulisi rakenne suunnitella siten, että levyt limitettäisiin ja hitsattaisiin kiinni. Tällä tavoin saadaan saumarakenteesta mahdollisimman tiivis, sekä työmaalla tehtävä mitoitus helpottuisi. Samanlaista limittämistä hyväksikäyttäen tulisi tehdä myös kulmat sekä altaan pohjan ja seinämien väliset liitokset. Käytännössä limittämällä altaan kulmat pyöristyvät jossain määrin, mutta koska rikkipinta altaassa sijaitsee noin metrin kansion alapuolella, ei altaan tilavuuden muutoksella ole vaikutusta. Hitsisaumat tulee lopuksi käsitellä kemiallisesti peittaamalla, jotta saavutetaan perusaineen tasoinen korroosionkestävyys. Itse levyt voi ankkuroida betoniin käyttämällä tarkoitukseen sopivia, riittävän pitkiä kiila-ankkureita tai tankoja, joiden tulee olla haponkestäviä. Asennettaessa ankkureita pitää ensin kartoittaa altaan raudoitus esimerkiksi betonipeitemittaria käyttäen. Ankkurit eivät saa olla suorassa kosketuksessa raudoitukseen, sillä tämä johtaa raudoituksen nopeaan turmeltumiseen terästen sekä ankkurin muodostaessa galvaanisen parin. Mikäli ankkurit joudutaan kuitenkin poraamaan raudoituksen päälle, tulisi asennusreiän olla n. 1,5 kertaa suurempi kuin itse ankkurin ja käyttää injektiomassaa varmistaen, ettei kosketusta raudoituksen kanssa pääse syntymään. Mikäli menetelmää käytetään, tulee betonirakenne korjata asianmukaisesti jo aiemmin mainittuja periaatteita hyväksikäyttäen.

5.4 Haponkestävät tiilimuuraukset

Haponkestävillä tiilillä muuraamisella saavutetaan sekä haponkestävä rakenne että melko hyvä lämmönsietokyky. Lisäksi tiilelle ominaista on pieni lämmönjohtavuus, minkä seurauksena myös taustarakenne olisi paremmin suojattu mahdollisen häiriötilanteen jatkuessa pidempiä aikoja. Mitoittavaksi tekijäksi muurauksissa muodostuu laastin ominaisuudet.

Tek-Mur Oy:n maahantuoman DSB Säurebau GmbH:n Dider SF (liite 4) tiilillä sekä Stellakit AE laastilla (liite 5) saavutetaan 450 °C:n lämpötiloja sekä happoja kestävä rakenne. Vastaavanlaisissa kohteissa kuten Saksan Shellillä sekä Itävallan OMV:llä on käytetty juuri tätä yhdistelmää samankaltaisissa altaissa. Kuvassa 9 näemme vastaaventyyppisen rikinpolttoaltaan joka on muurattu haponkestävillä tiilillä. (Forström M. 2010)

Muurauksen yhteydessä tulisi alle jäävä betonirakenne tutkia sekä korjata mahdollisimman tarkasti, jotta piiloon jäävä kantava rakenne ei ajan saatossa hajoa esimerkiksi jo alkaneen karbonatisoitumisen takia. Samaten altaassa sijaitsevien höyryputkien sekä muiden altaan toimintaan liittyvien osien osalta tulee tarkastella, pitääkö näitä muuttaa altaan uusien sisädimensioiden takia.



Kuva 9. ”Sulfur melting pit” (Forström M. 2011)



Kuva 10. “Dividing wall in a Sulfur melting pit” (Forström M. 2011)

6 YHTEENVETO

Häiriötilanteiden vallitessa rikkialtaissa on toistaiseksi vielä liian epäselvät olosuhteet, jotta korjaavan rakenteen voisi mitoittaa kestävästi kaikkia mahdollisia rasituksia. Mikäli oletetaan, että altaissa vallitsee häiriötilanteissa yli 900 °C:n lämpötilat, sekä vaaditaan rakenteelta kestävyyttä happojen suhteen, en usko, että ongelmaa voi paperilla suoraan ratkaista.

Tulevaisuudessa olisi tilaajan kannalta hyvä dokumentoida häiriötilanteita siinä määrin, että korjaussuunnitelmaa tehtäessä voitaisiin tarkistaa rikkipinnan palamisen kesto sekä häiriötilojen määrä ja mahdollisesti jopa tämän myötä arvioida lämpötilaa altaassa sekä betonirakenteessa. Häiriön aikana voisi myös olla mahdollista arvioida lämpötilaa käyttämällä hyväksi jonkinlaista lämpösäteilymittausta. Altaassa olevasta rikistä voisi myös selvittää laboratoriokokein mahdollisen rikkihapon määrän.

Pelkkä rikki jo itsessään asettaa betonille kovia vaatimuksia sulfaatinkestävyyden suhteen, joten toisenlainen pinnoitus voisi olla kohdallaan pitkää aikaväliä ajatellen. Useimmissa pinnoitteissa määrääväksi tekijäksi muodostuu lämmönkesto-ominaisuudet, mutta mikäli häiriötiloja esiintyy altaissa harvoin, niin tulisi miettiä onko tarpeellista mitoittaa rakennetta tämän kaltaisiin tilanteisiin vai onko helpompaa

vain suorittaa korjaavia toimenpiteitä tasaisin väliajoin. Betonirakennetta ei kuitenkaan tulisi altistaa tämän kaltaiselle rasitukselle missä, rakennetta joudutaan paikkaamaan, sillä käytäntö on osoittanut, että paikka on harvoin yhtä vahva kuin alkuperäinen betonipinta.

Teräslevyjä käyttäessä haasteeksi muodostuu emaloitujen levyjen kohdalla itse rakenne, jotta altaasta saadaan tiivis. Rakenteen voi aina suunnitella, mutta mikäli toteutus on käytännössä mahdoton tai äärimmäisen vaikea toteuttaa, tulee miettiä, kannattaako koko urakkaan edes ryhtyä. Haponkestävissä levyissä tilanne on parempi hitsattavuuden takia, mutta tällöin tulisi mitoitusta varten tehdä selvät lämpötilarajat sekä kestot, jotta voitaisiin tarkistaa mahdolliset korkeista lämpötiloista johtuvat ongelmat.

Haponkestävien tiilien osalta tilanne on siinä mielessä positiivinen, että vastaavanlaisissa altaissa on samanlaisia ratkaisuja tehty jo aikaisemminkin. Tiilien kanssa mitoitettava tekijä on kuitenkin laasti, joka rajaa lämmönkestoksi 450 °C.

Työtä aloittaessani pidin todennäköisenä, että löydän suoraan jonkin altaisiin sopivan ratkaisun, mutta ongelma osoittautuikin luultua hankalammaksi. Toisaalta olen varma että työstäni on kuitenkin hyötyä Neste Oil Oyj:lle altaiden korjaustapaa miettiessä, joten kaikki vaivannäköni ei ole mennyt hukkaankaan.

LÄHTEET

Alaviitala H. 2010. Sähköpostikeskustelu. Kutepa Oy

Betoniyhdistys 2005. BY 201 Betonitekniiikan oppikirja Jyväskylä. Gummerrus kirjapaino Oy.

Forström M. 2011. Sähköpostikeskustelu. Tek-Mur Oy

Forström M. 2011. Kuvia haponkestävistä tiilimuurauksista. Tek-Mur Oy

Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Rakennuslaboratorio, Anna Eskola 2011. Kuvat rikkihappoliuskokeesta.

Matala S. Tkt. 2011. Sähköpostikeskustelu

Mikkeli T. 2010. Kuvia altaista

Neste Oil Oyj 2010. Rakennekuva rikkialtaasta

Outokumpu 2004. Ruostumattomat teräkset. Teknologiateollisuus Oy : Saatavissa : http://www.outokumpu.com/applications/upload/pubs_1220142259.pdf [Viitattu 20.3.2011]

Tiehallinto 2004. Sillantarkastusohje. Suunnittelu ja toteusvaiheen ohjaus. Saatavissa : <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillantarkastusohje2004.pdf> [Viitattu 1.3.2011]

Tiehallinto 2005. Betonirakenteet, paikkaus ilman muotteja. Tampereen Ecuprint Oy 2005. Saatavissa : <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2231.pdf> [Viitattu 1.3.2011]

Tepponen P. 2011. Sähköpostikeskustelu. Semtu Oy

Wikipedia 2011. Rikki. Saatavissa : <http://fi.wikipedia.org/wiki/Rikki> [Viitattu 25.4.2011]