

Betonin jäädytysohje

Siltapäivät 2024

Jouni Punkki, Betoniviidakko Oy

7.2.2024



Taustaa

- Jäähdytystarve on yleistynyt viime aikoina infrarakenteissa
- Mahdolliset syyt jäähdytystarpeen muutoksiin
 - Hieman kiristyneet vaatimukset betonille (IBVO 2020)
 - Lämpötiloihin kiinnitetään enemmän huomiota
- Ohjeistus vähäistä
 - Ainoastaan lämpötilarajat esitetty
- Koettu tarpeellisesti tehdä ohjeistusta
 - 1. Vaihe: Jäähdytystarpeen huomioiminen
 - BY / Väylävirasto -> Betoniviidakko
 - Ohje noin 80% valmis

Miksi betonin lämpötilat olennaisia

- Olennaisia kovettumisen aikainen max. lämpötila sekä lämpötilaerot rakenteen sisällä
- Lämpötilat vaikuttaa sekä lujuus- että säilyvyysominaisuuksiin
 - Lujuuskato, kun $>60^{\circ}\text{C}$ (oletus 1°C vastaa 1% lujuudessa)
 - Säilyvyysriskit, kun $>70^{\circ}\text{C}$
 - Lämpötilaero pitäisi olla $<20^{\circ}\text{C}$, muutoin halkeiluriski kasvaa
 - Talopuolella sallitaan nykyisin $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- Korkeiden lämpötilojen säilyvyysriski
 - Viivästynyt ettringiitin muodostuminen (DEF = Delayed Ettringite Formation)
 - Paisuva reaktio, rikkoo betonirakennetta
 - Tapahtuu hitaasti, voi kestää kymmeniä vuosia ennen kuin alkaa

Vaatimukset max. lämpötilalle

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: $+60^{\circ}\text{C}$ ylittävä	Ei vaadita toimenpiteitä
$+70\dots80^{\circ}\text{C}$	Celsius-aste vastaa 1% lujuusalenemaa (esim. $+70^{\circ}\text{C}$ -> 10% alenema tunnistustestausten lujuuteen)	Lämpötilan vaikutus säilyvyyteen tutkitaan tapauskohtaisesti rakenteesta irrotetuista näytteistä tilaajan hyväksymän koeohjelman mukaisesti.
$>+80^{\circ}\text{C}$	Vaikutukset puristuslujuuteen selvitettävä tapauskohtaisesti poranäytteillä korkeimpien lämpötilojen kohdalta	Lämpötilan vaikutus säilyvyyteen tutkitaan tapauskohtaisesti rakenteesta irrotetuista näytteistä tilaajan hyväksymän koeohjelman mukaisesti.

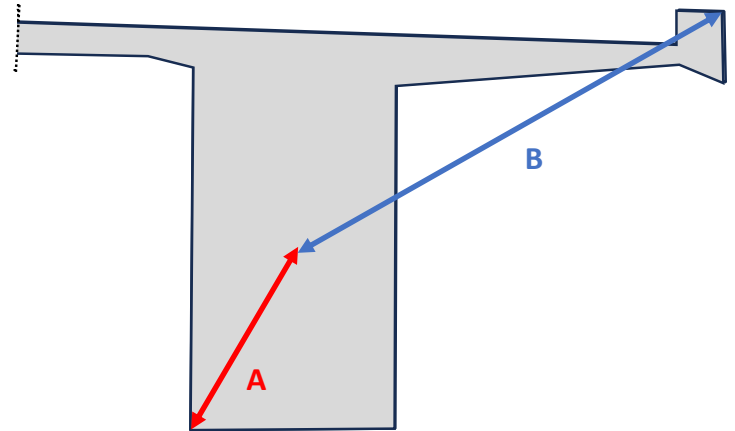


BETONIVIIDAKKO

ME TUNNEMME BETONIN

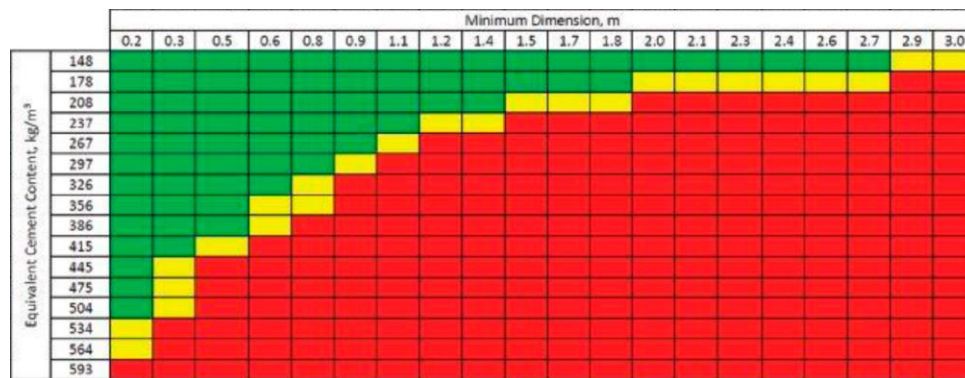
Lämpötilaerot

- Lämpötilaerot aiheuttavat helposti halkeilua
- InfraRYL (42020.3.5):
 - *Betonoitavan rakenneosan minkään poikkileikkauksen eri osien välillä (esim. lämpötilaero pilarin tietyssä poikkileikkauksessa sisäosan ja pinnan välillä) ei saa olla suurempi kuin 20 °C.*
 - Tarkoittaako edellinen?
 - Tapaus A (vain palkkiosa)
 - Tapaus B (koko betonoitava osa)



Vaatimuksia eri maissa

- Vaatimukset hyvin saman kaltaisia maailmalla, +70°C on yleisesti käytössä. Myös +60°C käytössä
- USAssa sallitaan kuonamassoille korkeampia lämpötiloja, jopa +85°C
- Lämpötilarajat perustuvat vanhoihin tutkimuksiin
 - Tarvittaisiin tutkimusta
 - Rajojen oikeellisuus
 - Eri sementtityyppien vaikutus
 - Rakenteen vaikutus



Guide to Mass Concrete ACI PRC-207.1-21

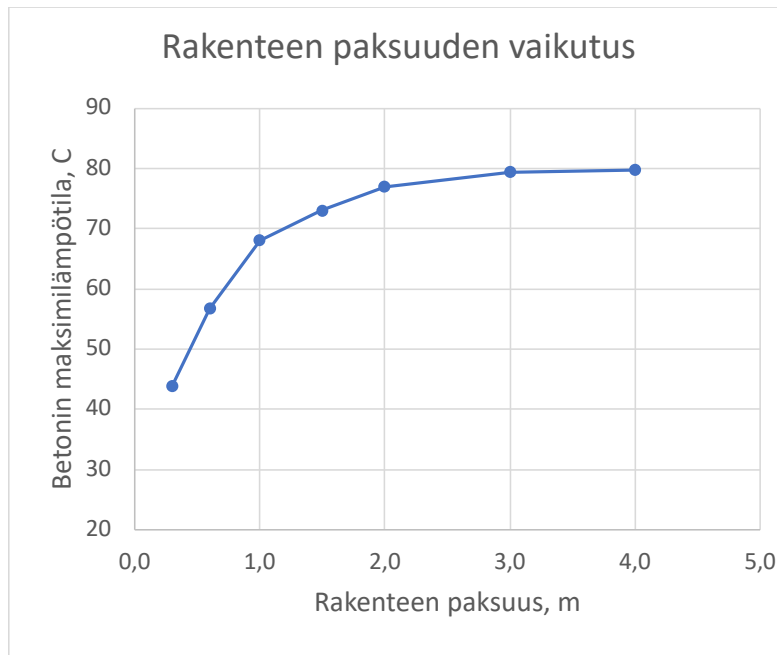


BETONIVIIDAKKO

ME TUNNEMME BETONIN

Betonin lämpötilaan vaikuttavat tekijät

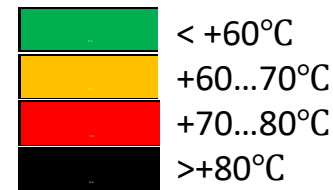
- Maksimilämpötilaan vaikuttavat:
 1. Rakenteen dimensiot
 2. Betonilaatu
 - Lujuusluokka, P-luku (sementtimäärä)
 - Laadunvarmistusikä (rajoitetusti)
 3. Olosuhteet
 - Ulkolämpötila (lämpötila, tuuli)
 - Betonin lämpötila toimitettaessa



Oiva-sementti, 380 kg/m^3 , $v/s_{\text{teh}} = 0,50$, ilma:
5,0%.

Esimerkkejä P-lukubetonien lämpötiloista

P-LUKUBETONIT		Sem	Vesi	v/s	Ilma	1 m rakenne		2 m rakenne					
						Lämmin	Kylmä	Lämmin	Kylmä				
C30/37 P0	CEM I, Schwenk	345	190	0,55	2,0 %	[Red]	[Yellow]	[Black]	[Red]				
	Oiva									[Yellow]	[Green]	[Red]	[Yellow]
	Kolmossementti									[Green]	[Green]	[Yellow]	[Yellow]
	CEM I + 70% kuonaa									[Green]	[Green]	[Green]	[Green]
C30/37 P30	CEM I, Schwenk	380	190	0,50	5,0 %	[Black]	[Red]	[Black]	[Red]				
	Oiva	400	190	0,48		[Red]	[Yellow]	[Red]	[Red]				
	Kolmossementti	440	180	0,44		[Yellow]	[Green]	[Red]	[Red]				
C35/45 P0	CEM I, Schwenk	360	190	0,53	2,0 %	[Red]	[Red]	[Black]	[Black]				
	Oiva					[Yellow]	[Green]	[Red]	[Yellow]				
	Kolmossementti					[Green]	[Green]	[Yellow]	[Yellow]				
	CEM I + 70% kuonaa					[Green]	[Green]	[Green]	[Green]				
C35/45 P30	CEM I, Schwenk	380	190	0,50	5,0 %	[Black]	[Red]	[Black]	[Red]				
	Oiva	400	190	0,48		[Red]	[Yellow]	[Red]	[Red]				
	Kolmossementti	440	180	0,41		[Yellow]	[Green]	[Red]	[Red]				
C35/45 P50	CEM I, Schwenk	440	180	0,41	5,5 %	[Black]	[Red]	[Black]	[Red]				
	Oiva	450	180	0,40		[Red]	[Yellow]	[Red]	[Red]				
	Kolmossementti	485	170	0,35		[Yellow]	[Green]	[Red]	[Red]				
C45/55 P50	CEM I, Schwenk	460	180	0,39	4,5 %	[Black]	[Red]	[Black]	[Red]				
	Oiva	470	180	0,38		[Red]	[Yellow]	[Red]	[Red]				
	Kolmossementti	500	170	0,34		[Yellow]	[Green]	[Red]	[Red]				



Suunnittelijan toimenpiteet

Suunnittelija voi vaikuttaa:

- Betonilaatuun rajoitetusti (lujuusluokka, P-luku)
 - Vältettävä ylimitoitusta
- Laadunvarmistusikään (28 vs. 91 vrk)
 - Riippuu monesta tekijästä
 - Urakoitsijan tarpeet huomioitava

Suunnittelija arvioi tarvitaanko varaukset jäähdytysputkille

- Toteutetaan tarvittaessa

Suunnittelijan ei tule:

- Määrätä betonin:
 - Sementtilaatus
 - Sementtimäärää
- Tavanomaisessa tapauksessa määrätä jäähdytysputkistoja rakenteeseen

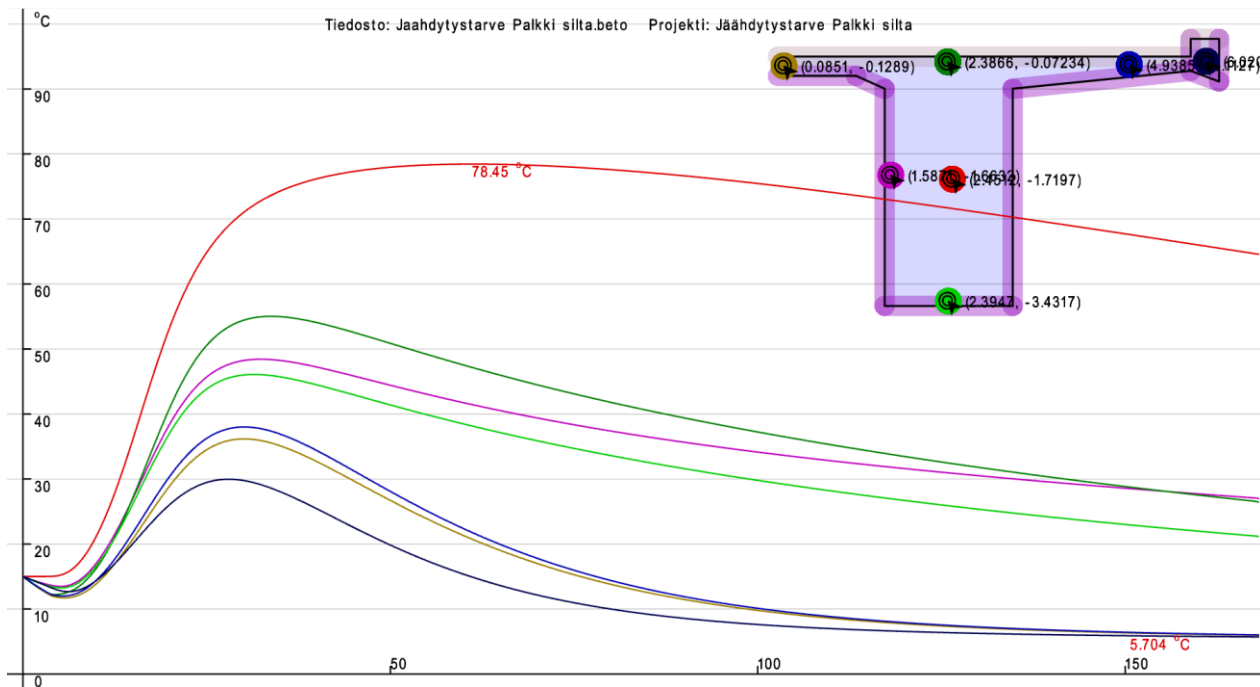
Urakoitsijan toimenpiteet

- Urakoitsija arvioi etukäteen laskennallisesti rakenteen lämpötilat (maksimi-arvo ja lämpötilaero).
- Laskenta yleensä yhteistyössä betonin valmistajan kanssa hyödyntäen:
 - Valettavan rakenteen tarkat tiedot
 - Betonin koostumus
 - Olosuhteet
- Urakoitsija harkitsee yhdessä betonin valmistajan kanssa eri mahdollisuudet lämpötilojen hallintaan
- Urakoitsija tekee päätöksen mahdollisen jäähtymisen käytöstä

Urakoitsija vastaa rakenteen lämpötilojen pysymisestä annetuissa rajoissa

Yhteistyö suunnittelijan urakoitsijan ja betonin valmistajan välillä on erittäin tärkeää

Esimerkkejä jäädytyksestä, palkkisilta

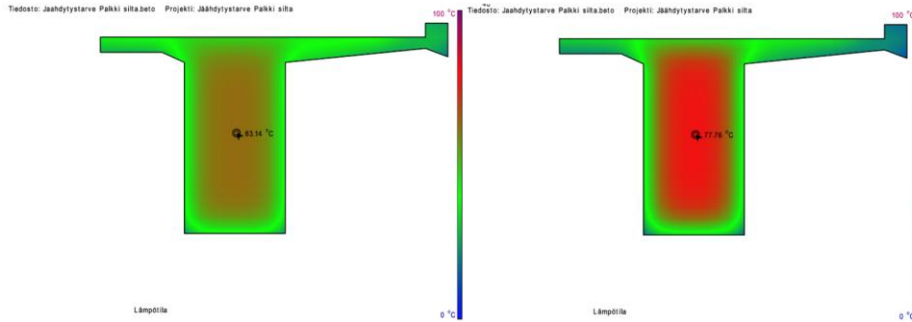


- C55/67 P50
- CEM III/A + Silika
- Betoni: +15°C
- Ilma: +5°C

Lämpötilat ilman
jäädytystä:

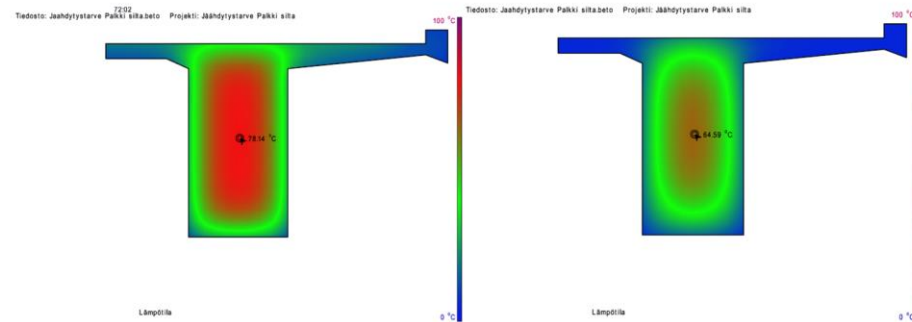
- Max. +78°C
- Ero: >60°C

Esimerkkejä jäähtytyksestä, palkkisilta

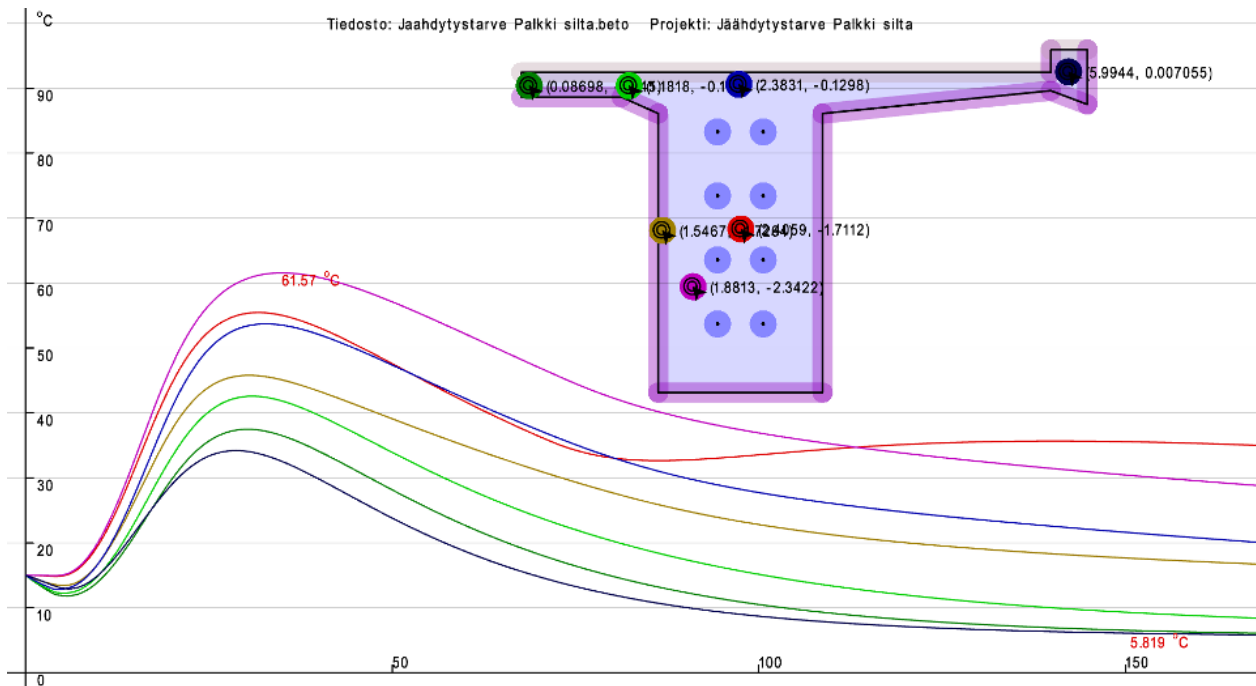


Lämpötilajakaumat:

- 1 vrk
- 2 vrk
- 3 vrk
- 7 vrk



Esimerkkejä jäädytyksestä, palkkisilta



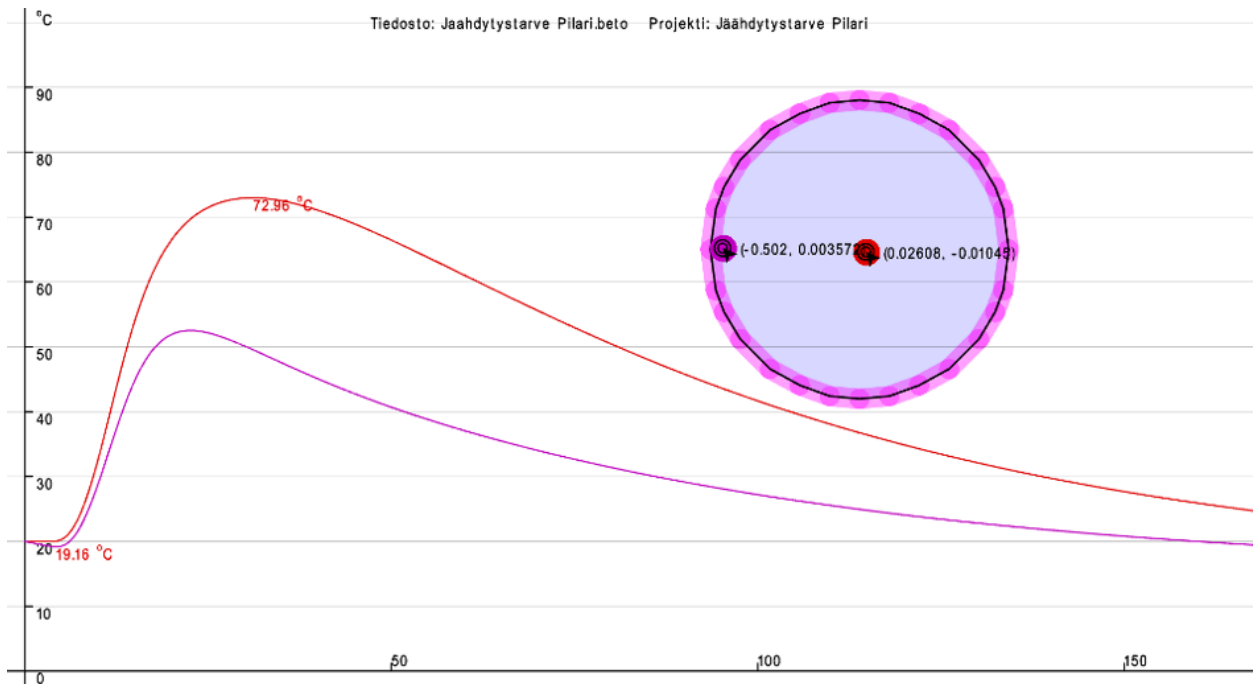
Jäähdytysputket

- 6 kpl, l = 50 m
- +8,5°C
- Virtaus: 1 m/s

Lämpötilat jäähdytyksellä:

- Max. +61°C
- Ero: noin 30°C

Esimerkkejä jäädytyksestä, siltapilari

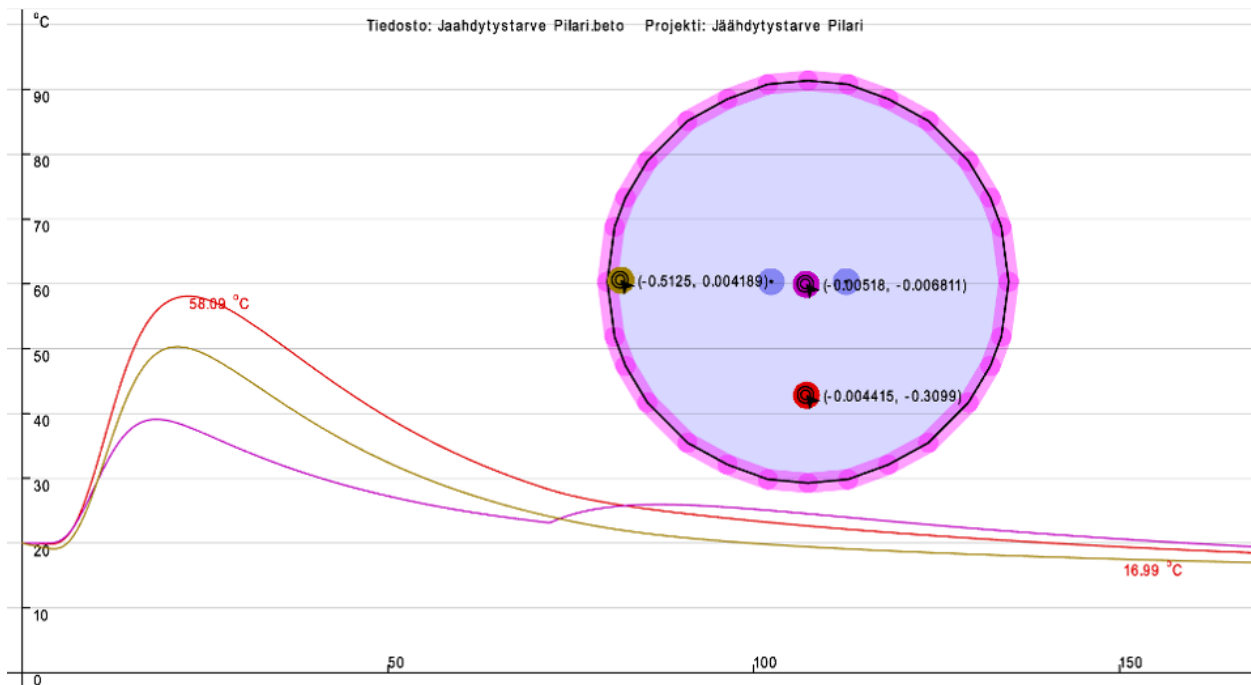


- D = 1100 mm
- C35/45 P50
- CEM II/B
- Betoni: +20°C
- Ilma: +15°C

Lämpötilat ilman
jäädytystä:

- Max. +73°C
- Ero: noin 20°C

Esimerkkejä jäädytyksestä, siltapilari



Jäädytysputket

- U-lenkki
- Vesi: +20°C
- Virtaus: 1 m/s

Lämpötilat jäädytyksellä:

- Max. +58°C
- Ero: < 20°C

Yhteenveto

Jäähdytystä tullaan käyttämään entistä useammin infrarakenteissa

1. Suunnittelija arvioi jäähdytystarpeen
 - Tarvittaessa suunnitelmiin varaukset putkistoille
2. Urakoitsija tekee päätöksen jäähdytyksen käytöstä
 - Perustuu ennakkolaskelmiin, yhteistyössä betonin valmistajan kanssa
3. Tarvitaan yhteistyötä suunnittelijan, urakoitsijan ja betonin valmistajan kesken

BY:n ja Väyläviraston ohje julkaistaan vuoden -24 aikana

- Jatkossa InfraRYLiin

Ohje ei sisällä ohjeistusta jäähdytysputkistojen mitoittamiseen

Jouni Punkki

040 5778764

jouni.punkki@betoniviidakko.fi

