

Betonin jäähdyttäminen

Dipl.ins. Elina Paukku, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
2.9.2024

Uusi julkaisu: BY-78 Betonin jäähdytystarpeen arvioiminen 2024

- Tarve uudelle ohjeelle
 - Lämmönlitystapauksia runsaasti viime vuosina
 - Voimassa olevat lämpötilaraja-arvot peräisin 60- ja 80-luvuilta, jolloin betonikoostumukset (ja erityisesti sementit) olivat hyvinkin erilaisia
 - Muutokset betonien koostumusvaatimuksissa
 - Lujuusluokat, säilyvyysvaatimukset => betonin lämmöntuoton kasvu
 - Betonien työmaavaatimukset
 - Käytännössä kaikki betoni valetaan pumppaamalla
- Julkaisussa peruseriaatteet jäähdytystarpeen arvioimiselle
- Nyt aluksi vain sähköisenä, jota on tarkoitus päivittää kokemustiedon lisääntyessä

Julkaisun sisältö otsikkotasolla

Sisällysluettelo	2	Liite 1. Betonivalmistajan keinoja betonin lämpötilan alentamiseksi.....	22
Termit	3	L1.1 Toimenpiteet ennen valua.....	22
Esipuhe	4	L1.1.1 Reseptin vaikutus.....	22
1. Riskialttiit rakenteet ja määritelmät.....	5	L1.1.2 Laadunvarmistusiän vaikutus	25
2. Korkean hydrataatiolämmön vaikutukset.....	8	L1.1.3 P-lukubetonien rajoitukset.....	26
2.1 Lämpötilaerojen vaikutukset.....	8	L1.1.4 Raaka-aineiden tai betonin jäähdyttäminen.....	29
2.2 Maksimilämpötilan vaikutukset säilyvyysominaisuuksiin.....	10	L1.2 Toimenpiteet valun jälkeen	30
2.3 Maksimilämpötilan vaikutukset lujuusominaisuuksiin.....	11	Liite 2. Betonin lämpötilan mittaaminen.....	32
3. Rajoitukset betonin lämpötilalle kovettumisvaiheen aikana.....	13	L2.1 Mittauspisteiden valinta	32
3.1 Vaatimukset.....	13	L2.2 Mittaustekniikka	33
3.1.1 Maksimilämpötila.....	13	L2.3 Mittaustulosten analysointi.....	34
3.1.2 Lämpötilaero	14	Liite 3. Esimerkkejä jäähdytysputkistoista.....	35
4. Betonin maksimilämpötilan arvioiminen	15	L3.1 Siltapalkki	35
4.1 Huokostomattomat betonit	17	L3.2 Siltapilari	39
4.2 Huokostetut betonit	18	Liite 4. Esimerkkejä jäähdytysputkistojen sijoittelusta	44
4.3 P-lukubetonit.....	19	Kirjallisuus.....	47
5. Ohjeistus jäähdytystarpeen hallintaan.....	20		

Riskirakenteet

“Betonirakenne katsotaan massiiviseksi, jos se on mitoitetaan niin suuri, että on tarpeen ryhtyä erityistoimenpiteisiin hydrataatiolämmön aiheuttamista lämpömuodonmuutoksista syntyvän halkeamisvaaran tai korkeasta kovettumislämpötilasta johtuvan lujuuskadon rajoittamiseksi”

Perustapauksessa:

Mikä tahansa rakenneosia, jonka pienin mitta on yksi metri

Erityistapauksissa myös rakenteet, joiden pienin mitta on vain esim. puoli metriä (0,5 m), voidaan käsittää massiiviseksi rakenteeksi:

- Sideaineen määrä
- Betonin lujuusluokka
- HUOM. Korkealujuusbetoni
- Säilyvyysvaatimukset
- Odotettavissa olevat ulkoiset lämpötilan vaihtelut
- Odotettavissa oleva valun maksimilämpötila T_{max}
- Lämpötilagradientit ΔT

- Huomattava osa ihan tavallisista siltarakenteista on betonitekniikan näkökulmasta erittäin massiivisia betonirakenteita!
- Teollisuus- ja voimalaitosrakenteissa paljon hyvin massiivisia rakenneosia
- Korkean (kerrostalo)rakentamisen rakenteet
- Vesi- ja muut infrarakenteet

Miksi betonia täytyy jäähdyttää?

- Liian korkea kovettumisen aikainen maksimilämpö T_{\max} :
 - Voi aiheuttaa betonin lujuuskatoa
 - Kantavuusongelmat?
 - Voi aiheuttaa myöhempiä säilyvyysongelmia (DEF eli delayed ettringite formation eli viivästynyt ettringiittireaktio)
 - DEF johtaa betonin rapautumiseen
 - Voi ilmetä vasta jopa kymmenien vuosien kuluttua
 - Vaarallisinta piiloon jäävissä rakenteissa!
- Liian suuri lämpötilagradientti ΔT :
 - Rakenteen näkyvä halkeilu
 - Rakenteen sisäistä säröilyä ja halkeilua visuaalisesti näkymättömissä
 - Halkeamat voiva olla hyvin suuria, jopa useita millimetrejä leveitä ja hyvin ennakoimattomissa kohdissa
 - Korjaustarpeita, kasvavat kustannukset, aikatauluvaikutukset

Tärkeää muistaa ja erottaa toisistaan:

Betonituotteiden lämpökäsittelyä ($T =$ yli $+40\text{ °C}$, yleensä noin $+60\text{ °C}$) ja betonin hydrataation aikaista (liiallista) lämmönkehitystä ($T_{\max} > +60\text{ °C}$) ei milloinkaan tule rinnastaa tai sekoittaa toisiinsa

Lämpökäsittely = täysin suunniteltu, hallittu ja täysin kontrolloitu betonituotteen kovettumisen aikainen lämpötilan nosto ja jäädytys lujuudenkehityksen ja muottikierron nopeuttamiseksi

Hydrataation aikainen (liiallinen) lämmön nousu = aina ennakoimaton ja usein totaalisen ei-hallittu rakenteen lämmön nousu ja jäähtyminen

Nykymääräykset lämpötilojen osalta

- Maksimilämpö:

Taulukko 3.1. Tarvittavat toimenpiteet betonin kovettumisvaiheen maksimilämpötilan mukaan (InfraRYL /4/ ja BY65 /7/).

Toteutunut maksimilämpötila	Vaikutukset lujuusominaisuuksiin	Vaikutukset säilyvyysominaisuuksiin
$\leq +60^{\circ}\text{C}$	Ei vaadita toimenpiteitä	Ei vaadita toimenpiteitä
$+60\dots70^{\circ}\text{C}$	Lujuuskato voidaan arvioida laskennallisesti valetuista koekappaleista:	Ei vaadita toimenpiteitä
$+70\dots80^{\circ}\text{C}$	$+60^{\circ}\text{C}$ ylittävä Celsius-aste vastaa 1% lujuusalenemaa (esim. $+70^{\circ}\text{C}$ -> 10% alenema tunnustustestausten lujuuteen).	Lämpötilan vaikutus säilyvyyteen tutkitaan tapauskohtaisesti rakenteesta irrotetuista näytteistä tilaajan hyväksymän koeohjelman mukaisesti. Ei koske rasitusluokkia X0 ja XC1.
$>+80^{\circ}\text{C}$	Vaikutukset puristuslujuuteen selvítettävä tapauskohtaisesti poranäytteillä korkeimpien lämpötilojen kohdalta.	Lämpötilan vaikutus säilyvyyteen tutkitaan tapauskohtaisesti rakenteesta irrotetuista näytteistä tilaajan hyväksymän koeohjelman mukaisesti.

- Lämpötilagradientti:

- InfraRYL / ΔT enintään 20°C
- BY65 / ΔT enintään 20°C tai $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$

Lämpötilojen arviointi erilaisissa betonikoostumuksissa

- Betonimassan lämmöntuoton arviointi aina reseptikohtaista
- Ennakkolaskelmat lämmönkehityksestä huomioiden käytettävät muottimateriaalit ja valuajankohdan lämpötila- ja tuuliolosuhteet
- Julkaisussa esitetty lämmönkehitysarviointeja yleisimmin käytetyille sementtilaaduille, betonin lujuusluokille ja betonikoostumuksille, huomioiden erikseen huokostetut ja huokostamattomat betonit
 - Eri valmistajien sementeissä voi olla merkittäviä eroja lämmöntuoton suhteen, vaikka standardin mukainen sementtityyppi on sama
- Eri sementtityyppi- ja lujuusluokkakombinaatioiden lämmön nousun riskejä arvioitu värikoodeilla rakennepaksaus huomoiden



Ohjeistus jäähdytystarpeen hallintaan: Suunnittelijat

- Suunnittelijan, urakoitsijan ja betonin toimittajan riittävän aikainen yhteistyö välttämätöntä
- Suunnittelijalla (lukumäärällisesti) eniten toimenpidemahdollisuuksia rakenteen lämmön nousun hillitsemiseksi
 - liian suuren lujuusluokan välttäminen
 - rakenteen liikemahdollisuuksien huomioiminen
 - rakenteen jakaminen valuosiin
 - työsaumojen ja valujärjestyksen suunnittelu työnaikaiset kuormitukset ja muodonmuutokset huomioiden
 - muiden kuin termisten halkeamien halkeamaleveyksien rajoittaminen
 - putkistojen materiaali, asennustapa ja sijoittelu rakenteeseen
 - jäähdytysvaikutusten laskenta ja putkistojen mitoitus

Ohjeistus jäähdytystarpeen hallintaan: Urakoitsijat ja betonin toimittajat

- Urakoitsija vastaa käytännön varautumistoimenpiteistä rakenteen jäähdyttämisen suhteen
 - Jäähdytys käytännössä (asennustyöt), lämpötilamallinnukset, **gradienttien hallinta**, riittävä jälkihoito, rakenteen riittävä suojaaminen, mahdollisimman myöhäinen muottien purku, lämpötilojen mittaaminen
- Betonin toimittajalla käytännössä (lukumäärällisesti) vähiten toimenpidevaihtoehtoja, jotka kuitenkin ovat ehkä ne tärkeimmät
 - Oikean betonikoostumuksen valinta annettuun rakenteeseen ja ennakkokokeet, sopiva betonin lähtölämpötila
- Julkaisussa myös ohjeita lämpötilojen mittaamiseen sekä alustavia ohjeita jäähdytysputkistojen sijoitteluun esim. palkkirakenteessa

Mitä jäähdyttäminen käytännössä tarkoittaa?

- Mitä julkaisussa BY78 ei vielä esitetä

- Jäähdytysputkistojen asennus: Jäähdytystarve kohdentuu alueille, joissa lämpö tulee nousemaan korkeimmalle => lämpötilojen ennakkolaskelmien tärkeys
- Putkistot asennettava jo samaan aikaan raudoituksen etenemisen kanssa
- Putkistojen riittävä tuenta niillä kohdin, joissa raudoitteita ei paljoa ole?
- Putkistojen liitoskohtien tiiviys erittäin tärkeää – vettä tai muuta jäähdytysainetta ei saa vuotaa betoniin
- Mistä jäähdytysvesi ja kuinka paljon sitä tarvitaan? Entä jokin muu jäähdytysaine? Lämpötila?
- Sopiva putkimateriaali, sen halkaisija ja materiaalivahvuus? Muovin ja metallin välillä eroja lämmönjohtavuudessa
- Putkien täyttöinjektointi valun jälkeen?
- Koerakenteet ja –valut sitä tärkeämpiä, mitä vaativammasta ja/tai kriittisemmästä rakenteesta kyse



- Kysyttävää?

Seuraavassa jaksossa....

- Seuraava Betonivartti pidetään maanantaina 7.10. klo 8.30 aiheena by76 – Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen