

”loppuraportin lyhyt versio 12 s.”

Betonirakentamisen laatuketju kuntoon, taustalla vuoden 2016 lujuuskadot

Selvitysmiehen loppuraportti ja suositukset 14.11.2017

Tapani Mäkikyrö, dipl.ins.
Rakennusteollisuus RT ry:n kutsuma selvitysmies

Selvitystyössä on rakennusalan kuulemisten kautta pyritty muodostamaan kokonaiskuva betonirakentamisen tilanteesta Suomessa taustalla vuonna 2016 betonirakenteissa ilmenneet lujuuskadot. Työssä on laadittu suosituksia toimista, joilla vastaavat ongelmat kyettäisiin välttämään jatkossa.

"Raportti on kuullun ja koetun perusteella ulkopuoliselle muodostunut näkemys tilanteesta. Se nostaa esiin eritasoisia asioita toimeksiantajan harkittaviksi ja kehitettäviksi. Nostot eivät koske kaikkia toimijoita. Raportin lyhyt versio; Alkusanat, 1. Selvityksen tiivistelmä, 8. Yhteenveto ja suositukset."

Alkusanat

Betonirakentamisessa havaittiin vuoden 2016 aikana merkityksellisiä lujuuskatoja. Alan toimijat, etupäässä kukin tahollaan, tekivät heti selvityksiään ja jo oikeansuuntaisia korjausliikkeitäkin.

Vuoden 2016 lopulla viranomaistahot ja rakennusteollisuus päivittivät tilanteen, ja toimet laatuongelmien ratkaisemiseksi käynnistettiin. Rakennusteollisuus RT ry yhdessä toimialaliittojensa INFRA ry:n, Talonrakennusteollisuus ry:n ja Betoniteollisuus ry:n kanssa mm. päätti kutsua tehtävään riippumattoman, betonitoimialan ulkopuolisen selvitysmiehen.

Asian selvittämistä tukemaan perustettiin avoin yhteistyöryhmä, jonka ytimen muodostivat viranomaistahot tai niitä edustavat Tukes, Ympäristöministeriö, Liikennevirasto ja Rakennustarkastusyhdistys RTY ry sekä valtuutettu tarkastustaho Kiwa Inspecta (Inspecta). Ryhmässä olivat mukana myös Rakli ry:n, SKOL ry:n ja Aalto-yliopiston edustajat sekä RT ry:n ja sen toimialaliittojen edustajat.

Selvitysmieheksi Rakennusteollisuus RT ry kutsui dipl.ins. Tapani Mäkikyrön. Selvitystyö tehtiin ajalla 15.3.2017 - 30.9.2017.

Selvitysmiehen tehtävänä oli muodostaa betonirakentamisen tilanteesta kokonaiskuva taustalla vuoden 2016 laatuongelmat sekä niiden mahdolliset syyt. Lisäksi tehtävänä oli laatia suositukset mahdollisista toimista, joilla vastaavat ongelmat kyetään välttämään jatkossa. Yksittäisiin kohteisiin, vastuisiin ja syyllisyyksiin selvitysmies ei ota/ottanut kantaa. Tahojen ei asioiden kohdilla nimetä.

Selvityksessä tarkastellaan paikalla valettavien betonirakenteiden monivaiheista valmistusprosessia, sen riskikohtia ja ongelmia. Prosessin eri vaiheista kuultiin kymmeniä asiantuntijoita, toimijoita ja yrityksiä. Kuulemisten pohjalta muodostui näkemys, miten ala, tai osa alasta, menettelee prosessin eri vaiheissa. Niistä lähtien menettelytapoja arvioidaan ja annetaan kehityssuosituksia.

Selvityksen näkemykset on muodostettu pääosin kuullun ja koetun perusteella ilman juridista dokumentointia. Betoniteknologisia asioita käsitellään vain yleisellä tasolla. Yksityiskohtainen arviointi tukeutuu asiantuntijoihin. On huomattava, että esille eivät ole päässeet alan kehityshankkeet ja onnistumiset, vaan pyydytysti ja leimallisesti laatu- tai lujuusongelmat, joihin haetaan korjausta.

Selvitys nostaa hankeosapuolille eritasoisia näkemyksiä harkittaviksi, kehitettäviksi tai toteutettaviksi. Lujuuskatojen arvioinnin ja estämisen ohella esille on nostettu myös merkitykseltään vähäisempiä tai laatuun epäsuorasti vaikuttavia betonirakentamisen kehityssuosituksia.

Selvitys korostaa, että valmisbetonirakenteiden loppulaatuun vaikuttavat kaikki tuotantoprosessin pääosapuolet; rakennuttaja/tilaaja, betonitehdas ja työmaa. Epäonnistuuessaan tai osaamattomuuttaan niistä jokainen yksinäänkin voi aiheuttaa epäkelvon riskirakenteen, hylättävän lopputuloksen.

Tapani Mäkikyrö, dipl.ins.

Selvitysmies

1. Selvityksen tiivistelmä ja viittaukset suosituksiin

”14.11.2017 tmä”

Lähtökohtina selvitykselle ovat betonirakenteiden purkamisiin johtaneet lujuuskadot vuonna 2016 talo- ja siltarakenteissa Turussa ja Kemijärvellä. Tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva tilanteesta ja suositella toimia, joilla vastaavat ongelmat vältetään. Toimien toteutuksen suunnittelee ala itse.

Selvitys perustuu rakennustoimialan laajaan kuulemiseen. Edellä mainitut tapaukset eivät ole olleet ainoita lujuusongelmia isoissa betonirakenteissa. Rakennusvalvonnat ja -ala kartoittavat ongelman levinneisyyttä rakennekokein ja varmistavat uudisrakentamista lisävalvonnalla; toistaiseksi ei ole havaittu ilmiön laajentumista. Selvityksen päähuomio kiinnitetään betonirakentamisen laatuun, akuuttina lopputuotteen lujuuskato. Se syntyy tuotantoprosessin epäonnistumisten seurauksena.

Betoni on yleisin runkomateriaali, josta neljäsosa on paikallavalua. Kehittynyt betonitekniikka mahdollistaa moninaista laadun ja tuotantokustannuksen säätämistä. Tilaaajan ja alan liiallinen hintakeskeisyys leimaa betonirakenteiden tuotantoa. Se herkistää tuotantoa ongelmille mm. side- ja lisäaineoptimoinnin sekä betonointi- ja jälkihoitovirheiden ja työmaan valvontapuutteiden seurauksena.

Tuotantoprosessin näkökulmasta tunnistetaan kehittämistarvetta prosessin kaikissa päävaiheissa: **Tilaaajan rooli;** hinta-/laatu keskeisyys, työn valvonta ja vastuut. **Betonitehtaan rooli;** betonin optimointi ja laadunmittaukset, tarjous- ja toimituslaadun avoimuus sekä alan yhteistyö. **Työmaan rooli;** betonin valinta, valutyö ja sen valmistelu ja jälkihoito, yhteydenpito suunnittelun ja tehtaan kanssa.

Lopputuotteen näkökulmasta betonirakenteen lujuusongelmissa erotetaan kaksi vakavuusluokkaa; vähäiset lujuuden vaihtelut ja vakavat lujuuskadot. Seuraamuseroista huolimatta niillä on tuotantoprosessissa myös yhteisiä syitä. Betonin lujuusvaihteluja rakenteissa voimistavat betonointityön kiire ja osaamisvaje tai jälkihoidon häiriö ja niitä edesauttaa tilaaajan puutteellinen valvontanäkemyks.

Lujuuden vaihtelu hyväksyttävän arvon rajalla voi johtaa yllättäviin lujuusalituksiin rakenteissa. Tehtaiden sinänsä arvostetun vähäisen hajonnan ja lujuusmarginaalin hallintaa rakenteissa vaikeuttavat prosessin muissa vaiheissa hajontaa lisäävät suoritusvirheet/-vajeet. Valmistuksen mittausten (kosteus, ilma, lujuus) ajoittaisuus tai epätarkkuus ei saa hämärtää tehtaan ja työmaan käsityksiä tuotettavasta ja tilattavasta lujuustasosta. Lopputuotteen laatu ratkaisee, sille riittävä marginaali.

Vakavissa lujuuskadoissa betonin ilmamäärä kohoaa nopeasti sekoituksen jälkeen ennen sitoutumista jopa 15 til.-%:iin. Betoni menettää tiheyttään ja jopa puolet lujuuttaan. Ilmiölle herkkiä ovat huokostetut vaativat säänkestävät (P-luku)betonit. Aalto-yo:ssa päättyneen betonin Robust Air -huokosrakennetutkimus on varmistamassa lisäaineiden käyttöön liittyvän ongelman yhden (pää)syyn.

Näkemyks tekijöistä, jotka voivat liittyä huokostetun betonin ilmailmiöön: lisäaineiden sopimattomuus ja hitaus, sekoitustarve (selvitettävä), korkea notkistinannostus ja suuri notkeus, alhainen sementti- ja hienoainesmäärä sekä pieni max. raekoko, riittämättömät ennakkokokeet (P-lukubetoni), työmaamittauksen epätarkkuus, pieni lujuuden varmuusmarginaali, epäkelpo valutyö (harvavalu voi yksinään aiheuttaa lujuuskadon) sekä välillisesti valvonnan vaje. Suosittelaaan em. tekijöihin puuttamista ja osaamisen päivittämistä. Hankkeen osapuolien on hallittava ilmiö ja sen tekijät. Kts. Liite 3.

Vaatus: Lujuuskadon pääsyä kantaviin betonirakenteisiin laadun omavalvonnan läpi ei voida sallia Laadunvalvonta on ulotettava lähelle valua, epäiltäessä rakenteeseen. Normi ja asetus tukevat sitä. **Kiwa Inspectan ja Tukesin** seuranta viive-otannalla ei riitä; havaitaan kyllä eroja tehtaiden lujuustasoissa ja alituksissa, mutta ei lujuuskatoja ajallaan. Kyseisten lujuuskatojen betonimassan jälkikarkastuksissa ei juuri alituksia havaittu, vasta rakenteessa, lisäksi näkyvää harvavalua oli todettavissa.

**Betonirakentamisen laatuketju kuntoon,
taustalla vuoden 2016 lujuuskadot**

Tapani Mäkikyrö, dipl.ins.
Selvitysmies 14.11.2017

Selvityksen loppuraportin sisältö

Tässä sisällön lyhyt versio; Alkusanat, 1.Tiivistelmä, 8.Yhteenveto ja suositukset

1. Tiivistelmä ja viittaukset suosituksiin	3
2. Selvitystyön taustaa ja oheishuomioita	5
2.1 Betoni, johtava runkomateriaali, vahvuuksia ja haasteita murroksessa	5
2.2 Tapahtumat ja tavoitteet selvitystyön taustalla, ”syytä huomata”	6
2.3 Lujuuskato viranomaisten käsittelyssä, ”yleinen etu”	7
2.4 Betoniala ja asiakas avoimesti laatukeskeisiksi, koulutuksella uutta profiilia	10
3. Betonin ja betonirakenteen toteutuksen laadunvalvonta ja laatuvaheet	12
3.1 Betonin ja betonirakenteen laadunvalvonta, myös betonoinnin aikana	12
3.2 Laadunvalvonta normien mukaan, lujuuskato ja omavalvonta, johtopäätös	14
3.3 Huomioita käytännön laadunvalvontatilanteista	14
4. Laadunhallinta tuotantoprosessin näkökulmasta	16
4.1 Viitteellinen kaavio osoittamaan eri osapuolien ja suoritusten mukanaolo	17
4.2 Tilaajan rooli, laadun näkökohtia ja suosituksia	18
4.3 Betonitehtaan rooli, laadun näkökohtia; suhteutus, avoimuus	21
4.4 Betonitehtaan rooli, laadun näkökohtia; laadunmittaus	24
4.5 Betonitehtaan rooli, suosituksia	25
4.6 Työmaan rooli, laadun näkökohtia ja suosituksia, vastaava työnjohtaja (MRL)	27
5. Laadunhallinta lopputuotteen näkökulmasta	31
5.1 Vakavat lujuuskadot, piirteitä	31
5.2 Lujuuskadon riskitekijöitä lisäaineet, myös betonoinnin osaamisvaheet	32
5.3 Lujuuskatobetonia ei saa päästä rakenteeseen eikä betonointi aiheuttaa katoa	33
6. Betonirakentamisen laatua valvovat (viranomais)tahot	34
6.1 Inspecta, rooli ja mahdollisuus	34
6.2 Tukes, rooli ja mahdollisuus	36
6.3 Liikennevirasto, rooli ja mahdollisuus	37
6.4 Rakennusvalvonta RTY	39
7. Lujuusvajeen esiintymisen alueellinen rajausta ja varmistukset, tuloksia	42
7.1 Rakennusvalvonta ja rakennusteollisuus, oleelliset tekniset vaatimukset	42
7.2 Tukes, rakennusteollisuus ja rakennusvalvonnat	43
7.3 Aalto-yliopisto ja Betoniteollisuus	43
7.4 Varmistustoimien tuloksia	43
8. Yhteenveto ja suositukset	44
8.1 Betonirakenteen (lopputuotteen) lujuus, Vakavat lujuuskadot	45
8.2 Betonirakenteen tuotantoprosessin laatu, Vähäiset lujuudenvaihtelut	48
8.3 Kooste osapuolien yksittäisistä suosituksista ja nostoista, laatu ja lujuus	50
Liitteet 1, 2 ja 3	51

8. Yhteenveto ja suositukset

”14.11.2017 tmä”

Selvitystyö perustuu rakennus- ja erityisesti betonialan kentän laajaan kuulemiseen 2017/3-9. *Liite1.* Suosituksia esitetään lopputuotteen lujuuden (8.1) ja tuotantoprosessin laadun (8.2) näkökulmista.

Lyhyet yhteenvedot (1.) ja (2.)

Lyhyin yhteenveto 1: Selvityksen päätulokset ja vaatimukset/suosituks

Selvitystyön aikana Aalto-yliopiston betonin lisäainetutkimuksessa tunnistettiin ongelmallisen ilmanmuodostumisen piirteitä ja syitä betonin lujuuskadon taustaksi. Betonin notkistavien ja huokostavien lisäaineiden käyttöön liittyi hallitsematon ilmantuotto sekoitus- ja liikutteluvaiheiden aikana. Lisäaineiden ohella hallitsemattomaan ilmantuottoon liittyy prosessissa muitakin tekijöitä.

Selvityksen oheistuloksena tunnistettiin betonirakenteiden tuotantoprosessin kaikilla pääalueilla (tilaaja-betonitehdas-työmaa) suoritusvajeita tai kehittämistarvetta. Se tukee betonin ja betonirakenteen laadunhallintaa, tuotannon asiakas- ja laatu keskeisyyttä sekä alan avoimuutta ja kehittämistä. Niillä on selvä liittymäpinta myös betonin ja betonirakenteen lujuuteen ja lujuuskatoon.

Vaatus: Vaativien massojen, yleensä P-lukubetoneja, valmistus ja betonointityö on saatava luotettavasti hallintaan (mm. sekoitustarve) ennen ko. massan käyttöä sekä laadun varmistaminen ulotettava työmaalle lähelle valuhetkeä. Lujuuskato-/ilmaongelmaa hallitaan aluksi ”ensihoidolla”, suhteitusvalinnoilla ja tehostamalla ilmamäärämittauksia valun yhteydessä. Ongelman kestävä ratkaisu edellyttää betonin lisäainekäytön jatkotutkimuksia ja koko prosessin hallintaa.

Erityisesti tarvitaan myös betonirakenteiden työmaaosaimisen kehittämistä, josta tehty suositus.

Lyhyt yhteenveto 2: Selvityksen havainnot ja suosituksia tuotantoprosessin kehittämiseksi

Havainnot betonirakenteiden tuotantoprosessista

Selvitystyön aikana Aalto-yliopiston betonin lisäainetutkimuksessa tunnistettiin voimakkaan ilman tuoton piirteitä ja syitä betonin lujuuskadon taustaksi. Muodostui näkemys ongelman syntyyn vaikuttavista tekijöistä. Ne liittyvät ensisijaisesti sääolosuhteita ja suolarasitusta kestävästi vaativan betonin, P-lukubetonin, valmistukseen ja käyttöön. Huokostavien lisäaineiden käyttö voi aiheuttaa hallitsemattoman ilman tuoton betonin sekoituksen jälkeen kuljetus- ja betonointivaiheissa. Keskeinen hallintatekijä liittyy sekoituksen määrään. Altistavia tekijöitä voivat olla betonin suhteitusvalinnat sekä rakenteiden toteuttamisvaiheessa esiintyvät suoritusvirheet ja -vajeet. *Kts. Liite 3.*

Selvitystyössä tunnistettiin betonirakenteiden tuotantoprosessissa (tilaaja-betonitehdas-työmaa) päivittäis- tai kehittämistarvetta, osin perinteisiin menettelytapoihin liittyen. Niillä on vaikutusta betonirakenteiden laadunhallintaan ja liiketoiminnan tuottavuuteen sekä alan valmistautumiseen toimintatapojen ja -ympäristön murrokseen. Kehityskohteita ovat betonin laadunmittaukset, alan ja asiakkaiden hinta-/laatu keskeisyys, betonin laadun avoimuus ja uusien laatutekijöiden nostaminen kaupantekoon sekä erityisesti betonirakenteiden työmaatoteutuksen osaaminen, työmaan yhteydenpito rakennesuunnitteluun ja betonitehtaalle sekä tilaajan työmaavalvonnan kehittäminen.

Tilanne: Todettujen lujuuskatotapausten aktiivisena ja niiden syistä tietoisena ei betonialalla nouse esiin erityistä ”maata kaatavaa” edes ”tiheällä kammalla kammattuna”. Kehitettäviä kohtia

ja toimintamalleja prosessissa kyllä huomataan. Hintakeskeisyys häiritsee alaa ja altistaa häiriöille. Niitä ilmenee pääasiassa vaativien sääbetoneiden, P-lukubetonin, valmistuksessa ja betonoinnissa.

Suosituksset betonirakenteiden tuotantoprosessin kehittämiseksi ja lujuuskadon estämiseksi

Taustaksi: Betonirakentamiseen kehitetään uutta asiakaspalvelu- ja laatukulttuuria hintakeskeisyydenkin sijaan alan toimijoiden yhteistyönä vastaamaan rakentamisen toimintamallien murrokseen.

Hankkeen tilaajan / rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee olla aidosti kiinnostunut laadusta sekä asettaa selvät laatutavoitteet ja luoda edellytykset laadun tuottamiselle. Se tarkoittaa riittävää resurssia ja ohjausta suunnitteluun, laatuakeskeisyyttä hankintaan sekä tilaajan riittävää valvontaa ja osapuolien tiedostamia vastuita rakennustyössä.

Betonitehtaan tulee kehittää toimintaansa ja sen laadunhallintaa niin, että se pystyy valmistamaan betonia, jonka ominaisuudet, erityisesti lujuus, ilmapitoisuus ja valettavuus, ovat nykyaikaisella mittaustekniikalla ohjaten tilauksen mukaiset ja todetusti riittävän stabiilit työmaalle toimitettuna. Asiakkaiden laatu-tietoisuuden kehittymistä sekä valutyön suunnittelua tuetaan avaamalla betonimassan koko laatu, uudenlaiset laatuotteet, kaupantekoon. Kysymys on alan tuottavuudesta.

Urakoitsijan / betonirakenteiden toteuttajan tulee ennakkoon valmistella jokainen valu myös työn riskejä arvioiden ja toteuttaa valut niin, että valukohteeseen tilataan asianmukaista betonia ja betoni siirretään muottiin, tiivistetään ja jälkihoidetaan dokumentoidusti normien ja suunnitelmien mukaisesti. Työssä hyödynnetään aktiivisesti rakennesuunnittelijan ja betonivalmistajan asiantuntemusta.

Pitkät yhteenvedot (8.1) ja (8.2) 8.1 → Luku 5. Laadunhallinta lopputuotteen näkökulmasta
8.2 → Luku 4. Laadunhallinta tuotantoprosessin näkökulmasta

8.1 Betonirakenteen (lopputuotteen) lujuus, Vakavat lujuuskadot (kts. Luku 5.)

Vuonna 2016 todetut betonirakenteiden vakavat lujuuskadot ovat olleet monien selvitysten taustalla. Lujuuskadolla tarkoitetaan tässä betonin tai betonirakenteen merkityksellistä puristuslujuuden alenemaa, joka johtaa radikaaleihin varmistustoimenpiteisiin, usein rakenteiden purkamisiin.

Lujuuskadon rinnalla selvityksessä tarkastellaan lujuuden vähäistä vaihtelua, usein hyväksyttävän lujuustason rajalla. Se aiheuttaa seuraamuksia vain, jos heilahtelut menevät liiaksi hyväksyttävän tason alapuolelle. Rakenteille on tällöin tehty uusia lujuuslaskelmia tarvittavan lujuuden ehdottoman alarajan selvittämiseksi, tai rakenteiden rasi-tettuja osia on purettu ja valettu uudelleen.

Lujuuskadon alueellista laajuutta selvitetään. Eri tahot suorittavat lujuuden varmistuksia valmistuvia rakennuksia ja rakenteita tutkimalla. Samoin varmistetaan tehostetulla laadunvalvonnalla rakenteilla olevan betonirakentamisen laatua. Liikennevirastosta lähti vuodenvaihteessa ”myllykirje” yhteistyökumppaneille siltarakentamisen laadunvalvonnasta ja vastuista. Varmistustyöt jatkuvat eri puolilla Suomea. Tällä hetkellä tulosten perusteella näyttäisi, että lujuuskato ei olisi laaja-alainen ainakaan viimeaikaisessa talonrakentamisessa eikä uusia tapauksia syntyisi. Lujuusvajeita ei ole talorakenteista toistaiseksi raportoitu. Kysymys lienee yksittäistapauksista. Luonnollista on myös, että betoniala on varmistellut toimiaan lujuus- ja ilmaongelmien yllättäen ilmetessä. Liikenneviraston noin 100 betonisiltaa koskevan selvityksen välituloksista tiedotetaan syksyn/talven aikana.

Lujuuskadon riskitekijöitä ovat käytetyt synteettiset lisäaineet, myös betonoinnin osaamisvajeet?

Lujuuskatoilmiö näyttää ensisijassa liittyvän huokostettuihin sään- ja suolankestäviin betoneihin, kuten P-lukubetonit. Niiden valmistaminen ja työstäminen on eri syistä hankalaa. Kyseisten vaativien betoneiden ominaisuudet joudutaan usein optimoimaan suhteituksella runsaasti lisäaineita käyttäen ääri rajoille. Lujuuden aleneminen tavoitellusta jopa puoleen johtuu ko. betonin ilmamäärän hallitsemattomasta lisääntymisestä. Ilmamäärä on jopa 3-kertaistunut 15 til.-%:iin valmistuksen jälkeen ennen betonin sitoutumista. Lisäaineiden käyttöä on selvitetty.

Aalto-yliopistossa on päätynyt tutkimus ”Robust Air - Betonin stabiilin huokosrakenteen varmistaminen”. Tulosten perusteella ilmaongelman pääsyy liittyy huokostavien lisäaineiden käyttöön. Ongelma edellyttäne mm. lisäainevalintoihin ja suhteitukseen puuttumista, sekoitustarpeen selvittämistä sekä massan käytössä sen herkkyyden huomiointia. Lisätutkimuksia tarvitaan. *Kts. Liite 3.*

On syntynyt alustava näkemys tekijöistä, jotka huokostuksen lisäksi voivat osaltaan liittyä/vaikeuttaa herkän (olosuhde)betonin liialliseen ilman kehittymiseen sen valmistuksen ja käytön yhteydessä:

- Tarvittava sekoitusaika lisäaineiden huokostavan potentiaalin vapauttamiseksi massaan riittävästi. Laboratoriomassoilla ja -tehoilla 2-kert. sekoitusaika parantaa tilannetta, tehdaskohtainen selvitys.
- Lisäaineiden sopimattomuus ja reagointi toistensa kanssa, liian runsas määrä, hidas aktivoituminen.
- Massan korkea notkistinannostus ja notkeus, sillä merkittävä vaikutus ilmiöön.
- Massan alhainen sementti- ja hienoainesmäärä.
- Massan pieni maksimirakekoko ja suuri notkeus johtuen tiheästi raudoitetuista rakenteista.
- Ennakkokokeiden riittämättömyys, kokeessa po. mukana kuljetuksen vaikutus (P-lukubetoni).
- Massan liikuttelu kuljetuksen ja pumppauksen yhteydessä.
- (Työmaa)mittauksen epätarkkuus, kysymys ilmamäärän mittauksesta (välillinen vaikutus).
- Pieni lujuuden varmuusmarginaali, joka osin myös tuotantokustannuskysymys.
- Pumppauksessa massa siirtyy paine-erojen ajamana, ylinotkeus on ”eduksi” valu-urakalle.
- Betonoinnin mahd. virheet (pudotus, siirto, nousunopeus, tiivistys) → erottuminen, ilmamäärä
- Työmaavalvonnan puute kiihdyttää suppeiden valu-urakoiden etenemistä (välillinen).
- Tavoitteena (tarpeettoman) korkea P-luku ilmamäärävalinnan kautta, samalla tavoitteena korkea notkeus ja pieni max. rakekoko; onko tarpeen päivittää ”ääribetonin” tavoitteet / olosuhdetavoite?

Suosittelaaan em. tekijöiden uudelleenarviointia, niihin puuttumista ja osaamisen päivittämistä. Hankkeen osapuolien on hallittava ilmiö ja sen vaikuttavat tekijät, myös betonoinnin yhteydessä.

Em. tekijöitä säätämällä ja herkimmistä resepteistä luopumalla (mahd. mukaan) sekä pitämällä tavoiteilmamäärät kohtuullisina (viitteellinen esim. tehtaalla 4-5%, työmaalla 5-6%) voitaneen liiallisen ilman ongelmaa jo hallita, tuotantokustannus tosin nousee. Sekoitustarpeen ja paremmin tilanteeseen soveltuvien lisäaineiden ja suhteitusten selvittämiseksi tarvittaneen niiden lisätutkimusta.

Varmistettava, että lujuuskatobetonia ei pääse rakenteeseen, eikä betonointi aiheuta lujuuskatoa!

Suosittelujen varmistus- ja kehitystoimenpiteiden taustalla on MRL 117a, b ja d §:t ja niiden nojalla YM:n asetus kantavista rakenteista 477/2014. Kysymys on aluksi henkilöturvallisuudesta. Betoninormin 2016 By 65 ohjeet perustuvat betonimassan osalta standardeihin SFS-EN 206 ja SFS 7022 sekä rakenteiden toteutuksen osalta SFS-EN 13670 ja SFS 5975 ja valmiin rakenteen tutkimisen osalta SFS-EN 13791.

Vakavien lujuuskatojen ehkäisyssä varmentavien toimien tarkoitus on estää normin kelpoisuusehdon alittavien betoneiden pääsy rakenteisiin tai merkittävästi lujuutta menettäneiden betonirakenteiden jääminen lopputuotteeseen. Kyseiset betonit ja rakenteet pitää tunnistaa ja poistaa käytöstä.

Riskibetoneiden tunnistaminen tehtaalla ja työmaalla tapahtuu suhteitustietojen ja laadunmittausten avulla, käyttökelpoisimpia ovat ilmamäärän ja tiheyden mittaukset. Laadunmittausten epävarmuus, erityisesti ilmamäärän mittauksessa, haittaa tunnistamista.

Ohessa on esitetty tilanteen akuuttitoimenpiteitä sekä prosessin kehittämistoimia, joilla pyritään estämään lujuusvajebetonin pääsy lopputuotteeseen tai lujuusvajeen syntyminen betonoinnissa.

Esitettyjen toimenpiteiden lähtökohtana on oletus, että riskibetoneiden ilmamäärä voi kasvaa tehtaalla todetusta määrästä siirryttäessä betonivaluhetkeen. Se edellyttää laadun mittausta tai arviointia myös työmaalla mahdollisimman lähellä valuhetkeä, kts kohta 3.2.

Esitetyt toimenpiteet arvioidaan uudelleen, kun betonirakenteen lujuudenmenetyksen syyt ovat luotettavasti selvillä ja niihin on reagoitu hyväksyttävällä tavalla, myös betonoinnin osaamisen ja valetun rakenteen hoidon osalta. Ala vastaa toimenpiteiden sisällön yksilöinnistä.

Betonirakenteen varmentavat toimenpiteet ja suositeltavat kehitystoimet (kohdissa 1 – 4)

Vakavat lujuuskadot

- 1. Betonin reseptiä ja tuotantoprosessia kehitetään niin, että betoniin ei muodostu liikaa ilmaa valmistuksen yhteydessä eikä sen jälkeen ennen sitoutumista. Tilanne osoitetaan mittauksin.**

Tämän hetken näkemys: Vaativan olosuhdebetonin oletettuja riskitekijöitä säätämällä, pitkälle optimoituja reseptejä muokkaamalla sekä pitämällä tavoiteilmamäärät kohtuullisina (viitteellisesti esimerkiksi tehtaalla 4-5% ja työmaalla 5-6%) ja riittävä sekoitus varmistamalla voitaneen liiallisen ilman ongelma jo hallita. Riskibetoneiden toimittamista tehtaalta ilman em. osaamista ei saisi tapahtua. Luettelo riskitekijöistä, jotka voivat vaikuttaa liialliseen ilman kehittymiseen, on edellä.

- 2. Erittäin vaativissa rakennuskohteissa, turvallisuuden (seuraamusluokat) kannalta merkittävässä kohteissa tai käytettäessä lopputuotteen laadunonnistumisen suhteen vaativia tai herkkiä betonisuhteituksia edellytetään laatu- ja laadunvarmistussuunnitelmaa, kts. YM:n asetus kantavista rakenteista 477/2014; toteutuksen laatusuunnitelma.**

Valmisbetonin viranomaisvalvonta kohdistuu tällä hetkellä betoniasemilla laadun seurantaan ja työmailla rakennuslupa- ja omavalvontaan. Turvallisuuden kannalta merkittävässä kohteissa (seuraamusluokat määritellään), erittäin (tai suunnittelultaan poikkeuksellisen) vaativissa kohteissa tai kun käytetään betonivalmistuksen tai valun kannalta vaativia menetelmiä/betoneja, kuten P-lukubetonia, tulisi valmisbetonin ja rakenteen toteutuksen (betonointi, jälkihoito) laatu varmistaa kohdekohtaisesti laadittavan toteutuksen laatusuunnitelman mukaisesti työmaanäytein osana betonointisuunnitelmaa ja betonitöiden laadunvarmistussuunnitelmaa. Ne sisältyvät toteutuksen laatusuunnitelmaan sisältäen alikirjoitetut dokumentit olosuhteista ja suorituksista, asetus 477/2014. Katso kohdat 9§: Rakenteiden toteutuksen työsuunnitelma, 11§: Rakennustuotteet, 12§: Rakenteiden kelpoisuus. Työssä noudatetaan työn toteutuksen standardeja SFS-EN 13670 ja SFS 5975.

3. Valmisbetonirakentamisen laadunvalvontaa kehitetään yleisesti sopimusosapuolten kesken ja betonitöitä valvotaan töiden aikana.

Valmisbetonin laadunvalvonta ei ole pääsääntöisesti kohdekohtaista. Rakentamisen sopimusosapuolten (rakennuttaja, tilaaja, urakoitsijat, betonin toimittajat jne) laadunvarmistusmenettelyä tulisi kehittää niin, että sopimuksen mukaisen valmisbetonin käyttö voidaan varmentaa siten, että lopputuotteen ominaisuudet täyttävät suunnitelmien mukaiset ominaisuudet. Varmentaminen vastuutetaan asiantuntijalle, esim. päärakennesuunnittelijalle. Keskeisiä ovat työmaalla betonista tehtävät kokeet, betonointisuunnitelman laadinta siten, että on otettu huomioon käytettävän betonin, rakenneratkaisun sekä käytettävien rakentamismenetelmien yhteensopivuus. Betonitöitä valvotaan työn aikana ja työn onnistuminen todennetaan kuvin ja kirjallisesti, betonointipöytäkirjat allekirjoitetaan.

4. Rakentamisen osapuolet varmistavat kohteissa henkilöstön riittävän osaamisen kehittämällä laajasti valmisbetonin käytön laadutietoisuutta, liittyy suositusten kohtiin 6. ja 8.

Valmisbetoniteknologiaosaamista rakentamisen eri osapuolten kesken tulisi kehittää siten, että niin suunnittelijat, valmistebetonin valmistajat kuin sitä rakentamisessa tilaavat ja käyttävät tuntevat valmisbetonituotteet koko laadultaan, myös uutuuslaadut, ja niiden soveltuvat käyttökohteet sekä ymmärtävät niiden käyttöön liittyvät häiriöherkkyydet, rajoitteet ja vaatimukset. Työssä henkilöstö todennetaan suhteessa betonitöiden vaativuuteen.

8.2 Betonirakenteen tuotantoprosessin laatu, Vähäiset lujuudenvaihtelut (kts. Luku 4.)

Paikalla valettavan betonirakenteen tuotantoprosessia on kammattu ”tiheällä kammalla” ja selvitystyölle asetetulla kehittämistavoitteella. Tarkastelu on kohdistunut sekä prosessin laatuun että laaduntekemisen edellytyksiin. Tuotantoprosessissa on tarkasteltu rakennuttajan/tilaajan, betonitehtaan ja työmaan osuuksia. Pääosin vähäisiä laadun ja lujuuden vaihteluja syntyy usein eri syistä betonirakenteen tuotannon eri vaiheissa. Rakenteessa betonimassan lujuusvaihtelua voi voimistaa esimerkiksi betonoijan osaamattomuus tai työmaan olosuhdehäiriö ja edesauttaa tilaajan välinpitämättömyys valvonnasta. Työmaan osaamisen merkitys betonirakenteen loppulaadulle ei korostu riittävästi tuotantoprosessin aikana. Tilanne edellyttää päivittämistä. *Tuotantoprosessi, Liite 2.*

Kun vaaditun laadun tai lujuuden vaihtelu tapahtuu lopputuotteessa alarajan yläpuolella, kelpoisella puolella, ei sillä juuri ole merkitystä asiakkaalle. Toisin on erityisesti tilaajan näkökulmasta, kun vaihteluja tapahtuu alarajaa puhkaisten. Lopputuotteen laatu on ratkaiseva, se on prosessin osaamisten ja virheiden ”summa”. Tehtaalta tilattu taso tai tehtaan marginaali voi olla hankkeen etenemisen kannalta ratkaiseva. On tiedostettava lopputuotteen laatu ja sille tilattava lujuus tai marginaali.

Betonin valmistuksen laadunmittaukset

Betonin valmistuksen laadunmittaukset tehtaalla ja työmaalla ovat keskeinen kehitettävä kokonaisuus. Se tukee betonin tasalaatuisuutta. Mittausten (mm. kiviaineksen kosteus ja betonin ilmamäärä) nykyinen ”väljä” suorittamistapa osaltaan voimistaa eroja tehtaalla ja rakenteesta mitattujen tulosten välillä jopa aiheuttaen jatkotoimia ja epäluottamusta. Mittausten kehityksen painopiste tulisi olla tuoreen betonin automaattisessa jatkuvatoimisessa laadunohjauksessa ja -valvonnassa. Mittaus voisi tapahtua tehtaalla, työmaalla ennen valua sekä tiivistystyön yhteydessä. Valetun rakenteen testaaminen tulisi pystyä minimoimaan. Ongelmiin pitäisi päästä käsiksi aikaisemmin.

Työmaan osaaminen, tilaajan valvontanäkemykset

Toinen selvä alue, jolle suositellaan kehittämistä, on työmaalla; betonirakenteen toteutuksen osaaminen ja vuorovaikutus rakennesuunnittelun ja betonitehtaan kanssa sekä tilaajan käsitys kolmannen osapuolen valvonnan tehtävistä ja tarpeellisuudesta. Betonin valu ”nousee ja etenee” pikavauhtia usein omana urakkanaan. Päätilaajan valvonta ei ole riittävän usein varmistamassa valutapahtuman normien mukaista etenemistä. Valvonnan merkitys paljastuu usein elinkaarikustannuksessa.

Alan avoin laatu- ja asiakaskeskeisyys, asiakas ohjautuu pois hintakeskeisyydestä

Laaduntekemisen edellytyksiä luodaan betonialan uudella laatu- ja asiakaskeskeisellä toimintamallilla. Kehittyvä toiminta ei voi olla jatkuvasti hintakeskeistä. Asiakkaan mielenkiintoa betonirakentamisen laatuun avaa luontevasti betonin kokolaadun (myös uusien laatuotteiden) avaaminen keskusteluun ja kaupantekoon. Tällöin alan tuottavuus paranee ja kehitysresurssit kasvavat.

Betonirakentamisen osaamisen ja kehitystoiminnan vahvistaminen edelleen

Ympäristön murroksessa toimivan asiakaskunnan tulevat tarpeet edellyttävät osaamisen ja kehitystoiminnan sekä asiantuntijapalvelun vahvistamista. Betoniala kehittää ammattiosaamisen koulutukseen suuntaavia yhteistyöverkostoja rakennusalan toimijatahojen kanssa sekä valtakunnan että paikallisilla tasoilla. Yhteistyötahoja ovat ammatti- ja korkeakoulutus, rakennusteollisuus alueittain, ark- ja rak-suunnittelualat, rakennusalan järjestöt, kaupanala ja rakennusvalvonnat yhdistyksenä (RTY ry) ja alueellisesti. Rakennusvalvontojen yhteyksiä ja roolia ei vielä täysin tiedosteta.

Betonirakentamisen prosessin suositeltavat kehitystoimet (kohdissa 5 – 8)

Vähäiset lujudenvaihtelut

5. Betonin valmistus- ja työmaavaiheiden laadunmittausten kattava kehittäminen ja mittausten automatisointikehityksen tukeminen.

Tavoite on betonin parempi tasalaatuisuus ja koostumushäiriöiden nopea havaitseminen. Tieto lopputuotteen laadusta on tärkeintä, silloin tuotantoketjussa on jo useita toimijoita. Välillisesti pyrkimys on betonin julkikuvan vahvistaminen luotettavana runkomateriaalina.

6. Betonirakennetyön osaamisen sekä tilaajan työmaavalvonnan kehittäminen, koulutus.

Nykytilanne: Betonirakenteiden toteutuksen normitus ja työn sen mukainen toteutus ja osaaminen jää työmaalla vähemmälle huomiolle kuin betonitehtaassa valmistuksen osuus. Työmaalla siihen kohdistuu käytännössä omavalvonta ja mahd. rakennuslupavalvonta. Tavoitteena on betonirakenteen työvaiheiden uuden tasoinen osaaminen ja ennakoiva vuorovaikutus rakennesuunnittelun ja betonitehtaan kanssa. Tilaajalle suositellaan kehittämistä työmaan laatu- ja valvontatoimien sisällön ja säännönmukaisuuden osalta. Työssä noudatettava YM:n kantavien rakenteiden asetusta 477/2014 sekä työn toteutuksen standardit SFS-EN 13670 ja SFS 5975, kts. kohta 4.6.

7. Asiakkaiden ja betonialan laatu- ja asiakaskeskeisyyden herättäminen, yhtenä luontevana keinona betonin koko laadun ja uusien laatuotteiden avaaminen asiakkaille ja kauppaan.

Nykytilanne: Asiakkaiden hintakeskeisyys, betonireseptin avoimuuden osittainen välttely. Tavoitteena on betonialan uuden laatu- ja asiakkuuskulttuurin kehittäminen mm. asettamalla sen kehittymisen seurantaan mittareita ja kannustimia. Seurannaisvaikutuksena muutos tukee alan tuottavuuden paranemista ja sen myötä kehittämisresurssien lisääntymistä.

8. Osaamisen ja kehitystoiminnan vahvistaminen ”ympäristön murrosta elävän” asiakas-kunnan tulevista tarpeista lähtien, alueellinen toiminta rakennusalan toimijatahojen kanssa.

Tavoitteena on ammattiosaamisen ja -arvostuksen paraneminen, koulutus- ja yhteistyöverkostojen monipuolistuminen ja hyödyntäminen sekä ympäristön ja toimintatapojen murroksessa asiakkuuksien vahvistaminen. Asenne työhön ja motivaatio lähtevät johtajuudesta.

Kohtien 5 - 8 taustalle on esitetty toiminnan kuvauksia ja perusteita kohdassa 2.4 ja luvussa 4. Tarkemmat sisältökuvaukset ovat alan itsensä muokattavissa ja kehitettävissä.

8.3 Kooste osapuolien yksittäisistä suosituksista ja nostoista; betonirakenteen laatu ja lujuus

Kooste osapuolien/asiantuntijoiden palautteesta ja nostoista selvitysmiehelle (osin lyhennettyinä). Nostot pääosin tukevat selvitysmiehen tekstiä ja suosituksia, paitsi 1. kohta osin kritisoi suositusta.

Raportissa mainittu ”tilaajan hinta-, ei laatu keskeisyys” on liian karhea yleistys, joka ei pidä paikkansa eikä edusta ammattimaisia tilaajia. Sen sijaan tunnustetaan raportissa esille tuleva ryhtyvän vastuu laadukkaan rakennushankkeen toteuttamisessa sekä valvonnan ja ohjeistuksen tärkeys.

Betonireseptien avaaminen on osa nykyaikaista avoimempaa ja vastuullisempaa toimintaympäristöä ja kannatettava asia, joka luo positiivista oppimista ja ruokkii tavoiteltua laadun arvostusta. Toisen osapuolen käsityksen mukaan reseptien avaaminen tarjousvaiheessa ei ole järkevää, tilaajan ammattitaito ei riitä niiden tulkitsemiseen.

Ympäristöministeriön hallinnonalan (talorakenteet) ja Liikenneviraston hallinnonalan (Infrarakenteet) betonirakentamisen laatuvaatimukset olisi hyvä yhtenäistää virhetulkintojen eliminoimiseksi.

Liikenneviraston siltabetonivaatimukset tulisi selkeyttää ja yksinkertaistaa. Vaatimukset ovat liian monimutkaisia vastuiden ja laadunvalvonnan vaatimusten osalta.

Siltabetonin/taitorakenteiden betonin toimitussopimuksien pitäisi olla tarkempia ja niissä pitäisi tarkemmin kuvata vaaditut ominaisuudet, ennakkokokeet ja mahdollinen työmaalaadunvalvonta.

P-lukubetonien tulevaisuus on isompi kysymys eli ovatko ne nykymuodossaan tarpeellisia ollenkaan? Ja jos lujuus on esim. yli 50 MPa, tarvitseeko sitä enää huokostaa? Vaatii isoa, kattavaa tutkimista ja selvittämistä.

Betonin vesimäärän hallintaa tulisi parantaa esimerkiksi kiviaineksen kosteuden jatkuvalla mittauksella. Laitteita on saatavissa.

Tehtailla olisi hyödyllistä olla betonireseptien valmis herkkyysestaus (ellei jo olekin) muutamien betonin osa-aineiden määrä- ja/tai lämpötilamuutosten (+/-) vaikutuksista betonin lujuuteen (herkkyysestit). Esimerkkinä vesi-sementti –suhde, huokostimen määrän ja saatava ilmamäärä, huokostimen ja notkistimen lämpötilan muutos +10, +20, +30 asteeseen.

Isoissa kappalemäärissä todetaan betonin tiheyden ja lujuuden välinen regressio. Yksittäisissä koetuloksissa lujuuden arviointi ei voi perustua tiheyden arviointiin, mutta voi tukea puristustulosta.

Huokostetun betonin ilmamäärän testausmenettelyä tulisi tarkentaa, testausstandardissa kuvattu menettely ei ole luotettavuudeltaan riittävä. Tarkennus voitaisiin tehdä kansallisilla lisäohjeilla.

Betonilaborantteja voitaisiin kouluttaa tekemään ilmamittaukset luotettavammin. Huokostetun tuoreen betonin tiheyttä voitaisiin vaatia valvottavaksi nykyistä luotettavammin.

Betoniaseman tulisi olla seuraavista asioista hyvin selvillä ja testata ilmamäärään vaikuttavia asioita: Sekoitusaika ja sen pituuden vaikutus tehtaalla, kuljetusmatkan ja kuljetusauton sekoituksen vaikutus ilmamäärään, työmaalla tehtävän notkistuksen vaikutus, P-lukubetonimassan erottumisherkkyys. Tulisi myös enemmän mitata ilmamääriä työmaalla kuljetuksen jälkeen.

Hyödyllistä on lisätä laadunvalvontaresurssia vaativissa valuissa sekä tehtaalla että työmaalla. Työmaalla betonin laadunvalvontaa suorittaville ja betonirakenteesta koekappaleita poraaville laboranteille tulisi luoda pätevyysvaatimukset.

Suomalaisesta betonin normituksesta (SFS-EN 206, SFS 7022 ja by65) puuttuu vaatimukset betonin suurimmalle sallitulle ilmamäärälle. Normitusta tulisi tältä osin korjata esimerkiksi siihen suuntaan, että jos mitataan suurempia ilmamääriä kuin suhteituksessa on tavoiteltu, niin betoni pitäisi hylätä tai erikseen selvittää puristuslujuus ilmamäärän ylitystapauksessa.

Mikäli betonin puristuslujuusmarginaali koetaan nyt/jatkossa liian pieneksi, voitaisiin tätä nostaa kansallisia vaatimuksia (SFS 7022) kehittämällä. Voitaisiin esimerkiksi antaa hajonnalle minimiarvot. Se käytännössä nostaisi normaalibetonien lujuuksia niillä tehtailla, jotka ajavat pienimmällä marginaaleilla. Siltabetoneissa tällä ei olisi kuitenkaan vaikutusta, koska hajontaa ei käytetä alkuvaiheen testauksessa. Rakennusten sisäolosuhteisiin tarkoitettujen edellisiä helpompia ”sisäbetoneiden” osalta mahdollinen kehitys- ja varmistustarve pitäisi vähäisempänä erikseen tiedostaa.

Lujuuskadon syyt ovat pääosin muualla kuin suunnittelussa. Mm. tiheästi raudoitettut rakenteet eivät ole lujuskadon syy, vaan ne ovat vain yksi osatekijä monien joukossa, joka yhdessä aiheuttaa vaikeasti toteutettavan rakenteen ja vaikeuttaa ehkä massan valmistusta kohteeseen sopivaksi.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen vastaavan työnjohtajan ja erikoisalojen työnjohtajien roolia betonoinnin ja betonirakenteiden toteutuksen laadun valvojana nykyistä suuremmalla osallistumisella kannattaisi harkita ja selvittää.

Liite 1.

Selvitysmiehen kuulemia henkilöitä ja tahoja, luettelossa 51 hlöä tai tahoja.

Liite 2.

Havainnollinen kuva betonirakentamisen laatuketjun muodostumisesta, tuotantoprosessi.

Liitteet 3.

Aalto-yliopiston Robust Air -huokosrakennetutkimuksen tutkimusraportti sekä samasta aiheesta Betonilehden ja Sementtilehden artikkelit. Ne liitetään sähköisinä mukaan.