

Betonilattioiden kutistuminen

Juha Komonen, diplomi-insinööri
Erikoisasiantuntija, Vahanen Oy
Rakennusfysikaaliset asiantuntijapalvelut/ Humi-Group
juha.komonen@vahanen.com

Betonin kutistuminen on betonin materiaaliominaisuus. Kutistumista tapahtuu betonin ollessa notkeassa eli plastisessa tilassa tai betonin kovetuttua. Kutistuminen itsessään ei ole ongelma mutta kutistumisen estyessä betoniin syntyy vetojännityksiä. Betoni halkeaa, kun betoniin kohdistuva vetojännitys ylittää betonin senhetkisen vetolujuuden. Halkeiluongelma on erityisen haasteellinen betonilattioissa, jossa halkeamat erottuvat selvästi.

Tässä Betonilattiapäivä-esitelmän kirjallisessa osassa kuvataan betonin kutistumisen pääsyitä ja lattiahalkeamien muodostumista sekä myös plastisen painuman ja rakenteen lämpötilaerojen aikaansaamia lattiahalkeamia. Betonilattiapäivän 22.3.2012 esitelmässä näitä asioita käydään läpi esimerkkien avulla.

1 Kutistumislajit

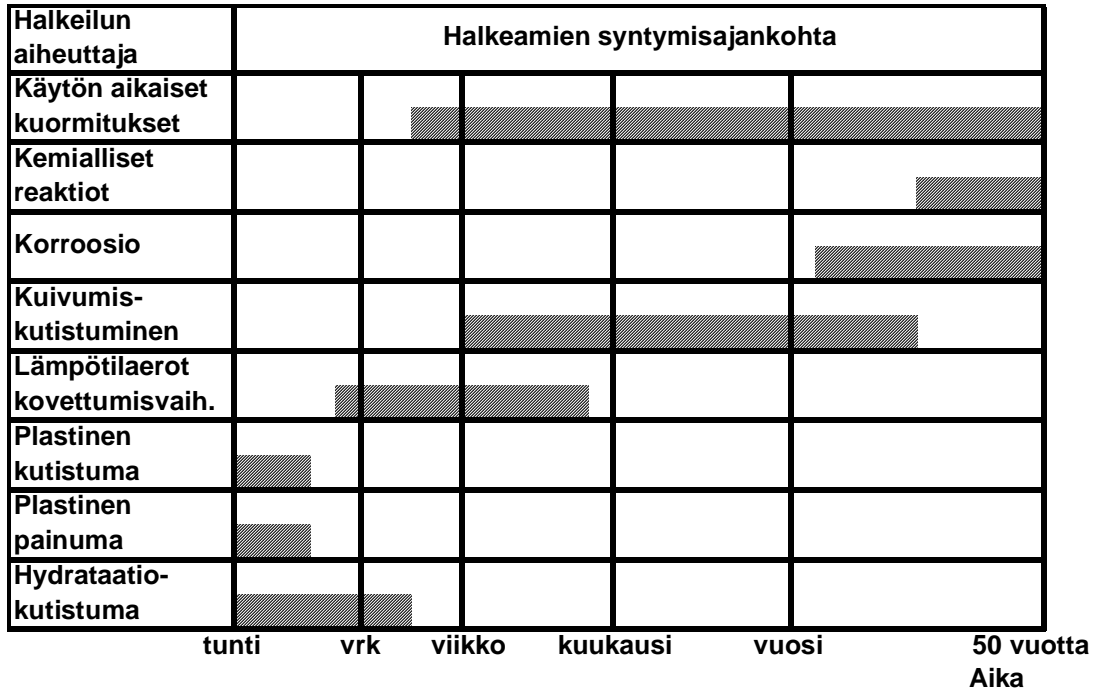
Betonilattioiden kutistumistyyppejä ovat mm. plastinen kutistuminen, kemiallinen kutistuminen / autogeeninen kutistuminen ja kuivumiskutistuminen. Lisäksi betonilattian halkeilua voivat aiheuttaa plastinen painuma ja lämpötilaeroista johtuvat syyt.

2 Betonin kuivuminen, betonin estetty kutistuminen ja betonin halkeilu

2.1 Betonin kuivuminen

Betoni kutistuu aina kuivuessaan. Betonin kuivumiskutistuminen on pitkäaikainen, dimensioita yleensä pienentävä muodonmuutos, joka aiheutuu pääasiassa betonin mikrorakenteessa olevan veden liikkeistä ja sementtipastan hydrataatiosta. Kuivumiskutistuma voidaan määritellä vakio-*lämpötilassa* tapahtuvaksi aikasidonnaiseksi muodonmuutokseksi, joka aiheutuu betonissa olevan veden poistumisesta tai siirtymisestä pienemmistä huokosista suurempiin. Suurilla sementtimäärillä myös hydrataatioreaktiotuotteiden tilavuudeltaan lähtötuotteita pienemmät lopputuotteet aiheuttavat muutoksia betonin dimensioihin. Osa kuivumiskutistumis-

muodonmuutoksesta on palautuvaa. Eli jos kuivunut ja kutistunut betoni kastuu, sen tilavuus suurenee. Kuivumiskutistumisen lisäksi muita halkeamia aiheuttavia tekijöitä ja niiden syntymisajankohdat on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa betonin halkeilua ja aikavälit, joilla halkeamat syntyvät [1].

2.2 Betonin estetty kutistuma

Lattibetonin vetojännityksestä aiheutuvan halkeilun syntyminen edellyttää aina estettyä muodonmuutosta. Jos betonin muodonmuutos pääsee tapahtumaan, vetojännitystä ei synny eikä halkemaa muodostu. Kaikentyypinen betoni halkeilee estetyn kutistuman olosuhteissa, jos virumista tai jännitysrelaksaatiota ei pääse tapahtumaan tai ehdi tapahtua. Esimerkki estetyn kutistuman betonirakenteesta on lujasti ympäröiviin seiniin kiinniraudoitettu lattia. Lattian kiinnittyminen seinään estää lattialaatan reunan vapaan muodonmuutoksen ja betonilattian kutistuminen aiheuttaa lattiaan vetojännityksiä.

Betoni kutistuu myös aina jäähtyessään. Lattiarakenteissa suoraan lämpötilaeroista johtuvat halkeamat ovat melko harvinaisia mutta lämpötilan vaikutus välisesti voi olla merkittävä. Esimerkiksi lattialaatan ala- ja yläpinnan merkittävä lämpötilaero voi aiheuttaa erottumis- ja sitoutumispulmia.

3 Betonilattian valmistus

3.1 Betonimassan kutistumispyrkimys

Ollakseen työstettävää betonin valmistuksessa käytetään käytännössä aina enemmän vettä kuin tarvitaan sementin ja veden välisiin hydrataatioreaktioihin. Tavanomaisissa lattiabetoneissa vettä on noin kaksinkertaisesti hydrataatioreaktioihin tarvittava määrä. Tämän ylimääräisen veden poistuminen eri olomuodoissaan aikaansaa betoniin dimensioita pienentäviä muodonmuutoksia. Kutistumisen pääsyy on veden siirtyminen betonissa pienemmistä huokosista suurempiin tai veden poistuminen betonista. Veden liike voi tapahtua sementtipastassa betonin olleessa notkeassa eli plastisessa tilassa tai betonin kovetuttua. Mitä suurempi ylimääräisen veden määrä on, sitä suurempi on betonin kutistumispyrkimys.

Betonin kutistuminen tapahtuu pääasiassa sementtipastassa, joten pastamäärän minimoiminen vähentää tehokkaasti kutistumaa. Tämä vaatii betonin runkoaineuksen määrän, laadun ja rakeisuuden (myös hienoainespitoisuus) optimointia. Suuren raekoon ja hyvin pakkautuvan runkoaineuksen omaava betoni kutistuu kuivuessaan merkittävästi vähemmän kuin pienen raekoon omaava betoni. Sellaisessa betonissa tarvittava lujuustaso myös saavutetaan vähemmällä sementillä, mikä on omiaan pienentämään kutistumaa. Esimerkiksi 32 ja 16 mm raekoon betonit poikkeavat tässä suhteessa toisistaan. Myös sementtipastan vesisementtisuhteen pienentäminen ja vähän kutistuvan sementin käyttö pienentävät kutistumaa tehokkaasti.

Betonin lujutta kasvatettaessa yleensä tarvittava suuri sementtimäärä lisää ei-toivottuja muodonmuutosominaisuuksia. Runkoaineen karkea kiviaines on merkittävin tekijä tämän estämisessä, sillä suuri luja kiviaines pystyy rajoittamaan sementtipastan kutistumista. Mitä suurempi betonimassan runkoainespitoisuus on, sitä pienempi betonin sementtipastapitoisuus on ja sementtipasta on betonin kutistuva osa.

3.2 Tuoreen betonin plastinen kutistuminen

Tuoreessa betonissa tapahtuu painovoiman vaikutuksesta eriasteista erottumista, jolloin kivet ja muut kiinteät partikkelit painuvat vielä tärytyksen jälkeen alaspäin ja vesi keveimpänä nousee ylöspäin. Saavuttaessaan betonipinnan vettä haihtuu ilmaan otollisissa olosuhteissa. Jos betonipinnalta haihtuvan veden määrä on suurempi kuin syvemmältä betonista pinnalle erottuvan veden määrä, betonipinta kuivuu, kutistuu, siihen syntyy vetojännityksiä ja voi muodostua plastisen vaiheen kutistumishalkeamia.

Vedenerottuminen pintaan loppuu, kun sementin sitoutuminen estää kiinteiden partikkeleiden painumisen alaspäin. Sementin sitoutumisvaiheessa betonin lujuus on yhä

alhainen mutta kosteutta haihtuu edelleen betonipinnalta, mikä mahdollistaa jopa 2,5 mm leveiden halkeamien muodostumisen ja avautumisen betonipintaan.

Erikoisbetoneihin, joilla on vesisementtisuhte alle 0,45, muodostuu hyvin vähän kapillaarihuokosia, jolloin tuoreessa betonissa ei ole vettä pinnalle johtavaa kapillaarikanavistoa. Tällaisissa erikoisbetoneissa vettä erottuu betonipinnalle hyvin vähän mutta tuoreen betonin vailla vetolujuutta olevalta pinnalta haihtuu kosteutta jatkuvasti. Tämä johtaa kutistumishalkeiluun ellei veden liiallista haihtumista pinnalta estetä. Erikoisbetoneiden kostea jälkihoito tulee aloittaa mahdollisimman varhain.

3.3 Tuoreen betonin plastinen painuminen

Veden poistumisesta aiheutuvan kuivumiskutistumisen lisäksi tuoreen betonin halkeilua aiheuttaa betonin plastinen painuminen. Plastisen painuman halkeamia syntyy, jos tuoreen betonimassan painuminen jollain tavalla estyy. Ilmiö voimistuu, jos vedenerottuminen ja kiinteiden partikkeleiden painuminen jatkuu pitkään. Plastisessa vaiheessa betonimassa painuu alaspäin muun muassa pinnassa olevan raudoitustangon molemmilta puolilta. Raudoitustanko estää yläpuolellaan olevan betonin painumisen, "halkaisee" kohdallaan olevan betonin ja betonipintaan syntyy halkeama raudoitustangon kohtaan. Betonimassa painuu vapaasti myös raudoitustangon alapuolella, joten raudoitustangon alle jää tyhjätila ja raudoituksen yhteistoiminta betonin kanssa voi jäädä puutteelliseksi. Plastisen painuman halkeamat muodostuvat tyypillisesti rakenteen yläpintaan ja ovat yleensä säännöllisen muotoisia. Halkeamat muodostuvat betonipintaan yläpinnan raudoitustankojen yläpuolelle tai kohtiin, joissa betonirakenteen poikkileikkauksessa tapahtuu jyrkkiä muutoksia. Plastisen painuman halkeamat ovat siten säännöllisen muotoisia. Plastisen painuman halkeamat vältetään käytännössä sangen hyvin hyvällä tiivistystyöllä, johon kuuluu oikea-aikainen jälkitärytys.

3.4 Plastisen kutistuman ja plastisen painuman halkeamat

Vaakasuoraan betonipintaan muodostuneet plastisen painuman halkeamat voivat olla betonipinnassa hyvin leveitä (yleensä 2-3 mm) ja matalia. Jos ensimmäisen vuorokauden aikana betonipintaan ilmaantuneet halkeamat etenevät vain raudoitustankoihin asti, ne ovat yleensä plastisen painuman aikaansaamia mutta jos halkeamat ulottuvat syvemmälle tai rakenteen läpi, ne ovat plastisen kutistuman aikaansaamia. Plastisen vaiheen halkeamiin voi ohjautua kutistumaliikkeitä rakenteen myöhemmin kuivuessa ja kutistuessa. Tällöin halkeamat voivat kasvaa ja lopulta edetä koko rakenteen läpi. Tämän vuoksi betonirakenteen varhaisvaiheen halkeaminen tulee estää.

Plastisen kutistuman halkeamat voidaan välttää jälkihoitolla. Jälkihoitossa on oleellisinta rajoittaa veden haihtumista betonirakenteen pinnalta 30 min - 8 tuntia valun jälkeen ja vaikeissa olosuhteissa, kuten kesällä tuulisella säällä ja auringonpaisteessa jopa

aikaisemminkin. Jos näin ei tehdä, alhaisen lujuuden omaavaa betonipinta lähes varmasti halkeilee. Plastisen painuman halkeamat puolestaan voidaan välttää hyvällä tiivistyksellä, johon kuuluu aina jälkitärytys. Jälkitärytys on ainoa tapa eliminoida plastisen painuman halkeamat.

Betonin muodonmuutokset ensimmäisen 14 tunnin aikana ovat vaurioitumisen kannalta kriittisiä, sillä betonin lujuus on alhainen ja syntyvät halkeamat voivat olla hyvin suuria. Betonilattiaan valunjälkeisenä aamuna muodostuneet epäsäännölliset halkeamat osoittavat betonipinnasta haihtuneen vesimäärän olleen liian nopeaa eli jälkihoidon olleen betonimassan ominaisuuksiin ja valuolosuhteisiin nähden puutteellista.

Betonirakenteessa plastisessa vaiheessa tapahtuviin muodonmuutoksiin vaikuttavat valmistettavan betonirakenteen muoto, betonin koostumus ja valuolosuhteet, joista kahteen viimeiseen voidaan vaikuttaa työtekniikka- ja työmaavalinnoilla.

Alkuhalkeilu on erittäin haitallista tuoreelle, plastiselle, sitoutumisvaiheessa olevalle lujuudettomalle betonilattialle, sillä tuoreen betonin pintaan voi syntyä näkyviä ja myös näkymättömän pieniä halkeamia. Tällaiset halkeamat voidaan saada hierrolla ja pinnan viimeistelyllä suljetuksi pinnan osalta mutta syvemmälle ulottuessaan ja piiloon jäädessään ne toimivat aina heikkousvyöhykkeinä rakenteessa. Betonin kuivumiskutistuessa betonin kutistumisliike kerääntyy näihin heikkouskohtiin ja rakenteeseen avautuu halkema. Vaikka varhaisessa vaiheessa muodostuneet halkeamat olisivat pieniä, niistä voi muodostua rakenteen läpi ulottuvia halkeamia betonin myöhemmin kuivuessa ja kutistuessa.

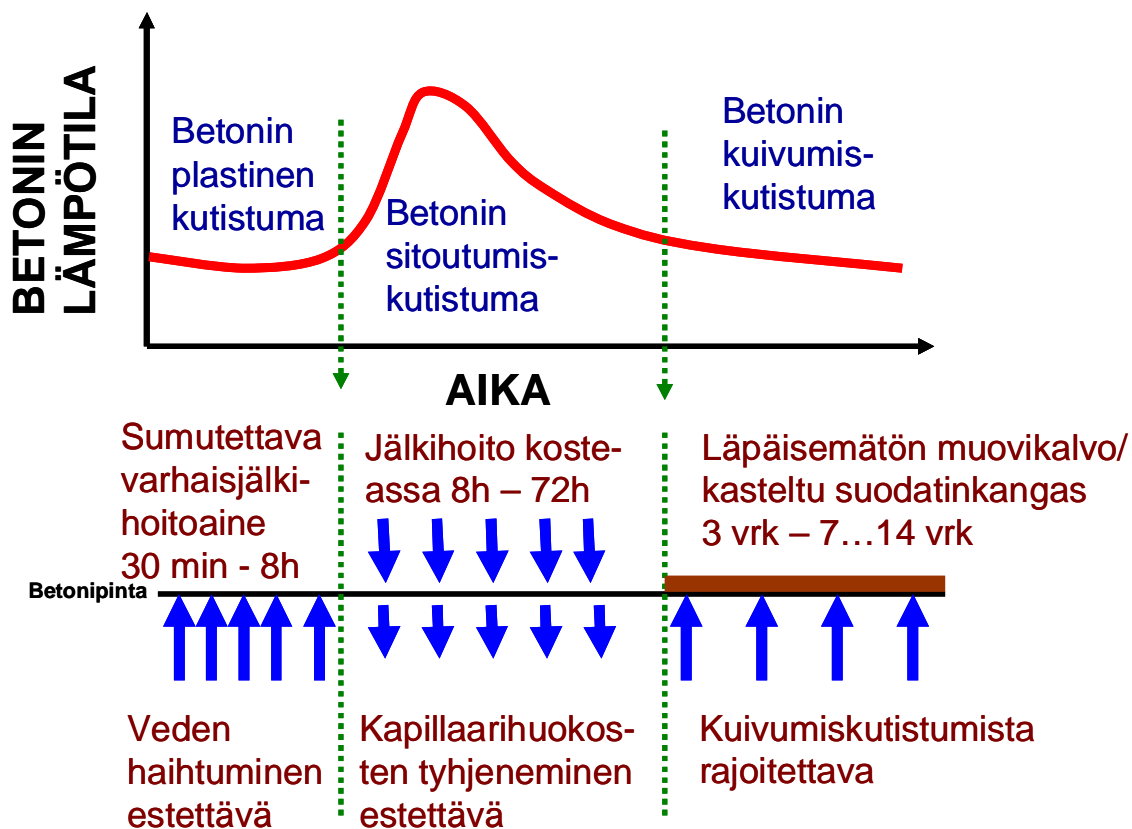
3.5 Tuoreen betonin sitoutuminen

Plastisen vaiheen aikana ja sen jälkeen betonimassa sitoutuu ja betonimassaan alkaa muodostua lujuutta. Tässä vaiheessa betonissa tapahtuu sitoutumiskutistumista, sillä sementin ja veden reaktiotuotteiden tilavuus on hieman pienempi kuin sementin ja veden yhteenlaskettu tilavuus ennen niiden sekoittamista keskenään. Sitoutumiskutistumassa kosteutta ei siirry pois betonista. Sitoutumiskutistumalle käytetään usein myös termejä hydrataatiokutistuminen tai kemiallinen kutistuminen. Sitoutumiskutistuminen muodostuu merkittäväksi runsaasti sideainetta ja sementtipastaa sisältävillä alhaisen vesisementtisuhteen omaavilla betonimassoilla.

Betonin kokonaiskutistuma on yleensä kombinaatio kemiallisesta kutistumasta, plastisesta kutistumasta ja kuivumiskutistumasta. Mikä kutistumatyyppi on hallitsevin, riippuu betonimassasta, rakenteesta ja kuivumisolosuhteista. Betonin karbonatisoituminen aiheuttaa myös betonin kutistumista mutta tätä kutistumistyyppiä ei käsitellä tässä esityksessä.

4 Betonilattian jälkihoito

Betonimassan ominaisuuksien lisäksi erittäin oleellinen tekijä betonilattian onnistumiselle on riittävän hyvä ja riittävän pitkä jälkihoito. Jälkihoito tulee tarvittaessa aloittaa jo betonin ollessa notkeassa, muokkailtavassa tilassa ja sitä tulee jatkaa betonin kovettumisen alkuvaiheessa ja sen tapauskohtaisesti tulisi jatkua jossain muodossa ainakin kahden ensimmäisen viikon ajan. On elintärkeää estää betonia kuivumasta ja kutistumasta liian aikaisin eli betonipinta tulee pitää kosteana, jotta pintaan ei muodostu kerrosta, jonka ominaisuudet kuten lämpötila ja kosteuspitoisuus poikkeavat merkittävästi tuoreesta betonissa syvemmällä olevista. Betonipinnan jälkihoidon periaatekaavio on esitetty kuvassa 2.

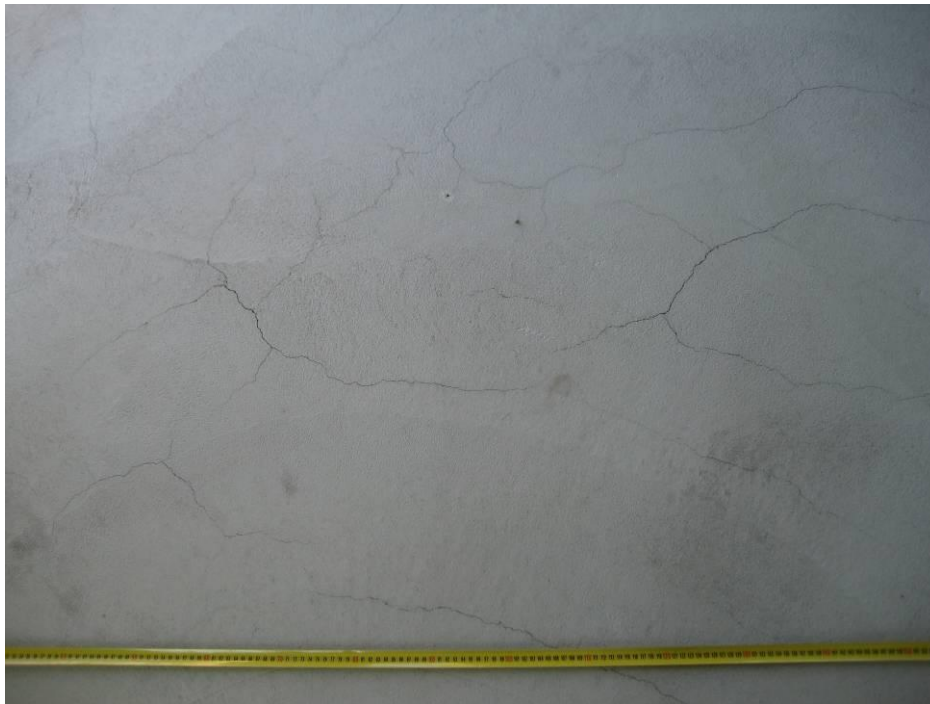


Kuva 2. Betonirakenteiden jälkihoidon periaatekaavio. Kuvassa esitetty sementin ja veden reaktioista johtuva betonin lämpötilan nousu 8-24 tunnin iässä massan sekoituksesta on esimerkiksi ohuissa lattiarakenteissa yleensä vain joitain asteita. Tässä vaiheessa betonissa tapahtuu sitoutumiskutistumista, koska sementin ja veden reaktiotuotteiden tilavuus on hieman pienempi kuin sementin ja veden yhteenlaskettu tilavuus ennen niiden sekoittamista keskenään. Tämän vaiheen vaatima kostea jälkihoito voidaan toteuttaa esimerkiksi kastellulla suodatinkankaalla ja se voi jatkua ensimmäisen tai ensimmäisten kahden viikon ajan. Jälkihoitoa tulisi tämän jälkeen vähentää asteittain.

4.1 Varhaisjälkihoito

Betonin jälkihoito jaetaan yleensä ns. varhaisjälkihoitoon ja siihen saumattomasti liittyvään varsinaiseen jälkihoitoon. Varhaisjälkihoito tarkoittaa käytännössä sitä, että estetään veden liiallinen ja nopea haihtuminen notkean, plastisen betonin pinnasta. Jos veden haihtuminen betonipinnalta on yli 1,0 kg/m²/h, tulee ryhtyä suojaustoimenpiteisiin.

Ennen betonin sitoutumista käytettävät varhaisjälkihoitomenetelmät ovat ilmatilan sumutuskostutus tai betonin pinnalle sumutettavien nestemäisten jälkihoitoaineiden käyttö. Mitään suojia tai suoraa vettä ei tässä vaiheessa voi käyttää pinnan vaurioitumisen vuoksi. Varhaisjälkihoitoa jatketaan kunnes betoni on sitoutunut ja betonipinta kovettunut riittävästi kestämään hierron ja muut viimeistelytoimenpiteet. Mikäli pinta kuivuu liikaa ennen lujuuden kehittymistä tai sen aikana, tapahtuu tuoreessa betonipinnassa plastista kutistumista ja –halkeilua (Kuva 3). Halkeamat voidaan saada hierron avulla suljettua mutta ne yleensä myöhemmin avautuvat ja esimerkiksi näkyvät seuraavana päivänä. Suuri plastinen kutistuma ilmenee yleensä pinnan verkkomaisina halkeamina, jotka vaurioittavat mm. mittatarkkuutta, kulutuskestävyyttä, säilyvyyttä, ulkonäköä ja nopeuttavat vaurioitumista ja siten lyhentävät käyttöikä. Lujuudettoman tuoreen betonin pintaan voi myös syntyä hienojakoisia näkymättömän pieniä halkeamia, jotka leviävät betonin kutistuessa ja näkyvät betonin likaantuessa myöhemmin.



Kuva 3. Betonirakenteeseen valunjälkeisenä aamuna muodostuneet halkeamat osoittavat jälkihoidon ja tiivistystyön olleen betonimassan ominaisuuksiin tai valuolosuhteisiin nähden puutteellinen. Kuvan alareunan pituus on todellisuudessa 120 cm.

Plastisen kutistuman määrä on suoraan verrannollinen pinnalta haihtuvan kosteuden määrään. Sitä kasvattavat ilmavirtauksen nopeus, kuivat olosuhteet (erityisesti talvella), betonimassan sekä ilman korkea lämpötila ja suora auringonpaiste. Tällaiset olosuhteet voidaan ainakin sisätiloissa välttää hyvällä olosuhdehallinnalla, johon voi esimerkiksi kuulua ilmatilan kostutus hienojakoisella vesisumutuksella ja ikkunoiden sulkeminen verhoilla tai peitteillä (auringonpaisteen estämiseksi).

Tuulisuuden poistaminen on erityisen tärkeää ulkotiloissa. Noin 7 m/s ilmavirtauksen on todettu aiheuttavan neljässä tunnissa jopa noin 7 mm/m plastisen kutistuman, mikä on 10-kertainen kuivumiskutistumaan verrattuna. Vastaavasti 5 m/s ilmavirtaus voi aiheuttaa noin 5,5 mm/m plastisen kutistuman. Näissä olosuhteissa varhaisjälkihoito on aloitettava toisinaan jo massan oikaisuvaiheessa levittämällä muovi välittömästi oikaistun massan päälle tai sumuttamalla varhaisjälkihoitoainetta massan pinnalle. Muovikalvoa ulko-olosuhteissa käytettäessä tulee estää tuulen pääsy muovin alle. Muovien saumat tulee limittää 50 cm.

Nestemäisten ruiskutettavien jälkihoitoaineiden tarkoituksena on muodostaa betonin pinnalle kosteutta hidastava tai -läpäisemätön kalvo. Jälkihoitoaineen ruiskutusmäärä tulee ulko-olosuhteissa valettaessa mitoittaa tuulen haihduttavan vaikutuksen mukaan. Koska aineiden tehokkuuksissa on eroja, tuotteen ominaisuudet tulee varmistaa valmistajalta tai myyjältä ennen käyttöä. Varhaisjälkihoitoainekäsittely toistetaan tarvittaessa ennen lattiapinnan hierontaa, jos pinta on päässyt kuivumaan liikaa. Jälkihoitoaineita käytettäessä tulee myös varmistaa, onko aine itsestään haihtuvaa vai joudutaanko se poistamaan mekaanisesti. Erityisesti pinnoitettavissa rakenteissa muovikalvon ja kastelun käyttö on jälkihoito-aineita suositeltavampi jälkihoitomenetelmä. Vaihtoehtoisesti pienehköissä valuissa voidaan valutilan ilma sumuttaa kosteaksi.

4.2 Varsinainen jälkihoito

Varsinainen jälkihoito tulee aloittaa välittömästi (viimeistään ½ h) betonipinnan hierron jälkeen, vaikeissa jälkihoito-olosuhteissa jopa hierron aikana. Varsinainen jälkihoito tarkoittaa käytännössä sitä, että estetään kosteuden haihtuminen kovettuneen betonin pinnasta kunnes betonipinta kestää kosteuden poistumisesta aiheutuvan kutistumisrasituksen. Varsinainen jälkihoitoaine (esim. varhaisjälkihoitoaine uudelleen) sumutetaan pintaan viimeisen hierontokerran jälkeen. Jälkihoitoa jatketaan levittämällä muovikalvo tai kostea suodatinkangas rakenteen pinnalle vielä samana päivänä. Valettu rakenne tulee pitää kosteana eli se tulee suojata tai sitä tulee kostuttaa tai kastella niin pian kuin se pintaa vahingoittamatta on mahdollista. Useimmissa tapauksissa suojaus seuraavana aamuna on jo liian myöhäistä ja vaurioita pinnassa on jo tapahtunut (vesi poistunut ennen hydrataatiota, jolloin betonin pinta on pilalla eikä ole pelastettavissa).

Mikäli valun olosuhteet ovat kuivattavat, tulisi käyttää parafiinipohjaista jälkihoitoainetta viimeisen hiertokerran yhteydessä. Parafiini poistetaan tarvittaessa tehokkaasti. Vaihtoehtoisesti valutilan jälkihoito-olosuhteet voidaan muuttaa otollisiksi (sisäilman kostutus, tuulisuus pois, kaikki aukot (myös tuuletusaukot) kiinni, ei betonipintaan kohdistettuja lämpöpuhaltimia).

Lopullinen jälkihoito voidaan suorittaa pinnan sitouduttua ja kovettunutta. Tässä vaiheessa jälkihoitoon voidaan käyttää kaikkia hyväksyttäviä menetelmiä, jotka estävät kosteuden liian nopean poistuminen rakenteesta. Lämpötilan betonin pinnassa tulee olla koko jälkihoidon ajan vähintään + 5°C. Minimijälkihoitoaika on yleensä noin viikko valun jälkeen, mutta pitempää jälkihoitoaika voi suositella.

4.3 Betonin sisäinen jälkihoito

Betonin sisäisessä jälkihoidossa betonimassaan on sekoitettu vedellä kyllästettyjä partikkeleita, jotka luovuttavat sisässään olevan veden ja kosteuden ympärillään olevan betonin hydrataatioreaktioihin. Tyypillisesti käytettäviä aineita ovat kevytsora- ja SAP (Super Absorbent Polymer) partikkelit.

4.4 Betonilattioiden jälkihoito

Jälkihoito on erityisen tärkeää betonilatioissa, joissa tilavuuteensa nähden on paljon kosteutta haihduttavaa pintaa. Epäonnistunut jälkihoito aiheuttaa lattiapintaan vaurioita (kuva 3). Betonilattioita tulisi jälkihoitaa joko kostealla suodatinkankaalla ja/tai muovikalvolla tai tuoreen betonimassan pintaan sumutettavilla jälkihoitoaineilla vähintään kahden viikon ajan. Jälkihoitoa voidaan vähentää asteittain tämän jälkeen, jotta ei tule shokkivaikutusta. Betonin jälkihoidon päätyttyä betonipinnat tulee yleensä hioa puhtaaksi sementtiliimasta, jotta tiivis sementtiliimakerros ei hidasta betonin kosteuden haihtumista sisäilmaan. Hionta poistaa pintaan sumutetun jälkihoitoainekerroksen ja saa samalla aikaan lujan tartuntapinnan alustaan kiinnitettävälle pinnoitteille.

4.5 Erittäin vaativien rakenteiden jälkihoito

Erittäin vaativissa olosuhteissa tai erittäin vaativia rakenteita valmistettaessa rakenteiden märkäjälkihoito tulee aloittaa 10 minuutin kuluessa betonin viimeistelystä. Betonipinta ei saa kuivua viimeistelyn ja jälkihoidon lopetuksen välisenä aikana. Tilaa tai pintaa vesisumutetaan viimeistelyn jälkeen siten, että pintaan ei muodostu lammikoita tai puroja. Jälkihoitomatot, esimerkiksi suodatinkangas, levitetään pintaan 10 minuutin kuluttua betonin viimeistelystä, ne vesisumutetaan kosteiksi ja niitä pidetään kosteana vesisumutuksella. Kun betoni kestää kävelyn, pinta vielä peitetään muovikalvolla. Betonipinta muovin alla pidetään märkänä 14 päivää, jolloin muovikalvo ja suodatinkangas poistetaan. Tämän jälkeen pintaan asennetaan sopivasti läpäisevä jälkihoitoaine 7 päivän ajaksi estämään liian nopea kuivuminen.

5 Kovettuvan ja kovettuneen betonin kutistumishalkeamat

Kovettunut betoni pyrkii kosteustasapainoon yleensä kuivemman ympäristönsä kanssa, jolloin betonissa oleva sementin kanssa reagoimaton vesi pyrkii poistumaan. Mitä suurempi tämä lisävesipitoisuus on sitä suurempi betonin kutistumispyrkimys on. Kutistuminen itsessään ei ole ongelma. Ongelmia aiheutuu, jos kutistuma estyy ja syntyvä jännitys on suurempi kuin betonin vetolujuus. Tällöin betoni halkeaa.

Betonirakenteiden valmistuksessa syntyy tilanne, jossa betonin lujuudenkehitys ja kutistumista rakenteeseen kehittyvä vetojännitys kilpailevat keskenään. Jos kutistumisjännitys kehittyy nopeammin kuin betonin vetolujuus, syntyy tilanne, jossa betoni halkeaa. Jos vetolujuus pysyy koko ajan suurempana, betoni kutistuu mutta ei halkeile.

5.1 Vetoviruma

Ennen halkeamishetkeä betonissa tapahtuu kutistumisjännityksen ja vetolujuuden välisen kilpailun lisäksi toinenkin kilpailu. Nimittäin betonin vetoviruma (ulkoisesta kuormituksesta aiheutuva muodonmuutos) aina ensin pienentää kutistumisen aikaansaamaa vetojännitystä. Vetovirumassa betoni ikäänkuin "venyy" jännityksen suuntaan ja tämä pienentää vetojännitystä. Vetoviruma on hyvin tärkeä tekijä halkeamien välttämiseksi. Vetoviruman tapahtumiseksi tarvitaan rauhallinen lujuudenkehitys ja hitaat olosuhdemuutokset. Kun vetojännityksessä olevan betonin vetoviruma on täysin tapahtunut ja betonin vetolujuus ylittyy, betoniin syntyy halkeama.

5.2 Kutistumishalkeamat

Kun betonirakenne joutuu kutistumisen vaikutuksesta jännitystilaan, jännitykset tehokkaasti etsivät rakenteen heikoimmat kohdat, ja yhdistävät ne halkeamalla. Halkeamien suuruus, -muoto, -esiintymistapa, -esiintymispaikka ja -esiintymisajankohta eli rakenteen ikä auttavat halkeamien alkuperän selvittämisessä.

Estetyn kutistuman rakenteet lisäävät betonirakenteeseen kohdistuvia vetojännityksiä ja siten myös rakenteiden halkeiluriskiä merkittävästi. Yleensä halkeaman muodostaman vetojännityksen aiheuttaa usean tekijän summa.

6 Kutistuman määrän arviointi

Betonin kutistuman määrää voidaan arvioida esimerkiksi Rakentamismääräyskokoelman [2] tai Suomen Betoniyhdistyksen julkaisujen BY16 [3] ja BY 50 [4] laskentakaavojen avulla. Uutena vaihtoehtona rakenteen kutistumista voidaan arvioida kosteusmittaustuloksen avulla. Suomen Betonitiedon julkaisussa Betonirakenteen päällystämisen ohjeet [5] on esitetty menetelmä, jolla suhteellisen kosteuspitoisuuden mittaustuloksen avulla arvioidaan betonissa vielä tapahtuvaa kutistumista. Rakenteisiin käyttöaikana tasaantuvan pitkäaikaiskosteuspitoisuuden ollessa selvillä, voidaan

kosteusmittaustuloksen avulla arvioida rakenteen jäljellä oleva kutistumaa. Mitä alhaisempi betonin suhteellinen kosteus on mittaushetkellä, sitä pienempi myös rakenteen jäljellä oleva kutistuma on.

7 Betonirakenteen halkeiluun voi vaikuttaa

Vaikka betoni kutistuu aina, voidaan betonirakenteen halkeiluriskiä vähentää tehokkaasti oikeilla menetelmävalinnoilla betonirakenteen valmistuksen aikana [6]. Tällöin betonirakenteisiin mahdollisesti muodostuvat halkeamat ovat hyvin pieniä ja harmittomia. Tarvitaan aina hyvä etukäteissuunnittelu, valmistelu ja toteutus.

Betonirakenteen halkeilupulman ratkaisustrategioita ovat: 1) varhaisvaiheen lämpötilaerojen rajoittaminen, 2) betonin lämmönkehityksen ja kutistumispyrkimyksen pienentäminen huolellisilla suhteitusvalinnoilla, 3) estetyn kutistuman olosuhteiden vähentäminen suunnitteluratkaisuilla, 4) betonin vetolujuuden lisääminen kutistumisen tapahtumishetkellä, 5) kutistumasta syntyvän vetojännityksen pienentäminen, 6) kutistumisen aloitusajankohdan lykkääminen kunnes betoni on riittävän lujaa vastaanottamaan rasituksen tai 7) kutistumishalkeamien ohjaus haluttuihin paikkoihin. Viimeisin kohta tosin vain siirtää halkeaman paikkaa.

8 Betonirakenteiden halkeamien välttäminen

Betonirakenteen halkeilua ja betonin kutistumista vähentävät käytännön toimenpiteet ovat usean eri tekijän summa. Kun kaikki vetojännityksiä pienentävät toimenpiteet [6] ketjutetaan ja suoritetaan kunnolla betonirakenteen valmistuksen eri vaiheissa, niin halkeamien muodostumisriski on hyvin pieni, eikä halkeamia muodostu ainakaan haitallisessa määrin. Pieniä, käytännössä haittaa aiheuttamattomia halkemia tulee silloinkin.

Estetyn kutistuman tapauksessa halkeilun välttämässä jää käytännön keinoksi betonin kutistuman ja muiden pienenemissuunnan muodonmuutosten hallinta niin, että haitallista halkeilua ei juurikaan tule. Kaikkein tärkeintä on pyrkiä pienimpään mahdolliseen betonin kutistumaan. Vetojännitysten pienentämiskeinoina ohjataan mm. vetolujuus, vetovenymä, vetoviruma ja muut hitaat sementtikiven tapahtumat kehittymään niin, että isoja haitallisia halkeamia ei synny. Kokemusperäisesti on voitu todeta, että halkeamia ei juurikaan tule, kun betonin kokonaiskutistuma on enintään noin 0,5 mm/m ja kun kaikki muutokset ohjataan tapahtumaan hyvin rauhallisesti. Vetovirumalla on tässä tärkeä osuus.

Halkeamien välttämässä on erityisen tärkeä saada betonin ja betonirakenteen varhaiskutistuma mahdollisimman pieneksi, jotta vetolujuus on hyvin kehittynyt, kun

kuivuminen alkaa. Silloin myös vetoviruma pääsee tehokkaasti toimimaan. Myös betonin kokonaiskutistuman tulee olla pieni.

8.1 Halkeamien välttäminen maanvaraisissa laatoissa

- Ovat estetyn kutistuman tilanteessa alustan kitkan vuoksi (ainakin osittain)
- Voivat kuivua vain ylöspäin, pinnan etuajainen kutistuminen pyrkii taivuttamaan laattaa koveraksi, reunat nousevat, taivutus aiheuttaa taittumisja ja samalla halkeamia
- Halkeamat ovat taivutushalkeamia eivätkä yllä laatan läpi
- Vähän kutistuvilla betoneilla on saavutettu käytännössä halkeilemattomia laattoja
- Maanvaraisissa laatoissa valu, hyvä tiivistys, pinnan oikaisu, varhaisjälkihoito, hierto, jälkihoito ja hyvin rauhallisten olosuhdemuutosten salliminen ja suojelu ennen aikaiselta raskaalta kuormittamiselta ovat tarpeen

8.2 Halkeamien välttäminen pintalaatoissa

- Ovat kantavaan laattaan hyvin kiinnitettyjä
- Estetyn kutistuman tilanteessa on käytettävä pienen kutistuman betonimassaa eli maltillisen lujuuden rakennebetoneja
- Tartunnan varmistaminen kauttaaltaan onnistuvaksi on tärkeä tehtäväkokonaisuus
- Hyvä jälkihoito, rauhalliset muutokset ja suojelu kuormittamiselta ovat tarpeen
- Tyypilliset valmistusvaiheet ovat: valu, tärytys ja pinnan oikaisun jälkeen heti varhaisjälkihoitoaineen ruiskutus, hierto tyypillisesti 4 h myöhemmin, hierron jälkeen heti varsinainen jälkihoito ja suojelu kuormittamiselta

9 Betonilattiajulkaisu 2012

Julkaisuun kaavillaan uutuutena halkeamaluokitusta. Halkeamaluokkien määrä on vielä työn alla mutta halkeamaluokkien määräksi on kaavailtu 3 tai 4. Luokkien nimeäminen on kesken mutta alustava tarkoitus on lanseerata halkeamaluokat "korkea", "normaali", ja "merkityksetön".

Viitteet

- [1] Säilyvyysohjeet, BY 32. Suomen Betonitieto Oy. 1992
- [2] Suomen Rakentamismääräyskokoelma B4. 2005
- [3] BY 16. Suomen Betoniyhdistys r.y. 1984
- [4] Betoninormit BY50. Suomen Betonitieto Oy. 2004.
- [5] Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Suomen Betonitieto Oy. 2007.
- [6] Betonirakenteiden kutistuminen ja halkeamien ehkäisy. Rakentajain kalenteri 2010.