

Jenna Oivakumpu

ELEMENTTIRAKENTAMISEN LAATUKOULUTUS

ELEMENTTIRAKENTAMISEN LAATUKOULUTUS

Jenna Oivakumpu
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, talo- ja korjausrakentaminen

Tekijä: Jenna Oivakumpu
Opinnäytetyön nimi: Elementtirakentamisen laatukoulutus
Työn ohjaaja: Hannu Kääriäinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 112

Valmiiden betonielementtirakenteiden käyttö uudiskohteissa on kasvussa sekä Suomessa että ulkomailla. Uudistuneet rakenteiden vaatimukset asettavat työntekijälle haasteita rakentamisen laadun suhteen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda yritykselle laatukoulutus, joka on kohdennettu tarkasti työntekijöiden tarpeet kartoittaen. Työssä pidettiin työntekijöille lähtötasokoe, jonka pohjalta heille luotiin laatukoulutuskirja. Työntekijöille pidettiin laatukoulutuspäivä, jossa perehdyttiin laatuun ja sen tuottamiseen.

Työhön on koottu laajasti erilaista betonirakentamisen eri lähteistä saatavaa asiantuntijatietoa sekä kerättiin tietoa alan opiskelijoilta että opettajilta. Opinnäytetyössä esitellään betonirakentamisen laatua eri näkökulmista, materiaaliominaisuuksia sekä rakenteiden valmistusta.

Opinnäytetyössä luotiin materiaali, joka on tulevaisuudessa päivitettävissä uusin betoninormien mukaisiksi. Pienin muutoksin tulevaisuudessa materiaali pysyy ajantasaisena ja tarjoaa yritykselle mahdollisuuden kouluttaa uusia työntekijöitä paremmin laadun näkökulmasta.

Asiasanat: betonielementti, työntekijä, koulutus, laatu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building

Author: Jenna Oivakumpu

Title of thesis: Quality Training for Element Structure Workers

Supervisor: Hannu Kääriäinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015 Pages: 112

Use of precast concrete structures in new buildings is rising both in Finland and abroad. New structure requirements challenge the employee in quality construction.

The aim was to create quality education material, which has been made directly for the workers by exploring their needs. Element workers took part in the initial level test which results were used to create a quality training book.

Workers took part in the quality training day which main point was to enlighten what quality is and how they can make it a daily working routine.

In progress of this thesis a quality instruction material was created, which is upgradeable to the new concrete standards set out in the future. With minor changes in the future the material remains up to date and offers Napapiirin betoni Ltd. the opportunity to train new employees to make better quality products.

Keywords: Concrete structures, employee, training, quality

ALKULAUSE

Haluaisin kiittää Napapiirin betonia sekä Pekka Kellokumpua, että Mikko Rapoa siitä, että olen saanut yrityksessä työskentelemieni vuosien aikana kohdata betonirakentamisen haasteita laidasta laitaan sekä työntekijän että vastuunkantajan roolissa. Olen päässyt näkemään läheltä nykyajan rakennusteollisuuden ja kilpailutuksen luomia haasteita sekä kehittämään itseäni rakennusalan moniosaajana.

Haluaisin kiittää lisäksi sekä uusia, nykyisiä, että jo eläkkeelle jääneitä työntekijöitä rohkaisevasta ja mielenkiintoisesta työympäristöstä, jossa uuden oppiminen ja vanhojen tekniikkojen soveltaminen elävät sulassa sovussa työpäivästä ja vuodesta toiseen. Ammattitilpeytenne sekä halunne siirtää tietoa sukupolvelta toiselle ovat niitä työntekijältä kaivattuja ominaisuuksia, jotka monesti jäävät uupumaan nykyajan lyhytaikaisien työsopimuksien maailmassa. Kiitos kaikille mentoreina toimineille työntekijöille, ja erityisesti heille, jotka ovat kehottaneet joka päivä kohottamaan katseen kohti unelmia.

Oulussa 13.4.2015

Jenna Oivakumpu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	9
2 LÄHTÖTASON TIEDON MÄÄRITTÄMINEN	10
2.1 Koepäivä	10
2.2 Koetulokset	11
3 BETONIRAKENTAMISEN LAATU	12
3.1 Laatutekniikan keskeisen ominaisuudet	13
3.2 Viranomais määräykset	15
3.3 CE-merkintä	17
3.4 Valmistuksen valvonta	18
3.5 Käyttöikä ja rasitusluokat	19
3.7 Mittapoikkeamat	25
3.8 Epätydyttävä laatu	27
4 BETONIN LAATU	30
4.1 Betonin kiviaines	30
4.2 Puhtaus	32
4.3 Kosteus	33
4.4 Sementti	34
4.4.1 Standardit	34
4.4.2 Rakennussementit	36
4.5 Sementin ominaisuudet	38
4.6 Vesi	41
4.7 Lisäaineet	41
4.7.1 Notkistimet	43
4.7.2 Huokostimet	44
4.7.3 Hidastimet	45
4.7.4 Muut lisäaineet	45

5	BETONIN OMINAISUUDET	46
5.1	Plastinen painuma	48
5.2	Plastinen kutistuma	49
5.3	Halkeilu	50
5.4	Betonin lujuuden kehitys	52
6	RAKENTEIDEN VALMISTUS	55
6.1	Muotit ja tukirakenteet	55
6.2	Muottien öljyäminen	59
6.3	Muottien purku, valmiin elementin kuljetus ja pesu	60
6.4	Raudoitteet	61
6.5	Raudoittepiirustukset ja raudoitus	63
6.6	Raudoitteet ja korroosio	66
6.7	Ruoste, pinnan likaisuus ja muut haittatekijät	68
6.8	Kiinnikkeet ja niiden asennus	70
6.8.1	SBKL-kiinnityslevyt	71
6.8.2	PB-, PBK-, PBR-nostolenkit	73
6.8.3	PNLF-nostoankkuri	77
6.8.4	PVL-vaijerilenkki	79
6.8.5	PD-diagonaaliansas, PPA-palkkiansas ja PPI-pistokas	83
6.9	Betonin käsittely	85
6.10	Betonin tiivistys	87
6.11	Betonipinnan viimeistely	89
7	BETONIPINNAT	91
7.1	Pinnan laatutekijät	91
7.2	Tiivistys, puhdistus ja esikäsitteily	96
7.3	Härme	96
7.4	Jälkihoito	103
7.4.1	Jälkihoitoaine jälkihoitomenetelmänä	105
7.4.2	Peittely jälkihoitomenetelmänä	106
8	KOULUTUSPÄIVÄ	108
8.1	Koulutuspäivän sisältö	108
8.2	Havainnollistava materiaali	108

9 LOPPUSANAT	110
LÄHTEET	111

1 JOHDANTO

Elementtirakentamisen laadun ongelmat johtuvat usein työntekijän puutteellisesta tiedosta rakenteiden toiminnasta, oman työn vaikutuksista rakentamisen toimivuuteen sekä vanhentuneista tiedoista. Tämän opinnäytetyön taustalla on tilaajan tahto kouluttaa työntekijöitä, jolloin jokaisella olisi perustavanlaatuinen käsitys materiaaleista, joita työntekijä kohtaa työpäivänsä aikana. Työn tilaa Napapiirin Betoni Oy ja työn tilaajan puolesta ohjaajana toimii Pekka Kellokumpu.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada työntekijän tietoon uusimmat työntekoon vaikuttavat standardit sekä rakennustekniset ongelmakohdat. Elementtihallissa tehtyjen havaintojen perusteella pyritään selvittämään suurimmat tuotannossa aiheutuvat ongelmat ja puuttua niihin.

Opinnäytetyön aineisto on rajattu käsittelemään laadun käsitteitä, betonia rakennusmateriaalina sekä työvaiheissa yleisesti sattuvia virheitä ja niiden ehkäisyä. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään raudoiteterästen ja asennusvälikkeiden ominaisuuksia ja asennuksia.

Opinnäytetyön aineistona käytetään laajaa ammattilaiskirjallisuutta ja opetusmateriaalia betonirakenteista sekä suunnittelun että materiaalien näkökulmasta. Työntekijöille pidetyn lähtötasokokeen perusteella heille on luotu laatukoulutuskirja sekä laatukoulutuspäivä, joka sisältää laatukoulutuskirjan sisällön sekä havainnollistavaa materiaalia. Tuotantovaiheen laadunvarmistuksen periaatteissa on otettu huomioon voimassa olevat rakennusmääräyskokoelmat ja muu kirjallisuus.

Työ perustuu lähes kokonaan olemassa olevaan rakennustekniseen materiaaliin ja sen kokoamiseen yhteen kansiin lyhyeksi opastukseksi laadun kehittämiseksi. Näin pyritään tuottamaan tilaajalle materiaali, joka on päivitettävissä tulevaisuudessa uusien rakennusmääräysten astuessa voimaan, sekä tuomaan rakenteiden suunnittelun näkökulmaa lähemmäksi työn suorittavaa osapuolta.

2 LÄHTÖTASOTIEDON MÄÄRITTÄMINEN

Opinnäytetyön pohjana oleva betonirakenteiden opetusmateriaali on räätälöity Napapiirin Betonin työntekijöiden tarpeeseen. Tämän tarpeen määrittämiseksi pidettiin tehtaalla pieni lähtötaso arvioiva koe. Koe sisälsi lyhyitä kysymyksiä raudotteista, jälkihoidosta ja betonoinnista sekä työntekijöiden suhtautumisesta koulutuksen tarpeellisuuteen.

Nykyajan vaatimukset työelämässä vaativat, että työntekijä on avoin jatkuvaan oppimiseen. Monet tilanteet rakentamisessa vaativat viimeisimpien tietojen hallintaa ja niiden soveltamista käytännössä. Esimiehen tehtävä on huolehtia, että työyhteisössä kaikilla osapuolilla on käytössään uusinta mahdollista osaamista. Näin yritys voi varmistaa oman kilpailuasemansa kiristyvässä kilpailussa toisten toimijoiden kanssa. (Kaistila, 13.)

2.1 Koepäivä

Lähtötason arvioinnin koe suoritettiin työntekijöille 24. lokakuuta 2014 yrityksen taukotiloissa (kuva 1). Paikalla oli suurin osa Napapiirin betonin betonielementti-työntekijöistä. Kokeeseen annettiin vastausaikaa yksi tunti, minkä jälkeen koe-materiaali palautettiin kokeen pitäjälle. Koe sisälsi kysymyksiä jälkihoidon tarkoituksesta, rakenteiden valmistuksesta sekä muottien purkamisesta. Arvioinnin vuoksi koe suoritettiin nimettömänä.

Kokeen aluksi työntekijät saivat tiedon kokeen tarkoituksesta ja siitä, mihin käytettävää aineistoa tultaisiin käyttämään. Kokeeseen ei ollut mahdollista valmistautua vaan se tuli työntekijöille täytenä yllätyksenä. Näin varmistuttiin siitä, että kokeen tulos on mahdollisimman todenmukainen eikä vääristymää tiedon määrästä pääse syntymään.



KUVA 1. Koe suoritettiin yrityksen taukotiloissa

2.2 Koetulokset

Kokeeseen vastasi kaiken kaikkiaan 21 henkilöä. Kysymyksiin oli vastattu täsmällisesti sekä ajatuksella. Kokeen tuloksista voitiin havaita, että jälkihoidon sekä raudoituksen ankkurointi ei kokeen perusteella ollut työntekijöille tuttua. Tähän kiinnitettiin erityisesti huomiota materiaalin suunnittelussa.

Rakentamiseen ja elementtien valmistamiseen liittyvät perusasiat tuntuivat olevan työntekijöiden tiedossa. Materiaalissa paneuduttiin kuitenkin syvällisemmin esimerkiksi betonin ominaisuuksiin, jolloin työntekijä osaisi tunnistaa betonilaa-tuja työvaiheessa.

Opinnäytetyössä päädyttiin kokonaisuuteen, joka käsittelisi erityisesti betonia rakennusmateriaalina, sekä eri työvaiheiden, kuten tiivistämisen, jälkihoidon että lisäraudoitteiden valmistamisen tärkeyttä. Myös erilaisiin pinnan vaatimuk-siin kiinnitettiin erityistä huomiota.

3 BETONIRAKENTAMISEN LAATU

Valmiin tuotteen laatu voidaan määrittää monella eri käsitteellä. Yleisimmin elementtirakentamisessa puhutaan kumminkin rakenteen toimivuuden vaatimuksista, joita ovat

- rakenteen mekaaninen lujuus ja vahvuus
- paloturvallisuus
- hygieenisuus, terveys ja ympäristö
- käyttöturvallisuus
- meluntorjunta
- energiatalous ja lämmöneristys.

Elementtitehtaalla voidaan vaikuttaa useimpiin näihin vaatimuksiin. (Kääriäinen, 2015.)

Vuonna 1988 hyväksytty rakennustuotedirektiivi on ns. uuden menettelyn direktiivi, jossa määrätään olennaiset terveyttä ja turvallisuutta koskevat vaatimukset. Rakennustuotedirektiivissä esitetyt olennaiset vaatimukset kohdistuvat rakennuskohteisiin, eivät suoraan tuotteisiin. Silti on erityisen tärkeää, että jokainen yksittäinen tuote tuotetaan parhaalla mahdollisella tavalla hyvän rakennuskohteen aikaansaamiseksi. Kuvassa 2 on valmiita rouhebetonielementtejä, jotka odottavat pääsyä jälkikäilytykseen ja laaduntarkkailuun. (Kääriäinen, 2015.)

Yrityksen sisäisen laadunhallintajärjestelmän sekä ISO 9000 -standardin tarkoitus on ylläpitää suunnitelmin, tarkoin dokumentoinnin, valmistuspöytäkirjojen ja pistokokein yllä tuotteen korkeaa valmistuslaatua ja täten asiakastyytyväisyyttä. Kerrostalotuotannon laadunvarmistukseen kuuluvat olennaisesti suunnittelijoiden ja valmistuksen työnjohdon pätevyys. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 9-10.)



KUVA 2. Valmiita rouhebetonipintaisia elementtejä pesurekissä

Jokaisen valmistetun tuotteen tulee olla hyvän rakennustavan mukainen. Jokaisella elementin valmistukseen osallistuvalla työntekijällä on velvollisuus suorittaa työvaiheet niin, että ne täyttävät kaikki sille vaaditut ominaisuudet. Tätä vastuuta ei voi väistää. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 152.)

3.1 Laatutekniiikan keskeisen ominaisuudet

Laatutekniiikalla tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla taataan asiakkaalle suunniteltuun käyttötarkoitukseen hyvin soveltuva tuote. Valmiin tuotteen laatu on aina asiakaslähtöistä ja perustuu asiakkaan tarpeisiin, taloudellisuuteen ja yhteiskunnan asettamien vaatimusten ja normien täyttämiseen. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 149.)

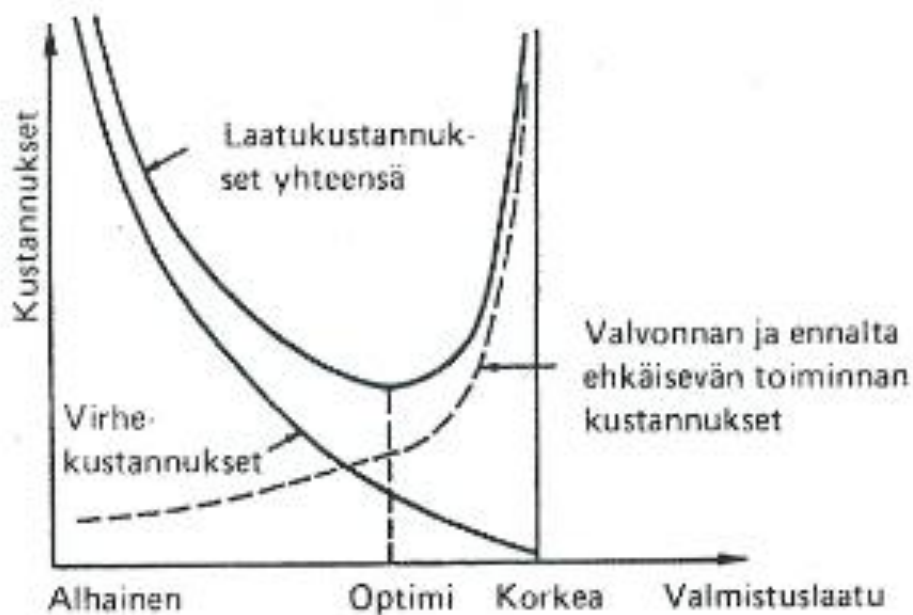
Asiakaslähtöisyys on tuotannon ensisijainen tavoite. Asiakkaiksi ajatellaan kaikki tuotteen valmistusvaiheisiin suorasti tai välillisesti liittyvät henkilöt, yritykset ja lopputuotteen käyttäjät. Sisäisen asiakkuuden periaate tarkoittaa seuraavan työvaiheen työntekijän olevan edellisen työvaiheen tekijän asiakas. Edellisessä työvaiheessa tehdyt virheet ja huono laatu tietävät seuraavan vaiheen työnteki-

jälle lisätyötä ja sitä myötä myös tuotannon lisäkustannuksia. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 149.)

Laadunvarmistuksella varmistetaan ja osoitetaan, että laadunohjaukseen kuuluvat toimenpiteet sekä työnjohdon valvonnassa että rakenteiden tuotannossa suoritetaan tehokkaasti. Sisäinen laadunvalvonta on osa laadunvarmistusjärjestelmää. Laatujärjestelmällä pyritään vähentämään laadunvaihteluita, uudelleenvalmistamisen tarvetta, virheellisten ja korjaustarvetta vaativien tuotteiden määrää, puutteellisten tuotteiden ja siihen johtaneiden virheiden paikallistamista ja eliminoimista, tarkkojen tuotetietojen tarjoamista asiakkaille sekä tuottavuuden parantamista ja tuotantokustannuksien alentamista. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 150.)

Laadunvarmistuksen päämäärä voidaan saavuttaa dokumentoimalla tarkasti kaikki tehdyt työvaiheet ja niiden suoritustapa sekä käytetyt materiaalit ja vallinneet tuotanto-olosuhteet. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen elementin valmistuksessa tulee täyttää elementtipöytäkirja, jossa työntekijä allekirjoituksellaan vahvistaa suorittaneen ja tarkistaneensa työnsä ja sen oikeinmuokaisuuden.

Valmistuksen laadun kasvattaminen nostattaa myös kustannuksia. Kustannuksiin luetaan myös valvonta ja virhekustannukset, jotka aiheutuvat virheellisistä, hylätyistä tai valmistusvirheiden korjauksista. Vastaavasti valmistuksen laadun tason nostolla pienennetään virhekustannuksia sekä virheen korjauksista aiheutuvia henkilöstömenoja. Tätä ajatusmallia on selvennetty tarkemmin kuvassa 3 (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 151.)



KUVA 3. Laadun ja kustannusten vaikutus toisiinsa (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 151)

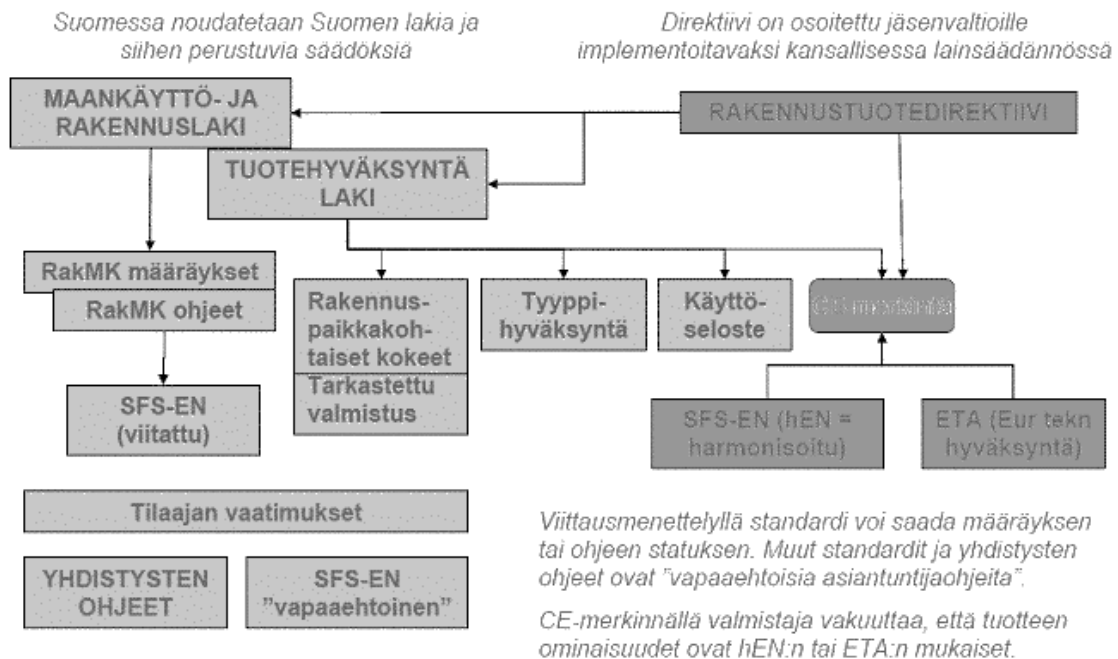
3.2 Viranomaismääräykset

Elementtirakentamista ohjaavat vahvasti yhteiskunnan asiakkaan puolesta laattimat laatuvaatimukset viranomaismääräysten ja -ohjeiden muodossa. Viranomaismääräykset voivat olla työsuoritusohjeita tai esimerkiksi ohjeita laatuvaatimuksien täyttämiseen. Yleensä annetut ohjeet käsitetään suppeasti tarkoittavan vähimmäisvaatimuksia ja kuvaavan rajallisesti tuotteen laatua. Tämän päivän kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi joudutaan usein lisäämään tuottavuutta. Tästä aiheutuu kiireestä, tiedon puutteesta ja virheistä johtuvia laadullisia ongelmia, joihin pyritään vastaamaan kokoajan kehittyvän yrityksen sisäisen laatutekniikan avulla. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 149.)

Suomalaista rakentamista ohjaa Maankäyttö ja rakennuslaki (kuva 4). Lain mukaan teemoina on muun muassa se, että rakennus on terveellinen ja turvallinen. Terveellisyysasiat ovat nykypäivänä haasteellisia muun muassa kosteuden hal-

linnan osalta.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakentamisesta vastaa rakentamiseen ryhtyvä. Hänen tulee käyttää apunaan osaavia asiantuntijoita, joihin lukeutuvat elementtitehtaat ja heidän tiedot sekä taidot. (Kääriäinen, 2015.)



KUVA 4. Elementtirakentamisen kohdistuvat viranomaismääräykset ja standardit (Elementtisuunnittelu.fi linkit Suunnitteluprosessi -> Normit ja standardi.)

Vuonna 2010 voimaan astuneen määräyksen mukaan betonirakenteiden suunnittelu ja valmistus tulee olla eurooppalaisten standardien ja ympäristöministeriön kansallisten liitteiden mukaisia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että raja-arvot materiaalien laaduille ja käytölle (sementti, seosaineet, lisäaineet, kiviainekset) sekä vaatimukset betonin valmistukselle ja laadunvalvonnalle ovat yhteneväiset koko Euroopan unionin alueella. Käytettävien materiaalien tulee olla CE-merkittyjä ja täyttää niitä kohtaan asetetut eurooppalaiset standardit. Betonielementtituotteet tuotetaan tehtaalla niin, että ne täyttävät normien antaman raamin betonin reseptin koostumuksen osalta, laadultaan, työsuoritukseltaan

sekä pinta- että kestoikävaatimuksiltaan. (Elementtisuunnittelu.fi linkit Suunnitteluprosessi -> Normit ja standardit.)

Jokaisen elementin valmistaminen perustuu voimassaoleviin normeihin ja säädöksiin. Ne vaikuttavat rakenteen toteutukseen, materiaaleihin ja laatuvaatimuksiin. Rakenteen laatua arvioidessa on tärkeää, että vaatimustasot ovat kaikille osapuolille täysin selvät.

Suomalaisessa rakentamisessa noudatetaan hyvin kattavasti yleiseurooppalaisia standardeja, joista tärkein on SFS-EN 206-1, joka sisältää betonin ominaisuudet, sekä SFS 7022, joka täydentää edellä mainittua standardia. Muita tärkeitä standardeja ovat muun muassa SFS-EN 12350 ja 12390 sekä työsuoritusstandardi EN 13670. Rakennusmääräyskokoelma B4 (betonirakenteet) on tärkein betonirakentamista koskettava viranomaisnormi. Edellisten ohjeiden lisäksi betoninormit BY50 ja pintaluokitusohjeet BY40 sekä betonirakentamisen laatuohjeet BY47 ovat suomessa tärkeimpiä kansallisia ohjeita. Betonivalmisosien yleiset säännöt on esitetty ohjeessa SFS-EN 13369. (Elementtisuunnittelu.fi linkit Suunnitteluprosessi -> Normit ja standardit -> EN-suunnittelustandardit.)

3.3 CE-merkintä

Kuten muutkin betonielementtivalmistajat, myös Napapiirin betoni kuuluu CE-merkinnän alaisuuteen, jota valvoo Suomessa Inspecta sertifiointi Oy. Kaikkien tehtaalla tuotettavien elementtien (poikkeuksena toistaiseksi parveke-elementit, joille ei ole vielä CE-merkintää) tulee olla CE-merkinnällä varustettuja, joista merkinnästä tulee ilmetä elementin tunnus, valmistuspäivämäärä, valmistuspaikka, paino sekä valmistuksessa käytetty SFS-standardi.

CE-merkinnällä elementin valmistaja voi vakuuttaa valmiin tuotteen ostajalle, että tuotteen ominaisuudet ovat harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen arvioinnin mukaiset. Nämä vaatimukset koskevat tuotteen valmistuksen valvontaa ja testauksia. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 14.)

Tyyppihyväksyntä tarkoittaa menettelyä, jossa valvova elin toteaa valmistettavan tuotteen säännösten- ja määräystenmukaisuuden sekä hyväksyy tuotteen yleiseen käyttöön kelpaavaksi. Tyyppihyväksyntä vähentää valmistajan tarvetta toistuviin tarkastuksiin ja parantaa tuotannon valvontaa. Jokaisen tuotteen kelpoisuutta ei tarvitse osoittaa. Tulevaisuudessa CE-merkintä kattaa suurimman osan tyyppihyväksynnän alla olevista asioista. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 13–14.)

3.4 Valmistuksen valvonta

Elementtirakenteen valmistusta valvottaessa tulee tarkistaa

- muotit ja niiden tukirakenteet
- rauditus ja niihin liittyvät ohjeet
- betonointimenetelmät
 - tiivistäminen
 - esijälkihoito ja jälkihoito
 - lämpökäsittely
- varastointi, kuljetus.

(BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 160.)

Elementeiltä vaadittavat toiminnalliset vaatimukset ja valmistustekniikka vaihtelevat paljon. On siis tärkeää, että valmistuksen eri vaiheiden valvontaan panostetaan ja valmiiden elementtien laatua seurataan. Nuorien elementtien välivarastointi voi aiheuttaa niihin käyristymiä ja kieroutumia ja niitäkin on syytä valvoa. Elementti on kallis tuote, joten se että valvonta perustuisi vain hylättävien tuotteiden mittauksiin, ei kannata. Jokaisen työvaiheen valvonta vähentää virheen kertautumista seuraavassa työvaiheessa ja parantaa näin lopullisen tuotteen laatua. Tätä varten on kehitetty elementin tarkastuskortti. Tarkastuskortilla voidaan todeta kunkin elementin valmistuksen oikeinmukaisuus. Se on kuin potilaan terveyshistoria, jossa on merkittynä tehdyt tarkastukset ja mahdolliset ha-

vaitut virheet ja puutteet. Työntekijä tarkastaa tehdyn työnsä ja varmistaa sen allekirjoituksellaan. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 161.)

3.5 Käyttöikä ja rasitusluokat

Betonirakenne on suunniteltu siten, että se kestää ympäristönsä sille luomat rasitukset käyttöikänsä ajan. Käyttöikämitoituksen tavanomainen pituus on yleensä 50 vuotta, joissakin tapauksissa 100 vuotta. Erityissä rakennuksissa on käytetty jopa käyttöikämitoituksena 200 vuotta. Rakennuksen käyttöikämitoitus 50 vuotta ei suinkaan tarkoita, että rakennus olisi käytetty loppuun 50 vuoden kuluttua. Vain pieni määrä, noin 5 %, näistä rakennuksissa saavuttaa todellisen käyttöiän 50 vuoden kuluttua. Keskimäärin rakennuksen käyttöikä voisi olla 145 vuotta, osa rakennuksista jopa yli 300 vuotta. Nämä todelliset käyttöiät edellyttävät monia pieniä toimenpiteitä, esimerkiksi tarpeellista huoltoa ja kunnostusta. Tällä hetkellä teräsbetonirakenteen käyttöikämitoitus perustuu pakkasrapautuman sekä betonin karbonatisoitumisen ja sen kautta terästen korroosion hallitsemiseen. Käyttöikämitoitus voidaan tehdä laskennallisena tai taulukkomitoituksena. (Kääriäinen, 2015.)

Jotta teräsbetonirakenne saavuttaa edellä mainittuja käyttöikäjä, se tulee mitoittaa materiaali- ja valmistusteknisesti rasituksia vastaan. Tällaisia rasituksia ovat kloridit, erilaiset kemialliset aineet sekä pakkasrasitus ja betonin karbonatisoituminen. Näitä rasitusvaatimuksia hallitaan betonin koostumuksilla ja lähtöaineilla ja terästen osalla esimerkiksi suojabetonin paksuudella. (Kääriäinen, 2015.)

Suunnittelija arvioi erikseen, millaisien rasituksien alaiseksi kyseinen rakenteen osa joutuu ja merkitsee rasitusluokan piirustuksiin. Rasitusluokka vaikuttaa betonin valintaan suunnittelussa. Suomessa käytössä olevat standardit poikkeavat tässä suhteessa Eurooppalaisista standardeista, sillä suomalainen ilmasto poikkeaa huomattavasti Euroopan yleisestä ilmastosta. Tämä aiheuttaa muutoksia lujuusluokkiin, vesi-sementtisuhteisiin, sementtimääriin sekä ilmamääriin. Nämä vaatimukset löytyvät ympäristöministeriön rakennusmääräyskokoelmasta

RakMK B4:stä sekä Betoninormit by50:stä. Taulukossa 1 on esitetty vähimmäisvaatimukset betonipeitteen nimellisarvolle ja taulukossa 2 betonirakenteiden rasisusluokat Rakennusmääräyskokoelman B4 mukaisesti. (Anttila Vesa, 408–409.)

Käyttöiän valinta lähtee aina tilaajan tarpeesta. Käyttöikä vaikuttaa betonin suhteutuksessa osa-aineiden tarvittaviin määriin sekä betonipeitteen minimimäärään. (Anttila Vesa, 409.)

TAULUKKO 1. Rasisusluokat ja vaaditut betonipeitteen vähimmäisarvot (BY50 Betoninormit 2012. 2013, 75)

Rasisusluokka	Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle [mm]		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle [mm]	
	Korroosioherkkä raudoitus	Muu raudoitus	Korroosioherkkä raudoitus	Muu raudoitus
X0	10	10	10	10
XC1	20	10	20	10
XC2	30	20	35	25
XC3, XC4	35	25	40	30
XS1, XD1	40	30	45	35
XS2, XD2	45	35	50	40
XS3, XD3	50	40	55	45

Haluttuun käyttöiään päästään suojabetonin avulla. Raudoituksen suojabetonia ylläpidetään asennusvälikkeiden avulla. Suojabetonin tulee täyttää vähintään taulukossa 2 esitetyt arvot. Arvoja voidaan suunnittelijan ohjeiden mukaisesti käyttää ongelmatilanteissa, joissa suojabetoni ei täytä raudoituskuvan vaatimuksia. Betoniterästen sijainnit rakenteen sisällä ovat olleet merkittävien terästen korroosiovaurioiden aiheuttaja ja tarve ennenaikaisille korjauksille. Asennusvälikkeet valitaan käyttötarkoituksen mukaisesti ottaen huomioon alla olevat tekijät

- betonipeitteen nimellisarvo
- pistekuormakestävyys
- korroosion kestävyys
- sijoittelu, asennuspaikka
- ulkonäkö
- mahdolliset muut vaatimukset
- määrään
- kiinnitykseen.

(BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 42.)

TAULUKKO 2. Rasitusluokat ja niiden selitykset (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 33)

X0	Ei korroosion vaaraa
CX1...XC4	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
XD1...DX3	Kloridien aiheuttama korroosio
XS1...XS3	Meriveden kloridien aiheuttama korroosio
XF1...XF4	Jäätymis-/sulamisrasitus
XA1...XA3	Kemiallinen rasitus

Betonirakenteiden valmistajan on velvollinen toimittamaan rakennuttajalle käyttöään vaatimuksenmukaisuuden todentamiseen tarvittavia dokumentteja. Dokumenttien avulla valmistaja voi vakuuttaa tuotteen vastaavan sille määrättyjä vaatimuksia. Tässä kohtaa yrityksen sisäisen laatu järjestelmän toimivuus testa-

taan. Elementtikohtaiset dokumentoinnit tarkastuskortein ja pistokokein tehdyin betonin laadun, rautojen etäisyysmittauksin ja elementtien mittojen tarkistukset sekä niistä tehdyt dokumentit ovat ainoa tapa varmistua tuotteen valmistuslaadusta. Siksi on tärkeää, että jokainen työntekijä täyttää tunnollisesti työnsä päätteeksi tarkastuskortin. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 43.)

3.6 Sisäilman laatu ja mikrobit

Lahoaminen on osa luonnon kiertokulkua. Betonin sisään jääneet orgaaniset yhdisteet kuten puu, paperi ja esimerkiksi puunlehdet pyrkivät hajoamaan mikrobiologisesti ajan saatossa, sillä betonin kosteus tarjoaa niille otolliset olosuhteet. Mikrobitoiminta betonin sisällä materiaali tuottaa mikrobeja, jotka ihminen aistii hajuna sisäilmassa. Seinärakenteet ovat suunniteltu siten, että ilmavirta niissä käy sisätilojen alipaineen vuoksi ulkoa sisälle. Tämän vuoksi seinän sisällä maatuovasta orgaanisesta aineksesta aiheutuva tuoksu ja mikrobit ajautuvat sisäilmaan heikentäen sen laatua. (Sisäilmayhdistys.fi, linkit Terveelliset tilat – tietojärjestelmä -> Kosteusvauriot -> Mikrobit -> Katsaus mikrobeihin.)

Kaiken eloperäisen materiaalin joutuminen elementin sisälle tulisi välttää. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaikki muottiin tehtyjen reikien seurauksena aiheutunut puupuru tulee poistaa huolellisesti sekä itse muotista että myös villan päältä sisäkuorta tehtäessä. Kuvassa 5 on muotin purkamisen yhteydessä jäänyt saumavalun kohdalle palanen muottivaneria. Elementin muotinpurkuvaiheessa tulee huomioida, ettei elementtiin jää kiinni muottivanerin palasia, sillä se on eloperäistä materiaalia. (Sisäilmayhdistys.fi, linkit Terveelliset tilat – tietojärjestelmä -> Kosteusvauriot -> Mikrobit -> Mikrobikasvun edellytykset.)



KUVA 5. Betoniin jäänyt muottivanerin palanen

Tuulettuva seinärakenne on terveellinen rakenne. Tehtaalla käytetään lämmöneristeenä yleensä jo valmiiksi valmistajan tehtaalla ristiinuritettua mineraalivillaa. Mineraalivillan toisella puolella oleva ohut kalvo suojaa urituksia betonilta. Tuuletuksella varmistutaan, että rakenne pääsee hengittämään ja kosteus pääsee poistumaan toivottua reittiä, eikä se tiivisty rakenteeseen. Rakenteeseen kertyvä liiallinen kosteus nopeuttaa mahdollisesti rakenteen sisään jääneen orgaanisen aineksen lahoamisreaktiota ja mikrobien kasvua. (Sisäilmayhdistys.fi, linkit Terveelliset tilat –tietojärjestelmä -> Kosteusvauriot -> Mikrobit -> Mikrobi-kasvun edellytykset.)

Erityisesti aukkojen ympärillä tulee huolehtia, että tuuletuskanava jää betonista vapaaksi. Villan tulee olla asennettu tukevasti muottia vasten niin, että löysä betonimassa ei pääse valumaan muotin reunaa pitkin ja täyttämään tuuletusuraa, kuten kuvan 6 tilanteessa on päässyt käymään.



KUVA 6. Betonivalun aikana ikkuna-aukon tuuletusura on täyttynyt betonilla, joka tulee poistaa

Mineraalivillaa tulisi säilyttää säältä suojassa. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta vahingoittuneen mineraalivillan tunnistaa sen normaalia väriä tummemmasta olemuksesta. Tällaisien vahingoittuneiden materiaalien käyttö elementeissä on kielletty. Vaikka villa ei materiaalina itsessään lahoa, tummuneessa villassa oleva epäpuhtaus voi toimia kasvualustana mikrobeille ja täten aiheuttaa sisäilmaongelmia. (Sisäilmayhdistys.fi, linkit Terveelliset tilat – tietojärjestelmä -> Kosteusvauriot -> Mikrobit -> Mikrobikasvun edellytykset.)

Elementtitalon sisäilmaongelmia, jotka aiheutuvat työsuorituksessa siihen joutuneista tai ajautuneista orgaanisista materiaaleista, on hyvin vaikea ja kallis korjata. Vaikka näistä aiheutuvat ongelmat voivat ilmetä vasta 10–15 vuoden käyttöään jälkeen, tulee silti aina työtä suorittaessa varmistua siitä, ettei elementin sisällä ole mitään sinne kuulumatonta. (Sisäilmayhdistys.fi, linkit Terveelliset tilat – tietojärjestelmä -> Kosteusvauriot -> Mikrobit -> Mikrobikasvun edellytyk-

set.)

3.7 Mittapoikkeamat

Raudituspiirustuksissa on yleensä ilmoitettu elementin suojabetonin paksuus (määrä) ja sen vaihtelevuuden maksimiarvot, esimerkiksi suojabetoni 35 mm \pm 10 mm, jolloin suojabetoni saa olla arvoiltaan väliltä 45-25 mm. Joskus suunnitelmissa on merkitty pelkästään 35 mm +10 mm. Tällöin suojabetonin vähimmäismäärä on 35 mm ja maksimimäärä 45 mm. Taulukossa 3 on esitetty yleisimpiä käytössä olevia mittapoikkeamia rakenneluokille 1 ja 2.

Näitä suuremmat mittapoikkeamat esimerkiksi elementin tarkistusmittausvaiheessa voidaan hyväksyä, jos rakennesuunnittelija pystyy toteamaan, että niistä ei ole haittaa rakenteen varmuudelle, toiminnalle tai muille teknisille vaatimuksille. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 131.)

TAULUKKO 3. Mittapoikkeaman raja-arvoja rakenneluokissa 1 ja 2 (BY50 Betoninormit 2012. 2013, 136)

Rakenneluokka	$\frac{a}{d} \leq 200$ Δ [mm]	$200 < \frac{a}{d} \leq 500$ Δ [mm]	$500 < \frac{a}{d} \leq 2000$ Δ [mm]	$\frac{a}{d} > 2000$ Δ [mm]
1	5	10	20	30
2	10	20	30	50

= poikkileikkauksen mitta tarkasteltavassa suunnassa, mm

= poikkileikkauksen tehollinen korkeus, mm

= sallittu mittapoikkeama, mm

Ankkurointi-, jatkos-, ja tartuntapituudet saavat alittua korkeintaan 20 mm, kun raudituksen koko on 16 tai pienempi, ja 40 mm, kun raudituksen koko on suurempi kuin 16 mm. (BY50 Betoninormit 2012. 2013, 136.)

Taulukossa 4 on esitetty tavanomaisissa rakennuksissa kantaville sekä kantamattomille väliseinille mittapoikkeama-arvoja. Taulukossa 5 on annettu mitta-

poikkeaman raja-arvoja pilareille. Erikoisluokka tulee ottaa huomioon silloin, kun rakenteelle on asetettu ulkonäöllisistä syistä korkeat vaatimukset. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 57)

TAULUKKO 4. Kantavan ja kantamattoman väliseinän mittatoleranssit (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 57.)

Mittauksen kohde	Toleranssit [mm]		
	Kellariseinät ja liukuvalu	Normaali-luokka	Erikois-luokka
Korkeus (H)	±15	±10	±8
Pituus (L)	±15 tai L/350 ¹⁾	±10 tai L/750 ¹⁾	±8 tai L/500 ¹⁾
Paksuus (b)	±10 ²⁾	±8 ³⁾	±5
Sivun käyryys – seinä (a) – ovet ja ikkunat (a ₁)	±15 ±8	±10 ±5	±5 ±5
Aukot, joka suunnasta – mitat h ja l – mitat e – kulmien sijainnin ero e ₁ - e ₂	-5, +15 ±20 15	-5, +15 ±15 10	-5,+15 ±10 10
Seinän käyristymä (d) ⁴⁾ tai poikkeama pystysuorasta (p)	L/200	L/300	L/400
Sivusijainti (S)	±20	±15	±10
Sivusijainti ylä- tai alapuolisesta seinästä (s)	±15	±10	±5
Vapaa väli (V)	±20	±15	±10
Yläreunan korkeusasema vaakarakenteisiin liityttäessä (K)	±15	±10	±5

¹⁾ Lukuarvoista käytetään suurempaa.

²⁾ Alle 200 mm paksuisissa 1-rakenneluokan kantavissa seinissä toleranssit ovat -5, +10.

³⁾ Alle 200 mm paksuisissa 1-rakenneluokan kantavissa seinissä toleranssit ovat -5, +8.

⁴⁾ Muille kuin betonipintaisille seinille määritellään pintamateriaalin vaikutuksen huomioon ottava arvo.

TAULUKKO 5. Pilarille asetettuja mittatoleranssin arvoja (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 59)

Mittauksen kohde	Toleranssit [mm]	
	Normaaliluokka	Erikoisluokka
Pituus (L)	±15	±10
Poikkileikkaus (b, h, d)	±10 ²⁾	±5
Käyryys (a)	±10 tai H/750 ¹⁾	±5 tai H/1000 ¹⁾
Poikkileikkauksen kulmapoikkeama tai kiertymä (p)	±5 tai b/20	±5 tai b/10
Pään kulmapoikkeama (r) ³⁾⁴⁾	±5	±3
Pinnan käyryys ja aaltoilu	by 40	by 40
Sivusijainti (S), korkeusasema (K), vapaa väli (V)	±15	±15
Poikkeama pystysuorasta (P)	±15 tai L/750 ¹⁾	±10 tai L/1000 ¹⁾

¹⁾ Lukuarvoista käytetään suurempaa.

²⁾ Jos pilarin pienin sivumitta on alle 200 mm 1-rakenneluokassa, niin toleranssit ovat -5, +10.

³⁾ Ei koske päällevaluun jäävää pilarin päätä.

⁴⁾ Koskee myös konsolin yläpintaa.

3.8 Epättydyttävä laatu

Mikäli havaitaan, että rakenne tai sen osa ei laadullisesti täytä suunnitteluasiakirjojen tai määräysten ja ohjeiden mukainen, on sen valmistuslaatu epättydyttävä. Epättydyttävää valmistuslaatua aiheuttavia puutteita tai poikkeamia voi esiintyä betonin laadussa, raudoitemateriaalin laadussa, raudoituksessa, käytettävissä olevissa tiedoissa, kuten lisäraudoitus, nostolenkkien taivutus, betonointitöiden suorituksessa sekä valmiissa rakennekokonaisuudessa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 189.)

Esimerkiksi kuvassa 7 on tapahtunut valmistuksen aikana virhe, jolloin elemen-

tin sisäkuoren paksuus on ollut haluttua suurempi. Tämä voi aiheuttaa ongelmia erityisesti elementtejä liitettäessä toisiinsa, jolloin elementit eivät liity toisiinsa halutulla tavalla. Työmaalle päässyt viallinen elementti voi aiheuttaa mittavia tuotannon viivästyksiä.



KUVA 7. Liian paksun sisäkuoren aiheuttamaa epätyydyttävää laatua ja korjaustoimenpiteitä

Työntekijän huomattessa epätyydyttävää laatua tai asennusvirheitä, tulee työntekijän ottaa välittömästi yhteyttä lähimpään esimieheen. Esimiehen ja rakennesuunnittelijan kanssa selvitetään, onko havaituilla vioilla vaikutusta rakenteen

varmuuteen ja arvioidaan tarvittaessa tehtyjen lisäselvitysten, kuten etäisyysmitausten, merkitys rakenteen laadun kannalta. Tarvittaessa suoritetaan rakenteen tarkastus uudelleen huomioiden kaikki betonointivirheet, halkeamat, raudoitusten sijainti ja betonin laatu. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 189.)

4 BETONIN LAATU

Betoni on keinotekoinen kivi, jonka ominaisuudet perustuvat sementtiliimaan, jota muodostuu sementin reagoidessa veden kanssa. Sementtiliima sitoo runkoaineen yhteen ja muodostaa kovettuessaan sementtikiven. Perinteisesti runkoaineena on käytetty soraesiintymistä tai suoraan kalliosta louhittua kiviainesta. Kevytsoran ja muiden materiaalien käyttö on vähäistä. Lisä- ja seosaineet muokkaavat betonimassan ominaisuuksia ja työstettävyyttä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 18–19.)

Betonirakenteet voidaan jakaa raudoitettuihin ja raudoittamattomiin rakenteisiin. Raudoittamattomien rakenteiden toiminta perustuu yksistään betonin hyvään puristuslujuuteen ja siihen, että kyseinen rakenne kestää sille määritellyt rasitukset. Teräsbetonirakenteessa raudoitteet ja betoni muodostavat yhdessä toimivan, hyvät veto- ja puristuslujuuden omaavan kokonaisuuden, jonka käyttömahdollisuudet ovat rajattomat. Teräsbetoni onkin suosituin betonin ilmentymistapa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 18–19.)

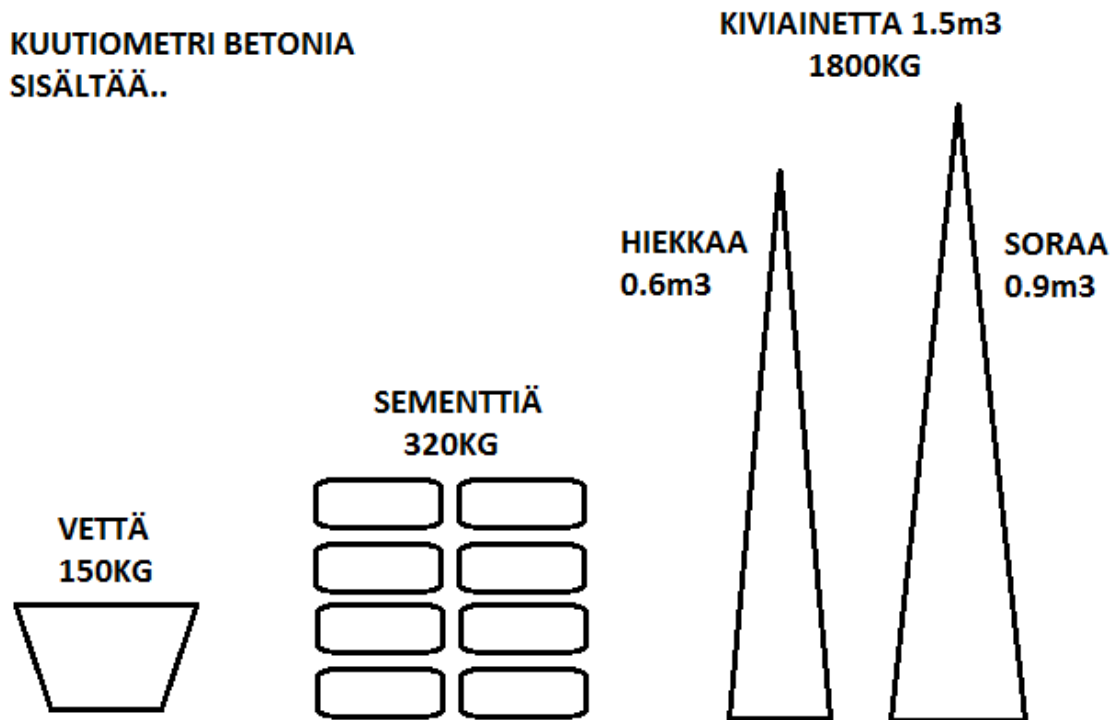
Oikein valittu betonilaatu mahdollistaa joustavasti sujuvan betonivalun sekä rakenteen pitkän käyttöiän. Väärin valittu betonilaatu sekä työssä tapahtuvat virheet ovat monesti rakenteen vaurioitumisen syytä. (Anttila Vesa, 407.)

Laadunvarmistuksen päämäärä voidaan saavuttaa dokumentoimalla tarkasti kaikki tehdyt työvaiheet ja niiden suoritustapa sekä käytetyt materiaalit ja vallinneet tuotanto-olosuhteet. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jokaisen elementin valmistuksessa tulee täyttää elementtipöytäkirja, jossa työntekijä allekirjoituksellaan vahvistaa suorittaneen ja tarkistaneensa työnsä ja sen oikeinmukaisuuden.

4.1 Betonin kiviaines

Kiviaineksen osuus betonin tilavuudesta on 65–80 %. Tämän vuoksi kiviaineksella on suuri merkitys betonimassan ominaisuuksiin. Betonimassan ominai-

suudet sekä määräykset ja ohjeet löytyvät Betoninormit BY50 sekä Betonin kiviainekset BY34 ohjekirjoista. Kuvassa 8 on esitetty suuntaa antava esimerkki betonimassan valmistusreseptistä. Jokainen käytettävä betonin sekoituserä tulee valmistaa erikseen suunnitellun valmistusohjeen mukaisesti. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 31.)



KUVA 8. Suuntaa antava betonin valmistusresepti kuutiometrille betonia

Käytettävän kiviaineksen tulee olla käyttötarkoitukseen sopivaa, eikä se saa sisältää epäpuhtauksia, kuten humusta, roskia, oksia ja muita orgaanisia materiaaleja. Nämä voivat vaikuttaa betonin kovettumiskäyttäytymiseen ja raudoituksen ominaisuuksiin. Kiviaines ei myöskään saa sisältää irtoavaa likaa, öljyä tai muuta lujuuteen vaikuttavaa tekijää, kuten jäätä ja lunta. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 32.)

Käytettävän kiviaineksen tulee täyttää SFS-EN 12620:ssa esitetyt vaatimukset sekä olla CE-merkittyä ja tarkastettua. Tarkastamatonta kiviainesta voidaan käyttää, mikäli betonin valmistaja huolehtii tarvittavin laboratoriotestein ki-

viaineksen laatuvaatimuksien kuten puhtauden, rakeisuuden, kosteuden ja tiheyden sekä vedenimukyvyn ja muiden vaatimuksien täyttymisestä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 32.)

Kiviainekset luokitellaan raekoon mukaisesti d/D -merkinnällä, joka kertoo lajiteen ylä- ja alanimellisrajan. Poikkeuksen tähän muodostaa filleri, jota käytetään täyteaineena. Filleriksi luokitellaan kiviaines, josta suurin osa läpäisee 0,063 mm:n seulan. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 33.)

Kiviaineksien luokittelu karkeasta koostekiviainekseen;

- | | |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| - karkea | $D/d = 2$ tai $D = 11.2$ tai $D/d > 2$ ja $D > 11.2 \text{ mm}$ |
| - hieno | $D = 4 \text{ mm}$ ja $d = 0$ |
| - luonnonlajittama 0/8 | $D = 8 \text{ mm}$ ja $d = 0$ |
| - koostekiviaines | $D = 45 \text{ mm}$ ja $d = 0$ |

(BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 33.)

Yleensä betonimassasta mainitaan runkoaineksen suurin koko, jolloin esimerkiksi massa 16 mm tarkoittaa käytännössä betonimassaa, jossa suurin runkoaines on 16 mm. (Kääriäinen, 2015.)

4.2 Puhtaus

Käytettävä kiviaines ei saa sisältää haitallisia määriä betonin ominaisuuksiin vaikuttavia materiaaleja, kuten humusta eli kasvi- ja eliökunnan hajoamisjätteitä jotka voivat hidastaa tai jopa estää betonin kovettumisreaktion. Jotta voidaan välttää valkoisen runkoaineksen kellastumisvaaraa, valkobetonin rautapitoisuuden pitäisi olla alle 0,5 %. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 37.)

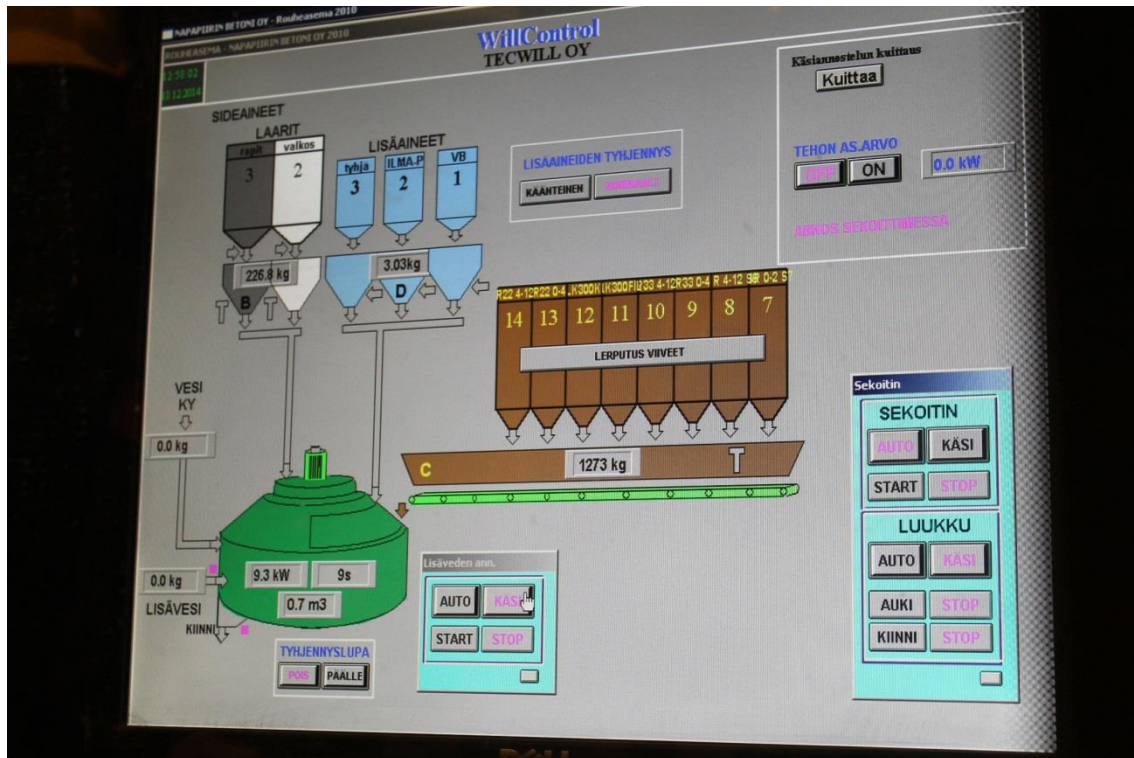
Sokeri hidastaa tai jopa estää betonin kovettumisreaktion jopa hyvin pieninä määrinä. Normaali betonimassa ei kestä sulfaatteja ja AIV-rehu muodostaa ammoniakkaa reaktiossa sementin ja veden kanssa. Betonin kestävyys erilaisia kemikaaleja ja rasitteita kohtaan, kuten sokeri, on kun kumminkin betonimassan

teknisistä ominaisuuksista riippuva. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 37.)

4.3 Kosteus

Yleensä kiviaineksia kuljetetaan ja säilytetään taivasalla, jolloin ne imevät itseensä kosteutta. Kosteus voi vaihdella paljon jopa annoskooittain. Absorboitunut vesi on imeytynyt kiviaineksen pintahuokosiin. Rapautunut kiviaines imee vettä paremmin kuin hyväkuntoinen kiviaines. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 37.)

Betonin valmistuksessa kiviainesmäärät ovat suuria ja niiden kosteuden määrittäminen usealla toistuvalla mittauksella on vaivalloista ja kallista. Betonin vesimäärää voidaan arvioida betonimyllyn sekoittimien vastusmittareiden avulla. Vastusteho pyritään pitämään massan ominaisuuksia muokkaamalla vakiona. Näin varmistetaan, että jokainen tuotettu betoniannos on työstettävyydeltään ja ominaisuuksiltaan muita vastaava. Kuvassa 9 on nähtävissä betonimyllyä betonimyllyn kuvan kohdalla sekoittimen vastusmittarin vastusarvo. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 38.)



KUVA 9. Betonin valmistamista betoniasemalla

4.4 Sementti

Sementti muodostaa reaktiossa veden kanssa sekä ilmassa että vedessä kovan ja kestäväen sementtikiven. Sementin valinnalla voidaan muokata monia betonin ominaisuuksia, kuten esimerkiksi sitoutumisaikaa, työstettävyyttä, lämmönkehitystä ja kemiallisten haitta-aineiden kestävyyttä. (BY 201 Betoniteknikan oppikirja 2004. 2005, 39.)

4.4.1 Standardit

Valmistuksessa käytettävän sementin tulee olla CE-merkittyjä ja täyttää sille SFS-EN 197-1:ssä esitetyt vaatimukset. SFS-EN 197-1 on Euroopan alueella yleisesti voimassaoleva sementtistandardi, joka on otettu käyttöön 1.4.2001. Se määrittelee sementtien koostumus- ja laatuvaatimukset ja ominaisuudet, jotka sementin tulee täyttää. Sementtiä kuvaillaan standardissa pastaksi, joka muodostuu veden kanssa sekoitessa ja joka sitoutuessaan hydraatioreaktioiden

kautta kovettuu eikä tämän jälkeen enää muuta muotoaan edes upotettaessa veteen. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 42.)

Yleisesti sementti muodostetaan Portland-klinkkeristä ja seosaineista. Sementtilaadut lajitellaan viiteen ryhmään niiden koostumuksen perusteella seuraavasti:

- CEM I Portlandsementti
- CEM II Portlandseossementti
- CEM III Masuunikuonaselementti
- CEM IV Pozzolaaniselementti
- CEM V Seossementti.

(BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 42.)

Betoninormeissa on määritelty kunkin sementtilajin soveltuvuus rasitusluokittain. Eri sementtilajit ovat yksilöity tuotteiden tunnistamisen vuoksi vähintään sementtilajin tunnuksella, lujuusluokkaa kuvaavalla luvulla sekä varhaislujuutta kuvaavalla kirjaimella. SFS-EN 197-1 sisältää taulukkoa 6 laajemman luettelon sementtien koostumusvaatimuksista. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 43.)

TAULUKKO 6. Sementtien koostumusvaatimukset (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 43)

Sementtilaji	Koostumusvaatimukset [%]					
	klinkkeri	kuona	silika	lentotuhka	kalkkikivi	muut
CEM I	95...100	–	–	–	–	0...5
CEM II/A-S	80...94	6...20	–	–	–	0...5
CEM II/B-S	65...79	21...35	–	–	–	0...5
CEM II /A-D	90...94	–	6...10	–	–	0...5
CEM II/A-V	80...94	–	–	6...20	–	0...5
CEM II/B-V	65...79	–	–	21...35	–	0...5
CEM II/A-LL	80...94	–	–	–	6...20	0...5
CEM II/A-M	80...94	6...20				0...5
CEM II/B-M	65...79	21...35				0...5
CEM III/A	35...64	36...65	–	–	–	0...5
CEM III/B	20...34	66...80	–	–	–	0...5

4.4.2 Rakennussementit

Rakennussementit jaetaan lujuuden osalta kolmeen standardilujuusluokkiin 32,5, 42,5 ja 52,5. Lukema tarkoittaa sementin puristuslujuutta 28 vuorokauden iässä. Lisäksi standardilujuusluokalle on kaksi varhaislujuusluokkaa N, joka on normaali, sekä R korkea varhaislujuus. Taulukossa 7 on esitetty betonin standardi- ja varhaislujuudelle vaatimukset. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 43.)

TAULUKKO 7. Standardi- ja varhaislujuudelle asetetut vaatimukset (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 44)

Lujuusluokka	Puristuslujuus [MPa]			
	Varhaislujuus		Standardilujuus	
	2 vrk	7 vrk	28 vrk	
32,5 N	–	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	–		
42,5 N	$\geq 10,0$	–	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20,0$	–		
52,5 N	$\geq 20,0$	–	$\geq 52,5$	–
52,5 R	$\geq 30,0$	–		

Napapiirin betonilla on eri käyttötarpeisiin kolme sementtiluokkaa. Yleissementti (CEM II/A-M (S-LL) 42.5 N) on normaalisti kovettava, kaikkeen sopiva sementtilaatu. Elementtihallissa käytössä oleva rapid-sementti kovettuu nopeasti, 7 vuorokauden kuluessa normaaleissa olosuhteissa, mikä lyhentää sen työstöaikaa. Nopeasti kovettuvalla sementillä, kovettumisaika normaaliolosuhteissa 3 vuorokautta, varmistetaan, että elementti on saavuttanut muotista purkulujuutensa seuraavaan aamuun mennessä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 44.)

Valkosementtiä käytetään valkoisen betonin tai rouhemassan tuottamiseen. Sen väri perustuu sementin rautaköyhyyteen. Valkosementti omaa yhtä hyvät lujuusominaisuudet kuin normaali sementti ja se soveltuu käytettäväksi tilanteen mukaan kaikkeen betonirakentamiseen. Valkosementti ja runkoaineena kalkki- ja kvartsikivi, ovat yleensä värjätyn betonin lähtöaineita. (BY 201 Betonitek-

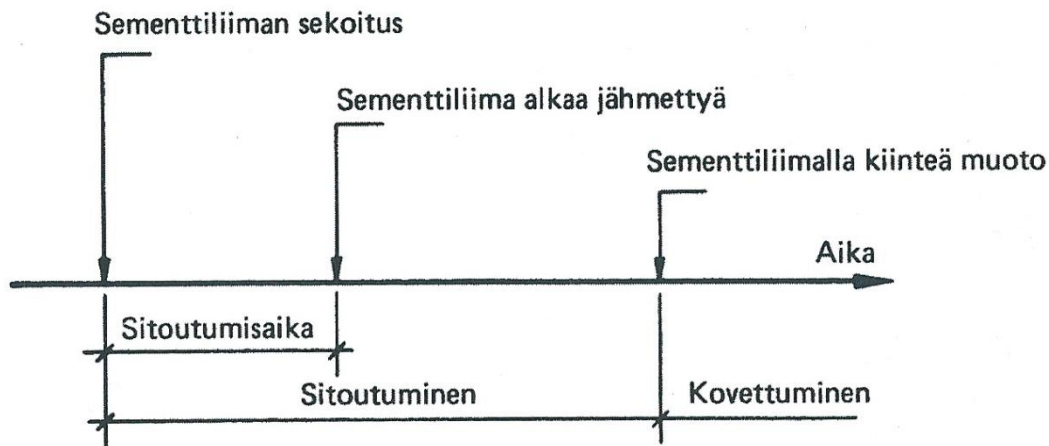
niikan oppikirja 2004. 2005, 45.)

4.5 Sementin ominaisuudet

Sementtiin lisätty kipsi hidastaa sementin ja veden reaktiota ja täten pitentää työstettävyysaika. Tällä ei ole suurta merkitystä valmiin tuotteen loppulujuuteen. Kemiallinen koostumus sekä hienous vaikuttavat sementin sitoutumisikaan ja kipsillä varmistetaan työstettävyysaika. Lämpötilan noustessa sementin ja veden reaktio nopeutuu ja työstettävyysaika lyhenee. Kylmä ilma ja tuuli sekä veto hidastavat kovettumisreaktiota. Kovettumassa olevaa massaa ei saa häiritä esimerkiksi kaivamalla, sillä se voi häiritä sementtiin muodostuvia liimasauvoja tai hajottaa ne, joka johtaa lopputuotteen lujuuskatoon. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 51.)

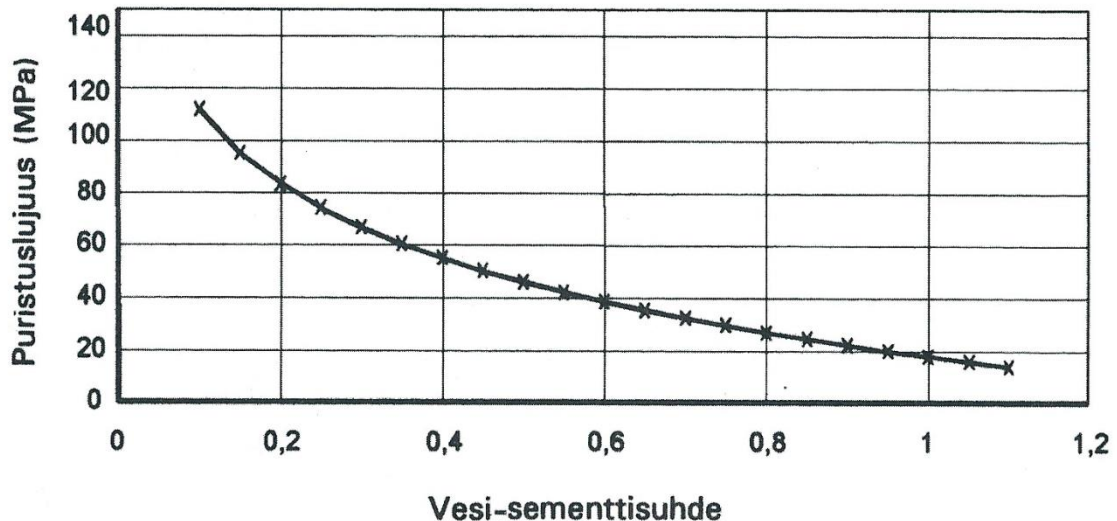
Joskus voi tapahtua niin sanottu valesitoutuminen, joka havaitaan massaa uudelleen sekoittamalla tai valuvaiheessa massan nopeana jäykistymisenä. Tämä johtuu veden haihtumisesta sementistä korkean lämpötilan vuoksi, jolloin kipsi reagoi nopeasti veden kanssa. Tämä ei vaikuta lopputuotteen lujuuteen alentavasti, se vain heikentää massan työstettävyyttä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 51.)

Betonin kovettuminen jatkuu niin kauan, kuin sementin ja veden reaktiossa tarvittavaa vettä on saatavilla (kuva 10). Tämä johtaa siihen, että lujuudenkehitys on voimakkaasti riippuvainen vesi-sementtisuhteesta, W/S-suhteesta. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 53.)



KUVA 10. Sementtiliiman sitoutuminen ja kovettuminen (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 53)

Teoreettisesti noin 25 % sementin painosta vettä riittää täydelliseen sementin kovettumisreaktioon, mutta tällöin tulee ottaa huomioon, että vettä sitoutuu myös niin sanottuihin geelihuokosiin noin 15 % sementin painosta. Todellinen betonin valmistuksessa käytettävä vesimäärä onkin täten 40–45 % sementin painosta, hieman notkeampi ja helpommin työstettävän massa vesi-sementtisuhte voi olla 0,5-0,6. Nykyisin vältetään betonin notkistamista vedellä, koska kemikaalilla notkistaminen on tavanomaisempaa, jolloin betonin ominaisuuksia ei muutoin muuteta. Veden liiallinen käyttäminen heikentää betonin lujuutta sekä muita ominaisuuksia. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 53.)



KUVA 11. Puristuslujuus eri W/S arvoilla (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 54)

Mitä hienompi on sementin jauhatus, sitä enemmän sillä on reaktiopinta-alaa ja sitä enemmän se tarvitsee vettä tietyn notkeuden saavuttamiseksi. Reaktiopinta-alan kasvulla saadaan aikaan nopeampi sitoutumisreaktio, lujuuden kasvu sekä parempi lämmöntuotto. Lämmönkehitykseen vaikuttaa myös sementin kemiallinen koostumus. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 56.)

Lämmön tuotanto suurenee kovettumisreaktion edetessä ja sillä on suuri merkitys massiivisia betonivaluja suoritettaessa, kuten isoja moniaukkoisia elementtejä, väestönsuojaelementtejä sekä suuria pilarianturoita valettaessa. Liiallinen lämmöntuotanto on myös haitallista, sillä se voi aiheuttaa halkeamia sisäosien lämmitessä elementin ulko-osia nopeammin. Tätä haittavaikutusta torjutaan elementin lämmittämisellä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 56.)

Sementti on hygroσκοoppinen aine, eli se pyrkii imemään itseensä kosteutta ympäröivästä ilmasta. Tämä voi johtaa sementin paakkuuntumiseen ja aiheuttaa häiriöitä betonin sitoutumiseen. Tämän vuoksi sementin pitkä-aikaista säilytystä tulisi välttää. Jo kolmen kuukauden säilytys voi johtaa jopa 10 % lujuuden menetykseen. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 58.)

4.6 Vesi

Betonin valmistukseen voidaan käyttää vesijohtoverkosta otettua puhdasta juomavettä tai juomakelpoista luonnonvettä. Humuspitoiset suovedet, teollisuuslaitosten jätevedet tai saastuneet vedet eivät käy betonin valmistukseen. Sulfidit, sulfaatit ja humus voivat estää betonin kovettumisen kokonaan. Kierrätettyä vettä voidaan käyttää, jos voidaan varmistua siitä, ettei se aiheuta laadullisia ongelmia. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 62.)

Sementin hydratoitumiseen vaikuttavat vedessä oleva rasva tai öljyt. Ne voivat sitoutua sementtihiukkasen pinnalle ja estää sementin ja veden reaktion, heikentää terästen tartuntaa ja aiheuttaa ylimääräistä ilmaa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 63.)

4.7 Lisäaineet

Lisäaineita käytetään muokkaamaan betonimassan ominaisuuksia tarpeen mukaisiksi. Myös suhteutus on toimiva tapa muokata ominaisuuksia, mutta sillä ei saada aikaan esimerkiksi pakkaskestävyyttä, huokoisuutta ja pitempää työskentelyikää. Lisäaineet vaikuttavat joko fysikaalisesti tai kemiallisesti. Niiden määrä betonissa on vähäinen, mutta jo pienetkin määrät lisäaineita voivat vaikuttaa betonimassan laatuun negatiivisesti ja positiivisesti. Taulukossa 8 on lueteltu betonin valmistuksessa käytettäviä lisäaineita ja niiden tunnuksia. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 63.)

TAULUKKO 8. Lisäaineet ja niiden tunnukset (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 64)

Notkistavat lisäaineet	
• Notkistin	N
• Tehonotkistin	N _t

• Nesteytin	N_n
Huokostimet	L_h
Muut pakkaskestävyyttä parantavat aineet	L_m
Kiihdyttimet	K
Hidastimet	H
Tiivistysaineet	T
Injektioaineet	I
Muut lisäaineet	M

Lisäaineiden käytön päätarkoitus on parantaa teknisiä ominaisuuksia ja taloudellista kilpailukykyä. Jokaisen lisäaineen käyttö vaatii testauksia ja kokeita, sillä niiden vaikutus betonin ominaisuuksiin tulee tuntea sekoitettaessa eri aineita ja vaikutukset matalissa lämpötiloissa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 63.)

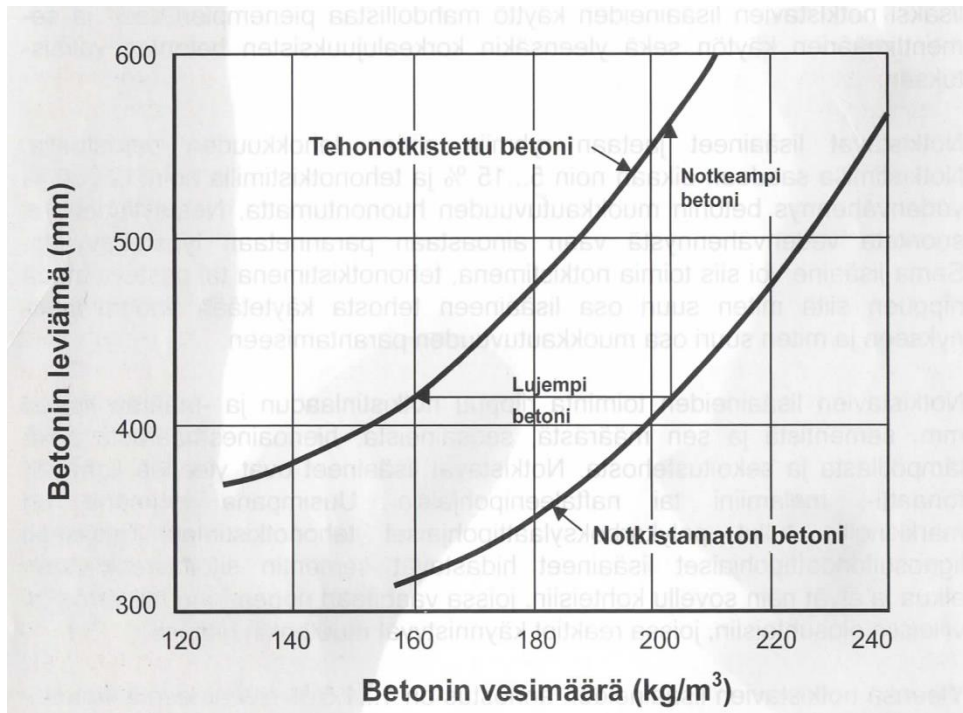
Valmistajan antamaa suositusta lisäaineen määrästä sekä 50 g lisäainetta/kg sementtiä annostusta ei saa ylittää ilman testejä ja kokeita, joilla määritetään lisäaineen vaikutus betonin toiminnallisiin ominaisuuksiin ja säilyvyyteen. Hyvin pienillä määrillä, kuten 2 g/kg sementtiä, tulee lisäaine sekoittaa pieneen määrään valmistuksessa käytettävää vettä. Suurilla nestemäärillä kuten 3 l/m³ tulee lisäaineen sisältämä neste ottaa huomioon betonin suhteutuksessa vesi-sementtisuhdetta laskettaessa. Lisäainetta valittaessa tulee ottaa myös huomioon betonin muut osa-aineet, kuten sementtilaatu ja määrä, runkoaineuksen rakeisuus, muut lisäaineet, annostusjärjestys, lämpötilat ja betonimyllyn teho. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 63.)

4.7.1 Notkistimet

Notkistimella parannetaan betonin teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia, kuten pumpattavuutta ja koossapysyvyyttä. Lisäksi ne mahdollistavat pienempien W/S-suhteiden käytön ja korkealujuusbetonin valmistamisen. Ne ovat pinta-aktiivisia aineita, jotka toimivat betonin runkoaineen ja veden välillä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 64–65.)

Notkistimet jaetaan luokkiin tehokkuuden perusteella. Normaalilla notkistimella saadaan noin 5-15 % ja tehonotkistimella noin 12–30 % vedenvähennys aikaisiksi menettämättä betonin muokattavuutta. Nesteytin parantaa betonin työstettävyyttä ja se lisätään normaalin vesimäärän lisäksi. Samaa lisäainetta voidaan käyttää kaikkiin kolmeen tehokkuuteen riippuen halutuista ominaisuuksista. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 65.)

Notkistimen toimintaan vaikuttavat käytettävän laadun ja määrän lisäksi sementti ja sen määrä, seosaineet, hienoainesmäärä sekä lämpötila ja betonimyllyn sekoitusteho. Annostus on yleensä noin 1-1,5 % sideaineen määrästä ja vaikutusaika vaihtelee noin 15 minuutista useisiin tunteihin. Pitkävaikutteisten notkistimet ja nesteyttimet voivat lisätä kiviaineen erottumisriskiä ja lisätä halkeiluriskiä, mutta näitä sivuvaikutuksia voidaan minimoida kiviainesuhteutuksella. Kuvassa 12 on esitetty notkistamattoman ja tehonotkistetun betonin leviämää vesimäärän funktiona. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 65.)



KUVA 12. Tehonotistimella saavutettavia ominaisuuksia (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 66)

4.7.2 Huokostimet

Huokostimella parannetaan betonin pakkaskestävyyttä. Sen toiminta perustuu pieniin ilmakupliin, jotka jakautuvat tasaisesti massaan. Betonissa olevan veden jäätyessä se pääsee laajenevaan suojuukosiin eikä riko ympärillä olevaa betonikiveä. Suojuukosien tulisi olla sopivan kokoisia ja sopivan matkan päässä toisistaan, jotta ne toimisivat mahdollisimman tehokkaasti. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 66.)

Huokostin lisää betonin ilmapitoisuutta 1-2 %:sta noin 4-8 %:iin. Se lisää massan muokattavuutta, notkeutta, koossapysymistä ja vähentää osa-aineiden erottumista filleriköyhässä betonimassassa. Huokostimen käyttö heikentää betonin lujuutta. Yhden ilmamääräprosentin lisäys vähentää lujuutta 5 prosenttiyksikköä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 66.)

4.7.3 Hidastimet

Hidastin siirtää betonin sitoutumisreaktiota myöhemmäksi ajankohdaksi ja sitä käytetään erityisesti pitkien matkayhteyksien kohteissa sekä isoissa, laajoissa valuissa, joissa halutaan välttää työsaumoja. Hidastin toimii loistavasti lämpimissä olosuhteissa työajan pidentäjänä, mutta haittavaikutuksena massan työstettävyyttä kärsii. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 67.)

Hidastimen osuus sideaineesta on noin 1-3 % ja sen annostukseen vaikuttavat käytettävä sementtilaatu, lämpötila, seosaineet ja vaadittu hidastusaika. Käyttö vaatii aina uusia ennakkokokeita, jos jokin annostukseen vaikuttava aine muuttuu. Kylmissä olosuhteissa hidastinta ei tarvita, sillä betonin sitoutumisreaktio hidastuu lämpötilan laskiessa huomattavasti. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 67.)

4.7.4 Muut lisäaineet

Kiihdyttimet nopeuttavat betonin sitoutumista ja kovettumista, jotta muottien purkaminen voitaisiin suorittaa nopeammin. Ennen kiihdyttimenä käytettiin kalsiumkloridia, mutta sen käyttöä on rajoitettu huomattua sen lisäävän raudoitteiden korroosiovaaraa ja toimivan hidastimena pieninä lisäainemäärinä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 68.)

Parempi ja nopeampi tapa hallita esimerkiksi betonin kovettumisnopeutta on käyttää rapid-sementtiä, lämmintä massaa, alhaista W/S-suhdetta sekä elementin lämmitystä. Nämä tavat eivät myöskään lisää kustannuksia turhaan, sillä lisäaineet maksavat ja ovat osittain jopa kalliita. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 68.)

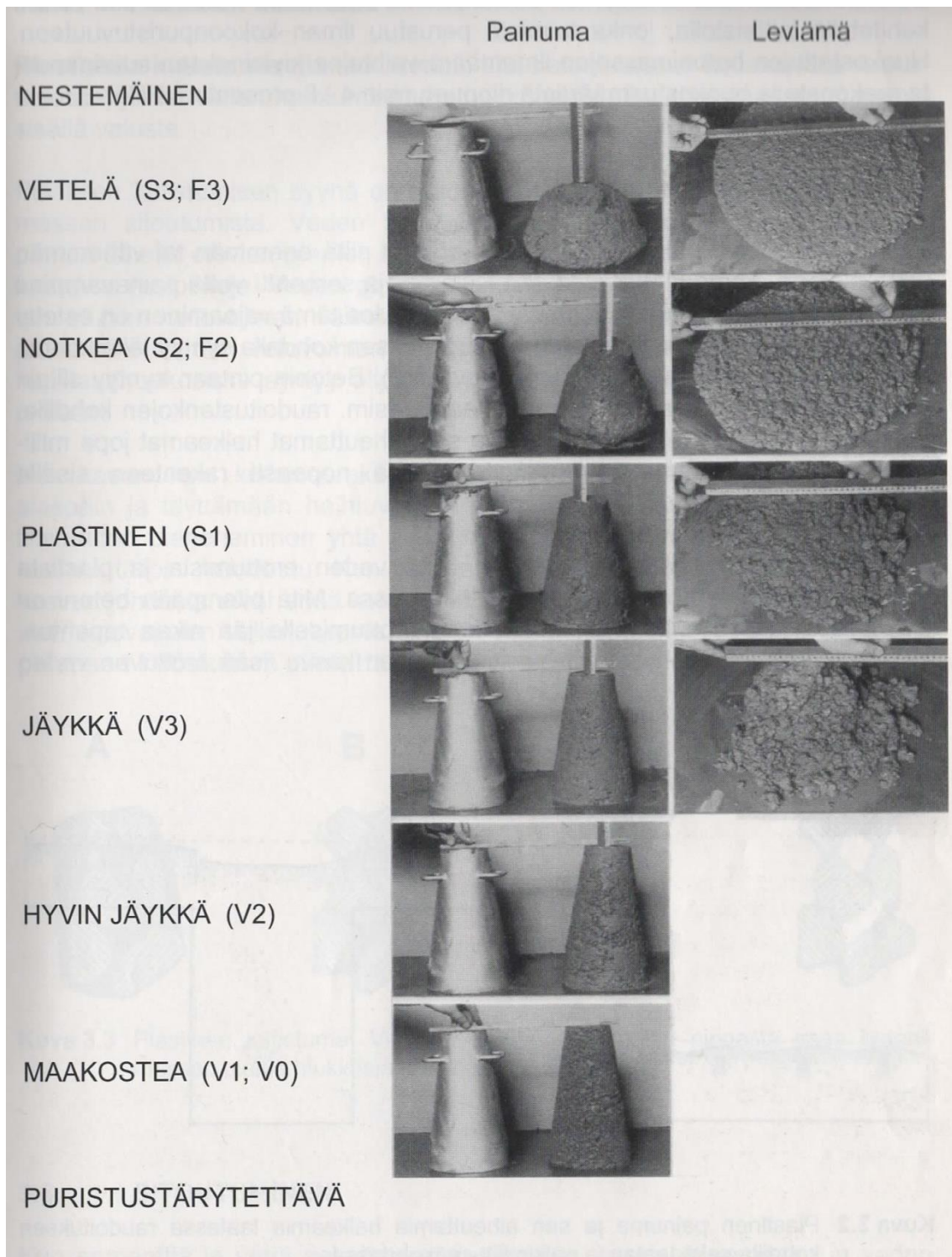
5 BETONIN OMINAISUUDET

Betonimassalla tulee olla sellaiset ominaisuudet, että se täyttää sille asetetut vaatimukset tiivistettynä, käsiteltynä ja kovettuttuaan. Tärkeimpänä pidetään massan notkeutta, joka vaikuttaa massan työstettävyyteen. Betonimassalle on määritetty vaatimuksia luokan mukaisesti painumalle, tiivistymiselle, leviämälle sekä vebe-luokat. Nämä luokat on lueteltu taulukossa 9 raja-arvoineen. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 69.)

Vetelä ja juokseva massa on helppo työstää, mutta sivuvaikutuksena se lisää plastisia ja pitkäaikaisia muodonmuutoksia sekä kasvattaa rakenteen halkeiluriskiä. Siksi suositellaankin käytettävän mahdollisimman jäykkää massaa kuin se työskentelyltään on mahdollista. Kuvassa 13 on esitetty betonimassan notkeusluokat vetelästä maakosteaan. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 70.)

TAULUKKO 9. Betonimassan notkeusluokitus (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 70)

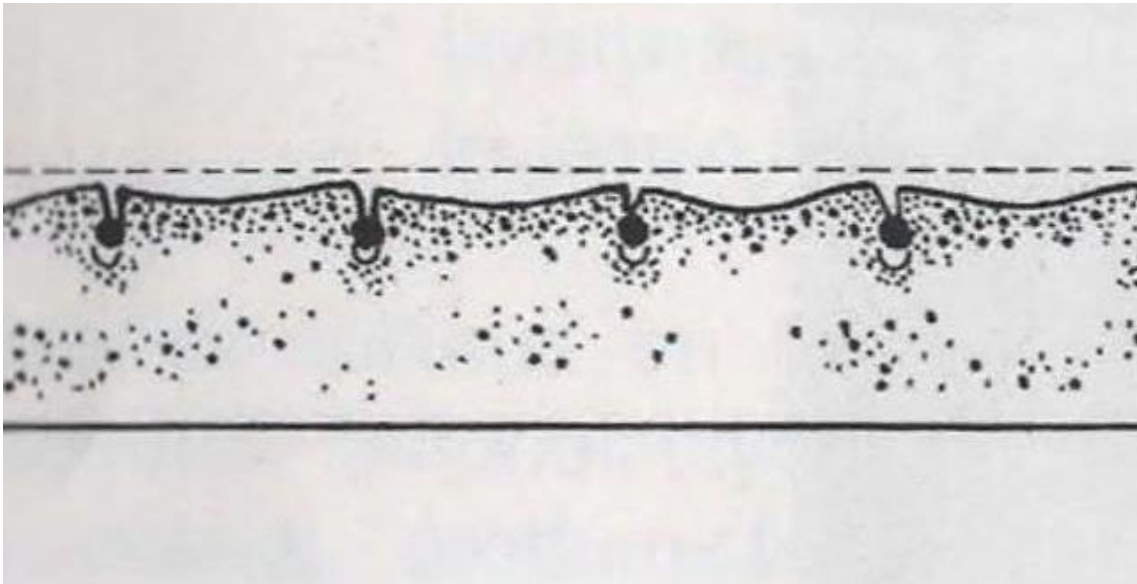
Painumaluokat		Vebe-luokat	
Luokka	Painuma [mm]	Luokka	Vebe-aika [s]
S1	10...40	V0 ¹⁾	≥ 31
S2	50...90	V1	30...21
S3	100...150	V2	20...11
S4	160...210	V3	10...6
S5 ¹⁾	≥ 220	V4 ¹⁾	5...3
Tiivistymislukot		Leviämäluokat	
Luokka	Tiivistymisaste	Luokka	Leviämän halkaisija [mm]
C0 ¹⁾	≥ 1,46	F1 ¹⁾	≤ 340
C1	1,45...1,26	F2	350...410
C2	1,25...1,11	F3	420...480
C3	1,10...1,04	F4	490...550
		F5	560...620
		F6 ¹⁾	≥ 630



KUVA 13. Betonimassan notkeusluokat (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 71) Lukema-arvoja on esitetty taulukossa 9

5.1 Plastinen painuma

Vaikka tärytys tai vibraus olisi suoritettu asianmukaisesti työsuoritusohjeita noudattaen, se ei poista sitä, tosiasiaa että vettä pääsee aina erottumaan betonimassan pinnalle kiviaineksen ja sementin ollessa vettä painavampaa. Plastinen painuma syntyy, kun tämä muutos on estetty raudoituksen kohdalla ja syntyy plastisesta painumasta johtuva halkeama raudoituksen kohdalle (kuva 14). Halkeama voi olla visuaalisesti havaitsematon, mutta sen voi todeta käyttämällä suoraa metallitankoa havaitsemiseen. Halkeama pinnalla voi olla suuri, mutta ne sulkeutuvat nopeasti betonipinnan alapuolella. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 72.)



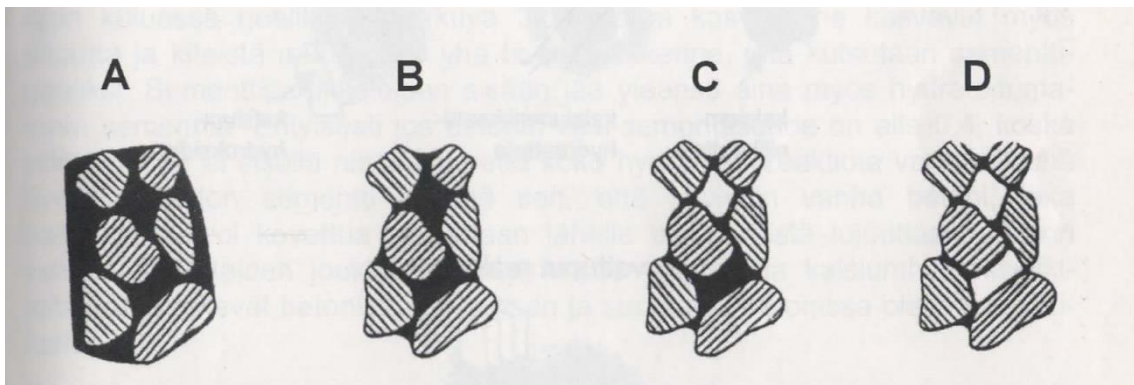
KUVA 14. Plastinen painuma (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 72)

Plastisen painuman vaara on sitä suurempi, mitä pitempää työskentelyikää betonimassalle halutaan ja mitä enemmän vettä massan teossa on käytetty, sillä veden erottuminen betonin pinnalle on ajasta riippuvainen. Tämä on vaarana etenkin kylmissä olosuhteissa valettaessa, jolloin betoni on plastisessa tilassa pitkään. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 72.)

Plastisen painuman ennaltaehkäisyssä on erityisen tärkeää muistaa jälkitärytys, joka suoritetaan ennen betonin sitoutumista. Myös pinnan käsittelyn jättäminen myöhemmäksi voi ehkäistä painumien syntymistä. W/S suhteella voidaan vaikuttaa painuman syntymiseen. Haluttaessa löysempää betonimassaa tulisi veden sijasta käyttää mieluummin notkistinta. (Kääriäinen, 2015.)

5.2 Plastinen kutistuma

Veden haihtuminen betonin pinnasta aiheuttaa elementtiin plastisen kutistuman, jolloin se kutistuu vaakatasossa. Tämä johtuu veden liian nopeasta haihtumisesta betonipinnasta ennen muotistapurkulujuuden saavuttamista. Ilmiö johtuu veden ja betonissa olevien pienten hiukkasten välille syntyvistä kaarevista vesipinnoista, jonka aiheuttaman kalvojännitystilan vuoksi betonimassa kutistuu (kuva 15). (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 73.)



KUVA 15. Plastinen kutistuma ja veden haihtuminen (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 73)

Veden haihtuminen pyritään estämään jälkihoidolla. Vettä haihtuu rakenteesta niin kauan, kuin kiviaines pystyy alaspäin vajotessaan täyttämään vesikadon aiheuttaman tyhjän tilan, jolloin kutistuma on yhtä kuin haihtuneen veden tilavuus. Kun runkoaines ei enää valu alaspäin, syntyy pintaan vetojännityksiä jotka aiheuttavat plastisen kutistuman halkeamia. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 73.)

5.3 Halkeilu

Halkeilu on betonirakenteille haaste. Suunnittelulla ja oikeaoppisella työsuorituksella voidaan huolehtia, että syntyvät halkeamat ovat niin pieniä, etteivät ne aiheuta laadullisia ongelmia, kuten elementin käyttöiän lyhentymistä tai raudoitteiden korroosiota. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 92.)

Halkeilun torjunnassa eritoten jälkihoidolla ja työnsuorituksella on suuri rooli. Halkeamia syntyy eritoten silloin, kuin nostolenkkien lisäraudoitus on jätetty pois, asennettu väärin tai nostolenkin taivutus ei ole suora, jolloin elementtiä nostettaessa nostolenkki pyrkii suoristumaan ja näin lohkaisemaan betonikiveä. Jälkihoidolla voidaan turvata betonin muotistapurkulujuuden riittävyys, ettei nostolenkkien synnyttämiä halkeamia nostotilanteessa pääse syntymään. (Kääriäinen, 2015.)

Halkeama aiheuttaa aina betonin laatua alentavia tekijöitä, kuten läpäisykyvyn kasvun, jolloin erityisesti raudoitus on suuressa vaarassa korroosioitua. Erityisesti raudoitukseen asti ulottuvat halkeamat ovat haitallisia, sillä niiden kautta korroosiota aiheuttavat aineet pääsevät erityisen hyvin rautojen syvyyteen. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 92.)

Halkeilu ei tapahdu aina betonin ollessa nuorta, vaan se voi tapahtua vasta vuosien päästä. Pieni halkeama voi aiheuttaa ajan kuluessa ison ongelman, sillä korrosio heikentää rautojen pitoa ja voi aiheuttaa jopa palasien irtoamista rakenteesta. Taulukossa 10 on esitetty eri halkeamatyyppejä ja niiden pääsyitä. Betonin halkeamien syntyäika voidaan iän suhteen kolmeen aikakauteen. Tuoreen betonin halkeamia voidaan kutsua plastisen ajan halkeiluksi. Betonin kovettumisen aikakana tapahtuu halkeilua, kun betonin vielä heikko vetolujuus ei kestä betonin sisäisiä vetolujuuksia. Täysin kovettuneen betonin halkeilut muodostuvat monesta syystä. Näistä voidaan mainita esimerkiksi terästen korroosiot, betonin kutistumiset, lämpötilan muutokset sekä karbonatisoituminen. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 92.)

TAULUKKO 10. Halkeamatyypit selityksineen (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 93)

Halkeilun aiheuttaja	Kirjaintunnus kuvassa 3.22	Pääsyy	Toissijainen syy	Esiintymisajankohta
Plastinen painuma	A, B, C	Veden erottuminen	Nopea kuivuminen, liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4 h, kun T=20...30 °C, 4...8 h, kun T=7...20 °C
Plastinen kutistuma	D, E	Pinnan nopea kuivuminen	Hidas haihtuvan veden korvautuminen (tiivis massa), liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4 h, kun T=20...30 °C, 4...8 h, kun T=7...20 °C
	F	Lisäksi raudoitus yläpinnassa		
Hydrataatio- lämpö tai lämmitys	G	Rakennusosien välinen lämpötilaero	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	1...3 d
	H	Rakennusosan sisäinen lämpötilaero		
Kuivumiskutistuminen	I	Iso v/s, huono jälkihoito, väärin suunniteltu rakenne (kutistumisliikkeet estetty)	Huono tartunta työsaumassa	Viikko...useita kuukausia
Pintahalkeilu	J	Huono muotti	Suuri sementti- ja vesimäärä, huono jälkihoito	Yleensä 1...7 d, joskus myöhemmin
	K	Huono tai liian aikainen pinnan hierto		
Pakkasrapautuminen	L	Vesi, jäätyminen ja sulaminen	Liian vähän suoja- huokosia, betoni vedellä kyllästynyt	Ensimmäiset talvet...useita vuosia
Raudoituksen ruostuminen	M	Liian pieni betoni- peite	Liian huokoinen betoni	Useita vuosia
	N	Kloridit		

Betonin kuivumisessa syntyvä lämpö voi aiheuttaa lämpötilavaihteluita, kun betonipinta on viileämpi kuin betonin sisälämpötila. Tämä lämpötilan ero voi johtaa halkeiluun pinnalla eritoten massiivia rakenteita valettaessa. Halkeamat synty-

vät vuorokauden tai viimeistään kolmen vuorokauden aikana ja ne ovat yleensä verkkomaisia pintahalkeamia. Syvyys voi vaihdella millimetreistä muutamiin sentteihin. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 94–95.)

Kun betoni ei pääse kuivumaan vapaasti, siihen voi syntyä kuivumiskutistumisen aiheuttamia halkeamia sementin tilavuuden pienetessä veden haihtuessa. Kutistumista voidaan hallita vesimäärän pienentämällä sekä betonimassan kiviaineksen määrällä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 95.)

Mikrohalkeamat ovat visuaalisesti havaitsemattomissa. Ne eivät aiheuta varsinaisesti laadullisia ongelmia kokonsa vuoksi, mutta niiden syntymistä voidaan hallita jälkihoidolla ja lämpötilaeroja tasoittamalla. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 96.)

5.4 Betonin lujuuden kehitys

Elementti on altis lohkeamille ennen kuin se on saavuttanut nimellisljuutensa. Oikein tehty raudoitus ehkäisee näitä lohkeamia, mutta ei poista niitä. Halkeamariski on suuri erityisesti nostolenkkien kohdalla, mikäli nostolenkkien lisäraudoitus on puutteellinen. Kuvassa 20 on nostolenkin suoristumisesta aiheutunut lohkeama nostolenkin kohdalla. Ongelmat nostolenkeissä aiheuttavat vaaratekijöitä, kuten elementin hallittavuuden menetyksen nostolenkin irrotessa. (Kääriäinen, 2015)



KUVA 20. Lohjennut nostolenkin kohta, joka on jälkeempään korjattu

Lujuudenkehitystä voidaan seurata laskennallisesti, kun tiedetään sementin lujuudenkehitys ja rakenteen lämpötila. Lujuutta voidaan arvioida myös Sadgroven menetelmällä, jossa rakenteen lämpötila mitataan rakenteen kylmimmästä osasta ja sijoitetaan kaavaan 1. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 123.)

$$t_{20} = \left(\frac{T+16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right)^2 * t$$

KAAVA 1

T = betonin lämpötila ajanjaksolla t (°C)

t = kovettumisaika (d)

Taulukossa 11 on esitetty normaalisti kovettuvalle betonille suositeltavat vähimmäisajat eri olosuhteissa. Napapiirin betonilla on käytössä rapid-sementtilaatu, jonka lujuudenkehitys on normaalisti kovettuvaa betonia nopeampi, joten taulukon arvot ovat suuntaa-antavia.

TAULUKKO 11. Suositellut jälkihoidon vähimmäisajat normaalisti betonille
(BY50 Betoninormit 2004. 2004, 123)

Betonin lämpötila [°C]	Aika [d], jolloin saavutetaan 60 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujudesta		
	K30	K40	K50	K30	K40	K50	K30	K40	K50
10	11	9	7	17	15	13	26	24	22
20	6	4,5	4	9	7,5	6,5	14	12	12
30	3,5	3	2,5	5,5	4,5	4	8	7,5	7
40	2,5	2	1,5	3,5	3	3	5,5	5	5

Betonin kovettumisreaktiota voidaan nopeuttaa lämpökäsittelyllä. Elementtihallissa on käytössä lämmitettävät pöydät, joissa vesiputkisto lämmitää muottipintaa. Käytettävän betonimassan lämpötilalla voidaan myös nopeuttaa kovettumisprosessia. Tulee kuitenkin muistaa, että viimeistelyvaiheet tulee suorittaa nopeasti tällaista massaa käytettäessä, jotta saavutetaan laadullisesti hyvä ja pinnaltaan sileä tuote. (RIL 115–1977. 1977, 294.)

Lämpökäsittävän betonin lujuutta ei voida arvioida Sadgroven kaavalla, siksi tulee olla tiedossa tutkimuksin ja kokeiluilla saadut tiedot kunkin käytössä olevan sementtilaadun käyttäytymisestä lämpökäsittelyssä. Näistä tärkein on lämmöstä aiheutuva laajentuminen, joka voi aiheuttaa muodonmuutoksia elementtiin. Huolellisesti suoritettulla tiivistämisellä vähennetään huokosia, jotka laajenevat lämpötilan noustessa. Jälkihoidolla on erityinen tehtävä lämpökäsittelyä elementtejä tehdessä valmiin tuotteen laadun kannalta, sillä se vähentää kosteuden haihtumisen aiheuttamaa halkeilua. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 124–125.)

Lämpökäsittelyn ansiosta elementeille saavutetaan muotistapurkulujuus noin 6-8 tunnin sisällä lämpökäsittelyn alkamisesta. Jos työpäivä on suoritunut normaalisti ilman valun myöhästymistä, voidaan elementin olettaa olevan tarpeeksi kovettunut aamuun mennessä. Jälkisäilytys hallissa varmistaa, että tuote on saavuttanut turvallisen asennuslujuuden ja se pystyy vastaanottamaan sille suunnitellut ja lasketut rasitukset. (RIL 115–1977. 1977, 295.)

6 RAKENTEIDEN VALMISTUS

6.1 Muotit ja tukirakenteet

Kannattaminen ja betonimassan tukeminen ovat muotin pääasiallisia tehtäviä betonin kovettumisen aikana. Ne suunnitellaan siten, että rakenteen muoto ja asema täyttävät rakenteen mittatarkkuusvaatimukset ja pinnan laatuvaatimukset. Napapiirin betonilla käytetään muotin valmistuksena mittatarkkuutta ± 3 mm, mutta muotti pyritään kuitenkin aina valmistamaan tarkkaan mittaansa. Varsinkin pitkiä, monta elementtiä käsittäviä rakenteita tehtäessä pienikin valmistusvirhe voi kertaantua lopussa isoksi, silmin nähtäväksi virheeksi. Muotista ei saa aiheutua valmiiseen elementtipintaan painaumuksia kuten kuvassa 21 on esitetty. (RIL 147–2006. 2006, 92.)



KUVA 21. Muotista aiheutuvat jäljet huonontavat huomottavasti paljaaksi jäävää betonipintaa laadultaan

Muottipinta voi olla valmistettu teräksestä, vanerista, sahatavarasta, lasikuidusta tai muovista. Yleisimmin elementtihallissa on käytössä tärypöytien teräsmuottipinta ja vanerista sekä sahatavarasta valmistetut muottien laidat. Muotin materiaali valitaan niin, että valmiin tuotteen laatuvaatimukset täytetään. Mitä tiiviimpi muottipinta on, sitä vaaleampia betonipintoja saadaan valmistettua. (RIL 147–2006. 2006, 99.)

Filmipintaisen vanerin käyttöikää parannetaan irrotusaineen käytöllä. Vaneri kestää 1-2 valukertaa ilman irrotusainetta, mutta tämä heikentää pinnoitteen kestoikää. Taulukossa 12 on käsitelty eri muottimateriaalien pintojen valutulosta ja teoreettisia käyttökertoja. Niin sanottuja puhdasvalupintoja tehtäessä tulee kiinnittää erityistä huomiota muottipinnan käyttökertamääriin. Laadullisesti parhaimman lopputuloksen saa yleensä vain yhdellä valukerralla. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 12.)

TAULUKKO 12. Muottivanerien keskimääräiset käyttökerrat ja saatava valutus (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 22)

Muottivanerityyppi	Valutus	Käyttökerrat
Pinoittamattomat		
koivupintaiset (esim. Wisa-Twin, Wisa-Koivu)	erittäin hyvä, huokoseton	hyvä tulos 1...2 kertaa/puoli tydyttävä tulos 2...3 kertaa/puoli
kuusipintaiset (esim. Wisa-Kuusi)	tydyttävä, viilun syykuvio näkyy betonissa ja oksien pihka saattaa värjätä betonia	2...3 kertaa/puoli
Pinoitetut		
kuusivaneri, filmipintainen	tydyttävä, viilun syykuvio saattaa näkyä betonissa, betonipinnassa pieniä huokosia	10 valukertaa
sekavaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Twin, Combi Mirror ja Combi)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	15...40 valukertaa laadusta riippuen (Twin—>Combi)
koivuvaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Koivu, Wisa-Form Super)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	60...100 valukertaa laadusta riippuen (Koivu—>Super)
viirapintainen filmivaneri (esim. Wisa-Form Wire)	hyvä, karkea mattapinta, josta ei erota pientä huokoisuutta	10...20 valukertaa

Muotin laita tehdään mahdollisimman jäykäksi ja tuetaan vähintään 600 mm välein niin, että valun reuna ei näy aaltoilevalta. Tehtäessä parvekelaattaa tulee muottipinta tukea niin, että suurin sallittu taipuma $L/300$ (ellei rakenteen vaatimukset tarkempaa vaadi) ei ylitä. Tämä tarkoittaa, että muottia tukevan rimoituksen asennuksen on oltava mahdollisimman tiheä. Suunnittelija määrittää elementteihin tehtävät ennakkokokhotukset, jotka ovat merkittäviä asioita elementtejä valmistettaessa. (RIL 147–2006. 2006, 99.)

Hienoin ainesosa sekä vesi eivät saa päästä huuhtoutumaan pois muotin reunojen alta. Lisäksi ylimääräisen ilman pääseminen valuun estetään tiivistämällä muottien ja valupintojen rako tiivisteliimaa käyttämällä. Muotien tiiviyteen tulee käyttää erityistä huomiota itsetiivistyvää betonia käytettäessä. Huonosti tiiviste-

tyn ja puhdistetun muotin pinnan laatua heikentäviä laatutekijöitä (kuva 22) ovat erityisesti valuhuokokset, valupurseet, nystemät ja syvennykset. Elementtien kiinnitys ja nostokohtien suunnittelu ja jälkipeittäminen tulee olla sellainen, ettei niistä tule elementtipintaa heikentäviä kohtia. Varsinkin parvekelaatan yläpinnan nostokohtien syvennysten peittäminen ohuella paikkausmassalla vaurioituu asentamisen jälkeen muutaman vuoden sisällä. Kuvassa 22 on saumat tiivistetty ohjeiden mukaisesti. (RIL 147–2006. 2006, 99.)



KUVA 22. Tiivistettyjä muotin ja valupinnan reunoja

Näkyviin jäävää pintaa tehtäessä tulee olla erityisen tarkka, että muotti on materiaaliominaisuuksiltaan ja pinnoiltaan tasalaatuinen, jotta valupinnasta saadaan mahdollisimman tasainen. Silloin kun muottipinta tehdään vanerista, tulee työntekijän erityisesti huolehtia, ettei muotin saumakohtaan tule porrastusta eikä koloa. (RIL 147–2006. 2006, 99.)

Muottivaneri kiinnitetään tukirakenteeseensa niin, ettei se pääse irtoamaan siitä valun aikana. Kiinnikkeiden jäljet tulee peittää reunojen valuvirheiden välttämiseksi. Kosteaa puumateriaalia käytettäessä on otettava huomioon puun kuivumisen aiheuttama kutistuminen, joka voi aiheuttaa muotin osan käyristymisen. (RIL 147–2006. 2006, 99.)

6.2 Muottien öljyäminen

Huoltovapaata muottipintaa ei ole olemassakaan. Muottien öljyämällä ja puhdistamisella voidaan vaikuttaa valmiin betonipinnan ulkonäköön. Huonosti puhdistettuun muottiin syntyy enemmän valun yhteydessä pintahuokosia. Yleisimmät irrotusaineiden käytöstä johtuvat ongelmat johtuvat käytön laiminlyönnistä tai liian runsaasta määrästä kerralla. Kuvassa 23 on esitetty muotin öljyämättä jättämisen vaikutus muottipinnan ulkonäköön. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 214.)

Öljyämätön muottipinta imee itseensä kosteutta valetusta betonimassasta. Tämä voi johtaa pahimmillaan sementin hydratoitumisen pysähtymiseen ja aiheuttaa betonin irtoilua palasina elementin pinnasta. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 20.)

Muotin öljyäminen tulee suorittaa siten, ettei muottiin pääse liikaa öljyä. Mikäli näin kuitenkin käy, tulee ylimääräisen öljyn poistamisesta huolehtia ennen raudoitustyön aloittamista. Betoni irtoaa helposti hyvin öljytystä pinnasta eikä siihen aiheudu väkivaltaisen poistamisen johdosta koloja ja muita laatua heikentäviä vaurioita. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 214.)

Toistuvasti käytössä olevat muotit tulisi puhdistaa ylimääräisestä betonista purkamisen jälkeen ja siirtää välittömästi säilytyspaikkaan, jotta niihin kohdistuvia iskuja ja muita kolhuja sekä koloja aiheuttavia tapahtumia voidaan estää. Näin voidaan parantaa muottien säilyvyyttä ja betonipinnan laatua. (RIL 147–2006. 2006. 100.)



KUVA 23. Kolhiintunut ja puhdistamaton sandwich-muotin reuna

6.3 Muottien purku, valmiin elementin kuljetus ja pesu

Muotin saa purkaa, kun voidaan varmistua todettavin tavoin betonin kovettuneen niin paljon, että se kestää siihen kohdistuvat rasitukset ilman muodonmuutoksia. Käytännössä tämä tarkoittaa, että vähintään 60 % nimellislujuudesta on saavutettu, ellei rakennesuunnittelija ole piirustuksissa toisin esittänyt tai muuten erillistä selvitystä tehty. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 89.)

Muotin purku suoritetaan mahdollisimman nopeasti, kun vaadittava käsittelylujuus on saavutettu. Muotin purenta ei saa aiheuttaa elementtiin jälkiä, jotka johtuvat työvälineiden käytöstä. Hyvin öljytyt pinnat irtoavat purkuvaiheessa helposti. Muotti voi vaurioitua, jos elementtiä irrotetaan käyränokkaisella kangella. (RIL 115–1977. 1977, 296.)

Elementin noston yhteydessä työntekijän tulee varmistua nostolaitteiden kiinnityksestä, kappaleen tasapainosta nostettaessa sekä siitä, ettei nostotilanne aiheuta elementteihin vahingollisia jännityksiä, muodonmuutoksia ja lohkeamia. (RIL 115–1977. 1977, 296.)

Korkeapainepesun suorittajan tulee varmistua, ettei betonipintaan jää jälkihoitoainetta, mikäli sellaista on valun yhteydessä käytetty. Tämä on tärkeää erityisesti silloin, kun ei voida varmistua jälkihoitoaineen ja pinnoitettavan, esimerkiksi maalattavan elementtipinnan maalin ja jälkihoitoaineen yhteensopivuudesta. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 83.)

6.4 Raudoitteet

Betoniteräokset ovat raudoitukseen suunniteltuja, pinnaltaan harjakuvioituja tankoja tai tangoista valmistettuja verkkoja. Tankoja valmistetaan sekä kuuma- että kylmävalssaamalla. Betoniteräoksen toiminta elementissä perustuu raudoitteen pinnan geometriseen muotoon, raudoitteen mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten myötöön, murtolujuuteen. (BY 211–2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. 2013, 48.)

Raudoitteet lajitellaan lujuusluokkiin 400, 500, 600 ja 700 MPa myöntöarvon ominaisarvon perusteella. Raudoitus on suunniteltu siten, että se mahtuu rakenteeseen ja muottiin kullekin elementille asetettujen toleranssien puitteissa sekä niin, ettei betonipeite missään olosuhteissa alitu enempää kuin 10 mm. Raudoitus pyritään suunnittelemaan siten, että suurin tankopituus riittää koko raudoituksen tarpeeseen niin, ettei sitä tarvitse jatkaa. Taulukossa 13 on käsitelty raudoiteterästen ja ankkurointipituuksien sallitut pituuden mittapoikkeamat. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 63.)

TAULUKKO 13. Raudoituksen ja ankkuroinnin sallitut mittapoikkeamat pituus-suunnassa (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 63)

Mittauksen kohde	Toleranssit [mm]	
	Normaaliluokka	Erikoisluokka
Raudoitteen mitat		
L < 500 mm	±10	±5
L = 500...1000 mm	±15	±10
L = 1000...2000 mm	±20	±15
L > 2000 mm	±30	±20
Ankkurointi-, jatkos- ja tartunta-pituudet		
Ø ≤ 16 mm	-20	-20
Ø > 16 mm	-40	-40

Raudoitteen ja rakenteen valmistustoleranssit on otettava huomioon rakenteissa, joissa raudoiteissa tai tangoissa molemmat sivut tai päät koskettavat muottipintaa niin, että vähennetään raudoitteiden nimellismitoista annetut rakenteiden toleranssin tai raudoituksen toleranssi sen ollessa suurempi. (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 63.)

Raudoitteiden suunnittelussa elementtiä ajatellaan osana toimivaa rakennekokonaisuutta rakenteen kestävyden, säilyvyyden ja kokonaisedun huomioiden. Määrä ei ole ratkaiseva tekijä kestävyden kannalta, vaan se, miten ja millaisia teräksiä käytetään ja yhdistetään. Sarjavalmistusta pyritään nopeuttamaan samojen raudoituskuvioita toistamalla ja yksinkertaisia ratkaisuja toteuttamalla. Tämä myös vähentää raudoitustyössä tapahtuvia laaturvirheitä ja parantaa valmiin tuotteen laatua. (Nykyri, 2015.)

Halkaisijaltaan liian pieni taivutussäde verrattuna tangon paksuuteen voi aiheuttaa muodonmuutoksia ja lujuuden heikkenemisiä raudoiteteräksessä, kun teräksessä tapahtuu muutoksia molekyylitasolla, jolloin molekyyliden sidokset heik-

kenevät. Taulukossa 14 on esitetty vaaditut tankojen sisäpuoliset taivutussäteet eri teräslajeille teräksen halkaisijan mukaisesti. (Nykyri, 2015.)

TAULUKKO 14. Tankojen sisäpuoliset taivutussäteet (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 279)

Laji	Haat, koukut, lenkit	Pääraudoitus
A500HW	3 Ø, kun Ø≤12; 5 Ø, kun >12	12 Ø
A700HW	2,5 Ø	17 Ø
S235JRG2	1 Ø	6 Ø

6.5 Raudoittepiirustukset ja raudoitus

Raudoitustyö suoritetaan aina raudoittepiirustuksen antamien ohjeiden mukaisesti. Yleisimpiä raudoituksessa tapahtuvia virheitä ovat kuvan väärintulkinta, väärän teräslajin käyttö, teräksien ankkurointipituuksien puutteellinen mitta sekä teräksien väärä sijainti sekä häkkiraudoitteiden suoruus. (Kääriäinen, 2015.)

Elementtihallissa on huomattu työn ohessa, että kuvan tulkitsemiseen tulisi käyttää aikaa. Kuvassa voi olla useita eri merkintöjä päällekkäin, tai se voi muuten olla vaikeasti ymmärrettävä. Listan tekeminen tarvittavista raudoitteista helpottaa työsuoritusta, mikäli tarjolla ei ole valmista raudoitteuetteloa. Pitämällä kirjaa tarvittavista osista, vähennetään hukkatöiden määrää ja varmistetaan raudoitteiden oikeasta määrästä.

Raudoittamisessa tulee kiinnittää huomiota ankkurointipituuksiin. Liian lyhyt ankkurointipituus voi vaikuttaa lopputuotteen kestävyysasteeseen, kun raudoitteet eivät toimi yhtenä kokonaisuutena kuten on suunniteltu. Terästen asentamisessa tulee varmistaa oikea sijainti. Elementit ovat aina yksilöitä ja samantyyppisten

elementtien raudoitteiden sijainti saattaa vaihdella. Koskaan ei saa raudoittaa ulkomuistista, vaan tulee aina tarkastaa epäselvä asia raudoitepiirustuksesta tai lähimmältä esimieheltä. (BY 211–2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. 2013, 48.)

Raudoite tarvitsee ympärilleen betonia, jotta muodostuu toimiva teräsbetonirakenne. Terästen ja betonin yhteistoiminta perustuu betonin kiinnittymiseen teräksen pinnalla oleviin nystyröihin. Tämän vuoksi tiivistys on erityisen tärkeä työvaihe, jotta varmistutaan siitä, että betoni on tiivistynyt tiiviisti raudoitteen pintaan, eikä niiden välille jää esimerkiksi ilmakuplia. (BY 211–2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. 2013, 48.)

Raudoituksen päätteeksi tulee tarkistaa raudoiteluettelon ja asennetun raudoituksen samankaltaisuus ja käydä läpi raudoitteiden tarkistuslistan kaikki kohdat eli

- oikeat teräslaadut, materiaalin kunto, ruostemäärä
- läpimitat, lukumäärä, jakovälit
- piirustusten mukainen asemointi, riittävä etäisyys toisiin, betoni-
peitteet
- taivutussäteet, jatkospituudet, ankkurointipituudet
- riittävä tuenta, mahdolliset asennustangot, sidonta
- valua vaikeuttava raudoitus (ahdas, varaus)
- raudoituksen päällä liikkuminen.

(BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 284.)

Terästyypien merkittävimmät eroja ovat seuraavat:

- Vain kuumavalssattua terästä saadaan hitsata.
- Kuumavalssattu teräs on sitkeämpää eli venymä ennen murtumista on suurempi kuin kylmämuokatulla teräksellä.
- Kuumavalssattujen tankojen tartunta on parempi kuin kylmämuokattujen.

(BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 256.)

Betoniteräkset ja verkkorauδοitteet täyttävät niille kulloinkin voimassa olevissa SFS-standardeissa asetetut vaatimukset. Lisäksi jokaisen tuotteen tulee olla sertifioitu ja käyttöön sopiva. Sertifiointin tunnustat SFS-merkistä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 255.)

Merkintöjen selitykset:

B	kylmämuokattu
A	kuumavalssattu
numero-osa	teräksen ominaislujuus (N/mm ²)
K	kylmämuokattu harjakuvio
H	kuumavalssattu harjakuvio
W	hitsattavaa
X	ruostumaton.

(BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 256.)

Toisinaan sattuu tilanteita, jolloin saatavilla ei ole juuri oikeanlaista raudoitamateriaalia. Tällöin materiaali voidaan korvata toisella, kunhan alla olevan listan ehdot täyttyvät:

- Teräslajin pysyttävä samana (tai vahvempi teräslaji)
- 8 mm voi korvata 10 mm. 10 mm voi korvata kahden 8 mm nippurauδοitteella jos suunnittelija antaa luvan.
- Tankorauδοitteen voi korvata verkolla, jos saatavilla oikeanlaista verkkoa. Tarvittaessa lisätään lisää tankoja oikean jakovälin saavuttamiseksi
- Ruostuvaa terästä ei voi korvata ruostumattomalla ilman suunnittelijan lupaa (eivät ole ominaisuuksiltaan samanlaisia).

(Nykkyri, 2015.)

6.6 Raudoitteet ja korroosio

Teräksellä on taipumus ruostua kosteassa ilmatilassa. Tällöin se pyrkii muuttumaan takaisin niiksi yhdisteiksi, joissa se luonnossa esiintyy. Betonirakentamisessa terästen ruostumattomuus perustuu betonin emäksisyyteen ja pinnalle muodostuvaan oksidikalvon, jotka suojaavat raudoitusta kemiallisesti. Oksidikalvo estää ruosteen etenemisen teräksessä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 97.)

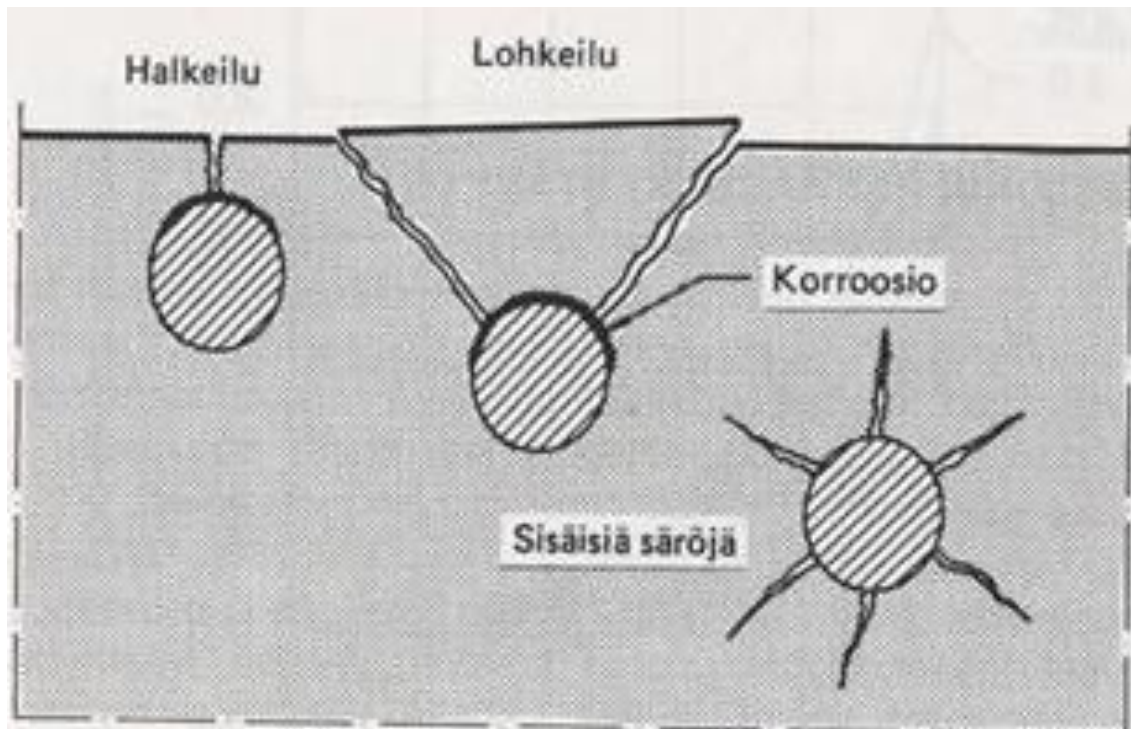
Betoni suojaa raudoitteita fyysisesti estämällä haitallisten korroosiota aiheuttavien aineiden pääsyn raudoituksen läheisyyteen sitä paremmin, mitä tiiviimpää se on. Korroosiota aiheuttavia aineita ovat muun muassa happi ja vesi sekä kloridit. Pienetkin valmiissa elementissä esiintyvät halkeamat voivat pienentää betonin tiiviyttä ja aiheuttaa raudoituksen korroosion. Tämän vuoksi tulee erityisesti kiinnittää huomiota betonin tiivistykseen ja jälkihoitoon. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 97.)

Betonipeitteen paksuus tulee olla vähintään sen, mitä raudoittepiirustuksessa rakennesuunnittelija on määritellyt, sillä betonipeitteen paksuuden antama suoja kasvaa suuremmissa suhteissa kuin itse betonipeitteen paksuus. Tämä ominaisuus johtuu korroosiota aiheuttavien aineiden etenemisen hidastumisesta syvemmälle betoniin mentäessä. Betonipeitteen paksuus riippuu aina rakenteen vaatimuksista ja sen käyttöympäristön olosuhteista. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 97.)

Raudoitteen korroosion käynnistää aina jokin fysikaalinen tekijä, kuten betonipinnan antaman suojan poistuminen rakenteen haljetessa tai lohjetessa esimerkiksi elementin siirron aikana. Pienet halkeamat eivät riitä poistamaan fysikaalista ja kemiallista suojaa. Jos halkeama täyttää BY50 mukaisen sallitun halkeamaleveyden, raudoitus on korroosiolta suojattu. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 98.)

Raudoituksen korroosion edellytyksenä on riittävä hapensaanti. Tätä hapensaantia voidaan estää betonin hyvällä tiivistämisellä. Tärytyksen ja tiivistyksen

aikana tuleekin huomioida, että kaikki betonivalun kohdat tulee tiivistettyä hyvin. Kuvassa 24 on esitetty raudotteiden ruostumisen aiheuttamia ongelmia betonissa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 101.)



KUVA 24. Korroosion vaikutus rakenteessa (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 103)

Ruostuva rauditus vaati nelinkertaisen tilavuuden alkuperäiseen verrattuna. Tästä johtuen liian lähellä väärin raudoitettut ja lähellä pintaa olevat raudotteet aiheuttavat rakenteen lohkeamisvaaran. Korroosio on myös havaittavissa betonipinnan värinmuutoksina. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 102–103.)

Raudotteiden ruostumisen estämiseksi ja riittävän tartunnan luomiseksi betoniteräksille tulee niiden ympärillä olla aina riittävän paksu betonipeite. Betonipeiteen paksuus riippuu rakenteen valitusta käyttöiästä sekä rasitusluokasta. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 102–103.)

6.7 Ruoste, pinnan likaisuus ja muut haittatekijät

Raudoitteita ei saa käsitellä ja kuljettaa niin, että niihin aiheutuu pysyviä muodonmuutoksia, kuten käyristymiä. Varastointi on suoritettava siten, etteivät ne joudu syövyttävien aineiden tai muiden haitallisten vaikutusten alaisiksi. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 113.)

Raudoitustyöhön käytettävä raudoitus ei saa olla niin ruostunutta, että se vaikuttaisi terästen tartunta- ja lujuusominaisuuksiin. Teräksestä ei saa irrota ruoste-palasia eikä siinä saa olla syöpymiä. Erityisesti rasitetun rakenteen raudoitus saa olla vain pintaruostunut. Mikään muukaan raudoitus ei saa olla niin ruostunut, etteivät ne täytä standardin vaatimuksia. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 113.)

Raudoituksen pinnalla ei saa olla myöskään irtolikkaa tai valmiiksi kuivunutta betonia, kuten kuvassa 25 olevissa betoniteräsverkoissa on. Nämä estävät tuoreen betonin kiinnittymisen raudoiteteräksen pintaan ja täten irrotessaan voivat pahimmassa tapauksessa jopa estää raudoituksen toimivuuden suunnitellun mukaisesti. (Kääriäinen, 2015.)



KUVA 25. Pintalika voi estää betonin ja raudoitteen yhteistoiminnan

6.7.1 Raudoitteiden asennus

Raudoitteita asennettaessa tulee välikkeitä käyttää riittävästi. Välikkeillä raudoitus tuetaan betonivalun ajaksi niin, että suunniteltu suojabetonietäisyys saavutetaan. Raudoitteiden taivutussäteinä tulee käyttää alla olevan taulukon 14 arvoja silloin, kun piirustuksissa ei ole toisin määrätty. Halkaisijaltaan liian pieni taivutussäde verrattuna tangon paksuuteen voi aiheuttaa muodonmuutoksia ja lujuuden heikkenemiä raudoiteteräksessä. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 113.)

Raudoitus jatketaan aina joko limijatkoksella, hitsaamalla tai varta vasten valmistetuilla erikoisjatkoksilla. Limijatkoksen pituus tulee olla vähintään sen verran kuin raudoitepiirustuksessa on ilmoitettu. Erityisiä kuormia kantavien elementti-

en raudoitteiden hitsausjatkokset suunnittelee rakennesuunnittelija. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 113.)

Raudoite tarvitsee ympärilleen betonia, jotta muodostuu toimiva teräsbetonirakenne. Samaan suuntaan menevien tankojen väliin tulee jäädä suurimman tuloksen antava etäisyys seuraavista arvoista:

- raudoiteteräksen halkaisija
- 1.2 kertaa kiviaineksen ylänimellisraja (esim. 16 mm)
- 25 mm:n raudoitetangoilla ja 50 mm:n suojaputkilla.

Samalla kohdalla olevien limijatkoksien, eli samalla kohtaa olevien esim. päällekkäisten kehäterästen etäisyys tulee olla kumminkin vähintään kaksi kertaa raudoiteteräksien paksuus (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 113).

Tarkasti asennetusta raudoituksesta ei ole hyötyä, mikäli seuraavissa työvaiheissa raudoitus turmeltuu. Tämän vuoksi tulee välttää erityisesti valmiin raudoituksen päällä kävelyä. (RIL 149–1995 Betonityöohjeet. 1995, 61.)

6.8 Kiinnikkeet ja niiden asennus

Peikon ja R-Steelin tarjoamat betonielementtien valmiit liitoskappaleet tarjoavat elementtitehtaalle nopean tehokkuutta ja kilpailukykyä parantavan tavan elementtien liitosten toteuttamiseen. Tuotteet ovat hyväksytyjä ja käyttötarkoitukseensa testattuja.

Jokaiselle tuotteelle on olemassa oma asennusohjeensa ja kuormituskestävyytensä. On ensiluokaisen tärkeää, että valmistajan antamia ohjeistuksia noudatetaan tarkasti sekä kiinnityksen että mahdollisten lisäraudoitteiden osalta. Taulukossa 15 on esitetty kiinnityslevyjen, pilarikenkien ja muiden elementtiin asennettävien lisäosien mittatoleranssit.

TAULUKKO 15. Kiinnityslevyt, pilarikengät, reiät ja vastaavat (BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. 2013, 65)

Mittauksen kohde	Toleranssit [mm]
Kiinnityslevyt ja vastaavat – sivusijainti vaakatasossa (t) – sijainti kohtisuorassa tasoa vastaan (s)	±15 ±5
Pilarikengät ja vastaavat – sivusijainti vaakatasossa (t) – korkeusasema (K) – kierretartuntojen keskinäinen väli (v) ¹⁾ – kiertymä (r)	±10 ±5 ±2 ±5
Harjatankotartunnat (t) ²⁾	±10
Reiät (t)	±20

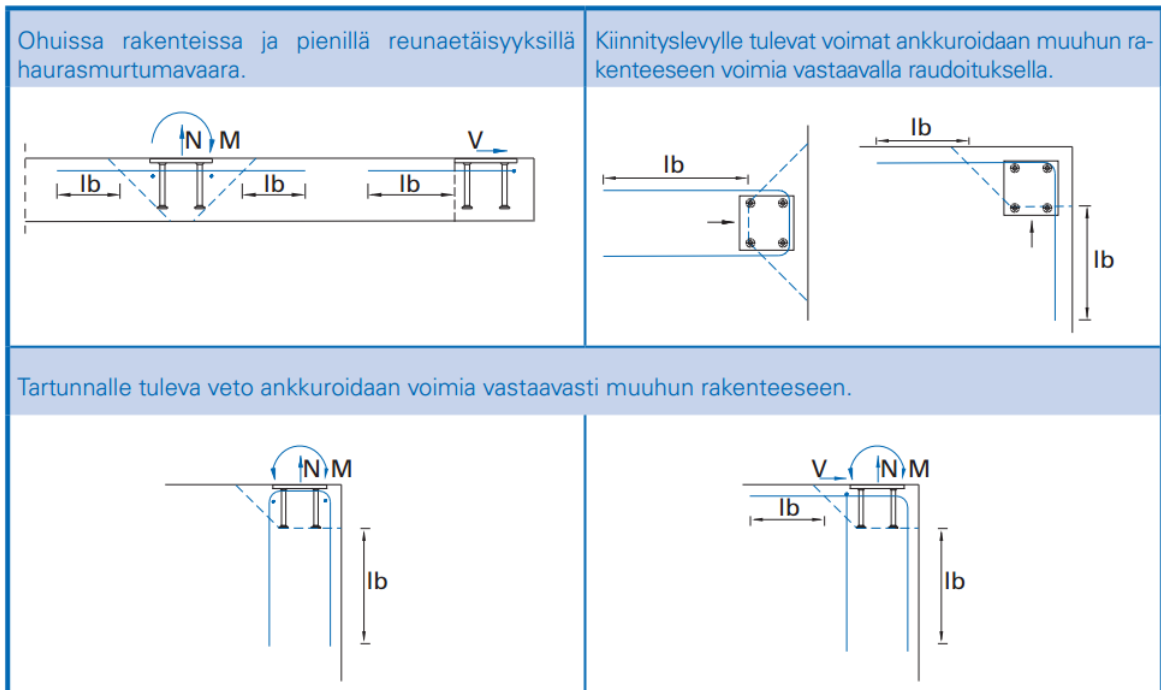
1) Ellei suunnitelmissa tai käyttöselosteissa ole määrätty toisin.

2) Silloin kun tartuntojen sijainnilla on merkitystä esimerkiksi yläpuolisen rakenteen paikan kannalta.

6.8.1 SBKL-kiinnityslevyt

SBKL-kiinnityslevyt on suunniteltu siirtämään niihin kohdistuvat voimat ja rasitukset betonielementtirakenteelle. Mikäli kiinnityslevy sijaitsee liian lähellä elementin reunaa tai on oletettavaa, että levyn ympäristö voisi halkeilla, pyritään levylle tulevat rasitukset siirtämään ympäröivään rakenteeseen lisäraudoituksella. Lisäraudoituksella ei lisätä kiinnityslevyn kantokykyä vaan ainoastaan ohjataan kuormituksia pois kiinnityslevyn läheisyydestä. (Kiinnityslevyt. 2013, 7.)

Lisäraudoitus sijoitetaan mahdollisimman lähelle kiinnityslevyä tai levyn tartuntoja siten, että ne ankkuroituvat (kiinnittyvät) levyn ympärille syntyvän murtokartion ulkopuolelle. Kuvassa 26 on esitetty erilaisia rakenteen murtumistapoja ja niiden estämiseen tarkoitettuja lisäraudoitteita kiinnityslevyn kohdalla. (Kiinnityslevyt. 2013, 7.)



KUVA 26. Erilaisia rakenteen murtumistapoja ja lisäraudoituksia (Kiinnityslevyt. 2013, 7)

Asennus voidaan suorittaa naulaamalla, liimaamalla, kaksipuoleisella teipillä tai puristimilla riippuen muotin ja raudoituksen sallimasta tilasta. Levyihin on saatavilla tarvittaessa tehtaalla tehty naulanreiät. Levyjä ei saa ikinä muokata elementtien valmistusvaiheessa. Kiinnityslevyn jalkoja ei saa väännellä, lyödä lyttyyn eikä niihin saa porata itse reikiä. (Kiinnityslevyt. 2013, 7.)

Betonivalua suorittaessa massan vapaa putoamiskorkeus kiinnityslevyn lähetyvillä tulee pitää mahdollisimman pienenä, jotta vältetään kiinnityslevyyn kohdistuvilta äkillisiltä kuormilta sekä massan erottumiselta kiinnityslevyn kohdalla. Tiivistys tulee suorittaa huolellisesti jotta varmistuttaisiin, ettei kiinnikkeen alle tai sen sivuille jää tyhjiä aukkoja tai muita betonista vapaita koloja. Tällaiset haittatekijät voivat vaikuttaa kiinnityslevyn toimintaan ja kuormien vastaanottamiseen. (Kiinnityslevyt. 2013, 7.)

Jos raudoitepiirustukseen merkittyä kiinnityslevyä ei ole saatavilla, metalliosaa ei saa vaihtaa toiseen ilman suunnittelijan hyväksyntää. Erityisesti isokokoisempaa kiinnityslevyä ei saa korvata kahdella pienemmällä, vaikka yhteenlaskettu pinta-ala vastaisikin alkuperäistä kuvaan merkittyä. (RIL 149–1995 Betonityöohjeet. 1995, 64.)

6.8.2 PB-, PBK- ja PBR-nostolenkit

Nostolenkit on mitoitettu nelinkertaiseen varmuuteen kuormitukseen nähden. Nostolenkki ei silti kestä esimerkiksi kuorman keinunnasta aiheutuvaa nykäisevää voimaa. Työsuorituksessa tulee aina käyttää vähintään sitä nostolenkin halkaisijaa, joka elementin raudoitepiirustuksessa on merkitty. Nostolenkki voidaan vaihtaa suurempaan kokoon rakennesuunnittelijan sen hyväksyessä. Nostolenkki asennetaan elementtiin aina ehdottomasti niin, että hitsattu pää jää betonin sisään. Nostolenkkiä ei saa ikinä nostaa hitsatusta päästä. (Nostolenkit, 7.)

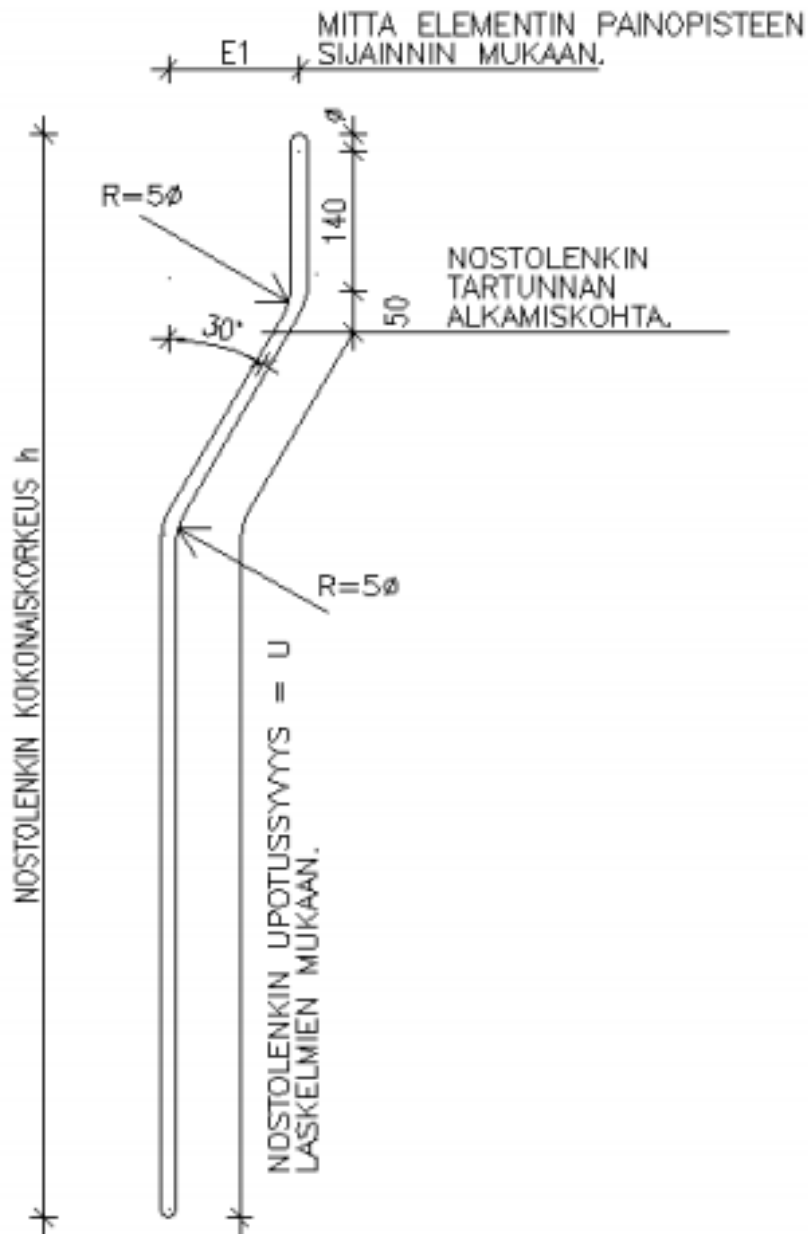
Taulukossa 16 on ilmoitettu kullekin yleisesti käytössä olevalle PB-nostolenkille sallitut maksimikuormat. Maksimikuorma tarkoittaa sallittua rasitusta, joka voidaan kohdistaa yhdelle nostolenkille. Sallittua nostokuormarajoitusta ei saa ylittää missään olosuhteissa. On kuitenkin huomioitava, että taivutetun nostolenkin kapasiteetti vastaa 0,866 kertaisesti vastaavaa suoraa nostolenkkiä, joiden arvot ovat taulukossa 16. Nostolenkeille sallittavat kuormat ovat riippuvaisia nostolenkkiin tulevasta kuorman suunnasta, niin sanotusta haarakulmasta. (PB-, PBK-, PBR-nostolenkkien käyttöohje. 2013, 5.)

TAULUKKO 16. Nostolenkkien sallitut maksimikuormat (PB-, PBK-, PBR-nostolenkkien käyttöohje. 2013, 7)

Nostolenkki (tyyppi ja koko)	Sallittu maksimikuorma [kN]
PB 10	14,1
PB 12	20,4
PB 14	27,7
PB 16	36,2
PB 20	56,5
PB 25	88,4
PBK 10	19,6
PBK 12	28,3
PBK 14	38,5
PBK 16	50,3
PBK 20	78,5
PBK 25	122,7
PBR 10	19,6
PBR 12	28,3
PBR 14	38,5
PBR 16	50,3
PBR 20	78,5
PBR 25	122,7

Kaikissa asennettavissa nostolenkeissä tulee olla asennettuna nostolenkkikoh-
tainen lisäraudoitus. Raudoituksella estetään elementin murtuminen nostolenkin
kaulan sekä haarojen kohdalla. Murtumisriski on sitä suurempi, mitä ohuempi
elementin betonipaksuus on. (Nostolenkit, 7.)

Nostolenkki sijoitetaan elementtiin niin, että se nostaa elementtiä sen paksuu-
den keskikohdasta. Tällöin nostolenkkiä joudutaan taivuttamaan koneellisesti
tehtaalla. Taivutussäteen tulee olla viisi kertaa nostolenkin paksuuden mukai-
nen. Muut nostolenkin taivutusmitat on esitetty kuvassa 27. (PB-, PBK-, PBR -
nostolenkkien käyttöohje. 2013, 13.)

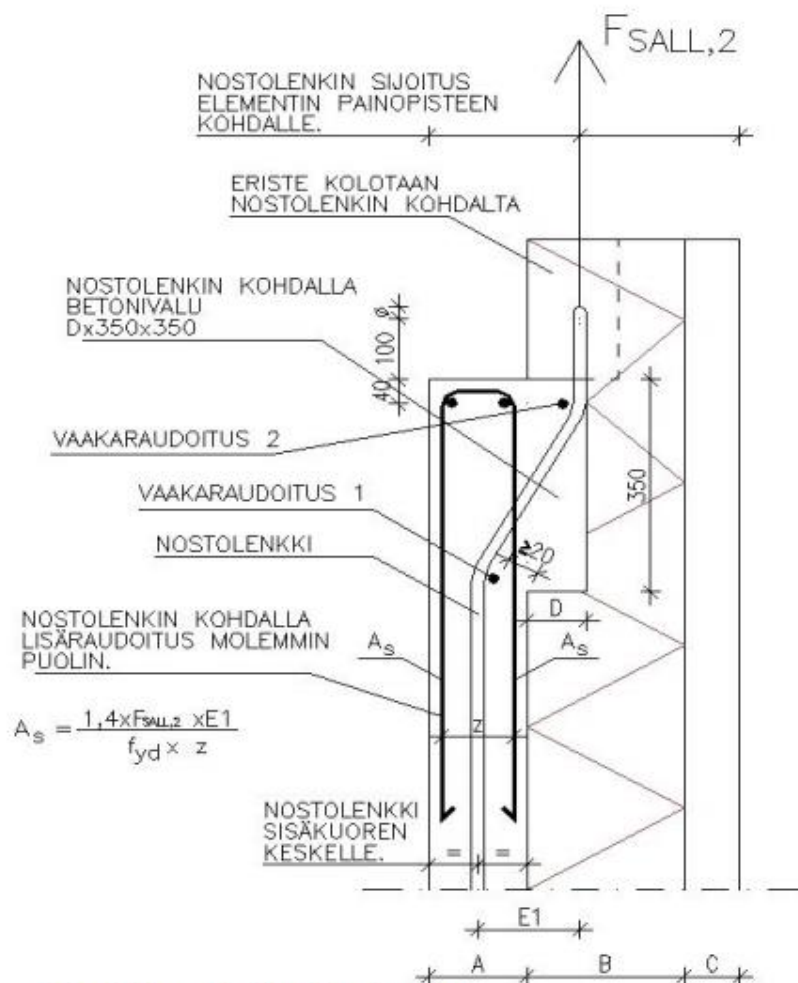


KUVA 27. Sandwich-elementin nostolenkin taivutusmitat (PB-, PBK-, PBR - nostolenkkien käyttöohje. 2013, 13)

Nostolenkki pyritään asettamaan mahdollisimman syväälle betoniin. Yleensä nostolenkin kaulaa jätetään vapaaksi 100 mm. Liian pitkä ulos jäävä osuus voi nostovaiheessa taipua ja aiheuttaa täten lohkeaman sekä vaaratilanteen. Joissakin tilanteissa nostolenkit ovat kaukana toisistaan niin, että nostotyö vaikeutuu. Tällöin nostolenkit voidaan asennusvaiheessa asentaa vinon kuormituksen

suuntaisesti. Tällöin tulee kuitenkin huomioida, että nostolenkin maksimikapasiteetti on kyseisessä tilanteessa riittävä. (Nostolenkit, 7.)

Kuvassa 28 on esitetty sandwich-elementin nostolenkille asennettava lisäraudoitus. Lisäraudoituksen tehtävä on pyrkiä estämään nostolenkin suoristuminen elementissä ja ankkuroida se ympäröivään raudoitukseen. Lisäraudoitus myös siirtää kuormia nostolenkin kohdalta muualle raudoitukseen, jolloin lohkeamariski pienenee. (Nostolenkit, 7.)



Kuva 3. Sandwich-nostolenkin sijoitus elementtiin

KUVA 28. Sandwich-nostolenkin lisäraudoitus ja niiden sijainti (PB-, PBK-, PBR-nostolenkkien käyttöohje. 2013, 14)

Lisäraudoituksen asennusta varten nostolenkin kohdalle tehdään kolo, jonka mitat ovat 350x350xD. Tällöin betoni pääsee ympäröimään asennettavat lisäteräksset. Nostolonkin molemmille puolin asennetaan lisähakaraudoitus. Vaakaraudoituksen 1 ja 2 halkaisijat ja vähimmäispituudet on esitetty taulukossa 17. (PB-, PBK-, PBR-nostolenkkien käyttöohje. 2013, 15.)

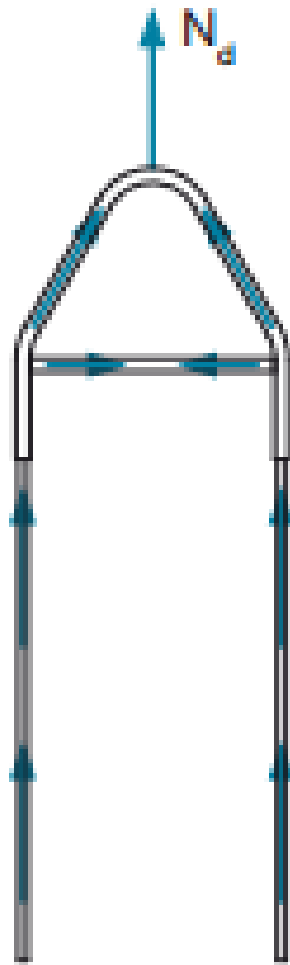
TAULUKKO 17. Nostolenkin lisäraudoituksen halkaisijat ja pituus (PB-, PBK-, PBR -nostolenkkien käyttöohje. 2013, 14)

Taulukko 2. Sandwich-elementin nostolenkin vaakateräksen halkaisija ja pituus, materiaali B500K, A500HW tai B500B.

Sandwich-nostolenkin tangon halkaisija [mm]	Vaakaraudoituksen halkaisija ja pituus [mm]			
	Nostolenkki PB		Nostolenkki PBK, PBR	
	Vaakaraudoitus 1	Vaakaraudoitus 2	Vaakaraudoitus 1	Vaakaraudoitus 2
10	8-L600	8-L300	10-L700	10-L300
12	10-L700	10-L300	12-L850	12-L300
14	12-L850	12-L300	14-L1000	14-L300
16	14-L1000	14-L300	16-L1150	16-L300
20	16-L1150	16-L300	20-L1400	20-L300
25	20-L1400	20-L300	25-L1750	25-L300

6.8.3 PNLF-nostoankkuri

PNLF-nostolenkki soveltuu eritoten julkisivuelementteihin sen ruostumattomasta teräksestä valmistetun rungon vuoksi. Sen toiminta perustuu ankkuroiviin tartuntoihin, jotka nostavat elementtiä sisä- ja ulkokuoresta ja siirtävät nostosta aiheutuvat rasitukset betoniin tasaisesti. Nostolenkki asennetaan elementtiin elementin ylälaitaan kiinni niin, että nostolenkin ylä- ja alareuna peittyvät hyvin betonoinnin aikana. Kuvassa 29 on esitetty nostolenkin staattinen malli, joka selventää nostolenkin toimintaa. (PNLF-nostolenkki. 2012, 4.)



KUVA 29. PNLF-nostolenkin staattinen malli (PNLF-nostolenkki. 2012, 4)

Asennusvaiheessa nostolenkin harjaterästartunnat levitetään mahdollisimman leveiksi leveiksi kuin mahdollista ja sidotaan alla olevaan raudoitukseen kiinni tukevasti kuvan 30 mukaisesti. Näin nostolenkki pysyy pystyssä halutulla kohdalla sekä jakaa kuormaa mahdollisimman suurelle alueelle. Tarvittaessa etenkin ohuilla kuoripaksuuksilla voidaan tartuntojen ylitse asentaa lisäraudoitukset. Asennuksen aikana nostolenkkiä ei saa hitsata. (PNLF-nostolenkki. 2012, 4.)

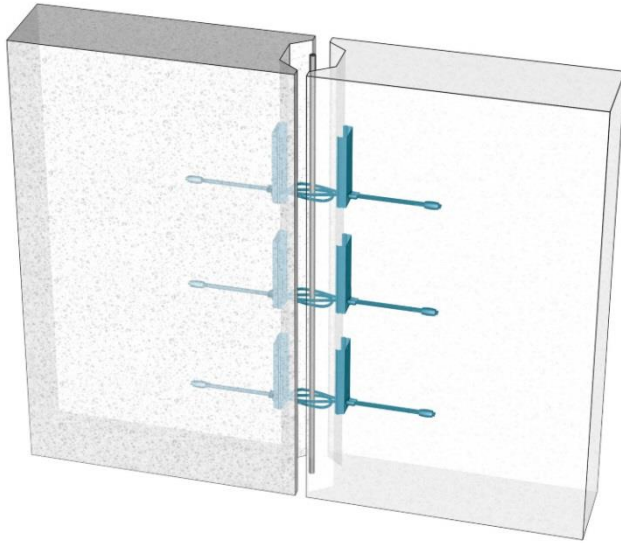
Kuva 5 PNLF nostolenkin asentaminen muottiin



KUVA 30. Nostolenkin asettaminen muottiin (PNLF nostolenkki. 2012, 7)

6.8.4 PVL-vaijerilenkki

Vaijerilenkillä elementit voidaan kiinnittää joko toisiinsa kiinni tai esimerkiksi pilareihin. Rakennesuunnittelijan suunnitelmien mukaisesti asennetaan vaijerilenkkikotelot tarvittavan leikkauskestävyyden vaatimalla jaolla ennen elementin valua. Vastakkain olevat vaijerilenkin muodostavat yhdessä sauman betonivalun kanssa pystysuunnassa tulevaa leikkausvoimaa välittävän liitoksen kuvan 31 mukaisesti. (PVL-vaijerilenkki. 2012, 2.)

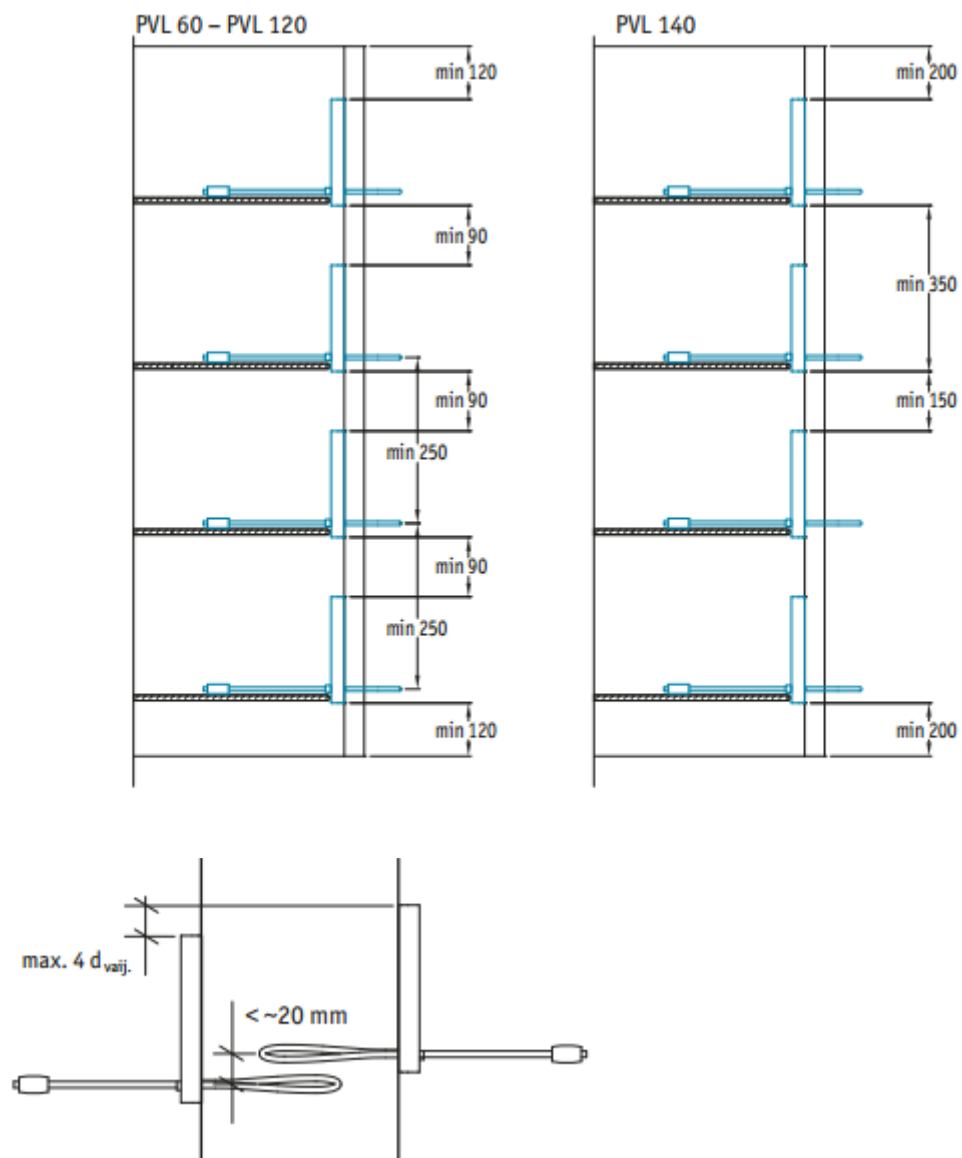


KUVA 31. Vaijerilenkkien muodostama sauma (PVL-vaijerilenkki. 2012, 2)

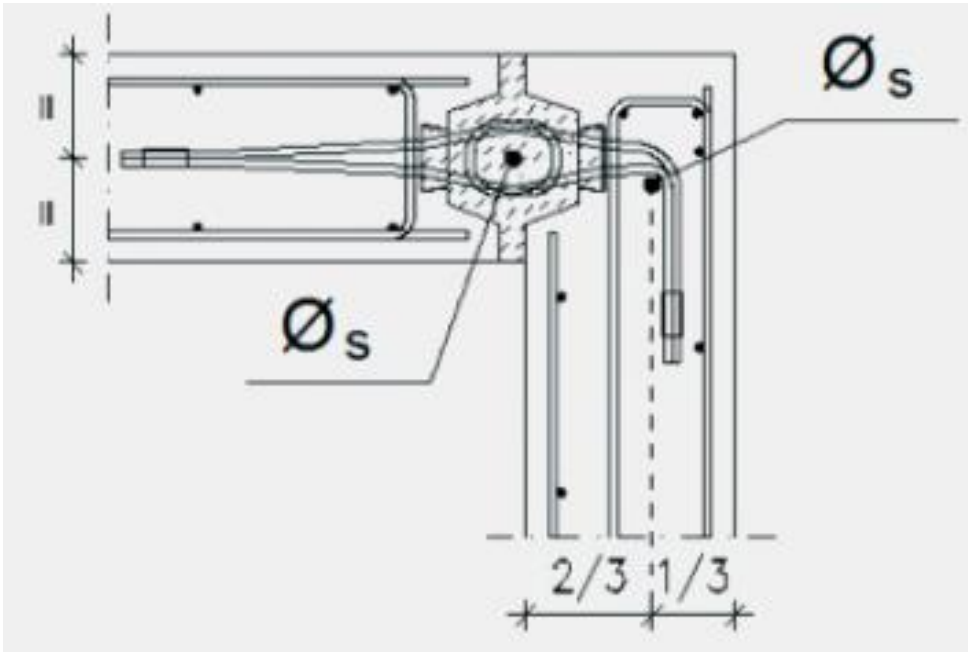
Vaijerilenkit tulee asentaa aina kuvan antamien mittojen mukaisesti. Näin vältetään liian suurelta vaijerilenkkien keskinäiseltä tasoerolta. Liian suuri tasoero, lenkkien puutteellinen määrä tai väärä sijainti voivat vaikuttaa liitoksen käyttäytymiseen ei toivotulla tavalla. Kuvassa 32 on esitetty PVL 60 – PVL 120- sekä PVL 140-vaijerilenkeille minimi- ja maksimiasennusvälit. Kuvassa on lisäksi esitetty vastakkaisien elementtien vaijerilenkkien sallittu tasoero, jonka sallittu arvo on pienempi kuin 20 mm. (PVL-vaijerilenkki. 2012, 4.)

Vaijerilenkkiliitostyyppinä on olemassa kahdenlaisia: voimia siirtäviä ja voimia siirtämättömiä. Raudoituksen osalta nämä eroavat toisistaan siinä, että voimia siirtävän liitoksen vaijerilenkki ympäröidään raudoituksella kuvan 33 mukaisesti. Raudoituksen asennuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota, että raudoitus on lähellä vaijerilenkkiä suojabetonin sallimissa rajoissa ja että vaijerilenkkien vaijerit tulee ankkuroida ympäröivään raudoitukseen. (PVL-vaijerilenkki. 2012, 4.)

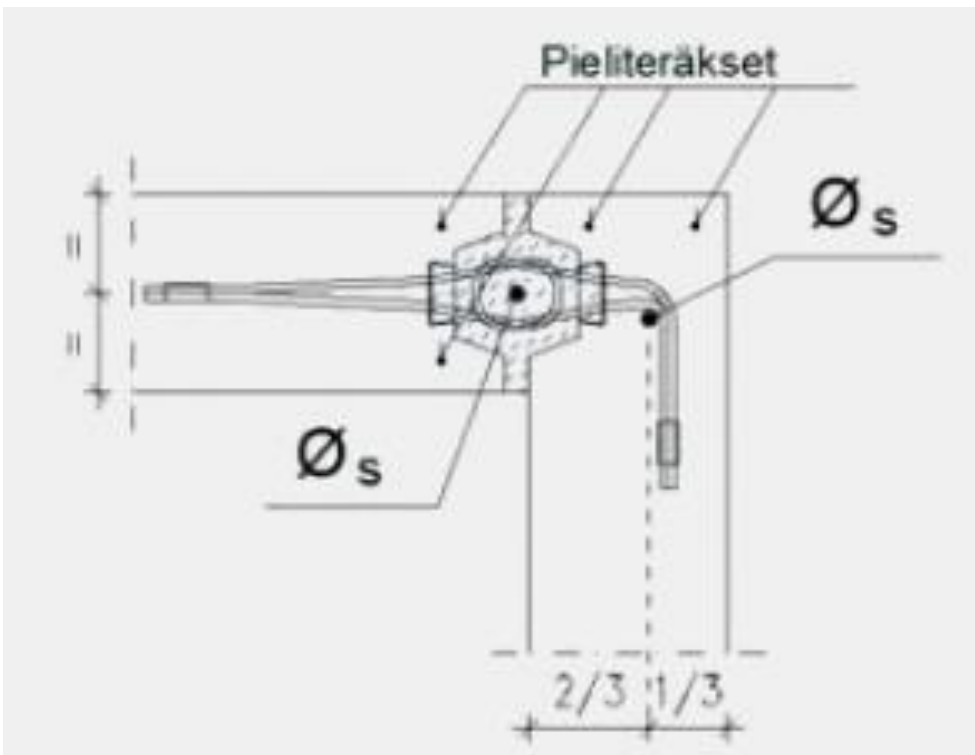
Voimia siirtämättömät liitokset ovat yleensä kevyiden väliseinien asennusliitoksia. Tällaiselle liitostyypille ei ole erityistä raudoitusta. Kuvassa 34 on esitetty voimia siirtämätön vaijerilenkkiliitos.



KUVA 32. Vaijerilenkkien minimietäisyydet ja sallitut tasoerot (PVL-vaijerilenkki. 2012, 5)



KUVA 33. Voimia siirtävä vaijerilenkkiliitos (RVL-vaijerilenkki. 2013, 13)

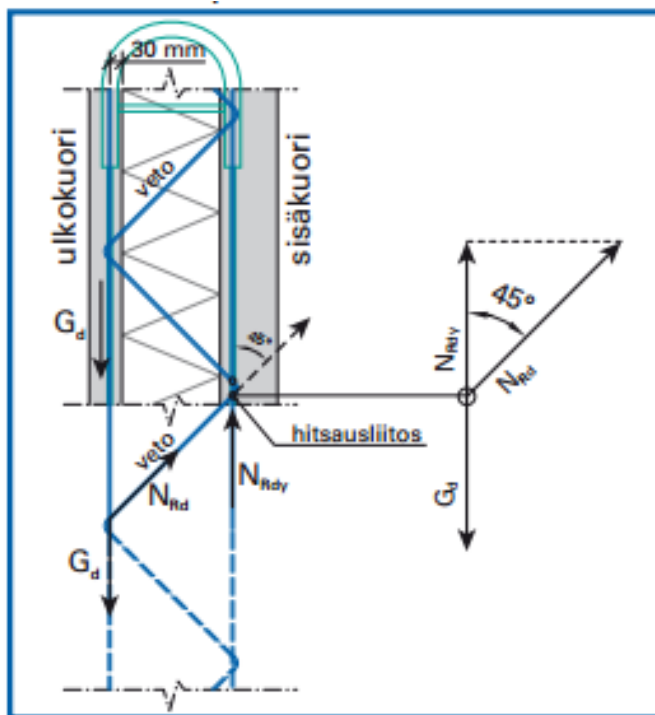


KUVA 34. Voimia siirtämätön vaijerilenkkiliitos (RVL-vaijerilenkki. 2013, 14)

6.8.5 PD-diagonaaliانسas, PPA-palkkiansas ja PPI-pistokas

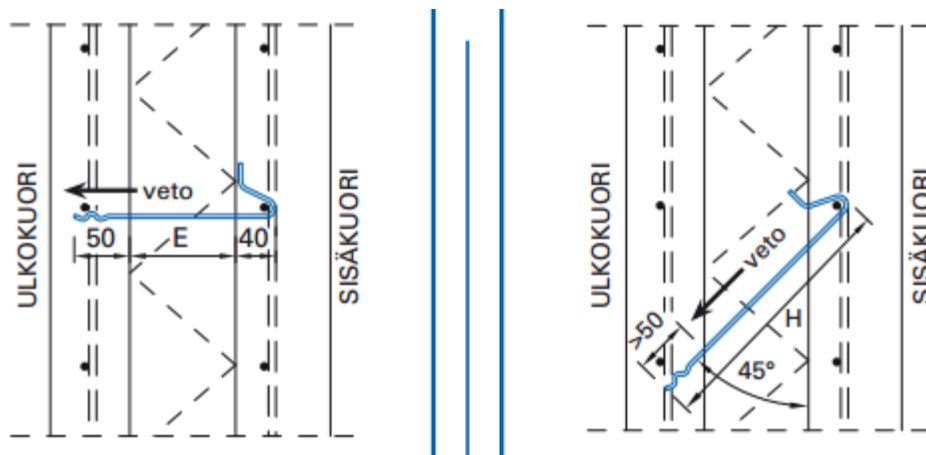
Sandwich-elementin kuoret liitetään toisiinsa diagonaaliانسasilla. Elementin kantava sisäkuori kantaa ulkokuoren painon, joka siirtyy ansaita pitkin sisäkuoreen. PPA-palkkiansaat kantavat ulkokuoren painon kohdissa, joissa normaalipituinen diagonaaliانسas on liian pitkä. PPI-pistoansaat soveltuvat erityisesti uretaanilla tai styroksilla eristettyjen sandwich-elementtien reuna- ja ikkunapieliin. Kuvassa 35 on esitetty diagonaaliانسaan toimintatapa. (Ansaat ja pistokas. 2010, 4.)

Ansaiden asentaminen ilman tärytystä tai sahaavaa liikettä on kielletty. Huonosti kiinnittynyt ansas voi pahimmassa tapauksessa irrota ja irrottaa betonikuoret toisistansa. Ansaan toiminta perustuu raudoituksen tavalla siihen, että betoni ympäröi ansaan. Erityisesti silloin asennukseen tulee kiinnittää huomiota, kun betonimassa ei ole löysää. Tällöin ansaan asennuksesta voi aiheutua betoniin kolo, ja ansas ei ympäröidy betonilla. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 115.)



KUVA 35. Diagonaaliانسas siirtää ulkokuoren painon sisäkuorelle (Ansaat ja pistokas. 2010, 10)

PPA-palkkiansaan toimintatapa on samanlainen kuin PD-diagonaaliinsa. PPA-palkkiansasta voidaan käyttää tilanteissa, joissa PD-diagonaaliinsa on liian pitkiä. Myös PPA-palkkiansas asennetaan BY50 Betoninormien mukaisesti sahaavalla liikkeellä tai täryttämällä. (Ansaat ja pistokas. 2010, 12.)



KUVA 36. Pistoansaan erilaisia asennustapoja. (Ansaat ja pistokas. 2010, 12)

Pistokas asennetaan elementtiin työntämällä se eristeen läpi. Pistokkaan päässä oleva koukku rajoittaa työntäjästä pistokasta liian syvälle villaan, sekä toimii tartuntana. Pienellä edestakaisella liikkeellä varmistetaan että betoni ympäröi pistokkaan toisen pään. Kuvassa 36 on esitetty kaksi erilaista pistokkaan asennustapaa. Asennustapa yksi vetää sisä- ja ulkokuorta toisiinsa. Jotta voidaan varmistua ulkokuoren kannatuksesta, asennetaan pistokkaita tavan 1 ja 2 mukaisesti vuorotellen. (Ansaat ja pistokas. 2010, 12.)

6.9 Betonin käsittely

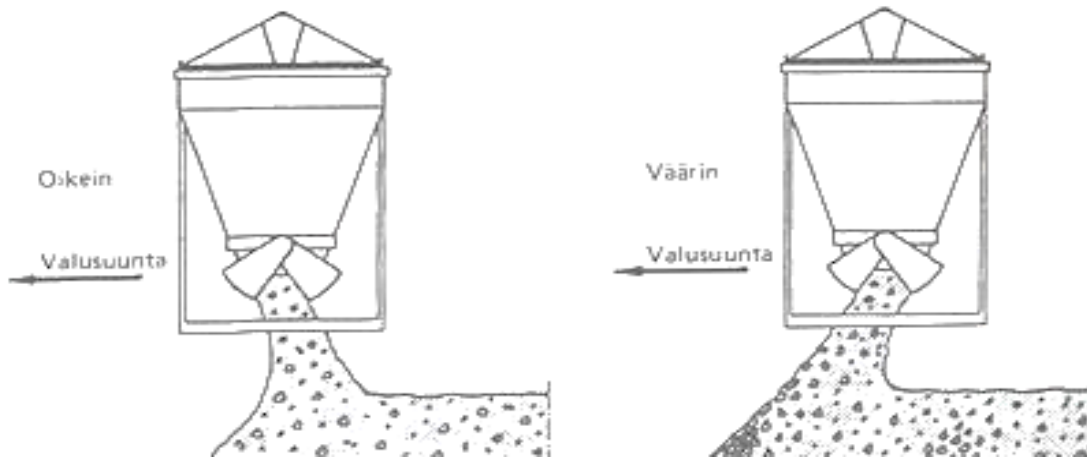
Ennen betonin valua tulisi käydä läpi seuraavat asiat:

- muottien tarkastus
- raudoitteiden tarkastus
- varaukset, tartunnat ja läpiviennit
- alueiden puhdistus
- häiriötekijät.

(RIL149-1995.1995, 59.)

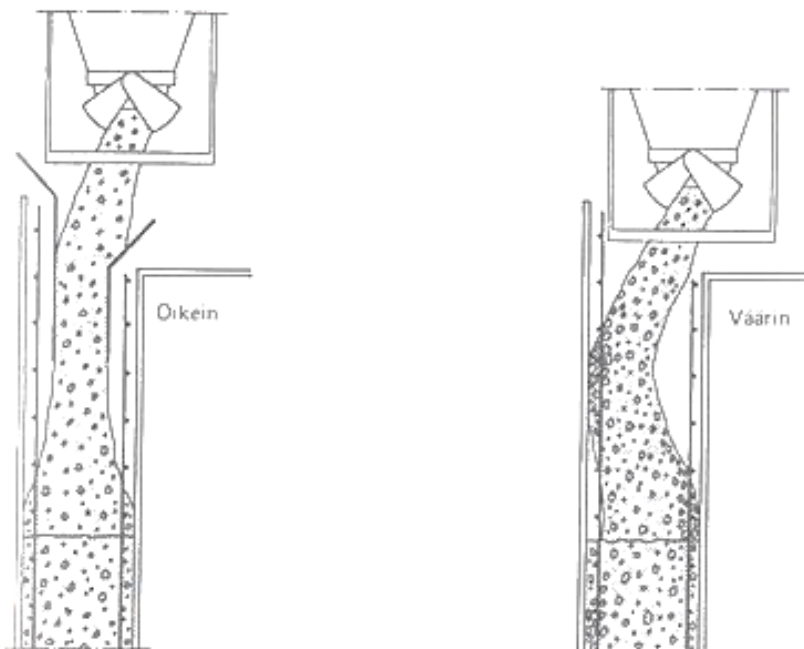
Betoni tulee sijoittaa muottiin niin, että se pysyy mahdollisimman tasalaatuisena, täyttää muotin tasaisesti ja liittyy saumattomasti jo muotissa olevaan betonimassaan. Paksut, kuten väestönsuojaelementit tai pilarianturat tulee valaa vähintään 0,3-0,5 m kerroksin riippuen betonin notkeudesta, rakenteesta, raudoituksesta ja betonin vaatimuksista. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 317.)

Valettaessa elementtiä tulee betonimassa pyrkiä sijoittamaan aina sen lopulliselle paikalle, jotta massan siirrosta välttyttäisiin. Täryttimellä siirrettäessä hienoaines leviää sivuille ja karkea runkoaines jää pakoilleen eli seurauksena on massan erottuminen. Massan erottumista tapahtuu myös sen iskeytyessä vinoa pintaa tai raudoitusta vasten sekä silloin, kun massaa pudotetaan vasten alkuperäistä valusuuntaa. Kuvassa 37 on kuvattu massan erottuminen, joka tapahtuu yhtäkkisellä valusuunnan vaihdoksella. Erottuminen aiheuttaa betonimassan laaturvirheitä, sillä betonin lujuusominaisuudet vaihtelevat valun eri kohdissa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 317.)



KUVA 37. Äkillistä valusuunnan muutosta tulisi välttää . (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 318)

Betonimassan pudottamista yli metrin korkeudelta tulisi välttää erottumisriskin minimoimiseksi, kuten kuvassa 38 on esitetty. Korkeissa muoteissa kuten pilariantura- tai pilarimuoteissa tulisi käyttää valusuppiloa vapaan pudotuskorkeuden rajoittamiseksi. Massa tulee myös pudottaa pystysuoraan kiposta. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 318.)



KUVA 38. Valusuppilon käyttö pystysuorissa valuissa, kuten pilarivaluissa (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 319)

Notkealla massa valettaessa tapahtuu usein veden erottumista ensimmäisten valun jälkeisten tuntien aikana. Nopeasti valettaessa vesi voi jäädä vaakasuuntaisten terästen tai kivien alle ja aiheuttaa plastisen laskeutumisen, joka aiheuttaa halkeilua niillä kohdilla, joissa se on estetty. Syntyneet onkalot on mahdollista sulkea jälkitärytyksellä ennen betonin sitoutumista esimerkiksi ulkokuorta valettaessa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 319.)

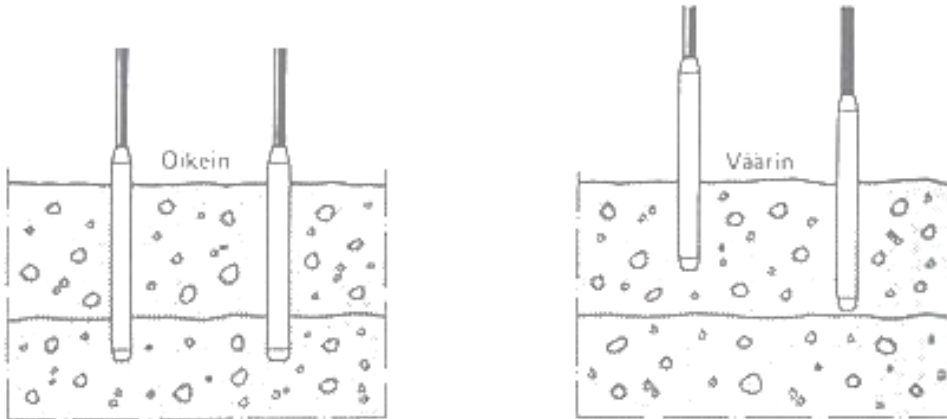
6.10 Betonin tiivistys

Kuvassa 39 työntekijä tiivistää betonia sauvatäryttimellä. Betoni tiivistetään huolellisesti ja järjestelmällisesti siten, että se tiivistyy kauttaaltaan ja uudet massakerrokset liittyvät toisiinsa saumattomasti kuvan 40 mukaisesti. Tärytin aiheuttaa betonimassaan värähdysliikkeen, joka aiheuttaa massan sisäisen kitkan pienenemisen ja massan muuttumisen juoksevaksi ja tiivistyväksi. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 322.)



KUVA 39. Betonin tiivistystä sauvatäryttimellä

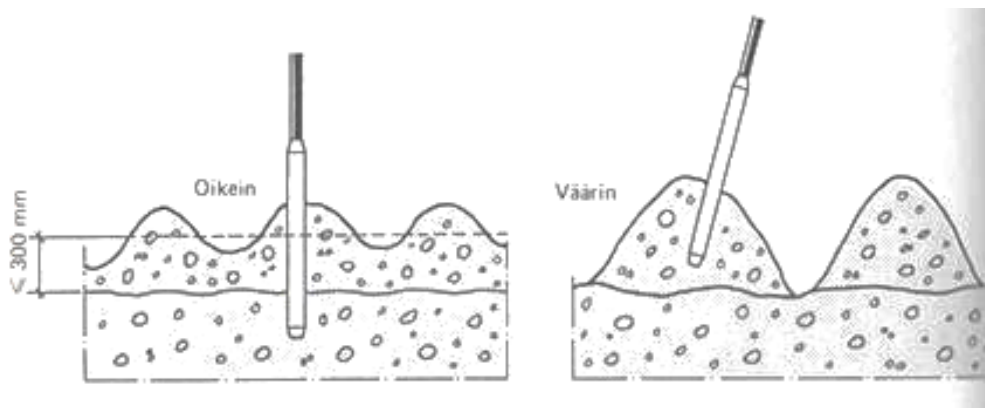
Tiivistämisen tarkoitus on saada betoni ympäröimään raudoitus sekä täyttämään muotti halutulla tavalla. Tämän lisäksi tärytys poistaa betonimassasta ylimääräisen ilman ja tiivistää betonia kun kiviaineksen osaset hakeutuvat lähemmäs toisiaan. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 322.)



KUVA 40. Tärytys ulotetaan noin 150 mm edelliseen kerrokseen (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 322)

Suuri huokoisuus, alentunut lujuus ja tiheys, ontelot ja kivipesät, huonontunut tiiviyys ja säänkestävyys, epätasainen ja huokoinen pinta, heikentynyt terästen tartunta ja peräkkäin valettujen osien heikko liittyminen toisiinsa ovat tyypillisimpiä betonin tiivistyksen laiminlyönnin seuraamuksia. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 323.)

Sauvatäryttimen tärytysteho on parhaimmillaan pystyasennossa ollessaan. Tärytintä voidaan käyttää myös muissa asennoissa, kunhan huolehditaan, ettei samalla tapahdu massan siirtoa paikasta toiseen, kuten kuvassa 41. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005. 324.)



KUVA 41. Massa tulee annostella niin, että sitä ei siirretä sauvatäryttimellä (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 322)

6.11 Betonipinnan viimeistely

Tuoreen betonipinnan käsittelyllä viimeistellään elementti. Tämä työvaihe on oleellinen erityisesti ilman pintakäsittelyä jäävissä pinnoissa, kuten parvekepielissä ja –laattaelementeissä. Tavallisimmin tuoretta betonipintaa käsitellään puuhierrolla, teräshierrolla sekä telalla tai sienellä. (RIL 115–1977. 1977. 292–293.)

Puu- ja teräshierrolla varmistutaan valupinnan suoruudesta. Puuhiertoa käytetään lähinnä sokkelielementeissä sen rouhean lopputuloksen vuoksi. Etenkin jälkikäsittelyä ja pinnoitusta vaativissa elementeissä suositetaan teräshiertoa. Pinnan telauksella voidaan peittää pinnan pieniä epätasaisuuksia ja se antaa pinnalle elävän vaikutelman. (RIL 115–1977. 1977. 292–293.)

Betonipinnasta erottuu vettä, joka heikentää betonin lujuutta pintaosissa. Hiertamällä vesi sekoitetaan takaisin pintabetonin joukkoon, jolloin ei pääse syntymään lujuusominaisuuksiltaan erilaisia kerroksia. (RIL 115–1977. 1977. 292–293.)

Betonipinta voidaan käsitellä teräshierron jälkeen teräslastalla. Työvaiheessa on erityisen tärkeää huomioida aukkojen reunat sekä sähkövaraukset. Edesta-

kaisella liikkeellä varmistetaan, ettei massaa kuljeteta lastalla paikasta toiseen.
(RIL 115–1977. 1977. 292–293.)

7 BETONIPINNAT

Parhaan valutuloksen aikaansaamiseksi tulee suuri valettava pinta-ala jakaa sellaisiin osiin, jotka saadaan valettua yhdellä sekoitetulla betonierällä. Näin vältetään eri betoniannosten aiheuttamia värivaihteluita etenkin silloin, jos myllyssä on ehditty sekoittaa toinen betonierä ennen valun jatkamista. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 12.)

Pienellä vesi-sideainesuhteella betonin väri tummenee, mikä aiheuttaa korkealujuusbetonin erityisen tumman värin. Joskus betonipintaan saattaa ilmestyä vaaleampia laikkuja. Nämä aiheutuvat paljon vettä sisältävän betonin kalkista, joka saostuu betonipintaan. Tämä myös vaalentaa betonipintaa huomattavasti. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 562.)

7.1 Pinnan laatutekijät

Muottipintaa vasten valetun pinnan laatuun vaikuttaa ensisijaisesti muottipinnan laatu ja materiaali, sen puhtaus, sideainetyyppi, hienon kiviaineksen väri ja betonin vesi-sideainesuhde. Muottipinnan materiaalin valinnalla voidaan vaikuttaa ratkaisevasti laadukkaan pinnan aikaansaantiin, kuten taulukossa 20 on esitetty. Tämä johtuu eri materiaalien mikrotason sileydestä. Kaikkia muottipinnassa olevia virheitä, kuten muottilevyjen käsittelemättömiä saumakohtia, tulisi minimoida. Etenkin käsittelemättömän saumakohdat näkyvät valmiissa betonipinnassa. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 20.)

TAULUKKO 20. Muottivanerityypit ja valutulos (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 22)

Muottivanerityyppi	Valutulos	Käyttökerrat
Pinnoittamattomat		
koivupintaiset (esim. Wisa-Twin, Wisa-Koivu)	erittäin hyvä, huokoseton	hyvä tulos 1...2 kertaa/puoli tydyttävä tulos 2...3 kertaa/puoli
kuusipintaiset (esim. Wisa-Kuusi)	tydyttävä, viilun syykuvio näkyy betonissa ja oksien pihka saattaa värjätä betonia	2...3 kertaa/puoli
Pinnoitetut		
kuusivaneri, filmipintainen	tydyttävä, viilun syykuvio saattaa näkyä betonissa, betonipinnassa pieniä huokosia	10 valukertaa
sekavaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Twin, Combi Mirror ja Combi)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	15...40 valukertaa laadusta riippuen (Twin—>Combi)
koivuvaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Koivu, Wisa-Form Super)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	60...100 valukertaa laadusta riippuen (Koivu—>Super)
viirapintainen filmivaneri (esim. Wisa-Form Wire)	hyvä, karkea mattapinta, josta ei erota pientä huokoisuutta	10...20 valukertaa

Filmipintaisella uudella vanerilla voidaan tavallisesti valaa 1...2 kertaa käyttämättä mitään irrotusainetta, mutta tämä lyhentää pinnoitteen kestoikää. Vanerien lujuus kasvaa kuusi-vanerista (heikoin) koivuvaneriin (kestävin). Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat yleensä erilaiset vanerin eri suunnissa ja niissä on rakenteesta johtuen huomattaviakin eroja. Muottivanerien ominaisuuksista saa lisätietoa valmistajilta. Oheisessa taulukossa esimerkiksi käytettyjen muottivanerien rakenne on seuraava:

Muotin materiaalilla voidaan vaikuttaa myös betonin pintakerroksissa olevien huokosten määrään. Vaikka valun pinta voi näyttää silmin katsottuna sileältä, pinnan alapuolella voi olla runsaasti huokosia. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 20.)

Yleisin betonipinnan tyyppi on muottia vasten valettu pinta (MUO, MUK, elementtipinnat). Taulukossa 21 on esitetty muottipinnan laatutekijöitä neljässä eri luokassa. AA vastaa parasta arkkitehtonista laatua ja C esimerkiksi perustuksia. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 12.)

TAULUKKO 21. Luokitustaulukko MUO ja MUK, elementtipinnat (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 566)

Laatutekijät		Vaatimukset			
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C ¹⁾
Nystermä					
suurin korkeus	mm	1	3	6	6
suurin leveys	mm	2	9	20	20
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40
Syvennys					
suurin syvyys	mm	2	4	7	7
suurin leveys	mm	4	9	15	15
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40
Hammastus	mm	0,5	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdalla					
suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4
suurin leveys	mm	2	3	6	6
suurin määrä (koskee myös korjattua saumaa)	% muottisaumojen pituudesta	5	20	30	30
Vaakasuorassa valettujen pintojen huokokset ≥ 2 mm				≥ 5 mm	≥ 5 mm
suurin läpimitta ja syvyys	mm	5	8	10	10
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	20	40	80	160
Pystysuorassa valettujen pintojen huokokset, ≥ 2 mm				≥ 5 mm	≥ 5 mm
suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	10	12	12
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	40	60	100	200
Vaakasuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m ²	ei sallita	0,1	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	1	2	4
Pystysuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m ²	ei sallita	0,2	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	2	2	4
Pinnan käyryys ja aaltoilu					
suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	2	5	8	8
Uran tai ulkoneman hammastus jatkokohdassa	mm	1	1	-	-
Uran tai ulkoneman käyryys ja aaltoilu					
suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	1,5	2	-	-
Väri vaihtelu					
harmaat pinnat	luokat	A	B	-	-
valkobetoni pinnat	(kohta 10)	AA	A	-	-
muut väribetonipinnat		A	B	-	-

Tyypillisimpiä virheitä ovat etenkin pystysuuntaista muottipintaa vasten tulevat valuhuokokset, kuten kuvassa 42, joiden määrää voidaan pienentää tiheällä tärytyksellä, massan laadulla, itsetiivistyvällä betonilla sekä ohuilla valukerroksilla. Liiallinen muottiöljyn käyttö lisää valuhuokosien muodostumista öljyn tiivistyessä muottipintaa vasten. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 564.)

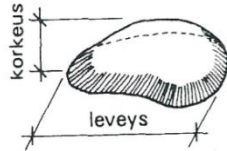


KUVA 42. Paikattuja valuhuokosia elementtitehtaalla

Kuvassa 44 on esitetty tarkemmin kuvin taulukon 21 pinnan laatutekijöiden, kuten nystermän ja syvennykset tunnistustapoja sekä syitä.

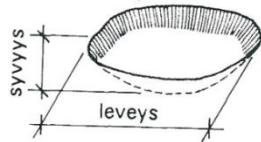
NYSTERMÄ

aiheutuu yleensä muotissa olevasta kolosta



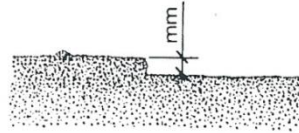
SYVENNYS

aiheutuu yleensä kohoumasta tai epäpuhtaudesta muotin



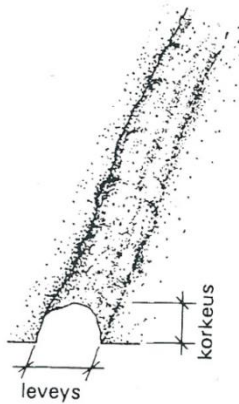
HAMMASTUS

johtuu muottilevyjen tasoerosta



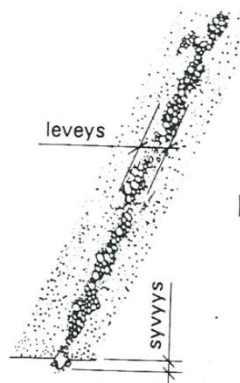
VALUPURSE

johtuu muotin saumasta pursonneesta betonista



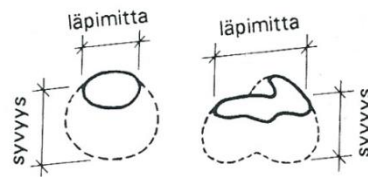
VALUHAAVA

johtuu yleensä muottisauman kohdalla erottuneesta betonista



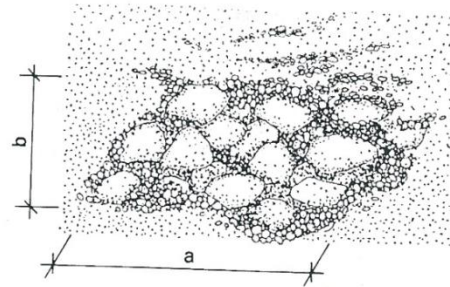
HUOKOSET

pyöreämuotoiset valuhuokokset syntyvät pinnan läheisyyteen kerääntyvistä ilma ja vesikuplista



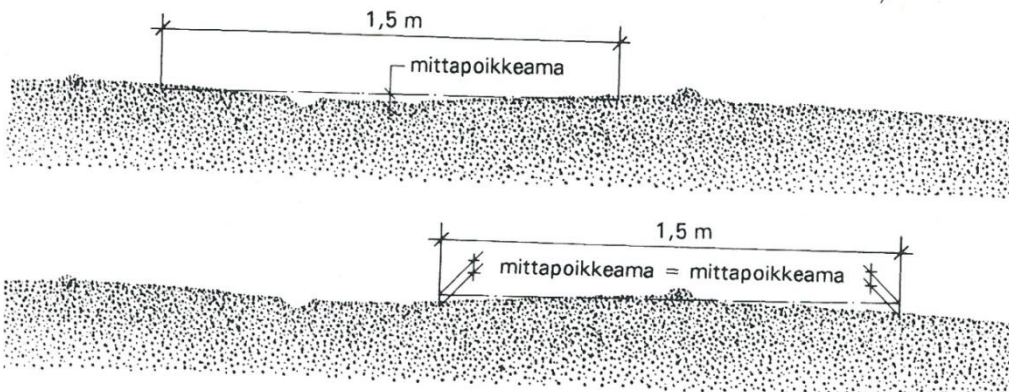
HARVAVALU TAI MUU VALUVIKA

johtuu yleensä erottumisesta, liian pienestä hienoainemäärästä tai puutteellisesta täytyksestä



PINNAN KÄYRYYS JA AALTOILU

johtuu muottipinnan tasopoikkeamista (mittapoikkeamaan ei lasketa nystermiä, syvennyksiä eikä huokosia)



KUVA 44. Muottia vasten valettujen pintojen laatua heikentäviä tekijöitä (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 566)

7.2 Tiivistys, puhdistus ja esikäsitteleminen

Muottipinnan tiiveydellä on myös vaikutusta betonipinnan sävyyn sillä teräspinta vasten valettu pinta on huomattavasti vaaleampi kuin esimerkiksi muottivaneria vasten valettu pinta. Muottimateriaali imee vettä betonin pinnasta, joka puolestaan tummentaa pintaa vesi-sementtisuhteen pienetessä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 562.)

Tasalaatuisen betonipintaan pyrittäessä on kiinnitettävä huomiota eritoten työprosessin vakiona pysymiseen ja osa-aineiden tasalaatuisuuteen. Pienikin virhe työsuorituksessa voi johtaa betonipinnan luokituksen laskuun ja jopa hylkäykseen. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 564.)

7.3 Härme

Alkalihärme on betonissa esiintyvää alkalisuolaa, joka on vesiliukoista. Otollisissa olosuhteissa se muodostaa valkoisen kerroksen nuoren betonin pintaan. Härmettä ei muodostu enää myöhemmin betonin ikääntyessä ja tiivistyessä. Alkalihärme voidaan poistaa betonipinnasta korkeapainepesulla. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 131.)

Alkalihärmeen muodostumista voidaan estää betonin kuivumisen estämisellä kovettumisvaiheessa. Tämä tarkoittaa, että pinnan ympäristön RH:n tulee olla suurempi kuin 65 %. Pinnan kuivuminen estetään joko jälkihoitoaineella tai peittelyllä. Huokoinen muottipinta ja kylmä tuuli lisäävät härmeen muodostumisriskiä. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 131.)

Kalkkihärme muodostuu hiilidioksidin ja betonin kalsiumhydroksidin reagoiessa ja muodostaessa kalsiumkarbonaattia. Kalkkihärmettä syntyy erityisesti nuorien, heikkolujuuksisten elementtien pintaan, jos ne varastossa joutuvat vesisaateen, yökasteen tai muun ylimääräisen kosteuden alaisiksi. Rungas muodostuminen on odotettavissa etenkin ilman ollessa kostea ja lämpötilan matalaa,

lujuudenkehityksen hidasta ja käytetyn muottimateriaalin ollessa imukykyistä. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 131.)

Kalkkihärme eroaa alkalihärmestä siinä, ettei sitä voida poistaa pelkällä korkeapainepesulla. Pesu voidaan suorittaa painepesulla veden ja hiekan kanssa. Koska kalkkihärmeen poistaminen elementtipinnasta on vaikeaa, tulee kiinnittää huomiota sen muodostumisen estämiseksi. Hallin riittävällä lämmityksellä, pöytien lämmityksellä sekä valmiin betonipinnan välittömällä suojauksella päästään hyviin lopputuloksiin. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 131.)

7.3.1 Muut betonipinnat

Hierretty pinta voidaan tuottaa joko käsin hiertimellä hiertämällä tai paineilmahiertimellä. Pintaa käytetään erilaisissa pinnoissa seinistä kattoihin. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 567.)

Telattu (TEL) pinta soveltuu läheltä katsottaviin ja vaativiin pintoihin kuten parvekepieliin, parvekelaattoihin ja muihin hienorappauksen pinnan näköisiksi haluttuihin julkisivupintoihin. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 567.)

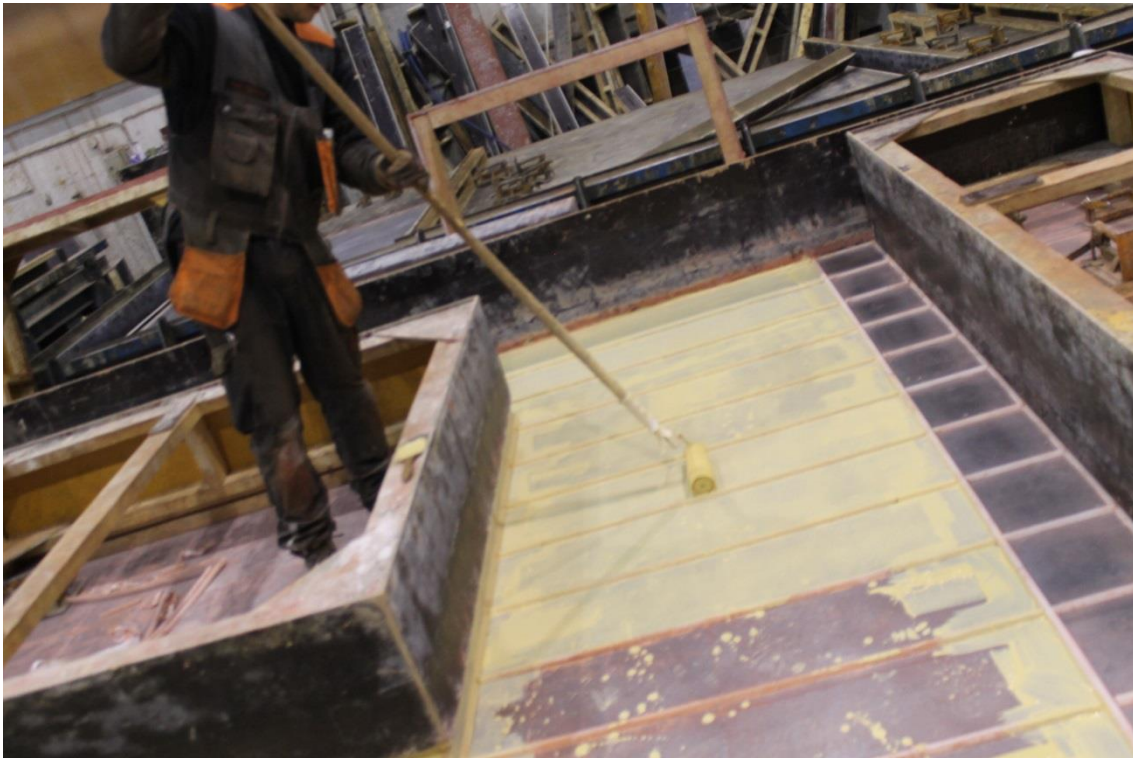
Teräshierretty (THI) pinta on sileä ja sitä käytetään esimerkiksi kun halutaan saada muottia vasten valetun pinnan vaikutelma. Pinta muodostetaan hiertämisen jälkeen liippaamalla. Työvälineiden jäljet voivat aiheuttaa pintaan hamausta, joka heikentää pinnan ulkonäköä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 567.)

Puuhierretty (PHI) pinta on karhea ja sitä käytetään ulkotasoissa, pinnoitettavissa julkisivupinnoissa, pinnoissa, joihin halutaan karhea vaikutelma, sekä sokkelit ja maalattavat sisäpinnat. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 567.)

Pesubetoni (PES) pinta muodostetaan käyttämällä pintahidastimia ja rouhebetoneita, joiden säänkesto ja värisäilyvyys ovat erittäin hyvät. Pesubetonin yleisimpiä kohteita ovat julkisivut, mutta sitä voidaan käyttää myös esimerkiksi sisääntulon seinissä, käytävissä ja portaikoissa. Pesun syvyys vaihtelee käytettä-

vän aineen mukaan. Pesubetonipintaa tehdessä on erityisen tärkeää irroittimen ja pintahidastimen tasainen levitys telaa käyttäen. Kasaantunut pintahidastin voi aiheuttaa julkisivupintaan koloja, jotka voivat kerätä pintaa vaurioittavia tekijöitä, kuten vettä, jäätä ja likaa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 567.)

Kuvassa 45 työntekijä levittää Preco heatcote -pintahidastinta ohjeiden mukaisesti telalla jättämättä roiskeita.

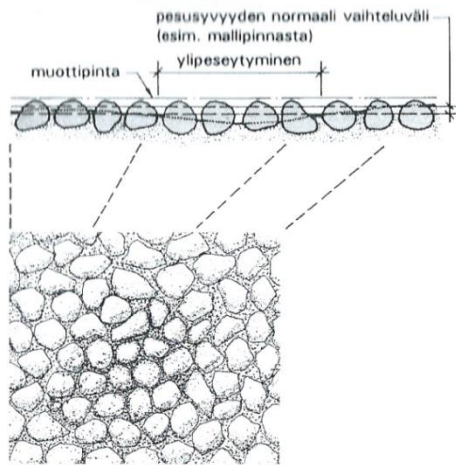


KUVA 45. Preco Heatcote -pintahidastimen levitys tulee suorittaa tasaisesti telaa käyttäen

Pesubetonipintojen yleisimpiä laatuvirheitä ovat ylipeseytyminen, huokokset, pesuraja silloin, kun tehdään kaksi tai useampivärisiä elementtejä, pinnan tasopoikkeamista johtuvat käyryys ja aaltoilu sekä vajaapeseytyminen. Laatuvaatimuksia on esitetty kuvassa 46 ja taulukossa 22. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005, 566.)

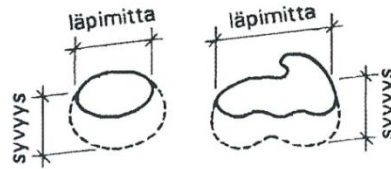
Ylipeseytyminen johtuu yleisimmin huonosta pintahidastimen levityksestä. Hidastinta on voinut kasaantua keoiksi tai levitys on jäänyt vajaaksi. Pinnan tasopoikkeamia ei yleensä tavata teräspintaa vasten valettaessa. Ne tulevat esiin yleisimmin erilaisia muottivanereita vasten valettaessa. (Kääriäinen, 2015.)

YLIPESYTYMINEN

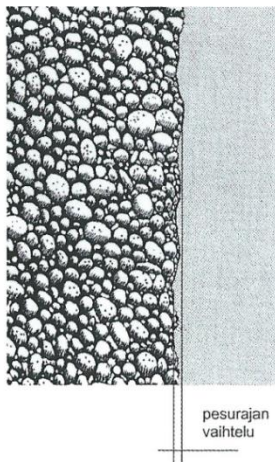


HUOKOSET

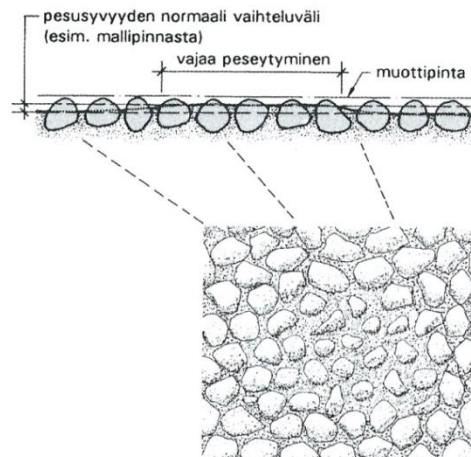
pyöreämuotoiset valuhuokokset syntyvät pinnan läheisyyteen kerääntyvistä ilma- ja vesikuplista



PESURAJA

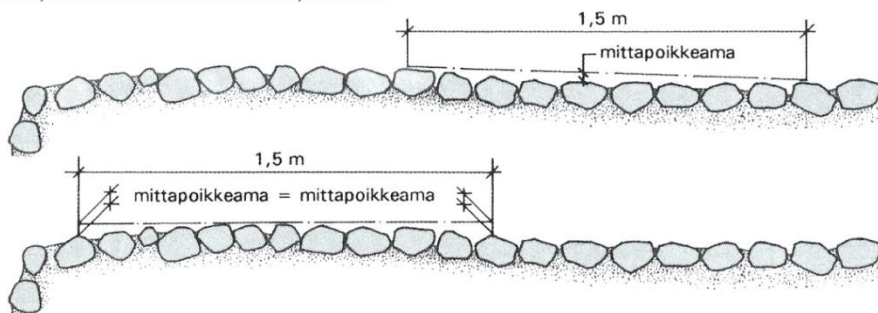


VAJAA PESYTYMINEN



PINNAN KÄYRYYS JA AALTOILU

johtuu muottipinnan tasapoikkeamasta (mittapoikkeama mitataan kiven pinnasta)



KUVA 46. Pesubetonipintojen laatutekijöitä (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 55)

TAULUKKO 22. Luokitustaulukko PES/ Pesubetonipinnat (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 54)

Laatutekijät		Vaatimukset			
		Hienopesty pinta (PESH) pesusyvyyden alle 2 mm		Pesty pinta (PES) pesusyvyyden yli 2 mm	
		AA-lk	A-lk	AA-lk	A-lk
Pesusyvyyden suurin sallittu vaihteluväli	mm	0...2	0...4	1...4	1...7
Ylipeseytyminen ^{1) 2)}	dm ² /m ² kpl/10 m ²	0,5 1	0,8 4	1 1	1,5 4
Vajaa peseytyminen ^{2) 3)}	dm ² /m ² kpl/10 m ²	0,5 1	1 2	1 1	1,5 2
Huokokset, Ø ≥ 3 mm suurin läpimitta ⁴⁾ suurin kokonaismäärä ²⁾	mm	5	8	–	–
	kpl/m ²	60	80	–	–
Pinnan käyryys ja aaltoilu suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	3	5	3	5
Pesuraja kuvioituissa pannoissa	mm	0,5 ⁵⁾	1 ⁵⁾	–	–
Väri vaihtelu kaikki pinnat	luokat (kohta 10)	AA ⁶⁾ A	B	AA ⁶⁾ A	B

¹⁾ Pesusyvyyden ylittää normaalin vaihteluvälin, kuitenkin niin, ettei iso kiviaines irtoa.

²⁾ Kääntyvissä pelloissa ja vastaavissa paikoissa sallitaan kaksinkertaiset arvot.

³⁾ Pesusyvyyden alittaa normaalin vaihteluvälin siten, että pinnan ilme muuttuu.

⁴⁾ Kääntyvissä pelloissa ja vastaavissa paikoissa sallitaan 1,5 kertaiset arvot.

⁵⁾ Tai korkeintaan pesusyvyyden jos se on suurempi

⁶⁾ Luokkaa AA sovelletaan vain silloin, kun värillisen kiviaineksen kanssa käytetään samansävyistä sidebetonia ja pinnan väri saadaan pääasiassa aikaan kiviaineksella.

7.3.2 Pintojen korjaaminen

Korjatun pinnan tulee täyttää elementin pinnoille asetetut laatuvaatimukset yhtä hyvin kuin valmiiksi hyvin tehdyn pinnan. Laatuvaatimusten vuoksi voidaan sallia pintojen vähäiset korjaukset, kuten lohkeamat ja huokosten täyttämiset. Korjattu kohta on selvästi erotettavissa valmiista pinnasta värisävynsä vuoksi. Eri-tyisesti paljaaksi jäävissä betonipinnoissa tulee harkita korjaustapaa ja punnita siitä saatavaa hyötyä. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 136.)

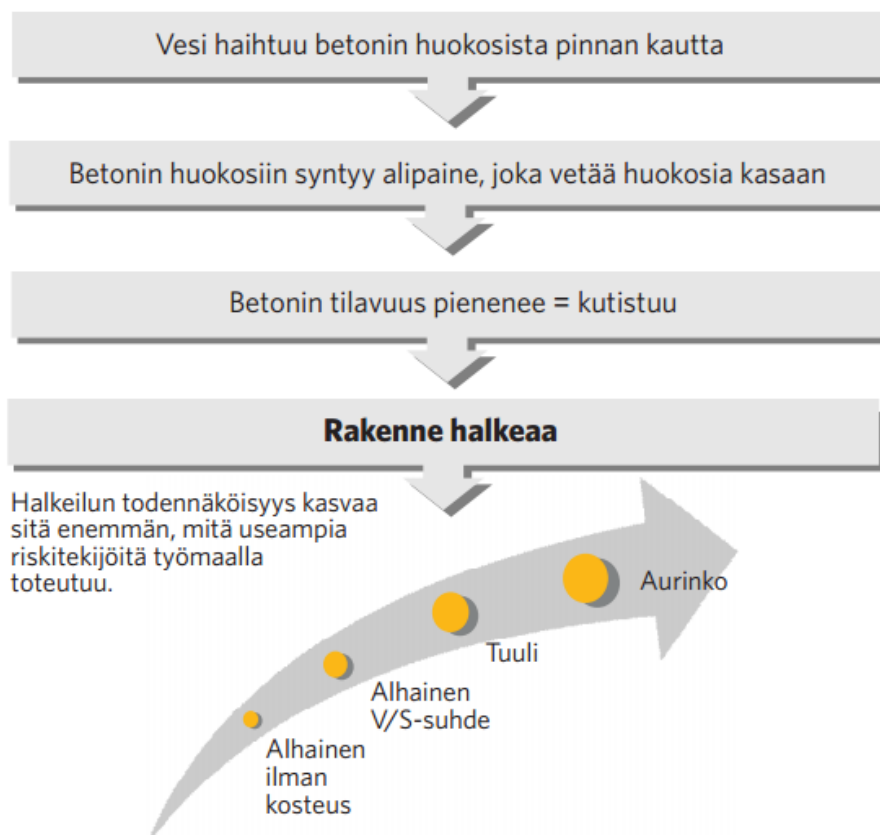
Pintaluokassa AA korjaaminen ei ole sallittua. Kaikki korjaustyöt tulee suorittaa betonilla, joka vastaa ominaisuuksiltaan elementissä käytettyä betonimassaa. Taulukossa 23 on käsitelty korjaustöiden sallittuja määriä pinta-alaa kohden. (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 136.)

TAULUKKO 23. Korjaustöiden sallitut määrät. Koska pintojen korjaaminen ei ole sallittua luokassa AA, sitä ei ole esitetty taulukossa (BY 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. 2014, 136)

Korjaukset > 500 mm ²	Luokka A	Luokka B
Suurin määrä	1 kpl / 7 m ²	ei vaatimusta
Keskimäärin	1 kpl / 20 m ²	ei vaatimusta
Suurin alue	0,08 m ²	ei vaatimusta

7.4 Jälkihoito

Jälkihoito tarkoittaa valmiin betonipinnan suojaamista tai kastelemista siten, että betonin liian nopea kuivuminen estetään ja kovettumisominaisuuksien saavuttaminen turvataan. Rakenne, koko, muoto, betonilaatu, pinnan laatuvaatimukset ja ympäröivät olosuhteet määräävät käytettävän jälkihoitotavan. Parhaan jälkihoitotavan valinta tulee perustua siis kaikkien vaikuttavien tekijöiden tuntemiseen. Kuvassa 47 on esitetty esimerkkitalanne halkeaman syntymiseen. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. 2005, 331–332.)



KUVA 47. Betonipinnan halkeilun syntyminen (Betonin jälkihoito, 1)

Erytisesti silloin, kun betonimassasta ei erity vettä tai se on vähäistä, elementti on altis haihtumisesta aiheutuvalle halkeamisriskille. Halkeamariskin minimoimiseksi jälkihoito aloitetaan mahdollisimman aikaisin (kuva 48). (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 122–123.)



KUVA 48. Valmiin parveke-elementin pinnan jälkihoitoa

Jälkihoito voidaan suorittaa kastelemalla, käyttämällä jälkihoitoainetta, jättämällä muotit paikoilleen tarpeelliseksi ajaksi sekä käyttämällä tiiviitä muovipeitteitä, kuten kevytpeitettä. Napapiirin betonilla on käytössä kuitenkin kaksi jälkihoitotapaa; elementin peittäminen kevytpeitteellä ja käsittely jälkihoitoaineella.

(BY50 Betoninormit 2004. 2004, 122–123.)

Betonin kutistuminen ei ole riippuvainen jälkihoitoajan pituudesta. Betoni jatkaa kutistumistaan veden haihtumisen seurauksena, kun jälkihoito on lopetettu. Jälkihoitolla on suuri vaikutus betonin vetolujuuden kehittymiseen. Hyvin jälkihoitodulla elementillä on paremmat kulutuskestävyyden, tiiveyden ja säilyvyyden ominaisuudet kuin huonosti tai kokonaan jälkihoitamattomalla elementillä.

(Kääriäinen 2015.)

Jälkihoidon merkitys kasvaa etenkin paljaiksi jäävissä pinnoissa, kuten parvekepieli- ja parveke-elementeissä. Halkeamat voivat olla vaikeasti tai jopa mahdollisesti korjattavissa ja ne heikentävät valmiin tuotteen laatua. Etenkin pal-

jaaksi jäävillä pinnoilla, jotka ovat samanaikaisesti rasitusluokaltaan vaativia, näkyvä halkeilu voi johtaa suunnitellun käyttöiän lyhentymiseen betonin karbonisoituessa eli betonin oma emäksisyys ei enää suojaa betoniteräksiä mahdollistaen terästen ruostumista. Myös halkeamiin jäävä vesi voi aiheuttaa talvella jäätyessään lisähalkeamia tai olemassa olevien halkeamien suurentumista veden tilavuuden kasvaessa jäätyessään. (Kääriäinen 2015.)

Varhaisessa vaiheessa tapahtuva halkeilu johtuu haihtuvan kosteuden aiheuttamasta tilavuuden muutoksesta, jonka aiheuttama vetojännitys ylittää betonin sen hetkisen vetolujuuden. Hallissa ympäröivillä olosuhteilla varmistetaan, ettei betonipinnalta pääse haihtumaan liikaa kosteutta ennen kuin betonin lujuuden kehitys on saavuttanut tietyn tason ja että poikkileikkauksessa ei tapahdu liian suuria lämpötilaeroja. Tämä tarkoittaa käytännössä puhaltimien käyttökieltoa sekä vedon minimoimista ovien ja luukkujen kiinnipidolla koko jälkihoitoajan. (Kääriäinen 2015.)

Rasitusluokissa X0 ja XC1 jälkihoito voidaan lopettaa rakenteen saavutettua 60 % nimellislujudestaan ja muissa kuin XF2 ja XF4 rasitusluokissa 70 % nimellislujudestaan. XF2- ja XF4-luokkaan kuuluvat rakenteen tai erityistä kulutuskestävyyttä vaativia rakenteita tulee jälkihoitaa niin kauan, että 80 % nimellislujudesta saavutetaan. (BY50 Betoninormit 2004. 2004, 122–123.)

7.4.1 Jälkihoitoaine jälkihoitomenetelmänä

Ruiskutettava jälkihoitoaine muodostaa valmiin betonipinnan pinnalle lähes vetä läpäisemättömän kalvon. Se on tehokas jälkihoitomenetelmä ja torjuu oikein tehtynä myös plastisen kutistuman aiheuttamaa halkeilua. (Betonin jälkihoito, 1.)

Jälkihoitoainetta käyttäessä oikein tehty tarkoittaa sitä, että ennen hiertämisen aloittamista betonipinnalle levitetään joka puolelle hyvin levinyt kalvo jälkihoitoainetta ja hoitoa täydennetään pinnan viimeistelyn jälkeen (kuva 49). Aine

levitetään paineistetulla ruiskulla tasaisena, koko elementin pinnan peittävänä kerroksena niin, että kaikki kohdat tulee käsitellyksi. Rasitusluokaltaan vaativia rakenteita tehtäessä voidaan jälkihoidon riittävydestä varmistua peittämällä elementti vielä lopuksi muovipeitolla. (Betonin jälkihoito, 1.)



KUVA 49. Parveke-elementin esijälkihoitoa 18.12.2014

Jälkihoitoainetta käytettäessä tulee varmistaa millaisen käsittelyn hoitoaineen poisto vaatii. Jälkihoitoaine voi olla joko itsestään haihtuvaa tai mekaanisesti poistettavaa. Hoitoaine on yleensä väritöntä, jolloin se ei jätä elementin pintaan jälkiä. Tämä on tärkeää etenkin jälkikäsittelemättömissä elementtipinnoissa. (RIL149-1995.1995, 78–79.)

7.4.2 Peittely jälkihoitomenetelmänä

Peitetyt betonipinta on huolellisesti suoritettuna yhtä hyvä jälkihoitotapa kuin jälkihoitoaine. Peittäminen tulee suorittaa mahdollisimman nopeasti valun jäl-

keen niin, että betonipintaan ei muodostu kuviointeja tai muita jälkiä muovipeitteestä.

Jälkihoito peittelemällä tehtynä ehkäisee plastisen kutistuman muodostumista. Jos elementtipinnan työstövaatimukset estävät nopean peittelyn, tulee käyttää jälkihoitoainetta niin sanottuna esijälkihoitoaineena. Näin estetään mahdollisten kuivumishalkeamien syntyminen. (Betonin jälkihoito, 1.)

8 KOULUTUSPÄIVÄ

Koulutuspäivä työntekijöille järjestettiin 13.3.2015 kello 8.00–11.00 Napapiirin Betonin toimipisteessä Rovaniemellä. Taukotilaan tuotiin valkokangas ja video-tykki. Pöydät ja tuolit järjestettiin niin, että esityksen näki vaivattomasti joka puolelta taukhuonetta. Paikalla olleiden työntekijöiden lisäksi koulutuspäivään osallistui hallipäällikkö Mikko Rapo.

Työntekijät osallistuivat keskusteluun esittämällä omia mielipiteitä ja kysymyksiä. Mikko Rapo esitti puheenvuoroja yrityksen edustajana eritoten työvaiheiden dokumentoinnin tärkeydestä ja yrityksen raportointivelvollisuudesta tilaajalle.

8.1 Koulutuspäivän sisältö

Koulutuspäivän pituus oli 3 tuntia. Se sisälsi lyhennettynä luvuissa 2-7 esitetyt asiat. Eritoten kiinnitettiin huomiota jälkihoitoon ja työntekijän raportointivelvollisuuteen. Otettiin esille tuotantoon, tuotannon seuraamiseen sekä asiakaalle suoritettavaan raportointiin liittyvät asiat eli mihin ja miksi raportointeja suoritetaan ja mikä niiden merkitys on tilaajaosapuolelle.

Työntekijöiden aktivoimiseksi ja muistijälkien parantamiseksi aineisto sisältää valokuvia työvaiheista, joissa on tapahtunut laaturvirheitä. Työntekijät saivat omin sanoin arvata ja perustella tapahtuneita virheitä ja niiden mahdollista ehkäisyä.

8.2 Havainnollistava materiaali

Asioita on helpompi havainnollistaa ja ymmärtää asiayhteyksiä, kun esittelijällä on näytettävänä konkreettista materiaalia. Esillä koulutuspäivällä oli SBKL-kiinnityslevyjä ja erilaisia tankopaksuuksia rautoideteräksistä. Esillä oli myös pistokkaita ja palkkiansaita sekä puhdasta että pintalikaista raudoiteverkkoa.

Erilaisilla muottivanerin palasilla havainnollistettiin muottipintojen erilaisuuksia

mikrotasolla sekä painotettiin erilaisten materiaalien kohdalla öljyämisen tarvetta. Öljyämisen tarvetta korostettiin eritoten aukkojen- ja laitojen kanssa työskentelyssä, sillä se vähentää materiaalihukkaa ja lisää muotin käyttökertoja.

Diaesitys sisältää materiaalia, jota ei ole esitetty tässä opinnäytetyössä. Materiaalissa on kuvia virhetilanteista, joita löydettiin vieraululla Napapiirin Betonin elementtitalissa syksyllä 2014.

9 LOPPUSANAT

Työn tarkoituksena oli luoda yritykselle laatukäsikirja, jonka avulla sekä uusia että vanhoja työntekijöitä voidaan kouluttaa uusimpiin rakennusalan standardeihin ja normeihin. Opinnäytetyö oli laaja ja ajallisesti paljon vaativa, mutta samalla kirjoittajalle itseopiskeluprosessi, jossa pääsi oppimaan uusia asioita ja kiinnittämään huomiota ennalta tapaamattomiin mahdollisiin ongelma-kohtiin.

Koulutus otettiin hyvin vastaan yrityksessä sekä työnjohdon että työntekijöiden puolelta. Suurimpana ongelmana työn alussa nähtiin mahdollinen työntekijöiden suhtautuminen lisäkoulutukseen. Ennakkoluuloista huolimatta työntekijät ottivat uudet säädökset omikseen ja pyrkivät toteuttamaan niitä omassa työskentelyssään.

Opinnäytetyöstä jäi yritykselle sekä laatukoulutuskirja sekä PowerPoint-esitys, jota heillä on vapaat kädet käyttää hyväksi tulevaisuudessa työntekijöiden koulutuksessa. Laatukäsikirjan yli sadassa sivussa käsitellään kaikki tarpeelliset asiat joita, laadun näkökulmasta olisi suotavaa tietää. Nämä samat asiat löytyvät myös PowerPointista lyhenneltynä.

LÄHTEET

Ansaat ja pistokas. 2010. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections.

Saatavissa:

www.materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=9850&org=2&chk=21af9b48.

Hakupäivä 26.2.2015.

Anttila, Vesa. Betonin valinta. Saatavissa:

www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf. Hakupäivä 21.12.2014.

Betonin jälkihoito. Rudus Oy. Saatavissa:

www.rudus.fi/Download/21944/Betonin%20jälkihoito.pdf. Hakupäivä

21.12.2014.

BY40-2003. Betonirakenteiden pinnat/Luokitusohjeet. 2014. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

BY47-2013. Betonirakentamisen laatuohjeet. 2013. Vantaa: Suomen Betoniyhdistys ry.

BY50-2004. Betoninormit. 2004. Jyväskylä: Suomen betoniyhdistys ry.

BY50-2012. Betoninormit. 2013. Lahti: Suomen Betoniyhdistys ry.

BY201-2004. Betonitekniikan oppikirja. 2005. Jyväskylä: Suomen betoniyhdistys ry.

BY211-2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. 2013. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Elementtisuunnittelu. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi>. Hakupäivä 16.12.2014.

Kaistila, Maijaliisa. Hyvä Esimiestyö. Saatavissa:
www.tyoturva.fi/files/1579/Hyva_esimiestyo_opas.pdf. Hakupäivä 8.3.2015.

Katsastus mikrobeihin. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa:
<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/mikrobit/katsaus-mikrobeihin/>. Hakupäivä 26.4.2015.

Kiinnityslevyt. 2013. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections. Saatavissa:
www.materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=9847&org=2&chk=3ab2458a. Hakupäivä 26.2.2015.

Kääräinen, Hannu 2015. Lehtori. Opinnäytetyöohjaus keväällä 2015. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kääriäinen, Hannu 2015. T523323 Korjausrakentamisen kuntotutkimukset 2 3 op. Opintojakson luennot keväällä 2015. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Mikrobikasvun edellytykset. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa:
<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/mikrobit/mikrobikasvun-edellytykset/>. Hakupäivä 26.4.2015.

Nostolenkit. Nostolenkki-esite. Pintos Oy. Saatavissa:
www.pintos.fi/tuotteet/betonielementtiteollisuus/nostolenkit. Hakupäivä 26.3.2015.

Nykyri, Pekka 2015. Lehtori. Keskustelu keväällä 2015. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

PB-, PBK-, PBR-nostolenkkien käyttöohje. 2013. Tekninen käyttöohje. Pintos Oy. Saatavissa: www.pintos.fi/pintos/getfile.php?file=191. Hakupäivä 26.2.2015.

PNLF-nostolenkki. 2012. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections.
Saatavissa: www.peikko.fi/product-fi/p=PNLF+-Seinäelementtien+nostoankkuri.
Hakupäivä 26.2.2015.

PVL-vaijerilenkki. 2012. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections.
Saatavissa: www.peikko.fi/product-fi/p=PVL-vaijerilenkki. Hakupäivä 26.2.2015.

RIL 115–1977 Betonielementtirakenteet. 1977. Jyväskylä: Suomen insinöörien
liitto ry.

RIL 147–2006. Helsinki: Tukitelineet ja muotit. 2006. Suomen insinöörien liitto
RIL ry.

RIL 149-1995. Betonityöohjeet. 1995. Vaasa: Suomen insinöörien liitto RIL ry.

RVL-vaijerilenkit.2013. Eurokoodin mukainen käyttöohje. R-Steel. Saatavissa:
www.rsteel.fi/fi/node/158. Hakupäivä 26.2.2015.