

BETONIN VALINTA RAKENTEISIIN - OLOSUHDEHALLINTA

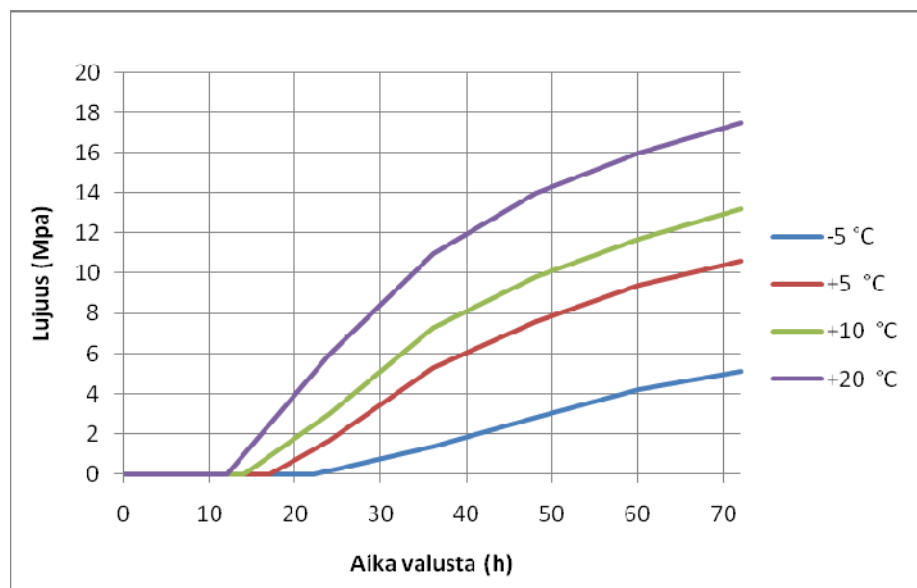
Suomen ilmastossa betonirakenteita joudutaan usein rakentamaan olosuhteissa, joissa riskit laadulliseen epäonnistumiseen ovat suuret. Valutyön onnistumiseen voidaan vaikuttaa merkittävästi sekä suunnitteluvaiheessa että työmaan työnsuoritusvaiheessa. Rakennekohtaiseen betonilaadun valintaan ja vallitseviin olosuhteisiin valuhetkellä on syytä kiinnittää erityistä huomiota betonoinnin aikana, sekä sitä seuraavaa jälkihoitoa suoritettaessa.

Betonin laadun valinta suunnitteluvaiheessa

Betonin lujuusluokka on tärkeä mutta vain yksi osatekijä hyvän betonirakenteen toteuttamiseksi. Betonilaatua valittaessa on tärkeää arvioida valuajankohdan ympäristöolosuhteet sekä sisällä että ulkona rakennettaessa. Suomessa ilman lämpötila ja kosteus vaihtelevat voimakkaasti eri vuodenaikoina. Nämä molemmat osatekijät sekä valuhetken tuulisuus vaikuttavat oleellisesti betonin käyttäytymiseen valuhetkellä.

Betonin lujuuden kehittyminen

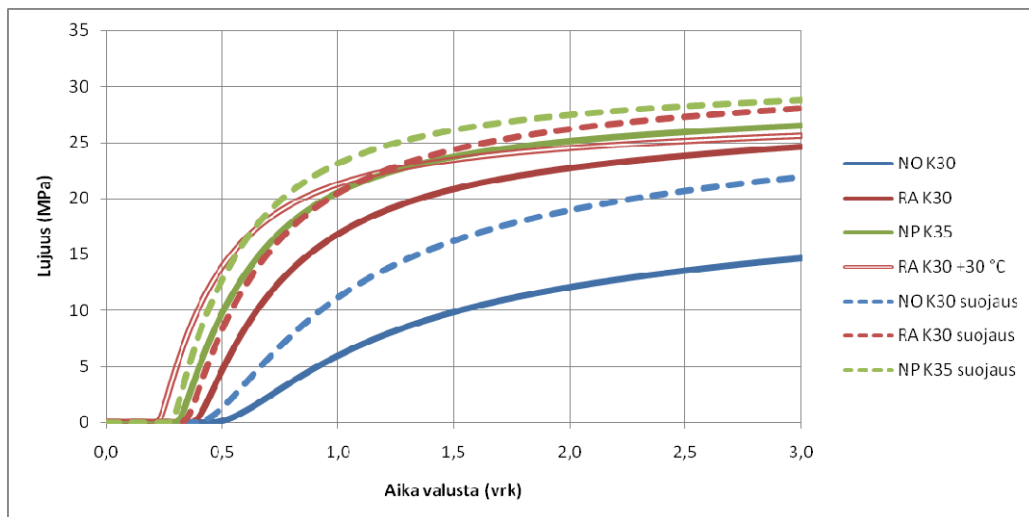
Ympäristön lämpötila ja tuulen voimakkuus vaikuttavat merkittävästi betonin lämpötilaan ja lujuuden kehitykseen. Betonin sitoutuminen hidastuu voimakkaasti lämpötilan laskiessa. Betonin lämpötilan laskiessa 10:neen asteeseen lujuuden kehitys hidastuu jo huomattavasti. Kun betonin lämpötila jää 5:een asteeseen betonin lujuudenkehitys on niin hidasta ettei sitä voida enää useimmissa tapauksissa käytännön rakentamisessa hyväksyä. Hitaan lujuuden kehittymisen lisäksi betonin pinta altistuu voimakkaalle halkeiluriskille koska kovettumattomasta betonista haihtuu ympäristöön runsaasti vettä. Kun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden se pystyy paremmin vastaanottamaan kutistumisesta aiheutuvia vetojännityksiä.



Kuva 1. 260 mm paksun välipohjan lujuudenkehitys laatan keskiosassa eri ympäristön lämpötiloissa. Betonimassa K30 #16 mm S3.



Betonin lujuudenkehitysnopeuteen voidaan vaikuttaa betonilaadun valinnalla. Näitä keinoja ovat betonin lujuusluokan kasvattaminen ja rapid-sementillä valmistetun betonin käyttö. Holvi- ja lattiavaluissa nopeammin päällystettävien betonilaatujen käyttö on järkevää koska nopeamman lujuudenkehityksen lisäksi nämä betonilaadut kuivuvat päällystyskuntoon selvästi tavanomaisia betonilaatuja nopeammin.



Kuva 2. 300 mm paksun paikallavaluholvin lujuudenkehitys, kun ilman lämpötila on $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, muottivaneri 22 mm. Betonimassan lämpötila $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (lukuun ottamatta RA K30 $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Suojausvaihtoehdossa 6 mm eristepeite holvin yläpinnalla, holvin alapuolinen tila lämmitetty $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Erikoisbetoneita kuten nopeammin päällystettävää betonilaatua käytettäessä holvivaluja voidaan tehdä onnistuneesti alhaisissakin lämpötiloissa, koska massiivisen välipohjalaatan hydrataatiolämpö pystyy pitämään rakenteen lämpötilan riittävän korkeana betonin nopeaan lujittumiseen. Kun ympäristön lämpötila laskee selvästi alle -5 :n asteen kannattaa rakenteissa käyttää lisälämmitystä ja suojausta. Jos rakenteet ovat hoikkia voivat lämmitys ja suojaustoimenpiteet olla tarpeen korkeammissakin lämpötiloissa.

Betonirakenteiden käyttöikämitoitus

Betonirakenteille valitaan suunnitteluvaiheessa tavoitteena oleva rakennuksen käyttöikä. Normaaleissa käyttö-olosuhteissa oleville betonirakenteille käyttöikämitoitus ei tuo oleellisia muutoksia (mm. sisätilojen runkorakenteet). Vaativissa käyttöolosuhteissa olevien rakenteiden betonilaatuvalintoihin käyttöikämitoitus tuo oleellisia muutoksia. Mitä pidempi valittu käyttöikä on ja mitä vaativampi on rakenteen ympäristöluokka sitä korkeampaa betoniluokkaa joudutaan rakenteessa käyttämään. Näissä tapauksissa betonin vesisementtisuhte määräytyy alhaiseksi ($v/s = 0,55 - 0,4$) ja vastaavasti sementtimäärät nousevat varsin korkeiksi. Nämä vaatimukset johtavat siihen että käytettävän betonin lujuus kasvaa huomattavan korkeaksi rakenneteknisiin lujuusvaatimuksiin verrattuna. Tästä puolestaan voi aiheutua valuvaiheessa ongelmia työmaalla. Massan työstettävyyden huonempi ja betonin halkeiluriski kasvaa betonin sementtimäärän kasvaessa ja betonin hydraatatiolämmön tuoton kasvaessa etenkin massiivisissa rakenteissa.



Selvyyden vuoksi on syytä korostaa että 30-35 MPa lujuustasolla olevaa massaa ei voida tehdä siten että massan vesisementtisuhte olisi 0,5 tai alle sen. Tätä voi selventää seuraavalla esimerkillä:

Massaesimerkki / m³

Sementtiä	250 kg
Vettä	200 kg
<u>Kiviaines</u>	<u>1900 kg</u>
Yht.	2350 kg

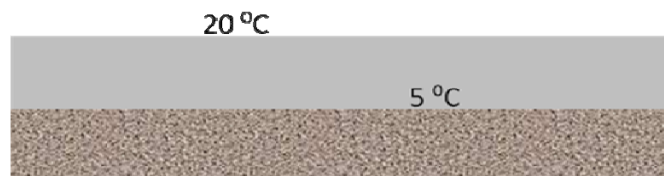
Esimerkkimassaan v/s suhde on 0,8. Jos massan v/s suhde olisi 0,5 vettä massan saisi käyttää 125 kg. Tällaista massaa olisi mahdoton työstää työmaalla. Kun massan vesisementtisuhte on pieni, massan sementtimäärä kasvaa väistämättä suureksi, jotta massaan saadaan työmaalla valettavalle massalle työstettävyyden edellyttämä riittävä vesimäärä. Tällaisen betonin lujuus on luonnollisesti varsin korkea. Betoniin käytettävän kiviaineksen ja sementin ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi betoniin tarvittavaan vesimäärään. Kiviaineksen ominaisuudet ovat kuitenkin kussakin maassa luonnon antama reunaehto johon voi vain rajoitetusti vaikuttaa.

Edellä kuvatuista syistä johtuen suunnittelijan tulee kunnolla pohtia onko rakennuksessa syytä käyttää useimmiten riittävää 50:n vai 100 vuoden käyttöikä, koska tällöin käytettävän betonin vesisementtisuhteavaatimukset oleellisesti kiristyvät. 50 vuoden käyttöiän valinta on yleensä riittävä useimmille talonrakenteille ja useimmille pysäköintitaloille, joissa pakkasuolarasitukset ovat vaikkapa maantiesiltoihin verrattuna oleellisesti kevyemmät. Lisäksi 50 v:lle mitoitettu rakenne on käytännössä pienin huoltotoimenpitein, joita joka tapauksessa joudutaan tekemään, huomattavasti suunnitteluikänsä kestävämpi.

Työmaan olosuhteiden vaikutus betonointityöhön

Lattian valu kylmälle alustalle

Lattia on rakenteena ohut ja siinä on paljon ympäröivän ilman ja valualustan kanssa kosketuksissa olevaa pinta-alaa. Valutilan ja alustan ollessa betonimassaa kylmempiä, myös betonimassa jäähtyy nopeasti. Betonin sitoutumisnopeus on suoraan riippuvainen sen lämpötilasta; mitä matalampi lämpötila, sitä hitaammin betoni sitoutuu. Samalla hiertoaika viivästyy ja betonin pinta on pidemmän aikaa altis plastiselle varhaisvaiheen halkeilulle.



Kuva 3. Maanvaraisen laatan valu kylmälle alustalle



Valualustan lämpötila on ongelmallinen maanvaraisissa lattioissa sekä ontelolaatan päälle valettavissa pintabetonilattioissa. Kylmä alusta jäädyttää tuoreen betonikerroksen alaosan nopeasti. Mikäli valutilan lämpötila on korkeampi kuin alustan, valetun betonikerroksen lämpötila on pinnastaan korkeampi kuin alaosaan. Saattaa syntyä tilanne, jossa betonin pintaosa on hiertovalmis, mutta alaosan sitoutuminen on kylmyyden vuoksi hidastunut niin, ettei lattia kokonaisuudessaan kannaa. Vaarana on, että betonipinta repeilee tällöin hiertokoneen painon vaikutuksesta. Hitaammin sitoutuva alaosa voi myös erottaa betonimassasta vettä, kun yläosa on jo hierretty. Alaosasta nouseva vesi voi muodostaa koholla olevia "kuplia" hierrettyyn betonipintaan. Mikäli hierto joudutaan tekemään pinnalle, jolle nousee vielä vettä massasta, pinnasta voi tulla myös heikko ja helposti pölyävä.

Edellä esitetyistä syistä lattiavaluissa alustan tulisi olla riittävän lämmin, > 10 astetta, ennen kuin valu voidaan luotettavasti tehdä. Ellei alustan lämmitys ole mitenkään mahdollista betonia voidaan lämmittää betoniin asennettavilla lämmityskaapeleilla.

Notkistettu betoni viileissä olosuhteissa

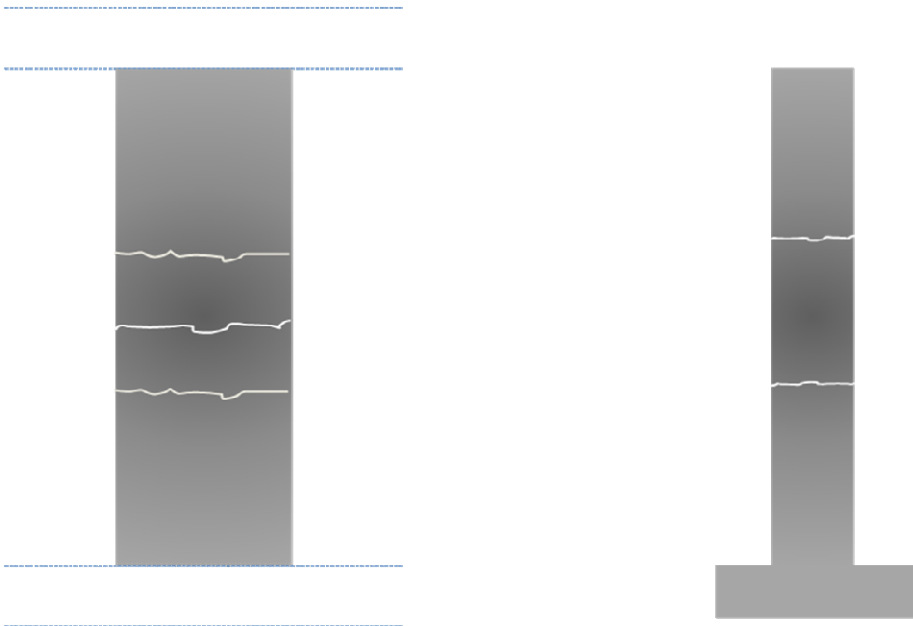
Sideainekoostumuksen lisäksi on hyvä huomioida notkistuksen vaikutus betonin ominaisuuksiin eri valulämpötiloissa. Notkistin hidastaa betonin sitoutumisen alkamisajankohtaa ja tämä ominaisuus korostuu lämpötilan laskiessa. Tämä ilmiö pätee kaikkiin markkinoilla oleviin notkistimiin. Betonin sitoutumisen alkamisajankohta viivästyy kylmässä ilmassa useita tunteja. Sitoutumisen alkaessa betonin lujittuminen etenee kuitenkin nopeammin kuin notkistamattomassa massassa.

Notkistetun betonin käyttö voi muodostua ongelmalliseksi etenkin viileän ajan lattiavaluissa ja etenkin silloin, jos betonin notkeus muuttuu eri kuormien välillä (betonikiviaineksen kosteuden vaihtelu voi aiheuttaa massaan jossain määrin notkeuden vaihtelua). Tällöin sitoutumisen alkamisajankohta vaihtelee lattian eri osissa, ja oikean hiertoajankohdan määrittely vaikeutuu.

Betonin lämpöjännitykset

Sementin ja veden välinen hydrataatioreaktio synnyttää voimakkaasti lämpöä. Tästä aiheutuva betonirakenteen lämpeneminen voi aiheuttaa rakenteisiin hallitsematonta halkeilua. Ongelma kärjistyy entisestään jos valuolosuhteet ovat viileät ja rakenteen sisäosien ja pintaosan välinen lämpötilaero muodostuu liian suureksi. Tästä lämpötilaerosta aiheutuvat lämpöjännitykset voivat halkaista rakenteet koko läpimitaltaan. Yleensä tavoitetilana on pitää tämä lämpötilaero alle 20 asteen.





Kuva 4. Betonin hydrataatiolämmöstä aiheutuneita lämpöjännityshalkeamia pilari- ja seinärakenteissa

Muotin purkamisen jälkeen välittömästi tehtävä rakenteen lämpösuojaus, myös kesällä, tasaa betonin lämpötilaeroja rakenteen eri osissa. Massiivisiin rakenteisiin valitaan tarvittaessa betonilaatuja joiden lämmöntuotto on riittävän alhainen. Sementeistä SR- ja yleissementit tuottavat vähiten hydrataatiolämpöä, kun taas rapid- ja pikasementtejä kannattaa välttää massiivisissa rakenteissa. Osa sementistä voidaan korvata kuonajauheella tai lentotuhkalla, jolloin betonin hydrataatiolämmön tuotto on huomattavasti alhaisempi. Rakenteiden lämmöntuottolaskelmia voidaan tehdä ennakkoon Ruduksen BetoPluss – ohjelmistolla.

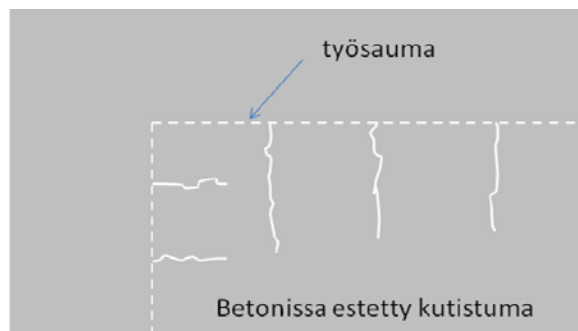
Betonin lämpöjännitykset ja rakenteen estetty kutistuma

Kaikille betonirakenteille on ominaista että ne kutistuvat ja elävät lämpöliikkeiden mukana. Täysin halkeilematonta betonirakennetta on monissa tapauksissa hyvin vaikea saada aikaan. Hyvän betonirakenteen toteuttamisessa onkin tärkeää tuntea betonin halkeilun aiheuttavat tekijät kyseisessä rakenteessa ja halkeilun ohjaaminen ja hallinta sellaiselle tasolle ettei niistä ole haittaa rakennuksen käyttövaiheessa.

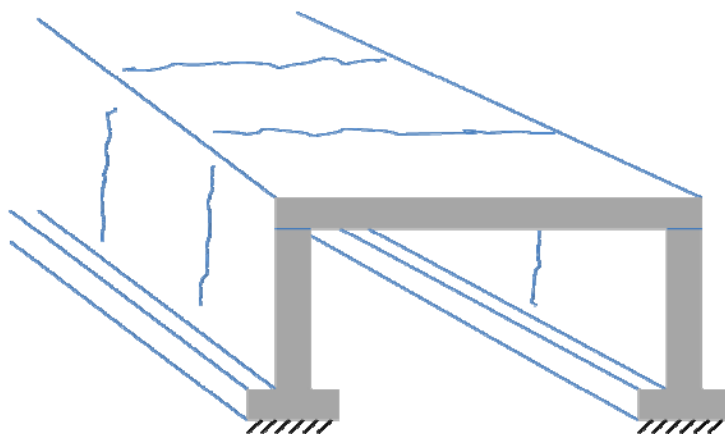
Rakenteen estetyn kutistuman tapauksessa betoniin syntyvät voimat ovat erittäin suuria. Jos rakenne on vielä massiivinen ja liittymäpinnat pitkiä betonin kutistuman ja mahdollisten lämpöjännitysten yhteisvaikutusta on erittäin hankala hallita.

Kun massiivinen holvirakenne valetaan kiinni aiemmin valettuun rakenteeseen työsaumaan syntyy estetyn kutistuman tilanne ja uuden valetun alueen betonissa voi syntyä halkeamia säännöllisin välein kohtisuoraan työsaumaa vastaan. Halkeamat voivat edetä myöhemmin lähes koko laatan jännevälin pituudelle. Massiivisessa rakenteessa esiintyvät kutistumavoimat ovat niin suuria että niitä on kokonaisuudessaan vaikea täysin hallita raudoitusta lisäämällä. Riittävä rauditusmäärä kuitenkin osaltaan rajoittaa halkeamien kasvua hallitsemattoman suureksi. Halkeiluriski korostuu jos holviin on valittu korkealuokkainen betoni (mm. käyttöikämitoituksesta johtuva) , jonka sementtimäärä on suuri ja siitä aiheutuen myös betonin lämmöntuotto on suuri.





Kuva 5. Massiivinen laattarakenne valettu kiinni aiemmin valettuun rakenteeseen. Valualueen sivumitat usein yli 20 m.



Kuva 6. Kohteen seinärakenteet valettu jäykästi kalliossa kiinni olevien anturoiden päälle. Kattolaatta valettu myöhemminseinien päälle. Halkeiluriski kasvaa rakenteen pituuden kasvaessa.

Kun tuoreen massan sitoutuminen alkaa ja massan lämpötila nousee betoni laajenee. Nuoren betonin lujuus on tässä vaiheessa niin pieni että lämpötilan noustessa massa pystyy laajentumaan ilman että siihen syntyy oleellisia jännityksiä. Kun hydrataatiolämpö alkaa laskea, osittain lujittunut betoni kutistuu ja siihen syntyy voimakkaita vetojännityksiä. Tässä vaiheessa betonin vetovoimien kestävyys on edelleen aika heikko ja rakenne voi halkeilla voimakkaasti jos rakenteen kutistuma ei pääse vapaasti tapahtumaan.

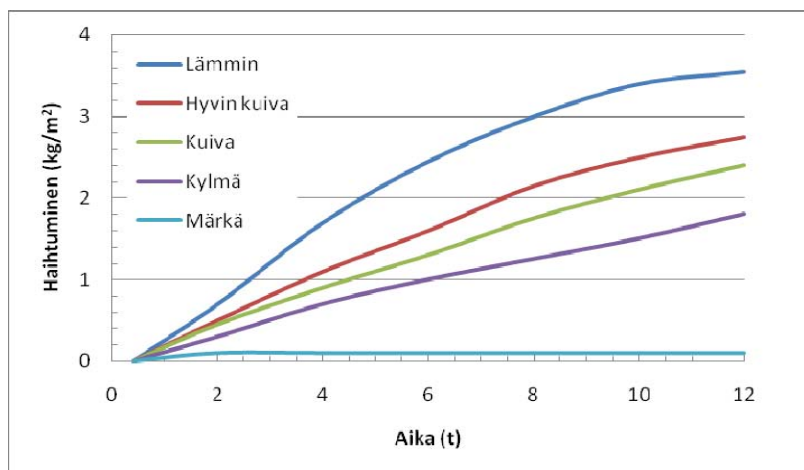
Edellä kuvattua halkeiluriskiä voidaan pienentää betoniteknologisin ja rakenneteknisin sekä työteknisin keinoin. Rakenteiden valut kannattaa suunnitella siten että estetyn kutistuman tilanteita syntyy mahdollisimman rajoitetusti. Kriittisille alueille on syytä lisätä kutistumaraudoitusta. Betonin lämpösuojauksilla betonin vetolujuus saadaan kehittymään nopeammin jolloin se pystyy paremmin vastaanottamaan kutistumasta syntyviä vetovoimia. Betonimassa kannattaa valita siten että sen kutistuma ja lämmöntuotto-ominaisuudet ovat mahdollisimman pienet. Betonin lämmöntuottoa voidaan lisäksi pienentää valitsemalla massaan vähemmän lämpöä kehittäviä sementtilaatuja tai käyttämällä betonissa seosaineita.



Ilman lämpötila, kosteuspitoisuus ja tuuli, betonin jälkihoito

Ilman kosteuspitoisuudella on suuri vaikutus betonin pinnalta haihtuvan veden määrään ja haihtumisnopeuteen. Runsas veden haihtuminen johtaa aina betonipinnan plastiseen, usein verkkomaiseen halkeiluun. Runsainta veden haihtuminen on talvisin lämpimissä sisätiloissa, joissa ilman suhteellinen kosteus voi olla alle 20 %. Myös kevätkesän lämpiminä päivinä ulkoilman suhteellinen kosteus voi laskea varsin alhaiseksi. Tuulisena ja aurinkoisena, keväisenä päivänä, betonin pinnan halkeilu on varmaa ellei käytetä ruiskutettavaa varhaisjälkihoitoainetta, jonka ruiskutus on tehtävä heti pinnan perusoikaisun jälkeen. Tämän vuoksi valutilan suhteellisen kosteuden seuraaminen tulisi kuulua rutiinitoimenpiteisiin. Ilman riittävää jälkihoitoa betonin pinta voi "korputtua" ennen valun alaosan sitoutumista. Tuloksena on heikosti hierrettävä pinta, johon saattaa nousta vesirakkuloita valun alaosasta erottuvasta vedestä. Varhaisjälkihoidon jälkeen betonin pinta suojataan varsinaisella jälkihoidolla, joko ruiskutettavilla jälkihoitoaineilla tai vesisumutus- muovikalvovyhdistelmällä. Nykyisin on yleistynyt myös jälkihoitomenettely, jossa rakenteen päälle levitettyä suodatinkangasta pidetään kosteana tarvittava jälkihoitoaika.

Jälkihoidon tarkoituksena on estää betonipinnan liian varhainen kuivuminen. Oikealla ja huolellisella jälkihoidolla voidaan vaikuttaa pinnan lujuuteen, kulutuskestävyyteen, tiivyyteen ja pölyvyyteen, alustaan tarttuvuuteen, päällystettävyyteen ja halkeiluriskiin. Betonilattiatöiden osalta tulee tehdä jälkihoitosuunnitelma, jossa otetaan huomioon kyseisen kohteen ominaisuudet sekä valuolosuhteet.

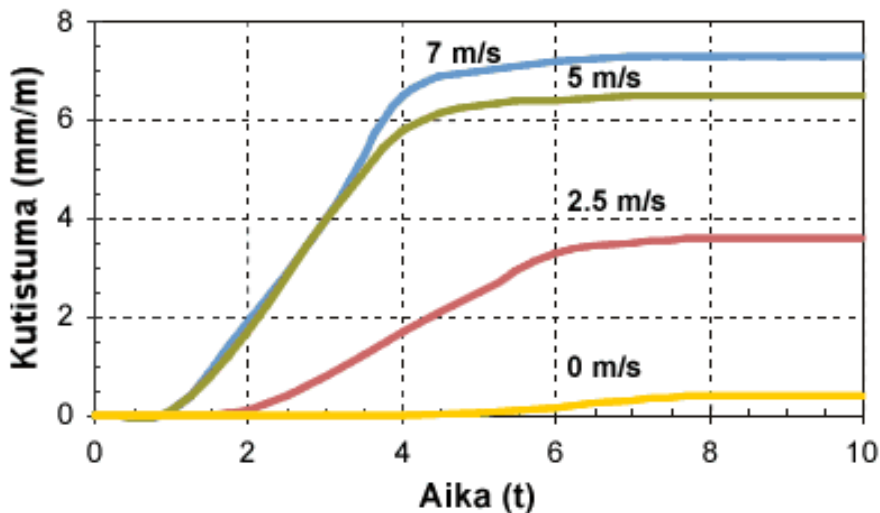


Kuva 7. Veden haihtuminen betonin pinnalta erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Kylmä = +5 °C/RH 40 %, Lämmin = +30 °C/RH 40 %, Hyvin kuiva = +20 °C/RH 40%, Märkä = +20 °C/RH 100%, Kuiva = +20 °C/RH 70%.

Tuuli kiihdyttää vedenhaihtumista betonilattian pinnalta. Sisätiloissa valutila voidaan yleensä suojata tuulelta peittämällä kaikki ovi- ja ikkuna-aukot. Ulkotiloissa ainoa keino suojautua tuulen kuivaavalta vaikutukselta on levittää riittävä kerros jälkihoitoainetta betoniin heti pinnan oikaisun jälkeen.

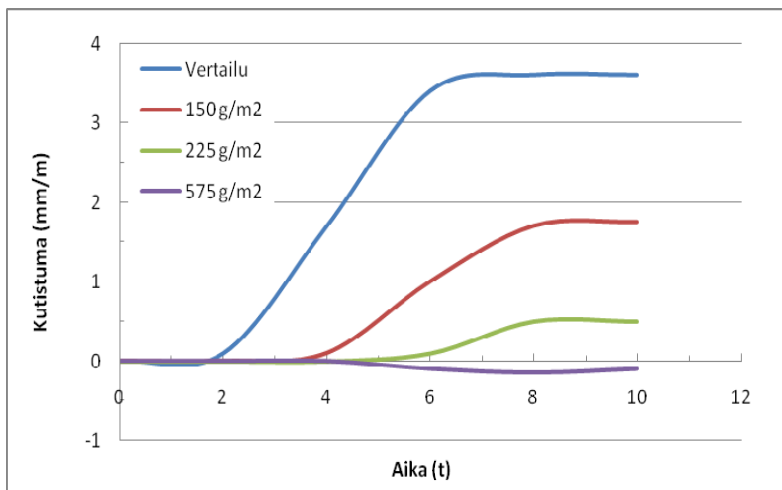


Rudus



Kuva 8. Tuuli lisää veden haihtumista betonipinnalta ja kasvattaa varhaisvaiheen kutistumaa selvästi.

Varhaisjälkihoidon merkitys korostuu silloin, kun valutilan ilman virtausnopeus on suuri, suhteellinen kosteuspitoisuus on alhainen ja kun ilman tai betonipinnan lämpötila on korkea. Tällöin vedenhaihtuminen betonipinnalta on hyvin voimakasta. Betonilaaduista voimakkaasti notkistetut, säänkestävät sekä korkealujuuksiset betonit vaativat erityisesti varhaisjälkihoitoa niiden vähäisen vedenerottumisominaisuuden johdosta. Varhaisjälkihoito on kätevintä tehdä sumuttamalla betonipinnalle riittävästi varhaisjälkihoitoainetta. Jälkihoitoainetta on käytettävä riittävästi (kuva 9) jotta se estää veden haihtumisen betonin pinnalta.



Kuva 9. Betonipinnan plastinen kutistuma erisuuruisilla varhaisjälkihoitoaineen ruiskutusmäärillä, tuulen nopeus 2,5 m/s, lämpötila +20°C, suhteellinen kosteus 40 %.

Tasaisesti koko valualueelle viimeisen hiertokerran yhteydessä sumutettu riittävän suuri jälkihoitoainemäärä on yleensä riittävän tehokas lopullinen jälkihoitotapa. Betonipinnalle sumutettavaa jälkihoitoainemäärää arvioitaessa tulee ottaa huomioon ilmavirtausten mukana valualueen ulkopuolelle kulkeutuva ainemäärä. Jälkihoitoaineen käytössä noudatetaan ensisijaisesti tuotteen käyttöohjeita. Sumutettavan jälkihoitoaineen valinnassa tulee ottaa huomioon sen soveltuvuus kyseiseen käyttökohteeseen. Jälkihoitoaineen tehokkuutta voidaan



tarvittaessa parantaa toistamalla käsittely seuraavana aamuna sumuttamalla tai telaamalla toinen kerros jälkihoitoainetta betonipinnalle. Jälkihoitoaineet tulee tarvittaessa poistaa betonipinnalta jälkihoitoajan päätyamisen jälkeen pinnan voimakkaalla harjauksella, hionnalla tai sinkopuhdistuksella.

Voimakkaasti kuivattavissa olosuhteissa pelkkä jälkihoitoaineen käyttäminen ei kuitenkaan riitä. Jälkihoito voidaan silloin tehdä suojaamalla betonipinta heti pinnan viimeistelyn jälkeen muovilla. Usein se ei kuitenkaan ole mahdollista pinnan vaurioitumisen takia ja muovi levitetäänkin vasta valua seuraavana aamuna. Tässä tapauksessa jälkihoito on syytä aloittaa heti valun jälkeen joko jälkihoitoaineen tai veden sumuttamisella lattian pintaan. Muovia käytettäessä tulee estää tuulen pääsy muovin alle tiiviiksi teipattujen saumojen tai riittävien limityksien sekä painojen avulla. Betonipinta tulee pitää kosteana muovin alla. Jos pinta pääsee kuivumaan, se on kastettava ja peitettävä uudelleen. Tämän vuoksi kastelu ja muovilla peittäminen ovat työläitä jälkihoitomenetelmiä. Muovin sijasta voidaan käyttää suodatinkangasta, jota kastellaan päältä päin. Kastettava kangas varmistaa tasaisen kosteuden koko jälkihoitoalalle.

Taulukko 1. Jälkihoidon suositeltavat vähimmäisrajat eri kovettumisolosuhteissa normaalisti kovettuvalle betonille (BY 50 4.2.4.5).

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

Taulukko 2. Jälkihoidon suositeltavat vähimmäisrajat eri kovettumisolosuhteissa nopeasti kovettuvalle betonille.

Betonin lämpötila (°C)	Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujudesta		
	K30	K40	K50	K30	K40	K50
10	6	5	5	7,5	7,5	6,5
20	4	3,5	3,5	5,5	5,5	4,5
30	3	2,5	2,5	4	4	3,5
40	2,5	2	2	3	3	2,5

Betonin lämpötilan ja lujuuden hallinta – BetoPlus – ohjelmistolla

Ruduksen BetoPlus tietokoneohjelmalla, voidaan arvioida erityyppisten betonirakenteiden lujuuden- ja lämmönkehitystä erilaisissa sääolosuhteissa. BetoPlus-ohjelmaa voidaan hyödyntää:

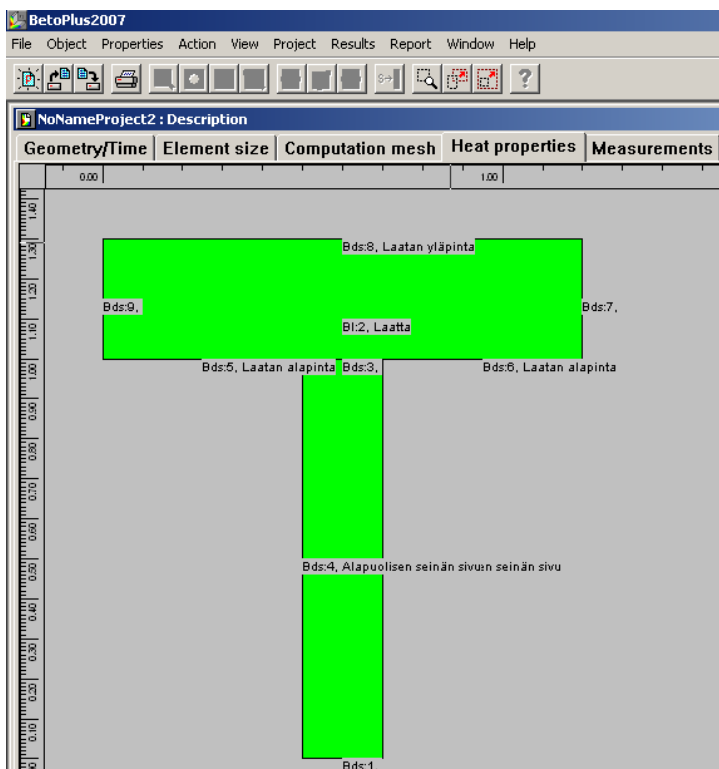
- Rakenteiden suunnitteluvaiheessa
- Valujen ennakkosuunnitelmissa
- Valetun rakenteen lujuuden varmistamiseen rakenteesta mitattujen lämpötilojen perusteella



Ennakkosuunnitelmissa laskelmien pohjaksi tarvitaan vähintään seuraavat lähtötiedot, jotta rakenne ja ympäristö voidaan mallintaa BetoPlus-ohjelmaan:

- rakenteen mitat ja muoto
- ympäristön rakenteet
- muottityyppi- ja kierto
- eristeet ja suojaus
- arvio sääolosuhteista (°C ja m/s)
- suunniteltu suojaustapa ja ajankohta
- mahdollinen lisälämmitys

Lisäksi on tiedettävä rakenteen suunnittelulujuus, haluttu muotinpurkulujuus ja mahdolliset lämpötilarajoitukset.



Kuva 10. BetoPlus ohjelmaan mallinnettu esimerkkirakenne

BetoPlus-laskenta antaa tulokseksi rakenteen lämmön- ja lujuudenkehityksen, lämpötilaerot rakenteessa, betonin kypsyysasteen ja mahdollisen lujuuskadon. Vertailuja voidaan tarpeen mukaan tehdä esimerkiksi betonilaadun, betonimassan lämpötilan, suojauksen tai lisälämmityksen osalta. Vertailun tuloksena voidaan

- valita oikea betonilaatu, muottikalusto, suojaus ja tarvittaessa lisälämmitys
- arvioida muotinpurkulujuuden saavuttamisajankohta
- suunnitella muottikierto
- määrittellä jälkijännitysajankohta
- suunnitella nousunopeus liukuvalussa
- havaita kylmäsillat ja niiden vaikutus
- määrittää lämmityksen lopetusajankohta

Tavoitteena on löytää kokonaistaloudellinen ratkaisu rakenteen toteuttamiseksi.



Lujuuden varmistaminen mitatuista lämpötiloista

Lämpötilan mittaaminen rakenteista on helpointa ohjelmoitavilla dataloggereilla, jotka tallentavat mitatun lämpötilan rakenteesta esimerkiksi tunnin välein. Rakenteeseen tutkittaviin kohtiin asennetut termoelementtilangat kytetään dataloggerin kanaviin.

Loggerin lämpötilatiedot voidaan lähettää työmaalta Ruduksen BetoPlus-palveluun sähköpostilla. Ohjelma laskee tiedoista lujuudenkehityskäyrän, joka toimitetaan työmaalle sähköpostitse.

BETONIVALAJAN VUODENAJAT

KEVÄT	KESÄ
<p>Keväällä ulkoilman kosteus voi olla alhainen.</p> <p>Veden haihtuminen betonista on nopeaa. Muista huolellinen betonin jälkihoito.</p> <p>Päivä- ja yölämpötilojen ero voi olla suuri. Varmista rakenteiden lämpöliikkeet ja tarkista massojen valinta rakenteisiin.</p>	<p>Betonin lämmön tuotto voi lämpimässä ilmassa olla liian suuri ja siitä syntyy halkeiluriski.</p> <p>Muista sopivat massan valinnat.</p> <p>Kiinnitä erityistä huomiota jälkihoitoon, etenkin aurinkoisina ja tuulisina päivinä.</p>
SYKSY	TALVI
<p>Yleensä hyvät valuolosuhteet.</p> <p>Muista viilenevän ilman vaikutus massan lujittumiseen – hiertoajankohdan viivästyminen.</p> <p>Viilenevät valualustat – massan kerroksittainen sitoutumisriski – hierto-ongelmat.</p>	<p>Talvi alkaa kun ilman lämpötila laskee alle 10 asteen, jolloin betonin lujuuden kehitys alkaa oleellisesti hidastua.</p> <p>Varmista massan valinnalla olosuhteisiin riittävä massan lämmön- ja lujuuden kehitys</p> <ul style="list-style-type: none">- betonin lujuusluokan nosto- Rapid-betonit <p>Varmista valualustan ja liittyvien rakenteiden riittävä lämpötila.</p> <p>Varaudu lämmitykseen ja suojaamiseen.</p>

