Ville Sikanen

Liittorakenteisen autohallin kannen halkeilun estäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

28.4.2014

Metropolia

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Sikanen Liittorakenteisen autohallin kannen halkeilun estäminen 79 sivua + 2 liitettä 28.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Mikko Mäkelä, Vastaava työnjohtaja, NCC Rakennus Oy Juha Virtanen, Lehtori, Metropolia AMK

Tämä opinnäytetyö toteutettiin NCC Rakennus Oy:n pääkaupunkiseudun asuntorakentamisen yksikölle. Tarkoituksena oli tutkia yrityksen vuonna 2013 rakentaman 2-kerroksisen autohallin kannen halkeamia, jotka olivat syntyneet toteutusvaiheessa. Syntyneet halkeamat olivat kohteen laajuuteen nähden mittavia ja niiden korjauskustannukset olivat huomattavan isot. Tavoitteena oli löytää toimenpiteitä, joilla välttää kohdatut ongelmat tulevissa kohteissa.

Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin pääasiassa alan kirjallisuutta, kuten Suomen Betoniyhdistyksen ja Betoni-lehden julkaisuja ja lehtiartikkeleita sekä elementtisuunnittelu.fi:n internetsivuja elementtirakenteista. Pyrkimyksenä oli myös haastatteluilla hyödyntää onnistuneesti toteutettujen projektien asiantuntemusta kyseisestä liittorakenteesta. Myös tekijän henkilökohtaista kokemusta kyseisen autohallin tekemisestä hyödynnettiin. Lähdetietoja vertailtiin kohteena olleeseen autohallin toteutukseen ja sitä kautta oli tarkoitus löytää mahdollisia parannuksia tai muutoksia tehtyihin toimenpiteisiin tulevia kohteita varten.

Työn aikana saatiin selvitettyä muutama hyvin todennäköinen ja monta mahdollista syytä halkeamien syntyyn. Osa syistä oli aika selkeitä työvirheitä ja osa taas kohteen rakenteellisesta haastavuudesta johtuvia, johon vaikuttivat isot epäsäännölliset valulohkot, haastava betonimassa ja raudoitus. Varsinaisesta suunnitteluvirheestä ei kuitenkaan voida puhua. Muutamaa puhelin- ja sähköpostikeskustelua lukuun ottamatta, haastatteluja vastaavien kohteiden toteutuksesta ei kiireellisestä aikataulusta johtuen onnistuttu hyödyntämään. Tämän työn tuloksista tuotettiin myös yrityksen työnjohtajien käyttöön tarkastuslista. Tarkastuslistan tarkoituksena oli tiivistää kaikki tämän työn oleellinen tieto sellaiseen muotoon, että tulokset olisivat mahdollisimman tehokkaassa käytössä yrityksessä ja vaativista betonitöistä kokemattomampikin työnjohtaja osaisi ottaa huomioon tärkeitä laadunvarmistustoimenpiteitä.

Työn tuloksia tullaan vielä hyödyntämään tämän työn päättymisen aikaan alkavan pysäköintitalon suunnittelun ohjauksessa. Jatkokehitystoimenpiteitä tämän työn aikana nousi myös esille. Muun muassa kuorilaattojen liukumaa, tukemattoman rakentamistavan ja kuitujen hyödyntäminen kannen betonoinnissa tulivat esille jatkotutkimusta vaativina.

Avainsanat	liittorakenne, liittolaatta, betoni, betonin valinta, halkeilu, halkeamatyypit, rasitusluokat, käyttöikä, laadunvarmistus

Author(s) Title Number of Pages Date	Ville Sikanen Preventing cracking in a parking garage deck built of a composite structure 79 pages + 2 appendices 28 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Mikko Mäkelä, Construction Site Manager, NCC Construction Ltd. Juha Virtanen, Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences

This thesis was commissioned by NCC Construction Ltd.'s residential construction unit. The focus was in examining the causes for cracks in the deck of a two-story parking garage constructed in 2013. The cracks were extensive considering the dimensions of the structure and the repair costs were exceptionally high. The aim was to find ways to prevent similar problems in future sites.

The theory section is based on publications by organisations in the field, such as Suomen Betoniyhdistys, articles in the Betoni publication and the elementtisuunnittelu.fi web pages. Also the author's personal experience of participating in the construction of this particular parking garage was utilized.

As a result of the analysis I was able to identify some probable and some possible causes for the cracking. Some causes were clear mistakes in construction work and some derived from the challenging nature of the structure. As an outcome of this study, a checklist for the use of foremen was produced.

The findings of this work will be used in guiding the design of another parking hall. Some development points were also identified. Additional research is needed to study the sliding of concrete slabs, constructing without propping and using fibers in casting concrete decks.

Keywords	composite structure, composite slab, concrete, cracking, cracking types, exposure classes, service life, quality control

Sisällys

Määritelmät

1 Johdanto 1

1.1 Työn tausta 1
1.2 Tutkimusmenetelmät ja tavoite 2
1.3 Työn rajaus 2

2 Liittorakenne 3

2.1 Yleisesti 3
2.2 Liittolaatat 7
2.2.1 Betoni-betoni-liittolaatta 7
2.2.2 Betoni-teräs-liittolaatta 8
2.3 Suunnitteluperiaatteet 8

3 Betoni 11

3.1 Suunnittelijan asettamat vaatimukset betonilaadulle 12
3.1.1 Lujuus 12
3.1.2 Rasitusluokat 13
3.1.3 Käyttöikä 16
3.1.4 Kulutuskestävyys 18
3.2 Työmaan vaatimukset 24
3.2.1 Työstettävyys 24
3.2.2 Lujuudenkehitys 26
3.2.3 Betonin siirto 28
3.3 Laadunvarmistus 30
3.3.1 Betonityösuunnitelma 31
3.3.2 Betonointipöytäkirjat 32
3.3.3 Lujuudenkehityksen seuranta 32
3.3.4 Tarkistuslistat 34
3.4 Halkeilu 35
3.4.1 Kutistuma 37
3.4.2 Viruminen 39
3.4.3 Plastinen painuma 39
3.4.4 Kovettumisenaikainen lämpötilamuutos ja lämmitys 41

3.4.5 Muita halkeilua aiheuttavia tekijöitä 42
3.4.6 Eri halkeamatyypit ja niiden syyt 43

4 Tutkimuskohteet 46

4.1 Kerava 46
4.1.1 Kohteen esittely 46
4.1.2 Rakenne 47
4.1.3 Toteutus 54
4.1.4 Ongelmat ja mahdolliset syyt 58
4.2 Vantaa, Tikkurila 68

5 Toimenpide-ehdotukset 69

5.1 Tuentasuunnitelma 69
5.2 Betonilaadun valinta 70
5.3 Raudoitus 71
5.4 Betonointi 72
5.5 Jälkihoito 73

6 Päätelmät 73

6.1 Yhteenveto 73
6.2 Tavoitteiden toteutuminen 75
6.3 Jatkokehitys 76

Lähteet 77

Liitteet

Liite 1. Esimerkki NCC:n käyttämästä betonointipöytäkirjamallista.

Liite 2. Tarkastuslista liittorakenteisen autohallin toteutuksesta.

Määritelmät

Autogeeninen kutistuma	Hydrataatioreaktiossa tapahtuvan tilavuuden pieneneminen.
Hydrataatioreaktio	Betonin sisältämän veden ja sementin kemiallinen reaktio, josta muodostuu sementtiliima. Reaktion aikana ainesosien kokonaistilavuus pienenee. Reaktio tuottaa myös lämpöä.
Liittolaatta	Laatta, jossa on käytetty teräksistä liittolevyä tai esijännitettyä kuorilaattaa kantamaan valunaikaiset kuormat ja toimii yhdessä kovettuneen betonin kanssa liittorakenteen vetojännitystä vastaanottavana osana.
Liittopalkki	Pääasiassa taivutettu liittorakenneosa, jonka lopullinen jäykkyys ja kestävyys saavutetaan vasta, kun liittovaikutus muihin liittorakenteen osiin on toteutunut.
Liittorakenne	Kahden tai useamman eri rakenneosan tai materiaalin muodostama rakenne, jolla saavutetaan suurempi jäykkyys kuin osilla erikseen.
Liittovaikutus	Liittorakenteen toimintatapa silloin, kun osien välinen leikkausliitos on muodostunut toimivaksi esimerkiksi betonin kovettuttua.
Plastinen kutistuma	Betonimassan pinnasta haihtuvan veden aiheuttama tilavuuden muutos.
Plastinen painuma	Tuoreen betonimassan painuminen alkuperäisestä valupinnasta.
Suhteitus	Betonin osa-aineiden (runkoaine, sementti ja vesi) yhdistämistä siten, että sekä tuore massa että kovettunut betoni saavuttavat halutut ominaisuudet.
Suunnittelukäyttöikä	Ikä, jonka ajan suunniteltu rakenne säilyttää sille vaaditut ominaisuudet, mikäli riittävistä huoltotoimenpiteistä on huolehdittu.
Vesi/sementti-suhde	Betonin sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhdeluku.
Viruma	Ajasta riippuvainen muodonmuutos, jossa kuormitettu betonirakenne tiivistyy veden poistuessa huokosista paineen vaikutuksesta.
Yhdistelmärakenne	Rakenne, jossa on hyödynnetty eri rakenneosia tai materiaaleja ilman, että kaikkien osien välillä on liittovaikutusta toisiinsa nähden.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään NCC Rakennus Oy:n pääkaupunkiseudun asuntorakentamisen yksikölle. NCC on Pohjoismaiden johtavia rakennus- ja kiinteistöyhtiöitä. NCC:n liiketoiminta-alueita ovat rakentaminen, asuminen, kiinteistöjen kehittäminen sekä tie- ja maanrakentaminen. Konserniin kuuluu myös täyden palvelun suunnittelutoimisto Optiplan Oy.

NCC Rakennus Oy vastaa konsernin asunto- ja talonrakentamisesta suomessa, sekä tytäryhtiöiden kautta myös Suomen lähialueilla Baltiassa ja Venäjällä. Asuntorakentamisen yksikkö tekee sekä vapaarahoitteisia NCC Tähtikoteja, että urakoi asuintaloja rakennuttajille. Yrityksessä työskentelee reilu 2 800 työntekijää (2012).

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön taustalla on yrityksen vuoden 2013 aikana rakentaman autohallin kannen halkeamat toteutusvaiheessa. Kyseiset halkeamat sijaitsivat vesitiiveyden ja rakenteen säilyvyyden kannalta oleellisimmissa kohdissa ja olivat suuruudeltaan sellaista luokkaa, että ne vaativat korjaustoimenpiteitä. Näin ollen myös korjauskustannukset olivat huomattavia ottaen huomioon, että harvemmin toteutusvaiheessa syntyviä korjauskustannuksia on laskettu kuluihin mukaan.

Autohalli oli suunniteltu toteutettavaksi pilari-palkkirunkona, joka on myös erillisten pysäköintilaitosten yleisin runkojärjestelmä. Järjestelmä toteutettiin jännebetoniliittopalkeilla, esijännitetyillä kuorilaatoilla ja jälkivalulla. Valmis rakenne tuli näin ollen toimimaan liittorakenteena. Liittorakenne on nopea tapa rakentaa isojakin kohteita, joissa vaaditaan pitkiä jännevälejä ja hoikkia rakenteita. Liittorakenne vaatii kuitenkin tekijältään normaalia elementtirakennetta enemmän tietämystä rakenteiden toiminnasta, jotta liittorakenteesta tulisi toimiva.

Myöhemmin yritys tulee rakentamaan vastaavanlaisen, mutta huomattavasti isomman autohallin, joten aiemman rakennetun kohteen ongelmien ei haluta toistuvan enää tulevissa kohteissa. Näin ollen tämä opinnäytetyö toteutetaan juuri näiden ongelmien poh-

jalta. Kuitenkin haastavien betonirakenteiden onnistunut toteutus on aina osoitus tekijöidensä ammattitaidosta ja osaamisesta, jota kelpaa mainostaa.

1.2 Tutkimusmenetelmät ja tavoite

Tässä opinnäytetyössä tullaan hyödyntämään pääasiassa alan kirjallisuutta, kuten Suomen Betoniyhdistyksen ja Betoni-lehden julkaisuja ja lehtiartikkeleita sekä elementtisuunnittelu.fi:n internetsivuja elementtirakenteista. Pyrkimyksenä on myös haastatteluilla hyödyntää onnistuneesti toteutettujen projektien asiantuntemusta kyseisestä liittorakenteesta. Tutkimustuloksia tullaan vertaamaan aiheen taustalla olevan autohallin toteutukseen ja sitä kautta löytää mahdollisia parannuksia tai muutoksia tuleviin kohteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää toimenpiteitä, joilla välttää jo kohdatut ongelmat tulevissa hankkeissa. Huomio kiinnittyy erityisesti halkeilun välttämiseen. Tämän työn tuloksista tuotetaan myös yrityksen työnjohtajien käyttöön tarkastuslista tai täydennetään jo olemassa olevaa listaa niiltä osin kuin on tarpeellista. Tarkastuslistan tarkoituksena on tiivistää kaikki oleellinen tieto sellaiseen muotoon, että tulokset olisivat mahdollisimman tehokkaassa käytössä yrityksessä ja vaativista betonitöistä kokemattomampikin työnjohtaja osaisi ottaa huomioon tärkeitä laadunvarmistustoimenpiteitä. Tarkastuslistassa esitettyjen kohtien avulla tulisi päästä onnistuneeseen lopputulokseen, kun käytetään tutkimuskohteena olevaa liittorakennetta.

1.3 Työn rajaus

Opinnäytetyö toteutetaan tutkimalla kohdetta halkeilun kannalta kahdesta eri näkökulmasta. Ensimmäisenä suunnittelijan näkökulmasta eli tutkimalla toimenpiteitä, joilla voitaisiin pienentää halkeiluriskiä jo suunnitteluvaiheessa. Toisena on työmaan näkökulma eli toteutuksessa huomioitavia asioita.

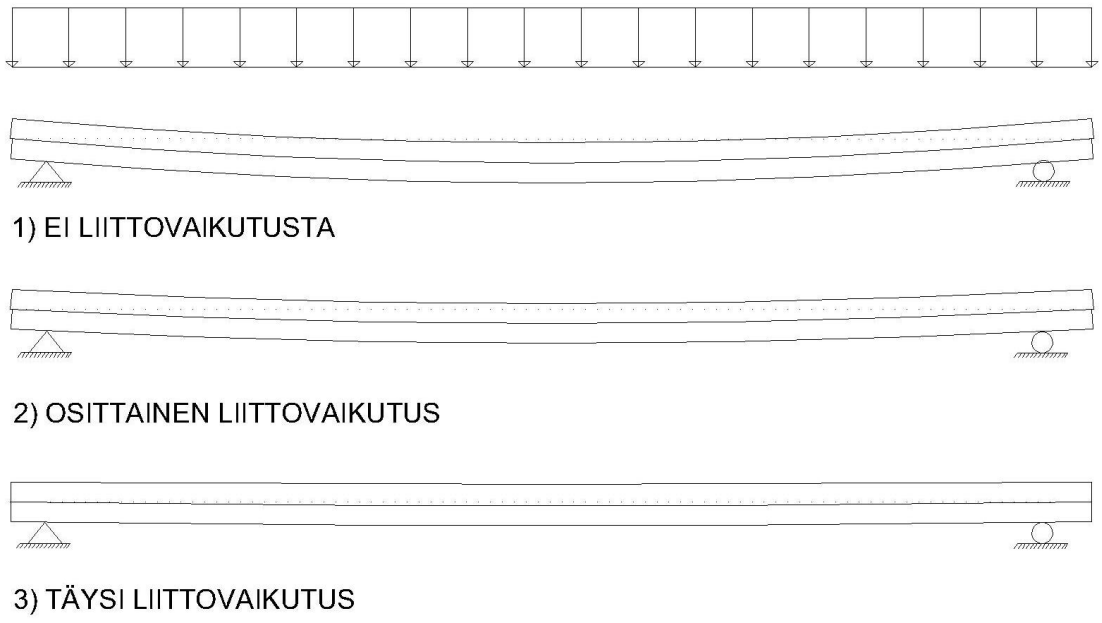
Työ rajataan siten, että suunnittelun näkökulmasta otetaan huomioon vain asioita, jotka vaikuttavat oleellisesti myös työmaan näkökulmaan. Tällaisia ovat erityisesti tuentasuunnitelma ja betonilaadun valinta, koska molemmat ovat suunnittelijalle kuuluvia toi-

menpiteitä, jotka ohjaavat työmaan valintoja toteutuksen kannalta. Ulkopuolelle jäävät näin ollen kaikki rakenteiden mitoitukseen liittyvät laskelmat.

2 Liittorakenne

2.1 Yleisesti

Yleisesti liittorakenteiksi voidaan luokitella kaikki sellaiset rakenteet, joissa tarkasteltavassa poikkileikkauksessa erillisiä osia yhdistämällä on saavutettu suurempi rakenteellinen jäykkyys tai kestävyys kuin eri osilla olisi ilman yhteistoimintaa keskenään (Kuva 1). Erilliset osat voivat olla valmisosatuotteita tai kohteessa paikanpäällä rakennettuja esimerkiksi paikallavalurakenteita. Osien yhteistoiminta varmistetaan liittämällä osat keskenään joko mekaanisesti tai hyödyntämällä tuotteiden omia tartuntaominaisuuksia. [1, s. 13.]

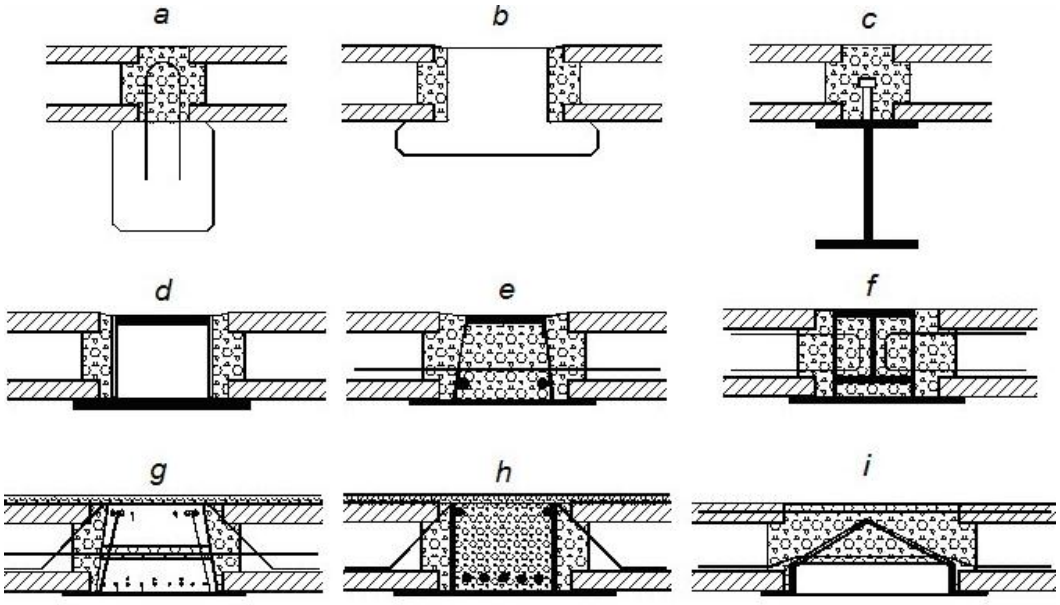


Kuva 1. Liittovaikutus osien välillä kasvattaa rakenteen kokonaisjäykkyyttä. Kuvan taipumat ovat liioiteltuja. [2]. Piirtänyt: Ville Sikanen.

Liittorakenteiden tarkoituksena on saada hyödynnettyä mahdollisimman paljon erilaisten materiaalien ja/tai tuotteiden edullisia ominaisuuksia [3]. Karkeana esimerkkinä tällaisesta rakenteesta, missä hyödynnetään kahden eri materiaalin hyviä ominaisuuk-

sia niiden yhteistoiminnalla, voidaan käyttää teräsbetonia. Betonin puristuslujuus on erittäin hyvä, mutta vetolujuus huomattavan pieni. Sen sijaan teräksellä on suuri vetolujuus, joten yhdistämällä nämä kaksi eri materiaalia oikein saadaan sekä puristusta, että vetoa hyvin kestävä rakenne.

Liittorakenteita hyödyntämällä saadaan rakenteille yleensä suurempia jännevälejä lisääntyneen jäykkyyden ansiosta [3]. Tämä on erityisen hyödyllistä suurissa hallirakenteissa kuten pysäköintilaitoksissa, joissa pystyrakenteiden sijoittelulla on suuri merkitys käytettävyyden kannalta. Lisääntyneen jäykkyyden ansiosta myös laataston kuormituskestävyys kasvaa, joka mahdollistaa kevyemmän laattarakenteen. Näin saadaan hoikemmat pystyrakenteet ja kevyemmät perustusrakenteet, jotka tuo säästöä rakentamiskustannuksissa. Toki mentäessä huomattavan pitkiin jänneväleihin rajoittaa käyttötilassa halkeilu ja taipuma suurinta sallittua kuormitusta sekä jänneväliä. Näin ollen myös rakenteen hyöty ei-liittorakenteiseen nähden pienenee, kun rakenteiden koko kasvaa. [3.]



Kuva 2. Esimerkkejä liittorakenteista [3].

Kuvassa 2 on näytetty muutama esimerkki liittorakenteista. Kuvasta voi nähdä, että liittorakenteilla voidaan halutessa päästä huomattavan pieniin rakennepaksuuksiin, kun palkin korkeus ei rajoita kerroskorkeutta. Liittorakenteiden hyöty näkyy myös siinä, että päästään käyttämään teräsosia, jotka ovat usein helppoja ja nopeita asentaa sekä myös kevyempiä kuin teräsbetoni. Palosuojauksen tarve liittorakenteissa käytettävien

teräsosien osalta on vähäinen, kun betonilla voidaan järjestää riittävä palosuojaus, kuten kuvan rakenteissa d-i voidaan havaita. Sen sijaan rakenteessa c teräspalkki vaatisi vielä erillisen palosuojauksen. Teräksen palosuojaustarve onkin ollut yksi merkittävistä tekijöistä liittorakenteiden kehittämiselle [4, s. 5].

Rakenteessa a on esitetty nk. liittopalkki. Kyseisen rakenne voidaan toteuttaa sekä elementtirakenteisena että paikallavaluna. Jotta saataisiin mahdollisimman suuri hyöty tällaisesta rakenteesta, on palkki usein teräspunoksilla jännitetty. Näin päästään tarvittaessa jopa yli 17 metrin jänneväleihin. Elementtirakenteisena pystytään hyödyntämään asennusnopeus ja se mahdollistaa myös palkin keventämisen asennuksen ajaksi, kun palkin lopullinen kapasiteetti saavutetaan vasta, kun laataston pintavalu on tehty ja saavuttanut lopullisen suunnittelulujuuden, jolloin rakenne toimii yhtenäisenä ja palkin tehollinen korkeus kasvaa. [3.]

Tällaisia liittopalkki ja kuori- / ontelolaatta -tyylisiä rakenteita on käytetty Suomessa useassakin kohteessa mm. Vuosaaren sataman henkilöstökeskuksen 387 autopaikkaa käsittävässä pysäköintitalossa (Kuva 3) sekä Helsinki-Vantaa-lentoaseman 2 400 autopaikan pysäköintilaitoksen P3 laajennuksessa (Kuva 4). [5; 6.]

Kuva 3. Vuosaaren sataman Finnsteve Oy Ab henkilöstökeskuksen pysäköintitalo [5]. Kuva: Tuomas Pietinen, Tasku Oy.

Kuva 4. Helsinki-Vantaa-lentoaseman pysäköintilaitos P3 [6]. Kuvat: Olli Aho, Parma Oy.

Liittorakenteita voidaan toteuttaa myös monista muistakin materiaaleista. Esimerkiksi puu-betoni-liittorakennetta on hyödynnetty vuonna 1999 käyttöönotetussa Vihantasalmen sillassa (Kuva 5). Silta on tyypiltään riippuansassilta ja sen pisin jänneväli on 42 metriä. Materiaaleina sillassa on käytetty teräsbetonia, liimapuupalkkeja sekä terästä eli silta voidaan luokitella myös ns. yhdistelmärakenteeksi. Sillan kansirakenne on toteutettu liimapuupalkki-betoni-liittorakenteena, jossa liimapuupalkki on teräsvaarnoilla ja palkin loveuksilla yhdistetty teräsbetoniseen kanteen (Kuva 5). [7.]

Kuva 5. Yleiskuva vihantasalmen puusillasta vasemmalla ja oikealla liimapuupalkin ja kannen teräsvaarnat ja loveukset ennen kansivalua [7; 8].

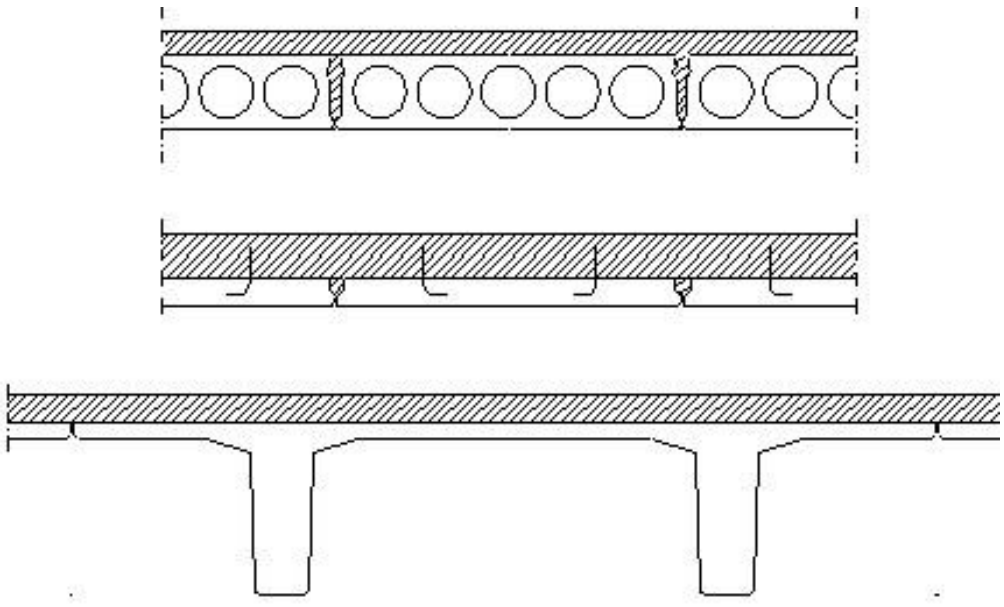
2.2 Liittolaatat

Seuraavassa käsitellään hieman muutamaa erilaista liittolaattatyyppiä. Liittolaatta on rakenteena tämän opinnäytetyön kannalta oleellisin, koska sellainen oli myös tutkimuskohteen kansilaatta, jossa työn aiheena olevat ongelmat ilmenivät.

Liittolaatta on periaatteeltaan aivan samanlainen kuin kaikki muutkin liittorakenteet yleisesti. Kyseessä on vain tietty rakenneosa, joka on tuotettu yhdistelemällä erilaisia materiaaleja. Vastaavia rakenneosia ovat tietenkin liittopilarit ja -palkit, mutta ne on rajattu tämän työn osalta pois.

2.2.1 Betoni-betoni-liittolaatta

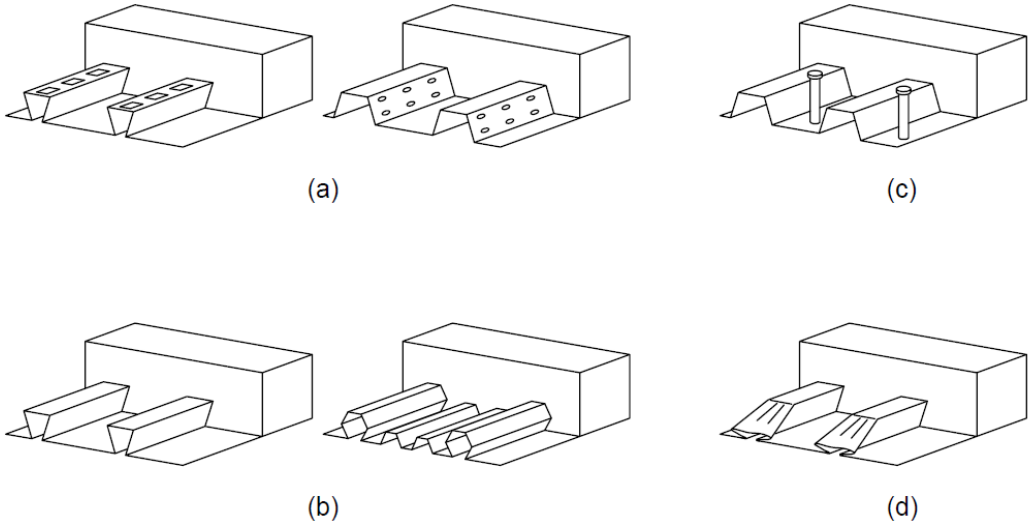
Betoni-betoni-liittolaatalla tarkoitetaan yleensä betonisista valmisosatuotteista ja betonivalusta valmistettua rakennetta (Kuva 6). Yksi yleisesti käytössä oleva tämän tyylinen liittolaattarakenne on esijännitetty kuorilaatta, joka asennettuna toimii valumuottina ja lopullisessa rakenteessa vetojännitystä vastaanottavana osana. Kuorilaatan päälle jälkikäteen valettava raudoitettu pintabetoni toimii pääosin puristettuna rakenneosana. [1.]



Kuva 6. Esimerkkejä betoni-betoni-liittolaatoista. Ylin rakenne on ontelolaatta + pintavalu, keskimmäinen kuorilaatta + pintavalu ja alin TT-laatta + pintavalu. Rasteroitu osuus esittää jälkivalua. [3.]

2.2.2 Betoni-teräs-liittolaatta

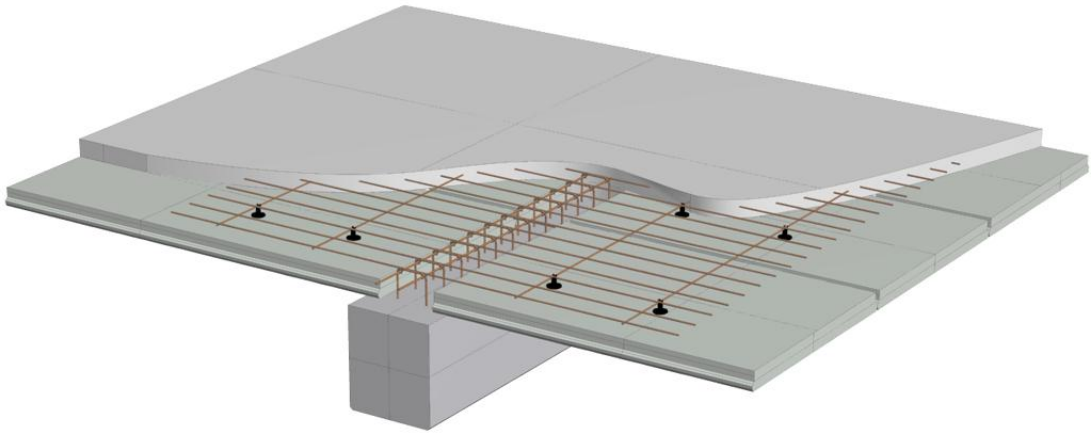
Betoni-teräs-liittorakenne on toiminnaltaan lähes vastaavanlainen kuin betoni-betoni-liittorakenne. Poikkeuksena on vain teräsosien käyttö rakenteessa. Liittolaatoissa voidaan käyttää esimerkiksi profiloitua teräksestä valmistettua liittolevyä (Kuva 7). Liittolevyllä saadaan helposti ja nopeasti aikaiseksi valua varten muottipinta, joka kestää betonoinnin aikaiset kuormat. Pintavalun saavutettua suunnittelulujuutensa rakennetta voidaan kuormittaa normaalisti. [1.]



Kuva 7. Tyypillisimpiä profiloidulla ohutlevyllä valmistettuja liittolaattoja [9, s. 79, kuva 9.1].

2.3 Suunnitteluperiaatteet

Kuorilaatta toimii vain yhteen suuntaan kantavana rakenteena, joten rakenne vaatii vielä kohteessa ns. jakoraudoituksen pääkantosuuntaan nähden poikittain sekä tietysti kaiken muun kohteelle ominaisen raudoituksen (Kuva 8) [1]. Oleellista tällaisen rakenteen kanssa on varmistaa eri aikaan tuotettujen betoniosien liittäminen toisiinsa. Kuorilaattojen kanssa voidaan käyttää esimerkiksi pintaan asennettuja ansaita, jotka toimivat tartuntana pintavalulle sekä samalla nostolenkkeinä elementille. Tartunta voidaan myös toteuttaa käyttämällä profiloitua kuorilaattaa, joiden käytöstä tosin on jo pääosin luovuttu [1]. Näin saadaan aikaiseksi elementin ja pintavalun välinen liittovaikutus. [3.]

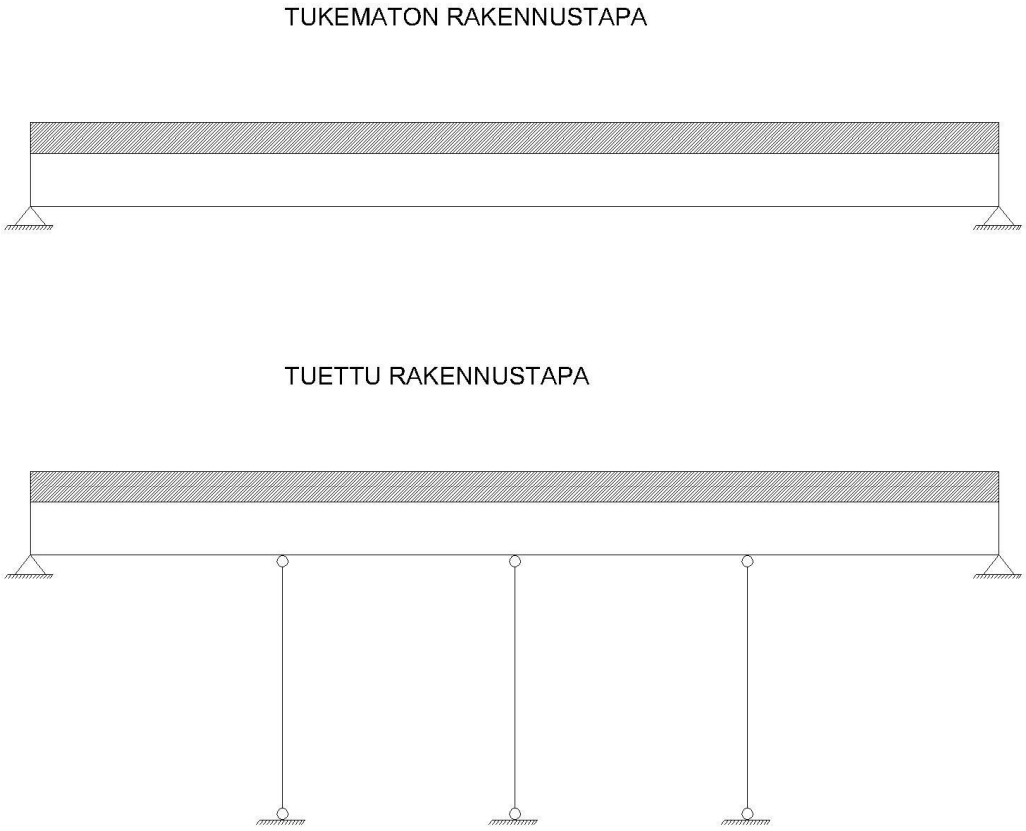


Kuva 8. Havainnekuva betonisen liittopalkin ja kuorilaatan raudoituksesta [3].

Työnaikaiset kuormat sekä koko rakenteen omapaino tulee myös ottaa huomioon kuorilaattarakennetta suunniteltaessa. Rakenne voidaan suunnitella tukemattomana tai tuettuna (Kuva 9). Tukemattomassa rakennustavassa rakenteet asennetaan ilman taipumia rajoittavia väliaikaisia tukia. Tukemattomassa rakennustavassa rakenteen oma paino kuormittaa alusta alkaen pelkästään kuorilaattarakennetta, jolloin tietysti myös omasta painosta aiheutuva taipuma on vain kuorilaatalla. Kun pintabetoni on saavuttanut suunnittelulujuutensa, voidaan koko rakennetta kuormittaa suunnitellulla tavalla. Tämä johtaa yleensä suurempiin rakennepaksuuksiin ja lyhyempään jänneväliin kuorilaatoilla. [1, s. 40.]

Tuetussa rakennustavassa taas väliaikaisia tukia käyttämällä rajoitetaan omasta painosta aiheutuvia taipumia, ennen kuin pintabetoni on saavuttanut suunnittelulujuutta. Väliaikaiset tuet ottavat vastaan koko kuorilaattarakenteen sekä pintavalun oman painon, jolloin rakenne pääsee taipumaan vasta sen jälkeen, kun väliaikainen tuenta on purettu. Joissain tapauksissa voidaan myös käyttää esikorotusta tasaamaan lopullisia taipumia. Väliaikaista tuentaa käyttämällä saadaan paremmin hyödynnettyä valmiin rakenteen kapasiteettia, koska kuorilaattarakenteella ja myös pintabetonilla on yksi-

nään pienempi kuormituskestävyys ja jäykkyys, kuin mitä niiden yhteistoiminnalla saadaan aikaiseksi. Tällä tavalla koko valmiin rakenteen omasta painosta aiheutuva kuormitus jakautuu kuorilaattojen ja pintabetonin muodostamalle liittolaatalle ja samalla taipumat pienenevät. Suuremman jäykkyyden ansiosta saadaan rakenteelle pidempi jänneväli ja ohuempi rakennepaksuus. [1, s. 40.]



Kuva 9. Havainnepiirustus eri rakentamistavoista [2]. Piirtänyt: Ville Sikanen.

Käytettäessä jännitettyjä rakenteita, kuten liittorakenteissa yleensä, tulee jännevoiman aiheuttama käyristymä ottaa huomioon pintavalun paksuutta suunniteltaessa [1, s. 261]. Mikäli tätä ei huomioida saattaa, pintavalun paksuus oleellisesti poiketa suunnitellusta ja näin ollen heikentää todellista kuormituskestävyyttä.

Kuorilaattojen sijaan rakenteessa voidaan käyttää myös ontelolaattoja tai TT-laattoja. Ontelolaattoja käytettäessä voidaan pintabetonin osuutta vähentää rakennepaksuudessa, koska ontelolaatta on itsessään jo huomattavan paksu. Pintabetonilla tosin saadaan parannettua monia ominaisuuksia mm. vesitiiveys, ääneneristävyys ja palonkes-

tävyys paranevat [3]. Mikäli riittävä vesitiiveys saadaan toteutettua pelkästään pintabetonilla, säästetään usein rakentamiskustannuksissa, kun erillistä vedeneristystä ei tarvita. Tämä tosin asettaa haasteita työmaalle, mutta myös suunnittelijalle, jotta vältyttäisiin betonin halkeilulta. Betonin halkeilu heikentää oleellisesti rakenteen vesitiiveyttä ja säilyvyyttä eikä erillinen vedeneristys ole varmistamassa vesitiiveyttä halkeilutapauksessa. Oikein suunniteltuna ja toteutettuna rakenne on kuitenkin erittäin toimiva ja kustannustehokas ratkaisu [6, s. 62].

3 Betoni

Kantavien rakenteiden tärkein ja yleisin rakennusmateriaali on betoni. Betoni on kovettuneen sementtiliiman ja kiviainesrakeiden muodostama ns. keinotekoinen kivi. Pääraaka-aineina on sementti, vesi ja kiviainekset. Usein käytetään lisä- ja seosaineita tuomaan betonille haluttuja ominaisuuksia niin tiiviyden, työstettävyyden, lujuuden kuin säilyvyyden osalta. Näitä betonin ominaisuuksia hallitaan suhteituksella, jossa kunkin osa-aineen osuus kokonaisuudesta määritetään suunnittelijan ja työmaan vaateiden mukaisesti. [10.]

Betonilaadun valintaan vaikuttaa moni asia ja monesti yhden tekijän vaatima laatu ei aina ole yhteensopiva jonkin toisen tekijän kanssa. Tämä johtaa hyvin usein jonkinlaisiin kompromisseihin betonilaadun suhteen. Yksi tämän tyyppisistä asioista on halkeiluriskin pienentäminen. Halkeilemattomuuden kannalta ihanteellisintahan olisi suuri kiviaineksen raekoko ja alhainen vesi/sementti-suhde eli vettä olisi vain sen verran kuin betoni sitoutumisen aikana tarvitsee. Tällainen massa on taas työstettävyydeltään haastava, koska sitä on hankala levittää sen jäykkyyden takia ja suuri raekoko vaatii erityishuomiota myös valukaluston suhteen.

Jotta täytettäisiin rakenteelle asetetut vaatimukset ja betonilaatu olisi vielä työstettävää, niin usein päädyttäisiin karsimaan hieman halkeiluriskin kannalta oleellisia asioita. Tällaisessa tapauksessa kasvatettaisiin vesimäärää tai käytettäisiin notkistimia tuomaan lisää työstettävyyttä sekä pienennettäisiin raekokoa, jotta voidaan käyttää esimerkiksi pumppukalustoa. Molemmat lisäävät osaltaan rakenteen halkeiluriskiä. Veden lisääminen kasvattaa samassa suhteessa sementin määrää, jotta vaadittu vesi/sementti-suhde saavutetaan. Raekoon pienentäminen lisää myös osaltaan sementin määrää, koska kiviainesten väliin jäävä tila täytyy paikata sementtiliimalla ja ilmalla, mikäli vaa-

timuksena on pakkasenkestävää betonia. Kiviainesten väliin jäävä tila raekoon pienentyessä taas selittyy sillä, että valmiin massan kokonaistilavuus ei muutu suhteituksessa. Näin ollen kyseinen tilavuus vain täytetään määrätyillä osa-aineksilla ja yhtenä tuotteena iso kiviaines soveltuu tähän hyvin sen korkean lujuuden ansiosta. [10.] Sementin määrän kasvattaminen lisää taas betonin kutistumaa ja mikäli rakenteen kutistuminen on jollain tapaa estetty, niin rakenteeseen syntyy vetojännityksiä, jollaisia betoni ei ilman erillistä raudoitusta kestäisi. Näillä valinnoilla päästään kuitenkin edelleen hyvään lopputulokseen, mikäli työsuorituksessa noudatetaan vaadittuja toimenpiteitä.

Betoni ja sen ominaisuudet ja käyttäytyminen rakenteessa on yksi tärkeä tutkittava osa-alue tämän opinnäytetyön kannalta. Seuraavassa käydään läpi, minkälaiset tekijät tulee ottaa huomioon, kun valitaan rakenteelle soveltuva betonilaatu. Aluksi otetaan esille suunnittelijan tekemät valinnat, jotka asettavat tietyt vaatimukset betonilaadulle ja tämän jälkeen työmaan valinnat näiden vaatimusten pohjalta eli mitä työmaa tekee, jotta täyttäisi suunnittelijan asettamat vaatimukset. Tämän lisäksi käydään läpi betonin ominaisuuksia, jotka vaikuttavat rakenteen halkeiluun sekä halkeilua sellaisenaan eli halkeamatyyppejä ja tapahtumat tietyntyyppisen halkeilun syntymiseen, niin työn aikana kuin käytönkin aikana

3.1 Suunnittelijan asettamat vaatimukset betonilaadulle

Suunnittelijan vastuulla on asettaa tarvittavat vaatimukset rakenteelle. Käytännössä suunnittelijalla on iso rooli siinä, miten hyvin halkeiluriski otetaan huomioon rakennetta suunniteltaessa. Betonirakenteita suunniteltaessa tärkeimmät määritettävät ominaisuudet betonille ovat sen lujuus ja säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan. Suomen olosuhteissa etenkin pakkasenkestävyys ja suolarasituksen kestävyys on rakenteiden säilyvyyden kannalta tärkeimmät ominaisuudet. Nämä ovat kuitenkin vain yksittäisiä osatekijöitä hyvän betonirakenteen toteuttamiseksi [11].

3.1.1 Lujuus

Betonin lujuus on ensimmäisiä vaatimuksia, jotka suunnittelija määrittää rakenteelle. Lujuus määritetään ensisijaisesti rakenteellisen kestävyyden mukaan. Hyvin usein lujuus voi tulla kuitenkin määrääväksi säilyvyydenkin mukaan, jolloin rasitusluokat ja käyttöikä määrittävät tietyn vähimmäislujuuden, joka on suurempi kuin kestävyyden

mukainen lujuus. Tällaisia tapauksia voi tulla, kun rakenteelle asetetaan pitkä käyttöikä ja ympäristöolosuhteet ovat vaativat, jolloin betonirakenteen tiiveydelle asetetaan erityisiä vaatimuksia.

Betonin lujuuteen vaikuttaa monta tekijää. Nämä tekijät sisältyvät erityisesti betonin koostumukseen. Koostumusta säätelemällä saadaan aikaiseksi haluttu lujuus. Betonin koostumus taas käsittää monta kohtaa, joista erityisesti vesi/sementti-suhde on olennainen. Muita kohtia ovat:

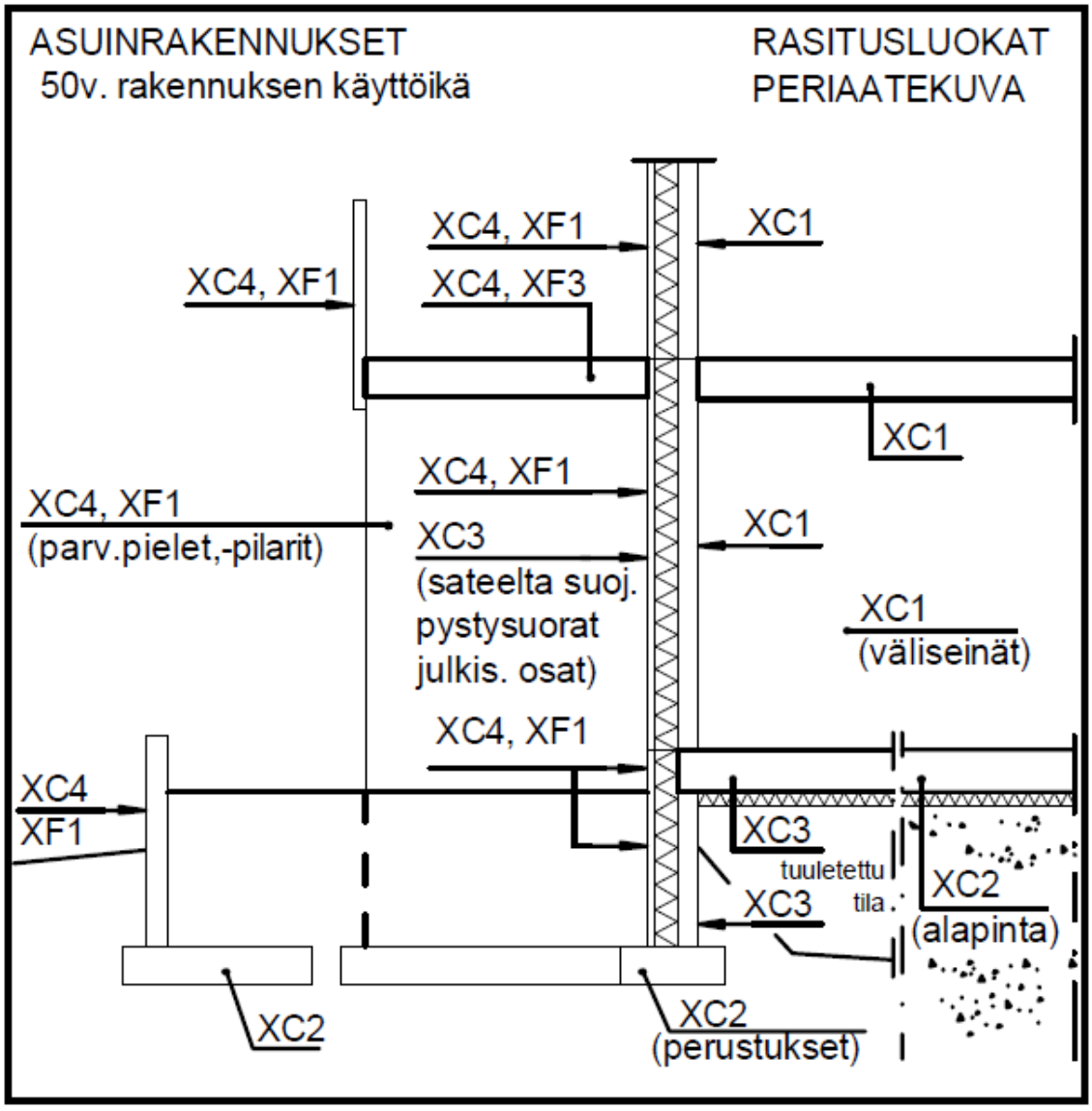
- sementin laatu ja määrä
- runkoaineen laatu ja rakeisuus
- massan kovettumisikä ja – lämpötila
- seos- ja lisäaineet
- veden laatu
- massan tiivistys [12, s. 20.]

3.1.2 Rasitusluokat

Rakennetta suunniteltaessa tulee suunnittelijan tietää rakennetta rasittavat ympäristöolosuhteet. Jotta rakenne kestäisi nämä olosuhteet, määritetään rakenteelle tiettyä rasitusta ja sen voimakkuutta vastaava rasitusluokka. Standardin SFS 7022 mukaan valittu rasitusluokka taas asettaa betonilaadulle tiettyjä rajaehtoja, jotka sen on täytettävä (Taulukko 1). Rakenne voi kuulua samanaikaisesti myös useampaan rasitusluokkaan. Rasitusluokat ja niitä vastaava rasitustekijä, joiden suhteen suunnittelija rasitusluokan valitsee, ovat seuraavanlaiset:

- X0 ei korroosion tai rasituksen vaaraa
- XC karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
- XD kloridien aiheuttama korroosio
- XS merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio
- XF jäätymis-/sulamisrasitus
- XA kemiallinen rasitus [13, s. 88–90.]

Rasitusluokkia määritettäessä suunnittelija voi käyttää apuna kuvan 10 mukaisia rasitusluokkayhdistelmiä, jotka täyttävät vaatimukset riippuen siitä, missä suunniteltu rakennusosa sijaitsee.



Kuva 10. Periaatekuva asuinrakennuksen rasitusluokista kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta [14].

Taulukko 1. Betonin koostumukselle ja kovettuneelle betonille standardin SFS 7022 asettamat vaatimukset, kun rakenteen suunnittelukäyttöikä on 50 ja 100 vuotta [15, s. 5, taulukot 3-FI ja 4-FI]. Taulukon ulkoasu: Ville Sikanen.

KOOSTUMUS / OMINAISUUDET	RASITUSLUOKAT SFS 7022 MUKAISESTI, 50 VUODEN KÄYTTÖIKÄ																	
	Ei rasitusta	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio						Jäädytys-sulatusrasitus				Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
						Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
MAX. V/S SUHDE		0,90	0,80	0,60	0,60	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60	0,50	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
VÄHIMMÄIS-LUJUUSLUOKKA	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45					C30/37	C35/45	C40/50
VÄHIMMÄIS-SEMENTTIMÄÄRÄ (kg/m3)		160	160	250	250	300	320	320	300	300	320	270	330	300	360	300	320	330
ILMAMÄÄRÄ												4,0	5,0	4,0	5,5			

KOOSTUMUS / OMINAISUUDET	RASITUSLUOKAT SFS 7022 MUKAISESTI, 100 VUODEN KÄYTTÖIKÄ																	
	Ei rasitusta	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio						Jäädytys-sulatusrasitus				Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
						Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
MAX. V/S SUHDE		0,90	0,80	0,60	0,60	0,45	0,40	0,40	0,50	0,50	0,40	0,55	Osoitetaan toiminnallisin menetelmin	0,50	Osoitetaan toiminnallisin menetelmin	0,50	0,45	0,40
VÄHIMMÄIS-LUJUUSLUOKKA	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45					C30/37	C35/45	C40/50
VÄHIMMÄIS-SEMENTTIMÄÄRÄ (kg/m3)		160	160	250	250	300	320	340	300	300	320	270		300		300	320	330
ILMAMÄÄRÄ												5,5		5,5				

Taulukosta 1 voidaan nähdä, että suunnittelijan rakenteelle valitsemat rasitusluokat vaikuttavat hyvin olennaisesti millaista betonilaatua rakenteessa tulee käyttää. Esimerkiksi pysäköintilaitoksissa, joissa tasoilta vaaditaan usein vedenpitävyyttä, kulutuskestävyyttä ja kestävyyttä erilaisia klorideja, kuten tiesuolausta tai jäänestoaineita vastaan, voi rasitusluokat olla hyvinkin vaativia. Näillä parametreilla betonilaatu on jo hyvin tarkkaan rajattu niin vesi/sementti-suhteen, lujuusluokan kuin sementtimäärän osalta. Täs-

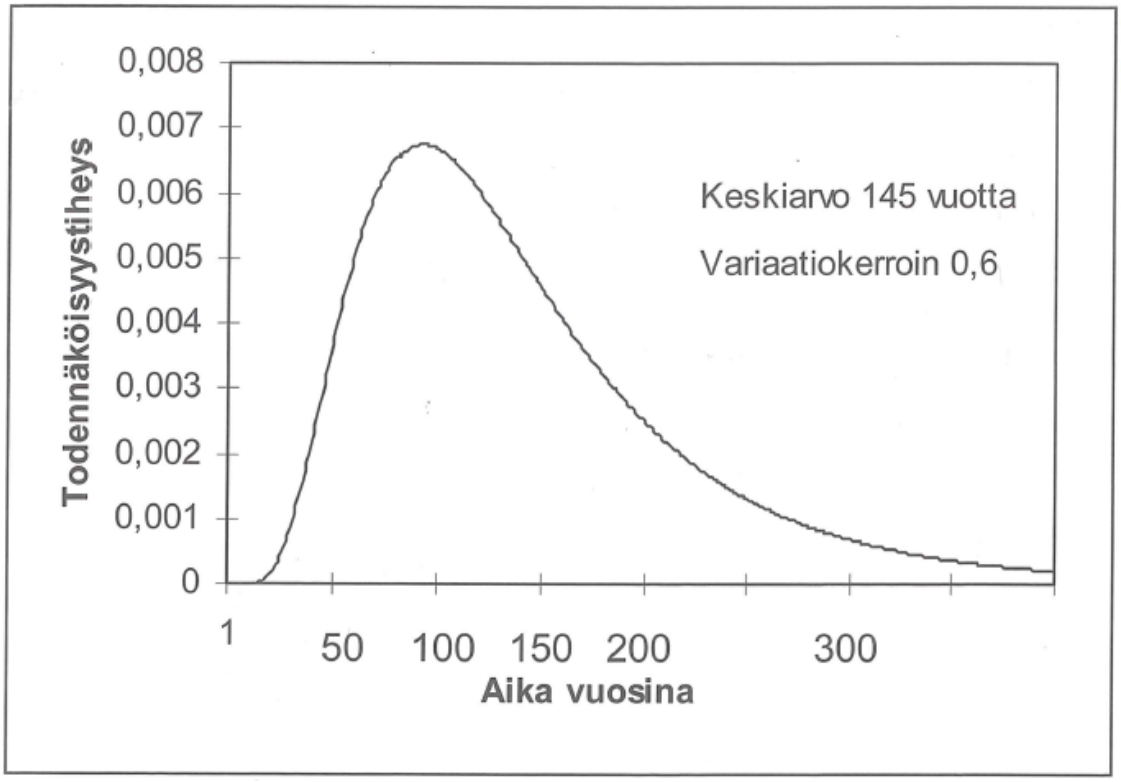
tä syystä onkin tärkeää, että suunnittelija tietää tarkkaan ympäröivät olosuhteet, joissa rakenne elinkaarensa aikana tulee olemaan. Näin vältytään niin sanotusti turhalta ylimitoitukselta, kun ei tarvitse tehdä varman päälle valintoja tietämättömyyden takia. Tällä tarkoitetaan siis sitä, että on turhaa asettaa liian vaativaa rasitusluokkaa, joka ei toteudu rakenteen elinaikana käytännössä koskaan.

3.1.3 Käyttöikä

Kun tilaaja on asettanut rakennuskohteelle halutun käyttöiän käyttötarkoituksen mukaan, suunnittelija valitsee tämän pohjalta koko rakennuksen suunnittelukäyttöiän. Koko rakennuksen suunnittelukäyttöiän mukaan suunnittelija määrittää vielä eri rakennusosille suunnittelukäyttöiän, joka useimmissa tapauksissa on sama kuin koko rakennuksenkin suunnittelukäyttöikä.

Suunnittelukäyttöiällä tarkoitetaan aikaväliä, jonka aikana betonirakenne täyttää sille asetetut vaatimukset, mikäli riittävistä huoltotoimenpiteistä huolehditaan. Suunnittelukäyttöikä oletetaan saavutettavan 95 %:n todennäköisyydellä eli 5 % suunnitelluista rakenteista voi vaurioitua ennen sitä. [16.] Tämä varmuus tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä pitkäikäisimmät rakenteet voivat kestää reilusti yli 300 vuotta keskiarvon ollessa 145 vuotta (Kuva 11) [13, s. 87].

Yleisimmät käytettävät suunnittelukäyttöiät ovat 50 vuotta ja 100 vuotta ja ne perustuvat pääosin taulukkomitoitukseen, joissa eri suunnitteluparametreille, kuten halkeilulle, betonin suojavahvuudelle ja betonin koostumukselle on tietyt vähimmäis- ja enimmäisarvot rasitusluokittain [13, s. 93; 16]. Taulukkomitoituksen etuna on ehdottomasti sen yksinkertaisuus ja nopeus, mutta se ei mahdollista rakenteen optimointia ympäristöolosuhteita vastaan. Se onkin käyttökelpoinen lähinnä tapauksissa, joissa betonin puristuslujuus on lähellä vaadittua minimitasoa. Muissa tapauksissa taulukkomitoitus johtaa usein tarpeettomaan ylimitoitukseen. Tällaisissa tapauksissa on suositeltavaa käyttää laskennallista menetelmää käyttöiän määrittelemiseksi. [17, s. 9.]



Kuva 11. 50 vuoden suunnittelukäyttöiän omaavien rakenteiden todennäköisyysjakauma [13, s. 87, kuva 3.1].

Yli 100 vuoden suunnittelukäyttöikää käytetään yleisimmin merkittävissä infrarakentamisen kohteissa, joissa suunnittelukäyttöikä voidaan määrittää jopa 200 vuoteen asti. Näin pitkä suunnittelukäyttöikä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että kaikkien rakennusosien tulisi täyttää kyseinen käyttöikä. Rakennusosia voidaan tarpeen mukaan korjata tai vaihtaa niiden saavutettua oma suunnittelukäyttöikänsä. Tällä tavoin voidaan jatkaa koko rakennuksen käyttöä ja mahdollisesti myös säästetään rakennusosien kustannuksissa, kun voidaan käyttää lievempiä vaatimuksia betonirakenteille. Lähtökohtaisesti pysyvät rakenteet, kuten perustukset ja kantava runko, joiden vaihtaminen tai korjaaminen on hankalaa, suunnitellaan käyttäen pidempää suunnittelukäyttöikää, joka on käytännössä yhtä pitkä kuin koko rakennuksen suunnittelukäyttöikä. [16.]

Kuten taulukosta 1 (ks. s. 15) voidaan havaita, niin myös käyttöiällä on olennaisesti vaikutusta vaadittuun betonilaatuun. Koska käyttöikämitoitus perustuu enimmäkseen rakenteen säilyvyyteen, niin olennaisimmat vaatimukset betonille kohdistuvat vesi/sementti-suhteeseen. Esimerkiksi 50 ja 100 vuoden suunnittelukäyttöiän välillä vesisementtisuhde pienenee siirryttäessä pidempään käyttöikään. Tämä aiheuttaa sen,

että kun vähimmäissementin määrä ei juuri kasva, niin veden määrää olisi vähennettävä ja näin ollen myös työstettävyys heikkenee.

3.1.4 Kulutuskestävyys

Yksi betonilattian tärkeimmistä ominaisuuksista on sen kulutuskestävyys mekaanista rasitusta vastaan [18, s. 101]. Pysäköintilaitoksissa tällaisia rasituksia ovat usein ajoneuvojen rengasrasitus betonia vasten. Talvisin kyseinen rasitus on voimakkaimmillaan, kun käytetään nastarenkaita. Avoimissa pysäköintilaitoksissa, missä siis ei ole suojaavaa julkisivua estämässä lumen kerääntymistä sisälle, voi rasittavana tekijänä olla myös aurauskalusto. Teollisuushalleissa taas raskas trukkiliikenne aiheuttaa suurtakin kulutusta, kun liikenne on vilkasta ja keskittyy usein tietyille alueille, kun logistiikalle on suunniteltu omat tietyt ajoväylät. Tämän tyyppisiä rasituksia vastaan betonilattioille määritetään käyttötilanteen ja liikennevirran mukaan vaadittu kulutuskestävyys (Taulukko 2)

Taulukko 2. Betonilattian kulutuskestävyysvaatimukset [18, s. 6, taulukko 1.3]. Taulukon ulkoasu: Ville Sikanen.

3 KK VANHAN LATTIAN KULUTUSKESTÄVYYSVAATIMUKSET BY45 MUKAAN				
Suurin sallittu kuluminen (mm)	LUOKKA			
	1	**2**	**3**	**4**
2000 kierroksella	1	3	6	-
800 kierroksella	-	-	-	8

Suunnittelija valitsee rakenteelle kulutuskestävyysluokan luokkien 1-4 väliltä, jossa 1 luokka on vaativin ja 4 heikoin. Heikoin luokka ei tässä tapauksessa kuitenkaan tarkoita huonoa rakennetta. Kulutuskestävyys valitaan kuitenkin käyttötarkoituksen mukaan, jolloin lattia ei välttämättä ole aina betonipinnalla vaan päällystettävissä muilla keinoin. Näin ollen betonilta ei tarvitse vaatia suurta kulutuskestävyyttä, jos sitä ei kuluta mi-

kään. Heikoinkaan luokka ei poissulje vaatimusta hyvän rakennustavan mukaisesta rakentamisesta.

Kulutuskestävyysluokkien vaatimukset perustuvat mittaustoimenpiteeseen, jossa testataan vähintään 3 kuukauden iässä olevan betonilattian kulumista, kuten taulukon 2 (ks. s. 18) esittämät arvot antavat ymmärtää. Kulutuskestävyyden mittaus tapahtuu erityisen mittalaitteen avulla (Kuva 12), jossa on 3 kappaletta halkaisijaltaan 110 mm ja leveydeltään 50 mm olevaa teräspyörää. Pyörät ovat kiinni kehässä, jonka halkaisija on 500 mm ja pyörät on suunnattu 5 astetta ulospäin kehään nähden. Kutakin pyörää kuormitetaan 3 kN voimalla ja betonista irronnut aines imetään pyörän perässä liikkuvan imurin suulakkeen avulla pois. Kehää pyöritetään 2000 kierrosta, jonka jälkeen mitataan kuluma. Kulutuskestävyysluokan 4 vaatimus on ilmoitettu 800 kierroksella. Tämä pyöräkoe on myös VTT:n käyttämä. [18, s. 7, 17.]

Kuva 12. Betonilattioiden kulutuskestävyyden mittauslaite ja siihen liittyvät instrumentit. Kuvan laitteessa ei ole imurikiinnitystä. [19.]

Seuraavassa on esitetty Face Consultants Ltd:n esittämästä videosta kuvakaappauksia, kuinka betonilattian kulutuskestävyyden mittaus tapahtuu. Mittaus aloitetaan merkitsemällä lattiaan mitattava kohde sapluunan avulla (Kuva 13).

Kuva 13. Mittaus alkaa mittauskohdan merkitsemisellä. Apuna voidaan käyttää kuvan mukaista sapluunaa. [19.]

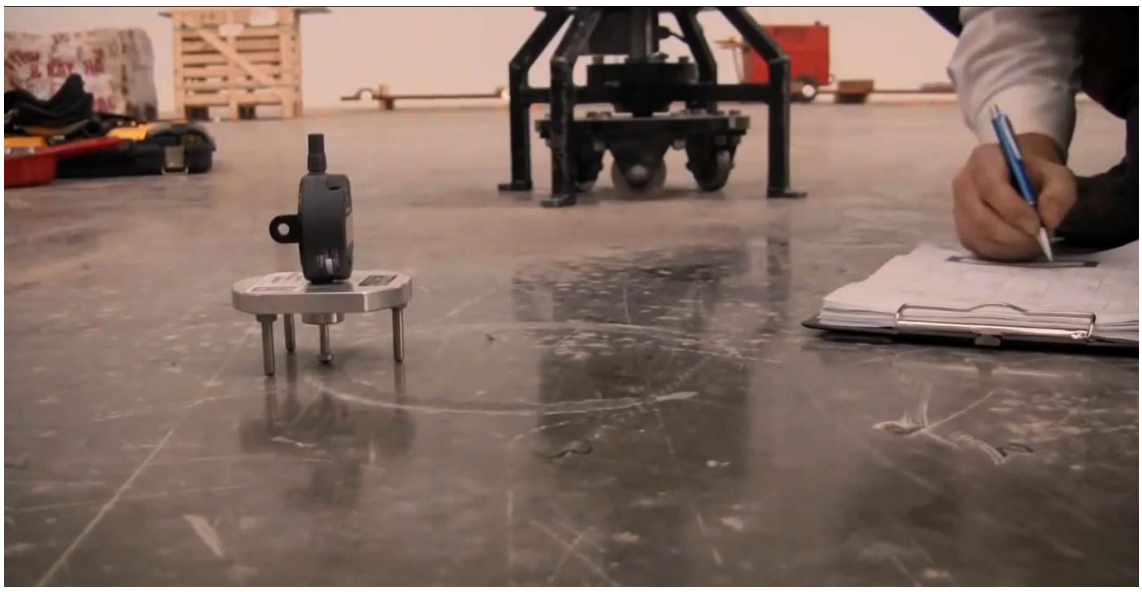
Merkinnän jälkeen mitataan lattiasta vertailu- eli lähtöarvot, jotta tulee huomioitua jo ennen kulutuskestävyyden mittausta tapahtunut mahdollinen kuluma (Kuva 14).

Kuva 14. Seuraavaksi mitataan vertailuarvot eli lähtötilanne ennen kulutusta [19].

Tämän jälkeen mittalaite kiinnitetään alustaansa riittävän hyvin, ettei se pääse nousemaan sitä mukaan, kun teräspyöriä painetaan betonia vasten ja näin ollen väärennä mittaustulosta. Käynnistetään laite ja annetaan pyöriä luokkavaatimuksen mukaiset kierrosmäärät (Kuva 15).

Kuva 15. Mittalaite kiinnitetään lattiaan ja annetaan pyöriä 2000 kierrosta [19].

Kun riittävä määrä kierroksia on tehty tai kulutusluokan sallitut arvot on jo ylitetty, niin koe lopetetaan, irrotetaan mittalaite ja mitataan kuluma (Kuva 16) [18, s. 7].



Kuva 16. Betonilattian kulutuksen mittaus kokeen jälkeen [19].

Kulutuskestävyysluokan lisäksi lattialle valitaan myös tasaisuusluokka sekä lujuusluokka, mikäli rakenteen vaatima mitoituslujuus ei tule määrääväksi. Tapauksessa, jossa rakenteen kestävyyden mukaan vaadittu mitoituslujuus on määräävä lattian kulutuskestävyyden vaatiman lujuuden suhteen, kulutuskestävyys saattaa täyttää haluttua tasoa vaativammankin luokan. [18, s. 114.] Betonilattioiden kanssa törmää aina suunnittelijan määrittämään merkintään, joka ilmaisee oleellisimmat laatuvaatimukset valmiin tuotteen osalta. Esimerkkinä tällaisesta merkinnästä on C-3-40, jossa siis ensimmäinen merkki on aina kirjain, joka kertoo tasaisuusluokkavaatimuksen. Luokkia on yhteensä neljä. Vaativin luokka on A_0 ja loput kolme ovat A-, B- ja C-luokka, C:n ollessa vaatimuksiltaan heikoin. Seuraavat kaksi merkintää ovat numeroita, joista ensimmäinen ilmaisee kulutuskestävyysluokan ja toinen betonin vaaditun puristuslujuuden. Mikäli rakenne luokitellaan erityisen vaativaksi tai se kuuluu 1-rakenneluokkaan, tulee lisämerkintä T eli koko merkintä olisi tällöin C-3-40-T. [20.]

Tasaisuusluokkavaatimuksia ei tässä teoriaosuudessa käsitellä edellä esitettyä kappaletta enempää, koska se monen muun laatuvaatimuksen lisäksi on epäolennainen tekijä tämän opinnäytetyön kannalta. Tasaisuusvaatimus on lähinnä lattian ulkonäön ja käytettävyyden suhteen oleellinen ei niinkään halkeilun, vaikka tasainen lattia yleisesti viittaakin huolelliseen työnjälkeen, joka on perusedellytys lähes halkeamattomaan betonirakenteeseen. Tasaisuusluokkavaatimuksiin palataan lyhyesti uudestaan tutkimuskohteiden esittelyssä.

Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty kulutuskestävyysluokkien määritelmät ja tyypillisimmät käyttökohteet sekä millä toimenpiteillä kyseinen luokka saavutetaan.

Taulukko 3. BY45:n mukainen kulutuskestävyysluokkien jaottelu [18, s. 114–115]. Taulukon ulkoasu: Ville Sikanen.

KULUTUSKESTÄVYYS-LUOKKA	TYYPILLINEN KOHDE (LATTIAT)	LUOKAN SAAVUTTAMINEN
1	Erittäin suuret, metalliset pyörä- tai telaketjukuormat sekä kovia iskuja	Erikoisbetonikerros 10-20 mm, runkoaineena kvartsi, metalli, piikarbidi tai elektrokorundi. Alusbetoni väh. C32/40
		C32/40 betoni + sirotepinnoitus
2	Suuret liikennekuormat, vilkas liikenne sekä pienet ja kovat trukin pyörät. Myös voimakkaan kulutusrasituksen alaiset ajoväylät ja ramppirakenteet.	30 mm kovabetonilattia C40/50
		Notkistettu betoni C25/30 + sirotepinnoitus
3	Teollisuuslattiat yleensä. Pysäköintitalot (tasot ja ajoväylät) ja autohallit sekä kuormaustasot. Yleensä kumipyörärasituksen alaiset lattiapinnat	Imubetonilattia, lähtömassa C25/30
		Notkistettu betoni C32/40
		Jäykkä betonimassa C32/40
4	Asunnot, toimistot ja muut päällystettävät lattiat. Kellaritilat asuinrakennuksissa.	Hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan C25/30 lattiat

Luokissa 1 ja 2 olevien lattiarakenteiden kulutuskestävyys suositellaan BY45:n mukaan testattavaksi. Muissa luokissa riittää käytännössä ohjeiden mukainen toteutus, mutta soveltuvuus on muistettava varmistaa aina tapauskohtaisesti, sillä lopputulos on kuitenkin monen eri osatekijän summa. Taulukossa 3 esitetyt toimenpiteet, joilla saavutetaan tietty kulutuskestävyysluokka, noudattavat kolmea luotettavaksi tiedettyä keinoa:

- Nostetaan betonin lujuusluokkaa.
- Käytetään sirotepinnoitusta tai lujuusluokan noston ja sirotepinnoituksen yhdistelmää.
- Valetaan runkobetonin päälle erillinen erikoisbetonikerros. [18, s.114.]

Sirotepinnoitusta käytettäessä tulee huomioida kyseisen menetelmän parantavan ainoastaan pintakerroksen kulutuskestävyyttä. Sirotemäärällä ja tasaisella levityksellä on näin ollen oleellinen vaikutus lopputulokseen. Erikoisbetonikerroksen eli tunnetummin plaanon käyttö on näistä kolmesta keinosta varmastikin kallein vaihtoehto, mutta sen käytön monipuolisuus ja tehokkuus saavuttaa haluttu lopputulos, voi vaativissa kohteissa olla jopa edullisin vaihtoehto. [18, s. 114.]

3.2 Työmaan vaatimukset

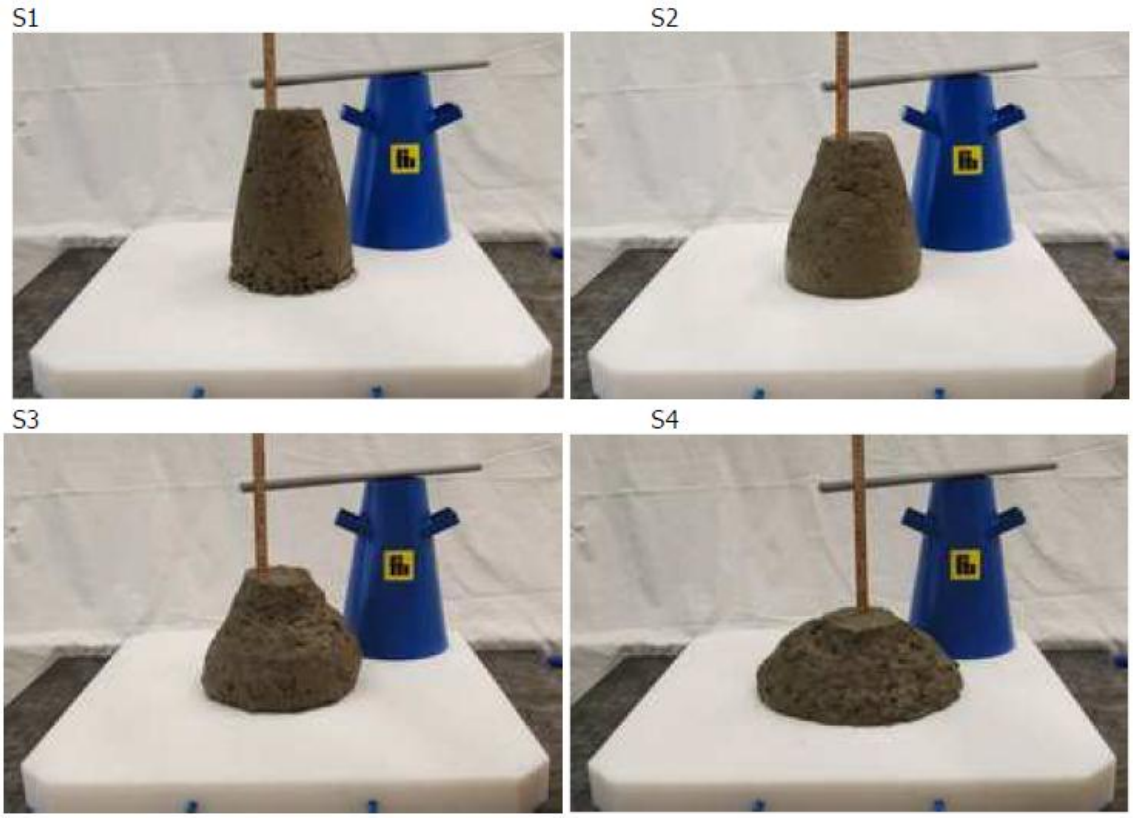
Kaikki yllä esitetyt kohdat ovat suunnittelijan määrittämiä ominaisuuksia ja laatuvaatimuksia betonille, jotka ohjaavat työmaan valintoja toteutusmenetelmiä mietittäessä. Työmaan näkökulmasta usein oleellisimpia vaatimuksia ovat työstettävyys ja betonin siirto, mutta ei sovi unohtaa myöskään lujuudenkehitystä ja sen seurantaa. Erityisesti lujuudenkehityksen seuranta on tärkeää kantavia betonirakenteita valmistettaessa, jotta varmistutaan rakenteen saavuttaneen vaaditun suunnittelulujuuden.

3.2.1 Työstettävyys

Työstettävyys on yksi tärkeimmistä tekijöistä, joita työmaalla mietitään. Yleisin asia mistä todennäköisesti keskustellaan, on betonin notkeus. Mitä notkeampaa betoni on sitä helpompaa ja nopeampaa sitä on levittää, mikä on usein valutyöryhmän tärkein tavoite. Suuri notkeus kuitenkin lisää halkeiluriskiä, joten aivan nesteytettyjä massoja tulisi välttää. Haluttu työstettävyys voidaan saada käyttämällä betonissa erilaisia seos- ja lisäaineita, kuten notkistimia. Tämä on suositeltavaa, sillä veden lisääminen nostaa myös sementin määrää, koska vaadittu vesi/sementti-suhde tulee säilyttää, jolloin betonin lujuusluokka kasvaa ja kutistuma lisääntyy. Yleisimmät käytetyt notkeusluokat ovat:

- jäykkä S1
- notkea S2
- vetelä S3
- nestemäinen S4 [21.]

Notkeusluokka S1 (Kuva 17) on jäykkä betonimassa, jota on vaikea tiivistää ja vaatii koneellisen hierron. Tämä on harvemmin käytössä sen vaikean työstettävyyden takia. S2 (Kuva 17) taas pysyy hyvin koossa ja leviää hitaasti sekä vaatii tiivistyäkseen tärytyksen. Soveltuu hyvin isoihin vähän raudoitettuihin muotteihin ja rakenteisiin, joilla ei ole ulkonäkövaatimuksia, kuten perustukset. Tosin käytettävälle kuljetus- ja pumppauskalustolle kyseinen notkeusluokka on usein liian jäykkää. S3 (Kuva 17) sen sijaan on valettavuudeltaan ja tiivistettävyydeltään hyvä notkeusluokka, joka soveltuu myös pieniin ja tiheästi raudoitettuihin muotteihin. Mikäli käytetään pumppukalustoa ja sen kanssa linjapumppausta, niin S3 on käytännössä jäykin notkeusluokka, jota voidaan käyttää. S4 (Kuva 17) on hyvin nestemäinen helposti leviävä ja tiivistyvä betonimassa, jota käytetään yleisimmin erilaisissa saumavaluissa tai muuten ahtaissa paikoissa, joissa tiivistyskaluston käyttäminen on hankalaa. [21.]



Kuva 17. Painumakartiomittauksia notkeusluokille S1-S4 [22].

3.2.2 Lujuudenkehitys

Betonirakenteille on määritetty vähimmäislujuudet muottien ja tuentojen purkamiseen. Vaatimukset esittävät prosentuaalista osuutta betonin lopullisesta suunnittelulujuudesta esimerkiksi muottien purkulujuus on normien mukaan 60 % nimellislujuudesta, mutta suunnittelija voi tarvittaessa asettaa korkeammatkin purkulujuudet, mikäli rakenne niin vaatii. Useimmissa tapauksissa nämä vaatimukset edistävät vain muottikiertoa ja työvaiheiden etenemistä, kun ei tarvitse odotella lopullisen suunnittelulujuuden saavuttamista, joka useimmissa tapauksissa on saavutettu 28 päivän päästä valutapahtumasta. Näin ollen työmaalla säästetään rakentamisajassa. Joissain tapauksissa kuitenkin nämä vaatimukset edellyttävät purkua juuri sillä hetkellä, kun vaadittu purkulujuus on saavutettu, koska liian pitkälle kehittynyt betonin lujuus ennen purkua voi olla haitallista rakenteen toiminnalle.

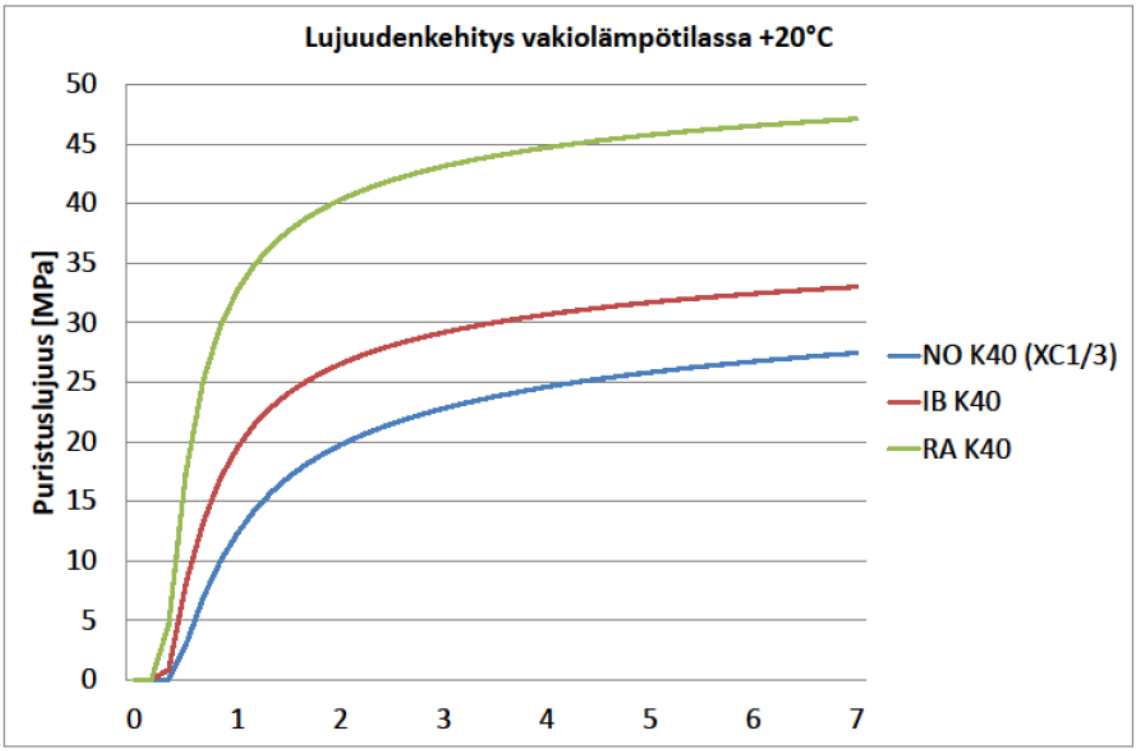
Liittorakenteella ja erityisesti liittolaatoilla taipumien asettuminen haluttuun tasoon saattaa vaatia purkua tietyllä lujuudella, kun rakenne ei ole vielä saavuttanut lopullista jäykkyyttä. Mikäli purkuajankohta venyy ja lujuus on kehittynyt reilusti yli purkulujuuden, niin esimerkiksi kuorilaattarakenne saattaa jäädä esijännityksestä ja mahdollisesta tuennan esikorotuksesta johtuen ylöspäin kaarevaksi. Tämähän on lähinnä esteettinen haitta, mutta mahdollisuus on myös tapaukseen, jossa betonipinta ei saa riittävää puristusta ja näin ollen altistuu halkeilulle. Tätä käsitellään tarkemmin tutkimuskohteiden osuudessa.

Lujuudenkehitys ja sen seuranta on edellä mainituista syistä hyvin olennaista. Betonin lujuudenkehitykseen pystytään työmaalla vaikuttamaan muun muassa:

- betonin koostumuksella
- lämpötilan hallinnalla
- kosteusolosuhteiden hallinnalla (jälkihoito) [2.]

Betonin koostumuksella on olennaisin vaikutus lujuudenkehitykseen ja suunnittelemalla koostumus tapauskohtaisesta oikeaksi saadaan lopputulos vastaamaan vaatimuksia. Muut kohdat ovat lähinnä olosuhteiden hallintaa, jolla varmistetaan betonin käyttäytyminen suunnitellulla tavalla eli käytännössä valitaan sementtilaatu, seosaineet, vesi/sementti-suhde, lisäaineet ja runkoaines, jotta saadaan haluttu lujuudenkehitys ja sen jälkeen varmistetaan optimaaliset olosuhteet, jossa suunniteltu lujuudenkehitys toteutuu.

Sementti on ratkaisevin tekijä halutun lujuudenkehityksen saavuttamiseksi [2]. Sen valinnalla voidaan vaikuttaa, halutaanko esimerkiksi nopea varhaislujuuden kehitys, joka on oleellista talvibetonoinnissa, kun halutaan rakenteen saavuttavan jäätymislujuus 5 MPa mahdollisimman nopeasti sekä vähentää ulkoisen lämmityksen tarvetta. Voidaan myös valita täysin päinvastainen eli hidas lujuudenkehitys, jollaista taas voidaan soveltaa massiivisissa valuissa, joissa hydrataatioreaktiosta aiheutuvaa lämpötilan kasvua halutaan hillitä. Hydrataatioreaktio on siis veden ja sementin kemiallinen kovettumisreaktio, joka tuottaa lämpöä tapahtuman aikana. Sementtilaatuja on monenlaisia hyvin erilaisiin tarpeisiin, joten kohteen valuja suunniteltaessa on betonin koostumukseen syytä panostaa (Kuva 18).



Kuva 18. Normaalisti kovettuvan ja seosaineellisen betonin (NO), normaalisti kovettuvan betonin (IB) ja nopeasti kovettuvan betonin lujuudenkehitys vakiolämpötilassa lujuusluokan ollessa C32/40 (K40). Kuva: Rudus Oy.

Olosuhteiden hallinta on myös tärkeää. Hyvällä betonimassalla on erittäin hankalaa, ellei jopa mahdotonta saavuttaa hyvää lopputulosta, mikäli valuolosuhteisiin ei kiinnitetä huomiota. Sen sijaan hyvällä olosuhteiden hallinnalla voidaan pelastaa kehnollakin betonimassalla tehty valu. Valun aikana vallitseva ilman lämpötila määrittää aika usein minkälaista betonia voidaan käyttää. Esimerkiksi talvibetonointi tuo aivan oman lisänsä betonointitöihin ja vaatii osaltaan huomattavia toimenpiteitä valunaikana ja sen jälkeen, jotta olosuhteet vielä mahdollistaisivat betonin lujuudenkehityksen. Oleellista talvibetonoinnissa on huolehtia oikean betonilaadun valinnan lisäksi riittävästä lämmityksestä ja suojauksesta. Sekä lämmitykseen, että suojaukseen on olemassa monenlaisia mahdollisuuksia, joten jokaiseen kohteeseen löytyy varmasti hyvin soveltuva menetelmä ja näin saadaan haastavissakin olosuhteissa aikaiseksi laadukasta työnjälkeä. Betonointityön suojaus käsittää myös suojauksen tuulta ja liiallista auringonpaistetta vastaan eikä pidä unohtaa myöskään sadetta. Tuulen vaikutus lujuudenkehitykseen voi olla hyvinkin merkittävä, kun kova tuuli pudottaa betonivalun pintalämpötilaa nopeasti aiheuttaen lämpötilaeroja valun pinnan ja ytimen välille. Suuret lämpötilaerot taas johtavat rakenteen halkeiluun ja rakenteeseen syntyy lujuuskatoa. Auringon vaikutuksesta rakenne saattaa kuivua liian nopeasti, jolloin betoniin syntyy kutistumasta aiheutuvia jännityksiä liian varhaisessa vaiheessa ja tästä johtuen halkeaa.

3.2.3 Betonin siirto

Tässä kohtaa käsitellään ainoastaan betonin siirtoa työmaalla eli eri menetelmät betonin valamiseen. Betonin siirto on yksi olennainen tekijä halkeilun ja myös betonimassan valinnan suhteen. Tästä syystä käsittelen hieman eri menetelmiä betonin siirtämiseen ja menetelmien rajoitteita massan valinnan suhteen. Menetelmiä ovat valu nostoastialla, pumpulla, hihnalla tai valukourulla (Kuva 19). Jokaisella menetelmällä on omat rajoitteensa, jotka tulee työmaalla huomioida, kun suunnitellaan valua.

Kuva 19. 1: pumppukalusto, 2: valukouru, 3: nostoastia ja 4: valuhihna. Kuvat: Ville Sikanen (1, 2), Ilmari Lahikainen, NCC Rakennus Oy (3) ja [23] (4).

Pumppukalustolla rajoittavina tekijöinä massan suhteen on pumppauslinjan koko sekä tietysti kaluston ulottumat. Kaluston ulottumaa voidaan lisätä linjapumppauksella. Tässä on kuitenkin omat vaatimuksensa ja riskinsä. Liian jäykkä massa tai iso kiviaines ei mene linjaston läpi, aiheuttaen tukoksia ja pahimmillaan työturvallisuusriskejä, kun letku saattaa paineen kasvaessa revetä. Pumppauskalusto vaatii käytännössä S3 notkeusluokan betonia ja suurimmillaan 32 mm maksimiraekokoa. Mikäli ei tarvitse vetää ollenkaan linjaa eli betoni päästään laskemaan muottiin suoraan puomin päästä, voidaan tarvittaessa käyttää jopa S2 notkeusluokkaa. Tällä saattaa olla isokin merkitys halkeilun kannalta kun haihtuvan veden määrä on pieni, jolloin kutistumat pienenevät ja sitä kautta kutistumahalkeilu vähenee.

Halkeilun kannalta paras valutapa olisi nostoastiaa käyttäen. Siinä betonin siirto ei aiheuta varsinaisia vaatimuksia betonimassan notkeudelle ja raekoolle, koska tukosriskiä suuren purkuaukon ansiosta ei ole. Näin ollen voitaisiin käyttää jäykkääkin (S1) massaa sekä isoa maksimiraekokoa, mutta tällainen massa on usein vaikeaa levittää. Halkeilun kannalta sillä olisi kuitenkin isokin merkitys. Ratkaisevaksi tekijäksi usein kehkeytyykin lähinnä betonityönjohtajan neuvottelutaidot eli saako myytyä valutyöryhmälle idean lähes halkeamattomasta lopputuloksesta toteutuksen miellyttävyyden kustannuksella ja näin ollen kaikilla osapuolilla olisi yhteinen intressi.

Periaatteessa ainoina haittapuolina nostoastian käytölle on sen hitaus, joka nyt on hieman suhteellinen käsitys ja paikattavissa valutyöryhmää kasvattamalla. Nostoastia vaatii tosin myös nostokalustoa, joka voi olla työmaalla ratkaiseva tekijä päätöksessä siirtyä pumppukaluston käyttöön. Valukohteen täytyisi olla melko iso, jotta ainoastaan valua varten työmaa hankkisi nostokalustoa ja se olisi vielä kannattavaa. Parastahan olisi käyttää nostokalustoa samalla muihin työvaiheisiin. Näin saataisiin jaettua kustannuksia pidemmälle ajanjaksolle ja useamman työvaiheen kesken.

Valukourua ja hihnaa käytettäessä tulee kuljetusauton olla mahdollista päästä hyvin lähelle valettavaa kohdetta. Tasoeroa ei myöskään voi olla kovin paljon. Etenkään kourua käytettäessä, koska kourulla betonia vain valutetaan painovoimaisesti alaspäin. Hihnalla sen sijaan voidaan vielä ylöspäin siirtää massaa. Näiden kahden menetelmän rajoitteena on kuitenkin niiden hyvin rajallinen ulottuma.

3.3 Laadunvarmistus

Betonirakenteiden laadunvarmistukseen on monia tapoja. Koska betonin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä on tietoa nykyisin hyvin paljon, tulee ongelmaksi lähinnä sen runsaus. Keskeisin laadunvarmistustoimenpide onkin hyvä ennakkosuunnittelu, jossa tulee mietittyä etukäteen kyseiselle kohteelle ominaiset asiat. Hyvän ennakkosuunnittelun merkitys korostuu entisestään, kun betonia käytetään ja tullaan jatkossakin yhä entistä enemmän käyttämään haastavimmissa kohteissa [10, s. 69].

Laadunvarmistus kokonaisuudessaan käsittää betonin valmistuksen, betonoinnin sekä sen jälkeisten toimenpiteiden dokumentoinnin. Tämän työn osalta keskityn vain beto-

noinnin laadunvarmistukseen eli toimenpiteet, joilla työmaa varmistaa hyvän tavan mukaisen rakentamisen.

3.3.1 Betonityösuunnitelma

Yksi ennakkosuunnittelun keskeisimpiä asioita on tehdä betonityösuunnitelma. Muissa, kuin 1-luokan rakenteissa, betoninormit eivät vaadi betonointipöytäkirjan lisäksi varsinaista betonityösuunnitelmaa [13, s. 141]. Betonityösuunnitelman on kuitenkin yksi betonityönjohtajan tärkeimmistä apuvälineistä laadunvarmistamiseksi, joten sellainen on mielestäni erittäin tärkeä tehdä, oli kyseessä minkälainen rakenne tahansa. Suunnitelman sisältö on kuitenkin syytä muokata kohdekohtaiseksi ja miettiä sen laajuutta sekä yksityiskohtaisuutta rakenteen vaativuuden mukaan.

Betonityösuunnitelma on kirjallinen dokumentti, jossa betonirakenteen valmistaja esittää tarvittavat laadunvarmistustoimenpiteet. 1-luokan rakenteiden osalta betonityösuunnitelmassa tulee esittää kirjallisesti vähintään seuraavanlaiset asiat:

- muotit ja tukirakenteet
- raudoitus
- betonoitavat alueet (valulohkot)
- betonin ominaisuudet
- betonointimenetelmä, siirrot, tiivistäminen, betonointinopeus ja työsaumat
- aikataulu, menekki, työnjohto, työkunnan vahvuus, työvuorot ja kokeiden vaatimat toimenpiteet
- riskit ja varautuminen häiriöihin
- jälkihoito, lujuuden ja muiden ominaisuuksien seuranta, muottien ja tukirakenteiden purkaminen
- talvityöhön, lämpökäsittelyyn ja erityismenetelmiin liittyvät toimenpiteet [13, s. 123.]

Se, mikä on mielenkiintoista on, että betoninormi ei ota kantaa työturvallisuuteen betonityösuunnitelman osalta juuri laisinkaan. Suunnitelmassa työturvallisuus tulisi olla omana kohtanaan ja käsiteltynä yksityiskohtaisesti toimenpiteet, joilla varmistetaan turvallinen työnsuoritus. NCC:n kohteissa yhtenä tärkeimmistä vaatimuksista on työtur-

vallisuuden huomioiminen. Työturvallisuuteen onkin panostettu huomattavan paljon, mikä on erittäin iso asia.

3.3.2 Betonointipöytäkirjat

BY50 betoninormien mukaan 1- ja 2-luokan betonirakenteiden valmistuksesta tulee dokumentoida vähintään betonointipöytäkirja, josta ilmenee keskeisimmät valmistusmenetelmät ja käytettävät materiaalit, kuten betonoinnin ajankohta, olosuhteet sen aikana ja jälkihoito. Betonointipöytäkirja tehdään jokaisesta valuosasta erikseen. Liitteenä 1 on esimerkki NCC:n käyttämästä betonointipöytäkirjamallista.

Koska betonointipöytäkirja tehdään betonoinnin jälkeen, jolloin siitä ilmenee toimenpiteet, joita on tehty betonoinnin aikana ja sen jälkeen, se toimii hyvänä dokumenttina vikatilanteissa, kuten tämän opinnäytetyön aiheena oleva kannen halkeilun syyn selvittämisessä. Betonointipöytäkirjaan liitetään käytettävän betonin kuormakirjat, josta selviää valmisbetonin resepti. Tällä tavoin esimerkiksi korjauskohteissa, mikäli betonointipöytäkirjat ovat asianmukaisesti dokumentoitu, voidaan selvittää todellinen käytetty betoni ja missä olosuhteissa se on ollut ensimmäisten kriittisten vuorokausien aikana, joka etenkin talviaikaan valetuissa rakenteissa on tärkeää tietää.

3.3.3 Lujuudenkehityksen seuranta

Lujuudenkehityksen seurantaan on olemassa erilaisia menetelmiä ja laitteistoja. Yleisimmät seurantatavat ovat:

- lämpötilamittaukset
- ainetta rikkomattomat mittaukset
- olosuhdekoekappaleet
- rakennekoekappaleet [2.]

Tietokoneohjelmilla voidaan laskennallisesti määrittää betonin lujuudenkehitys, kun tiedetään rakenteen lämpötila eri aikoina eli tehdään lämpötilaseurantaa (Kuva 20). Lämpötilaseuranta saadaan helposti järjestettyä erilaisilla mittareilla, joissa mittapää jätetään valun sisään monesta eri kohdasta sekä eri syvyyksille ja otetaan lämpötilamittauksia riittävän tiheällä aikavälillä. Menetelmän helppouden ja tarkkuuden takia se

onkin varmasti yleisin käytössä oleva menetelmä. Kuitenkin tarkkuus riippuu hyvin paljon mittauspisteiden määrästä. Isoissa valuissa betonin lämpötilankehitys voi poiketa paikoitellen toisistaan ja näin ollen aiheuttaa epätarkkuutta mittaukseen. Tarkoituksena on kuitenkin arvioida koko rakenteen saavuttamaa lujuutta, jolloin vain muutamasta kohdin ellei pahimmillaan jopa yhdestä kohtaa mitatut lämpötilat voivat aiheuttaa virheellisen arvion. Tällaisia mittaustuloksia tulisi aina arvioida kriittisesti ja koko rakenteen olosuhteet ja jälkihoito huomioiden.

Kuva 20. Väestönsuojaholvin korotusvalun lämpötilaseurantaa lopputalvesta. Valu on asianmukaisesti suojattu pakkasmatolla, jotta betonin hydrataatioreaktion tuottama lämpö ei karkaisi ulkoilmaan ja säästytään erilliseltä ulkoiselta lämmitykseltä kevyillä pakkasilla. Kuva ja kuvankäsittely: Jaakko Ylimäki, NCC Rakennus Oy.

Ainetta rikkomattomat mittaukset voidaan helposti toteuttaa kimmovasara-menetelmällä, jossa lujuudenkehityksen määrittäminen tapahtuu betonin pinnan kovuuden perusteella. Kimmovasara-menetelmä on helppo ja nopea tapa mitata suuntaa antavia tuloksia betonin lujuudesta, mutta vaatii mittaajalta runsaasti erityistietämystä mittaustulosten käsittelystä [2].

Olosuhdekappaleilla taas voidaan tietyllä tapaa simuloida valettua rakennetta vastaava tilanne tekemällä riittävä määrä koelieriöitä ja/tai -kuutioita, jotka valetaan samasta massasta ja altistetaan mahdollisimman samoille olosuhteille kuin varsinainen rakenne [2]. Tämän tekee usein valmisbetonitoimittaja tehtaalla. Lujuudenkehitystä seurataan koestamalla kappaleet laboratorio-olosuhteissa eri aikoina ja näin saadaan määritettyä

betonin lujuus tietyssä tarkasteluiässä. Mahdolliset lujuuspoikkeamat suunniteltuihin arvoihin tehdas ilmoittaa työmaalle. Erityisesti, jos alitetaan betonin nimellislujuus. Tämä on hyvä keino todeta muottien purkulujuus, jos muunlaista mittausta ei työmaalla tehdä. On kuitenkin muistettava ettei tulokset anna tarkkaa kuvaa rakenteen lujuudesta sillä tiivistys ja jälkihoito poikkeavat työmaan toteutuksesta [2]. Tästä syystä hyvä tapa olisi, että olosuhdekappaleiden rinnalla työmaa seuraisi betonin lämpötilan kehitystä.

Rakennekoekappale on lähes vastaava menetelmä, mutta siinä otetaan varsinaisesta rakenteesta koekappaleita, jotka sitten koestetaan. Tällä menetelmällä saadaan luotettavin tulos rakenteen todellisesta lujuudesta kullakin hetkellä. Käyttöä rajoittaa se, että menetelmä rikkoo valmista rakennetta, jolloin esimerkiksi vesitiiviissä rakenteissa menetelmä on hyvinkin haitallinen. Lisäksi menetelmä on työläs suurten alueiden kartoittamiseen. [2.] Edellä mainituista syistä rakennekoekappale on menetelmänä harvinainen uudiskohteissa, mutta korjausrakentamisen puolella varmasti erittäin käyttökelpoinen ja suosittu menetelmä, kun halutaan selvittää rakenteen sen hetkinen todellinen lujuus.

3.3.4 Tarkistuslistat

Tarkistuslistat ovat hyvä menetelmä toistuvuuden kannalta. Periaatteessa tarkistuslistan avulla kokemattomammankin työnjohtajan tulisi päästä perille vaadittavista laadunvarmistustoimenpiteistä kunkin rakennusvaiheen osalta. Tämä mahdollistaa isommankin yrityksen tuottamaan laatua, joka ei ole täysin riippuvainen tekijästä. Toki käsite laatu sisältää pelkän työsuorituksen lisäksi monta muutakin tekijää, mutta tarkistuslistalla voidaan ainakin varmistaa työmenetelmien samanlaisuus yrityksen sisällä.

Tarkistuslista voi olla tietynlainen rasti ruutuun -lista eli suoritettuaan tietyn listalla olevan vaiheen, työnjohtaja kuittaa sen tehdyksi. Tämä omalta osaltaan toimii myös työnjohtajan muistilistana ja on yksi johdon tarjoama tuki työmaahenkilöstölle. Tarkistuslistassa voidaan esittää työvaiheiden järjestys sekä toimenpiteet ennen ja jälkeen varsinaista työnsuoritusta, kuten valmistelevat työt ja tarkastukset sekä tarvittavien laatudokumenttien arkistointi. Keskeisimpänä on kuitenkin esittää oleellisimmat laatuvaatimukset kulloisellekin rakenteelle, jotta ylimääräistä aikaa ei menisi eri normien ja ohjeistuksien selailuun. Tämä on lähinnä vain uusien työnjohtajien ”ongelma”, mutta myös kokeneemmat työnjohtajat voivat päivittää näiden avulla tietämystään. Tämä asettaa tietenkin omat haasteensa siihen, että listat tulisi olla aina ajan tasalla viimeisimpien oh-

jeistuksien ja normien mukaisesti. Kohteetkaan eivät aina ole samanlaisia, joten tarkastuslistojen kohdekohtaisuus tulee varmistaa aina työmaalla erikseen ja muokattava tarpeen mukaan.

3.4 Halkeilu

Betonirakenteille on ominaista hyvin alhainen vetolujuus ja pieni murtovenymä. Halkeilua pääsee syntymään, kun vetorasitus ylittää betonille ominaisen vetolujuuden tai murtovenymän arvon. Kyseisistä ominaisuuksista johtuen halkeilu onkin betonille hyvin tyypillistä. [2.]

Vaikkakin halkeilu on betonille tyypillistä, ei sitä rakenteen toiminnan ja säilyvyyden takia sovi usein sallia. Joissain tapauksissa myös esteettisyys asettaa vaatimuksia halkeilulle. Haljennutta betonirakennetta on harvemmin ilo katsoa eikä kantavissa rakenteissa halkeilu näytä maallikon silmään kovin luottamusta herättävältä, vaikka kestäisikin kuormitukset normaaliin tapaan. Koska halkeilematon betonirakenne on lähes mahdoton toteuttaa, pyritään huolellisella suunnittelulla ja valmistuksella rajoittamaan ja vähentämään halkeilua. Joissain tapauksissa voidaan myös pyrkiä kohdistamaan halkeilut vain tietylle osaan rakennetta, jossa se ei ole niin haitallista kuin muualla. Betoni halkeaa usein sieltä missä se on helpointa eli heikoimmasta kohtaa. Tämä mahdollistaa sen, että suunnittelemalla tietyt kohdat rakenteesta tarkoituksellisesti heikommaksi, kuin muu rakenne, saadaan kohdistettua halkeilua tietylle alueelle. Esimerkkinä tällaisesta toimenpiteestä mitä hyvin yleisesti käytetään laatoissa, on jakaa laatta tietyn kokoisiin ruutuihin sahasaumoilla. Siinä timanttisahalla sahataan valun jälkeisenä päivänä noin 30 mm syvä ura, johon kyseisen ruudun kutistumahalkeilu kohdistuu (Kuva 18). Tämä on tietenkin vain yksi tapa, jolla voidaan laattojen halkeilua niin sanotusti hallita.

Kuva 21. Sahasauman kohdalta haljennut lattia [24].

Halkeilun vaikutukset betonirakenteeseen ovat moninaiset. Yleisesti voidaan ajatella halkeaman alentavan aina betonirakenteen laatua, koska halkeilu vaikuttaa rakenteen jäykkyyteen, tiiviyteen, säilyvyyteen ja ulkonäköön. Se kuinka merkittäviä vaikutukset ovat, riippuu halkeamien määrästä, sijainnista, ympäristöolosuhteista ja rakenteen käyttötarkoituksesta. Muutama pieni halkeama rakenteessa ei yleensä vaikuta koko rakenteen toimintaan juuri millään tavalla. Tämä ei kuitenkaan poista sitä tosiasiaa, etteivätkö pienetkin halkeamat olisi kiusallisia rakentajan kannalta. Halkeilu ei anna kovin hyvää kuvaa rakentajan ammattitaidosta ja työn suorituksesta. Haitallisimpia ovat usein yli 0,4 mm leveät halkeamat sekä runsas halkeilu. [2.]

Ajallisesti betonin halkeilua voi tapahtua rakentamisen aikana tai myöhemmin käytön aikana. Käytännössä suurin osa halkeilusta tapahtuu rakentamisen aikana, sillä valun jälkeinen vuorokausi on usein kriittisin halkeilun kannalta. Myös ylikuormitusta rakentamisvaiheessa voi tapahtua, kun kuormitus aloitetaan ennen kuin betoni on saavuttanut suunnittelulujuutensa. Näin ollen betoniin syntyy ennenaikaisia rasituksia, joita se ei kestä ja halkeaa. Käytön aikana tapahtuva halkeilu johtuu pääasiassa rakenteen ylikuormituksesta tai huonosta betonilaadusta ympäristöolosuhteita vastaan. Tämä on taas nykytietämyksellä betonin käyttäytymisestä ja ominaisuuksista hyvin epätodennäköistä, mutta ei kuitenkaan mahdotonta. [2.]

Halkeamien syntyminen edellyttää betonirakenteen muodonmuutosta ja sen estämistä. Mikäli rakenteen muodonmuutosta ei ole millään tavalla estetty, halkeamia ei tällöin pääse syntymään. Muodonmuutoksen estäminen aiheuttaa betonirakenteelle vetojännitystä, joka voi ylittää betonin vetokestävyyden, jolloin rakenne halkeaa. Syitä betonirakenteen muodonmuutokseen ovat mm. kuormitustilanteet, lämpötilanmuutokset, viruminen ja kuivumisesta johtuva kutistuminen. Muodonmuutoksen estäviä tekijöitä ovat mm. raudoitus, erilaiset kiinnitykset ja liittyvät rakenteet. [2.]

3.4.1 Kutistuma

Kutistuma on yleisin halkeilua aiheuttava tekijä betonirakenteissa ja sitä esiintyy ajallisesti hyvin varhaisessa vaiheessa, johtuen betonin kuivumisesta [2]. Kutistuminen voidaan erottaa vielä kolmeen eri luokkaan: kuivumisesta aiheutuva kutistuma, autogeeninen kutistuma ja plastinen kutistuma.

Hygroskooppisena materiaalina betoni pyrkii tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Tuoreen betonimassan suhteellinen kosteus on huomattavasti korkeampi kuin normaali ilmankosteus, jolloin betoni pyrkii luovuttamaan kosteutta ympäristöönsä. Näin ollen tuore betonimassa kuivuu kovettuessaan. Kuivuminen aiheuttaa jännityksiä betonimassan sisältämään veteen, jolloin huokosissa oleva vesi pyrkii poistumaan [10, s. 90]. Koska huokosten sisältämä vesi poistuu, betonimassan tilavuus pienenee ja rakenne kutistuu. Tätä kutsutaan kuivumiskutistumiseksi. Kuivumisesta johtuva kutistuma kasvaa vesi- ja sementtimäärän kasvaessa eli mitä enemmän vettä, sitä suurempi riski on, että betonirakenne halkeaa. Sama koskee myös sementtimäärää.

Autogeeninen eli niin sanottu sisäinen kuivuminen tarkoittaa betonin hydrataatioreaktiossa sitoutuvan veden ja sementin seoksen tilavuuden pienenemistä [2]. Autogeenistä kutistumista tapahtuu silloinkin, kun betonirakenne ei ympäristöolosuhteista johtuen kykenisikään kuivumaan esimerkiksi jos ilman suhteellinen kosteus olisi niin korkea, että betonista ei haihtuisi ympäristöön lainkaan kosteutta. Tällainen tilanne on tosin hyvin epätodennäköistä, että betoni ei lainkaan kuivuisi niin sanotusti ulkoisesti. Kesäisin, kun ilma voi olla hyvin kosteaa betonin kuivuminen saattaa hidastua huomattavasti. Lujuudenkehitykseen tällä ei ole vaikutusta, sillä hydrataatioreaktio ei ole riippuvainen ilmankosteudesta mikäli betonimassassa on riittävä vesimäärä sen sisältämän sementin sitoutumiseen. Autogeenisen kutistuman vaikutus halkeiluun on usein vähäinen. Korkealujuusbetoneilla, joissa sementin määrä on korkea sekä alhaisilla vesi/sementti-

suhteilla (alle 0,40–0,45) tämän tyyppinen kutistuma on kuitenkin huomionarvoista. Koska autogeeninen kutistuma on riippuvainen betonin koostumuksesta, työmaa ei tähän pysty juurikaan vaikuttamaan. [2.]

Plastisella kutistumisella tarkoitetaan betonimassan pinnasta haihtuvan veden aiheuttamaa tilavuuden muutosta. Haihtuminen tapahtuu ennen betonin sitoutumisen alkamista, jolloin pinnan hiertämisellä on merkitystä plastisen kutistuman aiheuttamaan halkeiluun. [10, s. 73.] Tästä syystä pinnan hiertämisen aloittamiseen ei pysty antamaan mitään tarkkaa ajankohtaa. Pintaan nousevan veden määrä ja kuinka kauan valutapahtumasta vettä erottuu massan pintaan, on aina kohdekohtaista. Näin ollen ohjeistuksena on yleensä aloittaa hiertäminen, kun pintaan ei enää nouse vettä. Tässä vaiheessa suurin plastinen kutistuma on jo tapahtunut tuoreelle massalle, joka kykenee muodonmuutoksiin halkeilematta. Mikäli betonin pinta on halkeillut ennen hiertämistä, saadaan hiertämällä suljettua halkeamat. Plastista kutistumaa tapahtuu kuitenkin edelleen hiertämisen jälkeen, mutta sen ajankohtaan ja suuruuteen voidaan hyvällä jälkihoidolla vaikuttaa oleellisesti eli työmaa on tässä asiassa suuressa roolissa. Hyvällä jälkihoidolla voidaan varmistaa, että betoni on kovettunut riittävästi kestääkseen plastisen kutistuman aiheuttamat vetojännitykset. Plastiseen kutistumaan vaikuttavat oleellisesti ympäristöolosuhteet, betonin koostumus ja työn suoritus [2].

Betoni kutistuu käytännössä aina, joten huomioimalla kutistuminen jo suunnitteluvaiheessa voidaan tästä johtuvaa halkeilua tarvittaessa ohjata sellaisin paikkoihin, joissa se ei ole haitallista tai antaa kutistuman tapahtua ilman estettä, jolloin betonin vetokestävyyden ylittäviä jännityksiä ei pääsisi syntymään. Tällaisiin toimenpiteisiin on kehitelty mm. erilaisia liikuntasaumaratkaisuja betonirakenteille. Kun suunnittelija on jo huomioinut nämä tekijät, jää työmaan vastuulle vain entisestään vähentää halkeiluriskiä hyvällä toteutuksella ja tätä kautta lopputuloskin on usein laadukas.

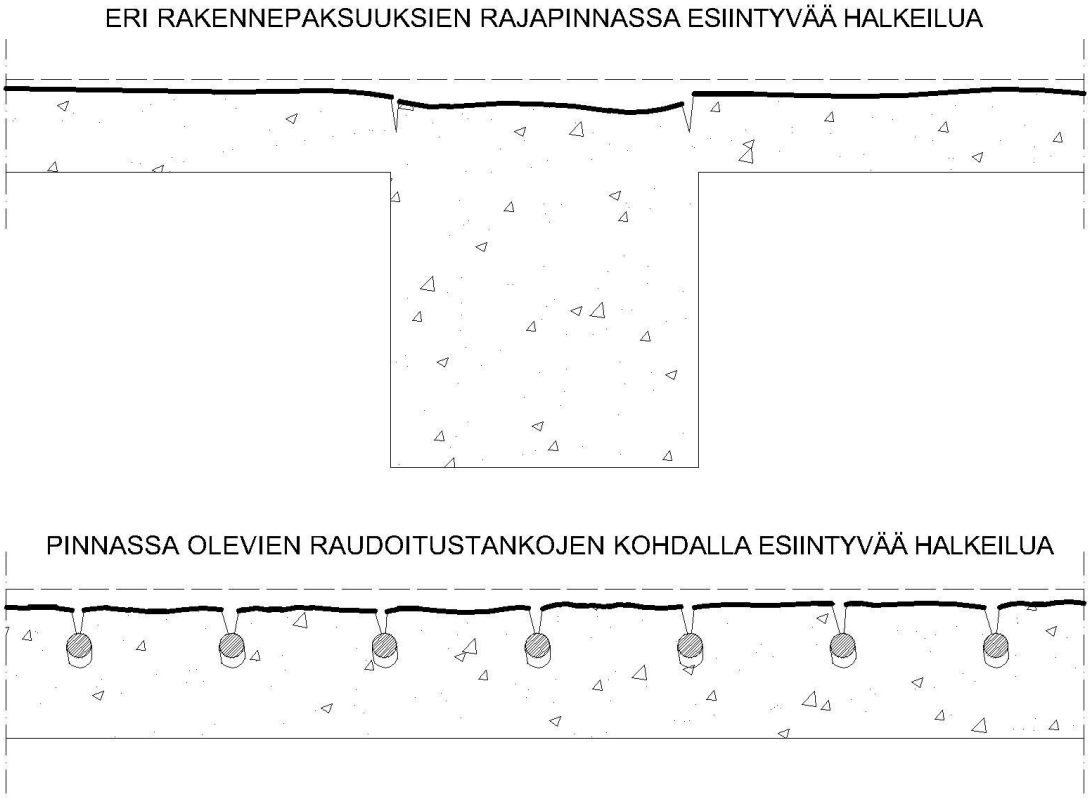
3.4.2 Viruminen

Ajasta riippuvaisella muodonmuutoksella eli virumisella tarkoitetaan kuormitetun rakenteen tiivistymistä veden poistuessa paineen vaikutuksesta huokosista. Virumaa tapahtuu käytännössä siitä hetkestä alkaen kun rakennetta kuormitetaan ja sen vaikutukset vaihtelevat riippuen kuormituksen aloitusajankohdasta betonin kovettumiseen nähden. Täysin kovettuneen betonin viruma on huomattavasti pienempi kuin kovettumisvaiheessa olevan. [10, s. 88.]

Viruman takia esimerkiksi paikallavaluholveissa rakenteen saavutettua purkulujuuden, tulisi muotin purkamisen jälkeen jättää vielä väliaikaisia tukia, jotta taipumat eivät muodostuisi liian suureksi [10, s. 89]. Koska viruma on ajasta riippuvainen ja se lisää rakenteen taipumaa voidaan asian sisäistämiseksi kuvata sitä tavallaan rakenteen väsymisenä, vaikkakaan lujuudet eivät varsinaisesti muutu. Viruma omalta osaltaan lisää betonin säilyvyyttä sen tiivistyessä, mutta useimmissa tapauksissa se katsotaan enemmän haitalliseksi tekijäksi. Muun muassa jännitetyissä rakenteissa viruma tapahtuu käyristymän suuntaan, jolloin jännitysjakauma saattaa muodostua halkeilun kannalta haitalliseksi, kun puristuspinnan jännitys pienenee ja altistaa yläpinnan halkeilulle [10, s. 90].

3.4.3 Plastinen painuma

Plastiseksi painumaksi kutsutaan tuoreen massan painumista alkuperäisestä valupinnasta. Plastista painumaa tapahtuu, kun betonimassassa oleva vesi erottuu pinnalle, massan tiivistys on ollut puutteellista tai tiivistyksen yhteydessä massaa on siirretty muotissa sivuttaissuunnassa. [2.] Mikäli painuminen ei pääse tapahtumaan tasaisesti tai on jollain tapaa estetty, niin massan pintaan on mahdollista syntyä halkeamia. Tällaisia esteitä muodostaa rakenteen raudoitus (Kuva 22), erilaiset kiinnikkeet ja tartunnat sekä viemäröinti ja läpiviennit. Vaihtelevat rakennepaksuudet aiheuttavat myös halkeilua, kun paksumpi valu painuu enemmän, kuin ohuempi. [10, s. 72.] Tällöin halkeamat syntyvät pääasiassa rajapintoihin (Kuva 22).



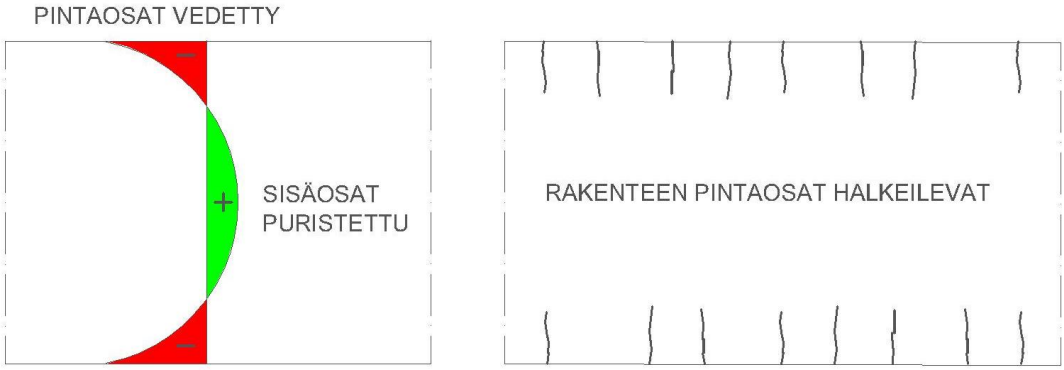
Kuva 22. Plastisesta painumasta aiheutuvaa halkeilua [10, s. 72, kuva 3.2]. Piirtänyt: Ville Sikanen.

Plastiseen painumaan ja siitä johtuvaan halkeamien syntymiseen vaikuttaa betonin koostumus, rakenteiden mitat, esteiden sijainti, ympäristöolosuhteet sekä työn suoritus. Betonin koostumuksella voidaan vaikuttaa betonissa olevan veden erottumiseen sekä massan koossapysyvyyteen. Rakenteiden mitoitus voidaan huomioida esimerkiksi työsaumoilla. Toisaalta työnsuorituksella on tässä kohtaan mahdollisesti suurin merkitys siihen, kuinka paljon painumista ylipäänsä pääsee tapahtumaan. Perusteellinen tiivistys ehkäisee tehokkaasti veden erottumista ja massan painumista. Ympäristöolosuhteiden hallinta on myös työmaan yksi osa-alue, jolla ehkäistään painumista. Alhainen lämpötila valun aikana hidastaa huomattavasti massan sitoutumista ja sen alkamista, jolloin painumiselle jää enemmän aikaa tapahtua. Rakenteiden mitoituksella on siinä määrin vaikutusta, että mitä lähempänä pintaa raudoitus tai jokin muu este on, sitä pienemmän painuman massa vaatii haljetakseen pinnasta. [2.]

3.4.4 Kovettumisenaikainen lämpötilamuutos ja lämmitys

Kovettumisenaikainen lämpötilamuutos eli hydrataatioreaktion tuottama lämmönnousu rakenteessa on yksi olennainen tekijä, joka tulee huomioida etenkin massiivisissa valuissa. Valut, joissa rakennepaksuudet ovat pieniä, kovettumisen aikana syntyvän lämmön vaikutus on vähäistä, koska rakenteesta pääsee haihtumaan lämpö ulkoilmaan. Isoissa valuissa betonirakenteen massa voi olla sen verran suuri, että se kykenee varastoimaan enemmän lämpöä itseensä, kuin siitä haihtuu, jolloin lämpötila voi nousta huomattavankin korkeaksi. [2.] Yli 50 °C:n lämpötila kovettumisen aikana aiheuttaa rakenteessa lujuuskatoa eli betonin loppulujuus alenee [25, s. 20].

Haihtumisen takia lämpötilaero massan pinnan ja ytimen välillä saattaa nousta niin korkeaksi, että rakenteeseen syntyy sisäisiä pakkovoimia. Kun betoni jäähtyy, se pyrkii kutistumaan ja lämmetessään laajenemaan, jolloin viileämmät pintaosat ovat vedettyjä ja sisäosat puristettuja. Tällainen sisäinen jännitysjakauma aiheuttaa helposti pintahalkeilua, kun sisäosan puristus vastustaa pintaosan vetoa tai toisinpäin (Kuva 23). Yleisesti suositellaan pitämään lämpötilaero liittyvän ja valettavan rakenteen tai valettavan rakenteen osien välillä alle 20 °C:ssa. Myös ulkoinen este, kuten alustan tartunta tai liittyvä rakenne estävät massan lämpöliikkeitä ja aiheuttaa vetojännityksiä, joita tuore massa tai edes kovettunut massakaan ei välttämättä kestä. [2.]



Kuva 23. Havainnollistava kuva massiivisen betonirakenteen sisäisen lämpötilaeron aiheuttamasta jännitysjakaumasta, sekä siitä johtuva pintahalkeilu [2]. Piirtänyt: Ville Sikanen.

Betonimassan lämmöntuottoon kovettumisen aikana vaikuttaa olennaisesti käytettävä sementtilaatu ja sen määrä [2]. Nopeasti sitoutuvat sementit tuottavat paljon lämpöä lyhyessä ajassa, kun taas hitaasti sitoutuvat tuottavat vähän lämpöä pidemmällä aika-

välillä. Haitallista lämmönnousua voidaan täten rajoittaa niin suunnittelupöydällä kuin työmaallakin. Käytän termiä haitallinen, koska lämmönnoususta on joissain tapauksissa myös suurta hyötyäkin. Esimerkiksi talvibetonoinnissa betonin oma lämmöntuotto vähentää ulkoista lämmitystarvetta.

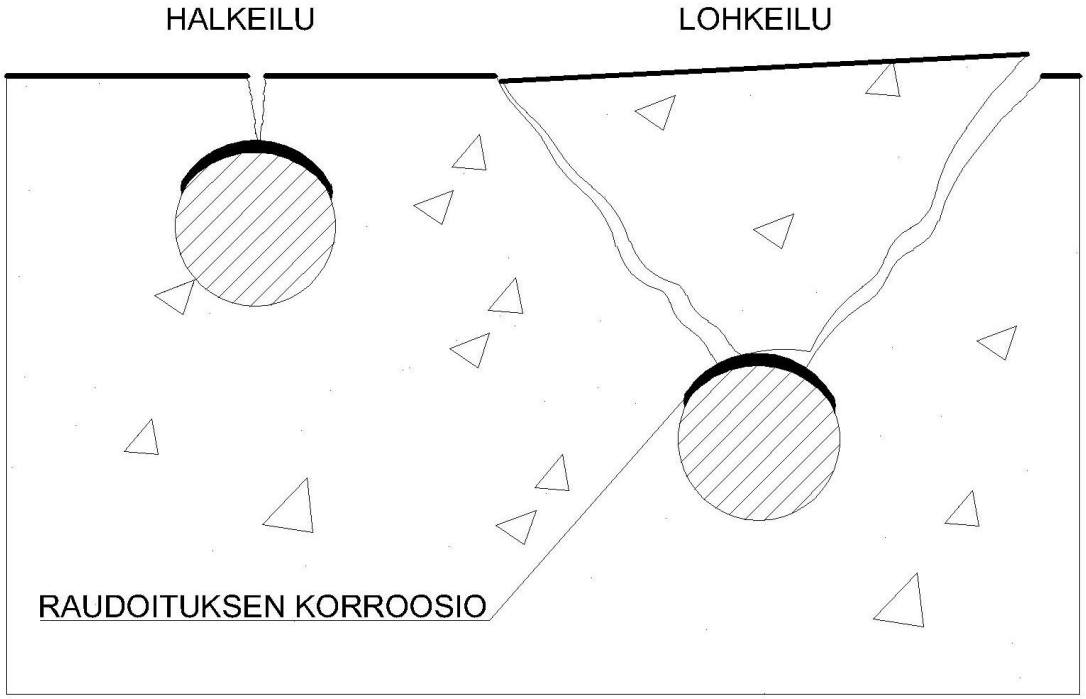
3.4.5 Muita halkeilua aiheuttavia tekijöitä

Pakkasrapautuminen eli veden jäätymisestä aiheutuva tilavuuden muutos aiheuttaa betonipinnan halkeilua ja lohkeilua (Kuva 24). Nykyaikaisilla betoneilla pakkasrapautuminen on harvinaista. Tätä esiintyykin lähinnä vanhoissa betonirakenteissa, joissa huokoistaminen puuttuu kokonaan tai on puutteellista. Huokoistamisella siis mahdollistetaan betonissa olevan veden jäätyminen vapaasti aiheuttamatta haitallisia jännityksiä. [10.]

Kuva 24. Betonirakenteen pakkasrapautumista [26].

Betonirakenteessa olevan raudoituksen ruostuminen voi aiheuttaa myös rakenteen halkeilua sekä betonin lohkeilua (Kuva 25). Mikäli raudoitusta suojaava betonipeite ei ole riittävän paksu tai betoni ei ole riittävän tiivis kestääkseen ympäristöolosuhteita mihin se on suunniteltu, altistuu raudoitus tällöin ilmassa oleville epäpuhtauksille ja hapel-

le. Ajan myötä raudoitus alkaa ruostua pinnalta ja ruoste näin ollen kasvattaa raudoituksen tilavuutta synnyttäen betoniin jännityksiä. Näiden jännitysten takia betoni saattaa haljeta tai pinta lohkeilla. Aivan kuten pakkasrapautuminenkin, raudoituksen ruostuminen on myös harvinaista nykyaikaisilla betoneilla. [10.]



Kuva 25. Raudoituksen ruostumisesta aiheutuvaa betonin halkeilua ja lohkeilua [10, s. 103, kuva 3.27]. Piirtänyt: Ville Sikanen.

Näiden lisäksi on sitten myös kaikki ulkoisista kuormituksista aiheutuvat halkeilut. Liian varhainen kuormitus rakenteelle tai onnettomuustilanteet käytön aikana saattavat aiheuttaa betonirakenteen halkeilua.

3.4.6 Eri halkeamatyypit ja niiden syyt

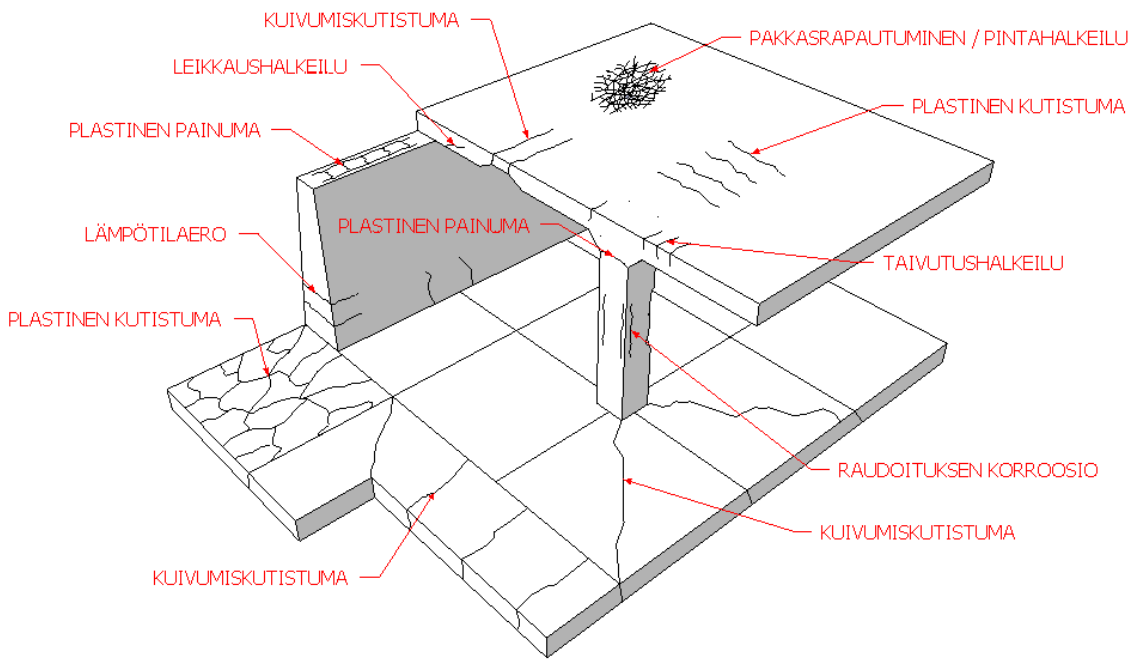
Edellä mainitut tekijät vaikuttavat kaikki betonirakenteen halkeiluun. Osa niistä on merkittäviä tekijöitä, jotka sekä suunnittelijan, että myös työmaan tulisi ottaa huomioon. Osan merkitys taas on joissain tapauksissa vähäinen, mutta kuitenkin hyvä pitää mielessä betonirakenteita suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Halkeilua voi esiintyä rakenteessa monella eri tapaa (Kuva 26). Tästä syystä varsinaisen halkeilun aiheuttajan selvittäminen voi olla haastavaa. Syyn tunnistaminen vaatii

tietämystä niin betonin kuin rakenteenkin käyttäytymisestä, jotta osataan poistaa tai korjata varsinainen ongelma eikä vain hoideta oireita. Halkeilun syyn tunnistamiseen tarvitaan lähtökohtaisesti seuraavat tiedot:

- halkeaman sijainti ja kulku
- määrä
- halkeamaleveys
- syntyajankohta [2.]

Erityisesti halkeaman syntyajankohta on keskeisin tieto, koska sen avulla voidaan rajata aika tarkkaan mahdolliset syyt. Tietyn tyyppistä halkeilua esiintyy vain betonin varhaisvaiheessa eli yleensä ensimmäisen vuorokauden aikana ja osa kovettumisen aikana eli 28 vuorokauden aikana. Loput ovat mahdollisia käytöstä tai kuormituksesta johtuvia syitä, vaikkakin kuivumista ja siitä aiheutuvaa kutistumista tapahtuu pitkälle betonin elinkaaren aikana. Suurimmat kutistumat tapahtuvat kuitenkin betonin kovettumisen aikana. Hankalaa halkeilun syyn tunnistamisessa tekee sen, että samantyyppistä halkeilua voi esiintyä monestakin eri syystä.



Kuva 26. Kuvassa esitettynä erityyppisiä halkeamia ja niiden selitykset [10, s. 94, kuva 3.22]. Piirtänyt: Ville Sikanen.

Seuraavassa taulukossa on selvitettynä kuvan 26 halkeamien tyypillisimmät syyt ja esiintymisajankohdat.

Taulukko 4. Eri halkeamatyyppien tyypillisimmät syyt ja esiintymisajankohdat [10, s. 93, taulukko 3.3]. Taulukon ulkoasu: Ville Sikanen.

HALKEILUN AIHEUTTAJA	ENSISIJAINEN SYY	TOISSIJAINEN SYY	ESIINTYMISAJANKOHTA
Plastinen painuma	Veden erottuminen	Nopea kuivuminen, myöhäinen jälkihoito	Ensimmäinen vuorokausi
Plastinen kutistuma	Pinnan nopea kuivuminen ja lisäksi raudoitus yläpinnassa	Haihtuvan veden hidas korvautuminen, liian myöhäinen jälkihoito	Ensimmäinen vuorokausi
Lämpöero	Rakennusosien välinen ja rakennusosan sisäinen lämpötilaero	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	1-3 vuorokautta
Kuivumiskutistuma	Iso vesi/sementti-suhde, huono jälkihoito, kutistumaliikkeet estetty	Huono tartunta työsaumassa	1 vk - useita kuukausia
Pintahalkeilu	Huono muotti tai puutteellinen ja ennenaikainen pinnan hierto	Suuri sementti- ja vesimäärä, huono jälkihoito	1 - 7 vuorokautta, mahd. myöhemminkin
Pakkasrapautuminen	Rakenteessa olevan veden jäätyminen ja sulaminen	Liian vähän suojahuokosia, betoni vedellä kyllästynyt	Ensimmäiset talvet - useita vuosia
Raudoituksen ruostuminen	Liian pieni betonipeite, kloridirasitus	Liian huokoinen betoni	Useita vuosia

.

4 Tutkimuskohteet

Seuraavaksi tullaan käymään läpi tutkimuskohteiden rakenteita sekä toteutusta. Tarvittaessa tullaan viittaamaan aiemmin läpikäytyyn teoriaosuuteen betonista ja liittorakenteista. Tällä tavalla saadaan pidettyä uuden lähdetiedon esittäminen mahdollisimman lyhyenä.

Ensimmäinen tutkimuskohde on jo valmistunut ja kyseisessä kohteessa työnjohtajana on ollut tämän opinnäytetyön tekijä. Tästä syystä toteutuksen osalta tullaan esittämään tietyiltä osin yksityiskohtaistakin tietoa. Ensimmäinen tutkimuskohde jaotellaan neljään eri osioon: kohteen esittely, rakenne eli mitä on suunniteltu, toteutus eli kuinka valmistettiin ja näiden jälkeen puututaan vasta kohdattuihin ongelmiin sekä mahdollisiin syihin.

Vertailukohteena toimiva Tikkurilan autohalli ei tämän opinnäytetyön valmistuttua ole vielä alkanut ja suunnitelmat ovat vasta tarjousvaiheen versioita, joten se kohde tulee jäämään vähemmälle tarkastelulle. Tarkastuslista on käytännössä ainoa, joka tehdään vertailukohdetta silmällä pitäen. Näin saadaan myös konkreettista hyötyä tästä työstä.

4.1 Kerava

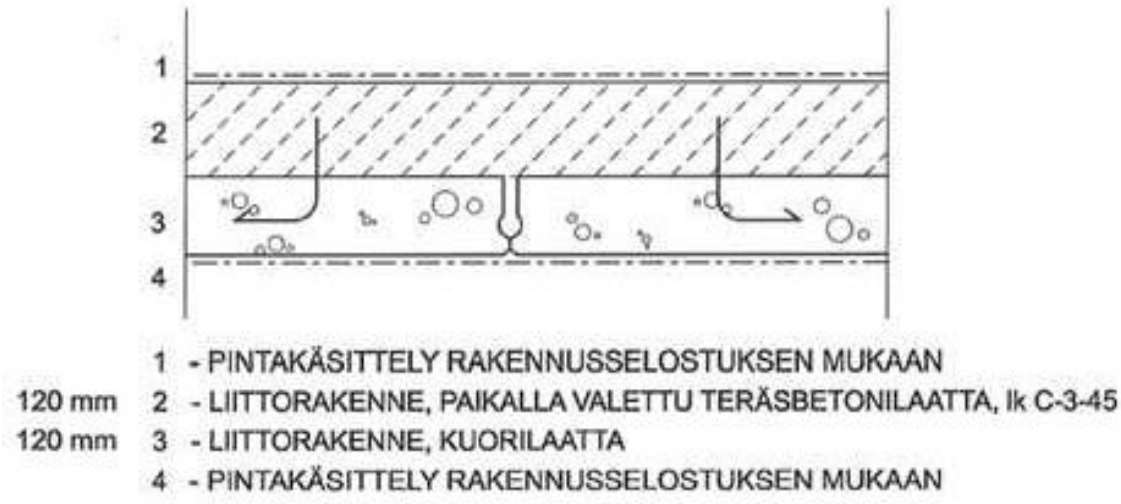
4.1.1 Kohteen esittely

Ensimmäinen tutkimuskohde eli varsinainen opinnäytetyön aiheena oleva kohde sijaitsee Heikkilänmäen asuinalueella Keravalla. NCC Rakennuksen asuntorakentamisen yksikkö rakensi vuosien 2011–2013 aikana alueelle kolme 8-kerroksista ja 36 huoneistoa käsittävää kerrostaloa, joista kaksi oli NCC:n omia Tähtikoti-projekteja eli myyntiasuntoja ja yksi rakennuttajalle urakoitu vuokrakotikohde. Näiden kolmen yhtiön as. oy Keravan Tervapaanun, Tervaspuun ja Tervamiilun yhteyteen tuli vielä yhtiöiden yhteinen 64 autopaikkaa käsittävä avoin autohalli (Kuva 27), joka on tämän työn tutkimuskohde.

Kuva 27. Keravan kohteen asemapiirros. Punaisella rasteroitu alue on yhtiöiden yhteinen autohalli ja muu alue on avoimia autopaikkoja maan tasalla. [14.]

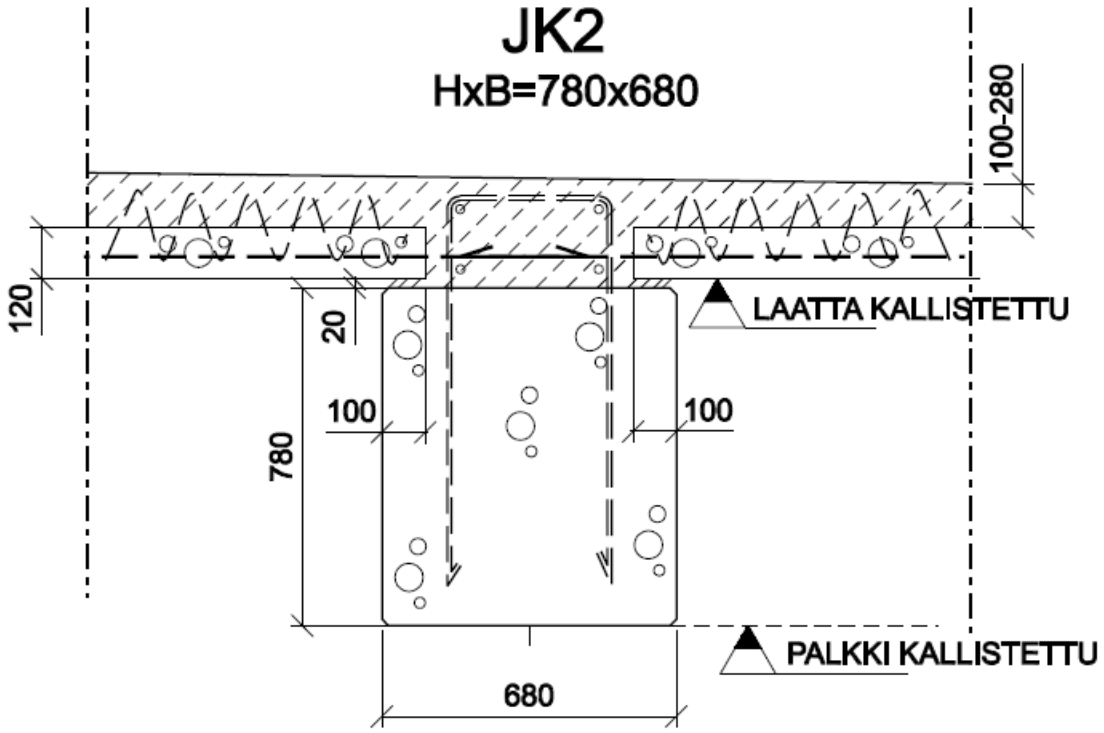
4.1.2 Rakenne

Kohteen autohalli oli suunniteltu toteutettavaksi pilari-palkkirunkona, jossa käytettiin jännebetoniliittopalkkeja, esijännitettyjä kuorilaattoja ja jälkivalua pintabetonin osalta. Valmis rakenne suunniteltiin toimimaan liittorakenteisena eli jännebetoniliittopalkit yhdessä kuorilaatan ja pintavalun muodostaman liittolaatan kanssa saavuttaisivat yksittäistä rakenneosaa suuremman jäykkyyden. Kuvassa 28 näkyy kohteeseen suunniteltu kansirakenne.



Kuva 28. Rakennetyyppi autohallin kansirakenteesta [14].

Kyseinen liittolaattarakenne tukeutui vielä jännebetoniliittopalkeille (Kuva 29). Kuvan mukaiset palkit olivat suurimmillaan 18 metriä pitkiä jänneväliltään ja painoivat noin 23,5 tonnia. Muutamaa lyhyempää palkkia lukuun ottamatta kaikki palkit olivat suunniteltu työnaikaisesti tuetuiksi.



Kuva 29. Detalji liittopalkin, kuorilaatan ja pintavalun muodostamasta liittorakenteesta [14].

Kuten kuvasta 28 voi nähdä, ei kansirakenteessa ole erillistä vedeneristystä eli se ei ole niin kutsuttu käännetty rakenne. Näin ollen pintabetonin tulee olla omalta osaltaan vesitiivis ja kannen kaadoilla sekä viemäröinnillä varmistetaan, ettei vesi lammikoidu ja imeydy ajan kanssa betonin sisään tuoden epäpuhtauksia mukanaan ja heikentäen näin betonin suunnittelukäyttöikää. Paikalla valetulle teräsbetonilaatalle on asetettu vielä luokkavaatimuksina C-3-45.

- tasaisuusluokka C
- kulutuskestävyysluokka 3
- betonin lujuusluokka K45 (RakMK:n mukainen K-lujuus, euronormien vastaava C35/45)

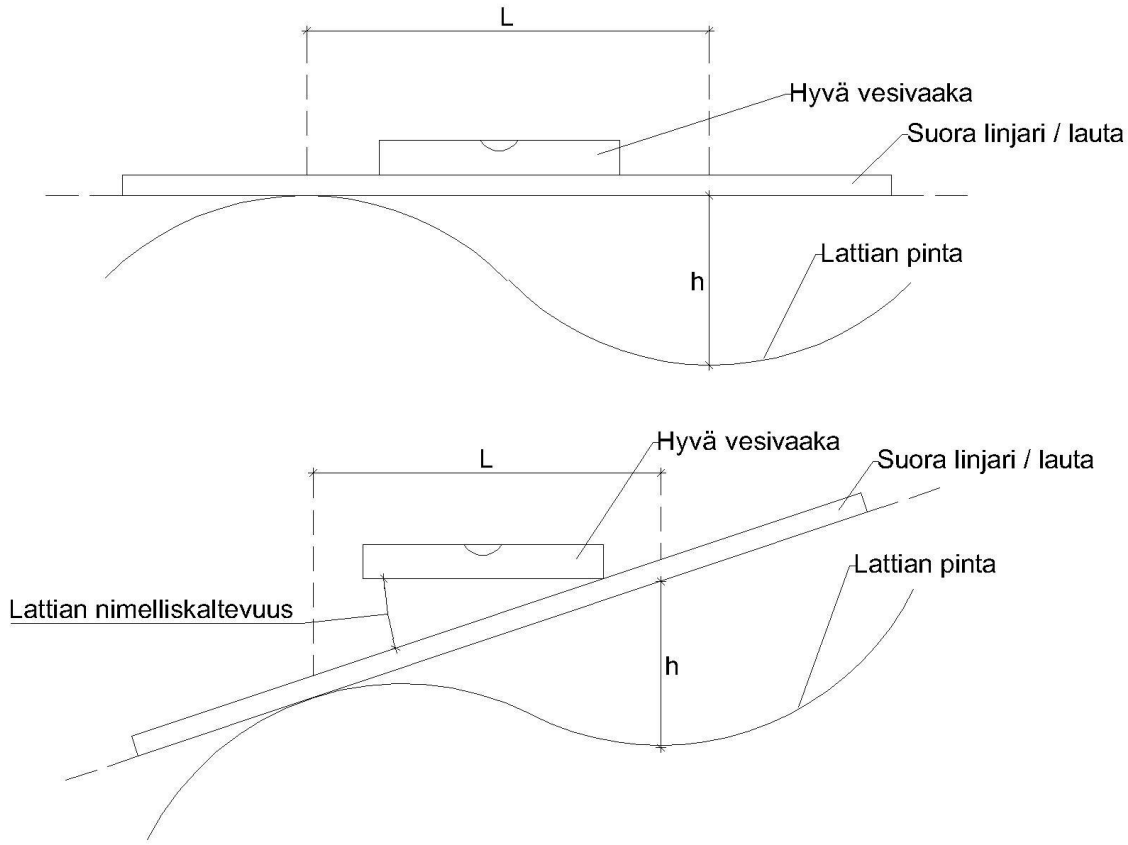
C-luokka asettaa vaatimuksia suurimmalle sallitulle tasaisuuspoikkeamalle viidessä eri mittausluokassa sekä vaakasuoralle, että kaltevalle pinnalle (Taulukko 5).

Taulukko 5. Sallitut tasaisuuspoikkeaman arvot BY45:n mukaan [18, s. 4, taulukko 1.2]. Taulukon ulkoasu: Ville Sikanen.

SUURIMMAT SALLITUT TASAISUUSPOIKKEAMAT BY45 MUKAAN				
MITTAUSLUOKKA L (mm)	POIKKEAMA h (mm)			
	A_0	**A**	**B**	**C**
enintään 200	1	2	3	4
enintään 700	2	4	6	8
enintään 2000	4	7	10	14
enintään 7000	7	10	14	20
yli 7000	10	14	20	28
HAMMASTUS (mm)	0	0	1	1

Tasaisuuspoikkeaman mittaukselle on oma ohjeistuksensa. Asetetun vaatimuksen saavuttamista tulee seurata koko työn ajan ja ennen työn luovutusta tehdään vastaanottomittaus, jossa työn tekijä sekä vastaanottajan edustaja ovat läsnä. Mittaus voidaan suorittaa kuvan 30 esittämällä tavalla linjarin ja vesivaa'an avulla tai tarkempia mittauksia vaadittaessa takymetriä tai muuta vaaituskonetta hyödyntäen. Mittaustulokset tulee

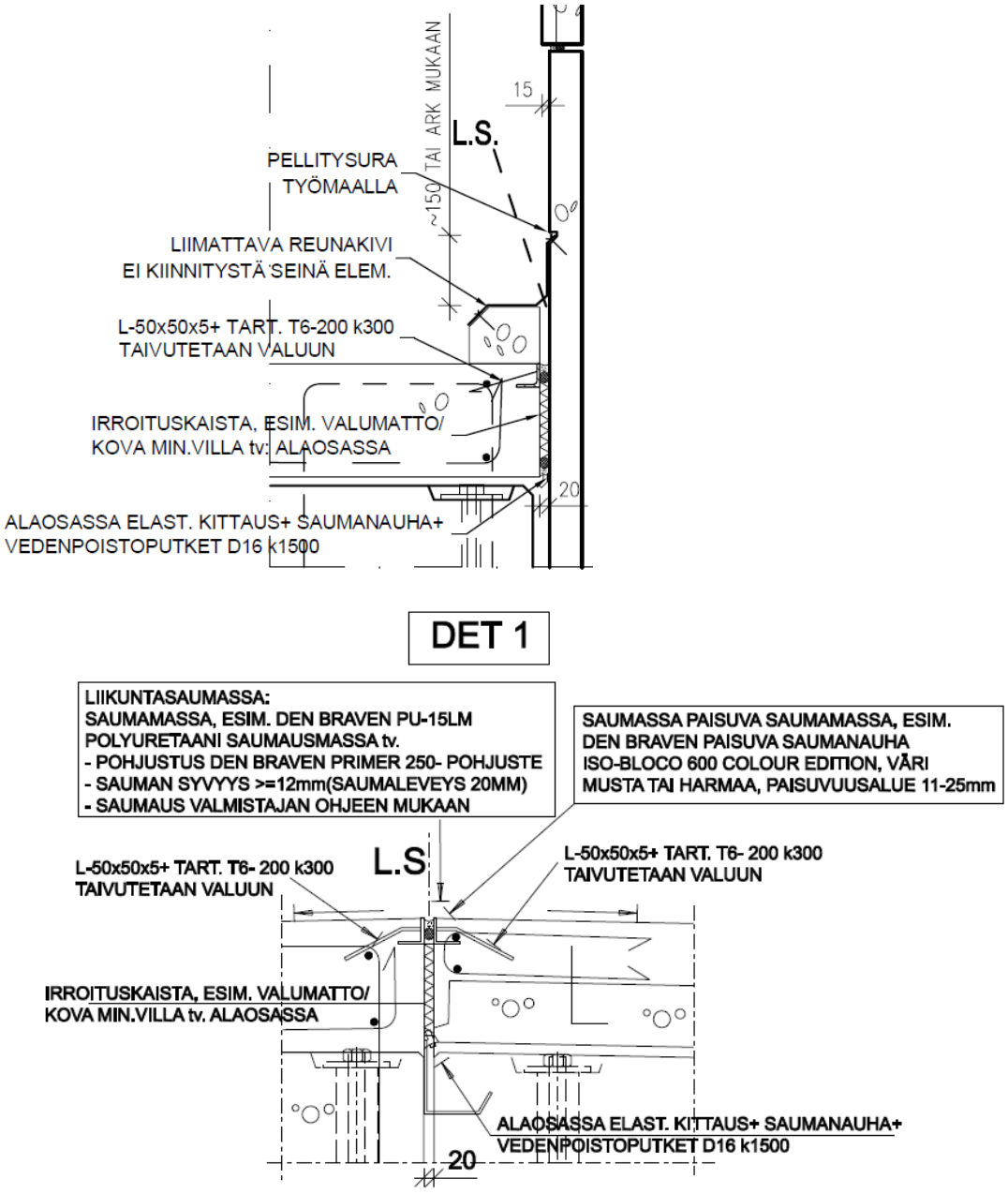
täyttää vaatimukset jokaisessa mittausluokassa, jotta kyseinen C tasaisuusluokkavaatimus saavutetaan. [18, s. 4.]



Kuva 30. Tasaisuuspoikkeaman määrittäminen tasaisella ja kaltevalla lattialla. L on mittauspituus ja h tasaisuuspoikkeama. [18, s. 5, kuvat 1.1 ja 1.2.] Piirtänyt: Ville Sikanen.

Kulutuskestävyysluokka 3 asettaa suurimmaksi sallituksi kulumaksi 6 mm, kun mittaus tehdään luvussa 3.1.4 esitetyllä tavalla. Kyseinen luokka ei tosin vaadi testausta eikä sitä suositellakaan, mikäli työn suoritus tehdään luokan ohjeistuksien mukaisesti. Tässä tapauksessa voitaisiin käyttää notkistettua tai jäykkää betonimassaa, jonka lujuusluokka on vähintään C32/40. Kuitenkin seuraava luokkavaatimus on vaadittu lujuus eli C35/45, jolloin luokkavaatimuksen täyttyminen varmistetaan käyttämällä kyseisen lujuusluokan omaavaa betonia.

Vedenpitävyys reuna-alueilla sekä liikuntasaumojen kohdilla varmistetaan kuvan 31 mukaisilla rakenteilla.

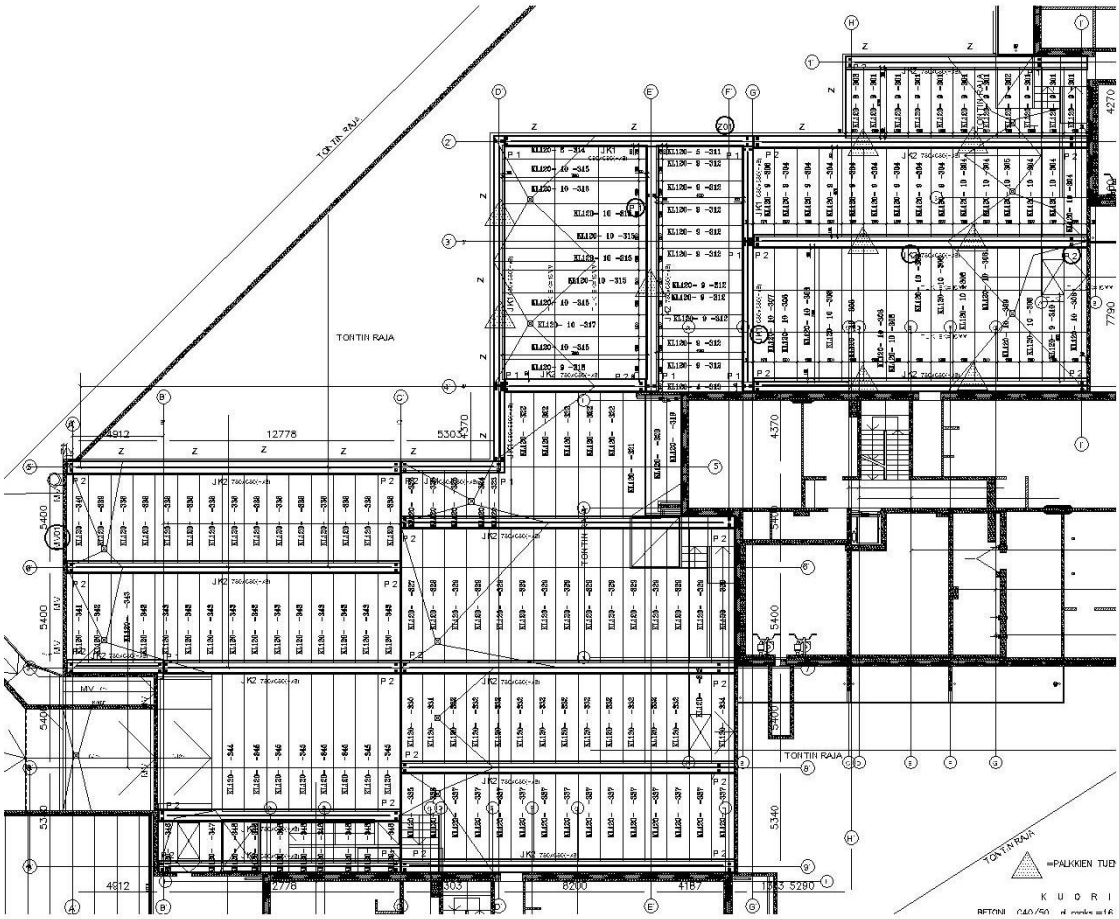


Kuva 31. Detaljipiirustukset kentässä sekä reuna-alueilla sijaitsevien liikuntasaumojen tiivistämiseen [14].

Pääasiassa liikuntasaumat on suunniteltu toteutettavaksi 50x50x5 L-teräksillä, joissa on tartunnat valuun 300 mm välein. Kahden toisiaan vasten kohtisuoraan asennettavien L-terästen väliin tulee vielä betonoinnin ja suurimpien kutistumisien jälkeen paisuva

saumanauha sekä polyuretaani saumausmassa. Reuna-alueilla on vielä saumamassan kulutusta vähentämässä liimattava reunakiveys, joka kiertää muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta käytännössä koko autohallin kannen ympäri. Reunakiveyksen päälle tulee vielä pelti, joka ohjaa sadeveden, sekä kaidetta tai seinää vasten valuvan veden pois sauman läheisyydestä. Pelti nostetaan ylös lähimpään elementtivaakasaumaan ja taitetaan sisään. Autohallin kaideosuudella kaiteeseen sahataan ura noin 200 mm kannen tasosta ylöspäin, johon pelti taitetaan sisään. Sauman alapuolelle tulee vielä vedenpoistoputket 1500 mm välein sekä vuotovesikourut ja poistoputket, jotka ohjaavat mahdollisen vuotoveden kannen alla oleviin maanvastaisen lattian kaivoihin.

Kuorilaatat oli jaettu koko kannen osuudella 13 eri kenttään (Kuva 32). Neljä näistä kentistä oli suunniteltu tuettuna ja loput tukemattomana rakenteena eli kaikki kentät, joissa kuorilaattojen jänneväli oli 5 metriä tai alle, eivät tarvinneet työnaikaista tuentaa. Pisimmillään kuorilaatat olivat 7,5 metrisiä.



Kuva 32. Autohallin kuorilaattarakenteen tasopiirustus [14].

Betonin osalta on rasitusluokiksi määritelty seuraavanlaiset vaatimukset:

- Tasot: XC4, XD3, XF4
- Seinät (ajoluiska): XC4, XD1, XF2
- Seinät ja pilarit: XC4, XC3, XF1
- Palkit: XC3, XF1

XD3 rasitusluokka on kloridirasituksen vaativin, joten se asettaa betonille määräävimmät raja-arvot betonin vähimmäislujuudelle ja vesi/sementti-suhteelle. Myös XF4 on luokkansa vaativin, mutta tällä on vesi/sementti-suhteen sekä lujuusluokan osalta samat vaatimukset. Ainoa lisäys on vain vähimmäissementtimäärä, joka kasvaa. Kyseisen luokan täyttävä betoni on luvulla 3.1.2 esitettävän taulukon 1 mukaan lujuusluokaltaan vähintään C35/45 ja v/s-suhde korkeintaan 0,45.

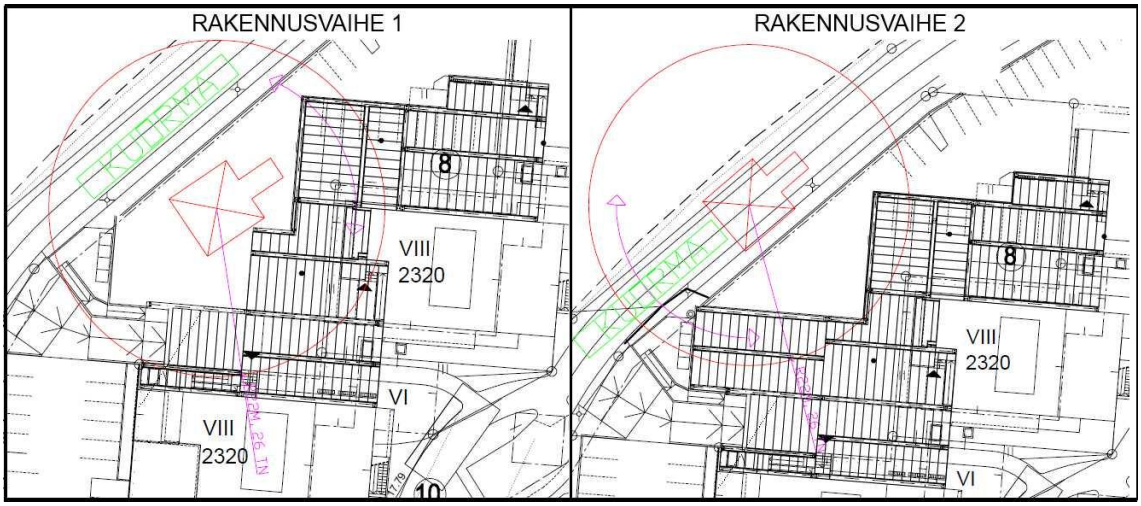
Raudoituksen osalta kuorilaattojen yläpinnalle eli paikalla valettavan pintabetonin alapinnalle oli suunniteltu jakoraudoitus T10 tangot 300 mm jaolla poikittain kuorilaattojen pituussuuntaan nähden. Jakoraudoitus toimii palkkien pituussuunnassa pääraudoituksena. Kuorilaattojen jännepunokset taas toimii kuorilaattojen pituussuunnassa pääraudoituksena. Tuille eli palkkien ylityksiin on suunniteltu pintabetonin yläpintaan T12 tangot 90 mm jaolla palkin jännevälin matkalla. Tämä toimii jatkuvan laatan tuen vetoraudoituksena, mutta myös ehkäisee betonin halkeilua. Yläpinnan raudoitus on vain palkkien kohdilla sekä reuna-alueilla jättäen näin ollen kenttäosuudet yläpinnan raudoituksen osalta tyhjäksi. Halkeilua kentässä ehkäisee laattarakenteen jännitysjakauma, jossa yläpinta on puristettuna ja alapinta vedetty.

Lyhykäisyydessään oleellisimmat rakenteisiin liittyvät kohdat olivat tässä. Raudoituspiirustuksia kannen osalta ei tulla esittämään niiden monimuotoisuuden vuoksi. Johtuen varmasti siitä, että kyseinen autohalli on sijoitettu sen verran ahtaalle tontille, jossa korkomaailmakin vaihtelee huomattavan paljon. Koska kyseinen rakenne on suunniteltu yli K40 lujuusluokan betonilla ja on muutenkin haastava johtuen liittorakenteesta sekä jännitetyistä rakenneosista, se on luokiteltu 1-luokan betonirakenteeksi.

4.1.3 Toteutus

Toteutuksen osalta kaikki tieto perustuu lähinnä valuista tehtyihin betonointipöytäkirjoihin sekä tekijän muistiinpanoihin kyseiseltä ajalta. Tämän luvun aikana tarkoituksena on mahdollisimman tarkkaan selvittää, mitä tuli tehtyä, jotta voidaan paremmin tehdä johtopäätöksiä halkeiluun vaikuttaneista syistä. Niitä kun todennäköisesti tulee olemaan monta pientä yksittäistä kuin yksi selkeä syy.

Keravan yhtiöiden autohalli toteutettiin kolmessa eri osassa. Ensimmäinen osa eli Tervapaanun osuus autohallista rakennettiin vuonna 2012. Tämän jälkeen Tervaspuun ja Tervamiilun osuudet rakennettiin vuonna 2013. Tervaspuun ja Tervamiilun osuus oli käytännössä samassa, mutta johtuen tontin ahtaudesta sekä isoista ja raskaista elementeistä, jouduttiin näiden kahden yhtiön osuus jakamaan asennuksiltaan kahteen osaan (Kuva 33).



Kuva 33. Kuva autohallin rakennusvaiheista. Kuvassa on esitettynä vain Tervaspuun ja Tervamiilun rakentamisvaiheet, sillä Tervapaanun osuus oli jo pääosin tehty, kun tulin kohteeseen työnjohtajaksi. Kuva: Ville Sikanen.

Rungon osalta ainoa ongelma oli jännepalkkien ja kuorilaattojen jännevoimista aiheutuva käyristymä ennen kansilaatan valua. Pitkien palkkien käyristymä lisättynä kuorilaattojen käyristymään ohensi kansilaatan valun paksuutta jo huomattavan paljon. Suurimmat käyristymät, joita mittasimme, oli palkkien keskilinjasta 50 mm ja kuorilaattojen osalta 30 mm. Tällainen on tietenkin normaalia jännitetyissä rakenteissa, mutta se ei poista sen vaikutusta kannen rakennevahvuuksiin. Kannen kaatojen korko oli aika tark-

kaan määrätty, jotta vedet saataisiin ohjattua oikeisiin paikkoihin. Tämä tarkkuus määräytyi liittyvistä rakenteista (valmistuneet asuinrakennukset ja ajo- sekä pihatiet).

Palkkien ja kuorilaattojen työnaikainen tuenta tehtiin suunnittelijan tekemän tuenta-suunnitelman mukaisesti. Tuennalle oli määritelty kuormat sekä kuorilaatoille 15 mm esikorotus. Palkit tuettiin heti asennuksen jälkeen ja tuenta-asema määräytyi jokaisen palkin luontaisen alkukäyryyden perusteella (Kuva 34). Kuorilaatat asennettiin ja tuettiin kenttä kerrallaan.

Kuva 34. Kuva palkkien tuennasta asennuksen jälkeen. Kuva: Ville Sikanen.

Betonimassan valintaan panostettiin huomattavan paljon. Kohteen osalta valupalavereita järjestettiin kahteen kertaan, jossa ensimmäisessä oli osallisena työvaiheen työnjohtajat mukaan luettuna 1-luokan betonityönjohtaja, valmisbetonitoimittajan edustaja sekä kohteen päärakennesuunnittelija. Ensimmäisessä palaverissa käytiin läpi rakenteen vaatimukset ja työnsuoritukseen vaikuttavat asiat. Pyrkimyksenä oli saada valittua kohteeseen parhaiten soveltuva betonilaatu, mikä oli vielä toteutettavissa työmaan asettamien rajaehtojen mukaan, kuten pumppukalusto asettaa. Valinta saatiin tehtyä ja tämän pohjalta oli helpompaa pitää palaveri sitten valu-urakoitsijan kanssa, koska meillä oli jo pohdittuna mitä rakennesuunnittelijan ja valmistebetonitoimittajan mukaan on sekä pakko olla, mutta myös mahdollista olla, jotta saadaan laadukas lopputulos. Näin ollen toinen valupalaveri pidettiin muuten samalla kokoonpanolla, paitsi rakennesuun-

nittelija vaihtui valu-urakoitsijaan. Tässä palaverissa valu-urakoitsija sai vielä esittää omat toiveensa, mutta pääasiassa pääurakoitsijan taholta asetettiin ehdot ja käytiin läpi keskeisimmät työnsuoritukseen liittyvät toimenpiteet. Samalla tuli pidettyä myös aloituskokous kyseisen työvaiheen osalta.

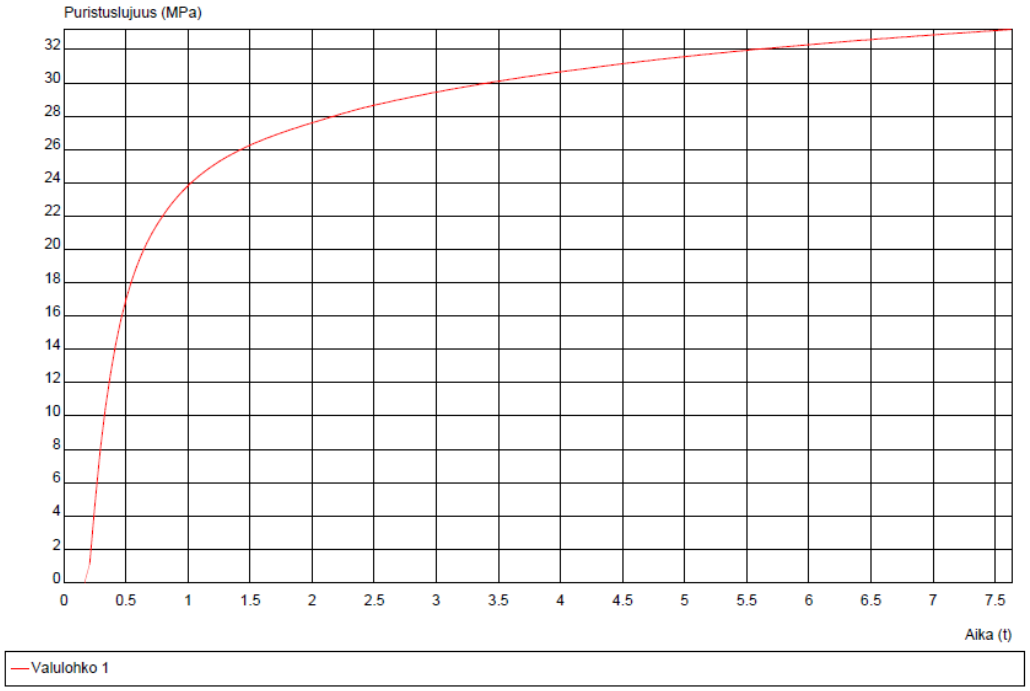
Toisessa palaverissa tulikin ilmi kannen korko-ongelman vaatima toimenpide. Kaikissa valulohkoissa korkovaihtelua oli huomattavan paljon. Yhdessä lohkossa saattoi lopullinen pintavalun paksuus olla suunnitellusta 120 mm poiketen vain 90 mm ja toisaalla taas jopa reilu 200 mm. Tämän takia valu-urakoitsija mainitsi, että mikäli massassa on paljon karkeaa kiviainesta, niin ohuissa valuissa se jää herkästi pinnalle vaikeuttaen sekä linjarointia että pinnan hiertoa. Myös valmisbetonitoimittaja oli samaa mieltä ja päätettiin muuttaa reseptiä ohuiden valulohkojen osalta vähemmän karkeinta kiviainesta sisältäväksi.

Valut toteutettiin pumppukalustolla, joten notkeusluokaksi tuli S3. Valut oli ensimmäisen suunnitelman mukaan tarkoitus suorittaa kahdessa osassa, mutta ensimmäistä lohkoa valettaessa, huomattiin työmäärän olevan liian paljon käytetylle valutyöryhmälle sekä valitulle betonimassalle. Valutyöryhmä käsitti 6 rakennusammattimiestä sekä pumppukaluston käyttäjä. Massa oli notkeusluokastaan huolimatta aika työlästä käsitellä, joten sen levittäminen vei aikaa. Lisäksi sääolosuhteet toivat oman lisänsä työhön. Ensimmäisen lohkon valua jouduttiin siirtämään sateen takia päivällä. Valupäivänä oli muutama lievä sadekuuro ja ajoittain kevyttä tuulta. Aurinko ei juuri paistanut muuta kuin hierron jälkeen, kun toinen jälkihoitoainekerros oli levitetty. Muuten oli pilvistä. Olosuhteiden hallinta oli siinä määrin haastavaa, koska kansi oli avoin, jolloin suojien käyttäminen olisi ollut aika työlästä ja kallistakin. Pinta-alat olivat sen verran isoja, että huputtaminenkaan ei tullut oikein kysymykseen. Ennen betonointia kuorilaattoja myös kasteltiin etukäteen, koska ne olivat pitkän varastoinnin jäljiltä kuivia rakenteita, jolloin ne olisivat imeneet vettä pois valetusta massasta. Kyseissä massassa oli muutenkin vähän vettä, joten tämä olisi osaltaan myös vaikuttanut betonin liian nopeaan kuivumiseen.

Jälkihoito tehtiin käyttämällä ruiskutettavaa jälkihoitoainetta, joka muodostaa betonin pinnalle suojaavan kalvon. Tämä kalvo estää betonissa olevan veden haihtumisen liian aikaisessa vaiheessa ja liian nopeasti. Jälkihoitokertoja oli yhteensä kolme. Ensimmäiset kaksi tehtiin valun aikana ja kolmas eli varsinainen jälkihoito valusta seuraavana aamuna. Varsinainen jälkihoito tehtiin kastelemalla suodatinkangas betonin pinnalle ja

sen päälle vielä muovikalvo, joka piti suodatinkankaan kosteana pidempään. Jälkihoitoa jatkettiin lähes 3 viikon ajan yhtäjaksoisesti ja välillä suodatinkangasta kasteltiin uudelleen vedellä, jos havaittiin kuivumista.

Lujuudenkehitystä seurattiin työmaan omilla lämpötilamittareilla ja tulokset lähetettiin valmisbetonitoimittajalle laskettavaksi (Kuva 35). Lisäksi valmisbetonitoimittaja suoritti kohteeseen toimitetusta betonista kaksi puristuslujuuskoekappaletta, joiden puristuslujuuden keskiarvoksi 28 vuorokauden tarkasteluiässä saatiin 47 MPa eli vaadittu lujuus ainakin saavutettiin. Lujuudenkehityksen osalta työnaikaisten tukien purkuajankohdaksi oli suunnittelija määrittänyt ajankohdan, kun betonin on saavuttanut puristuslujuuden C21/27. Tuentaohjeessa oli selostettu vielä, että tuenta tulisi purkaa mahdollisimman pian lujuuden saavutettua, jotta betonin kutistumaa ei pääsisi merkittävästi tapahtumaan. Purkulujuus saavutettiin noin 2-3 vuorokauden kuluttua valutapahtumasta, kuten kuvasta 35 voidaan todeta. Mittari oli asetettu vielä paksuimpaan valukohtaan, joten muualla lujuus oli todennäköisesti saavutettu hieman aiemmin. Eroa tuskin on paljoa, mutta varmalla puolella kuitenkin.



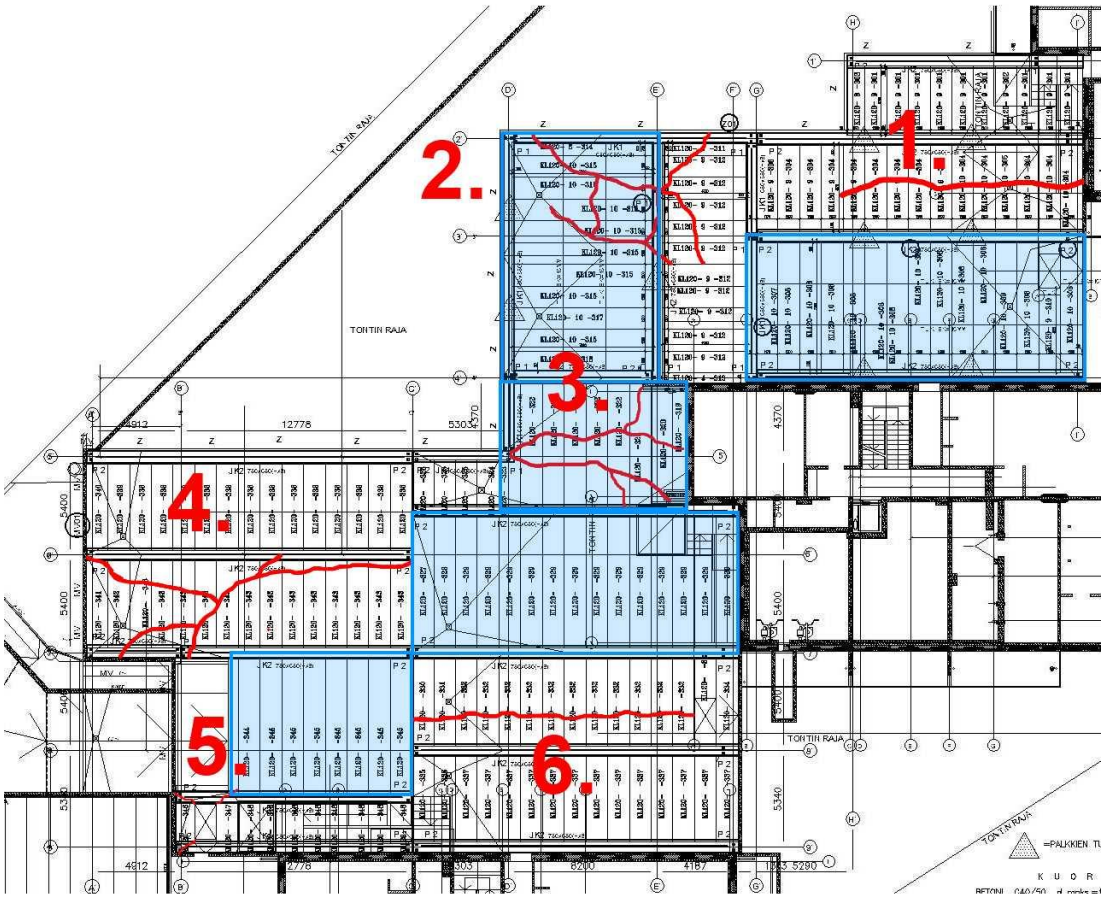
Kuva 35. Valulohkosta 1 mitattujen lämpötilojen mukainen lujuudenkehitys. Kuva: Rudus Oy.

Kolme muuta valulohkoa tehtiin samalla tavalla ja samanlaisella betonimassalla. Olosuhteet muuttuivat sen verran, että sadetta ei ollut valun aikana eikä tuullutkaan juuri ollenkaan. Sen sijaan aurinko paistoi hieman pilvisessä säässä. Jälkihoidon aloi-

tusajankohta oli mahdollisesti hieman myöhäinen kahdessa viimeisessä valussa, kun suodatinkangas sekä muovi saatiin levitettyä vasta valun jälkeisen päivän iltapäivällä. Siinä ehti valu olla jo osittain ilman jälkihoitoa huomattavan pitkän aikaa. Tämä on todennäköisesti vaikuttanut jossain määrin plastisen halkeilun tapahtumiseen, mutta auringonpaisteella on varmasti ollut oma osuutensa asiaan myös.

4.1.4 Ongelmat ja mahdolliset syyt

Tämä luku tulee perustumaan puhtaasti omiin pohdintoihin ja päätelmiin, joita toivottavasti tukee myös kohteessa mukana olleiden osapuolten kommentit. Tällä tavalla pyrkimyksenä on päästä mahdollisimman objektiiviseen näkemykseen ongelmiin johtaneista syistä eikä tule syyllistettyä ketään tai mitään tiettyä osapuolta turhanpäiten. Kaikilla mukana olleilla on kuitenkin ollut projektin aikana vakaa aikomus päästä laadukkaaseen lopputulokseen.



Kuva 36. Halkeamakartta autohallin kannesta. Punaisella merkittynä halkeamat niiden suurin piirtein todellisilla paikoilla ja laajuuksilla. Sinisellä rasteroidut kuorilaattakentät ovat tuettuja. Kuva: Ville Sikanen.

Suurimmat ongelmat autohallin rakentamisessa aiheutti jo tämän työn aiheestakin päätellen kansirakenteeseen syntyneet halkeamat (Kuva 36). Yllä olevasta kuvasta voidaan päätellä muutamia yhdistäviä tekijöitä kaikkien kansirakenteeseen syntyneiden halkeamien välillä. Ensimmäinen havainto on, että kyseessä on mielestäni kutistumahalkeamista. Halkeamista voidaan erottaa kahta erilaista tyyppiä: kuivumiskutistuman aiheuttamaa halkeilua ja plastista halkeilua. Halkeama 2 on aika selkeästi plastista kutistumista verkkomaisen halkeilun takia ja halkeamassa 3 on myös havaittavissa samoja piirteitä (Kuva 37). Halkeamassa 3 on kuitenkin myös kuivumiskutistumasta johtuvaa kentän poikki menevää halkeilua. Kyseisten halkeamien osalta jälkihoito on todennäköisesti aloitettu liian myöhään, kuten luvussa 4.1.3 totesin, jonka takia pinta on päässyt kuivumaan liian nopeasti hierron jälkeen. Vaikka jälkihoitoaine olikin ruiskutettu pinnalle kahteen kertaan, ei se loputtomiin anna suojaa.

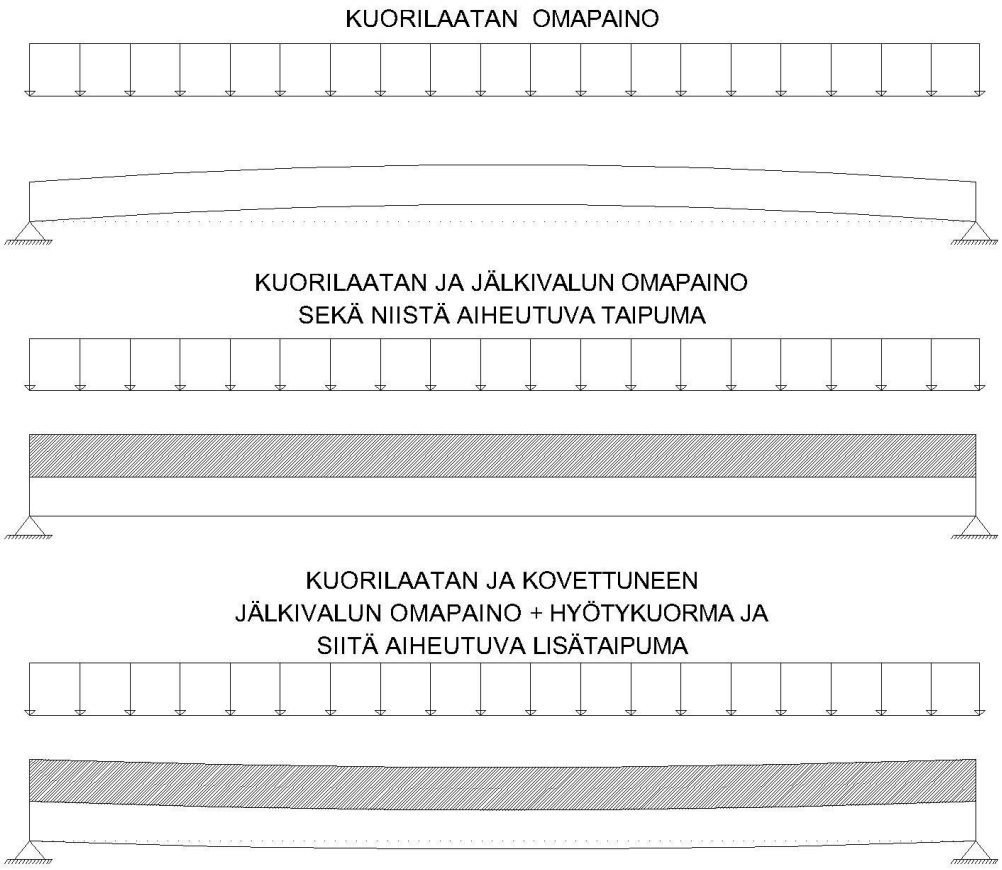
Kuva 37. Vasemman puoleinen kuva on halkeamasta 3 ja oikean puoleinen halkeamasta 2. Kuvat: Ville Sikanen.

Jälkihoito oli aloitettu viimeisen valulohkon osalta kuvan 36 alareunasta, jolloin siinä vaiheessa, kun suodatinkangas ja muovi olivat levitettynä halkeaman 3 kohdalla, oli kyseinen alue huomattavan pitkän aikaa ilman suojaa. Ainoa suoja oli siis valun yhteydessä ruiskutettu jälkihoitoaine, jonka vaikutus vuorokausi valusta saattaa olla heikentynyt. Tämä kun yhdistetään käytettyyn betoniin, niin on hyvinkin mahdollista, että tämä on ollut pääsyy halkeaman 3 syntyyn eli liian myöhäinen jälkihoidon aloitus. Tässä kohtaa, vaikka jälkihoitotapa olisikin ollut hyvä, niin ei se kuitenkaan sulje jo syntyneitä halkeamia. Nämä halkeamat saattoivat olla jälkihoidon aloituksessa vielä niin pieniä, että niitä ei havaittu jälkihoitoa tehdessä. Näin ollen halkeamat ovat päässeet kasva-

maan kutistuman kasvaessa kovettumisen aikana. Tämä selittyy myös sillä, että kyseistä halkeamatyyppiä ei ilmennyt muualla samassa valulohkossa, vaikka olosuhteet olivat vastaavat molemmissa päissä lohkoa. Halkeaman 2 kohdalla kyseessä on todennäköisesti ollut auringonpaiste valun jälkeen, vaikka pilvinen sää olikin.

Halkeamat 1, 4, ja 6 ovat tukemattomassa kentässä ja syntyneet pääasiassa palkkien yli tulevien yläpinnan raudoitusten väliin. Tässä välissä kenttä pitäisi olla puristettuna, joka ehkäisisi halkeilua. Halkeilua on tästä huolimatta päässyt tapahtumaan ja kun jälkivalettu pintabetoni on tarttunut kiinni kuorilaattoihin, syntyisi siitä vastustava voima kutistumalle. Näin ollen laatan yläpintaan on syntynyt vetojännitystä, joka on ollut suurempi kuin yläpintaa kuormittava puristusjännitys. Tuilla sijaitsevat yläpinnan teräkset siirtävät vetojännityksen vapaaseen tilaan, missä ei ole teräksiä ottamassa vastaan jännityksiä ja halkeama pääsisi syntymään. Näiden halkeamien syyt ovat kuitenkin hieman haastavammat. Jälkihoidon puutteellisuudesta tuskin voidaan puhua, koska se olisi ilmennyt myös plastisena halkeiluna. Kyseessä on kuitenkin mielestäni kuivumiskutistumisen aiheuttamaa halkeilua, jota tapahtuu, oli jälkihoito kuinka hyvää tahansa (autogeeninen kutistuma).

Syy miksi betonipinta ei välttämättä saa riittävää puristusta saattaa johtua siitä, että kun jälkivalua valetaan kuorilaattojen päälle, niin koko rakenteen omapaino eli kuorilaattojen ja betonimassan omapaino kuormittaa käytännössä vain kuorilaattoja. Tästä johtuvat rakenteen taipumat tapahtuvat välittömästi, kun betonia valetaan pois lukien tietenkin virumasta aiheutuvat taipumat, jotka ovat siis pitkäaikaiskuormituksesta johtuvia taipumia, kun rakenne tavallaan väsyy. Taipumasta johtuen tai tarkemmin ottaen kuormituksesta, joka aiheuttaa taipumaa, rakenteeseen syntyy jännitystilanne, jossa alareuna on vedetty ja yläreuna puristettu. Tuore betonimassa ei kykene ottamaan vastaan puristusta, joten sillä hetkellä kun betonimassa saavuttaa suunnittelulujuutensa, ainoa puristusta aiheuttava kuormitus tulee hyötykuormasta. Hyötykuorma on rakenteen käytöstä aiheutuva kuormitus, kuten esimerkiksi ajoneuvokuorma. Hyötykuorma lasketaan suurimman mahdollisen kuormituksen mukaan, joten sen vaikutus ei ole jatkuvaa eikä se toteudu täysimääräisenä joka kerralla ja näin ollen halkeilua vähentävä puristuskaan ei olisi jatkuvaa (Kuva 38).



Kuva 38. Tukemattoman kuorilaatan kuormitustilanteet ja niistä aiheutuvat taipumat. Kuva: Ville Sikanen.

Yllä esitetty tapaus on mielestäni ehkä mielenkiintoisin asia koko tämän opinnäytetyön kannalta. BY58, joka on siis Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus eurocode 4 -oppikirja, ei kerro kovin tarkasti juuri tukemattoman rakennustavan jännitysjakaumista tai lähinnä kuormitushistoriasta. Kirjassa kerrotaan, että tukematonta rakennustapaa käytettäessä valettu betoni synnyttäisi alkujännitystilan sitä kantavalle rakenteelle. Tässä tapauksessa se olisi siis kuorilaatta. Siinä vaiheessa, kun betoni on kovettunut, niin lisäkuormat rasittavat liittorakennetta eli kuorilaatan ja pintavalun muodostaa liittolaattaa. Tämä lisäkuorma ei mielestäni ole enää rakenteen omapaino, sillä sen vaikutukset on jo tapahtunut rakenteelle. Lisäkuormalla tarkoitetaan todennäköisesti tässä tapauksessa nimenomaan hyötykuormaa, joka ei aiheuta pysyvää jännitystilaa rakenteelle, ellei sitten joku varastoi henkilöautoaan 50 vuodeksi kannen päälle liikuttamatta sitä kertaakaan. Tähän löytyisi varmasti järkeväkin selitys, mutta tämän opinnäytetyön aikataulupuitteissa en valitettavasti pysty perehtymään tähän tämän perusteellisimmin. Tämä jää tältä osin vain minun henkilökohtaiseksi pohdinnaksi.

Tästä huolimatta puristusta syntyy kuitenkin palkkien suunnassa, kun palkit on tuettu luontaisen käyristymän mukaan. Tämän suuntainen puristus ei kuitenkaan ehkäise kentässä tapahtuvaa halkeilua, ainakaan riittävästi, kuten tässä kohteessa on ilmennyt. Todennäköisesti palkkien suuntainen puristus jakautuu osittain myös kuorilaattojen suuntaan, mutta merkitys on mielestäni sen verran vähäinen, että halkeilua tulisi kuorilaattojen suunnassa ehkäistä jollain muulla tapaa, kuten yläpinnan raudoituksella myös kentässä.

Tässä kohteessa valulohkot ovat hyvinkin epäsäännöllisiä ja altistavat laatan erisuuruisille sekä -suuntaisille kutistumille. Mikäli valulohkot olisivat säännöllisen neliön muotoisia, olisi kutistumatkin samaa luokkaa joka suuntaan. Halkeamat ilmestyvät usein johonkin rakenteen lävistävän tai valulohkon muodon katkaisevan juureen tai kulmaan, josta halkeama sitten etenee sitä mukaan kun kutistuma jatkuu. Kuten on nähtävissä, niin halkeama 3 on lähtenyt etenemään kannen kaiteen sisänurkasta.

Halkeamat kohdassa 5 ovat myös kuivumiskutistumasta aiheutuvaa halkeilua. Halkeamien sijaintiin on ratkaisevassa roolissa ollut savunpoistoluukun aiheuttama epäsäännöllinen muoto betonille, jolloin betoni pyrkii halkeamaan nurkkien kohdalta. Savunpoistoluukku lävistää laattarakenteen ja tällä tavoin heikentää sitä. Aivan kuten aiemmin olen maininnut, niin halkeamat syntyvät yleensä sinne missä rakenne on heikoimmillaan ja tässä tapauksessa savunpoistoluukut ovat heikentäviä tekijöitä. Samalla lailla on todennäköisesti saanut alkunsa myös halkeama 6, savunpoistoluukun juuresta (Kuva 39).

Kuva 39. Kuva halkeamasta 6. Halkeama on lähtenyt liikkeelle kuvan ylälaidassa näkyvän savunpoistoluukun juuresta ja edennyt koko kentän halki. Kuva: Ville Sikanen.

Vastaavanlainen ilmiö on käynyt mielestäni halkeaman 4 kohdalla. Eli kaiteen sisänurkka muodostaa epäsäännöllisen valulohkon muodon, jolloin halkeama on todennäköisesti saanut alkunsa kyseisestä nurkasta ja edennyt siitä eteenpäin aina valulohkon toiseen päähän. Tätä on tosin hankalaa todistaa, kummasta päästä halkeama on saanut alkunsa, kun halkeamien syntyä ei tullut seurattua jälkihoidon aikana. Halkeamat huomattiin vasta jälkihoidon loputtua, eli kun suodatinkangas sekä muovi poistettiin. Mahdollista on myös, että halkeama on lähtenyt laatan pitkän sivun eli liikuntasauman reunasta. Liikuntasauma oli kuitenkin yli 20 metriä pitkä, jolloin kokonaiskutistuma on huomattavan suuri. Halkeaman 4 kohdalla puhutaan isoimmasta halkeamaleveydestä (Kuva 40).

Kuva 40. Kuvia halkeamakartan halkeamasta 4. Kuvat: Ville Sikanen.

Halkeama on noin 1 mm luokkaa, joten puhutaan jo rakenneosaa heikentävästä vaikutuksesta, kun halkeamaa pitkin vesi pääsee epäpuhtauksineen todennäköisesti syvälle rakenteeseen valumaan. Rakenteellisen säilyvyyden ja kestävyyden lisäksi halkeama on vielä esteettisesti erittäin silmiinpistävä.

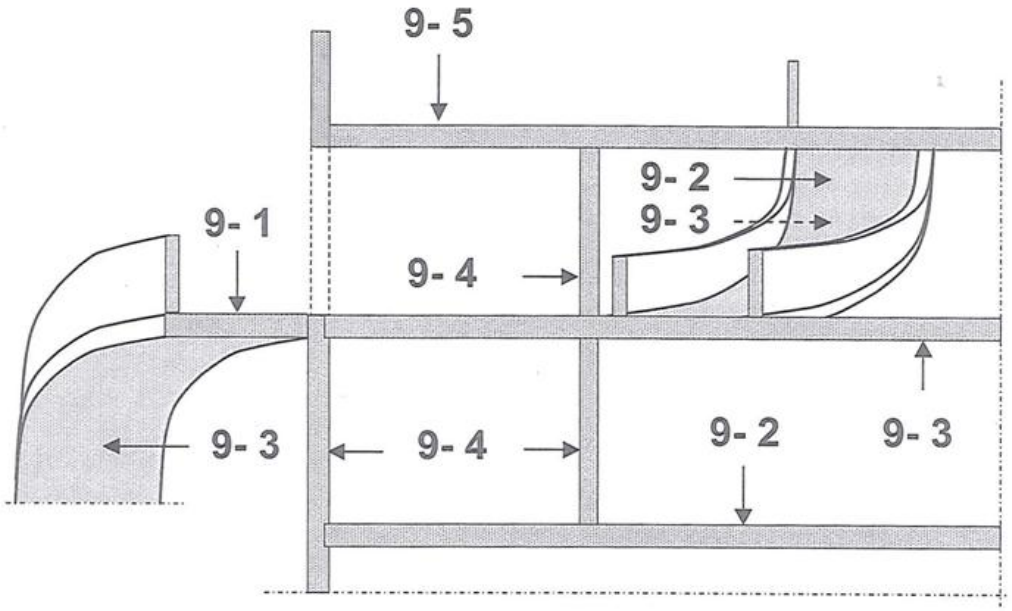
Huomionarvoista on mielestäni se, että betonin pinta oli jälkihoidon poiston aikana ja vielä siitä eteenpäin kostea eli liian nopeasta kuivumisesta ei voida mielestäni puhua. Tästä huolimatta juuri liian nopeasta pinnan kuivumisesta on halkeamien 2 ja 3 kohdalla todennäköisesti kyse. Halkeamat ovat siis mahdollisesti syntyneet jo ennen varsinaista jälkihoitoa ja olleet vielä siinä vaiheessa sen verran pieniä, ettei niitä oltu havaittu yleissilmäyksellä. Vasta ensimmäisen valulohkon jälkihoidon loputtua huomasimme ensimmäisen halkeaman (halkeama 4), jonka jälkeen tarkistimme muut lohkot ja siellä oli havaittavissa pientä halkeilua reuna-alueilla.

Yksi mahdollinen syy, tai lähinnä halkeilua edistänyt osatekijä, saattaa olla rasitusluokkayhdistelmän vaatima korkea lujuus betonille ja sitä kautta autogeeninen kutistuma on ollut suurta. Autogeeninen kutistumahan ei ollut riippuvainen kuinka paljon vettä betonimassassa on vaan kuinka paljon sitoutuvaa sementtiä massassa on kutistumassa. Korkea betonin lujuus vaatii enemmän sementtiä ja näin ollen kutistuma on suurta. Käytetty massa sisälsi sementtiä 486 kg/m^3, vettä 212 kg/m^3 ja notkistinta 0,8 %. Vesi/sementti-suhde oli tällä massalla noin 0,44 eli todella alhainen. Laskennallisesti sain tällaiselle massalle ulko-olosuhteissa (RH 70 %) noin 0,6 ‰ kokonaiskutistuman. Sen sijaan kuivissa olosuhteissa (RH 40 %) kokonaiskutistuma on jopa noin 0,86 ‰. [13, s. 26, kaava 2.10b.] Kyseisellä liikuntasauman pituudella kutistuma olisi tällöin jopa yli 17 mm. Kun tämän suuruinen kutistuma on estettynä, niin halkeamien syntyminen on hyvin todennäköistä. Myös valmisbetonitoimittajan Laatupäällikön mukaan käytetyn massan kokonaiskutistumat olisivat jopa 0,84…0,86 ‰ eli todella suuria, kun normaalisti puhutaan arviolta 0,5...0,7 ‰ kutistumista.

Kutistuma olisi olennaisesti pienentynyt, jos rasitusluokkayhdistelmää olisi löysätty ja sitä kautta vaadittu lujuus olisi pienempi. Kannen rasitusluokista kaikki kuuluvat kunkin rasituksen vaativimpaan luokkaan. Kloridirasitus (XD) ja jäätymis-sulamisrasitus (XF) asettavat kuitenkin määräävimmät ominaisuudet betonimassalle. Kannessa käytetty XC4, XD3, XF4 rasitusluokkayhdistelmä 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä on kuitenkin BY51:n mukaan tyypillisin kylmissä ja vähän liikennettä käsittävissä pysäköintitaloissa, joten mistään suunnitteluvirheestä ei voida tietenkään puhua. Valmisbetonitoimittajan

Laatupäällikkö totesi kuitenkin hänen kanssaan käymässäni sähköpostikeskustelussa, että rasitusluokkayhdistelmää XC4, XD2, XF3 on vastaavanlaisissa pysäköintitaloissa käytetty aiemminkin. Tosin sitä on käytetty enemmän jälkijännitetyissä holveissa kuin kuorilaattarakenteissa. Tämä yhdistelmä auttaisi jo huomattavasti, kun lujuutta voitaisiin pienentää C30/37. Sen verran mitä itse tutkin BY51:n esittämiä määritelmiä kullekin rasitusluokalle, niin XD2 ja XF3 voisivat täyttää tämän kohteen vaatimukset. Tosin XF3-luokan oletuksena on, että ei käytettäisi jäänestoaineita, jollaisia tulee lähes väkisinkin talvisin autonrenkaiden mukana. Kuitenkin ajorampeille ohjeistus sallisi XC4, XD2, XF3 rasitusluokkayhdistelmän ja olettaisin, että ajorampit ovat suuremman rasituksen alaisuudessa jäänestoaineiden ja tiesuolojen suhteen. Tutkimuskohteessa kantta ei tulla myöskään käytön aikana suolaamaan eli ainoastaan ajorampit olisivat auton renkaiden mukana tulevan tiesuolan rasittamia ja vähäisissä määrin myös kansi.

Koska kohteen autohallin kantta ei suolata, eikä kylmiä autohalleja ylipäänsä [27, s. 56], niin siellä olisi mielestäni riittänyt BY51:n ohjeistuksien mukaan rasitusluokkayhdistelmä XC4, XD1, XF3 (Kuva 39, taulukko 6.9a, rakenneosa 9-5b). Tämä olisi tuonut jo huomattavia etuja käytettyyn betoniin nähden. Ensinnäkin lujuusluokka olisi voitu pudottaa yhtä luokkaa alemmaksi, jolloin sementtiä ei tarvitse niin paljon. Toiseksi vesi/sementti-suhdetta pystyttäisiin kasvattamaan 0,45:stä 0,50:een, jolloin työstettävyys paranisi ja notkistimen käyttötarve vähenisi. Tämän tyyppisen massan kutistumatkin olisi varmasti siedettävää luokkaa. Mikäli käytetäisiin vähimmäissementtimäärä eli standardin SFS 7022:n mukaista 300 kg/m^3, olisi 0,50 v/s-suhteella vesimäärä 150 kg/m^3. Todennäköisesti notkistintakin voitaisiin hieman vähentää, mutta laskennallinen kutistuman vertailuarvo samalla notkistinmäärällä olisi noin 0,3 ‰. Tämä kuulostaa kylläkin hieman liian alhaiselta, mutta todellisuudessa sementtiä olisi vähimmäismäärää enemmän, johtuen alhaisesta maksimiraekoosta. Tästä syystä kutistuma-arvo kasvaisi hieman, mutta epäilen, että ei lähellekään 0,8 ‰ kutistumaa.



Taulukko 6.9a Rakenneosat ja rasitusluokkayhdistelmät.

Rakenne-osa	Rasitusluokka-yhdistelmä	Selite
9-1a	XC3,4; XD2; XF2	Sisäänajoramppi ja -taso 15 m sisääntulosta, ei suojausta. Pysäköintitason ja ajorampin yläpinta, joita suolataan, ei suojausta.
9-1b	XC3; XF1	Sisäänajorampin suojattu pinta
9-2	XC3,4; XD1, XF1	Pysäköintitason ja ajorampin yläpinta, joka ei kuulu luokkaan 9-1a
9-3	XC3; XF1	Pysäköintitason ja ajorampin alapinta
9-4a	XC3; XD1, XF1	Suojaamaton pystypinta 15 m sisääntulosta
9-4b	XC2; XF1	Suojattu pystypinta (vähintään 0,5 m korkeudelle) 15 m sisääntulosta, muu pystypinta
9-5a	XC4; XD3; XF4	Ylin, sateelle altis taso ramppeineen, joita suolataan
9-5b	XC4; XD1; XF3	Ylin, sateelle altis taso ramppeineen, joita ei suolata

Kuva 41. BY51:n mukaiset rasitusluokkayhdistelmät rakenneosittain kylmän ja vähän liikennettä käsittävän pysäköintitalon osalta [17, s. 64, kuva 6.9 ja taulukko 6.9a].

Betonoinnin osaltakin löytyy mielestäni hieman puutteita. Pumppukalusto oli alusta alkaen vaatimuksena työmaalla, johtuen lähinnä sen nopeudesta ja helppoudesta. Pumppu ajaa kuitenkin maksimiraekoon sen verran alas, että halkeiluriski kasvaa ja jouduttiin käyttämään notkeampaa betonia eli S3:a S2:n sijaan. Mikäli työmaalla olisi ollut valun aikana nosturi, niin nostoastiavalu olisi ollut vaihtoehto. Tietenkin valutyöryhmä tulee tässä kohtaan kyseeseen. Lähinnä kuinka jäykällä massalla pystyy vala-

maan. Tämäkin asia on sellainen, että sen ei pitäisi tuottaa ongelmia, sillä ei kyseisellä betonimassalla nyt täysin mahdotonta ole saavuttaa lähes halkeamatonta lopputulosta. Mitä isompi halkeiluriski syntyy jo massan valinnassa, niin sen tarkempaa ja huolellisempaa pitää olla työsuoritus.

Koska halkeamat ovat pääosin kentissä, joissa ei käytetty työnaikaista tuentaa, on mahdollista, että osuutta halkeamien syntymiseen on ollut kuorilaattojen jännepunosten liukumalla. Jännepunosten liukuma aiheuttaa kyseisen punoksen toimimattomuuden kuorilaatassa ja näin ollen saattaa heikentää olennaisesti kestävyyttä ja lisätä rakenteen taipumaa. Liukumaa pääsee syntymään, kun kuorilaatat valetaan tehtaalla maakostealla betonimassalla, jollaisen tiivistäminen on haastavaa. Tästä syystä tehtaalla käytetäänkin koneellista tiivistystä. Koneellinen tiivistys on lähtökohtaisesti hyvin varma toimenpide, mutta epäkuntoon päästessään saattaa jännepunokset jäädä ilman riittävää tartuntaa kuorilaatan sisällä. Tämä tartunnan puutteellisuus johtaa jännepunoksen jännityksen purkautumiseen ja sitä kautta kyseinen punos ei toimi suunnitellulla tavalla.

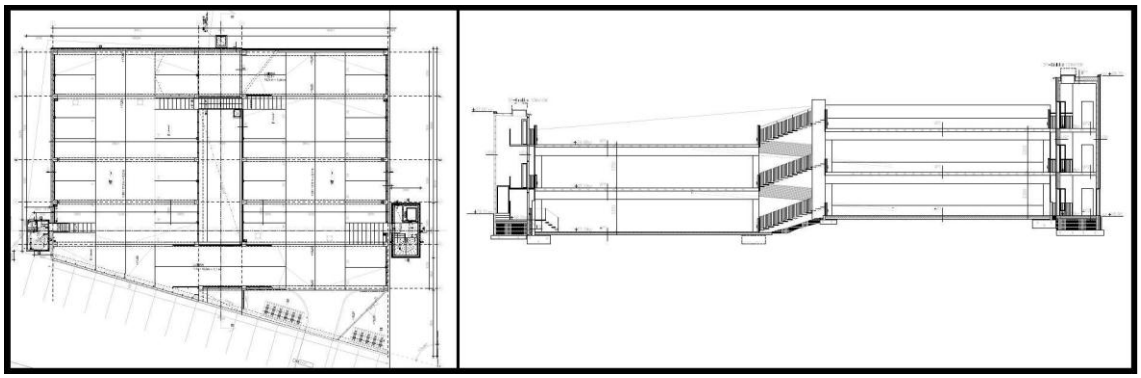
Se, että kuinka suuri vaikutus 1-2 punoksen liukumalla on koko kuorilaatan toimintaan, pitäisi todentaa testauksilla. Kohteen punossuunnittelijan mukaan, sallitun liukuman raja-arvon ylittävä punos jätetään laskennallisesti kokonaan huomiotta, vaikka sillä olisikin tartuntaa rakenteessa. Laskennallinen vaikutus saattaa näin ollen olla huomattavakin. Todellisuus sen sijaan voikin olla sitten toista. Punosten liukuma ja sen aiheuttama muutos kuorilaatan jäykkyyteen ilmenisi kuorilaatan alapinnan halkeiluna, jollaisia ei kuitenkaan havaittu yhdessäkään kuorilaatassa. Toisaalta ainakin itse huomasin, kun kuorilaattoja asenneltiin, että muutama kuorilaatta saattoi jo pelkästä kävelystä sen päällä taipua huomattavasti. Pisti vain ajattelemaan, että mitä sitten, kun päälle valetaan huomattavasti raskaampaa betonia. Siinä kohtaa en tosin ajatellutkaan kyseistä ilmiötä vaan luotin tehtaan tarkastukseen tuotteen toimivuudesta. Toinen vaihtoehto voi olla, että kyseiset laatat ovat olleet hieman ohuempia kuin muut. Punossuunnittelijan mukaan myös muuten jo valmiiksi ohuissa kuorilaatoissa jopa 10 mm ohennus saattaa vaikuttaa olennaisesti jäykkyyteen. Onhan 10 mm sentään jo prosentuaalisesti iso osuus koko kuorilaatan paksuudesta. Tässä on kuitenkin hyvä tarkastus elementtiasennustyönjohtajalla työmaalla varmistaa, että kuori- tai ontelolaattojen liukuma on sallituissa raja-arvoissa sekä paksuus on suunnitelmien mukainen, vaikkakin ne tehtaalla pitäisi tarkistaa ennen toimitusta.

Kannen raudoituksesta kohteen halkeilut tuskin johtuvat. Jos jotain tarvitsisi mainita, niin olisiko halkeamia syntynyt ollenkaan, mikäli raudoitus olisi ollut kauttaaltaan myös pinnassa? Mahdollisesti ei, mutta kun rakenne on suunniteltu toimimaan kentässä yläpinnastaan puristettuna, niin ei silloin edes minunkaan mielestäni ole tarvetta lisätä rautaa sinne missä sitä ei tarvita. Kuitenkin vastaavilla rakenteilla on varmasti onnistuneitakin kohteita toteutettu, kuten Helsinki-Vantaa-lentoaseman pysäköintilaitos. Mikäli siis rakenne olisi toiminut suunnitellusti, niin tuskin olisin tekemässä tätä opinnäytetyötä. Syytä taas siihen miksi rakenne ei toiminut, on hyvin vaikea selvittää näin jälkikäteen tai minun tietämykselläni liittorakenteista.

Mielestäni tästä luvusta voidaan jo päätellä, että kohteen halkeamiin ei ole yhtään yksittäistä syytä, joka tekemällä jatkossa toisin saataisiin halkeamaton autohallin kansi. Kyseinen rakenne on jo sen verran haastava ja monimutkainen kokonaisuus, että todennäköisesti puhutaan hyvin pienistä yksityiskohdista, jotka yhdessä muodostivat toteutuneen halkeiluriskin. Yhteenvetona kuitenkin esittäisin, että halkeamat 2 ja 3 johtuvat jälkihoidosta ja halkeamat 1, 4, 5 ja 6 ovat rakenteellisista asioista johtuvia, johon vaikuttaa olennaisesti massan valinta, valulohkojen muoto ja raudoitus. Kaikki olivat haastavia tässä kohteessa.

4.2 Vantaa, Tikkurila

Toinen tutkimuskohde tai tarkemmin vertailukohde sijaitsee Jokiniemen asuinalueella Vantaan Tikkurilassa. NCC Rakennuksen asuntorakentamisen yksikkö alkoi rakentaa vuonna 2013 alueelle kerrostaloa, joka on yksi alueen 5 tulevasta kerrostalosta. Näiden viiden yhtiön yhteyteen tulee rakenteille vielä yhteinen 105 autopaikkaa käsittävä avoin 3-kerroksinen autohalli (Kuva 42).



Kuva 42. 1 kerroksen pohjakuva ja koko autohallin leikkauspiirustus [14].

Koska tämä kohde ei ole edennyt vielä riittävän pitkälle, niin siitä on tämän opinnäytetyön aikana olemassa vain urakkalaskentaa varten tehdyt suunnitelmat. Kansirakenteesta ei ole muuta mainintaa, kuin että se on myös vastaavanlainen Keravan autohallin kanssa eli kuorilaatta yhdistettynä pintavalulla. Tämän enempää ei varsinaista vertailua pysty tekemään, mutta sen sijaan pyritään kohdistamaan toimenpide-ehdotukset sekä tarkastuslistan kohdat Tikkurilan kohteeseen mahdollisimman hyvin soveltuvaksi.

5 Toimenpide-ehdotukset

Seuraavassa esitellään muutamia tämän työn aikana esille tulleita ehdotuksia, joita kannattaa harkita, kun tulevia vastaavanlaisia kohteita tulee vastaan. Ehdotukset perustuvat lähinnä jo olemassa oleviin ohjeistuksiin ja normeihin, eikä tässä tule esille varsinaista uutta tietoa. Lähinnä yritän tuoda esille vain huomionarvoisia seikkoja, joilla pienennettäisiin halkeiluriskiä ja parannettaisiin mahdollisuuksia hieman kokemattomammankin työnjohtajan onnistumiseen, ettei jokaisen tarvitsisi opetella uudelleen aina niin sanotusti kantapään kautta. Nämä asiat ovat myös omalla tavallaan tämän opinnäytetyön lopputuloksia, jotka tietenkin tiivistettynä tulevat lopuksi esitettävään tarkastuslistaan.

5.1 Tuentasuunnitelma

Tuentasuunnitelman osalta painottaisin selkeyttä. Työnjohtajan kannattaa ja tulee vaatia suunnittelijalta lisäselvityksiä, mikäli jokin kohta on epäselvä. Tällaisessa liittorakenteessa kun taipumat ja niiden synnyttämät ongelmat voivat olla oleellisiakin rakenteen

toiminnan kannalta eikä niitä tule vähätellä. Suunnitelmassa tulisikin olla tukirakenteen vaatima kuormituskestävyys sekä sijainti eli millaiselle kuormalle kukin tukipiste tulee työmaan suunnitella ja mihin kohtiin. Todellisuudessahan kalusto varataan sen mukaan millaisen kestävyyden valmistaja antaa millekin kalustolle ja vertaa sitä suunnittelijan määrittämään kuormaan. Ihanteellisintahan olisi, jos suunnittelija olisi suunnitellut jo valmiiksi millaisella kalustolla ja minkälaiset kiinnitykset tuettaviin rakenteisiin sekä miten otetaan huomioon, jos tuenta joudutaan ottamaan maanvaraan, jolloin maan painuminen tulisi ottaa huomioon. Isoimmissa kohteissa uskoisin, että nämä asiat ovat jo hyvin hallussa, kuten oli tämänkin aiheena olevan kohteen kanssa.

Historiassa on kuitenkin tapauksia, joissa tällaiset asiat eivät olleet aivan kunnossa. FISE Oy:n ylläpitämässä rakennusvirhepankissa on tapaus, jossa vastaavanlaisen kohteen puutteellinen työnaikainen tuenta johti kannen erittäin suuriin taipumiin, joista suurimmat jopa 130 mm. Kyseessä oli samanlainen jännebetoniliittopalkin, kuorilaatan ja valettavan laatan muodostama liittorakenne. Suunnittelijan suunnittelema tuenta ei varsinaisesti ollut puutteellinen, mutta palkkien tuenta oli esitetty palkkien raudoitussuunnitelmassa, joka ei kuulu työmaan normaaleihin työpiirustuksiin. Näin ollen työmaalla ei ollut minkäänlaista tietoa palkkien tuennasta. Ainoastaan kuorilaattojen tuenta oli tiedossa. Suosittelen tutustumaan tapaukseen. Hyvin opettavainen, mikäli työskentelee liittorakenteiden parissa. [28.]

Alkuperäisenä tavoitteena oli löytää tähän sellainen ratkaisu, että tuettu rakennustapa olisi suositeltavampaa, mutta tutkittuani aihetta enemmän, olen todennut molempien tapojen olevan toimivia. Jos verrataan Keravan 2-kerroksista autohallia Tikkurilan 3-kerroksiseen, niin helpointa, ellei jopa ainoa vaihtoehto olisi suunnitella kuorilaattakentät tukemattomina. Tämä siksi, että kahden ylimmän tason tuennan toteuttaminen olisi haastavaa, kun laattarakenteen paino pitäisi tukirakenteilla siirtää alemman aiemmin valetun laatan päälle. Toinen syy on myös se, että tukematonkin tapa on aivan mahdollista toteuttaa onnistuneesti.

5.2 Betonilaadun valinta

Betonilaadun valinta on hyvin todennäköisesti yhdessä betonoinnin kanssa se haastavin. Kohteet tuskin ovat usein samanlaisia, joten ehdoton asia olisi käydä kunkin kohteen ominaiset vaatimukset läpi aina yhdessä työmaan, suunnittelijan, valmisbetonitoi-

mittajan sekä valutyöryhmän kanssa. Näin varmistetaan optimaalisin vaihtoehto jokaiselle kohteelle ja turhat ylilyönnit ja pahimmillaan alitukset ehkäistään.

Tulevaa kohdetta silmällä pitäen ehdottaisin tarkastamaan rasitusluokat. Mikäli tosiaan rasitukset ovat sellaisia, että vaaditaan vaativimmat rasitusluokat, niin sen mukaan sitten mennään. Hyvä pitää kuitenkin mielessä, että muutaman luokan löysentäminen ohjeellisista saattaa tuoda jo huomattavia etuja toteutukseen. Huomiota kannattaa kiinnittää myös notkeusluokkaan. Mitä jäykempää betoni on, sen pienempi riski halkeiluun. Tästä saa todennäköisesti keskustella valutyöryhmän kanssa, mutta halutun lopputuloksen tulisi kuitenkin ratkaista asia. Ei mieltymykset mukavimmasta toteutustavasta. Tietenkin työturvallisuus ja -ergonomia huomioon ottaen.

Ehdotukseni olisi notkeusluokka S2, mikäli valutapa mahdollistaa sen. Alhaisempi lujuusluokka, joka saataisiin kevyemmillä rasitusluokilla sekä tietenkin maksimiraekoon kasvattaminen. 16 mm maksimiraekoko on toisaalta kuitenkin laattarakenteissa aika tavanomainen, joten tätä tuskin kannattaa kasvattaa, jotta valutavan valinta helpottuisi. Mikäli käytössä on pumppukalusto, niin suunnittelee valut mahdollisuuksien mukaan siten, että ei tarvitse vetää linjaa eli voidaan pudottaa suoraan puomin päästä muottiin. Tämä saattaa tarkoittaa isompaa pumppua, kuin normaalisti olisi tarvetta, mutta isomassa pumpussa on pidempi puomi, jolloin ulottumat saattavat ollakin samaa luokkaa kuin pienellä pumpulla ja linjavedolla. Linjavetoa ei mielestäni tulisi muutenkaan käyttää, ellei ole aivan pakko, kuten sisätiloissa usein. Mietinnän arvoinen asia.

5.3 Raudoitus

Raudoitus on jäänyt tässä työssä hieman vähäiselle. Johtuen varmaankin siitä, että en ole katsonut sen olevan kovinkaan merkittävä tekijä ilmaantuneiden halkeamien kannalta. Kuitenkin raudoitusta oli tuilla eli palkkien ylityksissä, missä pitääkin olla sekä jakoraudoitus alapinnassa. Jos laitettaisiin kauttaaltaan yläpintaan raudoitus, sen vaikutuksella hallittaisiin paremmin syntyvien halkeamien laajuutta ja kokoa. Halkeilua se ei varsinaisesti estä, mutta sen vaikutusta halkeilun ehkäisyyn on kuitenkin turha kiistää [29, s. 351]. Mikäli raudoitus on asennettu oikealle etäisyydelle pinnasta siten, että vaaditut suojaetäisyydet täyttyvät, en näkisi siinä mitään ongelmaa ja ehkäisisi hyvin todennäköisesti halkeilua. Tämän kohteen kanssa oli korko-ongelmista johtuen hieman

haastavaa saada yläpinnan teräkset oikealle etäisyydelle, mutta halkeamia ei kuitenkaan ollut palkkien kohdilla.

Ehdotukseni tähän olisi yläpintaan raudoitus sekä tarvittavat kutistumaraudoitukset kaikkiin nurkkakohtiin sekä läpivientien ympärille. Toinen vaihtoehto olisi lisätä kuituja betonin sekaan siten, että se ei korvaisi rakenneteräksiä, vaan toimisi vain yhdessä rakenneteräksien kanssa halkeilua vastaan. Tällä tavalla kuituja ei tarvitsisi olla välttämättä niin paljon ja hintakin tasoittuisi. Lisäkustannus se kuitenkin olisi. Siitä ei pääse mihinkään, mutta uskoisin, että mikäli tällä tavalla päästään halkeamattomaan kansirakenteeseen, niin kasvaneet betonin kustannukset ovat pienemmät kuin mitä halkeamien korjaaminen maksaa. Saati sitten miltä se asiakkaan silmissä näyttää, kun korjaillaan uutta rakennusta. Sille voi jokainen miettiä rahallista arvoa.

5.4 Betonointi

Betonointi on erittäin haastava osuus. Olosuhteiden, mutta myös työnsuorituksen hallinta vaatii huolellisuutta ja joskus jopa hieman onneakin, jos ollaan säiden armoilla. Tosin mitä paremmin suunniteltu, sen vähemmän onnelle jää useimmiten sijaa. Kokemus auttaa tässäkin asiassa.

Betonoinnista totean, että kun noudattaa olemassa olevia ohjeistuksia ja panostaa ennakkosuunnitteluun, niin suurimmilta ongelmilta vältytään varmasti. Kannattaa panostaa olosuhteiden hallintaan paljon. Jälkihoitoon ja varsinaiseen betonointiin löytyy kyllä hyviä ohjeita, mutta olosuhteiden hallinta poikkeaa usein paljonkin kohteiden välillä. Jossain pystytään valamaan suojassa tuulelta ja auringolta, jossain taas pitää itse kehitellä suojaa, jotta olosuhteet olisivat otolliset valulle. Toki vaihtoehtona on myös odotella otollisia sääoloja, mutta harvemmin on niin paljon aikaa käytössä, että voisi vaikka viikon tai kaksi odotella sateen loppumista tai pilvistä säätä.

Yksi ehdotus Tikkurilan autohalliin olisi hyvä, kun sinne kerran tulee useampi kerros, että julkisivut peitettäisiin kevytpeitteillä tai muulla vastaavalla valujen ajaksi. Näin saataisiin valut suojaan tuulelta ja auringolta ja ainakin plastinen kutistuma olisi pientä. Kuivumiskutistumaa hallitaan sitten hyvällä jälkihoidolla ja massan valinnalla.

5.5 Jälkihoito

Mielestäni tutkimuskohteessa käytetty jälkihoitotapa oli hyvä, mutta yksi asia mihin puuttuisin entistäkin tarkemmin, on varsinaisen jälkihoidon aloitusajankohta tai lähinnä milloin se on levitettynä. Kohteessa muutamat halkeamat ovat todennäköisesti aiheutuneet liian myöhäisestä jälkihoidosta. Isojen valulohkojen kohdalla jälkihoito tulisi päästä aloittamaan jo hyvissä ajoin hierron päätyttyä ja ruiskutettavan jälkihoidon levityksen jälkeen. Mikäli hierto saadaan jo valupäivänä hyvissä ajoin suoritettua, niin seuraavaan aamuun voi olla hyvinkin pitkä aika, missä välissä betoni pääsee kuivumaan.

Ehdottaisinkin joko soveltamaan jonkinlaista kastelujärjestelmää ennen varsinaisen jälkihoidon aloitusta tai sitten odotellaan niin kauan kunnes pinta kestää suodatinkankaan levityksen sitä pilaamatta. Myös ruiskutettavan jälkihoitoaineen levitys tulisi suorittaa huolellisesti siten, että ainetta on oikeasti koko betonin pinta-alalla tasaisesti.

6 Päätelmät

6.1 Yhteenveto

Liittorakenne on yksi haastavimmista rakenteista sekä suunnitella, mutta myös toteuttaa. Tästä syystä yhteistyö eri osapuolten kanssa tulee toimia, jotta lopputuloksesta saataisiin mahdollisimman hyvä ja käyttötarkoitukseensa soveltuva, mutta ennen kaikkea kestävä rakenne.

Kuten betonirakenteissa yleensä, halkeilun välttäminen on todella hankalaa, jopa kokeneimmillekin tekijöille. On kuitenkin muistettava, että halkeilu on enemmänkin betonin ominaisuus. Siispä ei ole täysin väärin ajatella, että betoni halkeaa aina. Kysymys kuuluukin, mitä asialle aikoo tehdä vähentääkseen sitä. Tässä astuu ensimmäisenä suunnittelija kuvioihin, jolla on erittäin suuri rooli halkeilun välttämisessä. Rakenteellisesti halkeilua voidaan välttää asianmukaisella mitoituksella ja suunnittelemalla rakenteet siten, että mikäli muodonmuutokset ovat jollain tapaa estetty, niin halkeamat syntyisivät sellaisiin kohtiin, joissa niitä voidaan vielä sallia, kuten sahasaumat ja liikuntasaumat.

Toteutuksen osalta olosuhteiden hallintaa ei voi liikaa korostaa. Vaikka itse betonointi suoritettaisiin ohjeiden mukaisesti, niin lopputulos tuskin tulee olemaan hyvä, mikäli olosuhteet betonin kovettumiselle eivät ole asianmukaiset. Betonityöt ovat kuitenkin loppujen lopuksi haastavia, oli rakenne minkälainen tahansa. Kaikkien mahdollisten asioiden huomioon ottaminen vaatii kokemusta ja osaamista, niin tekijöiltä kuin suunnittelijaltakin.

Vastuunjako suunnittelijan ja työmaan välillä on yksi huomionarvoinen asia. Ensisijaisesti suunnittelijan vastuulla pitäisi olla vain asettaa vaatimukset rakenteelle. Ei puuttua kovinkaan yksityiskohtaisesti varsinaiseen työnsuoritukseen työselityksissä. Työmaan tehtäväksi jäisi näin ollen vain miettiä toimintamenetelmät, joilla päästään suunnittelijan asettamiin vaatimuksiin. Usein voi olla, että työmaalla on jo vakiintunut käytäntö toteuttaa tietynlaisia rakenteita onnistuneesti suunnitelmien mukaisesti. Mikäli suunnittelija puuttuu näihin käytäntöihin siinä määrin, että työmaa joutuu muuttamaan tutuksi tulleita toimintatapoja, niin epäonnistumisen riski kasvaa hyvistä ohjeistuksista huolimatta. Tämä on olennaista siksi, koska selkeä vastuunjako on perusedellytys hyvälle lopputulokselle. Toiseksi se selkeyttää korvausvelvollisen selvittämistä virhetilanteessa. Loppujen lopuksi joku kuitenkin maksaa korjauskustannukset. Tästä huolimatta suunnittelijan ja työmaan välinen yhteistyö tulisi toimia myös toteutuksen aikana siinä määrin, että mikäli työmaa tarvitsee ohjeistusta tai tarkennuksia työnsuoritukseen, niin se tehtäisiin yhteistyössä suunnittelijan ja työmaan kesken. Tällä tavalla mahdollistettaisiin paremmin onnistunut lopputulos, kun on huomioitu myös työmaalle tutuksi muodostuneet toimintatavat.

Vaikka otinkin esille monia suunnitteluun liittyviä asioita, en voi jättää täysin huomiotta työsuoritukseen liittyviä kohtia. Kovasti tekisi mieli sanoa, että jälkihoitoa ei voi ainakaan syyttää, mutta todisteet ovat valitettavasti kiistattomat tämän suhteen. Kyseiset plastisen kutistuman aiheuttamat halkeamat johtuvat pääasiassa huonosta jälkihoidosta. Tosin, vaikka jälkihoito olikin tehty mielestäni normaalia paremmin, mutta käytetty betoni oli alhaisen vesi/sementti-suhteen ja korkean lujuuden takia hyvin anteeksiantamaton pienille työvirheille, jotka normaalitapauksessa eivät välttämättä olisi haitanneet millään tavalla. Huolimatta korkeista kutistuma-arvoista ja mahdollisesti suurista rasitusluokista, suunnitelmat olivat tämän työn tutkimuskohteessa kuitenkin toteutuskelpoisia ja ohjeiden mukaisia. Eikä asia siitäkään kyllä jäänyt kiinni, ettei asioita olisi pohdittu yhdessä etukäteen. Uskoisin, että normaalia tarkemmin huomioitiin eri asioita.

Ei pelkästään sen takia, että kyseessä oli 1-luokan rakenne ja oli pakko, vaan myös kaikkien halusta saada aikaiseksi laadukas lopputulos.

6.2 Tavoitteiden toteutuminen

Tavoitteet tämän työn osalta täyttyivät ja ehkä jopa ylitettiin alussa asetetut odotukset. Kuten olin itse pohtinut ennen työn aloittamista, niin yhtä tai kahta selkeätä syytä siihen, miksi kyseinen kansirakenne halkeili, ei ole. Tästä syystä rajan vetoa siihen kenen syy tai mikä ylipäänsä aiheutti halkeamat, on hankalaa tehdä. Sen sijaan monia hyvinkin mahdollisia syitä tuli esille. Ehkä jopa enemmän kuin mitä olin ajatellut. Osasyy tähän on varmasti se, että oma henkilökohtainen tietämykseni betonirakenteista ja liitorakenteista kasvoi mielettömän paljon tämän työn aikana. Tämän takia osasin ottaa kantaa ja miettiä tapahtuneita hieman useammalta kantilta kuin ennen työn aloittamista.

Aina pitäisi kuitenkin löytää jotain parannettavaa ja sitä tästäkin työstä mielestäni löytyy. Työn alkaessa tarkoituksena oli hyödyntää onnistuneiden kohteiden toimintatapoja ja päästä vertailemaan niitä tämän työn tutkimuskohteeseen. Tiukasta aikataulusta johtuen en ehtinyt valmistelemaan riittävän ajoissa sellaisia kysymyksiä, jotka olisivat olleet oleellisia tämän työn kannalta. Jokaisella on kuitenkin jonkinlainen käsitys betonista ja sen käyttäytymisestä, mutta kun kyseessä on nimenomaan liittorakenteiden halkeiluun liittyvät asiat, joista olisi pitänyt päästä keskustelemaan. Minulle henkilökohtaisesti tämän aiheen pääkohdat avautuivat kunnolla vasta hyvin loppuvaiheilla tätä työtä tehdessä, joten aikaa niiden esille tuomiseen ja keskustelemiseen kokeneempien suunnittelijoiden tai betonityönjohtajien kanssa jäi vähäiselle.

Loppujen lopuksi työstä saatiin kuitenkin aikaiseksi tarkastuslista tulevaa autohallikohdetta varten, jotta osataan ainakin ottaa huomioon tämän työn aikana tulleet huomiot, joilla on varmasti ollut oma osuutensa halkeamien syntymiseen. Tarkastuslista on tosin tämä työn valmistuessa vielä hieman puutteellinen ja vaatii lopullisten työpiirustusten valmistuttua muokkauksen Tikkurilan kohteeseen soveltuvaksi.

6.3 Jatkokehitys

Jatkokehityksenä olisi mielestäni tarpeen tutkia enemmän jännepunosten liukuman vaikutuksia tukemattoman liittorakenteen käyttäytymiseen. Lähinnä kuinka merkittäviä vaikutuksia sillä pahimmillaan voi olla tai tapauksessa, joka on todennäköisintä nykyisillä laadunvarmistustoimenpiteillä mahdollista toteutua. Käytettäessä tuettua rakennustapaa liukumalla tuskin on kovin suurta merkitystä, koska tukien poiston jälkeen rakenne toimii jo liittorakenteisena ja näin ollen taipumat ovat riippuvaisia koko rakenteen eikä vain kuorilaatan jäykkyydestä. Tätä on todennäköisesti tutkittukin, mutta se on jäänyt itseltäni vielä pimentoon, koska se tuli esille vasta loppuvaiheessa tätä työtä tehdessä.

Myös tukemattoman rakennustavan vaikutuksia liittorakenteen jännitysjakaumaan olisi mielestäni syytä tutkia tarkemmin. En saanut tämän opinnäytetyön aikana oikein perusteellisesti tutkittua tapausta, jota käsittelin luvussa 4.1.4 pikaisesti. Eikä BY58 Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus -oppikirja antanut selkeää kuvaa kyseisestä asiasta.

Kolmas tutkimus olisi mielestäni kuitujen käyttö kansirakenteiden halkeilun estämiseen. Uskoisin, että sillä olisi hyvinkin paljon vaikutusta, mutta taitaa vielä toistaiseksi jäädä kustannusten jalkoihin. Tätä asiaa tuli itse asiassa pohdittua kohteen kansivalua suunnitellessa ja olisi ollut mielestäni kokeilemisen arvoinen asia.

Lähteet

1 Teräsrakenneyhdistys ry, Suomen Betoniyhdistys ry. 2012. Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus, eurocode 4 -oppikirja BY58. Helsinki: BY-Koulutus Oy, Teräsrakenneyhdistys ry.

2 1-luokan betonityönjohtajan pätevöityskoulutusmateriaali.

3 Elementtisuunnittelu.fi. Verkkosivut. http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/liittorakenteet. 25.3.2010. Luettu 26.3.2014.

4 Peltomaa, Mikko. 2008. Betoni-Teräs –Liittorakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

5 Simola, Leena-Kaisa. 2008. Optimaalinen pysäköintitalo tuoteosakauppana. Betoni-lehti 3/2008, s. 58–61.

6 Simola, Leena-Kaisa. 2008. Helsinki-Vantaan pysäköintitalo P3 kaksinkertaistaa paikoitustilansa. Betoni-lehti 3/2008, s. 62–67.

7 Tiehallinnon artikkeli vihantasalmen sillasta. Verkkodokumentti. http://alk.tiehallinto.fi/hanke/vsalmi.htm. Luettu 20.2.2014.

8 Yleiskuva vihantasalmen sillasta http://www.ponvia.fi/Tietoikkunat/vihantasalmi.htm. Luettu 20.2.2014.

9 Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2005. SFS-EN 1994-1-1. Eurokoodi 4: Betoni-Teräs –Liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

10 Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004 BY201. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

11 Rudus Oy. Betonin valinta rakenteisiin – olosuhdehallinta. Verkkodokumentti. http://www.rudus.fi/Download/25808/Betonin%20valinta%20rakenteisiin%20-%20olosuhdehallinta.pdf. Luettu 5.3.2014.

12 Finnsementti Oy. Suomalainen sementti. Verkkodokumentti. http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS_Suomalainen_sementti_kirjanen_071112.pdf. Luettu 27.3.2014.

13 Suomen Betoniyhdistys ry. 2012. Betoninormit 2012 BY50. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

14 Tutkimuskohteiden rakennepiirustuksia.

15 Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2011. SFS 7022. Betoni. Standardin SFS-EN 206-1 käyttö Suomessa. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

16 Punkki, Jouni. 2004. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Betoni-lehti 4/2004, s. 36–41.

17 Suomen Betoniyhdistys ry. 2007. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007 BY51. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

18 Suomen Betoniyhdistys ry. 2002. Betonilattiat 2002 BY45. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

19 Face Consultants Ltd. Verkkosivut. Kulutuskestävyyden mittaus. http://www.face-consultants.com/abrasion-testing/abrasion-testing.aspx. Luettu 28.3.2014.

20 Aho, Tapio. 2000. Betonilattioiden kulutuskestävyyden valinta. Betoni-lehti 4/2000.

21 Rudus Oy. Rudus koulut. Betonikoulut osa 3. http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-3-betonin-valinta. Luettu 5.3.2014.

22 Kuvia painumakartiomittauksista. http://www.fardigbetong.se/produkter-tjanster/konsistensklasser.asp. Luettu 22.11.2013.

23 Kuva valuhihnasta. http://www.valuetech.ie/uploads/images/showtime_1/st_3.jpg. Luettu 18.4.2014.

24 Kuva lattian sahasaumasta. http://piimat.files.wordpress.com/2013/03/sahasauma.jpg. Luettu 25.2.2014.

25 Rudus Oy. Ohjeet: Betonityömaaohje.

26 Kuva pakkasrapautumisesta. http://www.roberts-seymour-group.com/2012/04/freeze-thaw-damage-to-portland-cement.html. Luettu 7.4.2014.

27 Aho, Olli. 2008. Elementtirakenteinen pysäköintilaitos. Betoni-lehti 3/2008, s. 56–57.

28 FISE Oy. Rakennusvirhepankki: Liittorakenteen puutteellinen työnaikainen tuenta. http://www.fise.fi/default/media/www/rakennusvirhepankki/valmistus/betonirakenteet/rvp_v_be_23__liittorakenteen_puutteellinen_tyonaikainen_tuenta?__EVIA_MEDIA_PATH_DOWNLOAD. Luettu 13.3.2014.

29 Leskelä, Matti V., Suomen Betoniyhdistys ry. 2005. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005 BY210. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

BETONOINTIPÖYTÄKIRJA

Juokseva numero: 1 Piirustusnumero: RAK 2003
Urakoitsija: NCC Rakennus Oy Tilavuus; (bet m^3) laskettu: 80 m^3
Työmaa: 11803 Tervaspuu / 11804 Tervamiilu toteutunut: 74 m^3 ⇒ "hukka": 1 m^3
Betonityönjohtaja: Mikko Mäkelä, 1-luokan betonityönjohtaja.

Betonoitu osa: Autohallin kansi 1/3, liitteenä kuva valetusta alueesta. Päivämäärä: 16.08.2013
Betonointi alkoi klo: 9:30 päättyi klo: 15:30 Betonointiaika yhteensä: 6 h
Keskeytykset yhteensä: 0,5 h
Tehokas työaika: 5,5 h
Betonointinopeus: 12,3 m^3/h

BETONI
Betonin lujuus- ja rakenneluokka: K 45-1 Betonimassan toimittaja: Rudus Oy
Betonin notkeusaste: S3 Toimittajan yhteyshlö:
Maksimi raekoko: # 16 mm
Käytetty sementti ja –määrä: ☐ 32,5 ☐ 32,5R ☒ 42,5 ☐ 42,5R V/S 0,45
Lisäaineet: Glenium 51/17,5 %, 0,800 %
Micro-Air 0,013 %
Erityisvaatimukset: Kulutuskestävyysluokka (by 45): 3
Tasaisuusluokka: C
Pakkasenkestävyys: ☒
Vesitiiveys: ☒
Rasitusluokat: XC4, XD3, XF4
Betonin koostumuslomake, numero(t): 638744-638749 Kuormakirjat liitteenä: ☒
Betoniannoksia: 11 kpl Betoniannos: ~7 m^3
Valmistettu betonimäärä: 74 m^3 Betonointinopeus: 12,3 m^3/h

Betonointikalusto: ☒ pumppu ☐ nostoastia ☐ hihna ☐ kottikärryt ☐ muu, mikä _____
Tiivistämiskalusto: ☒ sauva x 2 ☐ tärypalkki ☐ muottitärytys ☐ muu, mikä _____

Sääolot: ☒ sade (lievä kuuro) ☐ auringonpaiste ☒ tuulinen ☒ pilvinen
Ilman lämpötila betonointipaikalla: alussa: +15 °C lopussa: +22 °C

Betonimassan lämpötila: toimitettaessa 23 °C peittäessä: 35 °C

Betonointityökunta: 6 RAM + pumppari Työtunteja yhteensä: 36 h

Puristuslujuuskoekappaleet (by15:63): Tekijä: Rudus Oy ☐ vertailulaskelma liitteenä
Koetusikä: ☐ 3 d ☐ 7 d ☒ 28 d ☐ 91 d
Koetulokset:

JÄLKITYÖT ☒ pinnanhierto hierron aloitus klo 14:00 kesto 180 min
☒ kastelu; miten ennen peittämistä suodatinkankaan kastelu
☒ jälkihoitoaine; mikä Korotex levitystapa: Paineruisku
levityskerrat: 2
Suojausaika: 14 vrk suojaustapa: Suodatinkangas + kastelu + muovi

Jäätymislujuus: Jäätymislujuus (5MPa) saavutettu, pvm _____ klo: _____

Purkulujuus: Purkulujuus, Vaadittu: 27 MPa, Saavutettu, pvä: 19.8.2013 klo 7.00

(60%) Laskettu: 27 MPa, Laskelma liitteenä ☒
Jälkituenta: ☒ kyllä, paikallavaluholvin kohdalla

TARKASTUS
Laati: 16.08.2013 Mikko Mäkelä
Tarkastettu: 20.08.2013 Ville Sikanen

AUTOHALLIN KANNEN TYÖT

Työnumero: _____

Työmaa: _____

Työvaihe: Autohallin kannen työt

Valmistelevat työt ennen työvaiheen aloitusta:

1. Suunnitelmien tarkastus, että ne ovat toteutuskelpoiset ja niissä ei ole epäselviä kohtia.
    a. Betonilaatu (rasitusluokat)
    b. Tuentasuunnitelma on selkeä, purkulujuudet ja tuentapisteet on merkattu selkeästi.
    c. Raudoitus (yläpinnassa kauttaaltaan raudoitus, vähintään kutistumaraudoitus)
2. Valupalaverit rakennesuunnittelijan ja valmisbetonitoimittajan kesken hyvissä ajoin ennen kohteen valuja
3. Betonityösuunnitelma
4. Aloituspalaveri valu-urakoitsijan kanssa, jossa käydään läpi betonityösuunnitelman oleellisimmat kohdat läpi.

Kannen elementtiasennuksen aikana tehtävät työt:

1. Tarkasta kuormat ennen asennusta. Muista tarkastaa etenkin kuorilaattojen punosten liukuma.
2. Palkkien tuenta välittömästi kunkin palkin asennuksen jälkeen.
3. Kuorilaattojen asennus vasta, kun palkit on tuettu asemaansa.
4. Kuorilaattojen tuenta, kun yksittäinen kenttä on asennettu. Huomioi esikorotus.

Ennen raudoitusta tehtävät työt:

1. Raudoitusalusta on siisti ja kuorilaatoissa ei ole kuljetuksen tai varastoinnin aikaisia vaurioita.
2. Korkojen ja liikuntasaumojen mittaus ennen raudoitusta, jotta pintateräkset saadaan heti oikeaan korkoonsa.
3. Liikuntasaumat ja irroitus liittyvistä rakenteista suunnitelmien mukaisesti.
4. Valutopparit valulohkojen välille.
5. Kaivot asennettu paikalleen ja juuret valettu
6. Tarvittavat sähköasennukset tehty autopaikkojen ja valaistuksen osalta.
7. Laatuvaatimukset selvitetty työryhmälle.

Raudoitus:

1. Liikuntasaumat suunnitelmien mukaisesti
2. Suojaetäisyydet suunnitelmien mukaisesti
3. Raudoitus suunnitelmien mukaisesti
4. Nurkissa ja kaivojen ympärillä halkeilua estävät lisäteräkset vähintään 3T10 k100 yläpinnassa
5. Rakennesuunnittelijan raudoituskatselmus tehty ja muistio dokumentoitu

Valun aikana / jälkeen tehtävät työt:

1. Kastellaan kuorilaattojen pinta hyvissä ajoin ennen valua, jotta betonimassan vesi ei imeytyisi kuorilaattaan.
2. Lämpötilaseuranta loggereilla useasta eri kohtaa valua.
3. Varmistetaan betonitoimittajan kuormakirjoista, että käytössä on oikea betonilaatu.
4. Ei lisätä notkistinta työmaalla, vaan ilmoitetaan asiasta tehtaalle, joka tekee tarvittavat muutokset massaan.
5. Ohjeiden mukainen tiivistäminen
6. Seurataan pinnan korkoa
7. Hierto tehdään kun jo hieman sitoutuneen betonin pinnalle ei enää nouse vettä.
8. Jälkihoitoaine levitetään kahteen kertaan. Ensin linjaroinnin jälkeen ja toisen kerran hierron yhteydessä.
9. Varsinainen jälkihoito aloitettu heti, kun pinta kestää suodatinkankaan levittämisen ilman sen vaurioitumista. Jälkihoitotapa suodatinkangas + kastelu + muovi ja hoitoa jatkettu vähintään 7 vrk.
10. Betonointipöytäkirja tehty ja siihen liitetty kuormakirjat ja ainetodistukset käytetystä jälkihoitoaineesta sekä lujuudenkehityslaskelmat kustakin valusta erikseen.