



LÄMMITYSKAAPELI BETONIN TALVIVALUSSA

SUUNNITTELU- JA ASENNUSOHJEET



LÄHTEET

1. Kestävä Kivitalo, Talvibetonointi, 1999, 27 s. ISBN 952-5075-23-0
2. Kone-Ratu 07-3031, Rakennustieto Oy (syyskuu 1995)
3. Betoninormit 2004 by 50, Suomen Betoniyhdistys r.y ISBN 978-952-5765-01-4
4. Lämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta, TTY tutkimusraportti, Virpi Leivo, Jukka Rantala (2005)
5. Lisämateriaalit: www.betoninkovetus.fi

Tekstit: Pistesarjat Oy

Yhteistyössä: Pentti Lumme, Petri Manninen - Rudus Oy

Kuvat: Heikki Hämäläinen - Pistesarjat Oy

Kolmas painos

2019 © Pistesarjat Oy. Kaikki oikeudet pidetään.

Tämä ohje pitää sisällään yleistiedon betonivalun lämmityskaapeleiden käytöstä ja suunnittelusta. Betonivalun lämmityskaapelit eli BET -lämmityskaapelit ovat tarkoitettu betonin nopeamman lujudenkehityksen saavuttamiseen, betonin lämpimänä pitoon sekä valun jälkeiseen betonin kuivattamiseen. BET -lämmityskaapelit ovat tarkoitettu erityisesti talvibetonointiin.

Ohje ei käsittele muuntajakäyttöisen lankalämmityksen ohjeistusta. Muuntajakäyttöinen lankalämmitys on soveltuva laajempiin valuihin langan edullisemmän hankintahinnan ja säädettävyyden takia, mutta langoituksen käytön erikoisosaamisen sekä suuren työmäärän takia sen käyttö on vähentynyt.

SISÄLLYS

1	Lyhenteet ja erikoissanasto	7
2	Yleistä betoninkovetuskaapeleista.....	8
3	Talvibetonointi	10
	Betonin mahdollinen vaurioituminen väärän lämpötilan takia	13
4	Lämpötilan ja betonilaadun vaikutus betonin lujuudenkehitykseen.....	14
5	Lämmityskaapelin käyttö betonivalun lämmityksessä	19
6	Lämmityskaapelin käyttö betonivalun jälkeisessä kuivatuksessa	21
7	Lämmityskaapelin mitoitus	21
8	Lämmityskaapelin asennus.....	26
	Betonointivaiheet.....	28
	Pilarit.....	29
	Seinät	29
	Palkit.....	29
	Anturat.....	30
	Laatat	30
	Elementtisaumat	30
9	Sähköistyksen riittävyys.....	31
10	Virhetilanteet ja turvallisuus.....	31
11	Tehdyt kokeet ja tulokset	33
12	Talvibetonoinnin lisäaineet.....	41
13	Yhteenveto.....	42

Käytetyt lyhenteet ja erikoissanasto

BET®	Betoninkovetuskaapeli
W/m	Kaapelin teho pituusyksikköä kohden
Lämmitysteho	Tarvittava ulkoinen lämmitysteho betonikuutiota kohden, laskennallinen (kW/m ³)
Ettringiitti	Betonin liian korkean lämpökäsittelyn seurauksena trikalsiumalumiinaatin ja kipsin välisen reaktion tuotteena syntyvä yhdiste, joka on tilavuudeltaan moninkertainen lähtötuotteisiin nähden
Hydrataatio	Sementin ja veden välinen reaktio, jolloin muodostuu sementtikivi, joka sitoo runkoaineen rakeet toisiinsa
Hydrataatiolämpö	Sementin hydrataatiossa kehittyvä lämpö
Lämpökäsittely	Betoni katsotaan lämpökäsitellyksi, jos <ul style="list-style-type: none">- betonimassan lämpötila betonoitaessa on korkeampi kuin + 40 °C tai- lämpötilan nousu kovettumisvaiheen aikana on suurempi kuin 25 °C tai- lämpötila kovettumisvaiheen aikana nousee korkeammaksi kuin + 50 °C.
Kaapelimäärä	Koko rakenteeseen käytetty kokonaiskaapelimäärä
Kaapeliväli / kaapelijako	Kahden vierekkäisen lämmityskaapelin asennusväli rakenteessa
Peruslämpötila	Kahden vierekkäisen langan keskivälistä 50 mm syvyydellä sisäpinnasta mitattu lämpötila, ohuemmissa rakenteissa mittaus keskeltä rakennetta
BET -keskus	BET kaapelilämmitykseen kehitetty 12 kpl kytkentärasian virransyöttökeskus mikä on varustettu merkkivaloilla, termostaateilla, erillisillä sulakkeilla sekä vikavirtasuojalla.

YLEISTÄ BETONINKOVETUS- KAAPELEISTA

2

Yleistä betoninkovetuskaapeleista

BETONINKOVETUSKAAPELIN ETUJIA OVAT MUUN MUASSA:

- Nopeuttaa kylmänä aikana tapahtuvaa valutyöskentelyprosessia
- Nopea ja helppo tapa estää betonivaluja jäätymiseltä
- Nopeuttaa muottikiertoa
- Kustannustehokas tuote ja helppo asennettavuus
- Mahdollisuus myös valun kuivattamiseen (pidemmällä lämmitysajalla)
- Asennuksen voivat tehdä myös rakennusliikkeen omat työmiehet

BET-lämmityskaapeli toimii vastuskaapelina ja käytön aikana vastuslangan sisäosa lämpiää noin 200 asteiseksi. Pinnalla oleva eristekerros suojaa lämmityskaapelin sisäosaa ja alentaa lämpötilan lämmityskaapelin eristeen pinnalla noin 60 asteiseksi. BET-lämmityskaapelit asennetaan yleensä raudoitusta hyväksikäyttäen betonivalun sisään. Betonin lämmityskaapelit eivät sovellu myöhemmässä vaiheessa (valmiissa rakennuksessa) käytettävään lämmittämiseen.

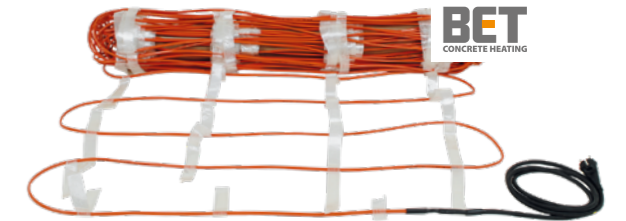
BET-lämmityskaapeli liitetään kaapelin toisesta päästä valovirtapistotulpalla verkkovirtaan (230V). Lämmityskaapelin tehot ovat yleisesti noin 40W/m. Pituudet vaihtelevat 3,3 metristä aina 85 metriin saakka.

Saatavissa on myös lisävarusteita, kuten työmaakeskus. Betoniin asennettavan anturin avulla BET-työmaakeskus pysyy säätelemään lämmitystehoa. Keskus on vikavirtasuojattu ja jokaiselle rasiolle on oma sulakkeensa. BET-asennusmatto on suunniteltu nopeuttamaan kaapeleiden asennusta suurilla valukentillä. Käyttämällä valmista asennusmattoa voidaan asennusvaiheessa säästää jopa 30% aikaa verrattuna perinteiseen asennukseen. Tuote soveltuu myös seinävaluihin. Työmaalla säästyy sekä aikaa että rahaa, kun valutyöt nopeutuvat.

BET Eco-kaapelissa jokaisessa kaapelissa kide, mikä rajaa valun maksimilämpötilaksi +30 °C. Tämä ominaisuus säästää sähköä kun tehdään isoja valuja ja kaapeleita on paljon. BET Eco-kaapeli ei tarvitse erillistä ohjauskeskusta, vaan jokainen kaapeli on itsestään ohjautuva. Tämä mahdollistaa lämmityskaapelin käytön myös ohuemmissa valuissa, missä muuten olisi vaarana valun ylikuumentuminen.



BET-kaapeli



BET-asennusmatto

Tyyppi	Pituus (m)	Teho (W)	Ohm/m
BET 3,3/130	3,3	130	122,5
BET 10/380	10	380	14,02
BET 20/735	20	735	3,58
BET 35/1400	35	1400	1,04
BET 55/2200	55	2200	0,437
BET 85/3200	85	3200	0,196

BET-kaapeleiden tyypillisiä pituuksia ja tehoja

3

TALVIBETONOINTI



Jään ja lumen poisto höyryn avulla.

Talvibetonointi

Betonointi kylmissä olosuhteissa asettaa suunnittelulle, toteutuksella ja valvonnalle erityisvaatimuksia. Kovettuvan betonin lujuudenkehitys riippuu suuresti betonin lämpötilasta. Betonin tavoitelujuus saavutetaan 28 vrk:n kuluttua valusta lämpötilan ollessa 20. Lämpötilan ollessa korkeampi (kuitenkin alle 60 °C) tavoitelujuus saavutetaan nopeammin ja puolestaan matalammassa lämpötilassa lujuuden kehitys kestää kauemmin.

Pääsääntöisesti voidaan todeta että kovettuakseen betoni tarvitsee aina lämpöä. Jäätymiseltä voidaan suojautua erilaisilla lisäaineilla mutta riittävä kovettumislämpötila on saavutettava jotta päästään haluttuihin kovustavoitteisiin halutussa ajassa. Ympäristön lämpötila ja tuulen voimakkuus vaikuttavat merkittävästi betonin lämpötilaan ja lujuuden kehitykseen.

Betonin sitoutuminen hidastuu voimakkaasti lämpötilan laskiessa. Betonin lämpötilan laskiessa 10 °C asteeseen lujuuden kehitys hidastuu jo huomattavasti. Kun betonin lämpötila jää 5 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 pysyy paremmin vastaanottamaan kutistumisesta aiheutuvia vetojännityksiä. Oikeanlaiset talvibetonointitoimet ovatkin välttämättömät, jotta vältetään betonin vaurioitumiselta.



Eriste asennetaan tiiviisti valua vasten. Eristeiden asentamisen jälkeen laitetaan vielä suojapeitteet päälle.

Talvibetonointiin varautuminen

- varmista betonimassan valinnalla olosuhteisiin riittävä lämmön ja lujuuden kehitys
- tarvittaessa betonin lujuusluokan nosto ja nopeasti kovettuvien betonilaatujen käyttö
- varmista valualustan ja liittyvien rakenteiden riittävä lämpötila, lisälämmitys kylmäsiltojen kohdille
- lumen ja jään poisto
- valuun tarvittava lisä- ja varalämmitys
- valun suojaus
- tarvittava valvontakalusto, esim. betonin lämpötilan mittaukseen
- lujuuden kehityksen seuranta

Betonin mahdollinen vaurioituminen väärän lämpötilan takia

Talvibetonoinnissa tärkeintä on, ettei betoni pääse jäätymään ennen kuin se saavuttaa riittävän jäätymislujuuden. Jos betoni pääsee jäätymään ennen kuin jäätymislujuus 5MPa saavutetaan, jäätyksen seurauksena betoniin syntyy näennäislujuutta, mikä saattaa olla jopa luokkaa 20 MPa. Sulaessaan betonista katoaa näennäislujuus ja vaarana on rakenteiden vaurioituminen tai jopa sortuma.

Heti valun jälkeen jäätymään päässeet betonirakenteet vaurioituvat ja lujuuskato on luokkaa 20 %, joillakin betoneilla jopa 50–80 %. Talvibetonoinnissa täytyy turvautua lämmityksen käyttöön yhdessä nopeasti kovettuvien betonien ja kuumabetonin kanssa.

LÄMMITYKSESSÄ TÄYTYY HUOMIOIDA:

- lämmitettävän betonin lämpötila ei saa nousta yli 60 asteen
- yhtenäisen massan eri kohtien lämpötilaerot eivät saa ylittää 20 astetta
- betonimassan lämpötilan tulisi olla yli 10 astetta, jotta betonin kovettuminen olisi tehokasta
- optimilämpötila betoninlujuuden kehitykselle on 30–40 astetta

Lämpötilan nostaminen yli 50–60 asteen eli lämpökäsittely lisää yhden vuorokauden lujuuksia, mutta alentaa yleensä jo yli vuorokauden ikäisen betonin lujuusominaisuuksia.

Lämpökäsittely, joka on aloitettu liian varhaisessa vaiheessa ja liian korkealla lämpötilalla, voi häiritä sementin normaalia hydrataatiota. Tämän takia yli 60 asteen lämpötiloja ei suositella. Korkean kovettumislämpötilan seurauksena kovettuneeseen betoniin voi myöhemmin kiteytyä ettringiittikiteitä, jotka laajentuessaan yhdessä suuren lämpökäsittelyn vuoksi syntyneiden mikrohalkeamien kanssa aiheuttavat halkeilua. Myöhemmässä vaiheessa lopullisen rapautumisen voi aiheuttaa esimerkiksi pakkas-, kemiallinen-, tai dynaaminen rasitus. [3 s. 127]

Lämmityksen jälkeinen betonin jäähtyminen tulisi tapahtua maltillisesti. Liian nopea betonin jäähtyminen aiheuttaa betoniin halkeilua. Nyrkkisääntönä voidaan pitää 300 mm vahvalle betonille 30 asteen jäähtymistä vuorokauden aikana. Puolen metrin paksuiselle rakenteelle vastaava arvo on n. 20 astetta ja kaksi metriä paksussa rakenteessa n. 10 astetta. [3 s. 127]

Talviaikana betoni jäähtyy toimituksen aikana jopa 7 °C ja tämä tulee huomioida lämmityksen suunnittelun ja betonin tilauksen yhteydessä. Tuuli ja ilmavirrat jäädyttävät myös osaltaan betonia ja siksi betonoinnin jälkeen pinta tulee eristää huolella ja riittävästi. Betonointia tulee varmistua jään ja lumien poistosta, jotta tartunnat teräksiin ja ympäröiviin rakenteisiin voidaan saavuttaa. Muottiin jätetty lumi ja jää alentavat myös betonimassan lämpötilaa.

Viivästynyt lujuudenkehitys saattaa aiheuttaa vaurioita ja suuria taipumia varsinkin muotin purun yhteydessä, jollei asiaa ole huomioitu ennalta. Vauriot ja taipumat heikentävät rakenteiden kantavuuksia. Erityisen haitallista tämä on eniten kuormitetuilla alueilla, kuten laattojen ja palkkien puoliväleissä sekä tukialueilla.

4

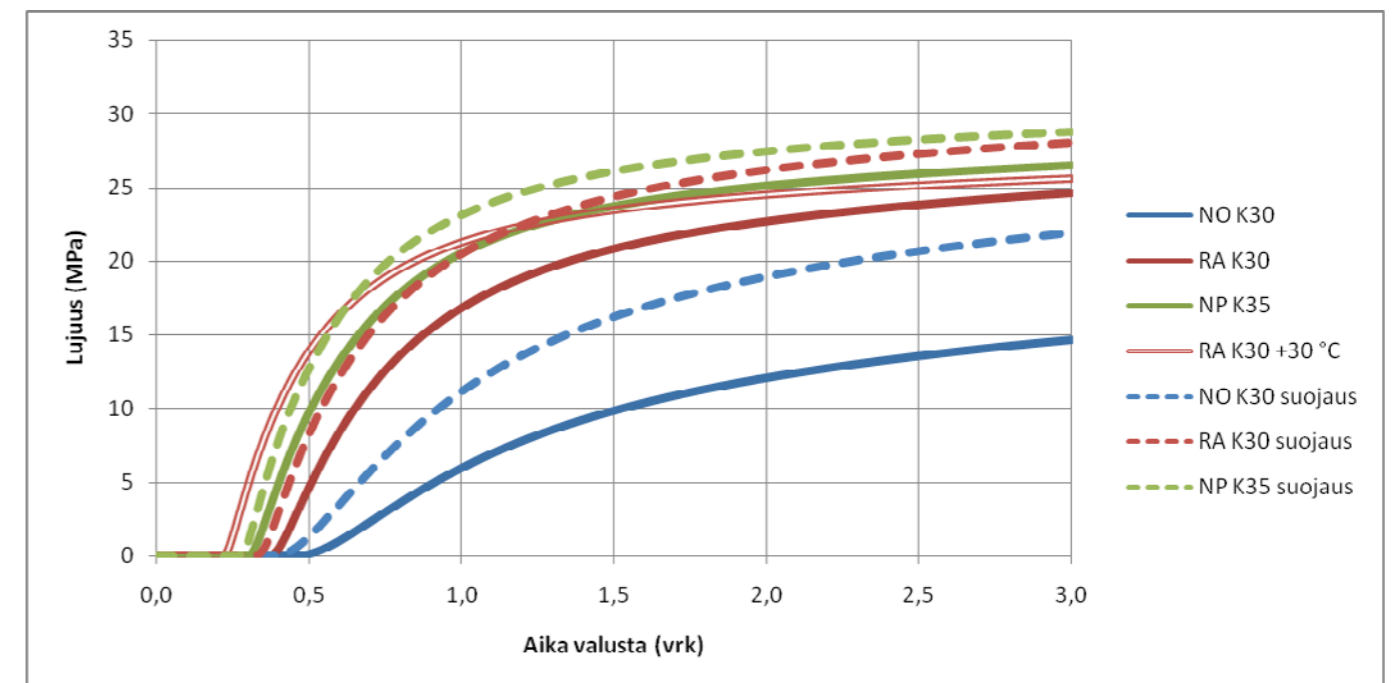
VAIKUTUS BETONIN LUJUUSKEHITYKSEEN

Lämpötilan ja betonilaadun vaikutus betonin lujuudenkehitykseen

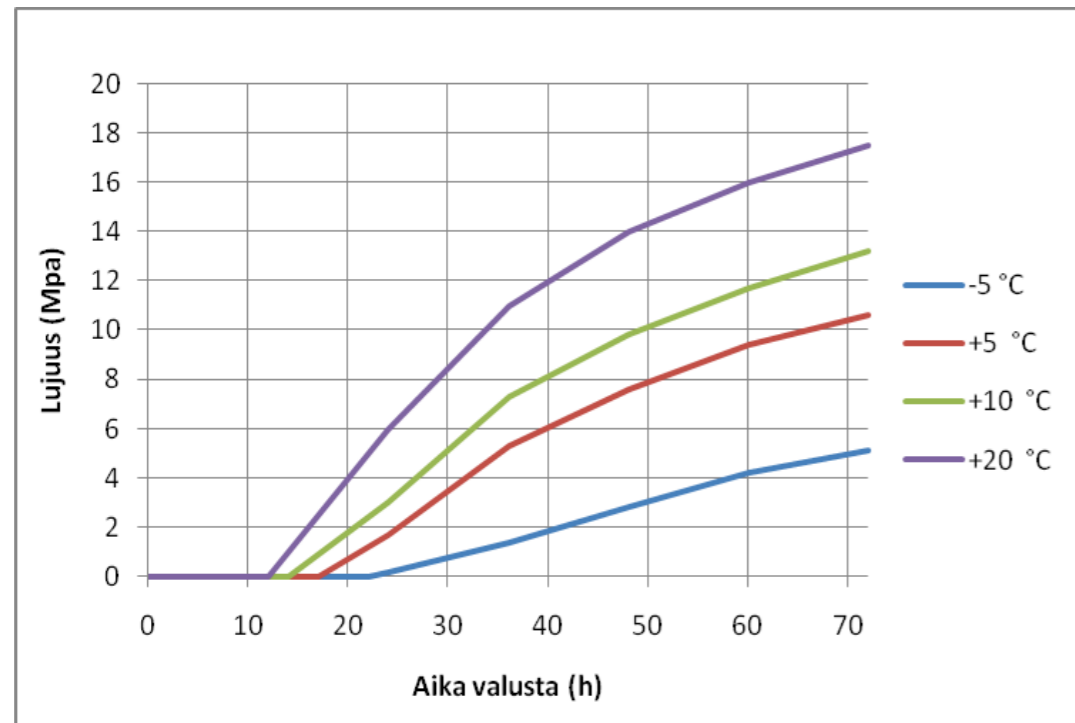
Lujuudenkehitys valun alkutunteina (0-10 tuntia) on hyvin hidasta, sillä hydrataatioreaktio ei ole vielä päässyt täyteen vauhtiin ja tällöin betonimassan lämpötilaa tulee pitää yllä. Kuumabetonin käyttö on tämän vuoksi kannattavaa valettaessa kylmällä. Lujuudenkehitys puolestaan valun alkuvuorokausina (1-5 vrk) on suurta, kun lämpötila vain on riittävä. Silloin, kun halutaan saavuttaa muotin purkulujuus mahdollisimman nopeasti, tulee valuun tuoda riittävästi lämpöä nimenomaan valun ensimmäisinä vuorokausina.

Kun ympäristön lämpötila laskee selvästi alle -5:n asteen, kannattaa rakenteissa käyttää lisälämmitystä ja suojausta. Jos rakenteet ovat ohuita voivat lämmitys- ja suojaustoimenpiteet olla tarpeen korkeammissakin lämpötiloissa.

Erikoisbetoneita, kuten nopeammin päällystettävää betoni-laatua käytettäessä, holvivaluja voidaan tehdä onnistuneesti alhaisissakin lämpötiloissa. Tällöin massiivisen välipohjalaatan hydrataatiolämpö pystyy pitämään rakenteen lämpötilan riittävän korkeana betonin nopeaan lujittumiseen.



300 mm paksun paikallavaluholvin lujuudenkehitys, kun ilman lämpötila on -5 °C, muottivaneri 22 mm. Betonimassan lämpötila +20 °C (lukuun ottamatta RA K30 +30 °C). Suojausvaihtoehdossa 6 mm eristepeite holvin yläpinnalla, holvin alapuolinen tila lämmitetty +15 °C.



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

Betonin lujuudenkehitysnopeuteen voidaan vaikuttaa betonilaadun valinnalla, kuten betonin lujuusluokan nostolla ja nopeasti kovettuvan betonin käytöllä. Holvi- ja lattiavaluissa nopeammin päällystettävien betonilaatujen käyttö on järkevää, koska nopeamman lujuudenkehityksen lisäksi nämä betonilaadut kuivuvat päällystyskuntoon selvästi tavanomaisia betonilaatuja nopeammin. Ympäristön lämpötila ja tuulen voimakkuus vaikuttavat merkittävästi betonin lämpötilaan ja lujuuden kehitykseen. Betonin sitoutuminen hidastuu voimakkaasti lämpötilan laskiessa. Betonin lämpötilan laskiessa 10 asteeseen lujuuden kehitys hidastuu jo huomattavasti.

Kun betonin lämpötila jää 5 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.





Lämpötilan seurantalaitte, 4-kanavainen datalogger

Lujuuden saavuttamisen varmistaminen

Muotin purkulujuutena pidetään yleensä 60 % betonin tavoitelujuudesta, ellei viranomainen tai suunnittelija toisin vaadi. Lujuudenkehitystä tulee valvoa lämpötilamittauksilla tai muilla luotettavilla keinoilla. Kovettuvan betonimassan lämpötilaa varsinkin ensimmäisinä vuorokausina on syytä tarkkailla 1-3 tunnin välein, jotta saadaan varma tieto siitä millaisessa lämpötilassa kovettuminen on tapahtunut ja mikä betonin lujuus kulloinkin on. Kriittisiä alueita lämpötilatarkkailulle ovat betonin pinta, kylmäsiltojen läheiset osat ja ulkonurkat.

Lämpötilan mittaaminen rakenteista on helpointa ohjelmoitavilla dataloggereilla, jotka tallentavat mitatun lämpötilan rakenteesta esimerkiksi tunnin välein. Rakenteeseen tutkitaviin kohtiin valun aikana asennetut termoelementtilangat kytetään dataloggerin kanaviin, joista saadaan mitattua lämpötila-arvoja. Lämpötilaa voidaan mitata myös termolangoista siihen soveltuvalla lämpötilamittarilla. Lämpötilat tulee sitten kirjata ylös tietyn ajanjakson välein, jotta betonin lujuutta voidaan arvioida.

LÄMMITYSKAAPELIN KÄYTTÖ BETONIVALUN LÄMMITYKSESSÄ

5

Lämmityskaapelin käyttö betonivalun lämmityksessä

Betonivalun lämmityskaapelin etuna on, että lämmitys voidaan kohdistaa tarkasti haluttuihin rakenteisiin ja rakenteiden osiin. Muottikierto nopeutuu, kun betoni saadaan kovettumaan lämmityksen ansiosta nopeammin. Lämpö tuodaan rakenteeseen sisältäpäin, jolloin rakenteen lämpötila saadaan kohoamaan kohtuullisella energiamäärällä, ilman että lämmitetään turhaan muita rakenteita tai tiloja. Lämmitysaikaa voidaan myös pitää yllä tarvittaessa pidempäänkin, jolloin saadaan myös rakenteet kuivumaan nopeammin. BET-lämmityskaapeleiden etuna ovat helppo kuljetettavuus ja varastointi. Asennuksen työmäärä ja -kesto riippuu oleellisesti lämmitettävän rakenteen geometriasta.

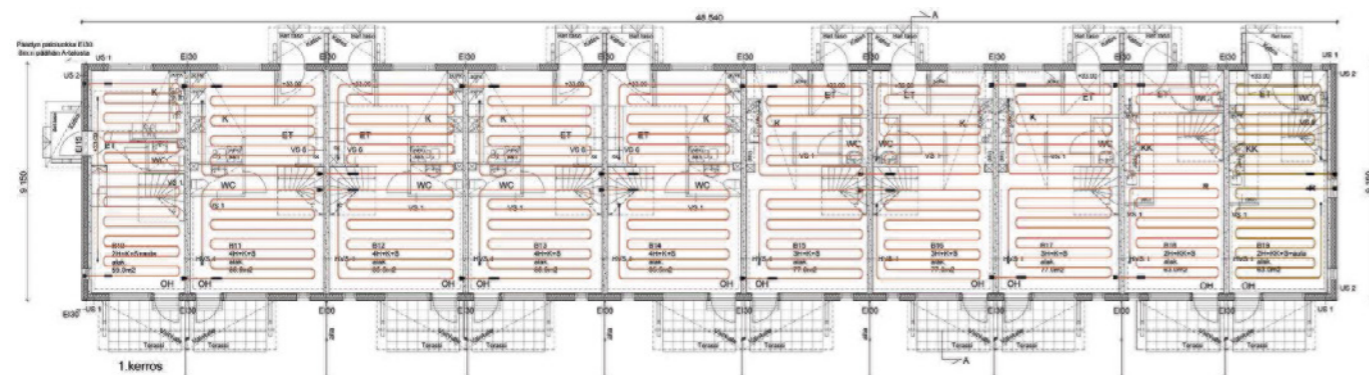
Erityisen hyvin lämmityskaapeli soveltuu pilareihin, uloke-laattoihin, maata ja kalliota vasten valettaessa sekä reunapalkkeihin. BET kaapelilämmitystä voidaan käyttää myös muiden lämmitysjärjestelmien apuna, esimerkiksi reuna-alueilla ja kylmäsiltojen kohdilla. Kaapelilämmityksen lisäksi suotava käyttää myös lisäeristystä ja suojaamista.

Betonin kaapelilämmitystä ei suositella avoimiin, suojaamattomiin laajapintaisiin tai massiivisiin rakenteisiin. Suojaamattomissa laajapintaisissa rakenteissa lämpötilaerot saattavat aiheuttaa halkeiluriskin etenkin ohuissa rakenteissa. Avoin betoninpinta luovuttaa lämpöenergiaa, kun taas rakenteen keskellä lämpötila nousee kaapelilämmityksestä. Edellistä ongelmaa voidaan hallita betoninpintaan levitettävällä eristysmatolla. Liian nopea kuivuminen lisää myös halkeiluriskiä. Massiivisissa rakenteissa puolestaan suuri betonin määrä itsessään kehittää jo niin paljon hydrataatiolämpöä, ettei se tarvitse välttämättä enää ulkopuolista lämmitystä.

Kaapelilämmitys ei sovellu valettaessa teräsmuoteilla pakkasella. Sitä ei myöskään kannata käyttää rakenteissa, joilta vaaditaan erityistä vedenpitävyyttä. Betonilämmityskaapelia käytettäessä tulee myös huomioida lämmityskaapelimäärän oikeanlainen suunnittelu, jotta lämmitystehot eivät jää liian pieniksi tai etteivät lämpötilat nouse liian suuriksi (>60 °C).

BET-LÄMMITYSKAAPELIA VOIDAAN KÄYTTÄÄ KAIKENLAISIIN PAIKALLA VALETTAVIIN RAKENTEISIIN:

- Anturat
- Pilarit
- Palkit
- Seinien alaosat
- Ulokkeet
- Elementtien saumat ja kylmät reunat
- Kylmää betonia, kalliota tai maata vasten valettavat rakenteet
- Lattiavalualueiden reuna-alueet



Esimerkkikohteen pohjakuva

6 & 7

BETONIVALUN KUIVATTAMINEN

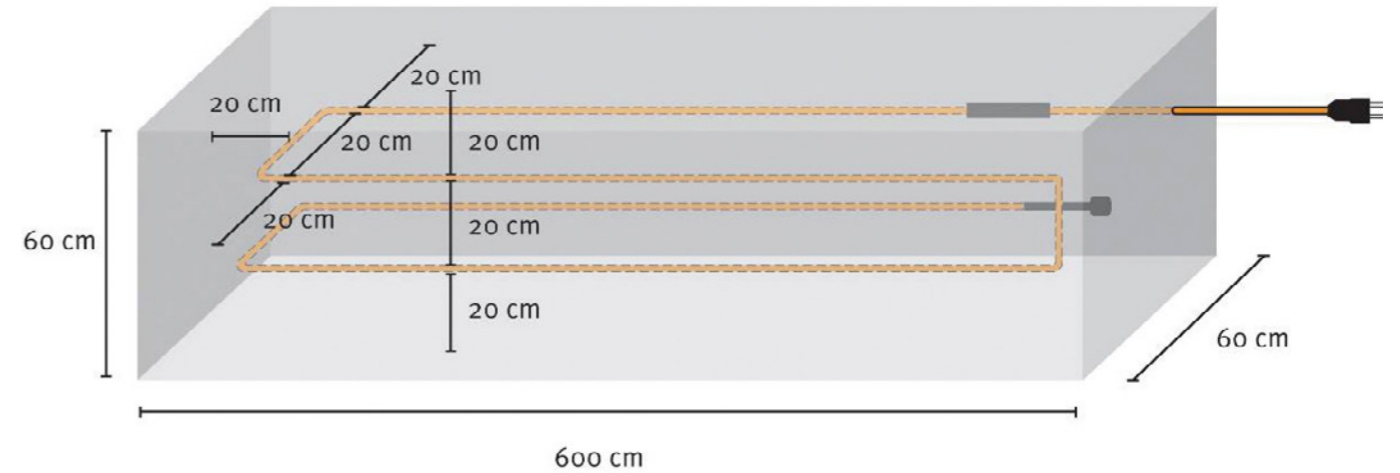
KAAPELIN MITOITUS

Lämmityskaapelin käyttö betonivalun jälkeisessä kuivatuksessa

Pitämällä BET- lämmityskaapelia päällä pidempään, mitä muotin purkulujuus vaatii, saadaan rakenteen kuivamista nopeutettua. Paljonko rakenteen kuivaminen nopeutuu, riippuu muun muassa rakenteen geometriasta, betonilaadusta, kuivamisolosuhteista, eristepinnoista ja pinnoittamisesta sekä kuivatusajasta. Betoni kuivuu nopeammin kaapelin kohdalta, joten kosteusmittaus tulee suorittaa lämmityskaapeleiden puolivälin kohdalta.

Betonirakenteiden hidas kuivuminen on kauan pidentänyt työmaan valmistumisaikaa. Nykyään yhä kiristyvät rakennusajat, sekä rakenteisiin jäävän kosteuden mahdollisesti aikaansaamat sisäilmaongelmat luovat kasvavan tarpeen betonin tehokkaammalle kuivattamiselle. Tutkimme kuivumisen nopeuttamista yli kolme vuotta ja nyt tulokset ovat valmiina, säästäten kuivumisaikaa jopa -50%.

Pitämällä BET- lämmityskaapelia päällä pidempään kuin mitä muotin purkulujuus vaatii, saadaan rakenteen kuivamista nopeutettua. Kuinka paljon kuivuminen nopeutuu, riippuu muun muassa rakenteen geometriasta, betonilaadusta, kuivamisolosuhteista, eristepinnoista ja pinnoittamisesta sekä kuivatusajasta. Betoni kuivuu nopeammin kaapelin kohdalta, joten kosteusmittaus tulee suorittaa lämmityskaapeleiden puolivälin kohdalta.



BET-lämmityskaapelin sijoittaminen rakenteeseen

Lämmityskaapelin mitoitus

LÄMMITYKSEN MITOITTAMISEEN TARVITTAVIA LÄHTÖTIEITOJA:

- Arvioitu ulkolämpötila
- Vaadittu kovettumisaika ja -lujuus
- Betonimassan maksimilämpötila
- Muottien tyypit
- Suojauksen lämmöneristävyyttä
- Rakenteiden jakaantuminen valueriin
- Lujuuden kehityksen valvonta
- Kalustorajoitukset, esim. sähköistyksen riittävyys

Yleisenä lämmityskaapelin asennusvälinä käytetään 100 mm-250 mm riippuen betonivalun tarvitsemasta lisälämmitystehosta. Mitä tiheämmin kaapeleita on sijoitettu, sitä suurempi lämmitysteho saadaan tuotua rakenteeseen. Tarvittavaan lämmitystehoon vaikuttaa oleellisesti myös valettavan osan paksuus. Yleisenä ohjeena voidaan pitää, että lämmityskaapeliväli saa enintään olla 2 kertaa rakenteen paksuus. Pienin taivutussäde lämmityskaapelilla on 35 mm ja minimi lämmityskaapeliväli 70 mm. Betonimassan lämpötilan nosto ei saa ylittää 5 °C/h.



Lämmityskaapeleiden sijoituksessa erityishuomiota tulee kiinnittää rakenteen kylmimpiin kohtiin, kuten ulkonurkkiin, heikommin eristettyihin pintoihin ja kylmiä pintoja vasten oleviin rakenteisiin. Betonin sisäiset lämpötilaerot eivät saa ylittää 20 astetta, eikä betonimassan lämpötila saa ylittää 60 °C.

Lämmitysteho lämmityskaapelilla on lähes vakio: noin 40 W/m. Lämmitystehoa säädelläänkin tämän vuoksi betoniin laitettavalla lämmityskaapelimäärällä eli asennustiheydellä. Riittävästä suojauksesta on myös huolehdittava valettaessa. Suojauksella varmistetaan myös lämmitystehon riittävyys kovallakin pakkasella sekä se tasoittaa kohteen mahdollisia sisäisiä lämpötilaeroja.

ESIMERKKILASKELMA: VAAKAVALU

- Mittaa ja laske **valun** pinta-ala neliömetreinä (m²)
- Vaakavalussa käytetään 20 cm asennusväliä, jolloin menekki on noin 5-6 metriä per neliömetri

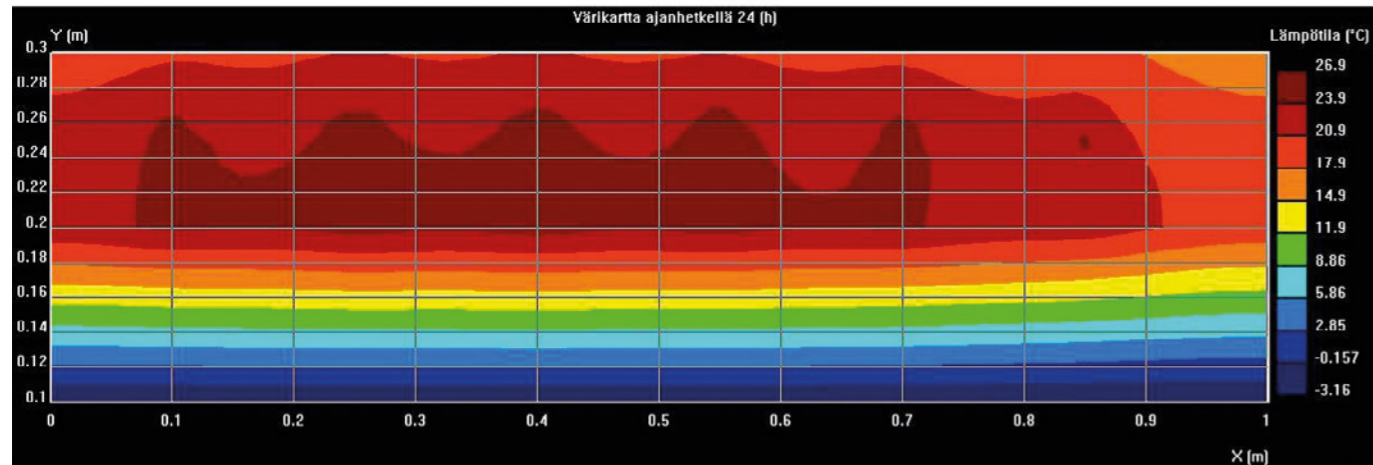
$$m^2 \times 5$$

Elementtisaumat vaativat erityisen huolellista suunnittelua ja kovilla pakkasilla ovat haasteellisia lämmittää pelkällä betonilämmityskaapelilla suuren kylmäsilta-alansa vuoksi. Yleisenä mitoitusarvona keskimääräisenä lämmitystehoina käytetään T-saumassa 200 W/saumametri ja päittäissaumassa 100 W/saumametri.

ESIMERKKILASKELMA: PILARIVALU

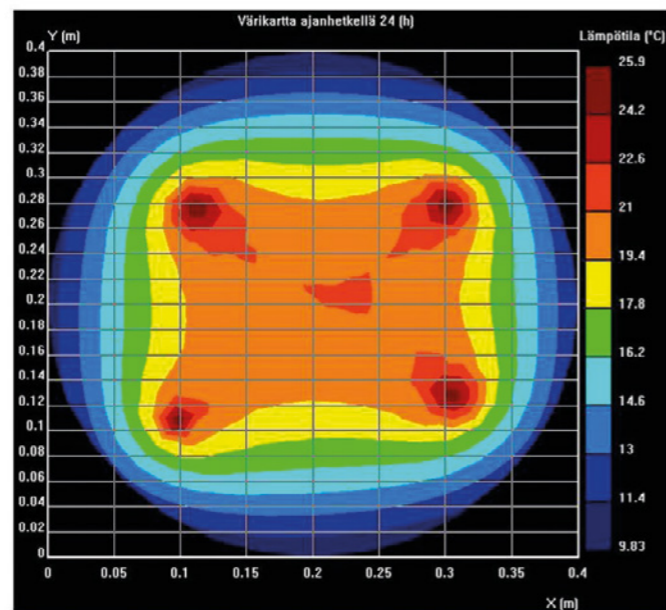
- Raudituksen** sivu, leveys (L), senttimetreissä
- Raudituksen** toinen sivu, syvyys (S), senttimetreissä
- Pilarin** korkeus (K) senttimetreinä
- Pilarivalussa asennusväli on 15 cm

$$\frac{(L \times 2 + S \times 2) \times (K/15)}{100}$$



Esimerkki pintalaatan lämpöjakaumasta

Lämmityskaapeleiden asennustiheys voidaan määrittää ennakkoon tarkemmin mm. BetoPlus-tietokoneohjelmalla, jolla voidaan lämmönkehityksen lisäksi laskea lujuudenkehitys erilaisissa betonointiolosuhteissa. Ohjelman toiminnan perusajatuksena on mallintaa betonirakenne ympäristöineen, jolloin kaikki betonin sekä lämmön- että lujuudenkehitykseen vaikuttavat tekijät ovat riittävällä tarkkuudella hallittavissa. Lujuudenlaskenta tapahtuu todellisten, käytetyn betonisuhteituksen osamäärien perusteella. Kunnollisella suunnittelulla vältetään betonin alimitoitettu tai liiallinen lämmitys. Lämmityskaapeleiden vaikutusta voidaan myös seurata kovettuvassa betonissa termolankojen ja dataloggerin avulla. Kerättyjen tietojen avulla pystytään BetoPlus-ohjelmalla laskemaan lujuudenkehitys. BetoPlus-ohjelmalla voidaan siis suunnitella ennakkoon tai seurata valun aikana ja sen jälkeen lämmityskaapeleiden vaikutusta kovettuvan betonin lämmön- ja lujuudenkehitykseen. [1, s. 9]



BET[®]-KAAPELIN MITOITUSLASKURI

Betoninkovetuksen erikoissivustolta löydät mm. BET -kaapelilaskurin, jolla saat nopeasti laskettua kaapelin todellisen tarpeen.

Voit valita käyttökohteen mukaisen valutyypin joko "pilarivalu" tai "lattiavalu". Lisäksi syötät vain mitat ja laskuri laskee suuntaa-antavan kokonaistarpeen kaapelimetreinä. Laskurin tulos on suuntaa-antava menekkilaskuri. Todellinen menekki on arvioitava kohteessa ympäristön olosuhteet huomioon ottaen.

BET-TARVELASKURI

Valitse valutyyppi **BET -TARVE**

1. sivun pituus

2. sivun pituus

Pilarin korkeus

200m

www.betoninkovetus.fi

LÄMMITYSKAAPELIN ASENNUS

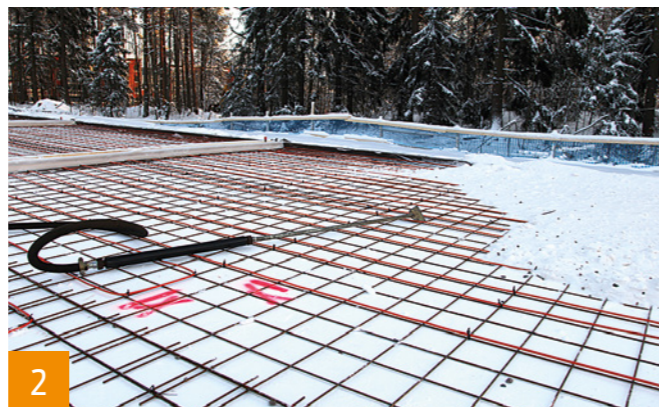


BET-lämmityskaapelin kiinnittäminen raudoitusverkkoon nippusiteillä

Lämmityskaapelin asennus

1. Säilytä lämmityskaapelikiepit lämpimässä tilassa. Lämpökaapelin alin käsittelylämpötila on $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Asennus myös helpottuu kun lämmityskaapeli on notkeampi.
2. Tarkasta että lämmityskaapeli on suunnitellun mukainen sekä mittaa että vastus on toleranssialueella (Ω), sekä eristysvastus ($M\Omega$) maahan. Vastusmittaus tarkoittaa vastusmittarilla lämmityskaapelin vastuksen mittaamista, jotta se on valmistajan ilmoittaman suuruinen. Eristysvastuksen mittaaminen puolestaan vaatii erillisen mittalaitteen. Eristysvastusmittauksella on tarkoitus varmistaa, että lämmityskaapeli on turvallinen käyttää (läpilyönnin estäminen).
3. Kela lämmityskaapeli auki ja kiinnitä suoraan nippusiteillä tai muilla BET-lämmityskaapelia rikkomattomilla kiinnikkeillä verkkoon/teräkseen vähintään 20 cm:n välein. Varmista, että lämmityskaapeli on riittävän jämekästi kiinni kauttaaltaan. Pingoita kaapelia kevyesti asennettaessa välttyksesi kaapelin ”pullistumisilta”.
4. Lämmityskaapeli (lämmitysosa) ja sen kylmäpäiliitos on oltava kokonaisuudessaan betonivalun sisällä. (ks. kuva sivulla 23)
5. Lämmityskaapelia ei saa missään tapauksessa asentaa ristikkäin ja pienin sallittu asennusväli on 70 mm.
6. Lämpökaapeli on asennettava niin, että se ei joudu kosketuksiin eristeaineen, polyuretaanin, EPS:n (styroksin), lasivillan tai vastaavien aineiden kanssa.
7. Varmista sähköistyksen riittävyys, että pistotulpalle tulee sähkö ja että käytetty jatkojohto on riittävän vahva. Vikavirtasuojajatkimen toimivuus tulee myös varmistaa. Jos käytössäsi on BET -keskus, jokaisen pistorasian led-merkkivalon on oltava päällä kun virran syöttö on kytketty.
8. Tarkasta BET-lämmityskaapeli vielä uudestaan ennen betonointia, että vastus on toleranssialueella (Ω), sekä eristysvastus ($M\Omega$) maahan.
9. Lämmityskaapeli kytketään päälle vasta valun tapahduttua (ennen valua saa lämmityskaapelin kytkeä päälle vain lyhytaikaisesti, mahdollista tarkistusta varten tai kylmissä ($< -15\text{ }^{\circ}\text{C}$) olosuhteissa hetkellisesti lämmityskaapelin eristeen rikkoutumisen estämiseksi ja asennuksen helpottamiseksi).

Lämmityskaapelin asennus



Talvibetonoinnin vaiheet BET-lämmityskaapeilla: 1. BET-lämmityskaapelin asennus 2. Jään ja lumen sulatus 3. Betonin valu, jonka jälkeen BET-lämmityskaapelit kytetään päälle 4. Valun suojaaminen.

ASENNUKSESSA HUOMIOITAVIA ASIOITA:

- Asennus vain palamattomia rakenteita vasten sähköturvallisuusmääräysten mukaisesti
- Lämmityskaapelit eivät saa koskettaa muotin pintaa, yleensä vähintään 20 mm turvaväli
- Pystylämmityskaapelit kestävät betonointia paremmin
- Varauduttava johtimen katkeamiseen tai rikkoutumiseen
- Mietittävä mahdollisesti tarvittava varalämmitysjärjestelmä
- Varalangoitus kriittisiin kohteisiin missä suojaaminen muutoin mahdotonta
- Kytentäjohdot järkevään paikkaan
- Lämmityskaapelit eivät saa olla kosketuksissa toisiinsa, minimi asennusväli 70 mm
- Liitosjohdon ja lämmitysosan välinen liitos betonin sisään
- Kiinnittäminen johtoa rikkomattomilla tavoilla esim. nippusiteillä

Lämmityskaapelin asennus

8.1 PILARIT

Pilareissa on lämmityskaapelilla pääsääntöisesti kaksi vaihtoehtoista asennustapaa: spiraalille tai pystysuuntaisesti pilarin nurkkiin (tarvittaessa tiheämminkin). Yleisesti pilarien lämmityskaapelin asennukseen menevä aika normaalikokoisella (korkeus 3 m) pilarilla on luokkaa 10-15 min/pilari. Kylmäsiltojen kohdat tulee huomioida erityisen tarkkaan kun lämmityskaapelia asennetaan pilareihin ja pilastereihin. Kylmäsiltojen kohdissa tulisi käyttää tihennettyä lämmityskaapelijakoa. Pilareita valettaessa täytyy myös huomioida kaapeleiden mahdollinen rikkoutuminen esimerkiksi varalangoituksella.

Pilareita valettaessa tulisi käyttää nopeasti kovettuvan betonin lisäksi kuumabetonia. Pilarin yläosa täytyy suojata heti valun jälkeen, jotta lämpöhukkaa ei tulisi. Etenkin kylmää rakennetta tai maata vasten valettaessa tulee käyttää alaosassa lisälämmitystä ja -eristystä. Lämpötilaa tulee seurata rakennesuunnittelijan määrittämän lujuuden saavuttamiseen saakka.

8.2 SEINÄT

Seinän liittyessä kylmiin pintoihin tihennetään lämmityskaapeliväliä 70-150 mm. Ellei muutoin ole mahdollista järjestää lisälangoitusta, käytetään reunasilmuksia lisälangoituksena. Etäisyys muotin pinnasta tulee olla yli 20 mm ja vanhasta kovettuneesta betonista yli 50 mm. Alle 200 mm paksuuden seinissä kaapelit asennetaan vain seinän toiseen pintaan ja yli 200 mm vahvoissa seinissä kaapelit sijoitetaan tasaisesti molempiin pintoihin. Lämmityskaapelit pyritään kiinnittämään sisäpinnan raudoitukseen, jos kaapelit asennetaan vain yhteen seinäpintaan.

Seiniä valettaessa tulisi käyttää nopeasti kovettuvan betonin lisäksi kuumabetonia. Seinän yläosa täytyy suojata heti valun jälkeen lämpöhukan estämiseksi. Etenkin kylmää rakennetta tai maata vasten valettaessa tulee alaosassa käyttää lisälämmitystä ja -eristystä. Lämpötilaa tulee seurata rakennesuunnittelijan määrittämän lujuuden saavuttamiseen saakka.

8.3 PALKIT

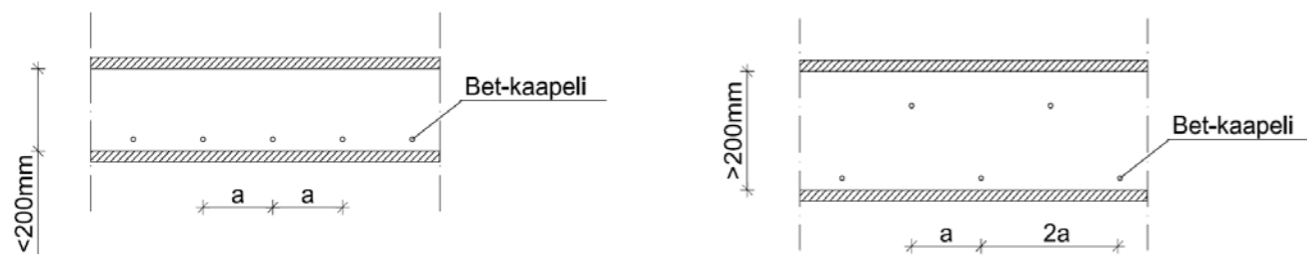
Lämmityskaapelit asennetaan suoraa kaapelointia käyttäen. Lämmityskaapeleiden asennus tapahtuu vastaavasti kuin pilareillakin.



Lämmityskaapeloinnin asentaminen pilariin, vaihtoehtoisesti lämmityskaapelit voidaan sijoittaa pystyyn.

ASENNUSDEMONSTRAATIO

Osoitteesta www.betoninkovetus.fi löydät BET-asennusvideon. Videon kautta pääsee myös englannin- ja venäjänkielisiin versioihin.



Betonin lämmityslangan sijoitus seinissä ja laatoissa, huomioitava myös reunoissa reunasilmukat

8.4 ANTURAT

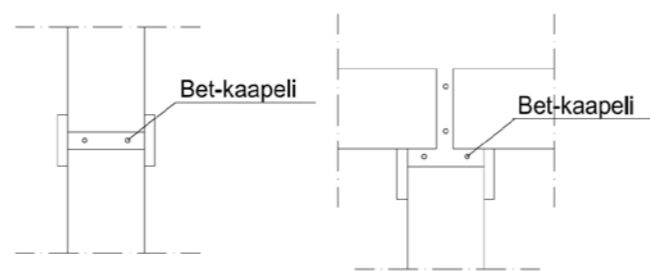
Silmukat sijoitetaan rakenteen pohjalle ja ulkokulmiin, sekä tarvittaessa sivuille ja yläpintaan. Pohjan ollessa kylmä lämmityskaapelit asennetaan 100–200 mm välillä. Anturat tulee valaa vain sulatetulle ja lämmitetylle alustalle. Rakenteet ovat yleensä melko massiivia, joten betonin oman lämmönkehityksen hyödyntäminen on kannattavaa. Anturoissa tulisi käyttää nopeasti kovettuvaa betonia tai kuumabetonia. Tehokas lämpösuojaus heti valun jälkeen. Lämpöeristettyjä muotteja on hyödyllistä käyttää, jos sellaisia on saatavilla. Betonin lujuuden saavuttaminen on varmistettava, esimerkiksi lämpötilaseurannalla kriittisistä kohdista.

8.5 LAATAT

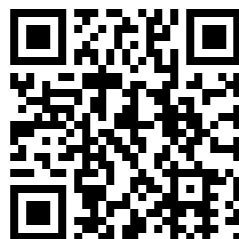
Lämmityskaapelit kiinnitetään riittävän tiheään, jotteivät ne betonoinnin aikana painu kiinni laatan alapintaan. Yli 200 mm laatoissa lämmityskaapelit sijoitetaan kahteen kerrokseen. Valutila tulee suojata siten, etteivät ilmavirrat pääse jäädyttämään valettavaa betonia. Rauditus ja muotit kannattaa pitää suojattuina jäältä ja lumelta ennen valua. Betonin jälkihoidosta ja pinnankäsittelystä on syytä huolehtia myös talvella. Lämpötilaa pitää seurata rakennesuunnittelijan määrittämän lujuuden saavuttamiseen saakka.

8.6 ELEMENTTIENSAUMAT

Elementtiensaumoissa on suuri kylmäsilta, minkä takia ei ole suositeltavaa lämmittää saumaa yksistään BET-lämmityskaapelilla kovilla pakkasilla. Esimerkiksi -5 asteinen päittäissauma vaatii yli 160 W/saumametri. Tällöin ongelmaksi muodostuu lämmityskaapeleiden mahtuminen saumaan ja lämpötilaerojen suuruus. Yleisenä mitoitusarvona käytetään keskimäärin T-saumassa noin 200 W/saumametri ja päittäissaumassa noin 100 W/saumametri (maksimi lankamäärä, joka mahtuu), kuitenkin jokainen kohde on suunniteltava erikseen. Lämmityskaapelit sijoitetaan 80–100 mm välein. Lämmityskaapeleiden pysymiseen juotoslaastissa tulee kiinnittää erityistä huomiota.



Betonilämmityskaapelin sijoitus päittäis- ja T-saumoissa



Katso asennusvideo:
www.betoninkovetus.fi

9 & 10

SÄHKÖISTYKSEN
 RIITTÄVYYS

VIRHETILANTEET JA
 TURVALLISUUS

Sähköistyksen riittävyys

Etenkin laajempia valuja suunniteltaessa pitää huomioida työmaan sähköistyksen riittävyys. Jatkojohtoja käytettäessä täytyy huolehtia, että johdinpinta-ala on riittävä, sillä lämmitys on päällä pitkään yhtäjaksoisesti. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi 85 m pitkän lämmityskaapelin (tehontarve 3200W) kanssa on käytettävä ulkokäyttöön tarkoitettua 3x2,5 mm² valovirtajatkajohtoa.

Jännite (V)	Virta (A)	Teho (kW)	Max. lämmityskaapelimäärä (m)
230	10	2,3	55
230	16	3,7	88
400	3 x 16	10,5	~83m/vaihe (251)
400	3 x 20	13,2	~104m/vaihe (313)
400	3 x 25	16,5	~130m/vaihe (392)
400	3 x 32	21,1	~167m/vaihe (501)
400	3 x 63	41,5	~326m/vaihe (987)
400	3 x 80	52,7	~418m/vaihe (1254)
400	3 x 125	82,3	~653m/vaihe (1959)
400	3 x 250	164,5	~1306m/vaihe (3918)

Maksimi lämmityskaapelimäärä, oletettu lankateho 40W/m

Virhetilanteet ja turvallisuus

Betonin lämmityskaapelit joutuvat mekaaniseen rasitukseen valun aikana ja näin ollen on mahdollista, että lämmityskaapeli vaurioituu. Lämmityskaapeleiden vauriotilanteiden varalta etenkin kovilla pakkasilla tulee olla varajärjestelmä, valun vaurioitumisen estämiseksi. Varajärjestelmän tyyppi riippuu valu kohteesta: esimerkiksi ylimääräinen lämmityskaapelilenkki betonissa tai yhden (tarvittaessa useamman) lämmityskaapelilenkin suuruiselle alueelle huputus ja lämpöpuhallin.

Asennus tulee suorittaa voimassa olevien määräysten mukaisesti. Lämmityskaapeleiden tulee täyttää voimassa olevat EU-direktiivit, kuten CE-hyväksyntä. Lämmityskaapelia suojaava piiri tulee suojata vikavirtasuojakytkimellä, jonka laukaisuvirta on max. 30 mA. Lämmityskaapeli on myös tarkistettava aina ennen käyttöä, että se on suunnitellun mukainen ja että vastus on toleranssialueella sekä eristysvastus maahan on kunnossa.

BET-lämmityskaapelia saa käyttää ainoastaan betonivalun lämmittämiseen. Kovetuskaapeli sekä syöttöjohdon ja lämmityslangan välinen liitos pitää asentaa kiinteästi valun sisään. Lämmityskaapeli ei saa ylittää liikuntasaumaa. Lämmityskaapeli on myös asennettava niin, ettei se joudu kosketuksiin palavien materiaalien kanssa esimerkiksi uretaani tai EPS -eristeiden kanssa. Betonilämmityskaapelin paikalla pysyvyydestä tulee huolehtia valun aikana.



TEHDYT KOKEET JA TULOKSET

Tehdyt kokeet ja tulokset

LABORATORIOKOE

KOEJÄRJESTELY

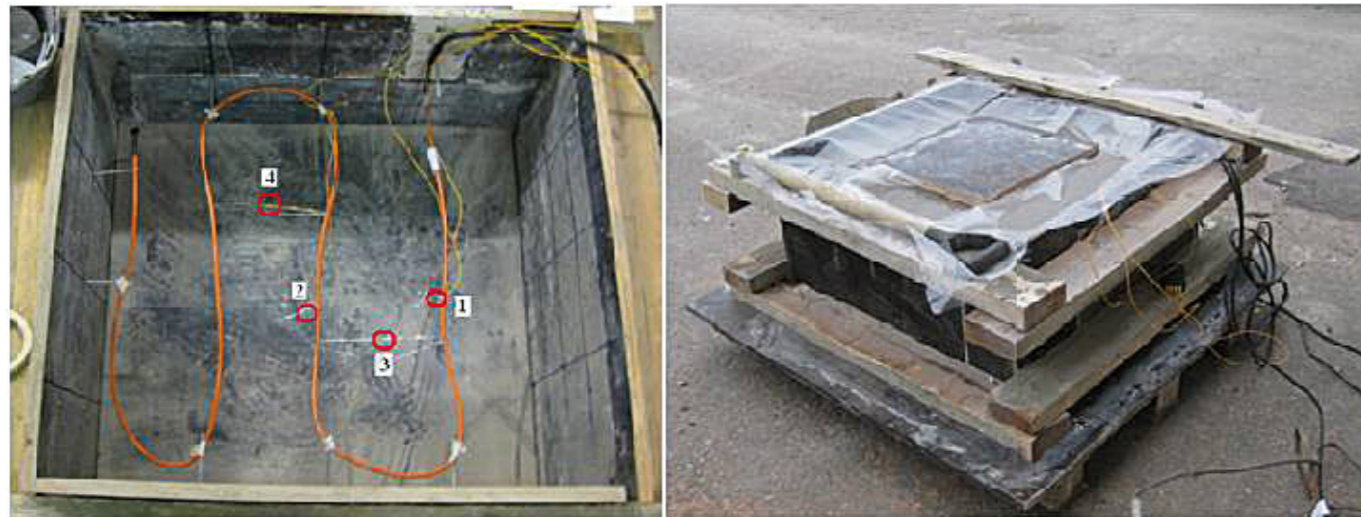
Ruduksen kehityslaboratoriossa tehtiin koe, jossa tutkittiin lämmityskaapeleiden (BET) vaikutusta betonin lämmönkehitykseen.

Tutkittavan betonirakenteen mitat (800 × 800 × 350 mm) pyrittiin valitsemaan siten, että kokeella pystyttiin simuloimaan myös suurempia rakenteita. Betonirakenteen muotti tehtiin 20 mm paksusta vanerista, jossa ei ollut eristyksiä. Lämmityskaapelit sijoitettiin kuvan 13 mukaisesti 20 cm korkeudelle muotin pohjasta k200 välein.

Lämmönkehitystä seurattiin termolangoilla neljästä kohdasta: kahdesta eri kohdasta 1 cm:n etäisyydellä lämmityskaapelista ja kahdesta eri kohdasta 10 cm etäisyydellä lämmityskaapelista (ks. alla oleva kuva). Lämmityskaapelin pituus oli 3,3 m ja teho 130 W. Betonin lujudeksi valittiin K40.

Betonimassa sekoitettiin tehtaalla, josta se kuljetettiin pyörintäsäiliöautolla rännin avulla muottiin. Muotin täyttämisen jälkeen lämmityskaapelit kytkettiin päälle ja valupinta suojattiin muovikalvolla. Betonikappaletta lämmitettiin ja säilytettiin ulkona kaksi vuorokautta.

Ulkolämpötila oli päivällä -2... -4 °C ja yöllä -5... -8 °C.

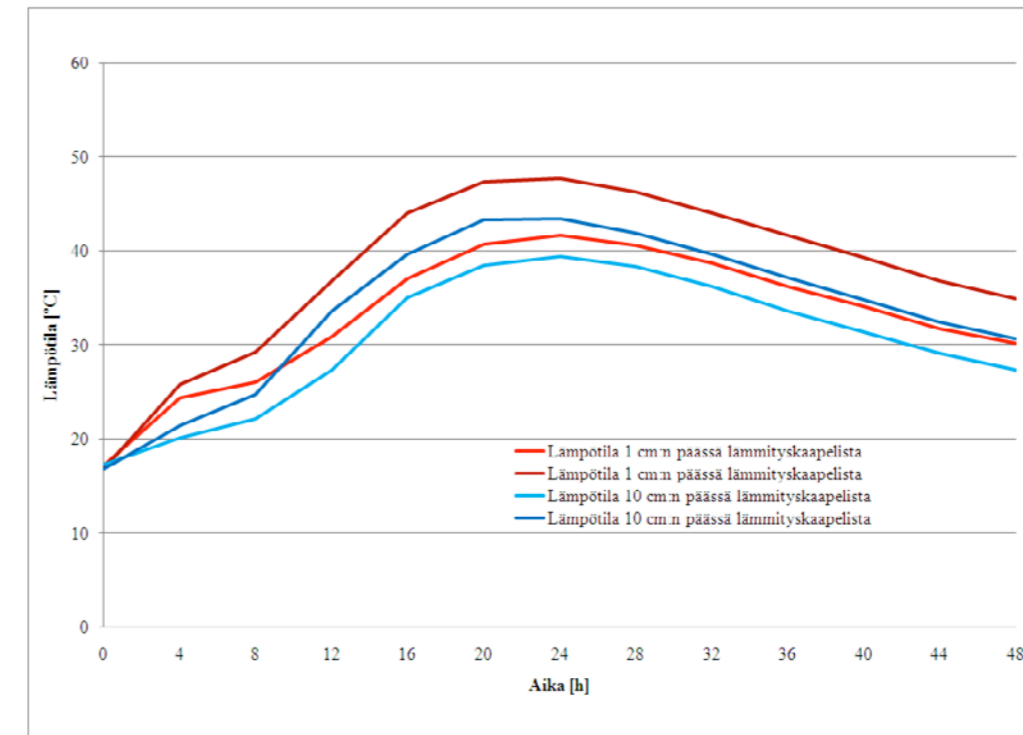


Lämmityskaapeloinnin sijoitus muottiin (vasemmalla); kappaleen säilytys pakkassäissä kaksi vuorokautta (oikealla).

LABORATORIOKOE

KOETULOKSET

Betonin lämmönkehitys tallentui dataloggeriin 10 min välein. Lämpötilatietoja kerättiin neljästä kohdasta. Lämpötilat olivat yhden senttimetrin päässä lämmityskaapelista korkeampia kuin 10 cm:n päässä. Lämmitys näyttää leviävän helposti ainakin 10 cm päähän lämmityskaapelista. Tuloksissa saattaa olla pientä vääristymää, jos termokaapeli on liikkunut halutusta kohdasta. Maksimilämpötila oli 47,7 °C:sta. Lämpötilojen avulla laskettu lujoudenkehitys oli yhden vuorokauden päästä noin 20 MPa ja kahden vuorokauden päästä noin 25 MPa.



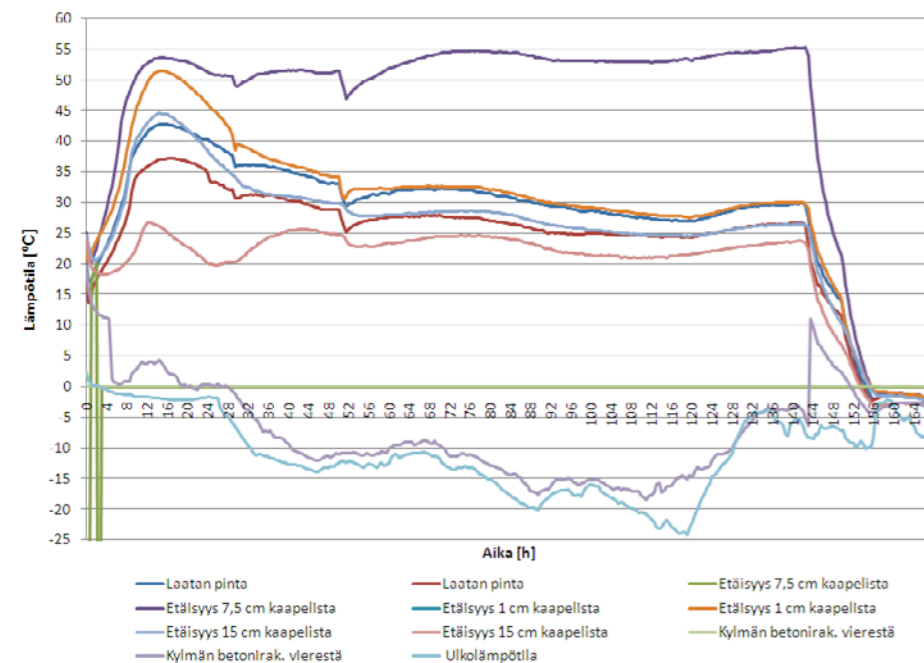
BET-lämmityskaapeleilla lämmitettävän betonikappaleen lämmönkehitys kahden vuorokauden aikana, ulkolämpötilan vaihdellissa -2 °C ja -8 °C välillä (lämmitysteho 580 W/m³).

TYÖMAAKOE 1: PINTALAATTA

KOEJÄRJESTELY

YIT:n asuinkerrostalon työmaalla käytettiin lämmityskaapeleita (BET) pintabetonilaatan lämmittämiseen. Laatta oli paksuudeltaan noin 80 mm ja se valettiin EPS-eristeen päälle. Betonirakenteen muottina toimi 50 mm vahva betonisokkeli, jossa ei ollut eristyksiä. Lämmityskaapelit sijoitettiin korkeussuunnassa keskelle k150-k300 välein, jolloin sähköteho oli 3,2-1,6 kW/m³. Lämmönkehitystä seurattiin termolangoilla kymmenestä kohdasta: 1 cm etäisyydellä lämmityskaapelista, 7,5 cm etäisyydellä lämmityskaapelista, 15 cm etäisyydellä lämmityskaapelista, aivan laatan pinnasta ja kylmän betonirakenteen vierestä. Lämmityskaapelin pituus oli 85 m ja teho 3200 W. Betonin lujuuksi valittiin K35.

Betonimassa sekoitettiin tehtaalla, josta se kuljetettiin pyörintäsäiliöautolla pumpun avulla muottiin. Muotin täyttämisen jälkeen lämmityskaapelit kytkettiin verkkovirtaan ja valupinta suojattiin 15 mm paksulla pakkasmatolla. Betonilaattaa lämmitettiin yhtäjaksoisesti kuusi vuorokautta (normaalikäytössä lyhyempi aika olisi riittänyt). Ulkolämpötilat tallennettiin erilliselle dataloggerille, jonka arvot näkyvät alla.



BET-lämmityskaapeleilla lämmitettävän pintabetonilaatan lämmönkehitys kuuden vuorokauden lämmityksen aikana (lämmitysteho 1,6-3,2 kW/m³).

TYÖMAAKOE 1: PINTALAATTA

KOETULOKSET

Betonin lämmönkehitys tallentui dataloggeriin 30 min välein. Lämpötilatietoja kerättiin kymmenestä kohdasta. Lämpötilat olivat lämmityskaapelin läheisyydessä korkeampia kuin etäämmällä. Lämmitys näyttää johtuvan helposti ainakin 15 cm:n päähän lämmityskaapelista. Tuloksissa saattaa olla vääristymää, jos termolanka on liikkunut halutusta kohdasta. Maksimilämpötila oli 55,3 °C:sta. Lämpötilojen avulla laskettu lujudenkehitys oli yhden vuorokauden päästä noin 17 MPa ja seitsemän vuorokauden päästä noin 26 MPa.

ESIMERKKI LANGOITUKSEN ASENNUSAJASTA:

- 10 huoneiston kerrostalo (1 krs.) - kokonaisala n. 400m²
- Asennettiin 20 x BET 85m/3200W -lämmityskaapelia
- Kokonaisteho n. 64Kw
- Asennusaika: 2 rakennustyömiestä * 2 työpäivää = yht. 32 tuntia

TYÖMAAKOE 2: PILARIVALU

KOEJÄRJESTELY

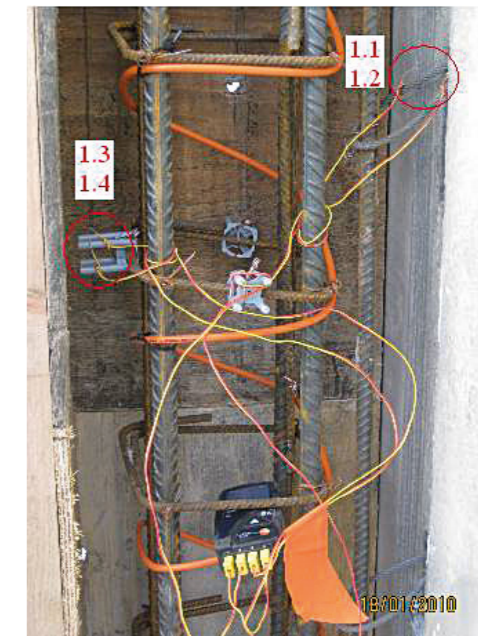
Skanskan pysäköintitilan työmaalla käytettiin lämmityskaapeleita (BET) pilastereiden lämmittämiseen.

Pilastereiden poikkileikkaus oli 250 x 250 mm ja korkeus 1600 mm. Betonirakenteen muottina toimi kolmelta sivulta vanerilevy (ei eristyksiä) ja yhdeltä sivulta kylmä ulkoseinä. Lämmityskaapelit sijoitettiin kiertämällä pystyraudoituksen ympärillä välein k200, jolloin sähköteho oli noin 3,8 kW/m³. Lämmönkehitystä seurattiin termolangoilla kahdeksasta kohdasta:

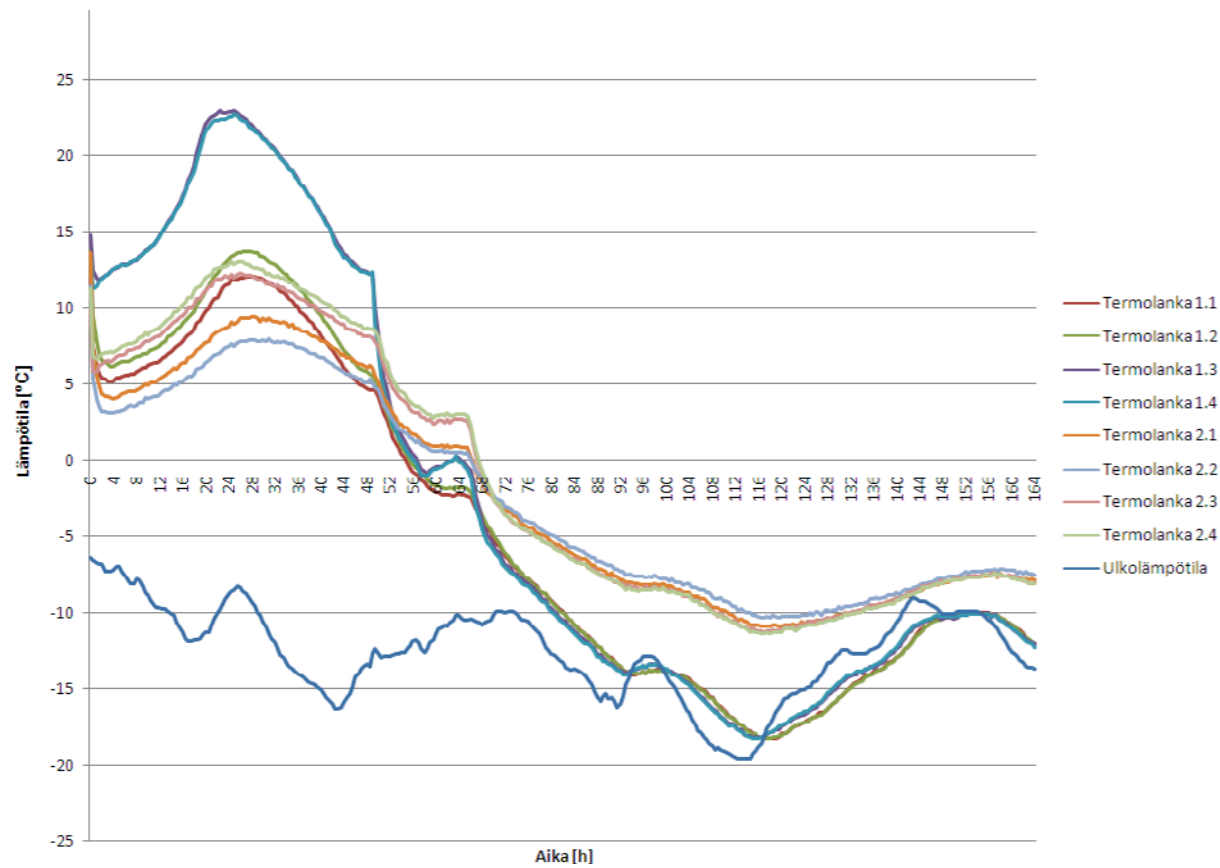
- Termolangat 1.1 ja 1.2 olivat pilasterin keskiosassa ja kylmän ulkoseinän puolella, 3 cm:n etäisyydellä kylmästä ulkoseinästä.
- Termolangat 1.3 ja 1.4 olivat pilasterin keskiosassa ja muotin puolella, 3 cm:n etäisyydellä muotista.
- Termolangat 2.1 ja 2.2 olivat pilasterin alaosassa ja kylmän ulkoseinän puolella, 5 cm:n etäisyydellä kylmästä ulkoseinästä ja 3 cm:n etäisyydellä kylmästä laatasta.
- Termolangat 2.3 ja 2.4 olivat pilasterin alaosassa ja keskellä, 2 cm:n etäisyydellä kylmästä laatasta.



Termolankojen 1.1 – 1.4 sijoitus pilasterissa



Termolankojen 2.1 – 2.4 sijoitus pilasterissa



BET-lämmityskaapeilla lämmitettävän pintabetonilaatan lämmönkehitys seitsemän vuorokauden aikana.

Lämmityskaapelin pituus oli 10 m ja teho 380 W. Betonin lujuudeksi valittiin K40. Muotin täyttämisen jälkeen lämmityskaapelit kytkettiin verkkovirtaan. Pilastereita lämmitettiin vajaa kolme vuorokautta. Ulkolämpötilat tallennettiin erilliselle dataloggerille, arvot näkyvät yllä olevassa kuvassa.

TYÖMAAKOE 2: PILARIVALU KOETULOKSET

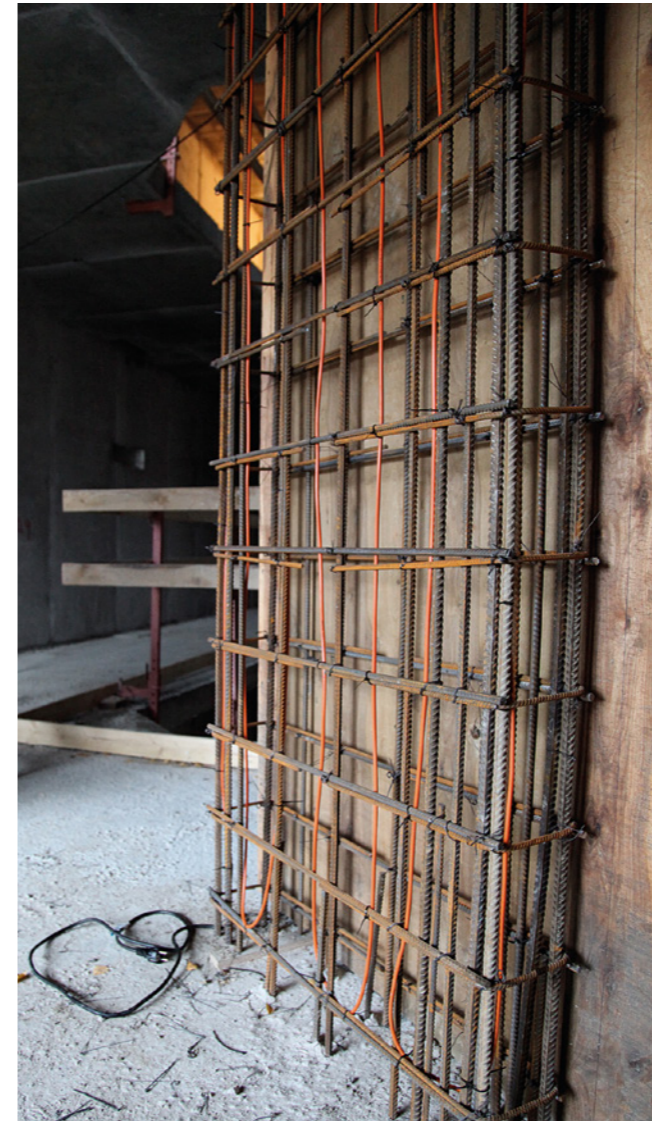
Betonin lämmönkehitys tallentui dataloggeriin 30 min välein. Lämpötilatietoja kerättiin kahdeksasta kohdasta. Lämpötilat olivat lämmityskaapelin läheisyydessä ja rakenteen keskiosassa korkeampia kuin kylmäsihtakohdissa. Kaapeleita on syytä laittaa tiheämpää kylmäsihtakohdissa. Tuloksissa saattaa olla vääristymää, jos termolanka on liikkunut halutusta kohdasta. Maksimilämpötila oli noin 23 °C:sta. Lämpötilojen avulla laskettu lujuudenkehitys oli kolmen vuorokauden päästä noin reilu 20 MPa.

TYÖMAAKOE 3: SEINÄVALU KOEJÄRJESTELY

Lemconin Pietarin työmaalla käytettiin lämmityskaapeleita (BET) lyhyen väliseinän lämmittämiseen. Seinän poikkileikkaus oli 1200 x 250 mm ja korkeus 3000 mm. Betonirakenteen muottina toimi neljältä sivulta vanerilevy (ei eristyksiä). Lämmityskaapelit sijoitettiin kiinni pystyraudoitukseen noin 200 mm välein. Lämmönkehitystä seurattiin termolangoilla kahdesta kohdasta.



Lämpötilan mittauslaite (loggeri) edestä

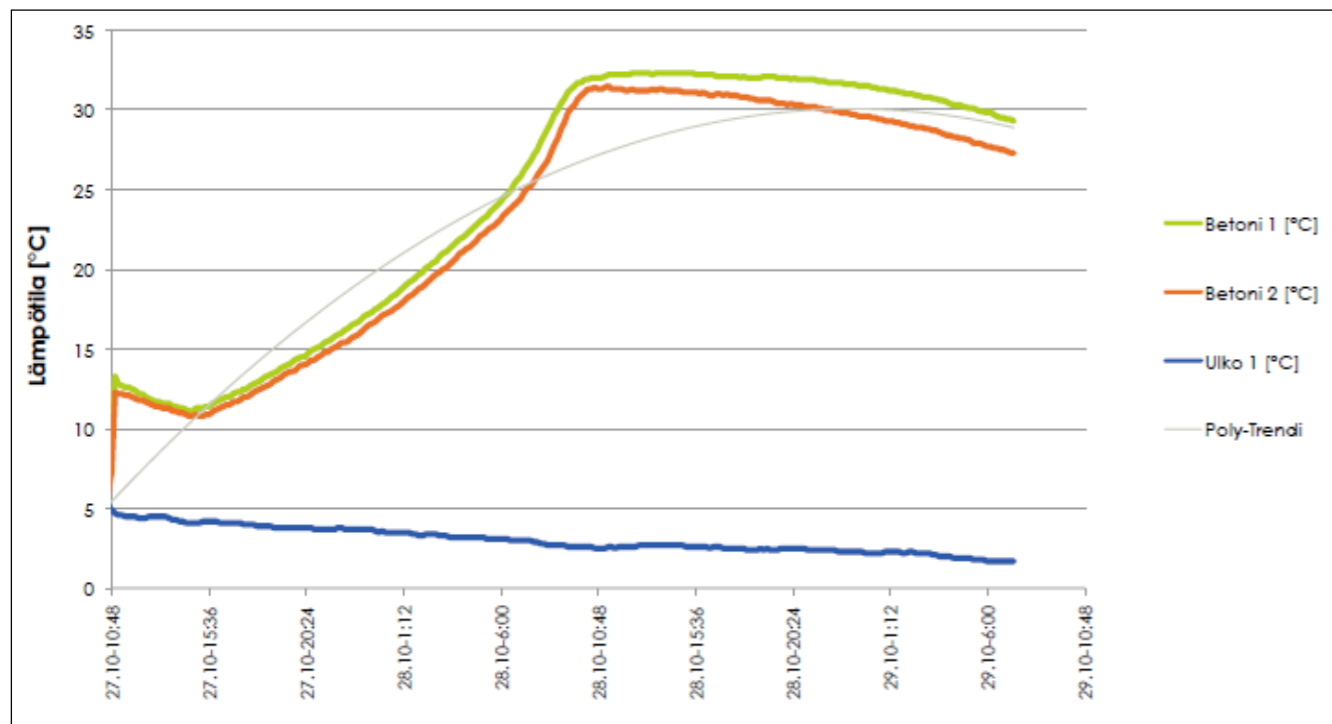


Lämpölokojen sijainnit seinässä

TYÖMAAKOE 3: SEINÄVALU

KOETULOKSET

Betonin lämmönkehitys tallentui dataloggeriin. Lämmönkehitystä tarkkailtiin 3 vuorokauden ajan. Maksimilämpötila valussa oli noin 33 asteessa ja alhaisin valun alkuvaiheessa noin 10 astetta. Ulkolämpötila pysytteli +2 °C ja +5 °C asteen välillä. Tuloksissa saattaa olla vääristymää, jos termolanka on liikkunut halutusta kohdasta.



BET-lämmityskaapeilla lämmitettävän seinän lämmönkehitys kolmen vuorokauden aikana.

Talvibetonoinnin lisäaineet

LISÄAINEET TALVIBETONOINNISSA

Kiihdyttimien käyttö on vähentynyt, sillä betonin sitoutumisen ja lujuudenkehitystä saadaan hallitummin kiihdytetyksi muilla tavoin esim. nopean sementin- tai kuuman betonin käytöllä ja alhaisella vesi-sementtisuhteella. Kun betonin lämpötilaa nostetaan kylmänä aikana tehtävässä valussa esimerkiksi BET -betoninkovetuskaapelilla noin +30 °C asteeseen, saadaan betonin kovettumisprosessia nopeutettua sen luonnollisella tavalla.

BETONIN KOVETTUMISEN NOPEUTTAMINEN

Betonin kovettumista voidaan nopeuttaa nostamalla lujuusluokkaa tai vaihtoehtoisesti voidaan alentaa vesi-sementtisuhdetta lisäaineilla. Vesi-sementtisuhteen alentaminen on periaatteessa sama asia, kuin lujuusluokan nosto. Tällä hetkellä markkinoilla ei ole riittävän tehokkaita ja ilman sivuvaikutuksia olevia kiihdyttimiä eivätkä ne korvaa ulkopuolisen lämmityksen tuomaa hyötyä betonin kovettumisen nopeuttamiseksi.

Talvivaluissa paljaat betonipinnat pitää aina eristää (paksulla suojamatolla tai eristeellä). Betonin ja betonirakenteen lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa seuraavilla tavoilla: lämmitämällä itse valua, lämmittämällä valuun liittyvät rakenteet (kylmäsillat pois), betonilaadun valinnalla sekä eristämällä/suojaamalla valu tehokkaasti pakkaselta.

SUOJAUS

Suojauksessa on tärkeää huomioida myös tuulen vaikutus niin ympäristön lämpötilaan kuin myös sen vaikutus alentavasti kohteen lämmittämiseen. Tärkeää on suojata valettava kohde tuulelta ja vedolta, jolloin valussa säilytetään betonin lämpö ja tarvittava reaktiolämpö.

LÄMMITYS

Lämmitykseen on olemassa erilaisia tapoja kuten esimerkiksi BET- Betoninkovetuskaapelit, kuumailmapuhaltimet, valualustan lämmitys ja niihin liittyvien rakenteiden lämmitys ennen valua. Erityisen tärkeää on huomioida, että lämmittäminen aloitetaan ajoissa ja sen kehittymistä myös seurataan vähintään ensimmäisen kahden vuorokauden ajan.

BETONILAADUN VALINTA

Talviaikana tehtäviin valuihin tulisi betoni laaduksi valita kuumabetoni, Rapid -laadut (7 vrk) tai korkeamman lujuusluokan betoni.

Lähde: Rudus Talvibetonointi -ohje
(www.rudus.fi/Download/24681/Talvibetonointi.pdf)

Yhteenvedo

Tämä ohje talvibetonoinnista on tehty kuvaamaan betonin lämmittämistä lämmityskaapelimenetelmällä. Teos pitää sisällään yleistiedon betonivalun lämmityskaapeleiden käytöstä, suunnittelusta ja testituloksista. Betonivalun lämmityskaapelit eli BET -lämmityskaapelit ovat tarkoitettu betonin nopeamman lujudenkehityksen saavuttamiseen, betonivalun lämpimänäpitoon sekä valun jälkeiseen betonin kuivattamiseen. BET -lämmityskaapelit ovat tarkoitettu erityisesti talvibetonointiin ja valujen nopeampaan kuivattamiseen valvotuissa ja niille soveltuvissa kohteissa sekä olosuhteissa.

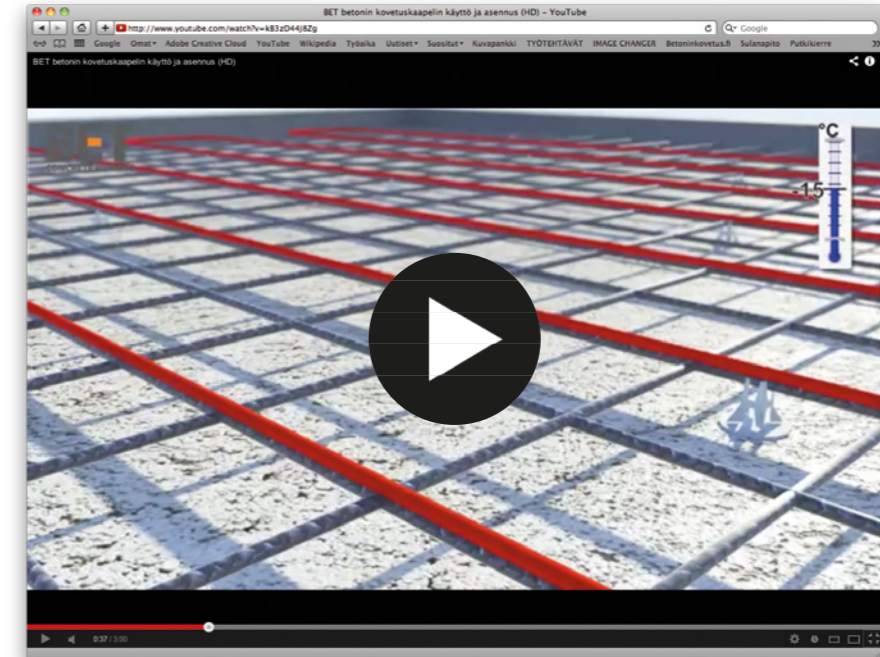
Betonointi kylmissä olosuhteissa asettaa suunnittelulle, toteutukselle ja valvonnalle aina erityisvaatimuksia. Kovettuvan betonin lujudenkehitys riippuu suuresti betonin lämpötilasta. Betonin tavoitelujuus saavutetaan 28 vrk:n kuluttua valusta lämpötilan ollessa 20 °C. Lämpötilan ollessa korkeampi (kuitenkin alle 60 °C) tavoitelujuus saavutetaan nopeammin ja puolestaan matalammassa lämpötilassa lujuden kehitys kestää kauemmin.

BET -lämmityskaapeli toimii valujen sisällä vastuskaapelina ja käytön aikana vastuslangan sisäosa lämpiää noin 200 -asteiseksi. Pinnalla oleva eristekerros suojaa lämmityskaapelin sisäosaa ja alentaa lämpötilan lämmityskaapelin eristeen pinnalla noin 60-asteiseksi. Kaapelit asennetaan yleensä raudoitusta hyväksikäyttäen betonivalun sisään. BET kaapelin rakenne ja tehomitoitus on suunniteltu eritoten betonin lämmittämiseen talvivaluissa eikä näin sovellu perinteiseen lattialämmityskäyttöön.

BET -lämmityskaapeli liitetään lämmityskaapelin toisesta päästä valovirtapistotulpalla verkkovirtaan (230V). Useamman kaapelin ratkaisuihin voidaan myös käyttää tarkoitukseen suunniteltua keskusta missä on huomioitu virransyöttö, vikavirtasuojat ja myös lämmön ylärajan säätäminen. Lämmityskaapelin tehot ovat yleisesti noin 40W/m. Pituudet vaihtelevat 3,3 metristä aina 85 metriin saakka.

Tämän ohjeen on tarkoitus toimia lisätiedonlähteenä suunniteltaessa talvikaudella tehtäviä betonivaluja. Ohjeessa kerrotaan erilaisia tapoja BET -lämmityskaapeli käytöstä sekä käydään läpi tehtyjen lämmitystestien tuloksia. Tarkoituksena on lisätä tietoa BET -lämmityskaapelin käytöstä ja antaa tarkempaa tietoa aiheesta että alan ammattilaiset osaisivat huomioida monipuolisesti erilaisia asioita tämän vaativan rakentamisen oikeaoppiseen toteuttamiseen. Ohje ei ole alan kaikenkattava suunnitteluopas ja on huomioitava, että jokainen kohde on vaatimuksiltaan ja ympäristöltään erilainen, minkä johdosta emme voi tehdä yksiselitteistä ohjeistusta, joka toimisi varmuudella samalla kaavalla jokaisessa kohteessa.

Katso asennusvideo



www.betoninkovetus.fi

tai

lue QR-koodi mobiililaitteellasi



BET
CONCRETE HEATING

 **PISTESARJAT**

Rudus
A CRH COMPANY