

NOSTURIRATOJEN BETONIPILAREIDEN KORJAUSVAIHTOEHDOT

Consolis Parman Forssan tehtaalla



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, rakennusmestari AMK

kevät, 2020

Seppo Mattinen

Koulutus	Rakennusmestari, AMK	
Kampus	Visamäki	
Tekijä	Seppo Mattinen	Vuosi 2020
Työn nimi	Nosturiratojen betonipilareiden korjausvaihtoehdot	
Työn ohjaaja/t	Ville Pulkkinen, Markus Suominen	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä keskityttiin antamaan työn tilaajalle, Markus Suomiselle, Consolis Parman Forssan tehtaiden johtajalle, laaja tietopaketti nosturiratojen betonipilareiden kunnostamiseksi. Vaikka työ on otsikoitu pitämään sisällään korjausvaihtoehdot, haettiin sen lisäksi tietoa myös betonin vaurioitumisen syistä ja siitä, miten vaurioita voidaan tutkia. Tämän tiedon kerääminen kunnostushankkeen tilaajalle tai siitä päättävälle taholle oli tärkeää, jotta he voisivat luoda kokonaiskuvan tilanteesta ja suhteuttaa korjaustyön tarpeen isompaan, koko tehdasaluetta koskevaan tai vieläkin suurempaan kokonaisuuteen. Toivottavasti opinnäytetyö tarjoaa myös jonkinlaista selkänöjää tilaajalle mahdollisissa tarjouskilpailutuksissa sekä muutenkin asioidessaan korjaushankkeen kuntotutkijoiden, suunnittelijoiden tai urakoitsijoiden kanssa. Tiedonnälkä kasvoi prosessin aikana ja ajoi hakemaan vastauksia siihen, miksi betoni on voinut vaurioitua ja mitä tilanteelle on tehtävissä.

Avainsanat Vauriomekanismi, kuntotutkimus, korjausvaihtoehdot

Sivut 77 sivua, joista liitteitä 13 sivua

Degree Programme in Construction Management
Hämeenlinna University Centre

Author	Seppo Mattinen	Year 2020
Subject	Repair options for overhead crane supporting pillars	
Supervisors	Ville Pulkkinen, Markus Suominen	

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by Consolis Parma Forssa Mill. The purpose of the thesis was to draw up a comprehensive information package for the repair of concrete columns on crane tracks including repair options. In addition, information about the reasons for damages of concrete and how to examine the damages were collected. It is important for the contractor or the person deciding on the renovation project to get an overall picture of the situation and relate the need for repair to a large, plant-wide or even larger entity.

As a result, the thesis provides the commissioner with some back up information on repair in any bidding competition or otherwise when dealing with building investigators of concrete structures, designers or contractors.

Keywords Causes of concrete damages, investigation of concrete structures, repair options

Pages 77 pages including appendices 13 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BETONIRAKENTEIDEN SÄILYVYYDESTÄ	3
2.1	Yleistietoa.....	3
2.2	Nosturiradat	5
3	BETONIN VAURIOIDEN AIHEUTTAJAT	5
3.1	Teräskorroosio	6
3.1.1	Yleistietoa betoniraudoituksen korroosiosta.....	6
3.1.2	Karbonatisoituminen	6
3.1.3	Kloridit	8
3.2	Rapautuminen.....	9
3.2.1	Pakkasrapautuminen.....	9
3.3	Kemialliset rasitukset	11
3.3.1	Yleistä.....	11
3.3.2	Pehmeä vesi eli sementtipastan hydrolyysireaktio.....	11
3.3.3	Hapot	12
3.3.4	Sulfaatti.....	13
3.3.5	Ettringiittireaktio	13
3.3.6	Alkalikiviainesreaktio	14
3.4	Biologiset rasitukset	15
3.5	Ulkoisten mekaanisten vaurioiden syyt	15
3.5.1	Kulutus.....	15
3.5.2	Törmäys	15
3.5.3	Ylikuorma.....	16
3.5.4	Liikkuminen.....	16
3.5.5	Värähtely	16
3.5.6	Räjähdyt.....	16
4	PILAREIDEN NYKYISEN KUNNON SELVITTÄMINEN.....	17
4.1	Kuntoarvio vai kuntotutkimus.....	17
4.2	Kuntotutkimus.....	17
4.2.1	Kuntotutkimuksen suunnitteleminen	17
4.2.2	Tutkimusmenetelmät	19
4.2.3	Korroosion tutkiminen	19
4.2.4	Rapautumisen tutkiminen	20
4.2.5	Kiinnitykset, kannatukset ja sidonnat	21
4.2.6	Kosteustekninen toimivuus	21
4.2.7	Pintakäsittelyjen vauriot.....	22
4.2.8	Halkeamat.....	22
4.2.9	Aiempien korjausten vaikutus nykykuntoon.....	22
4.2.10	Muita mittausmenetelmiä.....	22
4.2.11	Tulosten analysointi ja työn luovutus tilaajalle	23

5	BETONIRAKENTEIDEN KORJAUS	23
5.1	Yleistä	24
5.2	Korjausperiaatteet ja -tavat	25
5.3	Korjausperiaatteen ja -tavan valinnasta	28
5.4	Korjaustyön suunnittelu	28
5.5	Mallityöt	29
5.6	Korjattavien pilareiden korjausten laajuuden määrittäminen ja mittaaminen	29
5.7	Vauriokohtien paikallistaminen	30
5.7.1	Yleistä.....	30
5.7.2	Rapau mavaurioiden paikallistaminen	30
5.7.3	Raudoitteiden korroosioaurioiden paikallistaminen	31
5.7.4	Halkeamien paikallistaminen	32
5.8	Korjattavien pintojen esikäsittely	32
5.8.1	Esikäsittely lyhyesti.....	32
5.8.2	Betonin poisto	32
5.8.3	Raudoituksen lisääminen	33
5.8.4	Pinnan puhdistus	34
5.8.5	Pinnan kostutus	34
6	KORJAUSVAIHTOEHTOJA	35
6.1	Laastipaikkaukset	35
6.1.1	Yleistä.....	35
6.1.2	Betonin poistaminen vauriokohdasta	36
6.1.3	Raudoitteiden ja betonin puhdistus ja esikastelu	37
6.1.4	Korroosiosuoja-aineen levitys	37
6.1.5	Tartuntalaastin levitys	37
6.1.6	Paikkauslaastin levitys	37
6.1.7	Pinnan ylitasoitus.....	38
6.1.8	Jälkihoito.....	38
6.1.9	Pintakäsittely	38
6.2	Ruiskubetonointi	39
6.2.1	Yleistä.....	39
6.2.2	Kuivaseosmenetelmän toimintaperiaate	39
6.2.3	Ruiskubetonin ominaisuuksista	40
6.2.4	Ruiskubetonoinnin valmistelu	41
6.2.5	Ruiskutus	42
6.2.6	Viimeistely	43
6.2.7	Jälkihoito.....	43
6.3	Valukorjaus.....	43
6.3.1	Yleistä.....	43
6.3.2	Pilarin tuenta ennen työn alkua	44
6.3.3	Vaurioituneen betonin poistaminen	44
6.3.4	Raudoituksen ja betonin puhdistus.....	44
6.3.5	Raudoituksen vahvistaminen ja lisääminen	45
6.3.6	Tartunnan varmistaminen	45
6.3.7	Korjausbetonin valinta.....	46
6.3.8	Muotin valinta	47
6.3.9	Valu	47

6.3.10	Jälkihoito.....	48
6.4	Halkeamien korjaus.....	48
6.4.1	Yleistä.....	48
6.4.2	Injektointi.....	49
6.4.3	Imeyttäminen	51
6.4.4	Pinnoittaminen	51
6.4.5	Laastipaikkaus.....	52
6.4.6	Liikuntasaumaksi muuttaminen	52
6.5	Pintakäsittely.....	52
6.5.1	Yleistä.....	52
6.5.2	Pintakäsittelyjen luokittelu ominaisuuksien perusteella	53
6.5.3	Oikean pintakäsittelyn valinta	53
6.5.4	Alustan vaatimustaso	54
6.5.5	Pinnoitus ja jälkihoito	54
6.6	Uudelleen alkointi	55
6.7	Katodinen suojaus	56
6.8	Sähkökemiallinen kloridien poisto	56
6.9	Uusi rakenne	56
7	NOSTURIRADAT	58
7.1	Yleistä	58
7.2	Linjan nosturirata	58
7.3	Keskusraudoittamon nosturirata	59
7.4	Hormihallin nosturirata.....	60
7.5	ET-hallin nosturirata.....	61
7.6	Ontelolaattatehtaan nosturiradat.....	61
8	POHDINTOJA.....	62
	LÄHTEET.....	63

Liitteet

Liite 1	Julkisivutehtaan ulkopuolella olevat nosturiradat: pohjakuva
Liite 2	Linjan ulkopuolella oleva nosturirata: pohjakuva ja numerointi
Liite 3	Linjan ulkopuolella oleva nosturirata: kuvia vaurioista
Liite 4	Keskusraudoittamon ulkopuolella oleva nosturirata: pohjakuva ja num.
Liite 5	Keskusraudoittamon ulkopuolella oleva nosturirata: kuvia vaurioista
Liite 6	Hormihallin ulkopuolella oleva nosturirata: pohjakuva ja numerointi
Liite 7	Hormihallin ulkopuolella oleva nosturirata: kuvia vaurioista
Liite 8	Erikoistuotehallin ulkopuolella oleva nosturirata: pohjakuva ja num.
Liite 9	Erikoistuotehallin ulkopuolella oleva nosturirata: kuvia vaurioista

1 JOHDANTO

Consolis Parman Forssan tehdas on yksi Suomen vanhimmista toiminnassa olevista betonielementtitehtaista. Vanhimmat opinnäytetyön käsittelemät betonipilarit on valmistettu vuonna 1963, jolloin ensimmäinen tuotantolaitos alueelle syntyi Armas Puolimatkan aloitellessa betonielementtien massatuotantoa rakennusliikkeelleen. Tehdas on sen jälkeen laajentunut vaiheittain ja viimeiset nosturiradat ovat valmistuneet 1980-luvulla. Vanhinkin nosturiradoista on edelleen täydessä käytössä. Kuitenkin Suomen ankara ilmasto on jo jättänyt merkkinsä sen ulkona oleviin betonipilareihin aiheuttaen silmin havaittavia vaurioita. Lisäksi nykyiset betonielementit ovat kooltaan ja painoltaan suurempia, kuin yli viisi vuosikymmentä sitten, jolloin tehtaalla valettiin kivet Suomen ensimmäisiin elementtilähiöihin. Myös ajan mukanaan tuoma karbonatisoitumisen eteneminen yli viisikymmenvuotiaassa betonissa olisi hyvä selvittää. Näistä syistä radan kuntoa olisikin syytä tutkia hieman tarkemmin. Muissa nosturiradoissa silmämääräiset vauriot ovatkin vähäisempiä ja korjaustyö olisi sitä myöten hieman kevyempää.

Olen työskennellyt alueella reilut pari vuotta ja kiinnitin tuolloin huomioni vanhimpien ulkona olevien betonipilareiden kuntoon. Kun sitten HAMK toi raksapuolen kansainvälisen luokkansa tehdaskäynnille Forssaan, päätin näyttää pilareiden heikkoa kuntoa eräälle ryhmän mukana olleelle opettajalle, Ville Pulkkiselle. Noihin aikoihin kävin hänen korjausrakentamisen luennoillaan ja yksi aiheista oli betonirakenteiden korjaaminen. Hän totesi tuossa yhteydessä minulle, että miksi et tekisi opinnäytetyötä betonipilareiden korjauksesta ja tässä sitä nyt sitten ollaan...Aiheeseen tutustuttuani sen laajuus alkoi vähitellen valjeta minulle, sillä halusin selvittää asiaa kokonaisvaltaisesti, enkä keskittyä vain yksityiskohtiin. Kuitenkin opinnäytetyöhön käytettävissä oleva aika (sekä tekemiseen, että sen lukemiseen) on rajallista ja siksi koitin olla uppoutumatta eri aiheisiin liian syvästi. Tämä saattaa ilmetä siinä, että jotkin aiheet tuntuvat olevan hieman pintapuolisemmin käsitelty, kuin jotkin toiset. Kuitenkin asioiden esittämiseen kulutettu energia ja palstamillimetrit ovat seurausta myös siitä, että jotkin asiat vain ovat monimutkaisempia ymmärtää, kuin jotkin toiset ja vaativat siksi enemmän tilaa.

Kaikki julkisivutehtaan nosturiradat kulkevat sisältä ulos, ts niillä voi kuljettaa valmiit elementit ulos hallista ja tuoda esimerkiksi raudotteita ulkoa sisälle. Sisäpuolella olevat pilarit ovat silmämääräisesti hyväkuntoisia ja suurimmat vauriot ja akuutein korjaustarve näyttäisi olevan ulkona sijaitsevilla pilareilla.

Myös pilareiden kannatteleman kiskoston kunto ja kiskostonkiinnitys betonipilareihin jää työni ulkopuolelle. En myöskään tee minkäänlaisia arvioita pilareiden kantavuudesta tai niiden perustuksista, sillä kaikki pilareihin liittyvät asiakirjat ja piirustukset ovat jossain vaiheessa tuhoutuneet. Ainoat rakennekuvat löysin Forssan kaupungin lupavalvonnan arkistosta ja ne oli piirretty kehänosturiradasta, joka on myös tämän työn ulkopuolella.

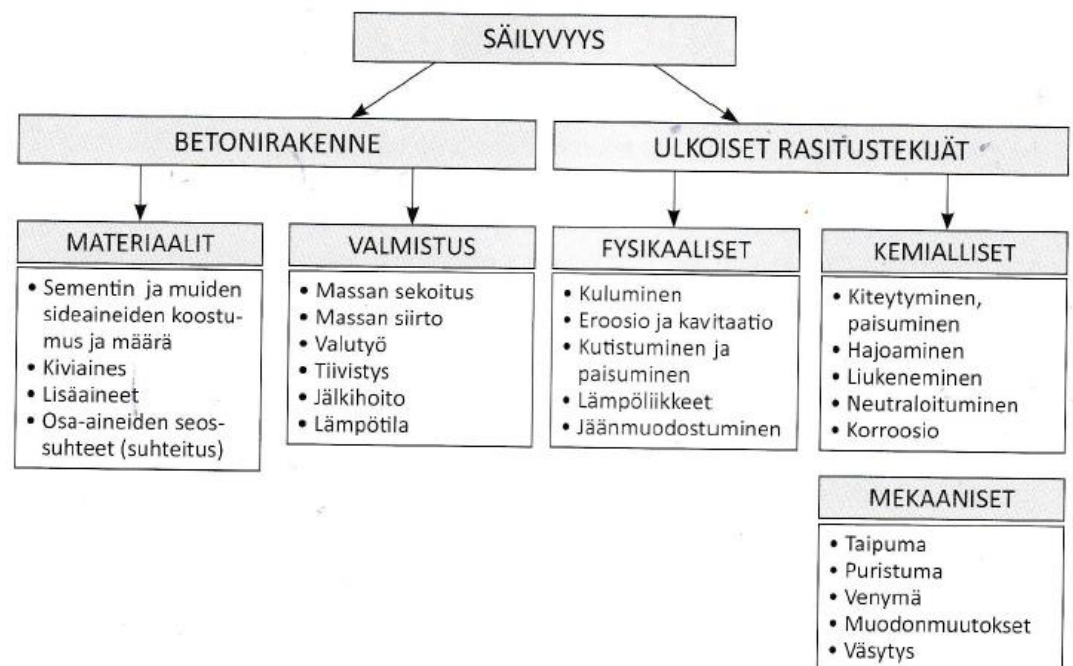
Toisin sanoen, keskityn vain betonivaurioiden syntymekanismiin, korjaustarpeen selvittämiseen kuntotutkimuksen avulla ja eri korjausmenetelmiin. Pyrin pohdinnoissani löytämään sellaiset korjausvaihtoehdot, jotka olisi mahdollista toteuttaa tehtaan normaaleiden huoltoseisokkien aikana. Korjausasteen määrittäminen tulee tehdä sitten, kun varsinaiset tutkimukset on tehty ja tulokset on analysoitu.

2 BETONIRAKENTEIDEN SÄILYVYYDESTÄ

2.1 Yleistietoa

Säilyvyydellä tarkoitetaan yleisesti sitä, että betonirakenne pysyy ominaisuuksiltaan vaaditulla tasolla tietyn ajanjakson, jota kutsutaan sen suunnittelukäyttöiäksi. Suunnittelukäyttöiän saavuttaminen vaatii rakenteelta sen alkuperäisen suunnitelman mukaista käyttöä ja normaaleja huolto-toimenpiteitä. Näin sen tulisi saavuttaa suunnittelukäyttöikänsä ilman korjaustarvetta, jonka jälkeen korjaustoimenpiteillä käyttöikä voidaan edelleen jatkaa. (BY 201, 2018, s. 99)

Säilyvyyteen vaikuttaa kaksi eri kokonaisuutta: Betonirakenne ja sen ulkoiset rasitustekijät (Liite 10). Betonin rakennetta on määritelty erilaisilla normituksilla, joita on aika ajoin päivitetty uusien tutkimustulosten ja kokemusten perusteella. Nykymääräysten mukaisilla betonirakenteilla säilyvyys saattaa olla taattu käyttöiän loppuun asti ilman korjaustoimenpiteitä, mutta varmuudella asian voi todeta vasta seuraavat sukupolvet 50, 100, 200 tai vaikka 300 vuoden kuluttua riippuen määritetystä käyttöiästä.



Kuva 4.2. Betonirakenteen säilyvyyteen vaikuttavat sekä betonin materiaalitekniset ominaisuudet ja valmistustekniikka että rakenteeseen kohdistuvat ulkoiset rasitustekijät.

Kuva 1. Betonirakenteen säilyvyyteen vaikuttavat tekijät (BY 201,2018, s. 100)

Jotta ulkoisia rasitustekijöitä voisi paremmin huomioida suunnittelussa, on ne jaettu erilaisiin rasitusluokkiin ja nämä eri rasitusluokat on vielä jaettu rasituksen voimakkuuden perusteella alaluokkiin (punainen reunus).

Pääloukka	Rasitustekijä	Alaluokan merkintä	Olosuhdekuvaus
X0	Ei korroosioriskiä betonille tai raudotteille	X0	Betoni sisätiloissa, jossa ilman kosteus on hyvin alhainen
XC	Karbonatisoituminen	XC1	kuiva tai jatkuvasti märkä
		XC2	Kostea, harvoin kuiva
		XC3	Kohtalaisen kostea
		XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen
XD	Kloridien aiheuttama korrosio	XD1	Kohtalaisen kostea
		XD2	Kostea, harvoin kuiva
		XD3	Kostea ja kuiva vaihtelevat
XS	Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korrosio	XS1	Betonia rasittavat tuulen mukana tulevat kloridit, ei suoraa kosketusta veteen
		XS2	Veden alla
		XS3	Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä
XF	Jäätymis-/sulamisrasitus	XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
		XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
	Jäätymis-/sulamisrasitus ja suolarasitus	XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
		XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XA	Kemiallinen rasitus	XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö
		XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen
		XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö

Kuva 2. Betonin rasitusluokat (HAMK:n kurssimateriaali, 2019, s. 40)

Näiden rasitusluokkien lisäksi liikennevirasto on kehittänyt oman luokituksensa, joita se vaatii käytettävän tilaamissaan infra-rakentamisen kohteissaan. Näitä rasitusluokkaryhmiä on neljä ja ne ovat kuvassa 3.

Rasitusluokkaryhmä 1	Rasitusluokkaryhmä 2	Rasitusluokkaryhmä 3	Rasitusluokkaryhmä 4
Päällysrakenteen kansirakenne, maatuot, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (talvihoitoluokka Is tai I). Betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.	Päällysrakenteen kansirakenne, maatuot, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (talvihoitoluokka Ib, TIb tai II). Betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.	Siltarakenteet meren rannalla.	Silta ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.

Kuva 3. Väylä- ja siltarakentamisen rasitusluokkaryhmät (Betoniakatemia, 2019, s.27)

2.2 Nosturiradat

Nosturiratojen pilareissa on silminnähden vaurioita. Tästä voisi päätellä, että ne eivät ole säilyneet kovin hyvin valmistusajankohdasta tähän päivään.

Nosturiratojen pilareista ei ollut saatavissa suunnitteluasiakirjoja, joten niiden rakenteen säilyvyyden määrittäminen jää mahdollisen kuntotutkimuksessa saadun tiedon varaan. Rakennusajankohdista voi päätellä toki jotain materiaalin vahvuuksista ja laadusta, mikäli rakenteet on toteutettu sen aikaisten normien mukaan.

Käyttötarkoitus ei pohjimmiltaan ole muuttunut, mutta nykyiset elementit ovat varmasti painonsa ja kokonsa puolesta suurempia, kuin alun perin on suunniteltu. Huoltotoimenpiteitä ei varmaankaan ole aina muistettu suorittaa ajallaan päätellen joidenkin vaurioiden tilasta.

3 BETONIN VAURIOIDEN AIHEUTTAJAT

3.1 Teräskorroosio

3.1.1 Yleistietoa betoniraudoituksen korroosiosta

Betoniraudoituksen korroosiossa eli ruostumisessa on kysymys sähkökemiallisesta reaktiosta, jossa teräksen ainesosat pyrkivät palautumaan luonnossa esiintyviin muotoihinsa saavuttaakseen lopulta niin sanotun energiaminimin eli oktetin (8 elektronia) uloimmalle elektronikuorelleen.

Korroosiossa raudoitteen pinnasta liukenee ympäristöön materiaalia, ns korroosiotuotteita. Tällä on kaksi haitallista vaikutusta:

1. Raudoitteen poikkipinta-ala pienenee ja ankkuroituminen betoniin heikkenee, jolloin rakenteen kantavuus laskee
2. Korroosiotuotteet vaativat liuetessaan jopa neljä kertaa alkuperäistä suuremman tilan, josta on seurauksena halkeamia ja lohkeamia ympäröivässä betonissa

Normaalitilanteessa betoniraudoitteet ovat hyvässä suojassa betonipeitteen ympäröimänä. Riittävän paksu ja tiivis betonikerros estää fysikaalisesti monien haitallisten aineiden pääsyn teräksiin asti. Betonin korkea alkalisuus (pH 13-14) muodostaa terästen pinnalle ohuen oksidikalvon, joka estää sähkökemiallisen korroosion. Tämä ns passivoituminen antaa teräksille kemiallisen suojan.

Korroosio voi alkaa vain silloin, kun betonissa tapahtuu muutoksia, jotka poistavat kemiallisen tai fysikaalisen suojan raudoitteilta. Kemiallisen suojan pettäessä teräksiä suojaava kalvo häviää ja raudoitteiden aktiivinen korroosio voi alkaa. Kalvon häviämiseen on yleensä syynä joko betonin karbonatisoituminen tai betonin sisältämät kloridit.

Fysikaalisia muutoksia ovat halkeilu ja rapautuminen. Varsinkin klorideiden pääsy betonin sisälle nopeutuu huomattavasti halkeamien ollessa yli 0,3 mm levyisiä ja seurauksena oleva pistemäinen korroosio voi olla hyvinkin nopeaa. (BY 201, 2018, s. 108)

Ajanjaksoa, jolloin betonin suojauskyky menetetään, kutsutaan korroosion käynnistymisvaiheeksi ja varsinaisen fyysisen korroosion alkamisesta alkaa aktiivinen korroosio, joka päättyy korjaustoimenpiteisiin tai raudoitteen häviämiseen. (BY 42, 2013, s. 20)

3.1.2 Karbonatisoituminen

Betonin korkea pH, 13-14, on peräisin sementin hydrataatiossa syntyneestä kalsiumhydroksidista, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Karbonatisoituminen tarkoittaa betonissa olevien kalsiumhydroksidin ja kalsiumsilikaattihydraattigeelin reagoimista ilmassa olevan hiilidioksidin, CO_2 , kanssa. Tämä kemiallinen reaktio tapahtuu kaikkialla betonin pinnalla, missä betoni on kosketuksis-

sa ilman kanssa ja sen jälkeen se alkaa siirtyä asteittain betonin sisälle. Sen seurauksena betoni sitoo ilmakehän hiilidioksidia ja betonin pH laskee. Peruskaavasta, $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, on nähtävissä, että kemiallisessa reaktiossa muodostuu kalsiumkarbonaattia ja vettä, joka toimii sekä elektrolyytinä, että osana katodia korroosiovirtapiirissä. Korroosiovirtapiirissä rauta (=anodi) hapettuu antaessaan kaksi elektronia hapen ja veden yhdistelmälle (=katodi), joka pelkistyy. Hiilidioksidin imeytyminen betoniin luo siis otolliset olosuhteet ruostumiselle poistamalla suojaavan oksidikalvon ja antamalla ruostumisreaktion ainesosia.

Karbonatisoituminen etenee rintamana betonin pinnalta sisäänpäin. Kemialliset reaktiot tapahtuvat vyöhykkeellä, johon kulkeutuu rakenteen sisältä hydroksideja ja ulkopuolelta ilmassa olevaa hiilidioksidia. PH-arvo tällä vyöhykkeellä on enää luokkaa 8,5. Betonin emäksisyyden laskiessa alle pH 9:n rauditus menettää passiivisuutensa ja alkaa ruostua. (BY 201, 2018, s. 108)

Karbonatisoitumisen etenemisnopeus betonissa riippuu monesta tekijästä. Nopeus kuitenkin hidastuu merkittävästi, mitä syvemmälle betoniin mennään, sillä ilman hiilidioksidin kulku karbonatisoitumisvyöhykkeelle vaikeutuu. Betonin tiiveydellä on siten merkittävä vaikutus karbonatisoitumiseen ja siihen voidaan vaikuttaa betonin koostumuksella ja oikeaoppisella valutekniikalla sekä jälkihoidolla. Tiiveyden lisäksi betonin kyky sitoa hiilidioksidia vaikuttaa karbonatisoitumisnopeuteen. Mitä suurempi sideaineen kalkkipitoisuus on, sitä enemmän betoni sitoo hiilidioksidia ja sitä hitaampaa on myös karbonatisoituminen. Kalsiumyhdisteiden lisäksi saadaan lisäämällä sementin määrää. (BY 201, 2018, s. 113) Mainittakoon vielä, että karbonatisoitumisnopeuteen vaikuttaa myös merkittävästi ilman kosteuspitoisuus. Jos ilman suhteellinen kosteus on alle 30 % (erittäin kuiva sisätila), karbonatisoituminen käytännössä pysähtyy. Suhteellisen kosteuden ollessa 50-60% se on nopeimmillaan. Betonin ollessa märkää, karbonatisoituminen ei etene lainkaan, sillä betonin huokokset ovat täyttyneet vedellä, eivätkä voi siten kuljettaa hiilidioksidia. Tästä seuraa, että ulkona sateelta suojassa olevat rakenteet karbonatisoituvat nopeammin kuin vedelle jatkuvasti altistuvat rakenteet. Hyvänä esimerkkinä tästä voisi olla vaikka parvekelaatta, jonka alapuolella karbonatisoituminen on nopeampaa yläpuolen ollessa usein märkä. Lisäksi myös pintakäsittely vaikuttaa nopeuteen siten, että esimerkiksi em parvekelaatan yläpuoli on ollut muottia vasten ja alapuoli on saatettu hiertää tai harjata, jolloin sen pinta on karhea (=ilman kanssa kosketuksissa oleva pinta-ala suurempi) ja se karbonatisoituu nopeammin kuin tiivistä teräsmuottia vasten ollut yläpuoli.

Suojahuokostuksen vaikutus on hieman kaksijakoinen: huokostus toisaalta antaa hiilidioksidille tilaa, mutta kuitenkin se estää pakkasräöilyä. Betonin halkeilu siis nopeuttaa karbonatisoitumista, sillä halkeaman sisäseinämät ovat verrattavissa ulkoilmaan, jolloin hiilidioksidilla on nopea pääsy syvälle betoniin. Betonin suojahuokostuksen onkin siksi todettu paran-

tavan tiiveyttä ja siten hidastavan karbonatisoitumista. (BY 201, 2018, s. 113)

Koska karbonatisoitumisen nopeus riippuu betonin tiivyydestä ja lujuudesta ja tähän voidaan tuotantoteknisesti suunnittelun avulla vastata, on betonin karbonatisoitumiselle määritelty rasisitusluokat (Kuva 2).

3.1.3 Kloridit

Kloridi-ionien tunkeutuminen betonirauδοitteisiin saa aikaan paikallisen korroosiovirtapiirin, jossa vesi toimii elektrolyytinä. Reaktioon ei vaikuta betonin emäksisyys eli betonin ei tarvitse olla karbonatisoitunutta, jotta ruostuminen voi alkaa. Tosin karbonatisoitunut betoni kiihdyttää ruostumista huomattavasti, sillä silloin betoniin sitoutuneet kloridit vapautuvat.

Kloridi-ionit, Cl^- , kulkeutuvat betoniin Suomessa tavallisesti maantiesuolauksen ja meriveden vuoksi. Ne imeytyvät betonin pintakerrokseen veden mukana, mutta syvemmälle betoniin ne kulkeutuvat diffuusiolla, jolloin siirtyminen hidastuu. Kloridien määrä onkin suurin juuri betonin pintakerroksessa ja määrä pienenee syvemmälle mentäessä. Tämän vuoksi on tärkeää selvittää, mikä on kriittinen kloridipitoisuus, ns kynnsarvo, jonka ylitys saa korroosion alkamaan. Yleensä kriittinen kloridipitoisuus on 0,03-0,07 % betonin painosta. (BY 201, 2018, s. 114) Luku saattaa esiintyä myös prosentteina sementin painosta, sillä betonin kiihdyttimenä elementtiteollisuudessa on käytetty kalsiumkloridia, $CaCl_2$. Käytetty määrä on yleensä ollut moninkertainen verrattuna terästen korroosion kynnsarvoon. (BY 42, 2013, s. 25) Tällä tavoin betonissa jo valmiina olevat kloridi-ionit tarvitsevat enää vettä elektrolyytiksi ja terästen korroosio voi alkaa.

Aikojen saatossa kalsiumkloridien määrää betonin valmistuksessa on rajoitettu: vuonna 1965 betoninormeissa sitä sai olla 2% sementin painosta ja BY:n säilyvyysohjeessa vuodelta 1992 julkisivubetonissa enää 0,2 % sementin painosta. (BY 42, 2013, s. 13) Nykyisin kalsiumkloridin käyttö kiihdyttimenä on kielletty.

Klorideita pääsee betoniin rannikolla kostean merituulen tuomana tai esimerkiksi siltarakenteisiin pärskeinä. Muualla maassamme klorideita esiintyy lähinnä tiestön suolauksen yhteydessä talvikaudella. Tällöinkin siltarakenteet ovat suurimman rasituksen kohteina, mutta osansa saavat myös esimerkiksi parkkihallit. (BY 42, 2013, s. 25)

Kloridien pääsyä betoniin voidaan vaikeuttaa valmistusteknisesti valmistamalla betonia, jonka kapillaarihuokoisuus on alhainen ja jolla on kyky sitoa klorideita. Kapillaarihuokoisuus saadaan alhaiseksi alhaisella vesisementtisuhteella ja käyttämällä silikaa. Mitä vähemmän vettä, sitä vähemmän huokosia. Vettä taas tulee olla kuitenkin riittävästi hydrataatioon. Klorideja saadaan sidottua sitä enemmän, mitä enemmän käytetään

sementtiä, sillä niitä sitoo sementissä olevat kalsiumalumiinaatit. Myös erilaiset rakenteelliset betonin suojaukset ja suolapitoisen veden poistaminen betonin päältä esimerkiksi juoksutusputkilla ovat esimerkkeinä suunnittelun merkityksestä. Kloridien vuoksi betonille onkin määritelty omat rasitusluokkansa (Liite 11)

3.2 Rapautuminen

Betonin rapautuminen tapahtuu Suomessa seuraavien ilmiöiden vaikutuksesta:

- pakkasrapautuminen
- ettringiittireaktio
- alkalikiviainesreaktio

Näistä ensimmäinen on täällä selvästi yleisin ja johtuu lämpötilan aiheuttamasta muutoksesta. Kaksi viimeistä esiintyvät yksittäistapauksina ja luokitellaan useimmiten kemiallisiin rasituksiin. Niinpä ne on esitelty tarkemmin kemiallisten rasitusten yhteydessä. Kaikille on kuitenkin yhteistä suuren kosteusrasituksen mukana olo. (BY 42, 2013, s. 29)

3.2.1 Pakkasrapautuminen

Betoni sisältää lukemattoman määrän pieniä onttoja reikiä, joita kutsutaan ilmahuokosiksi. Betonin kastuessa monet ilmahuokosista täyttyvät vedellä. Vedellä taas on tapana jäätyä pakkasella. Niinpä betonissa oleva huokosvesi voi myös jäätyä. Jäätymislämpötila riippuu vedessä olevien suolojen määrästä, huokosten koosta ja veden alijäähtymisestä. Suolojen määrä laskee veden jäätymispistettä noin $-3...-4$ °C:een ja huokosveden mahdollinen alijäähtyminen vielä muutaman asteen lisää (BY 201, 2018, s. 117).

Huokosista pienimmät, geelihuokokset, ovat yleensä aina veden täyttämiä, mutta ovat niin pieniä (1-5 nm eli 1-5 miljoonasosaa millimetriä), etteivät ne Suomen pakkasissa jäädy. Sen sijaan kapillaarihuokosten (koko noin 5 nm-8 μ m eli 5miljoonasosaa- 8 tuhannesosaamillimetriä) huokosvesi jäätyy ja se aiheuttaa suurimman osan pakkasrapautumisesta.

Kapillaarihuokosten vesi laajenee jäätyessään noin 9 tilavuusprosenttia ja aiheuttaa suuren hydraulisen paineen betonin sisällä. Jäätyneen kiteen sulaessa sen tilavuus edelleen laajenee (jääkiteen kasvun teoria). Tästä syystä betoniin ilmestyy halkeamia ja lohkeamia ja mikäli asialle ei tehdä mitään, betoni lopulta hajoaa käyttökelvottomaksi.

Osa pakkasrapautumisesta voi johtua myös betonissa olevien sementtikiven ja luonnonkiviaineksen erisuuruudesta lämpölaajenemisesta. (BY 201, 2018, s. 116)

Kapillaarihuokosten määrä riippuu vesi-sementtisuhteesta. Mitä suurempi se on, sitä enemmän on kapillaarihuokosia. Kun vesi-sementtisuhte on yli 0,60...0,65 tulee kapillaarihuokosista yhtenäinen verkosto (BY 201, 2018, s. 118). Kun betonista tehdään tiiviimpää ja lujempaa, eli vesi-sementtisuhdetta pienennetään, kapillaarihuokosten määrä laskee selvästi. Betonin lujuusvaatimukset ovat kasvaneet aikaa myöden ja vasta viime vuosina esimerkiksi julkisivuelementtien lujuus on kasvanut niin paljon, että kapillaarihuokosten määrä on huomattavasti pienentynyt. Betonin vesi-sementtisuhteen lisäksi jälkihoidolla on suuri merkitys: betonissa olevaa vähäistä vesimäärää ei saa päästää haihtumaan, vaan se tulee käyttää betonin hydratoitumisreaktioon. Hydrataatioaste tulisi saada mahdollisimman suureksi, jotta betoni saavuttaisi sille asetetun lujuusvaatimuksen.

Varmin keino estää pakkasrapautumista matalan vesi-sementtisuhteen lisäksi on lisätä betoniin suojahuokosia. Tämä ns betonin huokostus saadaan aikaiseksi lisäämällä betoniin sopiva määrä lisäainetta, huokostinta. Näiden aineiden käyttöä alettiin harjoitella joskus 1970-luvun puolivälissä systemaattisemmin ja 1980-luvulla rakennetuissa taloissa suojahuokostus alkoi jo yleisesti toimia (BY 42, 2013, s. 29).

Suojahuokosten toiminta perustuu niiden sopivaan kokoon ja etäisyyteen toisistaan ja muista huokosista. Yli 10 μm (0,01 mm) suurempi huokonen on jo hyödyllinen pakkasenkestävyyttä ajatellen, mutta yleensä suojahuokokset ovat kooltaan 150-300 μm (0,15-0,3 mm). Ne sisältävät sen verran ilmaa, etteivät ne heti täyty vedellä betonin kastuessa. Betonin täytyy olla läpimärkää todella kauan, jotta suojahuokosissa oleva ilma hitaasti liukenee veteen ja vesi pääsee täyttämään huokosen. Suojahuokosten keskimääräisen välimatkan puolikas on nimeltään etäisyystekijä tai huokosjako. Sen ollessa 0,20-0,25 mm ollaan pakkasenkestävyydessä turvallisella tasolla. (BY 42, 2013, s. 30) Suojahuokosten toiminta perustuu siihen, että se tasaa kapillaarihuokosten veden jäätymisestä ja jään sulamisesta aiheutuvat paine-erot betonin sisällä.

Betonin pakkaskestoisuuden määrittämiseksi liikennevirasto on ottanut käyttöön ns P-luvun, joka kuvaa betonin pakkas-suolarasitusta. Se on vuosikymmeniä jatkuneen pakkaskestävyyden testauksen tulos ja sen käyttö edellyttää sekä betonin valmistuksen, että valun ja jälkihoidon tarkkaan ohjeistettua toteuttamista. Lisäksi Suomessa on otettu vuonna 2005 käyttöön ns F-luku, joka kuvaa pakkasrasitusta, mutta ei sisällä suolarasitusta. Siinä keskitytään vesi-sementtisuhteeseen ja ilmamäärään.

Pakkasrapauksen määrään vaikuttaa myös rasisolosuhteet ja ns rasisyys syklien määrä. Rannikolla ja Etelä-Suomessa sataa enemmän ja sateella myös tuulee lujempaa kuin sisämaassa ja pohjoisempana eli rasisolosuhde on paljon ankarampi. Rasisyys syklien määrä on Etelä-Suomessa myös suurempi, sillä pohjoisemmassa Suomessa talvi on yleensä kylmempi ja pakkaskausi jatkuu yhtenäisempänä koko talven toisin kuin ete-

lässä, jossa välillä pakastaa ja välillä ollaan plussan puolella. Tämä rasittaa rakenteita moninkertaisesti pohjoisempaan ja itäisempään Suomeen verrattuna. Itä-Suomi on kauempana meren lämpövaikutuksesta ja siksi yleensä kylmempi talvikaudella (ja lämpimämpi kesäkaudella).

3.3 Kemialliset rasitukset

3.3.1 Yleistä

Betonin kemiallisesta korroosiosta tulee helposti ensimmäisenä mieleen teollisuuden tai maatalouden käyttämät kemikaalit. Näiden lisäksi kemiallista korroosiota saa aikaiseksi maaperä, jonka aineksia betonin valmistukseen on käytetty tai jonka kanssa valmis betoni on kosketuksissa. Tai vaikkapa sadevesi, joka pääsee virtaamaan kovettunutta betonia pitkin. Yleensäkin yhteinen tekijä näille kemiallisille rasituksille on vesi. Sen avulla monet kemikaalit pääsevät betonin sisään ja sitä saatetaan tarvita myös itse reaktioissa.

Lisäksi korkea lämpötila, kemiallisen liuoksen paine tai virtaus ja betonin kastumisen ja kuivumisen vuorottelu edistävät kemiallista korroosiota. Kemialliset reaktiot aiheuttavat betonin paisumista, neutraloitumista ja liukenemista, jolloin lopputuloksena on halkeilua, lohkeilua, rapautumista, teräskorroosiota, huokoisuuden ja läpäisevyyden kasvua ja lujuuden menetystä.

Monet näistä kemiallisista reaktioista jatkavat edelleen reagoitua ja muodostuvat kemiallisiksi prosesseiksi, jotka tapahtuvat usein samanaikaisesti muiden kemiallisten prosessien kanssa ja saattavat jopa edesauttaa toinen toisiaan. Ymmärtämällä näiden prosessien mekaniikkaa on ihminen kehitellyt ja kehittää jatkuvasti erilaisia keinoja estää ja pysäyttää niiden haitalliset vaikutukset betoniin.

3.3.2 Pehmeä vesi eli sementtipastan hydrolyysireaktio

Pehmeäksi vedeksi kutsutaan vettä, jossa kalsium- ja natriumsuolojen määrä on vähäinen. Tällaista vettä on etenkin sadevesi ja lumien sulamisvesi. Vähäisen kalsiumpitoisuutensa vuoksi se voi liuottaa betonista kalsiumpitoisia tuotteita, mm sementtikiveä. Virtaava vesi tai paineellinen vuoto voivat aiheuttaa betonin sementtikivelle hydrolyysireaktion, jossa betonin kalsiumhydroksidi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, liukenee pois. Kalsiumhydroksidin reagoitessa ilman hiilidioksidin, CO_2 , kanssa, syntyy betonin pintaan kalsiumkarbonaattia (kalkkikiveä), CaCO_3 , jota kutsutaan myös kalkkihäräksi. Kyseessä on lähinnä esteettinen vaurio.

3.3.3 Hapot

Kaikki epäorgaaniset hapot syövyttävät betonia. Ne tekevät sen muuttamalla sementtikivessä olevat kalsiumyhdisteet kalsiumsuoloiksi, jotka liukenevat pois turmellen betonin rakenteen. Mitä alhaisempi pH hapolla on, sitä aggressiivisemmin se syövyttää kaikkia sementtikiven yhdisteitä. Heikot liuokset syövyttävät enimmäkseen pelkkää kalsiumhydroksidia. Vaurioitumisen nopeus riippuu siis happoliuoksen vahvuudesta. Myös virtaava happo syövyttää lätäköitynyttä nopeammin, eli muodostuneet suolat liukenevat siinä nopeammin. Vaurio kohdistuu yleensä vain betonin pintaan, mutta jos betoni ei ole tiivistä ja varsinkin, jos siinä on halkeamia, vaurioituu betoni myös syvemmältä. Kovin aggressiivisia happoja vastaan voi suojautua käyttämällä haponkestäviä pinnoitteita, mutta tämmäkään suojaus ei ole kovin hyvä. Happohyökkäykselle betoni yleensä joutuu teollisuuden ja maatalouden rakenteissa, mutta myös happamat sateet vaurioittavat sitä.

Teollisuudessa yleisiä happoja ovat rikkihappo eli vihtrilliöljy (H_2SO_4), suolahappo (vetykloridin (HCl) vesiliuos) ja typpihappo eli salpietarihappo (HNO_3) sekä elintarviketeollisuuden etikkahappo eli etaanihappo ($C_2H_4O_2$), muurahaishappo eli metaanihappo (CH_2O_2), maitohappo ($C_3H_6O_3$) ja hiilihappo (H_2CO_3). (BY 201, 2018, s. 132-133)

Maataloudessa hapot kuuluvat säilörehun valmistukseen. A.I.Virtasen vuonna 1929 lanseeraama AIV koostui rikkihaposta ja suolahaposta. Vielä nykyäänkin AIV-nimeä kantavat liuokset ovat jalostuneet vuosikymmenien saatossa ja niitä on useita erilaisia. Hapot ovat nykyään pääasiassa muurahaishappoa ja/tai propionihappoa eli propaanihappoa (CH_3CH_2COOH), mutta myös maitohappoa ja sen bakteereita käymisreaktion estämiseksi. (MTT, 2006)

Happosateilla tarkoitetaan sadetta, jonka pH on alle 5. Tavallisenkin sateen pH on jo melko alhainen (alle 6), sillä ilman hiilidioksidi liukenee sadeteen ja muodostuu hiilihappoa, joka on hapoista heikoin. Happosateessa pH:ta laskevat edelleen rikki- ja typpihappo. Ne ovat yleensä peräisin fossiilisten polttoaineiden poltossa vapautuneista rikki- ja typpi-päästöistä, jotka reagoivat yläilmakehässä olevan otsonin kanssa ja näin muodostuneet rikki- ja typpitrioksidit reagoivat veden kanssa muuttuen rikki- ja typpihapoiksi. Happosadetta kutsutaan myös hapon märkälasseumaksi.

Happolaskeuma voi olla myös kuivalaskeuma, jolloin happamoivat yhdisteet kulkeutuvat kaasun, pölyn ja tuulen mukana. (Xingting Zeng, 2013) Tästä ilmiöstä saattaakin olla kyse hormihallin pilareiden pinnalla: hormihallin siltanosturiradan betonipilarit poikkeavat pinnaltaan muiden ratojen pilareista: niiden väri on tummempi kuin muiden ja niiden pinta on syöpynyt epätasaiseksi. Tähän saattaa olla syynä läheinen lämpökeskus, jonka lämmönlähteenä on joskus käytetty raskasta polttoöljyä.

3.3.4 Sulfaatti

Sulfaatti (SO_4^{2-}) on rikkihapon (H_2SO_4) suola. Sulfaatteja esiintyy teollisuudessa mutta myös luonnossa varsinkin maa-aineksissa, jotka ovat vanhaa merenpohjaa.

Vaurio alkaa sulfaatti-ionien tunkeutumisella betoniin. Ne reagoivat ensin kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kipsiä. Seuraavaksi sulfaatti ja kipsi reagoivat sementissä olevan trikalsiumaluminaatin (C_3A) ja sen hydrataatiotuotteiden kanssa. Tuloksena syntyy ettringiittiä. (BY 201, 2018, s. 133) Tätä ns ettringiittireaktiota käsitellään erikseen seuraavassa luvussa. Sulfaattien aiheuttamia vaurioita vastaan voi varautua käyttämällä betonissa sementtiä, jonka trikalsiumaluminaattipitoisuus on rajoitettu 2-8 %:iin. Lisäksi masuunikuonan käyttö sideaineessa on hyvä keino, kun sitä on vähintään 70 % sideaineesta, sillä se ei sisällä laisinkaan trikalsiumaluminaattia. Myös betonin tiiveys hidastaa tunkeutuvia sulfaatti-ioneja. (BY 201, 2018, s. 133)

3.3.5 Ettringiittireaktio

Ettringiitti, $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$, on luonnossa esiintyvä mineraali. Samaa ainetta syntyy sementin hydrataatiossa, mutta sitä ei voi mineraalin määritelmän mukaan kutsua mineraaliksi, sillä se on teollisuuden synnyttämä tuote. Ettringiitti vaikuttaa Portlandsementissä betonin lujuuden kehitykseen ja stabiiliuteen (BY 42, 2013, s. 33).

Haitalliseksi ettringiitin tekee ns ettringiittireaktio. Reaktio voi tapahtua edellisessä luvussa kuvatulla tavalla silloin, kun betoni joutuu alttiiksi ulkoiselle sulfaattirasitukselle. Silloin sulfaatit siis reagoivat kemiallisesti ja kiteytynyt ettringiitti kasvaa tilavuudeltaan 130-140 % alkuperäisiin ainesosiin nähden. Sen neulamaiset kiteet kiinnittyvät suojahuokosten seinämiin ja pienentävät suojahuokosten tilavuutta siten, että ne eivät enää toimi suunnitellusti ja betonin pakkasenkestävyys heikkenee. Ettringiitin kasvamisesta aiheutuva paine voi jo itsessäänkin aiheuttaa betonin rapautumista, mutta ainakin se vahvistaa pakkasrapautumista. (BY 42, 2013, s. 34)

Ettringiitin uudelleen kiteytymisestä aiheutuva ettringiittireaktio tapahtuu yleensä betonin liian suuren lämmön nousun takia kovettumisaikana. Kriittinen betonin kovettumislämpötila on $+70^\circ\text{C}$. Tätä suurempi lämpötila yleensä syntyy betonielementin lämpökäsittelyn seurauksena. Myös mikrohalkeamien syntyminen voi aiheuttaa niihin ettringiitin muodostumista. Mikrohalkeamat saavat alkunsa nopeista lämmönvaihteluista, ku-

tistumisesta tai ulkopuolisista kuormitustekijöistä. Lisäksi reaktio vaatii toteutuakseen ankanan kosteusrasituksen. (BY 201, 2018, s. 134)

Silmämääräisesti ettringiittireaktio muistuttaa pakkasrapaumaa. Niiden eron voi huomata vain ohuthienäytteestä mikroskoopilla, jolloin suoja-huokosissa olevat kiteet ovat nähtävissä.

3.3.6 Alkalikiviainesreaktio

Alkalikiviainesreaktio tarkoittaa sellaista kemiallista paisumisreaktiota, jossa betonin kiviaines reagoi sementtikiven alkalisuuteen (=vesiliukoiseen emäksisyyteen), jolloin muodostuu geelimäistä reaktiotuotetta. Geeli imee itseensä kosteutta, jolloin tilavuus betonin sisällä kasvaa aiheuttaen betonille sen vetolujuuden ylittävän vectorasituksen. Tämän vuoksi betoni halkeaa ja sen ominaisuudet heikkenevät. Lisäksi halkeamista pääsee betoniin muita haitallisia aineita aiheuttaen lisää vaurioita. (BY:n korjauskurssi, 2019)

Reaktio vaatii toteutuakseen kaikki seuraavat kolme asiaa:

1. runsaasti alkaleja sisältävän sementin
2. alkaleja huonosti kestävä kiviaineksen
3. riittävän korkean (yli 80% RH) betonin kosteuspitoisuuden

Reaktion vaurioittamalle betonille on tunnusomaista laikukas pinta, pinnan epäsäännöllinen, verkkomainen halkeilu ja paisuminen sekä toisinaan halkeamista ulos työntyvä geelimäinen reaktiotuote.

Pakkasrapautumiseen verrattaessa suurin ero on halkeamissa. Pakkasrapaumassa halkeamat ovat betonin pinnalla leveimmillään ja pienenevät syvemmälle mentäessä. Alkalikiviainesreaktion halkeamat syntyvät syvemmällä betonin sisällä ja synnyttävät halkeamien verkoston koko betoniin rakenteeseen.

Suomessa alkalikiviainesreaktio on vielä melko harvinainen betonirakenteen rapautumisvaurio, sillä suomalaisen maaperän kiviaines kestää kemikaaleja melko hyvin. Kuitenkin tulevaisuudessa se on todennäköisesti yleisempää betonin valmistukseen soveltuvien soravarantojen huvetessa ja kalliomurskeen käytön lisääntyessä. Kallioperässä olevat vaihtelut ovat vielä hieman arvoituksellisia, kun taas irtomaalajit ovat melko homogeenisiä, sillä ne ovat neutraloituneet ympäröivän maa-aineksen kanssa. Kalliomurskeen käyttökin on kuitenkin turvallista alkalikiviainesreaktion suhteen, kunhan käyttää betonissa vähän alkaleja sisältävää erikoisementtiä. Reaktio kun tarvitsee kaikki kolme aiemmin mainittua edellytystä tapahtuakseen. (BY 201, 2018, s. 134-135) ja (BY 42, 2013, s. 35-36)

3.4 Biologiset rasitukset

Biologiset rasitukset ovat elävän organismin tai mikro-organismin aiheuttamia tapahtumia, jotka johtavat betonin vaurioitumiseen.

Kasvillisuus voi vaurioittaa betonia esimerkiksi sammalien tunkeutumisella betonin pinnalla oleviin halkeamiin keräten siellä kosteutta ja aiheuttamalla rapautumaa tai vaikkapa puun juurien työntymisellä perustusten alle ja sisään, jolloin vaurio voi johtua mekaanisesta voimasta.

Suurimmat vauriot lienevät kuitenkin betonisissa viemäriputkistoissa ja lietesäiliöissä. Lietteessä olevan bakteeritoiminnan tuotoksena syntyy rikkivetyä, H_2S , joka leviää kaasuna ja kiinnittyy ja liukenee kosteaan betoniseinämääseen. Betonin pinnan bakteerit muodostavat siitä hapettamalla rikkihappoa, H_2SO_4 , joka sulfaatin kanssa alkaa syövyttää betonia.

Nykytietämyksen turvin vauriot ovat vältettävissä suunnittelemalla ja rakentamalla putkistot siten, että virtausnopeudet estävät lietteen muodostumisen ja tuuletuksella varmistetaan rikkivedyn poisto ja rakenteiden kuivuminen. (BY 201, 2018, s.135-136)

Biologisia rasituksia Forssan tehdasalueella voi esiintyä kasvillisuuden osalta, mutta ne eivät ole näkyvillä tarkastellessa pilareita maan pinnalla seisten. Mahdolliset vauriot voivat paljastua tutkittaessa pilareita aivan maan pinnan tasalta tai hieman sen alta alueilla, joihin on muodostunut jonkinlaista kasvillisuutta.

3.5 Ulkoisten mekaanisten vaurioiden syyt

3.5.1 Kulutus

Betonipinnat kuluvat mekaanisen toistuvan rasituksen takia. Tästä esimerkkinä mainittakoon autojen nastarenkaiden aiheuttama kuluminen pysäköintitalossa. Nosturiratojen betonipilareissa kulumista saattaa esiintyä pilarin laella kohdassa, missä teräksinen nosturirata lepää pilarin päällä.

3.5.2 Törmäys

Betonipilareita päin on välillä törmätty isolla esineellä tai ajoneuvolla. Törmäyskohdasta on saattanut lohjeta teräksiä suojaava betonikerros pois ja näin teräkset ovat altistuneet korroosiolle. Törmäyksen voimasta betonipilari on saattanut liikahtaa ja murtua myös kauempana törmäyskohdasta.

3.5.3 Ylikuorma

Ylikuormitettuja betonirakenteita ovat yleensä jotkin vaakarakenteet, esimerkiksi palkit tai ontelolaatat. Toki pilareitakin voidaan ylikuormittaa, mutta silloin pelkän alaspäin vaikuttavan voiman lisäksi tarvitaan jotain muutakin, esimerkiksi siltanosturin äkkijarrutuksesta aiheutunut sivullepäin vaikuttava voima. Yleensä pilari pystyy siirtämään sitä rasittavat ylhäältä alaspäin vaikuttavat voimat perustuksiin helpohkosti betonin suuren puristuslujuuden ansiosta. Ylikuormitus tulee kyllä helposti mieleen elementtitehtaan nosturiratoja katsellessa, kun tietää, kuinka paljon elementtien koko ja massa ovat kasvaneet siitä, kun ensimmäinen nosturirata rakennettiin. Suurinta ylikuorman aiheuttamaa rasitusta eivät kuitenkaan koe mielestäni pilarit, vaan teräksiset vaakarakenteet niiden yllä, eli nosturiradat. Ne eivät kuitenkaan ole tämän opinnäytetyön aihealueella.

3.5.4 Liikkuminen

Pilarin liikkuminen esimerkiksi törmäystilanteessa voi saada sen murtumaan. Myös aiemmin mainittu raskaassa lastissa olevan siltanosturin äkkipähdys saattaa aiheuttaa jopa pilarin liikkumista. Myös perustusten pettäminen joidenkin pilareiden kohdalla saattaa saada aikaan heiluvaa liikettä pilareissa. Perustusten pettämisellä viittaa betoniperustuksen alla ja ympärillä olevan maa-aineksen kykyyn siirtää kuormia maaperään.

3.5.5 Värähtely

Toistuva värähtely saattaa aiheuttaa betonin murenemistä tai halkeilua. Värähtelyä syntyy siltanosturin kulkiessa rataa pitkin. Isompaa värähtelyä saattaa aiheutua siltanosturin päätevaunun pyörien siirtymisestä seuraavalle kiskolle.

3.5.6 Räjähdytys

Räjähdytyksen aiheuttama paineaalto voi rikkoa jopa betonia. Tämä vaara on olemassa erityisesti hyvin lähellä räjäytyspaikkaa olevilla rakenteilla. Parman tontilla olevat nosturiradan pilarit eivät tietääkseni ole kuitenkaan altistuneet tällaiselle rasitukselle.

4 PILAREIDEN NYKYISEN KUNNON SELVITTÄMINEN

4.1 Kuntoarvio vai kuntotutkimus

Ennen kuin betonipilareiden korjausperiaatetta ja -tapaa voidaan ratkaista, on niiden tämänhetkinen kunto määriteltävä. Tähän on teoriassa kaksi erilaista keinoa: kuntoarvio ja kuntotutkimus.

Kuntoarvio perustuu lähinnä silmämääräisesti tehtävään tarkastukseen. Siinä kyllä paljastuu jo silminnähtävien havaittavat vauriot, mutta vauriot ovat voineet edetä rakenteen sisällä jo verraten pitkään, ennen kuin ne ovat pinnalla nähtävissä. Lisäksi kaikki vauriot eivät edes näy rakenteen pinnalla ja jotkin vauriot voi erottaa toisistaan luotettavasti vain laboratoriotutkimuksella. Vaurioiden korjaamisen suunnitelmallisuus korjaustyön suhteen on heikkoa pelkän kuntoarvion pohjalta. (BY 42, 2013, s. 8)

Kuntotutkimuksessa rakenteen toimivuus ja kunto selvitetään systemaattisesti käyttäen apuna useita erilaisia tutkimusmenetelmiä: silmämääräinen tarkastus, rakennepiirustukset, erilaiset paikan päällä tehtävät mittaukset ja tutkimukset, näytteenotto ja laboratoriotutkimukset. Tällöin tutkimustuloksia analysoitaessa voidaan tehdä päätelmiä vaurioiden syntymekanismista ja siitä miten laajalle vauriot ovat levinneet ja miten ne vaikuttavat nyt ja tulevaisuudessa. Näin myös kunnostustoimet voidaan suunnitella tehtäväksi siten, ettei rakenne pääse heikkenemään liiallisesti. (BY 42, 2013, s. 8)

Suunnitelmallisuutta korjaustoimien toteutuksessa tarvitaankin, sillä korjaustoimenpiteet tulisi tehdä siten, ettei tuotannolle tule sellaista haittaa, mikä olisi ollut paremmalla suunnittelulla vältettävissä.

4.2 Kuntotutkimus

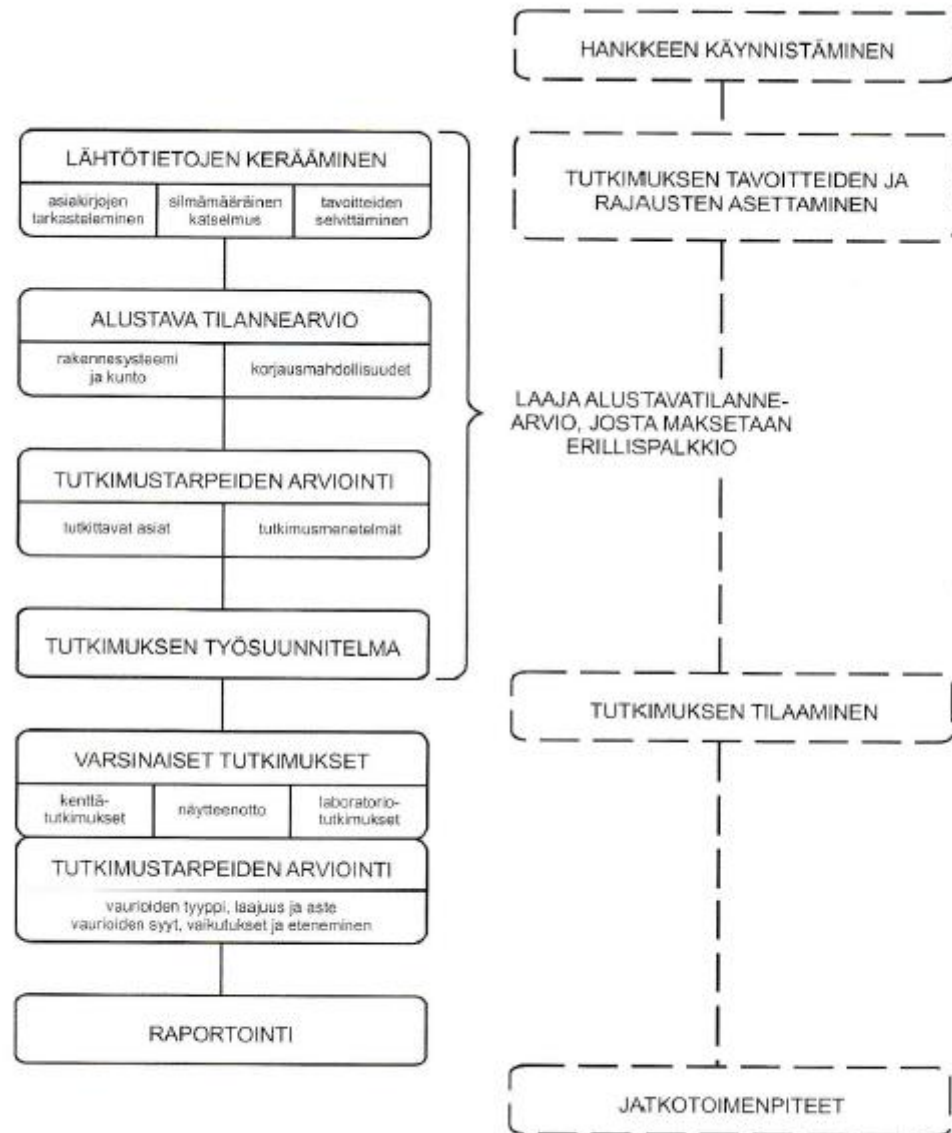
4.2.1 Kuntotutkimuksen suunnitteleminen

Suunnittelemisen selkeyttämiseksi kuntotutkimuksen suunnitteleminen voidaan jakaa kahteen eri vaiheeseen: esiselvitykseen ja tutkimussuunnitelman laatimiseen.

Esiselvitysvaiheessa aletaan kerätä tietoa kuntotutkimuksen kohteesta. Useimmiten homma lähtee siitä, että etsitään kaikki mahdolliset rakennusasiakirjat. Niistä yleensä hyödyllisimpiä ovat rakennepiirustukset ja elementtikuvat. Niitä tutkimalla voidaan jo selvittää mahdolliset riskirakenteet, jotka tulee tutkia tarkemmin. Nosturiratojen piirustuksia ei ikävä kyllä löytynyt sen paremmin tilaajan, kuin rakennusvalvonnankaan arkistoista. Vanhoihin piirustuksiin tulee suhtautua joka tapauksessa kriittisesti, sillä rakenteita ei ole aina rakennettu juuri kuvien mukaisesti. Tästä esimerkkinä olemattoman ohut suojabetoni. Silmämääräinen tarkastus kuuluu myös esiselvitysvaiheeseen. Siinä paljastuvat näkyvät vauriot ja ne tulee kirjata ylös, jotta myöhemmin saadaan kokonaiskäsitys vaurioiden kehityssasteesta. Myös varsinaisen kuntotutkimuksen tekemisen kannalta tärkeät asiat, kuten esimerkiksi maaston muodot ja turvallinen liikkuminen alueella, on hyvä kirjata ylös. Kaiken kaikkiaan esiselvitystyön laajuuden pohjalta tehdään kuntotutkimuksen teosta tarjouspyynnöt eli se vaiuttaa tarjousten laatuun ja sitä kautta helpottaa tekemistä myöhemmin. Tutkimussuunnitelman laatiminen tapahtuu esiselvitysvaiheessa kerätyn tiedon ja tilaajan kanssa käydyn keskustelun pohjalta. Tilaaja kertoo, mitä hän haluaa tutkimukselta ja kuntotutkijan kanssa tehdään suunnitelma, jossa voidaan olemassa olevilla resursseilla tehdä mahdollisimman tarkka ja taloudellinen kuntotutkimussuunnitelma kuitenkin siten, että mitään mahdollisia vaurioita ei ohiteta. Sellaiset silminnähtävät vauriot, joiden korjaustarve ja -tapa ovat ilmeisen selviä, voidaan jättää tarkempien tutkimusten ulkopuolellekin; korjaussuunnittelu kun ottaa niihin kantaa ennen korjaustyötä.

Tässä vaiheessa myös rajataan ja lohkotaan kuntotutkimuksen käsittämä alue. Järkevin jaottelu voisi olla nosturirata kerrallaan ja silloinkin voisi rajata ulkona olevat pilarit omaksi tutkimuskohteeksi ja sisällä olevat omakseen. Niissä on hyvinkin erilaiset vauriot ja myös vaurioiden tutkiminen poikkeaa hieman toisistaan: ulkona olevien pilareiden sääräsitus on monesti jo näkyvää ja korjausmenetelmän voi ehkä päättää jo ennen laajoja tutkimuksiakin, kun taas sisällä pilareissa ei välttämättä näy ulospäin mitään erikoista ja korjaustarve on piilevää.

Tutkimussuunnitelmaa laadittaessa mietitään jo rakenteiden korjattavuutta ja siihen liittyen päätetään, mitä tutkimusmenetelmiä kannattaa käyttää kussakin rakenteessa. Myös mittauksen ja otantojen laajuus olisi hyvä käydä läpi, jotta tämän työvaiheen perusteella voidaan tehdä sellainen tarjous, jonka molemmat osapuolet voisivat hyväksyä. Tutkimussuunnitelman laatiminen on kuitenkin jo sen verran työläs vaihe, että sen tekemisestä yleensä maksetaan palkkio. Se on kuitenkin varsinaisesta kuntotutkimusurakasta erillään ja näiden tekijät voivat myöhemmin olla eri toimijoita, mikäli tilaaja haluaa kilpailuttaa kuntotutkimuksen teon. (BY 42, 2013, s. 74-76)



Kuva 5.1 Kuntotutkimuksen suositeltava kulkukaavio

Kuva 7. Kuntotutkimuksen vaiheet (BY 42, 2013, s.65)

4.2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmät voidaan jaotella eri tavoin, esimerkiksi sisällä tehtävät tutkimukset ja kenttätutkimukset. Eri menetelmät saattavat tukea toinen toisiaan ja siksi niitä saatetaan soveltaa useampiakin yhteen kohteeseen. Koska luvussa kolme on käsitelty erilaisia betonin vaurioita, liepee selkeintä jaotella myös tutkimusmenetelmät vaurioittain.

4.2.3 Korroosion tutkiminen

Raudoitusten korroosion tutkimisessa tulee selvittää korroosion laajuus, sijainti, näkyvien vaurioiden eteneminen jatkossa, korroosion syy sekä sen vaikutus kantavuuteen ja turvallisuuteen.

Silmämääräisessä tutkimuksessa voidaan todeta korroosion levinnäisyydestä vain minimimäärä. Laajuutta tuleekin selvittää lisää kenttätyönä tapahtuvalla laajamittaisella peitepaksuuksien mittaamisella ja joidenkin koepalojen otolla laboratoriomittauksia varten.

Karbonatisoituminen voidaan mitata jo kentällä: irti porattu koepala puhdistetaan ja sen päälle sumutetaan fenoliftaeliiniliuosta, joka värjää karbonatisoimattoman betonin punaiseksi. Karbonatisoitumisen syvyys voidaan siten helposti todeta mittaamalla värjäytymättömän betonin paksuus. Koe on syytä tehdä melko pian näytteenoton jälkeen, sillä ajan kuluessa mittaustulos vääristyy. Karbonatisoitumissyvyys voidaan toki määrittellä myös laboratoriossa myöhemmin ohuthienäytteestä. Peitepaksuusmittaus yhdessä koepalojen kanssa kertoo karbonatisoituneessa betonissa olevasta raudoituksesta.

Koepalojen poraamispölystä tai erikseen poraamalla saatavasta betonipölystä voidaan laboratoriossa titraamalla mitata betonissa olevat kloridit. Mikäli niitä löytyy, voidaan koepalasta määrittellä kloridiprofiili, joka kertoo, ovatko kloridit peräisin ulkoilmasta vai ovatko ne olleet osana betonirakennetta jo valmistuksesta lähtien.

Näytepaloista käy myös ilmi raudoituksessa siinä kohdin olevan korroosion tila. Korroosion tilaa voidaan tutkia myös kenttäkokeena tehtävällä raudoituksen esiin piikkaamisella.

Rakenteen kosteusteknisen toimivuuden arviointi nyt ja tulevaisuudessa on myös osa korroosiotutkimusta. (BY 42, 2013, s. 77-79 ja s. 97-103)

4.2.4 Rapautumisen tutkiminen

Betonin pakkasenkestävyys ja rapautuminen esiintyvät useimmiten yhdessä, mutta ovat periaatteessa kaksi eri asiaa, sillä jopa pakkasenkestävä betonikin voi rapautua, tosin eri syistä.

Rapautumisen huomaa jo usein silmämääräisessä tutkimuksessa. Tällöin on syytä kirjata ylös vaurioiden sijainti, sillä kun saattaa olla rakenteen kantavuudenkin kannalta merkitystä ja voi siten vaikuttaa korjaussuunnitelmaan.

Kenttäkokeissa rapautumia voidaan etsiä vetokokeilla ja vasaroimalla pintaa raskaalla vasaralla, moskalla. Kentällä tehty vetokoe kertoo pilarin pinnanvetolujuuden, mutta koepalasta vetolujuuden voi testata laboratoriossa koko syvyydeltä. Vasarointikokeessa moskan iskiessä rapautuneeseen betoniin, sen aiheuttama ääni on normaalia matalampi ja se myös kimpoaa pinnasta heikommin. Myös nämä tulokset kirjataan ylös rapautuman laajuutta kartoitettaessa.

Lisäksi kenttäkokeiden aikana otetaan myös koepaloja. Palat otetaan timanttiporaamalla, jolloin niistä saadaan laboratorioissa ohuthienäytteen avulla runsaasti tietoa. Huomioitavaa on, että samat koepalat voivat käydä sekä korroosion, että rapautumisen tutkimiseen. Se, tehdäänkö rapautumisen tutkiminen tarkastavana vai kartoittavana, määrää rapautumisen tutkimuksen koepalojen määrän: tarkastavassa tutkimuksessa varmistetaan rapauman aiheuttaja ja siihen voi riittää yksi koepala, joka otetaan rapautuneen betonin läheltä. Laajuutta kartoittava tutkimus vaatii yleensä useita otoksia. Toisaalta tässä tapauksessa tutkitaan vain yhdenlaista rakennetta jokaiselta nosturiradalta, joten vaurion laajuus lienee aina yhden nosturiradan kattava.

Ohuthienäytteestä saadaan selville rapautumisen aste, eli se, kuinka pitkälle rapautuminen on jo edennyt. Tämä on tärkeä tieto, kun arvioidaan kantavien rakenteiden turvallisuutta. Lisäksi sillä selvitetään rapautumisen syy: onko kyseessä pakkasrapautuminen, ettringiittireaktio, alkaliviainesreaktio tai kenties valmistusvirhe. Tällä tiedolla on iso merkitys korjaussuunnitelmaa tehdessä. Suojahuokossuhde voidaan myös jättää selvittämättä vanhimmista pilareista, sillä toimiva suojahuokostus on ollut yleisessä käytössä vasta 1980-luvulla. Ohuthienäyte kertoo myös betonin laadusta yleisesti. Sillä voidaan selvittää karbonatisoitumissyvyys ja pintakäsittelyiden tartuntatila sekä siinä mahdollisesti olevat haitta-aineet. Jäädytys-sulatuskoe kertoo lisäksi sen, onko betoni täysin pakkasenkestävää. Sitä tutkitaan kuitenkin hyvin harvoin, eikä tässäkään tapauksessa tarvetta lienee ole.

Liitteessä 23 on taulukko, jossa on kuvattuna erilaisia tutkimusmenetelmiä pakkasrapauman tutkimiseksi. (BY 42, 2013, s. 79-81 ja 104-109)

4.2.5 Kiinnitykset, kannatukset ja sidonnat

Kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen vauriot ovat tässä tapauksessa pilareiden yläosassa olevia nosturiradan kiskon ja pilarin välisiä kannakkeita ja kiinnikkeitä. Niiden kunto riippuu pilarin yläpäähän kunnosta ja päinvas-toin. Niiden tutkiminen tulee tehdä henkilönostimesta, jolloin tutkittavan nosturiradan pääkytkimen on oltava lukittuna nolla-asentoon sellaisella turvalukolla, jonka ainoa avain on nostimen kuljettajan taskussa. Kuntoa arvioidessa tulisi miettiä myös kiinnikkeen mahdollisuutta hajota tai pettää ja mitä seurauksia sillä voisi olla. Pilarin kunnostamisen kannalta ja varsinkin remontin työvaiheiden kannalta näiden kiinnikkeiden ja kannattimien kunnolla on suuri merkitys.

4.2.6 Kosteustekninen toimivuus

Rakenteen kosteustekninen toimivuus on aina yksi osa kuntotutkimusta. Myös tässä tapauksessa sitä voidaan pohtia varsinkin pilarin yläpäähän osalta, jossa tarkastelun aiheena on kiinnitysten ja kannatusten patoama tai

betonin sisään kuljettama vesi. Korjaussuunnitelmassa seisovan veden aiheuttaman ongelman voisi poistaa. (BY 42, 2013, s. 83)

4.2.7 Pintakäsittelyjen vauriot

Pintakäsittelyjen vauriot on myös syytä kirjata ylös, vaikka tulossa olisikin isompi remontti. Rikkoontunut pintakäsittely saattaa toimia haitallisesti päästämällä kosteuden lävitseen, mutta ei päästä sitä haihtumaan kunnolla, jolloin paikallista kosteusrasitusta on saattanut tulla. Tämän vuoksi käytetty pintakäsittelyaine tulisi olla tiedossa. (BY 42, 2013, s. 86)

4.2.8 Halkeamat

Halkeilu on pilareissa yleistä ja niiden syyn ja laajuuden/syvyyden selvittäminen on ensiarvoisen tärkeää korjaussuunnitelman tekemiseksi. Halkeamien sijainti, koko ovat tärkeitä tietoja analysoinnin kannalta ja siksi ne tulisi kirjata ylös. Liitteissä olevia valokuvia pilareiden vaurioista voi käyttää hyväksi ainakin esiselvitysvaiheessa, mutta ne voivat olla apuna myös kerätessä materiaalia kuntotutkimukseen. Halkeamien leveyttä ja pituutta tulisi lisäksi mitata. Syvyyden mittaaminen on mahdollista, kun otetaan halkeaman ympäriltä timanttikoralla lieriönäyte, joka analysoidaan laboratoriossa. Halkeamien liikkuvuus olisi myös hyvä todeta ja kartoittaa tutkimuksissa, jotta syy niiden liikkumiseen voitaisiin selvittää. Tämän voisi testata esimerkiksi tekemällä kipsisiltoja halkeamien yli ja tarkkailla säännöllisesti, tuleeko kipsiin halkeamia. Halkeamien vaikutus rakenteen turvallisuuteen tulisi myös arvioida. (BY 42, 2013, s.86 ja s.116)

4.2.9 Aiempien korjausten vaikutus nykykuntoon

Aiemmat korjaukset tuovat tietoa pilareiden kunnosta. Mikäli ne on tehty suunnitelmallisesti, niistä voi olla saatavilla kirjallista materiaalia esimerkiksi pinnoitteiden osalta. Mikäli pinnoitteen selvittäminen on oleellista, se saadaan selvitettyä helpoiten ja edullisesti lähettämällä näytepala laboratorioon. Laastipaikkauksia voidaan tutkia koputtelemalla tartunnan selvittämiseksi ja silmämääräisesti tutkimalla niiden yhtymäkohtia betoniin. Laastipaikan karbonatisoitumista voidaan tutkia samoin kuten betonistakin. (BY 42, 2013, s. 116)

4.2.10 Muita mittausmenetelmiä

Muita mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi betonin puristuslujuuden mittaaminen, kosteusmittaukset, raudoitteiden potentiaalimittaus ja kimmovasaratesti. Puristuslujuutta ei yleensä mitata kuntotutkimuksessa lainkaan, sillä se ei kerro vaurioista tai niiden etenemisestä mitään. Kosteusmittaukset eivät tässä tapauksessa tuo mitään merkittävää tietoa kosteusteknisestä käyttäytymisestä. Raudoitteiden potentiaalimittaus-

misella saadaan selville korroosion laajuutta, sillä terveen ja ruostuneen teräksen antamat mittaustulokset poikkeavat toisistaan. Tämä menetelmä voisi tulla kyseeseen käytettäväksi sisällä olevissa pilareissa silloin, kun suunnitellaan pilareiden alkalisuuden palauttamista. Kimmovasara-testi on epäluotettava vanhan betonin testauksessa, sillä karbonatisoitunut pinta on kovettunut ja antaa liian suuren testituloksen. Kimmovasara on hyvä apuväline silloin, kun betoni on melko uutta. (BY 42, 2013, s. 120-122)

4.2.11 Tulosten analysointi ja työn luovutus tilaajalle

Mittauksista, havainnoista ja laboratoriotutkimuksista saadaan paljon erilaista tietoa ja joskus tiedot saattavat olla jopa ristiriitaisia keskenään riippuen mittaustavasta, ympäristön olosuhteista, mittauskohdan sen hetkisestä olosuhteesta jne. Näillä yksittäisillä tiedoilla ei ole yksinään juurikaan merkitystä, mutta niiden kerääminen yhteen ja oikeiden johtopäätösten tekeminen niiden pohjalta on koko tähän saakka tehdyn työn tulos ja homman ydin. Tutkimustulosten analysointi onkin yksi kuntotutkimuksen vaativimmista tehtävistä. Analyysin tekijällä tulee olla selkeä käsitys kohteen rakenteista ja niiden toimivuudesta sekä niihin kohdistuvista rasituksista ja vauriomekanismeista. Kun hän on saanut muodostettua kuvan kohteen nykyisestä kunnosta, tulee hänen pystyä myös kuvailemaan vaurioiden kehittyminen tulevaisuudessa ilman korjaavia toimenpiteitä sekä käytettäessä erilaisia korjausmenetelmiä. Tämä kaikki tieto on vielä jalostettava sellaiseen muotoon, että työn tilaajana oleva henkilö, joka ei välttämättä virkansa puolesta tiedä korjausrakentamisesta juurmitään, saa vallitsevasta tilanteesta kokonaiskäsityksen ja pystyy saamansa tiedon turvin tekemään merkittäviäkin päätöksiä.

Työn luovutus tilaajalle onkin tulosten analysoinnin jälkeen seuraava tehtävä, jonka tekemiseen kannattaisi perehtyä huolella. Käytäntö on osoittanut, että jonkinlaisen infotilaisuuden pitäminen tilaajalle on kaikkein paras tapa saada viesti perille. Silloin myös tilaaja voi pyytää tilaisuuteen myös ne henkilöt, jotka heidän puoleltaan ovat parhaiten perillä asiasta tai jotka tulevat vetämään hanketta eteenpäin. Infotilaisuudessa voidaan myös käydä rakentavaa keskustelua aiheesta ja saada näin vastauksia epäselviin asioihin. Mikäli hankkeella on jo korjaussuunnittelija tiedossa, hän voisi olla myös paikalla, jolloin erillistä palaveria kuntotutkijan ja suunnittelijan kesken ei välttämättä tarvita tai ainakin he voisivat jo tutustua ja vaihtaa yhteystietoja keskenään jatkoa ajatellen.

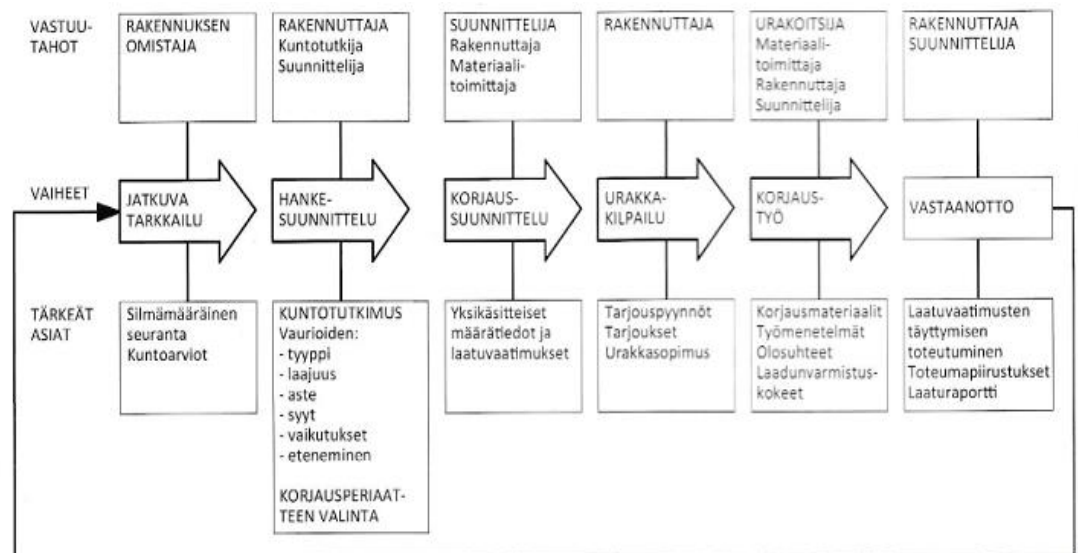
5 BETONIRAKENTEIDEN KORJAUS

5.1 Yleistä

Betonirakenteiden korjausta on, aivan kuten niiden valmistustakin, säädelty melko pitkälle laissa ja asetuksissa. Materiaalien tulee olla tehtävään työhön tarkoitettuja, CE-merkittyjä tuotteita ja kaikkien toimijoiden tulee olla työhönsä päteviä. Ja mitä vaativampi kohde on kyseessä, sitä korkeammat ovat vaatimukset. Esimerkiksi rakenteen kantavuuteen vaikuttavat korjaustoimet vaativat suunnittelijalta kantavien rakenteiden suunnittelijapätevyyttä (BY 41, 2016, s. 11). Tästä esimerkkinä seuraava luettelo, jossa suluissa viittaus Forssan nosturiratojen betonipilareihin:

- rakenteen kantavuus ja vakaus ovat selkeästi heikentyneet (paikoitellen näkyvissä olevat ruostuneet pääteräkset, joiden lujuus ja tartunta on menetetty sekä kohteen iän myötä edennyt karbonatisoituminen)
- purkutöiden alentava vaikutus kantavuuteen ja vakauteen (piikkauksen tai vesipiikkauksen myötä rapautunutta betonia saattaa irrota runsaastikin joidenkin pilareiden pinnalta)
- korjaustyöllä vahvistetaan rakennetta (korjaustyössä käytettävä betoni tulee olemaan alkuperäistä lujempaa, ainakin vanhimmissa pilareissa. Lisäksi pilareiden paksuus kasvaa, jotta raudotteiden päälle saadaan riittävä suojavahvuus)

Tämän opinnäytetyön myötä ollaan siirtymässä tarkkailuvaiheesta hanke-suunnitteluvaiheeseen. Korjaushankkeen kulusta on alapuolella selvennä kuva.



Kuva 1.1. Korjaushankkeen kulku.

Kuva 4. Korjaushankkeen kulku (BY 41, 2016, s.12)

5.2 Korjausperiaatteet ja -tavat

Korjausperiaatteella tarkoitetaan sitä, millä tavalla halutaan vaikuttaa rakenteen fysikaaliseen toimintaan tai toimivuuteen.

Korjaustapa tarkoittaa erilaisia käytännön korjaustoimenpiteitä, joilla saavutetaan korjausperiaatteen mukainen tulos. Korjaustapoja saattaa olla käytössä useitakin halutun korjausperiaatteen toteuttamisessa.

Korjausperiaatteita ja -tapoja voidaan jaotella eri tavoin. Tässä työssä on esiteltynä kaksi tapaa. Näistä jaotteluista teoreettisempi on esitetty standardissa SFS EN 1504 ja se löytyy taulukosta 1. Se kyllä kuvaa runsaasti erilaisia korjaustapoja, mutta ne eivät kaikki ole edes yleisesti käytössä ja saatavilla Suomessa. Sen sijaan taulukossa 2, *korjausasteen ja käsittelyjen mukainen korjaustapajaottelu*, on kuvattu Suomessa yleisesti käytössä oleva jaottelu.

Taulukko 1. Betonirakenteiden korjausperiaatteet ja -tavat (BY 41, 2016,s.14)

Taulukko 2.1. Betonirakenteiden korjausperiaatteet ja näihin liittyvät korjaustavat SFS EN 1504-9 (2009) mukaan.

Korjausperiaate	Korjaustapa
1. Pinnan tiivistäminen	1.1 Vettähylyvä impregointi 1.2 Impregointi 1.3 Pinnoittaminen 1.4 Pintahalkeamien sulkeminen 1.5 Halkeamien täyttö 1.6 Halkeamien ohjaaminen saumoihin 1.7 Ulkopuolisten levyjen asentaminen 1.8 Vedeneristys
2. Kosteuden säätely	2.1 Vettähylyvä impregointi 2.2 Impregointi 2.3 Pinnoittaminen 2.4 Ulkopuolisten levyjen asentaminen 2.5 Sähkökemiallinen käsittely
3. Betonin korjaus	3.1 Käsin tehtävä laastipaikkaus 3.2 Valaminen uudelleen betonilla tai laastilla 3.3 Ruiskubetonointi 3.4 Elementtien uusiminen
4. Rakenteen vahventaminen	4.1 Betoniraudoituksen tai ulkopuolisten raudotteiden lisääminen tai uusiminen 4.2 Raudoitustankojen asentaminen betoniin tehtyihin varauksiin tai porattuihin reikiin 4.3 Vahventaminen levyillä 4.4 Laastin tai betonin lisääminen 4.5 Halkeamien, kolojen tai rakojen injektointi 4.6 Halkeamien, kolojen tai rakojen täyttö 4.7 Esijännitys (jälkijännittäminen)
5. Vastustuskyvyn lisääminen fyysisiä rasituksia vastaan	5.1 Pinnoittaminen 5.2 Impregointi 5.3 Laastin tai betonin lisääminen

Korjausperiaate	Korjaustapa
6. Kemikaalienkestävyys	6.1 Pintakäsittelyt 6.2 Impregnointi 6.3 Laastin tai betonin lisääminen
7. Passiivisuuden säilyttäminen tai palauttaminen	7.1 Betonipeitteen paksuntaminen laastilla tai betonilla 7.2 Saastuneen tai karbonatisoituneen betonin korvaaminen uudella 7.3 Karbonatisoituneen betonin sähkökemiallinen uudelleenalkalointi 7.4 Karbonatisoituneen betonin uudelleenalkalointi diffuusion avulla 7.5 Sähkökemiallinen kloridien poisto
8. Betonin ominaisvatsuksen parantaminen	8.1 Vettä hylkivä impregnointi 8.2 Impregnointi 8.3 Pinnoittaminen
9. Katodinen säätely	9.1 Happipitoisuuden rajoittaminen (katodilla) kyllästämällä tai pintakäsittelyllä
10. Katodinen suojaus	10.1 Sähköisen potentiaalın hyväksikäyttö
11. Anodisten alueiden säätely	11.1 Raudoituksen suojaus aktiivisilla pinnoitteilla 11.2 Raudoituksen käsittely suojapinnoitteilla 11.3 Betonin inhibointi

Taulukko 2. Korjausasteen ja -käsittelyjen mukainen korjaustapajaottelu (BY 41, 2016, s. 15)

Taulukko 2.2. Tässä ohjeessa käytetty korjausasteen ja korjauskäsittelyjen mukainen korjaustapajaottelu.

Korjausperiaate	Korjaustapa
Säilyttävä korjaaminen	Impregnointi (ks. kohta 9.1) Pinnoittaminen (ks. kohta 9.5) Ylitasoitus (ks. kohta 4.9) Laastipaikkaaminen (ks. kohta 4) Valukorjaaminen (ks. kohta 5.1) Halkeamien imeyttäminen, sulkeminen tai injektointi (ks. kohta 11)
Muuttava korjaaminen	Rakenteen pinnan verhoilu (ks. by 57 ja by 64) (käsittää yleensä myös lisälämmöneristämisen) Ruiskubetonointi (ks. kohta 5.2 ja by 63) Rakenteen vahvistaminen (ks. kohta 12) (eri tapoja)
Rakenteen uusiminen	Rakenteen purkaminen ja uudelleen rakentaminen joko kokonaan tai osittain
Erikoismenetelmät	Uudelleenalkalointi (ks. kohta 13.2) (sähkökemiallinen ja passiivinen) Katodinen suojaus (ks. kohta 13.1) Sähkökemiallinen kloridien poisto (ks. kohta 13.3) Inhibointi (ks. kohta 13.4)

Näillä taulukoilla ja kuvilla voidaan havainnollistaa erilaisia vaihtoehtoja, mutta tärkeintä on kuitenkin valita kohteeseen sopiva korjausmenetelmä, joka poistaa vaurioiden aiheuttamat haitat ja ehkäisee niiden jatkumisen ja uusien vaurioiden syntymisen rakenteen toimivuutta muuttamatta. (BY 41, 2016, s. 14)

5.3 Korjausperiaatteen ja -tavan valinnasta

Korjausperiaatteen ja -tavan valinta voidaan yleisellä tasolla jakaa kolmeen eri alaluokkaan:

1. tekniset seikat, joita ovat esimerkiksi rakenteen toimintavarmuus ja turvallisuus, vauriotilanteen mukainen korjaustarpeen kiireellisyys, teknisen suojauksen tarve esimerkiksi mekaanista rasitusta vastaan ja korjausmenetelmän toteutettavuus käytännössä
2. taloudelliset ym arvostukselliset seikat, esimerkiksi korjauskustannukset, rakenteen käyttöikä, korjaamisesta aiheutuvat haitat käyttäjälle, toiminnalliset vaikutukset (esimerkiksi korjatun rakenteen tuoma kapasiteetin nosto)
3. Yhteiskunnalliset seikat, esimerkiksi rakennusvalvonnan tai museoviraston määräämät rajoitukset

Yleensä valinta menee niin, että ensin haetaan kaikki teknisesti mahdolliset korjausmenetelmät ja niistä valitaan sitten taloudellisesti järkevin vaihtoehto. Valinnassa on hyvä olla kohdetta hieman laajempi kokonaiskuva, sillä korjattava kohde on useimmiten osa laajempaa kokonaisuutta, joka on otettava huomioon päätöksiä tehdessä.

5.4 Korjaustyön suunnittelu

Korjaustyöstä on laadittava suunnitelmia, jotta korjausrakentaminen voidaan toteuttaa vaatimuksenmukaisesti, turvallisesti ja ympäristöystävällisesti.

Suunnittelun toteuttaa yleensä rakennesuunnittelija, joka on riittävän päteväitynyt betonirakenteiden korjausten suunnitteluun kyseisessä kohteessa. Luvussa 5.1 on kerrottu syyt, miksi tässä kohteessa vaaditaan kantavien rakenteiden suunnittelijapätevyyttä.

Suunnittelijan tulee huolehtia, että hänellä on käytettävissään riittävät lähtötiedot. Yleensä tämä tarkoittaa myös sitä, että kuntotutkimus on suoritettu ja tulokset ovat käytettävissä.

Suunnittelija myös huolehtii tarvittavien piirustusten ja selitysten toimitamisesta rakennuslupaviranomaisille. Lisäksi hän laatii yksityiskohtaisemmat piirustukset ja selostukset itse korjaustyöstä, jotta niiden pohjal-

ta voidaan pyytää urakkatarjoukset ja niitä mahdollisesti työn edetessä vielä täydentämällä myös suorittaa korjaustyö.

Korjaussuunnitelmassa tulisi yksilöidä korjaustyöt mahdollisimman tarkasti urakkalaskentaa varten, mutta mikäli työn määrää ei voi ennakoida etukäteen, kannatta työ teettää yksikköhinnalla tai laskutyönä.

Suunnitteluvaiheeseen kuuluu myös turvallisuusasiakirjojen laatiminen. Niissä tulee olla kuvattuna hankkeeseen liittyvät ominaisuudet ja olosuhteet, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa korjaustyön tekijöille. Lisäksi työn toteutusta varten tulee olla kirjalliset turvallisuussäännöt ja paikalliset menettelyohjeet. Tämä edellyttää yhteistyötä tehtaan oman työturvallisuusvaltuutetun kanssa, jotta tehtaan hyvä turvallisuuskulttuuri saadaan jo tässä vaiheessa urakoitsijoiden tietoon.

Myös mahdollisista haitta-aineista ja vaarallisista purkujätteistä tulee olla toiminta- ja turvallisuusohjeet suunnitelmissa. (BY 41, 2016, s. 15-19)

5.5 Mallityöt

Yleensä mallityö vaaditaan varsinkin ulkonäöllisten seikkojen vuoksi. Tässä tapauksessa mallityön tarve voisi olla pikemminkin teknisesti oikean korjaustavan hyväksyminen. Mallityö voisi olla jonkin nosturiradan loppupäässä sellaisessa paikassa, joka ei häiritse tuotantoa ja jota tuotanto ei häiritse. Tämä silloin, kun mallityö käsittää esimerkiksi betonirakenteen esivalmistelun betonointia tai laastipaikkausta varten. Kyseessä voisi olla vaikkapa vesipiikkaus käsikäyttöisellä kalustolla ja vaikkapa raudoituksen vahvistaminen. Myös pinnan puhdistaminen ennen betonointia voisi olla hyvä mallityön aihe, sillä siitä voisi tehdä vetolujuuskokeen ja näin saataisiin lisää varmuutta korjausmenetelmän oikeellisuudesta.

Mallityö pitäisi tehdä varsinkin betonoinnin osalta silloin, kun kyseinen nosturirata ei ole käytössä eli tehtaan työajan ulkopuolella siten, että betoni saa rauhassa kovettua. Betonoinnin osalta kaluston tuonti mallityön tekemiseen saattaa olla itsessään jo niin merkittävä kulu, että mallityön teko voisi tapahtua varsinaisen korjausurakan alkajaisiksi siten, että työ hyväksytettäisiin ja se voisi toimia urakan aikaisena vertailukohtena työtavasta ja työn jäljestä.

5.6 Korjattavien pilareiden korjausten laajuuden määrittäminen ja mittaaminen

Suunnitteluvaiheessa ei voi välttämättä olla tiedossa korjaustarpeen laajuus ja korjattavien pilareiden tarkka lukumäärä. Tämän vuoksi tarjousten tekeminen perustuukin arvioon. Tämän arvion pohjalta tehtyä urakkahintaa voidaan kuitenkin pitää korjauskustannusten kiinteänä osana. Tämän lisäksi urakoitsijalta on saatava myös yksikköhinta, jota voidaan käyttää

kiinteän hinnan lisäksi silloin, kun korjaustyön edetessä kohteiden määrä tai laajuus muuttuu. Nämä yhdessä muodostavat urakan kokonaishinnan. Paikkansa pitävän kokonaishinnan saamiseksi on hyvä mainita urakka-asiakirjoissa ne periaatteet, joita käytetään yksikköhintaisten töiden mittaamisessa, dokumentoinnissa ja hyväksymisessä: kuka mittaa ja milloin ja miten mittaukset suoritetaan sekä miten määrät todennetaan ja hyväksytään. (BY 41, 2016, s. 20-21)

5.7 Vauriokohtien paikallistaminen

5.7.1 Yleistä

Kuntotutkimus ei yksilöi ja listaa kaikkia korjattavia kohtia, vaan antaa yleiskuvan vaurioista ja betonirakenteen senhetkisestä kunnosta. Siksi olisi syytä sopia, kuka vauriokohdat paikantaa sekä mitä menetelmiä ja kriteereitä tähän työhön käytetään. Tämä erityisesti silloin, kun paikallistamisen tekee urakoitsija itse korjaustyön edetessä.

5.7.2 Rapaumavaurioiden paikallistaminen

Ohuthienäytteet on otettu kuntotutkimusvaiheessa, joten se ei ole enää työnaikaisen paikallistamisen työkalu ja harvoin edes suunnitteluvaiheessa käytettävä metodi.

Sen sijaan silmämääräinen hakeminen vasarointia apuna käyttäen on sangen nopea ja huokea keino löytää vauriot. Myös piikkaamisella saadaan paikallisen vauriokohdan laajuutta selvitettyä, kunhan osataan rajata vauriokohta ympäristöstään siten, ettei piikatessa aiheuteta enempää korjaamista, kuin mitä oli alun perin ennen piikkausta.

Piikkausta hellävaraisempi paikallistamismuoto on vesipiikkaus. Sillä saadaan paitsi irrotettua rapautunut betoni alustastaan, myös muodostettua hyvä tartuntapinta korjaukselle ja puhdistettua teräkset ruosteesta.

Vetokoe antaa hyvää tietoa paikallisesta korjauskohdasta. Sen käyttäminen ja tuloksen tulkitseminen vaativat hieman erikoisosaamista ja taustatietoja kohteesta. Vetolujuusarvojen tulkintaan vaikuttaa myös se, jos vanha betoni on ollut jo alun perinkin vetolujuudeltaan heikkoa. Myös muista syistä aiheutuneet halkeamat vaikuttavat vetolujuuden arvoon, joten raja-arvon määrittäminen saattaa olla hankalaa. Tähän kohteeseen vetokoe ei välttämättä sovellukaan kovin hyvin.

Kimmovasaralla tehdyt testit eivät anna luotettavaa kuvaa vanhan betonirakenteen lujuudesta, sillä betonin karbonatisoiduttua sen pinta on sisäosaa kovempaa. Kimmovasaran käyttö soveltuu vain suhteellisen uu-

sien rakenteiden tutkimiseen silloin, kun rakenteen pinta on hyvänlaatuinen ja kostutettu. (BY 41, 2016, s. 21-22)

Taulukko 3. Rapautumavaurioiden paikallistamiseen ja laajuuden määrittämiseen soveltuvia menetelmiä (BY 41, 2016, s.22)

Taulukko 3.1. Rapautumavaurioiden paikallistamiseen ja laajuuden määrittämiseen soveltuvia menetelmiä ja niiden soveltuvuus korjaushankkeen eri vaiheisiin.

	Menetelmän tarkkuus		Soveltuvuus eri vaiheissa		
	Rapautumisaste	Edustavuus	Kunto-tutkimus	Suunnit-telu	Toteutus
Silmämääräinen arviointi	Erittäin pitkälle edennyt	Erittäin laaja	+	(+)	+
Vasarointi	Erittäin pitkälle edennyt	Laaja	+	(+)	+
Vetokoe	Pitkälle edennyt	Pistemäinen	+	+	+
Ohuthie / Pintahie	Alkava	Pistemäinen	+	(+)	-
Mek. piikkaus	Pitkälle edennyt	Pistemäinen	-	-	+
Vesipiikkaus	Alkava	Laaja-alainen	-	-	+

+ = soveltuu käytettäväksi (+) = ei yleensä käytetä - = ei yleensä soveltu käytettäväksi

5.7.3 Raudoitteiden korroosiovaurioiden paikallistaminen

Mikäli ruostuneita teräksiä on jo näkyvissä vauriokohdassa, on ne piikattava näkyviin riittävän laajalta alueelta. Mikäli rauditus piikataan esiin vain vauriokohdasta, on seuraava korjaustarve samassa paikassa tai aivan sen vieressä jo muutaman vuoden kuluttua.

Lähellä betonin pintaa olevat raudoitteet on aina piikattava näkyviin. Raudoitteiden peitepaksuuksia voidaan mitata peitepaksuusmittarilla betonin pintaa rikkomatta. Jotkin peitepaksuusmittarit saattavat tarvita lähtötiedoksi teräksen paksuuden, mutta ainakin tässä kohteessa piirustus-ten puuttumisen vuoksi tulee käyttää sellaista mittalaitetta, joka kertoo mittaajalle suojabetonin paksuuden lisäksi mittauskohdassa teräksen koon ja suunnan. Tämän lisäksi tarvitaan korjaussuunnittelijan kuntotutkimuksen perusteella määrittelemä rajasyvyys, jota lähempänä pintaa ovat teräkset piikataan esiin. Rajasyvyys ei tarkoita suoraan suurinta karbonatisoitumissyvyyttä, vaan sitä määriteltessä tulee ottaa huomioon myös suurimpien karbonatisoitumissyvyyksien yleisyys. (BY 41, 2016, s. 23-25)

5.7.4 Halkeamien paikallistaminen

Halkeamien havaitseminen helpottuu selvästi esimerkiksi hiekkapuhalluksen tai vesipiikkauksen jälkeen. Halkeamat tulee luetteloida ja eritellä niiden leveyden ja sijainnin perusteella, jolloin niitä voidaan paremmin käyttää niiden synnyn selvittämiseen ja korjaustavan valitsemiseen. (BY 41, 2016, s. 26)

5.8 Korjattavien pintojen esikäsittely

5.8.1 Esikäsittely lyhyesti

Korjattava betonipinta vaatii aina esikäsittelyä. Siitä poistetaan vaurioitunut betoni, rauditus puhdistetaan ruosteesta ja mahdollisesti vahvistetaan. Lisäksi pinnasta poistetaan kaikki tartuntaa heikentävä aines ja pinta puhdistetaan ja kostutetaan ennen korjausta. Esikäsittelyn aikana saattaa ilmetä lisää vauriokohtia. Tällöin korjaussuunnitelmiin voi helposti tulla lisäyksiä tai muutoksia. Esimerkiksi jossain pilarissa voi pahimmassa tapauksessa olla niin paljon huonoa betonia, että pääteräket tulevat kokonaan näkyviin. Tällöin on otettava yhteyttä suunnittelijaan mahdollisten lisätukien asentamisen vuoksi ja siitäkin syystä, että ilmiö voi toistua useammassa pilarissa samalla nosturiradalla.

5.8.2 Betonin poisto

Huonokuntoinen betoni poistetaan pilareista joko piikkaamalla tai vesipiikkaamalla. Mekaaninen piikkaaminen on syytä tehdä huolellisesti ja varovaisesti, jotta ei vaurioiteta teräksiä ja tervettä betonia. Vesipiikkauksella voidaan päästä samaan tulokseen veden työpainetta säätämällä. Vesipiikkauksen etuna on hellävaraisempi piikkausprosessi, jossa halkeamia ei juuri synny lisää ja raudotteita ei rikota, vaan ne saadaan puhdistettua ruosteesta. Lisäksi se karhentaa betonin pintaa saaden aikaan isomman tartuntapinta-alan. Alla olevassa taulukossa esitellään erilaisia poisto- ja puhdistustapoja.

Taulukko 4. Betonin poisto- ja puhdistusmenetelmistä (BY 41, 2016, s.27)

Taulukko 3.4. Yhteenveto betonin poisto- ja puhdistusmenetelmistä.

Menetelmä	Betonin poistaminen	Betonipinnan puhdistaminen	Raudoituksen puhdistaminen	Irtoaineksen poistaminen	Vaikutussyvyys [mm]
Mekaaninen piikkaus	x				
Vesipiikkaus	x	x	x		> 5
Murtaminen	x				> 200
Jyrsintä käsin	x	x			1 - 3
Jyrsintä koneellisesti	x	x			3 - 8
Hiominen		x			1 - 3
Leikkaaminen	x				
Vesihiekkapuhallus	(x)	x	x		0 - 5
Korkeapainepesu		x		x	
Vesihiekkapesu	(x)	x			0 - 1
Suurpainepesu	x	x	x		0 - 5
Sinkopuhdistus	(x)	x			0 - 3
Hiilihappojääpuhallus		x		x	0 - 1
Imurointi				x	
Paineilmapuhallus				x	

(x) poistaa pinnasta vain rapautunutta betonia

Mikäli korjausvaihtoehtona on kokonaan uusi rakenne, voidaan vanha pilari poistaa murtamalla betoni puristumurskaimella tai leikkaamalla timanttisahalla.

5.8.3 Raudoituksen lisääminen

Mikäli korjattava paikka on suurimmalta leveydeltään yli 10 cm ja pituudeltaan vähintään 50 cm, suositellaan asennettavaksi tankoraudoitus. Raudoitus voidaan kiinnittää olemassa olevaan raudoitukseen tai sitä varten voidaan ankkuroida metallitappeja. Mikäli suojavahvuus näyttäisi jäävän alle 25 mm:n, tulee käyttää ruostumatonta terästä. Tangon tilalla voidaan käyttää myös teräskuitubetonia, mutta myös se vaatii ankkuroinnin vanhaan betoniin.

Raudoitusta voidaan joutua lisäämään suunnittelijan ohjeistuksen mukaisesti myös silloin, kun korrosio on jo tuhonnut vanhoja raudoituksia pintaa syvemmältä

5.8.4 Pinnan puhdistus

Pilareiden pintojen puhdistus voidaan toteuttaa seuraavilla menetelmillä:

- Vesipiikkauksella. Mikäli tämä työtapa on jo käytössä betonin poistossa, ei erillistä pesua sen jäljiltä tarvita. Painetta ja vettä säätämällä sillä voidaan puhdistaa kaikki korjattavat betonipinnat. Työssä käytetty vedenpaine on välillä 400-3000 bar eli 40-300 MPa riippuen siitä, irrotetaanko betonia vai karhennetaanko tai pestäänkö pintaa.
- Suurpainepesulla. Tätä työtapaa voi käyttää myös vesipiikkauksella. Suurpainepesu poikkeaa vesipiikkauksesta lähinnä siten, että käytetty vedenpaine on matalampi, 15-100 MPa, eikä siinä käytetä iskevää suihkua. Puhdistusteho on kuitenkin lähes samaa luokkaa vesipiikkauksen kanssa, betonin poistossa on suurimmat erot.
- Vesihiekkapuhalluksella tai hiekkapuhalluksella saadaan poistettua betonista vanhat pinnoitteet ja sementtiliima. Veden lisääminen puhallussuihkuun tekee työstä pölyttömän, mutta työstä syntynyt liete on pestävä erikseen heti pois. Samoin tietysti kuivahiekkapuhalluksen jäämät tulee pestä pois. Ilmanpaineena on yleensä 6-8 bar eli 0,6-0,8 MPa.
- Korkeapainepesulla eli tuttavallisemmin painepesulla saadaan betonin pinnasta poistettua heikosti kiinni oleva aines, esimerkiksi vesihiekkapuhallusliete tai hilseilevä maali. Vedenpaine on välillä 100-200 bar eli 10-20 MPa. Kuumaa vettä käytettäessä pesuteho paranee. Pesuaineita ei yleensä käytetä, mutta jos käytetään, tulee niiden olla emäksisiä ja muutenkin betonikorjaukseen sopivia.
- Vesihiekkapesu on harvemmin käytetty työtapa. Siinä paineveden lisäksi puhalletaan hiekkaa tehostamaan veden vaikutusta. Tässäkin tapauksessa syntynyt liete pitää erikseen pestä pois.
- Paineilmapuhallusta voidaan käyttää viimeistelypuhdistuksena poistamaan mahdollinen pöly betonin huokosista.

5.8.5 Pinnan kostutus

Mikäli korjaustuotteet ovat runsaasti tai pelkästään polymeerejä sisältäviä, noudatetaan silloin valmistajan ohjeita ja kostutusta ei välttämättä tarvita lainkaan.

Korjattaessa betonia sementtipohjaisilla tuotteilla tulee korjattavan pinnan olla sopivan kostea. Mikäli pinta on liian kuiva, imee se itseensä korjausmassan vettä ja voi saada kovettumisen loppumaan ennen aikojaan. Juuri korjausmassan ja korjattavan betonin rajapinnalla tapahtuva lujuiden menetys tarkoittaa tartunnan heikkenemistä. Mikäli pinta on liian kostea, eli siinä on vapaata vettä, tartuntaa ei pääse syntymään. Yleensä

esikostutus tehdään edellisenä päivänä runsaalla vedellä ja korjauspäivänä vain kevyellä vesisumulla. Viimeinen kostutus tulee tehdä ehdottomasti puhtaalle pinnalle. Kosteuspitoisuuteen vaikuttavat erilaiset luonnonilmiöt, mm lämpötila ja tuuli sekä ilman suhteellinen kosteus. Varmin tapa on käyttää kosteusmittausta, jolloin suunnittelija on antanut betonin pinnan kosteudelle raja-arvot tietyille mittarille. (BY 41, 2016, s. 26-34)

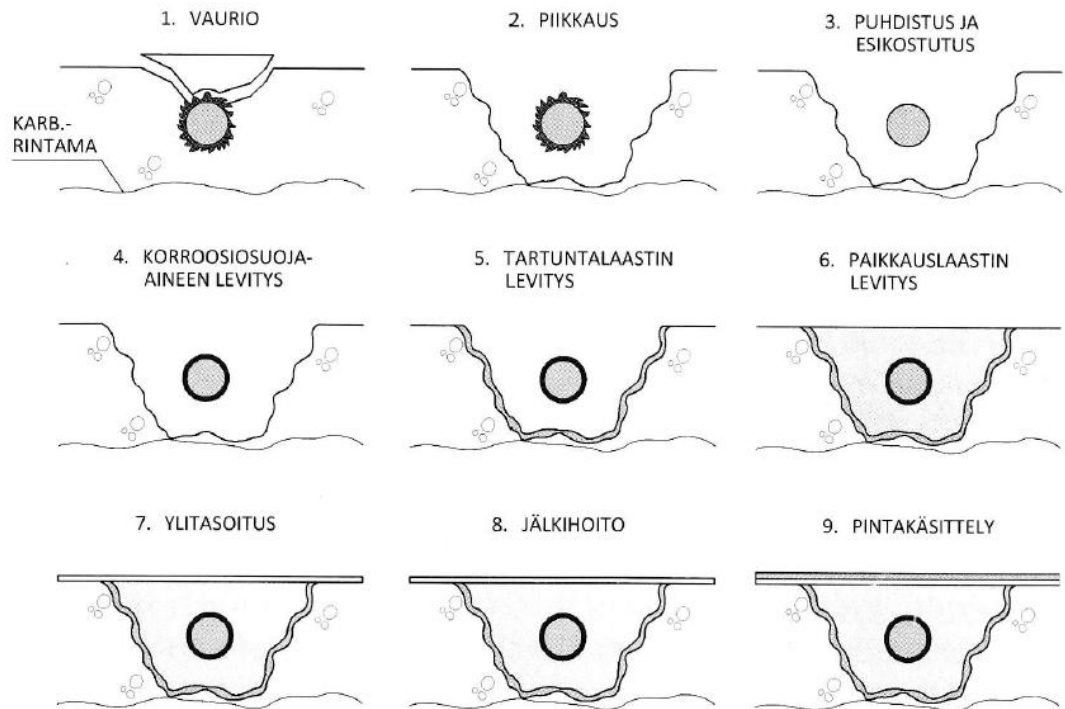
6 KORJAUSVAIHTOEHTOJA

6.1 Laastipaikkaukset

6.1.1 Yleistä

Laastipaikkausta voidaan käyttää silloin, kun vaurio on paikallinen ja suhteellisen pieni eikä rakennetta tarvitse vahvistaa. Laastipaikkauksella voidaan estää korroosion eteneminen vauriokohtaa laajemmalle, kun se tehdään oikeaoppisesti ja huolellisesti. Se on myös mahdollista tehdä jälkikäteen huomaamattomaksi ympäröivään betoniin nähden. Laastipaikkaus koostuu useasta työvaiheesta ja on tärkeää, että eri työvaiheissa käytettävät aineet sopivat käytettäväksi keskenään. Siksi turvallisinta on käyttää saman tuoteperheen materiaaleja jokaisessa työvaiheessa. Ulkona olevien pilareiden paikkauksessa tulee käyttää pakkasenkestäviä tuotteita. Lujuusluokaltaan niiden tulisi olla hieman paikattavaa kohdetta heikompiä. Raekoko tulisi olla mahdollisimman suuri, muttei kuitenkaan suurempi, kuin 1/3 paikan paksuudesta. Myös työstettävyyä ja jälkihoidon tarve kannattaa ottaa huomioon materiaalien valinnassa.

Laastipaikkaus voidaan jakaa erilaisiin työvaiheisiin, jotka ovat esiteltyinä kuvassa 5.



Kuva 4.1. Laastipaikkauksen tyypilliset työvaiheet.

Kuva 5. Laastipaikkauksen työvaiheet (BY 41, 2016, s.37)

6.1.2 Betonin poistaminen vauriokohdasta

Korroosiovauriota paikattaessa on tärkeää saada ruostunut raudoite näkyviin ympäriinsä. Raudoitteen taakse täytyy saada vapaata tilaa vähintään 1,5 kertaa raudoitteen halkaisijan verran, mutta vähintään ainakin 15mm ("sormi mahtuu taakse"). Ruostuneen teräksen paljastamisen jälkeen on raudoitetta paljastettava vielä vähintään 100 mm ehjän betonin sisältä, jotta korrosio saadaan varmemmin pysäytettyä.

Mikäli halutaan päästä mahdollisimman pitkäikäiseen korjaukseen, on piikattava näkyviin kaikki teräkset, jotka ovat suunnittelijan määrittämää rajasyvyyttä lähempänä pintaa.

Pakkasrapauksen paikkauksessa kaikki heikko betoni poistetaan lujaan betoniin asti. Lujasta betonista tulisi tehdä vetokoe, jonka vetolujuuden suunnittelija määrittelee. Vetokokeen tulos tulisi olla vähintään 1 MPa. Poikkeustapauksissa voidaan hyväksyä myös 0,7 MPa vetolujuus. Tällöin on varmistuttava siitä, ettei alhainen tulos johdu rapaudesta, vaan esimerkiksi betonin kiviaineksen suuresta koosta ja pyöreästä muodosta tai alhaisen lujuusluokan paikkausmateriaalin käytöstä.

6.1.3 Raudoitteiden ja betonin puhdistus ja esikastelu

Rakenteeseen jäävän raudoituksen tulee olla ruosteesta vapaa (puhtausluokka Sa2). Tähän puhtausluokkaan päästään järkevimmin vesipiikkauksella, sillä se käy myös rapautuneen betonin poistoon ja betonipinnan puhdistamiseen, joten kolme asiaa saa tehtyä kerralla kuntoon. Raudoitteiden korroosiosuojaus on syytä tehdä silloin mahdollisimman pian puhdistuksen jälkeen, jotta ne eivät ruostu uudelleen.

Raudoitteiden puhdistukseen käy myös hiekkapuhallus. Tällöin korroosiosuojauksen toteuttamisella ei ole aivan niin kova kiire. Betonipinnan puhdistukseenkin hiekkapuhallus sopii, mutta sen teho ei riitä rapautuneen betonin poistamiseen ja betonipinta on vielä erikseen puhdistettava hiekkapuhalluksen jättämistä aineksista.

Esikostutus on selostettu kohdassa 5.8.5.

6.1.4 Korroosiosuoja-aineen levitys

Korroosiosuoja-aine on useimmiten sementtipohjainen. Polymeeripohjaisia aineita käytetään vain erikoistapauksissa. Korroosiosuoja-aine levitetään kaikkialle raudoitteiden päälle tasaiseksi kerrokseksi valmistajan ohjeen mukaisesti. Ruosteenestomaaleja ei saa käyttää. Korroosiosuoja-ainetta ei välttämättä tarvita ollenkaan, jos voidaan päätellä, että korroosiota ei enää pääse muodostumaan esimerkiksi laastin antaman korroosiosuojan ja paksun suojapeitteen vuoksi.

6.1.5 Tartuntalaastin levitys

Tartuntalaastia joudutaan silloin tällöin käyttämään, kun korjausmateriaaliksi valitun tuoteperheen ohjeistus niin vaatii. Myös suunnittelija saattaa haluta tartuntalaastin varmistamaan kunnollinen tartuntalujuus. Tartuntalaasti levitetään yleensä ristiin harjaamalla sopivan kosteaan alustaan. Tuotteen mukana tulevia ohjeita on syytä noudattaa.

6.1.6 Paikkauslaastin levitys

Laastin levityksessä noudatetaan valmistajan antamia ohjeita. Yleensä syvemmät kolot eivät täyty kerralla ja ne kannattaa kasvattaa hieman ohuemmissa kerroksissa, kuin mitä valmistaja on ilmoittanut. Näin pelataan varman päälle, ettei pääse syntymään kutistumahalkeamia tai ettei pinta jää kuopalle. Laasti on yleensä melko jäykkää ja vaatii huolellisuutta täyttää joka kolo pohjia myöten hyvän tartunnan saamiseksi. Pintakäsittelyn kanssa tulee olla varovainen, jotta pohjantartunta ei pääse häiriintymään. Pinta kannattaa ehkä vain leikata lastalla tai liipalla muun pinnan kanssa samaan tasoon ja tasoittaa sitten myöhemmin tarvittaessa.

6.1.7 Pinnan ylitasoitus

Pintaa ei aina tarvitse tasoittaa yli lainkaan. Ylitasoitus on kuitenkin paikallaan, jos esimerkiksi hiekkapuhalluksessa on rikottu ympäröivän betonin pintaa tai tarkoituksena on vielä pinnoittaa rakenne ja paikattu kohta on siihen liian karkea. Ylitasoitus voi myös liittyä passiiviseen alkalointiin, jolloin tasoitteessa oleva alkalisuus siirtyy hitaasti käsiteltävään betoniin korjaten sen pH-arvoa ja estäen siten teräskorroosiota.

Ylitasoitusta varten betonin pinta on puhdistettava ja esikostutettava. Tasoitus voidaan tehdä lastalla tai ruiskuttamalla. Yli 5 mm syvät kolot tulee paikata erikseen tasoituslaastilla ennen ruiskutusta. Yli 10 mm syvät kolot paikataan erikseen paikkalaastilla jo aiemmin valmistajan ohjeen mukaan. (BY 41, 2016, s. 37-42)

6.1.8 Jälkihoito

Jälkihoito tulee tehdä laastin valmistajan ohjeiden mukaan. Sementtipohjaiset tuotteet vaativat aina veden läsnäolon kovettumisprosessiinsa ja mikäli ne pääsevät kuivumaan, ei saavuteta enää tavoitelujuutta ja tiiveyttä. Ulkona olevat betonipilarit ovat alttiina tuulelle ja auringonpisteelle, jonka vuoksi jälkihoito tulisi aloittaa mahdollisimman pian ja hoidon tulisi olla tehokasta. Liiallista kastelemista vesisuihkulla tulee silti välttää, jottei pinta pääse vaurioitumaan. Kostutus tulisi tapahtua vesisumuna ja sen tulisi toistua usein. Peittäminen muovilla olisi kuitenkin helpompi ja suositeltavampi tapa. Myös jälkihoitoaineilla voidaan suorittaa onnistunut lopputulos, kunhan aine vain on valittu huolella eli sen toimivuudesta on testattua tietoa. Jälkihoitoon käytettävä aika riippuu ilman lämpötilasta ja käytetyistä materiaaleista. Ohjeellinen jälkihoitoaika 5-20 °C lämpötilassa laasteille on puhtaalle sementtilaastille 7 vrk ja polymeerimodifioidulle sementtilaastille 3 vrk. Yli 20°C:n lämpötilassa ajat ovat kaksinkertaiset (eli 14 vrk ja 6 vrk). (BY 41, 2016, s. 56)

6.1.9 Pintakäsittely

Betonipilareiden pintakäsittelyllä voidaan parantaa betonin ja raudoitteiden suojausta merkittävästi. Pintakäsittelyssä käytettävä aine olisi hyvä olla samaa tuoteperhettä alempien laastikerrosten kanssa. Pintakäsittelyyn paneudutaan omana lukunaan myöhemmin, sillä se ei koske pelkästään laastipaikkauksia.

6.2 Ruiskubetonointi

6.2.1 Yleistä

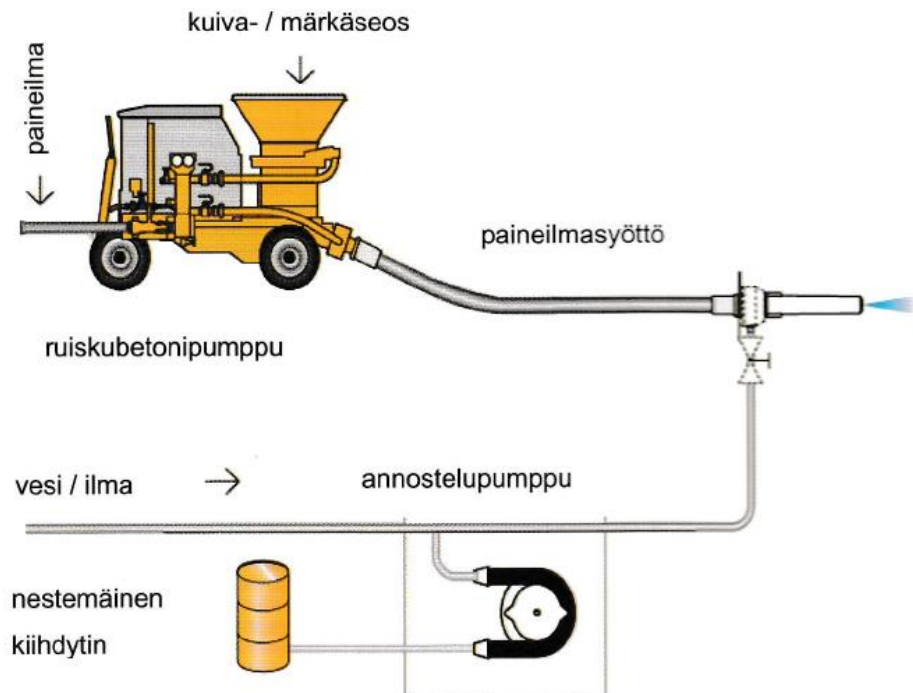
Ruiskubetonointi on yli 100 vuotta sitten kehitetty betonointimenetelmä. Se on syrjäyttänyt käytännössä kaikki muut menetelmät tunnelirakentamisessa sekä maan ja kallion lujituksessa. Tällaisten suurten pinta-alojen betonointi on pitkälle koneistettu ja automatisoitu suuren tuoton vaatimien, ruiskuttamisessa vallitsevien voimien, takia. Ihmiskäsi ei pysty pitämään kovalla teholla toimivaa ruiskusuutinta kauaakaan, vaan työ on enimmäkseen robotisoitu ja kauko-ohjattu. Tässä työssä käytetään ns märkäseosmenetelmää, jossa valmis betoni pumpataan letkua pitkin suuttimelle, jossa se paineilman avulla ruiskutetaan kohteeseen. Siirtomatka on melko lyhyt ja betonautojen on päästävä kohteen lähelle. Märkäseosmenetelmällä päästää jopa 20-25 m³/h siirtotehoon.

Kuivaseosmenetelmä soveltuu sen sijaan varta vasten pieniin kohteisiin ja nimenomaan rakenteiden korjaamiseen ja vahvistamiseen. (BY 63, 2015, s. 8)

6.2.2 Kuivaseosmenetelmän toimintaperiaate

Kuivaseosmenetelmän laitteistot ovat märkäseosmenetelmän laitteita huomattavasti pienempiä ja edullisempia. Betonin siirtomatka pumpulta kohteeseen on myös huomattavasti pitempi, jopa satoja metrejä. Myös käytettävä betoni voidaan valmistaa sekä tehtaassa, että työmaalla kuivatavarasta, mikä lisää joustavuutta työskentelyyn. Tehtaalla valmistetun kuivabetoniseoksen tulee täyttää standardin SFS-EN 1504-3 vaatimukset ja sen tulee olla CE-merkitty.

Laitteiston toiminta on kuvassa 6 ja on lyhyesti seuraavanlainen: Paineilmayksiköstä johdetaan ilmaa ruiskubetonipumppuun. Ruiskubetonipumpun säiliöön kaadetaan valmiiksi sekoitettu perusseos, joka sisältää kiviaineksen ja sementin sekä tarvittaessa seos- ja lisäaineet ja kuidut. Perusseos pumpataan paineilman avulla siirtoputkistoa pitkin ruiskutus-suuttimelle, johon on yhdistetty vesiletku. Ruiskuttaja eli suutinmies säättää veden sopivaksi eli hänen ammattitaitonsa sanelee pitkälti ruiskubetonin laadun (vesi-sementtisuhteen). (BY 41, 2016, s. 27 ja BY 63, 2015, s. 9 ja 24)



Kuva 5. Kuivaseosmenetelmän laitteistokaavio. Laitteistoa voidaan käyttää myös märkäseoksen ruiskutukseen /8/.

Kuva 6. Kuivaseosmenetelmän laitteistokaavio (BY 63,2015,s.24)

6.2.3 Ruiskubetonin ominaisuuksista

Ruiskubetonin lujuusluokka voidaan testata koekuutioilla. Lujuusluokat ovat välillä 5-100 MPa, joten ruiskubetoni käy kaikkien betonirakenteiden korjaamiseen. Lujuusluokaksi valitaan korkeintaan luokkaa vahvempi massa, kuin mitä alkuperäinen betoni on.

Pakkasenkestävyyttä voidaan testata jäädytys-sulatusrasituskokeella CEN 15177 tai pakkasuolarasituskokeella CEN 12390-9. Pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa lujuutta lisäämällä, mutta ruiskubetonia voidaan myös huokostaa. Huokostin lisätään silloin ruiskutuksessa käytettävän veden sekaan. Ruiskutuksessa tosin suuri osa ilmasta häviää ja suojuhuokostuksen määrää on vaikea hallita.

Muut säilyvyyteen liittyvät ominaisuudet testataan standardin SFS EN 206 mukaan.

Kuituvahvisteisella ruiskubetonilla voidaan lisätä rakenteen taivutuslujuutta. Tällä ominaisuudella saattaisi olla käyttöä myös nosturiratojen pilareissa, jotka tупpaavat huojumaan siltanosturin kuljettaessa raskaita kiviä.

Kuivaseosmenetelmässä perusseoksen kosteus tulisi saada 3-5 painoprosenttiin. Käytettäessä ns säkkikamaa, johon on sekoitettu kaikki ainekset, tulee se esikostuttaa ennen pumppuun kaatamista.

Hukkaroiske on ruiskubetonin erityisominaisuus. Hukkaroiskeen määrä on suurempi kuivaseosmenetelmässä, sillä silloin osa betonista kimpoaa takaisinpäin valettavasta rakenteesta varsinkin aluksi, kun ruiskutetaan kovalle pinnalle. Lisäksi ruiskuttajan ammattitaito ja ruiskutettavan pinnan muoto ja asento vaikuttavat hukan määrään. Pystypinnoilla hukkaroiskeen määrä on kuivaseosmenetelmällä 20-30 %. (BY 63, 2015, s. 29-33)

6.2.4 Ruiskubetonoinnin valmistelu

Tilaaaja voi pyytää urakoitsijalta työvaihekuvauksen, jossa tulisi olla selostettuna seuraavat asiat:

- töiden vastuuhenkilö yhteystietoineen
- ruiskubetonityöhön osallistuvien kelpoisuus
- kalustoluettelo selityksineen
- ruiskubetonin suhteitukset
- työjärjestys
- työympäristö
- riskienhallinta
- valmiiden rakenteiden kelpoisuuden toteaminen
- toimenpiteet, jos laatu ei ole tyydyttävä

Työmenetelmäkuvaus on annettava tarkastusluokissa 2 ja 3 (kantavat rakenteet ovat aina luokassa 2 tai 3) ja se laaditaan työselostukseen ja suunnittelijan ohjeistukseen pohjautuen. Myös ruiskubetonityönjohtajalla ja suutinmiehellä tulee olla tarkastusluokkien mukaiset pätevyudet. Tarkastusluokka määritellään projektin toteuttamista koskevissa asiakirjoissa. (BY 63, 2015, s. 42)

Ruiskubetonointi tehdään aina puhtaalle ja ehjälle pinnalle. Pinnan esikäsittelystä on kerrottu aiemmin kohdassa 5.8 *Korjattavien pintojen esikäsittely*.

Pilareiden suojabetonin paksuuden lisäämisen vuoksi pilareissa tarvitaan jonkinlaisia ohjureita tai muotteja, jotka tulisi asentaa paikalleen ennen ruiskubetonointia, mikäli pilareista halutaan tietyn muotoisia.

Korkealla työskentely suutinmiehen suojaruustuksessa ja työn aiheuttamassa pölyssä vaatii oman suunnitelmansa. Se, tehdäänkö työ telineiltä vai henkilönostimesta, on varmastikin urakoitsijalle selvää kohteessa käynnin jälkeen.

Esikastelu tulee tehdä siten, että pinta on sopivan kostea työtä aloitettaessa.

Ympäristön ja ruiskutettavan pinnan lämpötilojen tulisi olla sellaiset, ettei betoni pääse jäätymään ennen 5 MPa kovuutta ja toisaalta sellaiset, ettei kuumuus tai kova tuuli pääse haihduttamaan liikaa vettä betonista.

Rauditus voi olla tankoa, verkkoa tai kuitua. Tärkeintä on se, ettei se pääse liikkumaan ruiskutuksen voimasta ja ettei se muodosta liikaa ns varjostusvaikutusta, jolloin raudituksen taakse on vaikeaa ruiskuttaa betonia.

Ennen ruiskutusta olisi hyvä huomioida myös suojaukset ympäristön suojelemiseksi roiskeilta ja tuulen mukanaan kuljettavilta hiukkasilta. Ainakin lähellä olevat valmiit betonielementit tulisi suojata tai siirtää sivummalle. Myös työmaan lähistölle normaalisti parkkeeratut autot tulisi ohjata muualle ja muutenkin työstä kannattaa tiedottaa ympäristössä oleville ihmisille.

Lisäksi työn alla oleva nosturirata tulee poistaa väliaikaisesti käytöstä, sillä siltanosturin aiheuttama värinä voi irrottaa ruiskutetun pinnan alustastaan. Kyseessä on myös suutinmiehen työturvallisuus ja parasta olisikin ehkä sopia, että nosturiradan pääkytkimeen asennetun turvalukon avain annettaisiin hänen huostaansa.

6.2.5 Ruiskutus

Ruiskutus on ammattilaisten työtä, mutta otan tähän muutaman yleissäännön, jotka saattavat selkeyttää käsitystä työstä ja sen vaativuudesta:

- Ennen ruiskutusta betonin lämpötila ja notkeus tarkastetaan työmaalla.
- Ulkoilman lämpötilan ollessa noin +10 °C, kuivaseos on käyttökelpoista noin 2-3 tuntia sekoituksesta, + 20°C lämpötilassa noin tunnin ja kuumalla säällä noin vartin.
- Alustan ja raudituksen lämpötila tulee olla välillä +2...+38°C.
- Betonin lämpötilan on oltava välillä +5...+32°C. Betonin lämpötila ei saa laskea tämän alle ennen jäätymlujuutta 5 MPa.
- Suutinmies säätää suuttimen toimintakuntoon ruiskuttamalla betonia jonnekin muualle, kuin kohteeseen.
- Vesimäärä säädetään siten, että massa on hieman kiiltävää.
- Betoni ruiskutetaan mahdollisimman kohtisuorassa pintaa vasten. Betonin työntymistä tai liukumista ei sallita.
- Pystyrakenteissa ruiskutus tapahtuu alhaalta ylöspäin.
- Yhdellä kerralla ruiskutettava kerrospaksuus on yleensä korkeintaan 50 mm.
- Suuremmat paksuudet tulee ruiskuttaa kerroksittain siten, että alempi kerros pystyy tukemaan seuraavaa.

- Kiihdyttimiä ja seosaineita käytettäessä voidaan kerrospaksuutta kasvattaa tarpeen vaatiessa

6.2.6 Viimeistely

Ruiskupintaa ei yleensä kannattaisi käsitellä, jottei tartunta teräksiin ja alustaan häiriintyisi. Lisäksi pinnan käsittely saattaa aiheuttaa halkeamia. Kuitenkin käsittely on mahdollista, mikäli pinta halutaan suoraksi. Tällöin tulee käyttää ohjaimia, joita vastaan pinta oikaistaan. Oikaisun ajoitus on tärkeä: betonin tulee olla sen verran kovettunut, ettei siitä irtoa oikaisupintaa syvemmältä massaa ja ettei siihen pääse muodostumaan halkeamia.

6.2.7 Jälkihoito

Jälkihoito on aloitettava välittömästi ruiskutuksen jälkeen. Sen tulee taata vähäinen haihtuvuus betonista tai pitäminen betonin pinta pysyvästi märkänä. Mikäli sääolosuhteet ovat suotuisat, eli ilman suhteellinen kosteus on yli 85 % eikä tuule ja paista, voidaan jälkihoito keskeyttää. Suositeltava jälkihoitomenetelmä on pitää pinta kosteana.

Jälkihoitoaineen käyttö on mahdollista, jos kyseessä on lopullinen pinta eli paksuutta ei tarvitse enää kasvattaa. Mikäli ruiskubetoni vielä erikseen pinnoitetaan, tulee jälkihoitoaine poistaa ennen pinnoitusta. (BY 63, 2015, s. 48-56)

6.3 Valukorjaus

6.3.1 Yleistä

Valukorjaus nosturiratojen pilareiden tapauksessa tarkoittaa pilareiden manttelointia. Toki myös ympäri pilaria tehty ruiskubetonointi voidaan käsittää manttelointina, mutta valamalla tehty manttelointi kasvattaa pilarin paksuutta ja siten myös lujuutta ruiskubetonointia enemmän.

Valumantteloinnissa pilariin asennetaan uutta valua varten nurkkiin uudet pääteräksiset ja niiden ympärille hakaset. Vanha raudoitus pyritään saattamaan yhteen uuden raudoituksen kanssa kiinnittämällä sopivia teräksisiä niiden välille, jotta pilarin kantama kuorma saataisiin jaettua mahdollisimman tasaisesti uudelle ja vanhalle rakenteelle. Uuden ja vanhan betonin rajapintaan on syytä kiinnittää erityishuomiota, jotta tartunta olisi mahdollisimman hyvä ja pitkäikäinen.

Myös korjausbetonin valinta ja koostumus sekä itse valumenetelmä on suunniteltava tarkasti hyvän ja pitkäikäisen lopputuloksen saamiseksi.

Myös manttelin paksuudella on merkitystä. Manttelin tulee olla riittävän paksu, jotta se toimii suojabetonina ja kestää myös vääntymiskuormia. Lisäksi valun teknisen toteutuksen onnistuminen edellyttää riittävän paksua mantteliä. Toisaalta liian paksu mantteli tekee sen, että uuden betonin hydratoituessa lämpötila kohoaa siinä määrin, että manttelin ja pilarin välille syntyy lämpötilaeroista johtuvia jännityksiä. Optimikoon määrittelee rakennesuunnittelija, mutta käytännössä noin 100 mm paksu mantteli on optimipaksuinen. Tätä paksummalla manttelilla lämpötilaerot kasvavat oleellisesti. Kaiken kaikkiaan rakennetta tulee käsitellä enemmänkin liittorakenteena, kuin monoliittisena rakenteena. Tämän vuoksi onnistuneella suunnittelulla on entistäkin tärkeämpi rooli.

Valukorjaus on toisaalta myös ehkä paras vaihtoehto silloin, jos elementtitehdas haluaa osallistua itse korjaustapahtumaan mahdollisimman paljon, esimerkiksi materiaalin osalta. Lisäksi valukorjauksessa olisi mahdollista käyttää tuttuja remonttiporukoita, sillä itse valu ei vaadi erikoisammattiosaamista, vaan sitä vaatii ennemminkin valumassan valmistus.

6.3.2 Pilarin tuenta ennen työn alkua

Pilarilta tulisi saada kaikki kuormitus pois valun ajaksi. Tämä on tärkeää siksi, ettei pilarin vanhassa betoniosassa ole jo valmiiksi suuria jännitteitä, joiden tasaaminen uuden betoniosan kanssa siten vaikeutuisi. Pilariin tulevia kuormia voidaan poistaa tukemalla ja nostamalla nosturirataa pilarin molemmin puolin ja vapauttamalla pilari ja nosturiradan teräspalkki toisistaan. Näin voidaan samalla myös kunnostaa tai uusia pilarin ja radan välinen kiinnitys. Tuen ja sen asentamisen suunnittelee rakennesuunnittelija.

6.3.3 Vaurioituneen betonin poistaminen

Vaurioitunut betoni tulee aina poistaa ennen korjaustoimenpiteitä. Aihetta on käsitelty tässä työssä kappaleissa 5.8.2 ja 5.9.2. Lisäyksenä edellisiin kappaleisiin voitaisi ottaa vanhojen pääterästen piikkaaminen näkyviin suunnittelijan ohjeistuksen mukaan. Pääteräkset saattavat tosin tulla esiin jo huonon betonin poistamisen yhteydessä, mutta mikäli näin ei ole, tulee ne erikseen piikata näkyviin ainakin tietyiltä osin, jotta ne voitaisi yhdistää uusiin pääteräksiin. Mikäli työssä käytetään tavallista piikkausvasaraa, tulee ehdottomasti varoa teräksien vaurioittamista piikkausterällä.

6.3.4 Raudoituksen ja betonin puhdistus

Raudoitus tulee puhdistaa korroosiotuotteista kauttaaltaan, jotta raudoituksen kunnan voisi tarkastaa. Samoin betonin pinta tulee puhdistaa betoniliimasta ja karhentaa samalla tartuntapinta-alan lisäämiseksi. Mikäli työ tehdään vesipiikkauksella, saadaan sekä irtoaineksen poisto, pinnan karhennus, että pesu samalla kertaa. Hiekkapuhallus ja vesihiekkapuhallus

lus ovat myös soveltuvia puhdistusmenetelmiä. Niiden jälkeen pinnat on vielä painepestävä puhtaaksi.

Raudoitus ei vaadi erillistä korroosiosuoja-ainekäsittelyä, sillä uuden betonipeitteen paksuus antaa sille riittävän korroosiosuojan.

6.3.5 Raudoituksen vahvistaminen ja lisääminen

Käyttökelvottomiksi ruostuneet pääteräkset tulee vahvistaa kiinnittämällä niihin uutta terästä kylkeen. Teräs on menettänyt alkuperäisen lujuutensa silloin, kun korrosio on syönyt siitä tartunnan tai muuten ohentanut sitä. Vaurioitunut teräs on silloin piikattava auki siten, että koko vaurio kohta on esillä ja sen lisäksi molemmissa päissä on näkyvillä vähintään 100 mm ehjää terästä, johon voidaan kiinnittää vahviketeräs, joka on vahvuudeltaan pääteräksen paksuinen rakenneteräs.

Nurkkiin tulevat uudet pääteräkset asennetaan rakennesuunnittelijan ohjeen mukaisesti. Mikäli suunnitelmassa on mainittu, tulee ne ankkuroida perustukseen esimerkiksi juottamalla valmiiksi porattuihin reikiin. Näin saadaan niiden kannattamat kuormat siirrettyä perustuksien kautta maahan rasittamatta liikaa vanhaa betonipilaria.

Uudet pääteräkset olisi vielä hyvä kiinnittää vanhoihin pääteräksiin, jotta rakenteesta saataisiin mahdollisimman hyvin toimiva. Kiinnitys tapahtuisi kiinnittämällä sopivia hakasia uuden ja vanhan pääteräksen väliin. Raudoitus viimeistellään sitomalla kiertävät hakaset uuden pilariraudoituksen ympärille suunnittelijan antaman jaon mukaisesti. (Savolainen, 2016, s. 25)

6.3.6 Tartunnan varmistaminen

Hyvän tartunnan saaminen on nosturiradan pilareiden valukorjauksessa yksi tärkeimmistä asioista, sillä nosturiradan toiminnan pilarille aiheuttamat dynaamiset kuormat irrottavat heikosti toimivan tartunnan.

Tartunnan saavuttamiseksi ensimmäinen vaihe, pinnan karhennus ja puhdistus, suoritetaan jo valmistelemissä töissä. Näillä toimenpiteillä rajapinnan kitka ja sen vaikutusalue saadaan mahdollisimman suureksi. Tämän lisäksi pintaan voidaan sivellä tartuntaa lisäävää ainetta suunnittelijan ohjeistuksen mukaan.

Koheesiovoimien maksimaalinen käyttö liittyy myös edellisiin toimenpiteisiin samoin kuin pinnan sopiva kosteustaso ennen valua. Kosteustasolla on toki toinenkin vähintään yhtä tärkeä tehtävä: sen tulee varmistaa, ettei liian kuiva tartuntapinta ime vettä uudesta betonista ja täten heikennä uuden betonin hydrataation muodostumista rajapinnassa.

Näiden kahden asian lisäksi tartunnan varmistamiseksi on siirrettävä vielä leikkausvoimia pois rajapinnasta. Tätä varten suunnittelija ohjeistaa asentamaan pilarin ja manttelin välille niin sanottuja leikkausliittimiä. Ne voivat olla vanhaan betonipilariin juotettuja harjatangon pätkiä tai ne voidaan myös asentaa pilarin läpi porattuihin reikiin ja vääntää ne pilarin suuntaisiksi. Reikien tulee olla sen verran suuret, että ne menevät valussa täyteen betonia tai ne tulee valaa erikseen kiinni juotosmassalla.

Lisäksi manttelin ja pilarin rajapinnan leikkauskestävyyttä voidaan kasvat-
taa puristamalla niitä toisiaan vasten, jolloin niiden välinen kitka kasvaa. Puristaminen tapahtuu esimerkiksi käyttämällä sopivia, rakennesuunnit-
telijan valitseamia erikoislujia kierretankoja, välilevyjä ja pultteja. Kierre-
tankojen asennus lienee parasta tehdä ennalta valuun jätettyjen varaus-
reikien läpi. Valmiin betonimanttelin saavutettua tietyn lujuuden sen läpi
työnnetään kierretangot, joiden päissä olevia muttereita kiristetään tiet-
tyyn momenttiin, jolloin kierretankoon saadaan vetojännitys ja mantteli
puristuu entistä tiiviimmin pilaria vasten. Tällä menetelmällä saatetaan
myös ehkäistä pilariin vaikuttavien vääntövoimien aiheuttamia halkeamia
ja sitä, ettei tartunta irtoaisi vääntövoiman vaikutuksesta. Mutterit voivat
olla upotettuina mantteliin, jolloin ne voidaan valaa umpeen lukituksen
varmistamiseksi ja ne saavat myös suojaa korroosiota vastaan. Mutterin
voi myös hitsata kiinni aluslevyynsä silloin kun niiden rakenne sen sallii.
Tällaisen menetelmän käyttöönottamisen ja kierretankojen mitoituksen
ja sijainnin voi rakennesuunnittelija päättää kuntotutkimuksen tulosten ja
pilareihin irtoconin poistamisen jälkeen jäävien halkeamien ja laskel-
mien perusteella. (Savolainen, 2016, s. 47)

6.3.7 Korjausbetonin valinta

Valamalla tehty pilarin manttelointi voidaan tehdä tavallisella tai itsetii-
vistyvällä eli IT-betonilla. Perussääntönä on, että uuden betonin tulisi olla
lujuudeltaan astetta lujempi, kuin alkuperäinen.

Manttelivalun korkeus ja muotin ahtaus rajoittavat betonin valintaa: Va-
lettaessa betonin pudotuskorkeus ei saa olla liian suuri massan erottumi-
sen takia. Massa tulisikin laskea sukkaa, letkua tai valuputkea pitkien siten,
että putken pää olisi muotin sisällä lähellä betonin pintaa. Mikäli mantte-
lin paksuus on rajattu 100 mm:iin, jonka keskellä sijaitsee vielä rauditus,
ei valuputkelle jää tilaa kuin 40-50 mm. Näin pienellä putkella ei normaali-
a betonimassaa voida siirtää, joten IT-betonin käyttö kohteessa on pe-
rusteltua.

Kun valetaan tällaista ahdasta ja korkeaa valua, tulisi IT-massan olla not-
keusluokaltaan SF3. Myös kiviaineksen maksimiraekoko voisi olla 10-12
mm. Lisäksi suunnittelijan määrittelemä maksimilujuus saattaa nousta
ongelmaksi, sillä IT-massat sisältävät reilusti sementtiä ja ne ovat yleensä
erittäin lujia. Halkeilun välttämiseksi myös kuitujen lisäämisestä betoniin
voisi olla hyötyä. (BY 201, 2018, s. 346-349)

6.3.8 Muotin valinta

IT-betonin käyttö vaikuttaa muotin valintaan seuraavanlaisesti:

- Muotin tulee olla riittävän tiivis, jottei notkea ja hitaasti jäykistyvä massa pääse pakenemaan muotista. Varsinkin perustusta vasten olevan muotin alaosan tiivistäminen ja tuenta ovat hankalia suuren valupaineen ja perustuksen suoruuden/vinouden vuoksi.
- Muotin ja siinä käytettävien sidepulttien tulee olla riittävän vahvoja, sillä niiden on kestävä suurta hydrostaattista painetta massan hitaan kovettumisen vuoksi. Tavalliseen betoniin verrattuna viisi metriä korkean muotin alapäässä oleva paine on yli kaksinkertainen IT-betonilla valettaessa.
- Muotti saisi olla helposti purettava, siirrettävä ja uudelleen koottava, sillä samanlaisia valukohteita on useita.
- Muotin alapää kannattaa varustaa valuventtiilillä, sillä paras lopputulos saadaan, kun mantteli valetaan pumppaamalla alhaalta ylöspäin. Näin vältetään massan erottumiselta eikä ole pelkoa, että ohut valuletku tukkeutuisi kesken valun. (BY 201, 2018, s. 350-351)

6.3.9 Valu

Valutapahtuma kannattaa suunnitella etukäteen, mikäli valettavia pilareita on useita. IT-betonille olisi hyvä tehdä painuma-leviämäkoe ennen valua, jotta notkeusluokasta saadaan varmuus. SF-3 luokan leviämä on 760-850 mm. Myös koekuutio tulee ottaa laadunvarmistukseen. (BY 201, 2018, s. 347-349)

Pumppu kannattaa sijoittaa keskeisesti, jottei sitä tarvitsisi liikutella kesken valun. Mikäli kuitenkin joutuu, olisi hyvä pitää siirtokalusto valmiina valun ajan. Toisaalta liian pitkä valuletkukaan ei välttämättä ole hyvä, sillä massaa valuu enemmän hukkaan siirryttäessä pilarilta toiselle ja pitkä letku myös painaa paljon. Ehkä paras ratkaisu olisikin pitää pumppu jonkinlaisen lavan päällä, jonne voisi laittaa myös pumppussa kiinni olevan lyhyehkön letkun aina siirron ajaksi. Trukki voisi olla paikalla koko valun ajan siirtämässä tarvittaessa pumppua ja toinen trukki tuomassa pumpulle betonia jassikalla.

Muotin teossa ja purussa käytettävä henkilönostin voisi olla myös valutilanteessa valettavan manttelin vieressä, jolloin valun edistymistä voisi tarkkailla yläpuolelta ja saada näin pumppaus pysäytettyä hallitummin, ennen kuin ylimenevää betonia tulee liikaa muotin yli. Henkilönostimessa oleva henkilö voisi myös siistiä pilarin yläosan ja varsinkin liitoskohdan nosturirataan. Lisäksi hän voisi muovittaa yläosan osana jälkihoitoa.

Ensimmäiset valut antavat osviittaa siitä, moneenko pilariin kannattaa tehdä betoni valmiiksi, ettei se pääse erottumaan odotellessa. Kun työvaiheet ovat lutviutuneet uomiinsa, IT-betonilla tehty manttelivalu on nopeaa ja melko vaivatontakin toimintaa.

6.3.10 Jälkihoito

Jälkihoito tulee aloittaa heti valun jälkeen. Se alkaa siis henkilönostimesta edellisessä luvussa esitetyllä putsauksella ja muovituksella. Muotti itsessään toimii jälkihoitona pilarin sivuilla. Muotin purkamisen jälkeen tulee pilari pitää märkänä 3-4 päivää riippuen betonin lujuudesta. Tehdäänkö se sitten muovittamalla vaiko kastelemalla silloin tällöin päivän mittaan, eli myös myöhään illalla ja aikaisin aamulla, on makuasia. (BY 201, 2018, s. 352)

6.4 Halkeamien korjaus

6.4.1 Yleistä

Betonin halkeamat voivat heikentää betonirakennetta ja ne saattavat edesauttaa muita vauriomekanismeja esimerkiksi päästämällä haitta-aineita betonin sisään, jolloin rakenteen vaurioituminen nopeutuu. Halkeaman syntyminen syyn ymmärtäminen on jo puoli voittoa onnistuneelle korjaukselle, sillä korjausperiaatteen ja -tavan valinta perustuvat siihen. Olennaista on myös halkeaman koko ja sijainti.

Halkeilu voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: rakenteelliseen halkeiluun, vaurioitumisesta (korroosio, rapautuminen) johtuvaan halkeiluun ja kutistumisesta johtuvaan pinnan verkkohalkeiluun.

Korroosiosta ja rapautumisesta johtuva halkeilu saadaan selvitettyä ja korjattua, kunhan vaurioitunut betoni on poistettu ja pinta on puhdistettu. Tällaisten vaurioiden korjaamista on käsitelty aiemmin tässä työssä, eikä näiden halkeamien korjauksiin saa muita, nimenomaan halkeamien korjauksiin kehitettyjä menetelmiä, käyttäkään.

Myös kutistumisesta johtunut verkkomainen halkeilu tulee näkyviin, kunhan pilareiden pinnat on puhdistettu niitä peittävästä pinnoitteista. Mikäli verkkomaista halkeilua esiintyy, lienee syytä selvittää onko kyseessä kutistumahalkeilu vai alkalikiviainesreaktion aiheuttama halkeilu. Kutistumahalkeilu on näistä todennäköisempi vaihtoehto ja se esiintyy lähinnä betonin pinnassa eivätkä halkeamat ole kovin leveitä. Toisessa vaihtoehdossa halkeamat ovat syntyneet betonin sisällä ja ulottuvat aina pintaan asti. Halkeamien koko on tässäkin tapauksessa ratkaisevaa ja suunnittelijan tehtäväksi jää miettiä korjausvaihtoehto.

Rakenteellinen halkeilu taas voi johtua perustuksen huonosta kantavuudesta, ylikuormituksesta tai jostain rakenteeseen kohdistuneesta pakko-voimasta. Toisinaan halkeilu voi olla osa rakenteen normaalia toimintaa, jolloin se toimii ikään kuin liikuntasaumana.

Nosturiratojen pilarit täyttävät nämä rakenteellisten halkeamien synty-miseen vaadittavat kriteerit kaikin puolin ja halkeamien vaikutus raken-teen kantavuuteen sekä korjaustapa tulisikin selvittää kantavien betoni-rakenteiden korjaamiseen pätevyityneellä suunnittelijalla. (BY 41, 2016, s. 76)

Halkeamien korjausmenetelmiä ovat injektointi, imeyttäminen, pinnoit-taminen, laastipaikkaus ja liikuntasaumaksi muuttaminen.

6.4.2 Injektointi

Betonin injektoinnilla tarkoitetaan sellaista menetelmää, jossa injektoita-vaan alueeseen porataan reikiä, joiden kautta painetaan nestemäistä in-jektointimassaa täyttämään mahdolliset halkeamat ja kolot. Massan kui-vuessa se kovettuu osaksi betonirakennetta. Tällöin betonin lujuus ja tiiveys injektoidulla alueella vastaavat vaurioitumatonta aluetta.

Injektointi voidaan tehdä myös ilman reikien poraamista silloin, kun koh-teeseen on jo ennalta asennettu injektioputket. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun halutaan saada kahden eri aikaan valetun betonin välinen sauma vesitiiviiksi. Injektioputket ovat taipuisia, mutta kestävät betonin paineen litistymättä. Valun kovetuttua niihin on mahdollista pai-naa injektioainetta, jolloin ne täyttävät ympärillään olevat tyhjät tilat in-jektointimassalla, joka pääsee levittäytymään ympäri putkia olevien pie-nien reikien läpi.

Injektointia ei saa käyttää korjausvaihtoehtona, mikäli halkeama johtuu korroosiosta tai rapautumisesta (BY 41, 2016, s. 77).

Raudoituksen korroosio tulisikin selvittää ennen injektointiin ryhtymistä, sillä injektoidun halkeaman perällä oleva korroosio pääsee jatkumaan, mikäli injektointi jää ainoaksi korjausmenetelmäksi. Mikäli pilarin vesi-piikkauksen tai hiekkapuhalluksen yhteydessä betonipeitetä ei ole hal-keaman ympäriltä irronnut, voidaan raudoituksen korroosion tila selvittää piikkaamalla halkeama auki aina raudoitukseen asti tai potentiaalimit-tauksella, jota tulee täydentää koepalan otolla, josta selviää betonin kar-bonatisoituminen ja kloridien taso. (SILKO 1.233, 2016, s. 16)

Mikäli korjaussuunnitelmassa on valaa pilarin ympärille mantteli tai ruis-kubetonoida sellainen, antaa se riittävän korroosiosuojan ja siten myös injektointi voidaan suorittaa ilman tarkempia tutkimuksia halkeaman pe-rällä olevan raudoitteen korroosiosta, mikäli halkeama ei ole juuri kor-roosion aiheuttama.

Injektioaineiden käyttöön liittyy oleellisesti myös sulkuaineiden käyttö. Sulkuaineita käytetään tiivistämään halkeamat ja raot injektoitavalla alu-eella, jotta injektointimassa saadaan paineistettuna leviämään joka ra-

koon. Tyypillinen sulkuaine on nopeasti kovettava muovipohjainen kitti, joka on helppo poistaa injektoinnin kovetuttua.

Injektointiaineet voidaan jakaa sementti- ja muovi-injektioaineisiin.

- Sementti-injektioaineet ovat parempi vaihtoehto suuriin halkeamiin ja silloin, kun halkeaman korjaukselta vaaditaan hyvää palonkestoa ja/tai suurta puristuslujuutta. Sementti-injektioaineita on kolmenlaisia riippuen raekoosta: rakennussementti (>40 µm), hienosementti (20-40 µm) ja mikro-sementti (<20 µm). Valintaan vaikuttaa etenkin halkeaman leveys. Sementin lisäksi massa sisältää puhdasta vettä ja injektointiin kehiteltyjä lisäaineita, jotka voivat esimerkiksi helpottaa massan tunkeutumista tai aiheuttavat massan paisumista kuivuessaan. (SILKO 1.233, 2016, s. 19-20)
- Muovi-injektioaineista epoksit ja polyuretaanit ovat yleisemmin käytettyjä. Akryylia käytetään usein injektioletkujen käytön yhteydessä. Polyestehartseja ei kannata käyttää varsinkaan ulkona tai kosteaan materiaaliin, sillä niiden kosteudenkestävyys on huonoa ennen kovettumista. Muovien käyttö on perusteltua varsinkin silloin, kun injektioaineelta vaaditaan kykyä venyä tai taipua. Muovi-injektioaineilla on myös hyvä kyky eristää kosteutta ja vettä vastaan, jolloin ne ovat parhaimmillaan paineellisten vuotokohtien injektoinnissa. Rakenteelliseen injektointiin löytyy myös suuren lujuuden omaavia erikoisaineita. (SILKO 1.233, 2016, s. 21)

Taulukko 5. Epoksi vs polyuretaani vs betoni injektoinnissa (SILKO 1.233, 2016, s.21)

Taulukko 4. Esimerkkejä injektoinnissa käytettävien polymeerien ominaisuuksista verrattuna betoniin.

	Epoksi	Polyuretaani	Betoni
Tilavuuspaino, kg/m ³	1050–1150	1050–1100	2100–2400
Puristuslujuus, MPa	3,5–85 ¹⁾	2,5–30 ¹⁾	20–70
Taivutuslujuus, MPa	10,5–35	1,5	3,5–7
Vetolujuus, MPa	3,5–35	0,2–30	2–5
Venymä, %	0,2–50	10–400	0,01

¹⁾ Testausmenetelmät eivät ole vertailukelpoisia betoniin verrattuna.

Taulukko 6. Injektioaineiden käyttö erilaisissa injektointikohteissa (SILKO 1.233, 2016, s.21)

Taulukko 5. Injektointiaineiden käyttö eri injektointikohteissa /10/.

			Halkeaman seinämän kosteustila			
			kuiva	kosteaa	paineeton vesi	vesipaine
1	Halkeaman syy	Tarkoitus	Sallitut menetelmät			
2	tunnettu	sulkeminen	EP-T EP-I PUR-I ¹⁾ ZL-I ²⁾	EP-I ³⁾ PUR-I ZL-I	PUR-I ZL-I	PUR-I ⁴⁾
3	tunnettu	tiivistäminen	EP-I PUR-I ¹⁾ ZL-I ²⁾	EP-I ³⁾ PUR-I ZL-I ²⁾	PUR-I ZL-I	PUR-I ⁴⁾
4	tunnettu	elastinen liitos	PUR-I ¹⁾	PUR-I	PUR-I	PUR-I ⁴⁾
5	tunnettu, ei uusiutuva	lujitus	EP-I	-	-	

¹⁾ halkeama esikostutettava tarvittaessa

²⁾ halkeama kasteltava

³⁾ sopivuus kosteaan halkeamaan on kokeiltava erikseen

⁴⁾ tarvittaessa käytetään nopeasti paisuvaa polyuretaania

EP = epoksi, PUR = polyuretaani ja ZL = sementti, I = injektointi ja T = imeytys.

6.4.3 Imeyttäminen

Imeyttämistä käytetään halkeamien tukkimiseen esimerkiksi silloin, kun kysymyksessä on betonin kuivumisesta aiheutunut runsas kutistumahalkeilu. Imeyttämisellä voidaan silloin tukkia pienet pinnalliset halkeamat siten, että haitta-aineiden pääsy betoniin estyy. Imeyttämisessä käytetään hyväksi maan vetovoimaa ja/tai betonin kapillaarisuutta. Imeytysaine saadaan siten kulkeutumaan halkeaman sisälle sen jäädessä kuitenkin pinnan läheisyyteen. Imeyttämistä ei tule käyttää silloin, kun halkeilu on rapautumisesta tai korroosiosta johtuvaa. (BY 41, 2016, s. 77)

6.4.4 Pinnoittaminen

Pinnoittamalla voidaan peittää hyvin ohuet, alle 0,2 mm leveät, verkko-maiset pintahalkeamat. Pinnoitus ei ole soveltuva menetelmä pakkasra-pauman tai teräskorroosion aiheuttamille halkeamille. Pinnoitusta käsi-tellään myöhemmin luvussa 6.5

6.4.5 Laastipaikkaus

Laastipaikkausta voidaan käyttää silloin, kun halkeilu ei ole rakenteellista, vaan se on aiheutunut jostain kertaluonteisesta tapahtumasta, esimerkiksi törmäyksen aiheuttamasta voimasta. Halkeama tulee piikata auki vähintään 15 mm:n leveydeltä ja noin puolitoista kertaa syvemmillä leveyteen nähden. (BY 41, 2016, s. 78)

Laastipaikkaus on selostettu luvussa 5.9.

6.4.6 Liikuntasaumaksi muuttaminen

Joskus liikkuvat halkeamat ovat merkki siitä, että ne toimivat staattisen rakenteen liikuntasaumana. Tällöin on parempi muuttaa halkeama liikuntasaumaksi, jolloin rakenteen liikkuminen on mahdollista ilman uusien halkeamien syntyä, mutta ilman vaaraa siitä, että halkeamasta pääsee haitta-aineita betonia tuhoamaan. Yleensä halkeama ajetaan esimerkiksi kulmahiomakoneella sopivan levyiseksi siten, että se mahdollistaa rakenteen liikkeen. Sen jälkeen sauma puhdistetaan ja sauman pohjalle asennetaan teippi tms kaista erottamaan saumakitti pohjasta. Tämän jälkeen sauma kitataan siihen soveltuvalla saumakitillä. (BY 41, 2016, s. 78)

Nosturiradan betonipilareiden halkeamat eivät todennäköisesti täytä tätä liikuntasauvan kriteeriä, sillä nosturirataa ei voida pitää aivan staattisena rakenteena siinä normaalikäytössä tapahtuvan liikkeen vuoksi. Liikkuvia halkeamia tosin voi esiintyä, mutta niiden korjaaminen liikuntasaumoiksi on rakennesuunnittelijan mietittävä tapauskohtaisesti.

6.5 Pintakäsittely

6.5.1 Yleistä

Pintakäsittely mielletään useimmiten pelkästään ulkonäön vuoksi tehtäväksi työksi, joten tehdasalueella olevat betonipilarit eivät sen mukaan mitään käsittelyä kaipaa. Kuitenkin nimenomaan korjausrakentamisessa pintakäsittely voi olla osa rakenteen suunniteltua teknistä toimivuutta. Pintakäsittelyllä voidaan rajoittaa kosteuden pääsyä betoniin, jolloin betonin vaurioitumismekanismien toiminta hidastuu. Myös hiilidioksidin pääsyä voidaan hidastaa, jolloin karbonatisoitumisnopeus hidastuu merkittävästi. Halkeamia silloittavilla pinnoitteilla saadaan estettyä liikkuvienkin halkeamien kautta kulkeutuvia epäpuhtauksia tunkeutumasta betonin sisälle. Pintakäsittelyt voidaan luokitella erilaisin tavoin, esimerkiksi koostumuksensa tai ulkonäkönsä perusteella. Tekninen toiminta on kuitenkin tässä tapauksessa tärkein luokitteluperiaate, jolloin perehdytään aineen ominaisuuksiin.

6.5.2 Pintakäsittelyjen luokittelu ominaisuuksien perusteella

Ulkona olevien betonipilareiden pintakäsittelyn ehkä merkittävin toiminta on kosteustekninen käyttäytyminen. Tämän perusteella pintakäsittelyt voidaan jakaa seuraavalla tavalla:

- Avoimet pintakäsittelyt, jotka päästävät sekä veden, että vesihöyryn lävitseen vapaasti aivan kuin käsittelyä ei olisi tehty laisinkaan.
- Puoliavoimet pintakäsittelyt haittaavat veden kulkeutumista lävitseen, mutta päästävät vesihöyryn lävitseen helpottaen siten kastuneen rakenteen kuivumista.
- Tiiviit pintakäsittelyt hidastavat merkittävästi sekä veden, että vesihöyryn kulkeutumista lävitseen.

Myös toisenlainen jako selkeyttää pilareihin soveltuvia pintakäsittelyvaihtoehtoja, nimittäin kalvonmuodostuksen mukaiset tyytit:

- Kalvoa muodostamattomat pintakäsittelyt eli impregnointi, jossa betonin pinnalle levitetään nestemäistä tai geelimäistä impregnointiaainetta, joka tunkeutuu betoniin ja nimenomaan betonissa oleviin huokosiin. Vettähyllivässä impregnoinnissa aine pinnoittaa huokokset jättäen ne muuten avoimiksi ja normaalissa impregnoinnissa aine täyttää huokokset kokonaan tai osittain. Käsittelyt hidastavat merkittävästi veden ja sen mukanaan tuomien haitta-aineiden kapillaarista imeytymistä betoniin päästämällä kuitenkin vesihöyryä lävitseen. Tunkeutumissyvyys on muutamasta millimetristä muutamaan senttimetriin betonista ja impregnointiaineen määrästä riippuen. Käyttöikä käsittelyllä vaihtelee muutamasta vuodesta noin kymmeneen vuoteen.
- Kalvon muodostavat tavalliset pinnoitteet ovat maalattavia pinnoitteita, jotka eivät juurikaan imeydy betoniin, vaan muodostavat sen pinnalle yleensä 0,1-1 mm paksun kalvon. Kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan ne vaihtelevat sekä veden, että vesihöyryn suhteen avoimista täysin tiiviisiin.
- Halkeamia silloittavat pinnoitteet ovat paksuja, elastisia pinnoitteita, jotka sallivat halkeamien muodostumisen taakseen halkeamatta itse. Näitä voidaan käyttää silloin, kun tiedetään, että rakenteeseen voi muodostua ohuita halkeamia, mutta pinnan tulisi silti pysyä tiiviinä.

(BY 41, 2016, s. 64-65)

6.5.3 Oikean pintakäsittelyn valinta

Pintakäsittelyn valintaan vaikuttaa useita eri kriteereitä, joista kosteustekninen toimivuus, käyttöikätaavoite ja huollon tarve lienevät tässä tapauksessa tärkeimpiä.

Kosteusteknistä toimivuutta ajatellen ulkona olevat betonirakenteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Pinnat, joiden kautta rakenne kastuu, on syytä pinnoittaa mahdollisimman tiiviillä tuotteilla, jotka estävät tehokkaasti veden kulkeutumisen rakenteisiin.

2. Pinnat, joiden kautta rakenne sekä kastuu, että kuivuu, on yleensä parasta pinnoittaa puoliavoimilla pinnoitteilla, jotka sallivat myös kuivumisen.
3. Pinnat, joiden kautta rakenne kuivuu, tulisi pinnoittaa hyvin vesihöyryä läpäisevillä, avoimilla pinnoitteilla.

Yllä kuvatun luokituksen perusteella ulkona olevat betonipilarit kuuluisivat ryhmään 2, sillä niiden pinnat kuivuvat samalta puolen kuin kastuvatkin.

Toinen valintaan liittyvä tekijä on rakenteen kunto ja ikä sekä korjausajankohdan läheisyys. Mikäli pilarit ovat jo lähellä peruskorjausikää, ei niiden karbonatisoitumista kannata enää pinnoitteella hidastaa, sillä karbonatisoituminen saattaa olla jo raudoituksessa asti. Tällöin pinnoituksella kannattaa ennemminkin estää veden pääsy raudoitukseen ja näin hidastaa korroosiota.

Peruskorjatut pilarit tai muutoin vielä hyväkuntoiset pilarit (ET-halli) voi käsitellä esimerkiksi vettähylkivällä impregnoinnilla, joka jättää huokostetun betonin ilmahuokokset toimimaan pakkasrapaamaa vastaan, muttei päästä haitta-aineita tai kosteutta liikkumaan kapillaarisesti betoniin.

Pilareiden liikkumisesta aiheutuvia halkeamia voidaan peittää silloittavalla pinnoitteella. (BY 41, 2016, s. 66-68)

6.5.4 Alustan vaatimustaso

Pinnoitettavan pinnan tulee olla puhdas. Siitä tulisi poistaa kaikki vanha pinnoite pois, ellei olla aivan varmoja siitä, että vanha pinnoite käy alustana uudelle.

Pinnan tulee olla myös riittävän luja, yleensä 1,0 MPa vetolujuudeltaan, mutta vähintään 0,7 MPa (uudiskohteissa 1,5 MPa).

Pinnan tulee olla myös mahdollisimman tasalaatuinen ja karkeudeltaan sopiva kyseiselle pinnoitteelle. Mikäli alustaa on esimerkiksi paikkailtu tai hiekkapuhallettu, vaatii pinnoite yleensä alustan tasoituksen.

Alustan kosteustaso voi vaihdella kuivasta kosteaan riippuen käytettävästä pinnoitteesta. Muutenkin alustan suhteen on noudatettava pinnoitteen valmistajan ohjeistusta, jotkin pinnoitteet kun saattavat vaatia esimerkiksi pohjustusaineen eli primerin käyttöä. (BY 41, 2016, s. 68-69)

6.5.5 Pinnoitus ja jälkihoito

Pinnoitustyötapa ja olosuhteet on kuvattuna valmistajan ohjeistuksessa. Niitä on syytä noudattaa, jotta lopputulos olisi hyväksyttävä. Työ pyritään

tekemään siten, ettei työstä jää näkyville työsaumoja, ts pilari pinnoitetaan alusta loppuun asti ennen tauolle lähtöä. Alustan lämpötilan nousu kesken pinnoituksen saattaa aiheuttaa pinnoitteen kuplimista. Tämä kannattaa huomioida silloin, kun pinnoitustyötä aiotaan tehdä kesällä aurin-
gonpaisteessa.

Jälkihoito on aina tapauskohtaista ja sen suorittaminen on ohjeistettu valmistajan toimesta. (BY 41, 2016, s. 70-71)

6.6 Uudelleen alkalointi

Betonin uudelleenalkalointi tarkoittaa betonin pH-tason palautusta sellaiselle tasolle, että raudoitukseen muodostuu uusi korroosiota estävä passivointikalvo. Uudelleenalkalointia käytetään yleensä silloin, kun tiedetään karbonatisoitumisen olevan jo syvällä betonissa, muttei näkyviä vaurioita ole vielä havaittavissa. Myös rakenteiden hankala kunnostaminen helpottaa tämän korjausmenetelmän valintaa. Nosturiratojen pilareiden osalta uudelleen alkalointi voisi olla hyvä menetelmä rakennuksen sisäpuolella olevien pilareiden ja pilastereiden kunnostuksessa, sillä ne ovat hyvinkin alttiita karbonatisoitumiselle, mutta niiden peruskorjaus on todella hankalaa.

Uudelleen alkalointi voidaan toteuttaa kahdella tavalla:

- Sähkökemiallisessa uudelleenalkaloinnissa rakenteen päälle asennetaan metalliverkko, joka toimii prosessissa anodina eli positiivisena napana. Tämän jälkeen verkko peitetään kauttaaltaan ruiskuttamalla sen päälle esimerkiksi selluvillamassaa, joka on kyllästetty emäksisellä natriumkarbonaattiliuoksella. Raudoitus toimii katodina eli negatiivisena napana. Siihen kytketään kaapeli samoin kuin anodina olevaan verkkoonkin. Kaapeleihin johdetaan noin 10-30 V:n tasajännite, jolloin natriumkarbonaattiliuoksen imeytyessä betoniin raudoitusnympärille alkaa kehittyä uutta alkalisuutta ja raudoitus alkaa jälleen passivoitua. Käsittely kestää noin viikon ajan, jona aikana selluvilla tulee pitää kosteana natriumkarbonaattiliuoksella. Alkalointia voi seurata virtamittarilla ja kun se on suoritettu, verkon ja selluvillan voi poistaa ja rakenne pääsee kuivumaan. Kuivuminen kestää jokusen viikon ja sen aikana pinnalle saattaa kerääntyä paljonkin suoloja, jotka täytyy poistaa ennen mahdollista pinnoitusta.
- Passiivisessa uudelleenalkaloinnissa rakenne pinnoitetaan sementti-pohjaisella tuotteella, joka estää karbonatisoitumista ja josta hiljalleen alkalisuutta siirtyy myös vanhaan rakenteeseen. Menetelmä sopii myös pinnoille, joissa on jo näkyviä vaurioita. Tällöin menetelmä voidaan toteuttaa ruiskubetonoinnilla. (BY 41, 2016, s. 81-82)

6.7 Katodinen suojaus

Katodista suojausta käytetään yleensä silloin, kun betonissa on paljon klorideja. Ilmastorasituksen vuoksi niitä tuskin näillä leveysasteilla on, mutta betonipilareiden valmistuksessa on saatettu käyttää kiihdyttimenä kalsiumkloridia, jolloin ns kynnyсарvo haitallisten kloridien määrässä on ylittynyt jo uudesta alkaen.

Teräskorroosiohan on sähkökemiallinen reaktio, josta oli jo mainittu luvussa 3.1. Katodinen suojaus perustuu siihen, että reaktiossa muutetaan elektronien kulkusuuntaa eli kansanomaisesti ”käännetään navat keskenään”. Tällöin raudoitukseen kytketään heikko negatiivinen tasajännite ulkoisesta jännitelähteestä (noin 1 mA / suojattava raudoitusneliömetri). Sähkökemiallisessa korroosiosahan rauta oli anodi, mutta nyt siitä tehdään katodi. Rakenteeseen tulee asentaa myös anodi, joka yleensä on rakenteen päälle ruiskubetonoitu erikoisverkko tai jokin muu sähköä johtava pinnoite, johon liitetään jännitelähteen toinen napa. (BY 41, 2016, s. 81)

6.8 Sähkökemiallinen kloridien poisto

Sähkökemiallinen kloridien poisto tarkoittaa betonissa olevien kloridien poistamista sähkövirran avulla. Se on periaatteeltaan samankaltainen toimenpide, kuin aiemmin kuvattu sähkökemiallinen uudelleenalkalointi. Suurin eroavaisuus on toimenpiteen kestossa, joka on tässä tapauksessa useita viikkoja. Klorideita poistuu eniten raudoituksen läheltä, jossa sähkökenttä on suurin. Sen sijaan muualla kloridien poistuminen on vähäistä. Kaikkiaan menetelmällä voidaan poistaa 20-50 % klorideista per käsittely. (BY 41, 2016, s. 83)

6.9 Uusi rakenne

Vanhan pilarin purkaminen ja uuden pilarin asentaminen on äärimmäinen korjausratkaisu ja näin vanhassa tehdasmiljöössä sen käyttäminen voisi olla perusteltua vain siinä tapauksessa, että vanhat pilarit ovat jostain syystä jo korjauskelvottomia.

Tällainen syy voisi olla esimerkiksi erittäin heikkolaatuinen pilarin betoni, jolloin kunnostamisella olisi hyvin vaikeaa saavuttaa tavoiteltua rakenteen kokonaislujuutta ja kykyä siirtää kuormia perustuksiin. Toinen peruste pilareiden uusimiseen saattaisi olla ylikuormasta tai heikosta perustuksesta aiheutuneet vakavat halkeamat, joiden korjaus saattaa olla liian epävarmalla pohjalla, jollei vian aiheuttajaa voida samalla poistaa. Tällöin uudelle pilarille voisi tehdä uuden perustuksen ja huolehtia samalla, että maa-aines soveltuu hyvin pilarilta perustuksiin siirtyvien kuormien vastaanottamiseen.

Mikäli kuntotutkimusten perusteella olisi aiheellista uusia esimerkiksi kokonaisen nosturiradan pilarit, voisi työn toki organisoida siten, että sen voisi tehdä mahdollisimman tehokkaasti ja tuotantoa liikaa haittaamatta. Uudet perustukset voisi jo valmistella etukäteen, kunhan ne rakennettaisi riittävän kauas vanhoista, jo käytössä olevista pilareista. Tehdas voisi myös rakentaa uudet pilarit valmiiksi varastoon odottamaan pystytystä. Tämä keino antaisi myös mahdollisuuden uusia pilareiden yllä kulkeva nosturirata järeämmäksi, jolloin kapasiteetin nostosta voisi olla jopa hyötyä. Samaan remonttiin kannattaisi ehkä miettiä myös mahdollisuutta ottaa jo olemassa olevat automaattipuomit käyttöön.

7 NOSTURIRADAT

7.1 Yleistä

Ulkotiloissa olevia nosturiratoja on julkisivutehtaan puolella useita: linjan nosturirata, kehänosturi, keskusraudoittamon nosturirata, hormihallin nosturirata ja erikoistuotehallin (ET-halli) nosturirata (Liite 1). Näistä vain kehänosturi sijaitsee kokonaan ulkosalla, muut nosturiradat ovat sellaisia, että ne jatkuvat hallin sisältä ulos. Lisäksi tehtaalla on vain sisällä olevia ratoja, kuten ontelolaattatehtaan nosturiradat. Merkittävin pilareiden välinen ero sisällä ja ulkona olevissa radoissa on se, että ulkona olevien nosturiratojen pilareissa on silmin nähtäviä vaurioita, kun taas sisällä olevien rataosuuksien pilarit näyttäisivät olevan melko hyväkuntoisia. Pilareista ei ollut saatavilla rakennepiirustuksia eikä mitään muitakaan asiakirjoja. Myös haku Forssan kaupungin rakennusvalvonnan arkistossa ei tuottanut tulosta: sieltä löytyi tosin piirustukset kehänosturin rakenteista, mutta se ei kuulu tämän opinnäytetyön aihepiiriin. Rakennusvalvonnassa olevat asiakirjat on jaoteltu mappeihin, joita virkailijat voivat noutaa luettavaksi arkistosta. Mapin haku maksaa tietyn summan ja siinä olevasta aineistosta saa halutessaan joko paperisen tai digitaalisen kopion sangen halpaan hintaan. Käynti rakennusvalvonnassa tutkimassa haetun mapin sisältöä jätti kuitenkin pienen epäilyksen siemenen: entä, jos mapin sisällön kokoaja onkin laittanut hakemani rakennepiirustukset kuitenkin johonkin toiseen mappiin, joka ei sisällyksensä puolesta viittaa haluamiini piirustuksiin? Vastaisen varalle olisikin hyvä, että rakennusvalvonnasta tilattaisi kaikki alueen piirustukset ja muut asiakirjat digitaalisessa muodossa, jolloin niitä olisi helppo tutkia tarvittaessa ja ne voisi luokitella nykytilanteen mukaisiin tiedostoihin. Asian voisi hyvin teettää vaikka jollain kesätyöntekijällä, jolloin myös palkkakulut olisivat minimaaliset.

7.2 Linjan nosturirata

Linjan nosturirata on tehtaan radoista kaikkein vanhin. Se on alueen vanhimmassa tuotantohallissa, joka valmistui vuonna 1963 ja otettiin vuonna 1964 helmikuussa tuotannon käyttöön (Lehti, haastattelu 11.3.2020). Rakentamisen aikaan betonin lujuutta määriteltiin vuoden 1954 RIY-ohjeistuksessa ja se oli useimmiten lujuudeltaan K200, joka vastaa nykyisin lujuutta C20/25. Linjalla on valmistettu alusta asti julkisivuelementtejä ja nimensä se on saanut kiertomuottilinjasta, joka on rakennettu tuotannon tehostamiseksi. Siltanosturia käytetään lähinnä painavimpien elementtien osien, kuten valmisraudoitteiden nostoon, elementtien valuiissa käytettävän valujassikan nostoon, rappausjassikan nostoon, toisinaan

tyhjien kiertomuottipetien nostoon sekä valmiiden elementtien nostoon peteiltä pesupaikalle ja sieltä viimeistelyhalliin ja lopulta viimeistelyhallista ulkovarastoon. Viimeiset nostot tapahtuvat ulkovarastosta elementtirekan kyytiin. Radalla toimii kolme siltanosturia, jotka ovat työpäivän aikana lähes jatkuvassa käytössä.

Nosturiradan pilarit toimivat rakennuksen sisällä myös rakennuksen rungon kantavina pilareina kattopalkkien alla ja seinäelementtien välissä. Radan jatkuessa ulos aina kehänosturin toiminta-alueelle asti, pilarilinja kannattelee nosturiradan teräskiskoja. (Liite 2)

Ulkona olevat nosturiradan pilarit ovat silmin nähden alueen huonokuntoisimmat (Liite 3). Niissä on paljon säärasituksen aiheuttamia rapauma-aurioita, törmäysten aiheuttamia lohkeamia ja halkeamia sekä korrosioaurioita. Betonin suojavaivuus on jo päältäpäin nähtävissä liian pieni, sillä pilarien pääterästen ympärillä olevat hakaset näkyvät paikoitellen pintaan asti. Siltanosturilla elementtejä ulos kuljettavien henkilöiden kertoman mukaan nosturirata myös heilahtelee painavia elementtejä ulos viedessä. Tällainen liike kertoo joko ylikuormasta, joka voi johtua siitä, että kivet ovat nykyisin raskaampia ja/tai pilarit ovat menettäneet lujuuttaan. Heilahtelu voi olla myös merkki perustusten puutteellisesta toiminnasta. Harmi, ettei alueesta ole kuvia, sillä ainakin jostakin halleista on olemassa jopa paalutuskartta rakennusvalvonnassa. Olisi hyvä tietää, onko pilareiden perustusten alla paaluja ja millainen on perustusten alla oleva sorapatja eli siirtääkö perustus ja sora nosturilta tulevat suuret voimat maahan asti. Myös pilareiden kannattelema kiskosto saattaa aiheuttaa heilahtelua joko siksi, että se on jäänyt alimittaiseksi tai vaikkapa siksi, että pilarin ja kiskon välinen kiinnitys on jo pettänyt jostain kohdasta. Kaiken kaikkiaan, korjaaminen on näillä näkymin melko raskas: pelkällä pintamaalauksella ei enää pärjätä.

Kuntotutkimuksessa olisikin syytä selvittää perustavanlaatuisia kysymyksiä:

- Ovatko pilarit vielä korjaukelpoisia eli voiko niitä käyttää vielä korjauksessa uuden rakenteen sisälle jäävänä runkona?
- Onko pilareissa liikkuvia halkeamia ja jos on, niin mistä ne johtuvat?
- Mikä on perustusten kunto? Pistokokeena voisi selvittää ainakin yhden pilarin perustuksen kunnan kaivamalla se auki.
- Mikä on sisällä olevien pilareiden tilanne karbonatisoitumisen suhteen ja voisiko niille korjauksena riittää betonin uudelleen alkalointi?
- Mikä on betonin kloridipitoisuus? Kloridien poistaminen on mahdollista

7.3 Keskusraudoittamon nosturirata

Keskusraudoittamon nosturirata on alueen toiseksi vanhin. Se on rakennettu vuosien 1966-68 aikoihin (Lehti, haastattelu 11.3.2020). Tuohon ai-

kaan Suomessa oli käytössä vuoden 1965 betoninormisto, jossa lujuusvaatimus oli noussut jo K25:een eli nykynormina C25/30. Suojabetonipeitteen minimiarvoksi annettiin 20 mm ja betonin kiihdyttimenä käytetyn kalsiumkloridin määrä rajattiin 2 %:iin sementin painosta.

Tämänkin nosturiradan teräksien päällä oleva suojabetonipeite näyttäisi olevan alle ohjeen. Ainakin hakasraudoitus paistaa monissa pilareissa läpi (Liite 5). Pääterästen korroosion aiheuttamia halkeamia ei ole vielä niin paljoa kuin linjan pahimmissa pilareissa ja pilarit vaikuttavat kunnostuskelpoisemmilta. Betonipeitteen kasvatus ruiskubetonoimalla tai valamalla ovat kuitenkin jo tässä vaiheessa tutkimuksia ensimmäisenä mieleen tulevia korjausvaihtoehtoja. Nosturiradan ulkona olevaa osaa (Liite 4), käytetään lähinnä raudoitusnippujen ja valmisraudoitteiden liikutteluun, joten kapasiteetin ylitystä ei varmaankaan tapahdu. Sen sijaan radan sisällä olevalla osuudella sijaitsee parvekehalli, jossa valetaan tehtaan painavimmat kivet. Sisällä olevien pilareiden karbonatisoitumissyvyys ja raudoituksen korroosion tila olisi hyvä tutkia ja betonin alkalisuuden voisi tarpeen mukaan palauttaa. Myös kloridien määrä olisi hyvä tietää, jolloin niitä voisi poistaa tarvittaessa.

7.4 Hormihallin nosturirata

Rakennus, jossa sijaitsevat hormihalli ja ET-halli, on rakennettu kolmessa vaiheessa vuosien 1970-1980 välisenä aikana (Lehti, haastattelu 11.3.2020). Nykyisen hormihallin puoleinen pää rakennettiin ensin. Tuohon aikaan olivat voimassa samat, vuoden 1965 betoninormit, kuin keskusraudoittamon nosturiradan teon aikana. Nosturiradan ulkona olevissa pilareissa, (Liite 6), tyypillinen vika on hormihallissakin suojabetonin paksuuden riittämättömyys. Lähes kaikkien pilareiden hakasraudoitus on nähtävissä (Liite 7). Lisäksi pääteräkset ovat korroosion voimasta lohjonneet näkyviin monessa pilarissa. Toisaalta pilarien alkuperäinen rakenne vaikuttaa jotenkin lujemmalta, kuin aiemmin tehtyjen. Kaikki vauriot näyttäisivät johtuvan liian pienestä suojavahvuudesta, eikä muunlaista halkeilua ja säröilyä juuri esiinny. Pilareista saisiikin varmasti peitevahvuutta paksuntamalla vielä pitkäikäiset.

Tämän lisäksi hormihallin pilarit ovat todennäköisesti altistuneet kemikaaleille, toisin kuin muiden ratojen pilarit. Tämä johtuu siitä, että pilareiden lähistöllä on vanha lämpölaitos, jossa on käytetty lämmönlähteenä raskasta polttoöljyä. Raskas polttoöljy on erittäin rikkiä sisältävä (4%) ja poltettaessa savukaasujen reagoiminen veden kanssa muodostaa rikkihappoa. Pilareiden pinta on selkeästi kaikkien muiden ratojen pilareista poikkeava. Pilarit ovat väriltään tummempia ja niiden pinta on karkeaksi kulunut. Raudoitusten näkyvät vauriot tuntuisivat myös olevan helpommin havaittavissa, mitä lähempänä lämpölaitosta pilarit ovat. Tällä hetkellä hormihallin ulkona oleva nosturiradan osa on melko vähällä käytöllä hormihallin uuden purkuradan myötä, jolloin kunnostuksen tarvitsema aika voisi olla helpoiten järjestettävissä.

7.5 ET-hallin nosturirata

ET-hallin nosturirata ja varsinkin sen ulkona oleva osa ovat alueen uusimmat. Tämä pää nosturiradasta on valmistunut 1980-luvulla, jolloin normeihin tuli mukaan jo ympäristöolosuhteet (Liite 8). Lisäksi 1970-luvulla aloitettu betonin huokostaminen oli jo sangen toimivalla tasolla. Ulkona olevissa betonipilareissa ei näy merkkejä rapautumisesta. Myös peitepaksuus näyttäisi olevan suurempi, kuin muissa radoissa. Ainoat näkyvät korroosiot ovat pilareiden kyljissä kohdissa, joista on jossain vaiheessa katkaistu jotain teräksiä. Katkaisupinta on oikeaoppisesti piikattu pilarin pinnan sisään, mutta koloset ovat jääneet paikkaamatta. Yhtä pilaria oli lisäksi kolhittu siten, että siitä oli lohjennut pala betonia pois. Vauriota ei kuitenkaan ole paikattu (Liite 9). Näiden pilareiden kunnostus on melko helppoa: pinnanpuhdistus ja ehkä pinnoitteen poisto, kolojen paikkaus ja uusi pinnoite päälle. Hallin sisällä olevien pilareiden suurin riski on karbonatisoitumisesta aiheutuva korroosio. Karbonatisoitumisvyöhykkeen etenemistä voisi seurata sellaisilla otannoilla, jotka on otettu kaikkien kolmen rakennusajankohdan aikaisista pilareista. Veikkaisin, että uusimmissa pilareissa ei ole vielä murheita, sillä ne eivät ole imeneet hiilidioksidia niin kauan ja niiden lujuus ja tiiveys on varmastikin suurempi. Alkupään pilareiden raudoitukset ovat jo saattaneet menettää suojaavan oksidikerroksensa, joka olisi hyvä palauttaa betonin uudelleen alkaloinnilla. Myös kloriditason selvittäminen radan vanhemmista pilareista olisi hyvä tehdä.

7.6 Ontelolaattatehtaan nosturiradat

Ontelolaattatehtaalla olevien nosturiratojen pilarit ovat kaikki sisätiloissa ja ne ovat päällisin puolin hyväkuntoisen näköisiä. Ontelolaattatehdas on rakennettu vuosina 1972-73 sen aikaisten normien mukaisesti. Myöhemmin, vuonna 1989, se on saanut kylkeensä ratapölkkytehtaan, joka toimii ainakin osittain tuossa 70-luvun rakennuksessa.

Nosturiratojen betonipilarit toimivat samalla osana rakennuksen betonirunkoa. Nähdäkseni niillä ei ole mitään akuuttia korjaustarvetta, mutta varmuus asiaan tulisi vasta karbonatisoitumissyvyyden selvittämisestä. Myös kloridien määrän voisi selvittää. Hallissa vallitsee melko kostea ilmasto, joka sinänsä luo hyvät edellytykset korroosiolle. Ratkaisevaa on silloin pilareiden betonin tiiveys. Hallin vieressä nosturiratojen kanssa samalla korkeudella olevaan konttoriin kuuluu ja tuntee nosturiliikenteen aiheuttaman rakenteiden tärinän. Välillä tärinä ja melu ovat hetkellisesti niin kovia, että ne aiheuttavat varmasti rasituksia betonipilareille. Ontelolaattatehtaan betonipilarit jäivät kuitenkin tarkastelujeni ulkopuolelle siellä ollessani.

8 POHDINTOJA

Elementtitehtaan toiminnan ylläpitämisen kannalta siltanostureiden käyttö on elintärkeää. Niiden käyttäjiltä vaaditaan koulutusta ja perehdytystä, sillä he ovat vastuussa suurien voimien liikuttelemisesta työyhteisön kesellä. Myös nostoapuvälineiden ja itse nostureiden kunnon ylläpidosta ja tarkkailusta on säädetty laissa ja nämä asiat ovatkin mielestäni hyvällä mallilla. Mitä sitten tulee kiinteistön rakenteisiin ja esimerkiksi niiden rakenteiden kuntoon, joiden päällä nosturi lepää, onkin jo toinen juttu. Niiden kunnon tarkastamisesta ei välttämättä ole säädetty laissa niin yksityiskohtaisesti, kuin luulisi olevan tarpeen. Lisäksi betonin säilyvyyden määritelmän mukaan aletaan kohta jo olla niillä rajoilla, että vanhimmat pilarit eivät kaikki täytä enää määritelmässä todettua ehtoa rakenteen lujuudesta varsinkin, kun taakat ovat painavampia, kuin ennen.

Tehdasalueen betonipilarit on valettu noin kahden vuosikymmenen aikana. Vertaamalla vanhimpia ja uusimpia ulkona olevia pilareita keskenään, on niiden nykykuntojen välinen ero valtava. Tästä voi tehdä erilaisia johtopäätöksiä: Ainakin betoninormien tuomat tiukennukset näyttäisivät olleen hyvinkin tarpeellisia. Toinen päätelmä liittyy suojabetonin vahvuuteen: vaikkakin normit ovat antaneet suojabetonille minimipaksuuden, ei niitä ole noudatettu ainakaan näissä omaan käyttöön tulleissa 1960-70 - luvuilla tehdyissä pilareissa kovin tarkkaan. Se kuvastaa sitä yleistä tietämyksen tasoa tai valvonnan puutetta, joka ilmeisesti vähätteli suojavahvuuksien merkitystä. Myös vanhat pinttyneet rakentamisen tavat, jotka ovat osoittautuneet riskialttiiksi, ovat olleet vaikeita karsia pois. Mutta jossain vaiheessa laatu on parantunut huomasti ja alueen uusimmat pilarit ovat melko hyväkuntoisen näköisiä. Ja tänään tehty betonirakenne on jo melkoisella varmuudella laadukkaampi, kuin reilut viisi vuosikymmentä sitten valettu, oli se sitten uudisrakenne tai korjausrakenne. Varmuudella sen tosin saattavat sanoa vasta sellaiset kaverit, jotka viidenkymmenen tai sadan vuoden päästä tekevät kuntotutkimuksia. Silloin nykytuotoinen betoni saattaakin olla jo pala historiaa.

LÄHTEET

Betoniakatemia. (2019) Haettu 25.1.2020 osoitteesta [file:///C:/Users/Koti/Downloads/Betoniakatemia%20Rasitusluokat%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Koti/Downloads/Betoniakatemia%20Rasitusluokat%20(4).pdf)

BY:n korjauskurssi. (2019) Haettu 23.1.20 osoitteesta <http://www.betonyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/hannu-pyy-betonin-korjauskurssi-2019.pdf>

BY 41. (2016) Betonirakenteiden korjausohjeet. Suomen Betonyhdistys ry.

BY 42. (2013) Betonijulkisivun kuntotutkimus. Suomen Betonyhdistys ry.

BY 63. (2015) Ruiskubetoniohjeet. Suomen Betonyhdistys ry.

BY 65. (2016) Betoninormit. Suomen Betonyhdistys ry.

BY 201. (2018) Betonitekniikan oppikirja. Suomen Betonyhdistys ry.

HAMK:n kurssimateriaali. (2019) Ympäristö- ja rakennustekniikka. Betonitekniologia. Luento 8 Testaus, rasituksista. Betonirakenteiden rasitusluokat.

MTT. (2006) Haettu 21.1.2020 osoitteesta http://www.nurmiyhdistys.fi/Nurmitieto/NT_3-1-3.pdf

Savolainen, S. (2016) *Pilareiden vahvistaminen betonimantteloinnilla*. Diplomityö. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. Aalto-yliopisto. Haettu 3.3.2020 osoitteesta https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/22178/master_Savolainen_Sami_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

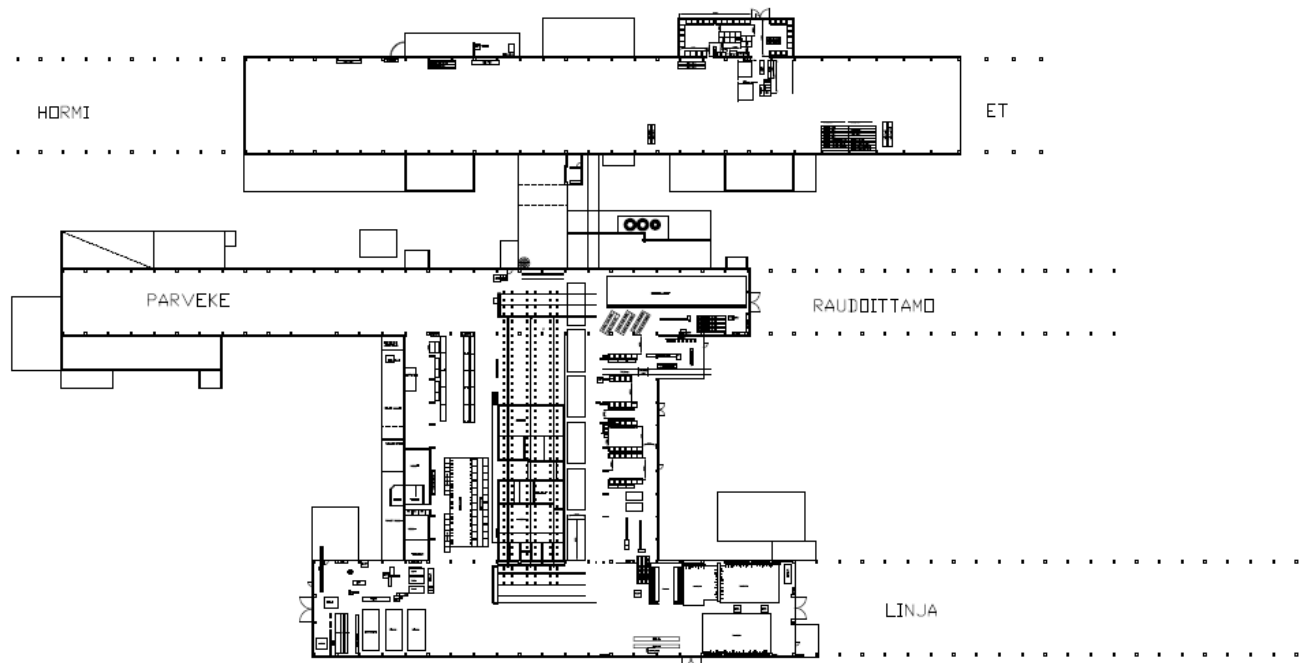
SILKO 1.233. (2016) Halkeamien korjaaminen. Yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet. Haettu 7.3.2020 osoitteesta <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf>

Xingting Zeng. (2013) *Happamuuden kemian oppiminen kokeellisuuden avulla perusopetuksessa*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö. Helsingin yliopisto. Haettu 30.4.2020 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41756/GraduWord2010FINAL.pdf?sequence=1>

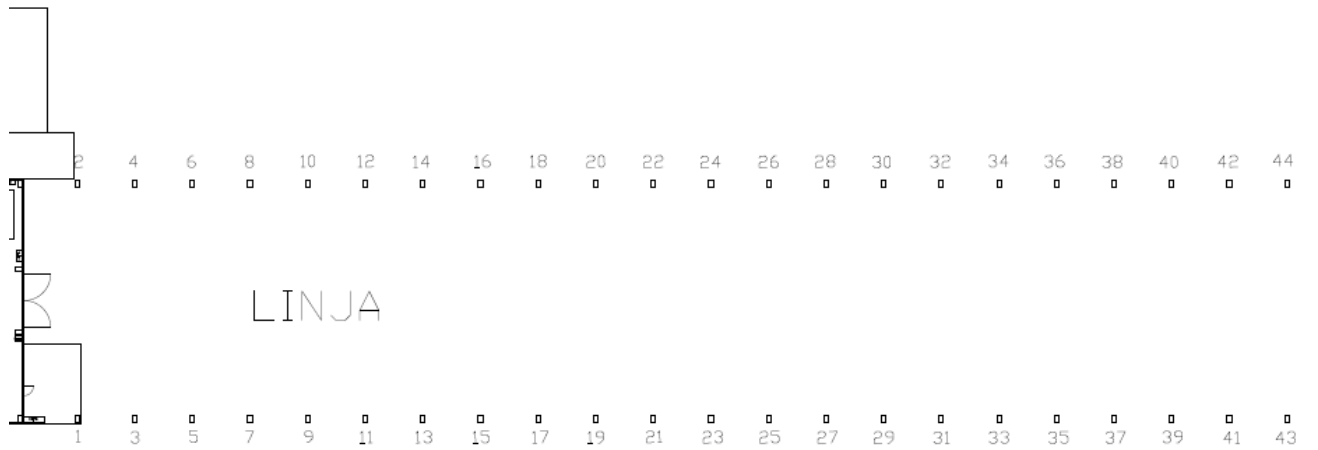
HAASTATTELUT

Lehti, Jussi. Myyntipäällikkö, Consolis Parma. Haastattelu 11.3.2020

JULKISIVUTEHTAAN ULKOPUOLELLA OLEVAT NOSTURIRADAT: POHJAKUVA



Linjan ulkopuolella oleva nosturirata: pohjakuva ja numerointi



LINJANULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: KUVIA VAURIOISTA



Pilarissa n:o 1 pintateräkset radan pilareille tyypillisesti näkyvissä. Pilarin alaosa on myös kolhittu reilusti ja lohkeama on jätetty paikkaamatta.





Pilarissa n:o 2 pahimmat pääterästen korroosion aiheuttamat halkeamat. Teräkset ovat osittain näkyvissä.





Pilarissa n:o 3 radalle tyypillinen betonin nimellispeite alle 1cm ja pilarin yläpäässä on joko rapautumaa tai betonia on piikattu kiskon tieltä.

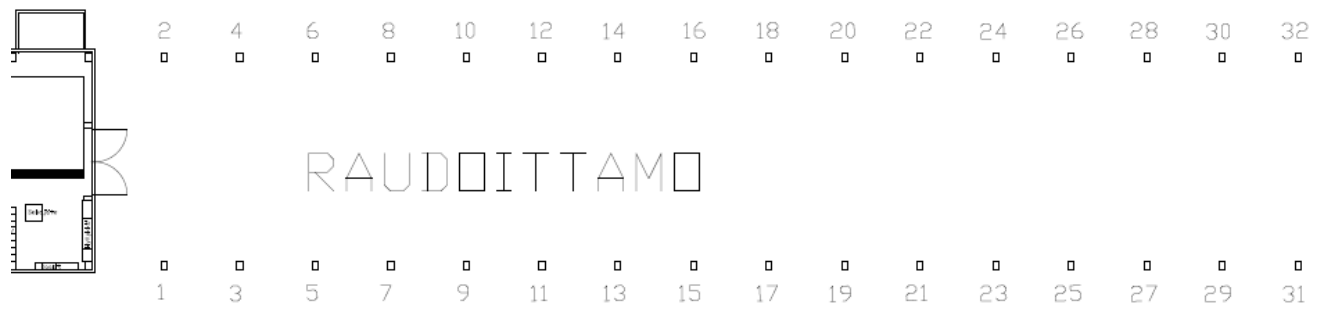




Pilari n:o 4 suojabetonin vahvuus olematon ja pääterästen korroosion aiheuttamat halkeamat ja lohkeamat näkyvissä.



KESKUSRAUDOITTAMON ULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: POHJAKUVA JA NUMEROINTI



KESKUSRAUDOITTAMON ULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: KUVIA VAURIOISTA



Pilari n:o 2 tyypillisenä esimerkkinä terästen suojabetonin vahvuudesta



Pilarin n:o 8 yläpää pahoin rapautunut

HORMIHALLIN ULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: POHJAKUVA JA NUMEROINTI

2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

HORMI

□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19

HORMIHALLIN ULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: KUVIA VAURIOISTA



Pilari n:o 1 hakasraudoitus aivan pinnassa ja pääterästen korroosio on jo halkaissut nurkat. Edustaa ulkoalueen useimpien pilareiden kuntoa.



Pilarin n:o 2 pääteräksen tartuntapinta alkaa hupenemaan.



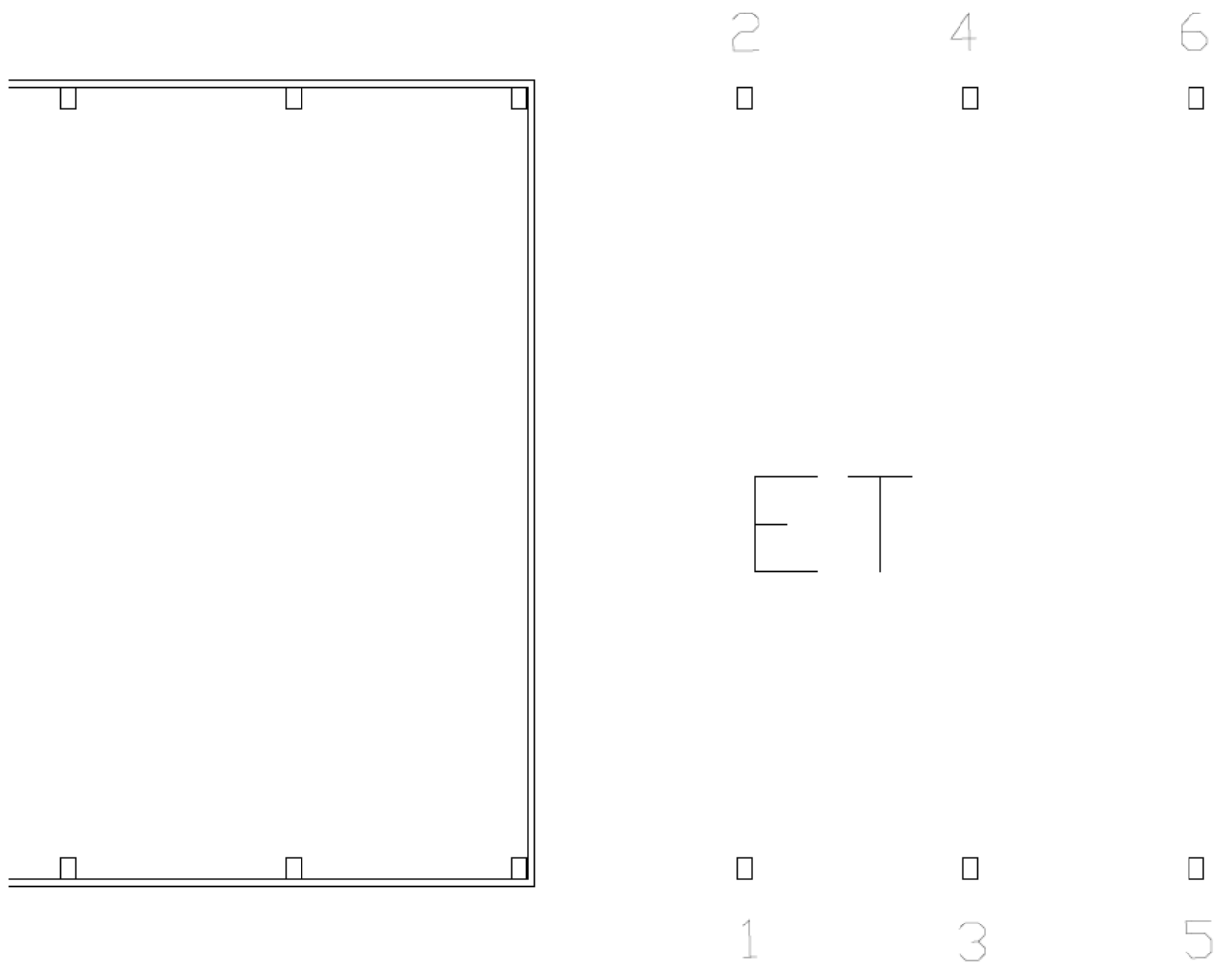
Pilarista n:o 13 on helppo selvittää rauditus ilman piirustuksia.



Samoin pilarista n:o 5. Pääteräksiä tuntuisi olevan reilusti, kunhan ne saisi vain betoni-
peitteen alle suojaan.

Lite 8

ERIKOISTUOTEHALLIN ULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: POHJAKUVA JA NUMEROINTI



ERIKOISTUOTEHALLIN ULKOPUOLELLA OLEVA NOSTURIRATA: KUVIA VAURIOISTA



Pilaria n:o 6 on kolhittu ja siinä esiintyy myös ohutta säännöllistä poikittaista halkeilua.

