

Talvitöistä aiheutuvat lisäkustannukset maa- ja betonirakentamisessa

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2022

Roope Pohjoisaho

Tiivistelmä

Tekijä(t) Pohjoisaho, Roope	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 34	Valmistumisaika 2022
Työn nimi Talvitöistä aiheutuvat lisäkustannukset maa- ja betonirakentamisessa		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Juha Väänänen, Työpäällikkö, Pohja- ja betonirakentamisen yksikkö, Kreate Oy		
Tiivistelmä <p>Tämän työn tarkoituksena oli kerätä tilaajalle tietoa talvirakentamisen kustannuksista. Tässä työssä käsiteltiin talvityömenetelmiä ja niiden vaikutuksia kustannuksiin talvirakentamisessa. Opinnäytetyössä käsiteltiin erityisesti talvibetonointia ja maanrakennustöitä talvella. Työssä tutkittiin rakennushanketta, jonka rakennusaika sijoittui talveen ja alku kevääseen.</p> <p>Työssä tutkittiin talvitöiden kustannusvaikutuksia ja niiden eroa lämpöisen kelin rakentamiseen, missä erilaisia talvityömenetelmiä ei tarvitse käyttää. Rakennuskustannusten vertailu tapahtui tämänhetkisten tarjous- ja markkinahintojen mukaan.</p> <p>Tässä työssä havaittiin talvityökustannuksien vaikutus rakennuskustannuksiin. Rakennuskustannukset talvella olivat huomattavasti korkeammat kuin aikana, jolloin ei tarvitse käyttää talvityömenetelmiä. Arvokasta tietoa urakasta saatiin erityisesti, koska sataneen lumen määrä oli huomattavasti suurempi kuin edeltävinä vuosina.</p>		
Asiasanat Talvityöt, betonirakentaminen, maanrakennustyöt, kustannusvaikutus		

Abstract

Author(s) Pohjoisaho, Roope	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 34	
Title of Publication Additional costs due to winter work on earthwork and concrete construction		
Degree and field of study Civil and Construction Engineering		
Name, title and organisation of the client Mr. Juha Väänänen Construction manager, Foundation and concrete construction, Kreate Oy		
Abstract <p>The goal of this work was to collect information of wintertime construction expenses for the principal. The work discusses construction methods during the wintertime and their effects to the costs. Methods that are especially discussed contain concrete and civil works during the winter.</p> <p>A construction project that was done during the winter and early spring was studied. Differences between cold and warm time construction work expenses were examined based on the current market prices and tenders.</p> <p>It was found that construction works that happen during the colder months have an effect on the total costs. The expenses were noticeably higher than during the times when no winter construction methods are needed. Valuable information was collected from the project as snowfall during the project was clearly higher than those of previous years.</p>		
Keywords Winter work, concrete construction, groundworks, cost impact		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Talvityöt.....	2
2.1	Perusteet talvitöistä	2
2.2	Maanrakennustyöt talvella	2
2.3	Talvibetonointi	3
2.4	Betonipinnan suojaus ja eristys.....	4
2.5	Talvibetoni massat.....	5
2.6	Betonin lämmitys	6
2.6.1	Kuumailmalämmitys.....	6
2.6.2	Höyrylämmitys	7
2.6.3	Lankalämmitys.....	7
2.6.4	Sähkölämmitteiset suurmuotit.....	8
2.6.5	Infrapunasäteilylämmitys	8
2.7	Betonin lämpötilan seuranta	9
2.8	Työturvallisuus talvitöissä	10
3	Talvitöiden vaikutus kustannuksiin.....	11
3.1	Rakennushankkeen esittely	11
3.2	Työn toteutus.....	12
3.3	Tutkimuksen rajaukset.....	13
3.4	Talvitöiden kustannukset	13
3.5	Talvibetonoinnissa käytetyt menetelmät	14
3.5.1	Anturat.....	14
3.5.2	Siipimuurit.....	15
3.5.3	Seinät	17
3.6	Lumen ja jään poistaminen muoteista.....	18
3.7	Betonin lämpötilan seuranta	20
3.8	Maanrakennustöiden menetelmät.....	22
4	Jälkilaskenta ja talvityökustannukset.....	23
4.1	Jälkilaskenta	23
4.2	Betonoinnin lisäkustannukset talvella.....	23
4.3	Maanrakennustöiden lisäkustannukset talvella	24
4.4	Talvitöiden muut kustannukset.....	24
5	Tulokset ja pohdinta.....	26
	Lähteet	28

Liitteet

Liite 1. Betonin lämpötilan- ja lujuudenkehitys antura-, seinä- ja siipirakenteessa.

Liite 2. Talvityökustannuksiin vaikuttavat määrät

1 Johdanto

Talvityökustannukset vaikuttavat suuresti urakan taloudelliseen onnistumiseen, jonka kannalta ne on tärkeä arvioida mahdollisimman tarkasti urakan laskentavaiheessa. Työkustannuksien tarkalla arvioinnilla pystytään pienentämään talveen sijoittuvien rakennusurakoiden mahdollisia taloudellisia riskejä. Tässä opinnäytetyössä käsitellään talvitöiden vaikutuksia kustannuksiin, jotta tulevaisuudessa voitaisiin paremmin tietää, mistä talvitöiden kustannukset todellisuudessa muodostuvat. Opinnäytetyön tutkimus rajautuu maarakentamiseen sekä betonirakentamiseen talvella ja opinnäytetyön tilaajana toimii Kreate Oy:n Pohja- ja betonirakentamisen yksikkö. Tutkimuksessa käsiteltävä rakennusurakka on Nitrogen Terminal Kotka Oy:n lannoiteterminaalin perustuksien rakentaminen, jonka pääurakoitsijana toimii Kreate Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa todenmukaisia tuloksia, joita pystytään hyödyntämään tulevilla projekteilla.

Kreate Oy on suomalainen infrarakentamiseen erikoistunut yritys ja se on syntynyt vuonna 2015 kolmen yrityksen fuusiossa. Fuusioituneet yritykset olivat insinööritoimisto Seppo Rantala Oy, Fin-seula Oy ja Kesälahden maansiirto Oy. Nykyään Kreate Oy:llä on toimipisteitä eri puolilla Suomea. Kreate Oy listautui Helsingin pörssiin helmikuussa 2021 ja yrityksen liikevaihto oli vuonna 2021 noin 238 miljoonaa euroa. Yrityksessä työskentelee yli 400 henkilöä. Lisäksi Kreate Oy:n osakkuusyhtiönä toimii KFS Finland Oy, jonka erikoisosaamiseen kuuluvat erityisesti vaativat pohjarakennustyöt. (Kreate, 2022)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on koota yhteen erilaisia menetelmiä ja niiden käyttöä johtuen talvirakentamisen tuomista haasteista. Opinnäytetyössä käsitellään maanrakennustöitä sekä betonointia talviolosuhteissa, perehdytään talvella käytettäviin suojaus- ja lämmitysmenetelmiin, sekä erilaisten talvibetonointimassojen käyttöön ja niiden ominaisuuksiin.

Käsiteltävästä urakasta tehdään jälkilaskenta yrityksen omaan käyttöön, missä selvitetään talvitöistä aiheutuvat lisäkustannukset. Jälkilaskennassa selvitettyjä talvitöiden kustannusvaikutuksia pystytään tulevaisuudessa käyttämään apuna urakkalaskennassa. Yritys on toteuttanut vastaavanlaisen kohteen aikaisemmin kesäolosuhteissa, joten urakoita vertailemalla saadaan selvitettyä tarkasti talvityömenetelmien aiheuttamat lisäkustannukset.

2 Talvityöt

2.1 Perusteet talvitöistä

Talvityöt vaikuttavat töiden toteutukseen ja turvallisuuteen Etelä-Suomessa keskimäärin seitsemänä kuukautena vuodessa. Pohjois-Suomessa talven vaikutus voi näkyä jopa 9 kuukauden ajan. Erilaiset olosuhteet talvella ovat kuitenkin yleistyneet, kun ilmasto on lämmennyt keskimäärin noin asteen sadassa vuodessa. Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät paremmin etenkin talvella, kun sateet lisääntyvät talvella ja lumipeitettä on keskimäärin vähemmän. Suomessa etenkin lumipeitteen paksuus, matalat lämpötilat ja roudan syvyyden vaikutukset näkyvät oleellisesti talvella lisätöinä. Lisätyöt vaikuttavat talvella myös oleellisesti rakennuskustannuksiin. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 492)

2.2 Maanrakennustyöt talvella

Talvirakentamisessa taistellaan yleensä maapohjan jäätymistä ja siitä aiheutuvia maapohjan muutoksia vastaan. Maapohjan jäätyminen on estettävä siten, että sitä ei pääse tapahtumaan työn aikana tai valmiin rakenteen alla. Tähän voidaan tarvita erilaisia eristys- ja lämmitysmenetelmiä. Kustannukset maanrakennustöissä talvella voivat nousta huomattavasti korkeammaksi kuin sulanmaan aikana töitä tehtäessä. Talvitöitä on varauduttava tekemään pienemmissä alueissa kerrallaan. Routasuojauksella voidaan estää maan jäätyminen rakennusaikana. Maan jäätymistä tulee välttää ja sen sulattaminen tulee tehdä aina, jos vaarana on rakenteen vauriot sen sulaessa. (RIL 261-2013, Routasuojaus)

Talvitöissä on varauduttava moniin erilaisiin työmenetelmiin verrattuna sulanmaan aikana töitä tehtäessä. Talvella maata leikatessa tulee varautua suurempien ja tehokkaampien koneiden käyttöön kuin kesällä. Suurten koneiden käytöllä saavutetaan parempi työteho. Talviaikaan rakennettaessa on huomioitava, että mahdollisimman pieni osa rakennettavasta alueesta olisi kerralla alttiina pakkasen vaikutukselle. Alueella esiintyessä kovia pakkasia on otettava huomioon mahdollinen koneiden rikkoutumisvaara. (RIL 261-2013, Routasuojaus)

Täytöt talvitöissä tulee tehdä erityisellä tarkkuudella. Töihin voi aiheutua katkoja kovilla pakkasilla, jos sulaa ja lumetonta täyttömateriaalia ei ole saatavilla. Ennen täyttömateriaalin levittämistä pitää alueelta poistaa lumi ja jäätyneet maa. Jos pohjamaa sulaa tai sulatetaan, on maa tiivistettävä, kun se on vielä muokattavissa. Maa-aineksen ollessa märkää ei sitä saa päästää jäätymään, ennen kuin tiivistäminen on tehty. Tiivistäminen tulee tehdä välittömästi, kun materiaali on levitetty alueelle. Tiivistettävässä materiaalissa ei saa olla jäätyneitä maata, lunta tai jäätä. Joissakin materiaaleissa esimerkiksi hienossa hiekassa jäinen

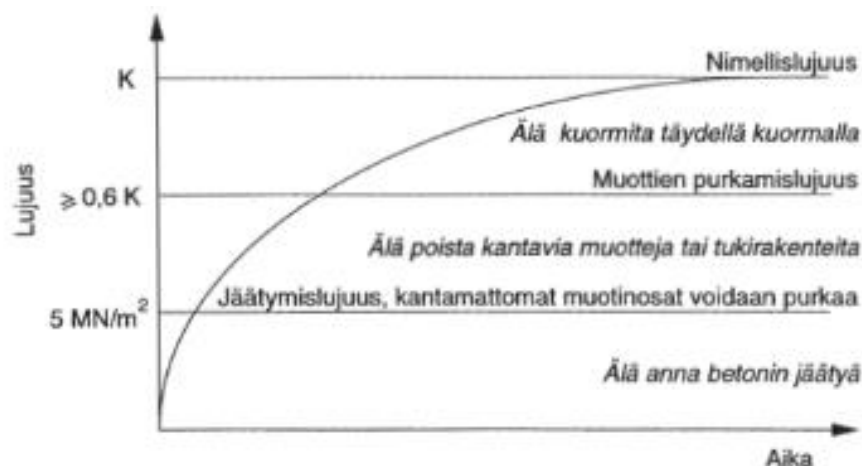
maa-aines on hankala havaita ja sulaessa se aiheuttaa materiaalin painumista. (RIL 261-2013, Routasuojaus)

Talvityöt vaikuttavat heikentävästi työnsaavutukseen niin konetyössä kuin työntekijöiden työsaavutuksissa. Talvella joudutaan leikkaamaan enemmän pintamaata kuin sulan maan aikana ja näin ollen myös penkereiden määrä lisääntyy raivatulla maapohjalla. Työn saavutus pienenee roudan, lämpötilan alenemisen ja valoisuuden vähenemisen seurauksena. Vaikutusten määrään kuitenkin vaikuttaa työkohte ja olosuhteet. Työmailla kuluu paljon aikaa talvilisätöiden tekemiseen. Talvilisätöitä voi olla esimerkiksi lumi- ja jäätyöt, kuljetusteiden auraus ja roudan erillinen rikkominen. Yleensä talvitöissä hankkeen kesto pitenee, kun työsaavutus heikkenee. (Kankainen Jouko ym. 1989, 51)

2.3 Talvibetonointi

Talvibetonoinnilla tarkoitetaan Suomessa sääolosuhteita, jolloin lämpötila betonoinnin aikana on alle 5 °C. Betonimassan lämpötila ei saa missään tapauksessa tippua alle 0 °C, koska silloin veden ja sementin välinen hydrataatioreaktio hidastuu reilusti tai jopa keskeytyy kokonaan. Hydrataatioreaktio ei itsessään pysty lämmittämään betonimassaa, niin että se pystyisi estämään jäätyminen ja lujuuskadon. Hydrataatioreaktion hidastuminen tai keskeytyminen johtuu veden jäätymisestä reaktion aikana. Veden jäätyminen voi johtaa betonin jäätymiseen aiheuttaen lujuuskatoa rakenteissa. Betonointiin vaikuttaa kylmän ilman lisäksi myös tuuli. Se vaikuttaa rakenteissa olevan kosteuden poistumiseen ja lämmön siirtymiseen pois rakenteista. Tuulen ja kylmän ilman vaikutus talvibetonoinnissa vaikuttaa suojauksien ja eristysten suunnitteluun. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 491)

Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttaa erityisesti sementtimäärä ja betonin lämpötila. Lujuuden kehitykseen pystytään vaikuttamaan myös erilaisilla lisä- ja seosaineilla. Lämpötilan tulisi pysyä talviolosuhteissakin 5 °C ja 40 °C välillä. Betonin lämpötila ei saa kuitenkaan ylittää 60 °C rajaa, koska silloin betonissa syntyy lujuuskatoa. Betonin pitää saavuttaa jäätymislujuus 5 MN/m², ennen kuin se kestää yhden jäätyminen ilman vaurioita. Muotin purku voidaan aloittaa, kun rakenne kestää siihen vaikuttavat rasitukset. Nimellislajuuden saavuttaminen tarkoittaa sitä lujuuden arvoa jolle rakenne on suunniteltu. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 15–17) Kuvassa 1 on esitetty betonin kovettumisen vaiheet.



Kuva 1. Betonin kovettumisen vaiheet kylmissä olosuhteissa (Koskenvesa Anssi. 1999, 711)

2.4 Betonipinnan suojaus ja eristys

Talvibetonoinnissa tulee aina käyttää sääsuojauksia. Talvella suojaaminen tehdään pääsääntöisesti lumen, rännän, jään ja veden eristämiseksi rakenteesta. Suojauksia voidaan käyttää ennen valua estämään veden eri olomuotojen pääsyä valumuottiin. Valupintaa suojataan peitteillä auringonvalon, veden, jään ja lumen aiheuttaman rasituksen vuoksi. (Suomen Betoniyhdistys ry. b.)

Suojauksien tarkoituksena talvibetonoinnissa on estää rännän, jään ja lumen joutuminen valupinnalle. Suojapeitteitä käytetään lämmönsiirtymisen estämiseksi silloin kun lämpötila on yli 0 °C. Suojapeitteen käyttö pitäisi normaaleissa tilanteissa riittää lämmön eristämiseen 0 °C lämpötilassa. Alueen peittämisellä voidaan estää lumen pääsy työalueille. Työturvallisuus paranee huomattavasti, kun ylimääräistä vettä, lunta, räntää tai jäätä ei alueella ole. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 36–37)

Kun lämpötila on alle 0 °C valumuotin eristykseenä suositellaan käytettävän mineraalivillaa tai muuta vastaavaa eristettä. Puumuotissa käytetään eristeenä 30 mm -50 mm mineraalivillaa ja teräsmuoteissa 50 mm mineraalivillaa. Eristyksessä tulee ottaa etenkin huomiota sen tiiveyteen. Nurkka kohtiin ja mahdollisiin muottien saumoihin tulee kiinnittää erityistä huomiota niitä tiivistäessä. Mineraalivilla tai muu vastaava eriste suojataan suojapeitteillä. Suojapeitteillä voidaan korvata rakenteiden eristäminen sellaisissa rakenteissa, missä poikkileikkaus on paksu esimerkiksi pilareissa, palkeissa ja anturoissa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 505–506)

2.5 Talvibetoni massat

Betonin valinta tehdään yleensä rakennesuunnittelun yhteydessä. Sää- ja työskentelyolosuhteet vaikuttavat betonimassan valmistukseen ja siinä käytettäviin lisäaineisiin. Massan valmistukseen vaikuttaa myös paljon lämmitys- ja suojausmenetelmät. Betonilaatuun vaikuttavat muutokset tehdään betonityönjohdon, rakennesuunnittelijan ja betoniasiantuntijan kesken. Kaikki betonimassaan tehtävät muutokset vaikuttavat betonin lujuudenkehitykseen. Mikäli betonin suunniteltuihin vaatimuksiin ei päästä millään betonilaadulla on pystyttävä vaikuttamaan ulkoisiin olosuhteisiin. Tavoitteisiin voidaan päästä vaikuttamalla valutilanteen lämpötilaan, suojaukseen ja lämmitykseen. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 19)

Tavallisesti talvibetonoinnissa käytetään nopeasti kovettuvaa betonia tai kuumabetonia. Pakkasbetonin käyttöä voidaan harkita saumavaluja tehtäessä, jos olosuhteet ovat sen mukaiset. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 500)

Normaalisti kovettuvaa rakennebetonia käytetään rakenteissa silloin kun ei tarvita betonimassalta säänkestävyyttä tai muita erityisvaatimuksia. Talvibetonoinnissa normaalisti kovettuvaa betonia käytetään, jos valumuotti on hyvin eristetty, lämmitetty ja suojattu, eikä alueella ole odotettavissa kovia pakkasia lähipäivien aikana. Normaalista kovettuvaa betonia käytetään yleensä pilari-, holvi- ja perustusrakenteissa. (Suomen Betoniyhdistys ry. c.)

Nopeasti kovettuvaa betonia käytetään, kun halutaan betonin saavuttavan nimellislujuutensa nopeasti. Nopeasti kovettuvassa betonilaadussa nimellislujuus saavutetaan 7 vuorokauden iässä. Betonimassa kehittää kovettuessaan paljon lämpöä ja nopeuttaa siten betonin lujuuden kehitystä. Nopeasti kovettuvaa betonia voidaan käyttää esimerkiksi silloin kun muottikierto on nopeaa. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 20)

Kuumabetoniksi kutsutaan betonia minkä lämpö on nostettu tehtaalla haluttuun lämpötilaan. Kuumabetoni on yleensä noin +30 °C kun taas normaalin betonimassan lämpötila on vain noin +20 °C tehtaalta lähtiessä. Betonin korkea lämpötila lyhentää kuumabetonimassan työstettävyyttä, koska betonin sitoutuminen varsinkin alussa on erittäin nopeaa. Kun betonin lämpötilaa nostetaan, betoniin syntyy yleensä lujuuskatoa. Korkeammassa lämpötilassa lujuuttaan kehittänyt betoni ei tule saavuttamaan samaa nimellislujuutta kuin matalammassa lämpötilassa vastaava betoni. Yleensä jos betonin lämpötila ylittää +50 °C niin voi tapahtua lujuuskatoa. Kuumabetonin käyttöä suositellaan harkittavan massiivisissa rakenteissa koska lämpötila voi nousta rakenteissa liian korkeaksi aiheuttaen suurta lujuuskatoa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 500)

Pakkasbetonin käyttö soveltuu lähinnä elementtien saumavaluihin. Sitä ei voi käyttää kohteissa, missä on suolarasitusta tai edellytetään säänkestävyyttä. Pakkasbetonin

lujuudenkehitys on pienessä pakkasessa erittäin hidasta. Pakkasbetonin lujuudenkehitys pysähtyy lähes kokonaan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 22)

Itsetiivistyvän betonin käyttöön talvella tulee suhtautua varauksella. Itsetiivistyvässä betonissa on paljon erilaisia lisäaineita, mitkä voivat aiheuttaa betonille erittäin pitkän lujuudenkehityksen ajan. Kaikista betonimassaan liittyvistä muutoksista voidaan sopia suunnittelijan, betoniammattilaisen ja betonityönjohdon kesken. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 500)

2.6 Betonin lämmitys

Kylmien kuukausien aikana lämpötilaa betonissa voidaan nostaa erilaisilla lämmitysmenetelmillä. Vuodenaika vaikuttaa yleisesti betonin lämmitystarpeeseen. Valettavan rakenteen muoto ja koko vaikuttaa lämmitysmenetelmän valintaan. Betonirakenteen suojausmenetelmät ja betonointiaika vaikuttavat myös menetelmän valintaan. Lämmityskaluston valinnassa tulee ottaa myös huomioon lämmitysmenetelmän saatavuus ja työntekijöiden osaaminen kyseistä menetelmää käytettäessä. Työmaalla tulisi aina olla suunniteltu varalämmitysmenetelmä betonointia varten ja mahdollisuuksien mukaan varalämmitysjärjestelmä tulisi olla käytettävissä työn aikana. Betonin lämmitystä voidaan tehdä lämmittämällä ympäröivää ilmaa, betonimassaa tai käyttämällä lämmitettäviä valumuotteja. Lämpöä voidaan ohjata betonin pintaan vastuslankojen, infrapunasäteilyn, höyryn tai ilman avulla. (Suomen Betoniyhdistys ry. d.)

2.6.1 Kuumailmalämmitys

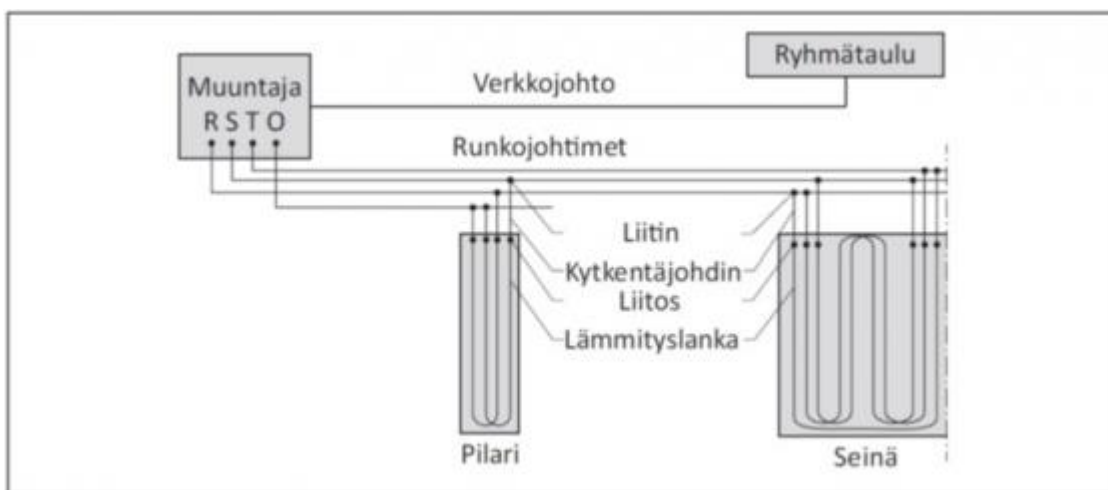
Kuumailmalämmityksessä käytetään lämmön tuottamisessa yleensä sähköä, kaasua tai öljyä. Lämmittimellä johdetaan lämpöä betonointimuotin ympärillä olevaan ilmaan ja rakenteisiin. Lämmityksen tarkoituksena on estää betonin oman lämmön siirtyminen pois rakenteesta. Lämmitettävän rakenteen ympäristö tulisi tiivistää mahdollisimman hyvin. Tiivistämällä rakenne voidaan estää kuuman ilman kulkeutuminen pois lämmitettävästä tilasta. Käytettäessä öljy tai kaasu käyttöisiä lämmittimiä syntyy palamisreaktiossa kaasuja, mitkä ovat haitallisia ihmisille. Tilaan on järjestettävä tuuletus, jos kyseisiä lämmittimiä käytetään ja tilassa on tarpeellista työskennellä samaan aikaan. Eri tehoisia lämmittimiä on saatavilla vuokraamoista ja niitä tarjoavista liikkeistä. Pienien lämmittimien tehoalue on $5\text{ kW} - 30\text{ kW}$ suurimmissa jopa $150\text{ kW} - 300\text{ kW}$. Ilman liikkeiden takia vain osa ilmavirrasta lämmittää rakennetta tai betonimassaa. Todellinen hyötysuhde kuumailmalämmittimillä on vain noin 30 %. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 513)

2.6.2 Hörylämmitys

Höyrykattiloita ja höyrykehittämiä käytetään talvibetonoinnin yhteydessä yleensä lumen ja jään poistamiseen valumuoteista. Kuuma höyry sisältää paljon lämpöenergiaa. Etuna höyrylämmitysmenetyksessä on se, että suuttimen kautta tuleva kuuma höyry voidaan ohjata suoraan siihen kohtaan, mistä lumen ja jään sulatus halutaan tehdä. Muotin höyryttämisessä on otettava huomioon mahdolliset pinnat, mitkä voivat sulaa kuuman höyryn vaikutuksesta. Lämmitysmenetyksessä syntyy paljon ylimääräistä kosteutta ja tästä johtuen se ei ole energiatehokas ja edullinen ratkaisu. (Suomen Betoniyhdistys ry. d.)

2.6.3 Lankalämmitys

Lankalämmitystä käytetään yleisesti betonin lämmittämisessä. Betonin sisäisellä lämmittämällä voidaan varmistua betonin sopivasta lujuudenkehityksestä. Lankalämmityksen tarkoituksena on pitää betoni lämpöisenä ja tasata lämpötilaeroja valettavassa rakenteessa. Lämpötilaerojen tasaamisella tarkoitetaan esimerkiksi kylmän kalliopinnan ja betonimassan välistä aluetta, mikä voidaan lämmittää vastuslankoja käyttämällä. Perinteistä lankalämmitysmenetyksessä käytetään nykyään lähinnä kohteissa missä tarvitaan lämmitystä paljon. Perinteisessä menetelmässä voimavirta ohjataan muuntimelle, minkä kautta jännitteen ja tehon syöttö voidaan säätää tarvittavalle tasolle. Rakenne tulee suojata ja tarpeen mukaan myös eristää. Edellä mainituilla toimenpiteillä voidaan pienentää betonissa olevia lämpötilaeroja. Suuret lämpötilaerot betonirakenteessa voivat aiheuttaa betoniin halkeamia. Lankalämmityksessä 2 mm langalla suurin sallittu käytettävä teho on 120 W/m. Suunnittelussa käytettävä teho on kuitenkin yleensä vain 100 W/m. Lankalämmityksen toiminta periaate esitetty kuvassa 2. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 508–510)



Kuva 2. Lankalämmityksen toimintaperiaate (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 508)

Perinteisen lankalämmitysmenetelmän huonot puolet:

- Langoituksen asentaminen vaatii paljon työtä
- Lämmityslangat ovat kulutustavaraa, koska niitä ei voi käyttää uudelleen
- Langat ovat vaurioitumisherkkiä valusta johtuvan rasituksen vuoksi
- Lankalämmitys vaatii paljon sähkötehoa, jos lämmitettävän rakenteen pinta ala on suuri (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 508).

Lankalämmitys voidaan toteuttaa myös verkkovirralla toimivien lämmityskaapeleiden avulla. Lämmityskaapeleista ei pysty säätämään tehoa. Kaapelista saatava teho on yleensä noin 40 W/m. Lämmityskaapelisarjaan on myös saatavilla rajoitin, jolla voidaan estää lämpötilan nouseminen liian korkeaksi säätämällä virran kulkua lämmityskaapeleissa. Verkkovirralla toimiva lankalämmityskaapelit on helppo asentaa, mutta niistä saatava lämmitys teho ei yllä yhtä korkealle kuin muuntajakäyttöisillä lämmityslangoilla. Myös lämmityskaapelit ovat kertakäyttöisiä, koska kaapeli asennetaan valun sisään. (Suomen Betoniyhdistys ry. d.)

2.6.4 Sähkölämmitteiset suurmuotit

Sähkölämmitteiset muotit soveltuvat selkeisiin rakenteisiin esimerkiksi seinien tai laattojen lämmitykseen. Sähkölämmitteisessä suurmuotissa lämpölangat lämmittävät muotin pintaa mistä lämpö johtuu valettavaan rakenteeseen. Lämmityslankojen säätäminen tapahtuu valmiista säätöyksiköstä, mistä voidaan säätää termostaatti- ja aikaohjaus rakenteelle oikeaksi. Muottia voidaan lämmittää jo ennen valun alkua, mutta liian korkea muotin lämpötila voi aiheuttaa betonipinnan hilseilyä muottia purettaessa. Lankalämmitystä voidaan käyttää lisälämmityksenä uuden ja vanhan valun yhtymäkohdassa. Sähkölämmitteiset suurmuotit ovat helppokäyttöisiä. Muotteja voi myös käyttää monta kertaa vaikuttaen huomattavasti muotikustannuksiin. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 49)

2.6.5 Infrapunasäteilylämmitys

Infrapunasäteily kulkee suoraan ilmassa ja törmätessään muottiin siitä syntyy lämpöä. Muotin pinnalta lämpö johtuu muotirakenteita pitkin muotin sisäpintaan lämmittäen betonimassaa. Infrapunasäteet heijastuvat hyvin vaaleista väreistä, joten se tulee ottaa huomioon lämmityssuunnitelmassa. Lämmittäessä suuria rakenteita infrapunasäteilyllä olisi hyvä olla useampi pieni lämmitin. Niillä voidaan suunnata säteily tasaisesti alueelle mikä halutaan lämmittää. Käytettäessä yhtä suuritehoista infrapunasäteilijää on mahdollista, että rakenne saa tietystä kohdasta liikaa lämpöä. Liiallinen lämpö voi aiheuttaa betonin pinnalle hilseilyä

muottia purettaessa. Infrapunasaäteilyä käytettäessä tulee ottaa huomioon suojaus ja mahdollinen eristys. Ylimääräiset ilmavirtaukset lämmitysalueella aiheuttavat rakenteen viilene- mistä. Lämpötilaa kohteessa pystytään säätämään säteilijän etäisyydellä lämmitettävästä rakenteesta. Lämpötilan vaikutus rakenteessa etäisyyttä säätämällä esitetty taulukossa 1. Infrapunasaäteilylämmitysmenetelmä soveltuu hyvin myös roudan sulatukseen. (Suomen Betoniyhdistys ry. d.)

Säteilijän etäisyys kohteesta	Lämpötila kohteessa
500 mm	+130 °C
1000 mm	+90 °C
1500 mm	+70 °C
2000 mm	+50 °C

Taulukko 1. Lämpötilan vaikutus rakenteeseen etäisyyttä säätämällä (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, 511)

2.7 Betonin lämpötilan seuranta

Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttaa oleellisesti betonin lämpötila ja sen pysyminen tarpeeksi korkeana. Lämpötila betonimassalla tulee pitää betonoinnin alusta asti lämpöisenä, jotta saavutetaan oikea lujuudenkehitysnopeus betonille. Lämpötilaan voidaan vaikuttaa erilaisilla suojaus-, lämmitys- ja eristysmenetelmillä. Betonin lämpötilan seuranta suoritetaan erilaisilla lämpötilamittareilla. Kun lämpötiloja betonista on saatu taltioitua tietyin väliajoin, voidaan betonimassan lujuus laskea niin kutsutulla Sadgroven menetelmällä, mikä on esitetty kaavassa 1. (Suomen Betoniyhdistys ry. a.)

$$t_{20} = \sum_i^n \left(\frac{T+16 \text{ } ^\circ\text{C}}{32 \text{ } ^\circ\text{C}} \right)^2 t \quad (1)$$

missä,

t_{20} = kypsyysikä

t = kovettumisaika

T =betonin lämpötila aikana t (°C)

Monet betonitoimittajat tarjoavat palvelua lujuudenkehityksen laskemiseen. Tietokoneohjelmaan perustuvalla palvelulla pystytään yleensä mallintamaan lujuudenkehitys tiettyyn rakenteeseen. Ohjelmilla pystytään myös seuraamaan lämpötilan kehittymistä rakenteessa. Nykyään monilla yrityksillä on käytössä etäluettavia lämpötilamittareita. Mittareista pystytään tarkkailemaan betonin lämpötilaa reaaliajassa. (Suomen Betoniyhdistys ry. a.)

Lämpötilaa rakenteissa seurataan lämpömittausantureilla. Anturina niissä käytetään termoelementtilankaa. Lanka asennetaan kiinni raudoitustankoon siihen syvyyteen, mistä lämpötilan mittaus rakenteessa halutaan suorittaa. Termoelementtilankojen päät pitää olla kosketuksissa betoniin ja ne on suojattava betonimassalta esimerkiksi sähköteippiä käyttäen. Jos rakenteessa käytetään lämmitysmenetelmänä vastuslankoja, mittaus on suoritettava tarpeeksi etäältä vastuslangasta, jotta saavutetaan luotettava mittaustulos. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 26)

Lämpötilan mittaus rakenteessa suoritetaan kohdasta, missä voidaan olettaa lämpötilan olevan matalimmillaan. Kriittisiä kohtia rakenteessa voi olla esimerkiksi kohdat mihin vaikuttaa suuria rasituksia nopeasti valun jälkeen tai kohta, mihin vaikuttaa suuri rasitus muotipurkuhetkellä. Lämpötilamittareilla pystytään varmistamaan betonin kovettuminen rakenteen toimivuuden kannalta riskialttiissa kohdissa. (Suomen Betoniyhdistys ry. a.)

2.8 Työturvallisuus talvitiöissä

Työturvallisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota talvella. Jäiset ja liukkaat pinnat voivat aiheuttaa tapaturmia talvella. Lumipeitteen alle jääneet tavarat voivat aiheuttaa työntekijälle suuren riskin loukkaantumiselle. Tavaroiden havainnointi on haastavaa ja lumen alla piilossa olevat tavarat voivat aiheuttaa vahinkoja työntekijälle. Erityisesti liukkaat pinnat esimerkiksi vanerit tai muovit voivat aiheuttaa liukastumisia. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 35)

Talvella valaistuksen tarve työmaalla on huomattavasti tärkeämpää, kuin kesällä. Päivän valoisan osuuden pituus on paljon lyhyempi talvella. Työmaalla tehtävä valaistus ja sähköistysuunnitelman laatiminen talvella korostuu. Erityisesti vähäinen lumipeitteen määrä vaikuttaa pimeyteen varsinkin Etelä-Suomessa. Lumen määrän pieneneminen vaikuttaa näin myös pimeän ajan jakson pituuteen. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 35)

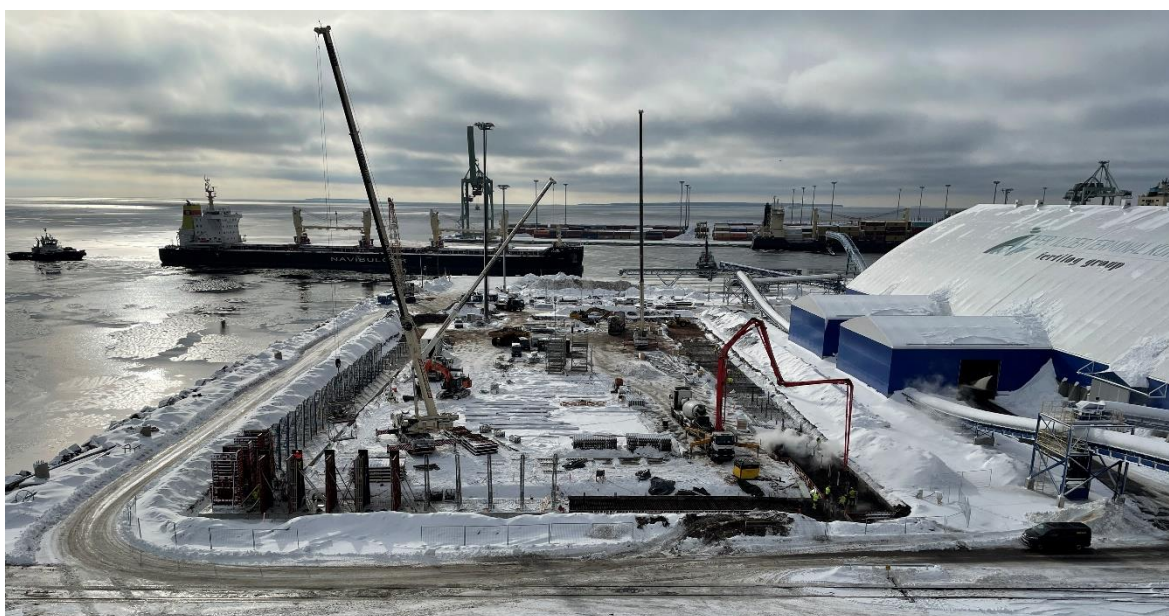
Talviolosuhteissa kylmyyteen varautuminen on tärkeää. Oikeanlainen varustus estää työntekijää paleltumilta ja parantaa työturvallisuutta. Paksut vaatteet talvella voivat kuitenkin hankaloittaa työntekoa. Talvivaatteet voivat estää tai hidastaa tiettyjen työsuoritteiden tekemistä. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 35)

Betonointi ja nostokaluston tukeminen talvella tulee olla erittäin tarkasti suunniteltu. Raskaan kaluston tukeminen jäiseen maahan voi aiheuttaa mahdollisen kaluston kaatumisen. Maapohjan tiiveydestä on oltava varmuus siitä kohdasta, mihin raskaita ajoneuvoja ajetaan tai laitteita pystytetään. Kun betonin siirtokalustona käytetään betonipumppua, on mahdollisuus puomin murtumiselle alle -15 °C asteessa. (Satu Sahlstedt ym. 2013, 35)

3 Talvitöiden vaikutus kustannuksiin

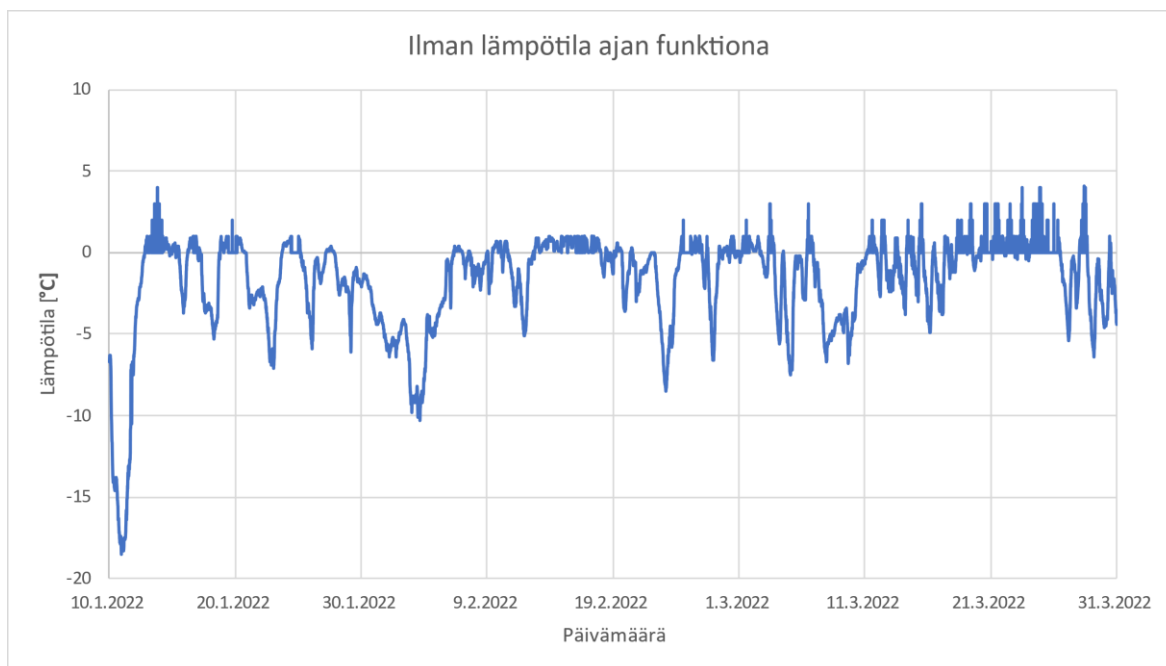
3.1 Rakennushankkeen esittely

Rakennushankkeessa Kreate Oy toimii pääurakoitsijana. Hankkeen on tilannut Nitrogen Terminal Kotka Oy ja hankkeen pääsuunnittelijana toimii Insinööritoimisto Risto Koskio Oy. Kreate Oy rakentaa alueelle suuren metallirunkoisen varastohallin perustukset. Perustusten rakentamiseen sisältyy maatyöt, anturat, siipimuurit ja seinät. Hallin on tarkoitus toimia valmistuttuaan lannoiteterminaalina Nitrogen Terminal Kotka Oy:lle. Samanlaisia lannoiteterminaaleja alueella on useita. Vuonna 2020 Kreate Oy rakensi alueelle viereisen hallin perustukset, minkä kustannustietoja käytetään urakoiden vertailussa. Edellinen halli on täysin identtinen mutta peilikuva hallista, mitä opinnäytetyössä käsitellään. Kuvassa 3 on esitetty valokuva rakennuskohteesta.



Kuva 3. Valokuva rakennuskohteesta

Rakennuskohde sijaitsee meren rannalla Kotkan Mussalon satama-alueella. Meren vaikutus urakkaan on huomattava. Sään ääri-ilmiöt korostuvat rakennushankkeen alueella, erityisesti kova tuuli ja lämpötilojen nopeat muutokset vaikuttavat talvibetonoinnin haastavuuteen huomattavasti. Urakka alue sijaitsee välittömässä merenläheisyydessä ja näin ollen merenpinnan korkeus vaikuttaa töiden tekemiseen, koska merenpinnan ollessa liian korkealla joitakin työvaiheita alueella ei voida suorittaa. Ilmatieteenlaitoksen säähistorian mukaan lämpötila on alueella vaihdellut tammikuun -18 °C ja maaliskuun $+4\text{ °C}$ välillä. Kuvassa 4. on esitetty alueen lämpötilamuutokset aikavälillä 10.1.2022 – 31.3.2022.



Kuva 4. Ilman lämpötilamuutokset aikavälillä 10.1.2022-31.3.2022

Opinnäytetyö käsittelee talvitöiden vaikutuksia kustannuksiin. Tutkimusta talvitöiden vaikutuksista kustannuksiin ja aikatauluun talvella tehdään sen takia, että tulevaisuudessa tiedettäisiin paremmin, mistä talvitöiden kustannukset muodostuvat. Opinnäytetyön tuloksia pystytään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan tulevissa projekteissa. Opinnäytetyön tutkimus rajautuu maarakentamiseen ja betonirakentamiseen talvella.

3.2 Työn toteutus

Työt alueella on aloitettu 10.1.2021 ja hallin perustuksista noin 70 % on valmiina huhtikuun puolessa välissä. Rakennusurakka tehdään erittäin nopealla aikataululla ja urakka toteutetaan tekemällä pitkiä työpäiviä ja viikonlopputöitä. Huhtikuun puolessa välissä teräsrunгон kasaamiseen valittu urakoitsija aloittaa hallin teräsrunгон kasaamisen.

Tutkimuksessa käsitellään talvitöistä aiheutuvia kustannus vaikutuksia. Tietoa talvitöistä aiheutuvista lisäkustannuksista kerätään yritysten välisien sopimuksien perusteella. Sopimuksien yksikköhintojen ja menekkien mukaan lasketaan toteutuneet kustannukset. Kustannuksia verrataan ja tarkastellaan laskutuksen kanssa yhdenmukaiseksi. Työssä on tärkeää saada kaikki kustannukset tarkasti laskettua. Tällä tavoin saavutetaan mahdollisimman tarkka tutkimustulos.

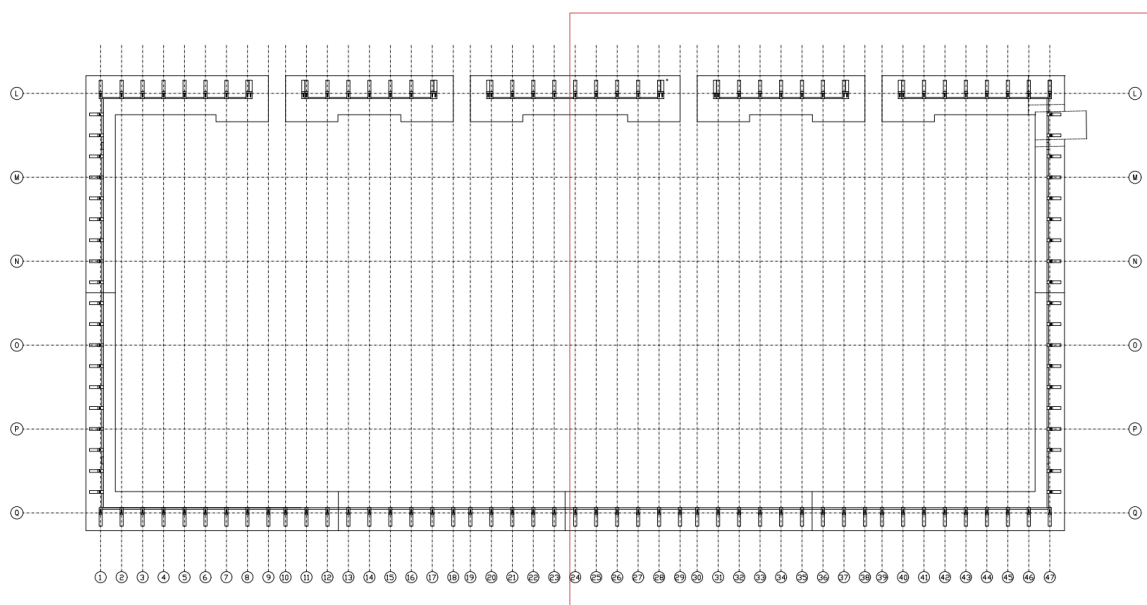
Rakennushankkeessa työskenteleville työntekijöille on annettu ohjeistus, miten työtunnit merkitään ylös ja toimitetaan työnjohdolle. Ohjeistuksen mukaan työntekijät merkkäavat

työtunnit litterointimenettelyn mukaan. Tarkasti tehdyn litteroinnin mukaan työnjohto pystyy toteamaan, paljon kuluja on kertynyt tiettyyn työvaiheeseen.

3.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen havainnointi jakso rajataan 10.1.2022-31.3.2022 väliselle ajalle. Tarkoituksena on saada tietoa talvirakentamiseen vaikuttavista kustannuksista. Tutkimuksen havainnointi rajautuu ajanjaksolle sääolosuhteiden takia. Ilmatieteenlaitoksen säähistorian mukaan voidaan havaita lämpötilan pysyneen kahden edellisen vuoden huhtikuun mukaan yli 0 °C:n. Lämpötila Kotkan alueella on havaitusti noussut huhtikuun aikana. Jään ja uuden lumen vaikutus on ollut vähäistä edeltävinä huhtikuina, joten joistakin talvityömenetelmistä pystytään luopumaan sen aikana.

Tutkimuksessa kerätään tietoa kuvassa 5 punaisella merkityltä rakennusalueelta. Alueen rajaukseen vaikuttavat edellä mainitut sääolosuhteet. Työssä käsiteltävä alue on tehty sääolosuhteiltaan osittain ankarissa talviolosuhteissa soveltuen tutkittavaksi kohteeksi äärimmäisen hyvin.



Kuva 5. Punaisella viivalla merkitty tutkittava alue

3.4 Talvitöiden kustannukset

Talvirakentamisessa materiaalimenekki ja työmenekki on huomattavasti suuremmat kuin muina vuodenaikoina. Lisäksi kuluja talviolosuhteissa lisää energian kulutus, sekä koneiden ja kaluston lisätarve talvella työskenneltäessä. Resursseja ja työvoimaa lisäämällä voidaan lyhentää lisätyön vaatimaa aikaa talviolosuhteissa. Yleisesti talvirakentaminen hidastaa

työtä ja lisää kustannuksia. Suunnittelemalla talvirakentaminen hyvin ja varautumalla häiriöihin voidaan varautua talvikustannuksien ja lisäresurssien tarpeeseen. Talvitöiden kustannuksista on saatu tutkimuksien perusteella hyvin erilaisia tuloksia. Tuloksiin vaikuttaa yleisesti lumen määrä talvella ja milloin työt on aloitettu. Rakennushankkeen hinta saattaa nousta talvella erittäin suureksi etenkin, jos talvesta johtuvia töitä ei ole otettu huomioon. (Ratu C8-0377: 2010)

3.5 Talvibetonoinnissa käytetyt menetelmät

Talvibetonoinnissa käytetyissä menetelmissä käsitellään eri rakenneosien betonointiin vaikuttavia tekijöitä. Betonointiin talviolosuhteissa vaikuttaa erityisesti betonimassan resepti, käytetty lämmitysmenetelmä, suojaus ja eristys. Betonimassan toimintaan vaikuttaa massan lämpötila, käytetyn kiviaineksen koko, vesisementti suhde ja lisäaineiden käyttö. Valettaessa ulkona ilman lämpötila vaikuttaa olennaisesti betonimassan reseptiin ja massan lämmitys tarpeeseen. Valituista betonoitavista rakenteista betonin toimittaja on tehnyt suunnitelmat sääolosuhteiden mukaan.

3.5.1 Anturat

Anturoiden valaminen suoritetaan noin 120 m³- 205 m³ kokoisissa lohkoissa. Muottina rakenteessa toimii noin metrin korkeat seinämuotit. Maanvaraisena muottina toimii kooltaan 0 mm – 32 mm murske tiivistettynä anturoiden alueelle ennen anturatöiden aloittamista. Lujuusluokkana rakenteessa on C35/45. Rasitusluokat rakenteessa ovat XC2, ja XS1. Rasitusluokka XC-luokat tarkoittaa karbonatisoitumisesta johtuvaa rasitusta. Luokka XC2 käsittää rakenteen, mikä on harvoin kuivana. Luokkaa XC2 käytetään yleensä perustuksissa. Rasitusluokka XS käsittää kloridien aiheuttamaa korroosiota. Luokka XS1 tarkoittaa avomeren vaikutusta, mutta ei suoraa meriveden kosketusta rakenteeseen. (Timonen-Nissi 2019.)

Betonin notkeusluokkana on käytetty luokkaa S3 kaikissa anturoiden valuissa. Betonimassan siirto muottiin toteutetaan käyttämällä siirrettävää betonipumppua. Betonin tiivistämisessä käytetään kahta betonitärysauvaa.

Lämmityslankoja rakenteessa käytetään siipimuurien ja anturoiden välisissä kohdissa. Lämmityslankojen tarkoituksena ei ole lämmittää betonimassaa anturoita valettaessa. Lankojen tehtävänä on siipimuureja valettaessa lämmittää anturarakennetta. Uuden betonimassan liittyessä edeltävään valuun pystytään lämmittämällä parantamaan rakenteen tarttumista ja estämään mahdollisien kylmäsiltojen syntymistä. Anturoiden tapaisissa massiivi rakenteissa betonin tuottama lämpö pitää betonipinnan lämpötilan melko tasaisena, jos

suojaus on suoritettu hyvin. Suojauksena anturarakenteilla käytettiin suurikokoisia suojapeitteitä. Anturan suojauksessa suojapeitteitä käyttämällä estettiin rakenteesta poistuva ylimääräinen kosteus ja haluamattomat ilmavirtaukset rakenteen pinnalla. Kylmät ilmavirtaukset voivat laskea rakenteen lämpötilaa epätasaisesti aiheuttaen suuria lämpötilaeroja. Suuret lämpötilaerot voivat aiheuttaa rakenteelle halkeilu riskin. Kuvassa 6 esitetty raudoitettu anturamuotti.



Kuva 6. Raudoitettu anturamuotti

Kuvassa voidaan nähdä valmiiksi asennettu matala seinämuotti. Pienikokoinen ja kevyt muottirakenne helpottaa asentamista ja vähentää nostokaluston tarvetta muottien asentamisessa. Kuvassa voidaan myös havaita puutteellisesta suojauksesta johtuva luminen raudoitus.

3.5.2 Siipimuurit

Siipimuurien raudoittaminen tehdään työpisteellä sapluunan avulla, minkä mukaan raudoitteet tehdään identtiseksi keskenään. Raudoituksien valmistuttua ne siirretään siipimuurien paikalle käyttäen ajoneuvonosturia. Kuvassa 7 on esitetty anturan päälle nostettuja siipimuurien raudoituksia.



Kuva 7. Anturan päälle nostettuja siipimuurien raudoituksia

Siipimuurien lämmityksessä käytetään verkkovirta käyttöisiä lämmityskaapeleita, joita asennetaan jokaiseen siipimuriin vähintään 20 metriä. Asentamalla kaapelit siipimuurien ylä- ja alapäähän vältetään ylimääräisiltä kylmäsiltojen syntymisiltä rakenteeseen ja pystytään varmistumaan betonin kovettuminen erityisesti rakenteen yläpäässä. Muottikalustona siipimuureissa käytetään PERI:n valmistamia seinämuotteja ja viistolla sivulla valmiiksi kassattuja puusta valmistettuja muotteja. Seinämuotteissa eristeenä käytetään 50 mm paksua mineraalivillaa asennettuna muotin ulkopuolella oleviin muotti rakenteen uumiin. Muotin yläpäässä betonipinnassa käytetään eristeenä 15 mm paksuja routamattoja, jotta kylmä ilma ei tavoita betonin pintaa ja aiheuta rakenteelle suuria lämpötilaeroja. Kuvassa 8 esitetty paikalleen asennettuja ja eristettyjä siipimuurien muotteja.



Kuva 8. Paikalleen asennettuja ja eristettyjä siipimuurien muotteja

Pitkän sivun siipimuurit ovat kooltaan 4.1 m³ ja lyhyemmän sivun siipimuurit kooltaan 3.5 m³. Betonimassana Siipimuureissa on käytetty itsetiivistyvää betonia, koska rauditus rakenteen yläpäässä on erittäin tiheä eikä tiivistyssauvan käyttö tästä johtuen ole mahdollista. Siipimuurissa käytettävä betonin lujuusluokka on C35/45. Notkeusluokkana työmaalle toimitetussa itsetiivistyvässä massassa on S4 ja kiviaineen koko on 0 mm – 16 mm. Rasitusluokat betonissa on XC4, XF1 ja XS1. Rasitusluokista XC4 käsittää karbonatisoitumiselle johtuvan rasituksen, mikä johtuu jaksollisesta kastumisesta ja kuivumisesta. Rasitusluokka XF1 käsittää rakenteen, missä sulamisrasitusta tapahtuu ilman jäänsulatusaineita. Luokka XS1 tarkoittaa avomeren vaikutusta mutta ei suoraa meriveden kosketusta rakenteeseen. Rakenteessa käytetty betonimassa toimitetaan työmaalle lämmitettynä. Betonin lämmitystarpeeseen vaikuttavat valun aikaiset ympäristön lämpötilat.

3.5.3 Seinät

Seinät on suunniteltu liittyvän viereisiin siipimuureihin tartuntojen avulla. Seinät ovat paksuudeltaan 250 mm ja betonin määrä seinien välisissä valuissa vaihtelee välillä x ja x. Seinät valetaan siipimuurien väliin missä päätymuotteina toimii valetut siipimuurit. Pitkässä seinän sivuissa käytetään suurikokoisia seinämuotteja mitkä ovat eristetty 50 mm paksulla mineraalivillalla. Seinämuottien asentaminen suoritetaan ajoneuvonosturin avulla. Lämmitysmenetelmänä rakenteessa käytetään lämmityskaapeleita, joita asennetaan jokaiseen seinävälisiin 20 metriä, jos sää olosuhteet niin vaativat. Lämmityskaapelit asennetaan kiinni rauditukseen ja kaapelin asennus painottuu seinärakenteen ylä- ja alapintaan.

Lujuusluokkana rakenteessa on C35/45. Seinien valussa käytetään itsetiivistyvää betonimassaa ja siksi myös betonimassan notkeusluokka on S4 ja käytetty kiviaines on kooltaan 0 mm – 16 mm. Rasitusluokat seinissä käytetyssä betonissa ovat XC4, XF1 ja XS1. Rasitusluokista XC4 käsittää karbonatisoitumiselle johtuvan rasituksen, mitkä johtuvat jaksollisesta kastumisesta ja kuivumisesta. Rasitusluokka XF1 käsittää rakenteen, missä sulamisrasitusta tapahtuu ilman jäänsulatusaineita. Luokka XS1 tarkoittaa avomeren vaikutusta mutta ei suoraa meriveden kosketusta rakenteeseen. Rakenteessa käytetty betonimassa toimitetaan työmaalle lämmitettynä. Betonin lämmitystarpeeseen vaikuttaa valun aikaiset ympäristön lämpötilat. Kuvassa 9 esitetty valettu seinä.



Kuva 9. Valettu seinä

Seinien valuissa käytetään yläpään eristeenä 15 mm paksua routamattoja. Routamattojen käytöllä estetään lämmön pois pääseminen ja vähennetään ylimääräisen kylmän ilman kulkeutumista rakenteen yläpintaan. Ylimääräisien ilmavirtauksien johdosta lämpötila betonin pinnalla pääsee laskemaan ja betonin pinnassa oleva kosteus pääsee haihtumaan pois. Tällä menetelmällä estetään betonipinnan suuret lämpötilan muutokset, mitkä voivat aiheuttaa pintaan mahdollisia halkeamia.

3.6 Lumen ja jään poistaminen muoteista

Lumen poistaminen muoteista voidaan tehdä monilla eri menetelmillä ja lumen pääsyä muottiin pystytään ennalta ehkäisemään erilaisien suojauksien avulla. Kuitenkaan aina muotin suojaaminen ei ole mahdollista tai siihen ei ole osattu varautua oikeanlaisella kalustolla. Kun lunta ja jäätä on päässyt muottiin, joudutaan ne sulattamaan tai poistamaan ennen valutyön aloittamista.

Anturamuoteissa sääsuojina käytetään suuria suojapeitteitä, mitkä asetellaan muotin päälle. Kuitenkaan aina suojapeitteitä ei pystytä asentamaan työvaiheiden takia, jonka seurauksena lunta ja jäätä pääsee muottiin. Anturamuottien sulatuksessa pystytään käyttämään monia eri menetelmiä. Työmaalla käytetyin menetelmä anturamuottien jään ja lumen poistossa on höyrylämmitys. Höyryttämistä tehdään työmaalla lumen ja jään poistamiseksi muoteista ja siinä käytetään läpivirtaustyyppistä höyrykattilaa. Kuvassa 10 esitetty työmaalla käytössä oleva Steamrator MHC-700 höyrykattila.



Kuva 10. Steamrator MHC-700 höyrykattila

Höyrykattilan perustoimintatapa on syöttää vettä tulipesässä olevaan höyrykierukkaan, mitä öljypolttimen liekki kuumentaa. Höyryn painetta voidaan säätää koneessa olevan venttiilin avulla. Höyry ohjataan haluttuun kohtaan höyryletkun ja sen päässä olevan litteän sulatussuuttimen kautta. (Skanskakonevuokraus.fi)

Lumen poistamiseen käytetään työmaalla myös öljykäyttöistä Roudax lämmitintä. Öljylämmitin polttaa öljyä lämmittäen ilmaa, minkä se puhaltaa asetettuun kohtaan. Kuvassa 11 esitetty öljykäyttöinen Roudax lämmitin.



Kuva11. Öljykäyttöinen Roudax lämmitin

Kuvassa sinisen Roudax lämmittimen vieressä on alumiininen polttoainetankki lämmittimelle. Öljykäyttöinen Roudax lämmitin kuluttaa polttoainetta noin 14 litraa tunnissa. Anturaiden alueella käytetty Roudax lämmittää ilmaa, joten paras ja energiatehokkain tapa on estää ylimääräisen kylmän ilman pääseminen lämmitettävälle alueelle. Anturamuotteja lämmitettäessä alue suojataan käyttämällä suojapeitteitä.

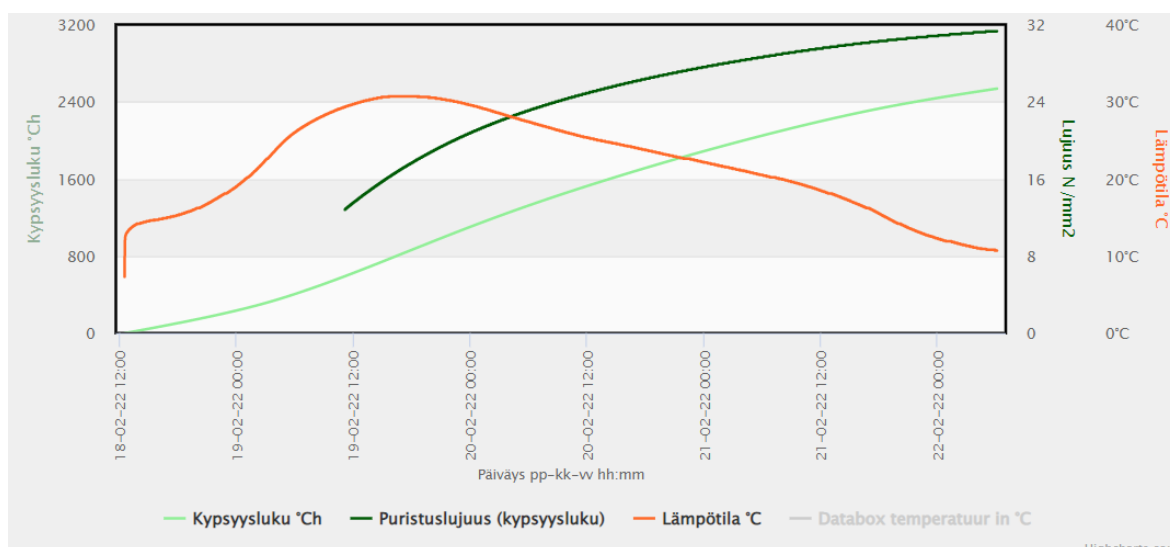
Puhalluslamppua voidaan käyttää jään sulattamisen anturan alueella etenkin jo valetuilta pinnoilta. Puhalluslamppu toimii nestekaasulla ja siitä tuleva liekki voidaan ohjata tarkasti haluttuun sulatuskohtaan. Betonipinnan lämmityksessä on kuitenkin huomioitava, että liian suuret lämpötilat jo kovettuneen betonin pinnalla voi myös aiheuttaa halkeilua. Liekin ohjaus sulatettavaan kohtaan tulee tehdä tarpeeksi etäältä niin, että lämpötilat betonin pinnassa ei pääse nousemaan liian suureksi.

Lehtipuhaltimella voidaan siirtää helposti pakkaslunta pois halutulta työskentelyalueelta. Polttomoottorikäyttöinen lehtipuhallin pystyy puhaltamaan pakkaslunta pinnoilta noin 5 cm paksuudelta. Lehtipuhaltimen käyttö on helppoa ja nopeaa etenkin, kun puhallettava alue on pieni.

3.7 Betonin lämpötilan seuranta

Betonin lämpötilanseuranta tehdään dataloggerien avulla. Talvella lämpötilan mittausta suoritetaan yleensä rakenteiden kohdista, missä oletetaan lämpötilan olevan matalimmillaan. Dataloggereiden lämpötila-anturit asennetaan betonimassan sisään tarpeeksi etäälle lämmityskaapeleista, jotta saavutetaan virheetön mittaustulos.

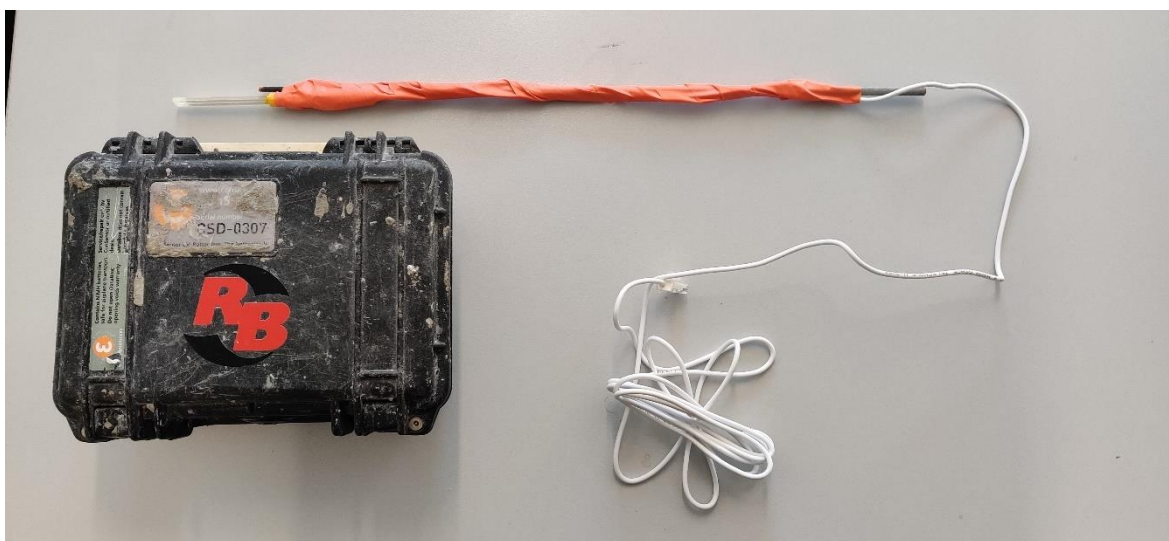
Tässä urakassa yhtenä järjestelmänä käytetään Consensor 3.0 lämpötilan mittausjärjestelmää. Consensor 3.0 databoxi on 2-kanavainen järjestelmä, jonka avulla pystytään seuraamaan kahta eri anturin antamaa lämpötilaa toisistaan riippumattomana. Toisin sanoen kanavat A ja B voidaan konfiguroida verkkosivulla aivan kuin kaksi erillistä DataBoxia. Lämpötilaa ja lujudenkehitystä pystytään seuraamaan reaaliajassa verkkoalustalla osoitteessa www.consensor.eu. (Semtu, 2022) Kuvassa 12 on esitetty näkymä Consensor palvelusta.



Kuva 12. Kuvassa esitetty näkymä Consensor palvelusta

Consensor palvelun kuvasta voidaan havaita helposti betonin puristuslujuus ja lämpötila ajan funktiona. Esitetyn näkymän arvot on mitattu suuresta noin 200 m³ antura valusta.

Verkkoalustalla pystytään säätämään halutut asetukset lähettimelle. Järjestelmän asetuksista pystytään säätämään mittauksen väli ja kuinka usein tieto lähetetään verkkoalustalle. Consensor 3.0 on pöly- ja vesitiivis. Akun keston vaikuttaa ulkolämpötila ja akun ikä. Pienimmillään lyhyillä mittaus- ja lähetysväleillä akku kestää laitteessa noin 10 vuorokautta. Pitkillä mittaus- ja lähetysväleillä voidaan saavuttaa jopa 125 vuorokauden akun kesto. (Semtu 2022) Lämpötilan mittausjärjestelmän työmaalle järjesti betonin toimittaja. Kuvassa 13 esitetty Consensor 3.0 valmisteltuna mittausta varten.



Kuva 13. Consensor 3.0 valmisteltuna mittausta varten

Toisena lämpötilan mittausjärjestelmänä työmaalla on käytössä Testo 175T3 tiedon kerääjä. Järjestelmän mittaamia lämpötiloja ei pystytä seuraamaan reaaliajassa käyttäen etäluku menetelmää. Tiedonkerääjä tallentaa lämpötilatiedot mittarin sisälle, josta ne pystytään lataamaan tietokoneelle. Mittausjärjestelmä Testo 175T3 soveltuu keleille, jolloin ei ole suurta vaaraa betonin jäätymiselle, mutta halutaan varmistua betonin oikeasta lämpötilan kehityksestä. Mittausjärjestelmä Consensor 3.0 pystytään asettamaan hälytin, jos lämpötila laskee liian matalaksi toisin, kun Testo 175T3 tiedon kerääjässä.

Betonin toimittaja pystyy tekemään rakenteista laskelmia, minkä mukaan pystytään laskemaan rakenteen lämpötila ja lujuudenkehitys ennakkoon. Ennakkolaskelmista saadut lasketatulokset ovat suuntaa antavia, eikä niillä voi korvata työmaalla tehtyä lujuusseurantaa, joka tehdään olosuhdekappalein tai valettujen rakenteiden lämpötilaa paikalla mittaamalla. Ennakkolaskelman tuloksiin vaikuttavat aina voimakkaasti työmaaolosuhteiden muutokset oletetusta, kuten ulkolämpötilan ja valuolosuhteen lämpötilan vaihtelut. Tulokseen vaikuttaa myös toteutunut betonin lämpötila, valun suojaus ja eristys sekä muottien purkuajankohta.

Ennakkolaskenta perustuu tunnettuihin betoniteknologisiin riippuvuuksiin sementin ominaisuuksista sekä käytännön testaustuloksiin. Liitteessä 1 on esitetty betonin lämpötilan- ja lujoudenkehitys antura-, seinä- ja siipirakenteessa.

3.8 Maanrakennustöiden menetelmät

Maankaivuu menetelmiin talvirakentamisessa vaikuttaa monet tekijät. Talvirakentamisessa yleisesti lumen määrä ja roudan syvyys vaikuttaa erityisesti maarakentamisen nopeuteen ja tehtyyn työmäärään. Tässä työssä käsitellään talvirakentamisen menetelmiä mitkä vaikuttavat tehtäviin kaivantoihin, täyttöihin ja tiivistyksiin betonianturan alueelta.

Työalueen lumen poisto tehtiin koko työmaan alueelta ennen töiden aloitusta. Lumien poiston johdosta vain satava lumi vaikuttaa työntekoon hidastavasti ja vaatii lisätöitä alueella. Tällä työmaalla suoritetaan syvätiivistys koko anturan alueelle. Syvätiivistyksen johdosta jäinen maa eli routa rikkoontuu noin metrin syvyydeltä. Jäiseen maahan käytetään lisäksi kaivinkoneeseen kiinnitettävää roudan rikkomiseen tarkoitettua routapiikkiä. Routapiikin avulla voidaan rikkoa pinnasta jäistä maata, mikä voidaan murskattuna kaivaa helposti pois. Roudan rikkomiseen voidaan käyttää myös iskuvasaraa. Iskuvasara kiinnitetään kauhan tilalle ja se toimii hydraulisesti. Vasaran sisällä teräspaino liikkuu edestakaisin ja iskiessään alas sen voima johtuu rikottavaan maa-ainekseen. Iskuvasaraa käytetään suuriin ja jäisiin kohtiin mihin routapiikki ei pysty. Jäinen ja rikottu maa-aines ajetaan pois alueelta maanläjitys paikalle.

Täytöt anturoiden alueelle on tehty käyttämällä 0 mm – 32 mm mursketta. Anturoiden alle ajetaan mursketta noin 30 cm koko anturan alueelle ja tiivistäminen tehdään käyttämällä maantiivistysjyrää. Murske levitetään alueelle sulana ja tiivistäminen suoritetaan välittömästi levityksen jälkeen. Tiivistetyn maa-aineksen päälle levitetään 15 mm paksu routamatto, sekä suojapeite eristämään mursketta jäätymiseltä. Lyhyissä erissä levitettyä murske ei ehdi jäätymään ennen tiivistämistä. Alueen laadunvarmistukseksi anturan alueella suoritetaan Loadman ja levykuormituskokeita.

4 Jälkilaskenta ja talvityökustannukset

4.1 Jälkilaskenta

Jälkilaskennalla tarkoitetaan laskentaa, missä käsitellään kustannus- ja suoritemääriä. Jälkilaskennan tavoitteena on kerätä kustannustietoja ja ylläpitää tietoja koko hankkeen ajan. Jälkilaskennalla pyritään selvittämään hankkeen taloudellinen tulos, sekä tuottamaan viitetietoja, joita voidaan mahdollisuuksien mukaan hyödyntää tulevien hankkeiden kustannuslaskennassa ja tuotannosuunnittelussa. (Koskenvesa 2018, 95)

Jälkilaskennan vaiheet

- Hankkeen aikana kustannustietojen kerääminen
- Jälkilaskenta palaverit
- Hankkeen valmistuttua viite- ja mallikohteiden kerääminen

Kustannustietojen kerääminen suoritetaan työmaan aikana ja siitä saadaan välitöntä tietoa työmaalle mihin varoja on käytetty. Jälkilaskenta voidaan suorittaa, kun jokin työvaihe on täysin valmis ja siihen liittyvät laskutukset on hoidettu. Ennen jälkilaskennan aloittamista on varmistettava, että tarkkailtava työ on täysin valmistunut ja kustannukset on loppuun asti laskettu. Kun kustannuksia kasataan, on tarkistettava, että litterointi jokaiselle työvaiheelle on tehty oikein. Mahdolliset virheet litteroinnissa tulee korjata. Määrätiedot ja kustannuslajitiedot tulee korjata vastaamaan toteutunutta tuotantoa ja mahdolliset muutostöiden vaikutukset tulee päivittää oikeiksi. Lopuksi selvitetään mistä mahdolliset erot tavoitekustannuksien ja toteutuneiden kustannuksien välillä johtuvat. Kun useammasta hankkeesta on saatu jälkilaskentatietoa, voidaan sitä käsitellä tilastollisen menetelmin ja hyödyntää yrityksen omassa kustannusjärjestelmässä. (Koskenvesa 2018, 95)

4.2 Betonoinnin lisäkustannukset talvella

Betonoinnin lisäkustannukset talvella koostuvat erityisesti käytettävästä betonilaadusta talvella. Betonimassan reseptiin joudutaan tekemään muutoksia talvella, jotta massan lämpötila ei pääse laskemaan liian matalalle ja nimellisluku saavutetaan halutulla aikavälillä. Betonimassan hintaan vaikuttaa talvella erityisesti sen lämmitys ja mahdolliset lisäaineet. Tässä urakassa käytettyjen betonimassojen hinta on keskimäärin noin 25 % kalliimpaa kuin vastaavilla betonimassoilla lämpöisellä kelillä työtä tehtäessä.

Betonimassojen lisäksi talviolosuhteet vaativat betonin lämpöisenä pitämistä erilaisilla suojaus-, eristys- ja lämmitysmenetelmillä. Menetelmien kustannuksiin vaikuttaa

työkustannukset ja materiaalikustannukset. Materiaalikustannukset eri menetelmiä käytettäessä koostuu suojapeitteistä, mineraalivillasta, routamatoista ja lämmityslangoista. Eri menetelmien käyttöön kuluu myös paljon työtunteja, mitkä otetaan huomioon laskennassa. Lumen ja jään sulatuksessa käytetyt kulut muodostuvat vuokrakaluista, polttoainekustannuksista ja työtunneista. Betonin pumppaukseen käytettävään aikaan ja betonikuormien välistä odotusta ei huomioida laskennassa, koska kuluneet pumppaus- ja odotusajat olisivat lähes samanmittaisia kuin lämpöisissä olosuhteissa työtä tehtäessä. Laskennassa ei myöskään huomioida betonointi-, raudoitus- ja muottitöitä koska niiden tekeminen tapahtuu yksikköhinnoin ja vertailu olisi näin ollen hankala suorittaa.

4.3 Maanrakennustöiden lisäkustannukset talvella

Maanrakennustöihin kuluu routamaan aikana useita työtunteja enemmän kuin sulan maan aikana. Roudanrikkomisen kustannukset talvella muodostuvat ylimääräisistä työtunneista. Roudanrikkomisesta aiheutuivat työmaan aikana noin 30 työtunnin lisäkustannukset. Osittain roudanrikkomisesta aiheutuneita lisätunteja vähensi alueella tehty syvätiivistys, minkä johdosta osa routaantuneesta maasta rikkoontui eikä roudanrikkomista tarvinnut tehdä. Murskeen levittäminen ja tiivistäminen tehtiin pienissä erissä siten, ettei sula murske ehtinyt jäätyä ennen sen tiivistämistä. Työn jaksottaminen on tärkeää ja hyvin suunniteltuna työssä ei kulu enempää työtunteja kuin lämpöisellä kelillä. Kaivinkoneilla työtunteja urakan aikana kului paljon lumitöiden tekemiseen ja lunta jouduttiin ajamaan pois urakka-alueelta käyttäen dumpperia. Kaivinkoneiden ja kuljetuskaluston aiheuttamat tunnit vaikuttavat suoraan talvitöiden kustannuksiin urakassa.

4.4 Talvitöiden muut kustannukset

Talvitöiden kuluihin vaikuttaa olennaisesti monet muutkin kustannukset. Sähkön kulutukseen talvella vaikuttavat valaistuksen ja lämmityksen tarve niin työalueella kuin sosiaalityöaloissakin. Sähkön kulutus on huomattavasti suurempaa talvella kuin kesällä. Urakan sähkön kulutusta pystytään seuraamaan alueella olevan sähkömittarin kautta, minkä mukaan pystytään laskemaan sähköön kuluneet kulut. Talvitöissä on otettava huomioon myös ylimääräinen tarve kuivatus- ja sosiaalityöaloille koska työvoimaa on yleisesti enemmän, jos aikataulu on sama kuin kesäolosuhteissa. Vaatteiden kuivatukseen ja säilytykseen käytettäviin tiloihin on varauduttava lisätiloja hankkimalla.

Erityistä huomiota urakassa on kiinnitetty työturvallisuuteen. Talvella joudutaan tekemään erityisiä toimenpiteitä, jotta työntekijöiden turvallisuus pystytään pitämään korkealla tasolla. Näihin kaikkiin toimenpiteisiin kuluu myös talvisin kuluja. Huomiota joudutaan kiinnittämään erityisesti liukkauden estämiseen työmaan väylillä ja työalueilla. Työmaan liukkautta

urakka-alueella pyritään estämään hiekoittamalla ja poistamalla jäätä ajoradoilta sekä työ-alueilta. Talvella pimeä aika vaatii erityistoimenpiteitä myös valaistuksen osalta. Valaistukseen kiinnitetään huomiota vuokraamalla valomastoja alueella olevan kiinteän valaistuksen lisäksi. Käytössä urakka-alueella on dieselkäyttöisiä suurempia valomastoja, sekä pienempiä valomastoja mitkä toimivat verkkovirralla. Talvitöiden vaikutus on huomioitava myös talvivaatteiden tarpeessa. Työmaalla tulee olla hankittuna työntekijöille talvihanskoja ja tarpeen mukaan hankkia talvivaatteita ja kenkiä työntekijöille. Näillä toimenpiteillä pystytään vähentämään riskiä mahdollisille paleltumille ja liukastumisille. Kaikki nämä toimenpiteet aiheuttavat lisäkustannuksia urakalle. Erityisesti työturvallisuuteen liittyvistä asioista ei kuitenkaan tulisi karsia kustannuksia.

Työmaalla käytettyihin talvikustannuksien määrittelyyn voi kuitenkin jäädä erilaisia kustannuksia tarkkailematta, koska talvi hankaloittaa ja hidastaa työntekoa monilla työn eri osalueilla. Tähän liittyen talvityökustannuksien laskeminen voidaan suorittaa vertailemalla urakoita keskenään ja selvittämällä talvityökustannukset niiden erotuksella. Tässä urakassa vertailu on osittain mahdollista koska viereen on tehty kesä olosuhteissa identtinen halli vuoden 2020 aikana. Vertailuun on kuitenkin otettava huomioon materiaali- ja työkustannusten muuttuminen. Vertailua ei voida tässä urakassa suorittaa betonoinnin, raudoituksen ja muottitöiden osalta, koska nämä työt toteutetaan yksikköhinnoin tehdyllä työllä.

5 Tulokset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli selvittää tutkittavalta alueelta talvibetonointiin ja maarakentamiseen vaikuttaneet kustannukset. Talvitöiden aiheuttamat ylimääräiset kustannukset selvitettiin poimimalla talvityölitteroinnista ne komponentit, jotka vaikuttivat tutkittavaan rakennusalueeseen. Näiden työsuoritteiden aiheuttamat yksittäiset kustannukset muodostivat osan talvityömenetelmien kokonaiskustannuksista. Litterointimenettelyä käytettäessä on kuitenkin varmistuttava siitä, että kaikki niille kohdistuvat työt ovat merkattuna kyseiselle litteralle, jotta saavutettaisiin virheetön tulos. Talvitöistä johtuvat kustannukset sisältävät kuitenkin suuremman resurssien tarpeen, mikä tässäkin urakassa oli huomioitu, mutta sitä ei ole sisällytettyä litterointiin. Tästä johtuen tulosta ei voitu jättää pelkän talvityölitteroinnin varaan, sillä se ei olisi kattanut kaikkia ylimääräisiä kustannuksia, aiheuttaen tulokseen epätarkkuutta.

Tässä urakassa vertailu oli mahdollista viereisen identtisen hallin kanssa, joten työmäärien, kaluston ja menekkien mukaan viereisen hallin kustannuksia pystyttiin vertailemaan rakennettavaan halliin. Tähän laskentaan oli kuitenkin huomioitava raaka-aineiden hintojen nousu, joten tarkan tuloksen saavuttamiseksi laskeminen oli suoritettava tämänhetkisten tarjoushintojen mukaan. Laskelman mukaan talvityöt tuottivat betonoinnin ja maanrakennustöiden osalta noin 11 % lisäkustannukset. Tähän laskelmaan otettiin huomioon myös betonointi-, muotti- ja raudoitustöiden kustannukset. Tässä urakassa pakkasen aiheuttamia katkoja ei syntynyt, jonka johdosta myös talvityökustannukset pysyivät hallinnassa. Lumisateista aiheutuneet katkot olivat yksittäisiä tunteja, joiden vaikutus urakkaan oli minimaalinen. Kustannukset olisivat kasvaneet huomattavasti, jos betonointitöitä ei olisi voitu suorittaa aikataulun mukaisesti. Koko hankkeen kustannuksista talvityöt käsittivät noin 5 % osuuden. Liitteessä 2 on esitetty talvityökustannuksiin vaikuttavat määrät.

Talvitöiden kustannukset määräytyvät pääasiallisesti sääolosuhteiden mukaan. Niiden enustaminen ja arviointi urakkalaskennassa on haastavaa. Talviaikaan sijoittuvien rakennusurakoiden vaatimien työmenetelmien aiheuttamat lisäkustannukset tulisi arvioida mahdollisimman tarkasti, jotta urakkaa tarjoava yritys ei häviäisi mahdollista tarjouskilpailua suurempien tai epätarkkojen kustannuksien vuoksi. Jos betonointityötä on talvella paljon, olisi tämän urakan perusteella järkevää nostaa talvitöiden kustannusmäärää joitakin prosentteja, riippuen kohteen vaativuudesta ja sen laajuudesta. Betonoitaessa talvella havaittiin, että lämmitys, eristys ja suojausmenetelmät vievät paljon materiaaleja ja resursseja.

Työssä tarkasteltujen maanrakennustöiden perusteella voidaan todeta, että kustannuksiin talvella vaikutti sääolosuhteet sekä roudan määrä. Sataneen lumen määrä vaikutti paljon konetyötunteihin, sillä lumen poistamista jouduttiin suorittamaan työalueelta koneellisesti.

Konetyötunnit ovat pääasiallisesti kalliita, jonka takia niihin käytetyt kustannukset kasvavat lumen määrän lisääntyessä. Konetyötunteja kului urakan aikana myös roudanrikkomiseen, joka aiheutti lisäkustannuksia.

Talvella tehtävistä töistä olisi hyvä kerätä tilastoitua tietoa olosuhteista sekä urakoiden toteutuneista kustannuksista. Talvityökustannusten tarkempaa arviota varten on hyvä vertailla ja analysoida kerättyä tietoa, jotta ymmärrys olosuhteiden vaikutuksesta kokonaiskustannuksiin olisi mahdollisimman laajaa. Työmaita tulisi tutkia kokonaisuuksina, koska yksittäisen työvaiheen talvitöiden kustannuksiin vaikuttaa kokemusperäisesti huomattavasti toteutuneet sääolosuhteet, sillä ne voivat vaihdella talven aikana huomattavasti. Kustannuksien kannalta edullisin tapa olisi ajoittaa rakentaminen sulan maan aikaan, koska näin vältetään ylimääräisiltä talvityökustannuksilta.

Tämän urakan toteutus onnistui kaikilta osin erittäin hyvin. Vaikka urakassa oli erittäin kiireellinen aikataulu ja työmäärä oli suhteellisen suuri, niin työturvallisuuden osalta tapaturmia tai vaaratilanteita ei syntynyt. Työt onnistuivat aikataulullisesti erittäin hyvin ja tähän yhtenä suurena vaikuttavana tekijänä oli pätevä työnjohto ja heidän kykynsä suunnitella urakan toteutus, aikatauluttaminen ja turvallisuuteen liittyvät tekijät asianmukaisesti.

Jatkotutkimuksena voitaisiin tehdä tämän opinnäytetyön tyylinen tutkimus, missä tutkittaisiin resurssien nostamisen vaikutuksia urakan aikatauluun ja kustannuksiin. Tutkimuksessa voitaisiin tarkkailla, missä määrin resurssien nostaminen on kannattavaa kiireellisessä urakassa. Tutkimuksen tavoitteena voisi olla selvittää miten suurilla resursseilla työ olisi kannattavin ja nopein toteuttaa. Tutkimalla resurssien kasvattamista suhteessa kustannuksien nousuun ja voitettuun aikaan voitaisiin selvittää taloudellisesti kannattavin tapa rakentaa aikataulullisesti kiireellistä urakkaa.

Lähteet

- Betoniteollisuus ry Talvibetonointi. Toinen painos. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy
- Ilmatieteenlaitos a. Havaintojen lataus. Viitattu 9.3.2022. Saatavissa <https://www.ilmatie-teenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Kankainen J, Keränen P, Lähteenmäki J, Salmenkaita S & Tervo M. 1989. Maa- ja vesira- kennushankkeen ajoitusmalli. Mänttä: Rakentajain Kustannus Oy
- Koskenvesa, A. & Soila, J.-P. 2018. Rakennushankkeen kustannushallinta. Helsinki: Ra- kennustieto Oy
- Kreate Oy, Tietoa yrityksestä. Viitattu 15.3.2022. Saatavissa <https://kreate.fi/yritys/>
- Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenteri 1999, Talvirakentaminen. Viitattu 15.3.2022 Saa- tavissa <https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajain-kalenteri/RK99s697.pdf>
- Ratu C8-0377 Talvityöt ja -kustannukset. Helsinki: Rakennustieto Oy, 2010.
- RIL ry. 2013. RIL 261-2013 Routasuojaus rakennukset ja infrarakenteet. Helsinki
- Rudus a. Betoniakatemia Rasitusluokat Viitattu 18.3.2022. Saatavissa [Haku | https://www.rudus.fi/Haku?term=rasitusluokatRudus](https://www.rudus.fi/Haku?term=rasitusluokatRudus)
- Semtu. Consensor 2-kanavainen DataBox. Viitattu 14.3.2022. Saatavissa <https://www.semtu.fi/application/files/3415/4166/7842/Consensor-3-esite.pdf>
- Steamrator MHC-700. Käyttöohje. Viitattu 22.3.2022. Saatavissa <https://skanskakonevuok- raus.fi/wp-content/uploads/2018/02/MHC-700-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf>
- Suomen Betoniyhdistys ry. a. Betonin lujuudenkehityksen hallinta työmaalla. Viitattu 4.3.2022. Saatavissa <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonra- kentaminen/betonityot/talvibetonointi/betonin-lujuuden-hallinta-tyomaalla.html>
- Suomen Betoniyhdistys ry. b. Betonin suojaus. Viitattu 23.3.2022. Saatavissa <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/betoni- tyot/talvibetonointi/betonin-suojaus.html>
- Suomen Betoniyhdistys ry. c. Betonin lujuudenkehitys talvella. Viitattu 23.3.2022. Saa- tavissa <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/beto- nityot/talvibetonointi/betonin-lujuudenkehitys-talvella.html>

Suomen betoniyhdistys. ry. d. Betonin lämmitysmenetelmät. Viitattu 6.3.2022. Saatavissa <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/betonityot/talvibetonointi/betonin-lammitysmenetelmat.html>

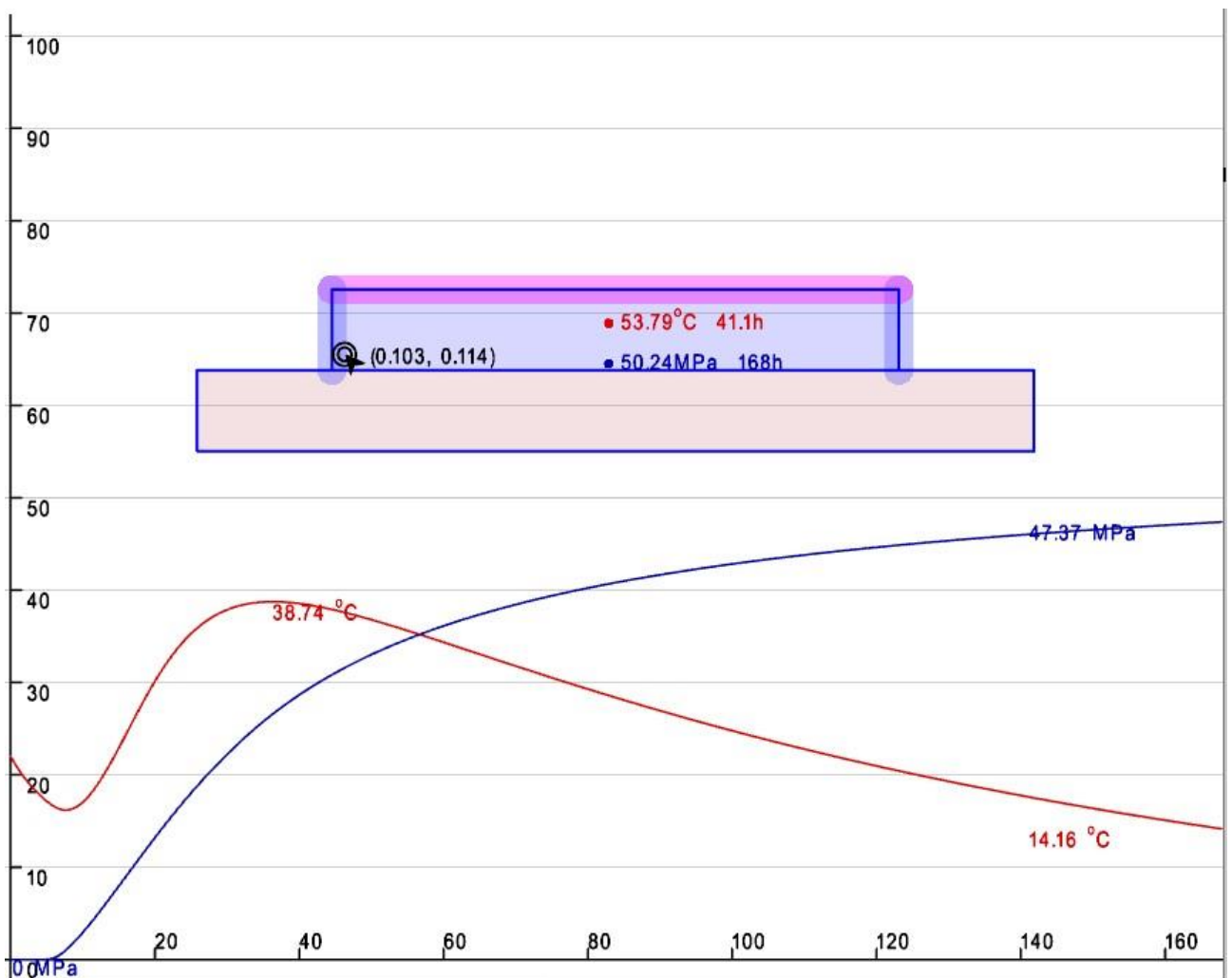
Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, BY 201, Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Liite 1. esitetty betonin lämpötilan- ja lujuudenkehitys antura-, seinä- ja siipirakenteessa.

Työmaa, kohde: Kreate Oy

Valettava rakenne: Antura, Seinä, Siipi

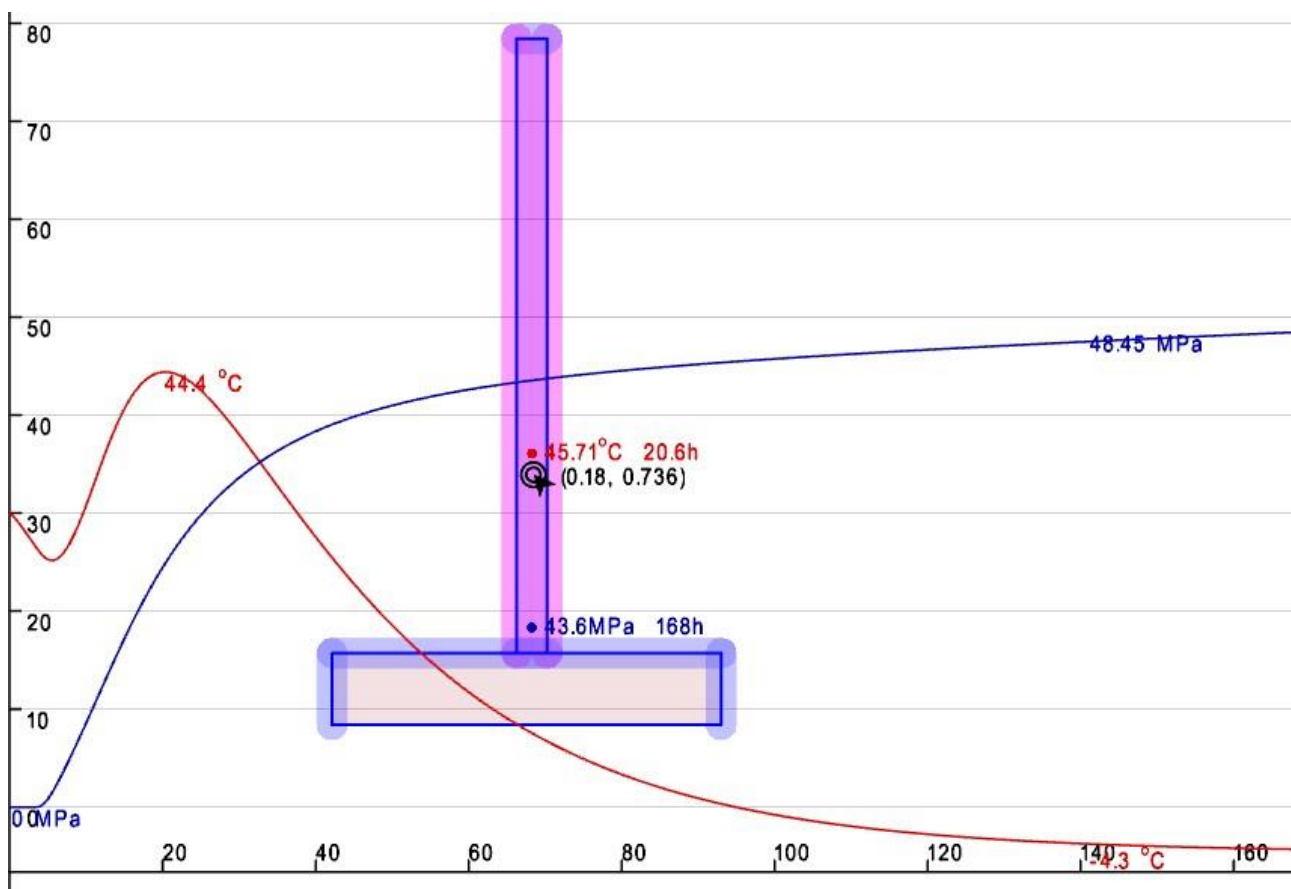
Rakennemalli sekä lämmönkehitys- ja lujuuskäyrät (antura)



Lämpötilat

Max: keskellä 53,8 °C/41,1 h

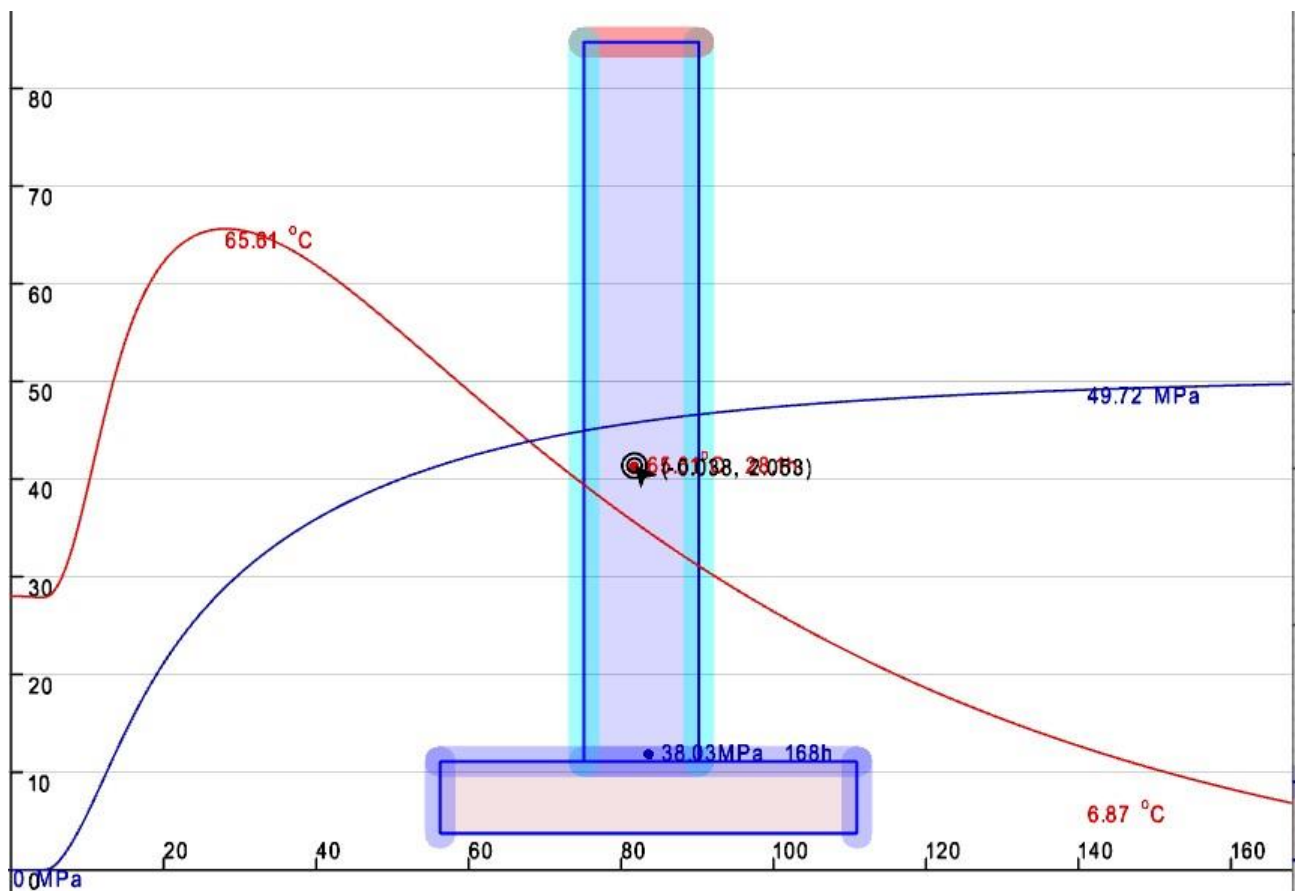
Rakennemalli sekä lämmönkehitys- ja lujuuskäyrät (seinä)



Lämpötilat

Max: keskellä 45,7 °C/20,6 h

Rakennemalli sekä lämmönkehitys- ja lujuuskäyrät (siipi)



Lämpötilat

Max: keskellä 65,6 °C/28,1 h

Muuta

Oheiset laskentatulokset ovat suuntaa antavia, eikä niillä voi korvata työmaalla tehtyä lujuusseurantaa, joka tehdään olosuhdekappalein tai valettujen rakenteiden lämpötilaa paikalla mittaamalla. Ennakkolaskennan tuloksiin vaikuttavat aina voimakkaasti työmaaolosuhteiden muutokset oletetusta, kuten ulkolämpötilan ja valuolosuhteen lämpötilan vaihtelut, toteutunut betonin lämpötila ja valun suojaus sekä muottien purkuajankohta. Ennakkolaskenta perustuu tunnettuihin betoniteknologisiin riippuvuuksiin sementin ominaisuuksista sekä käytännön testaustuloksiin.

Liite 2. Talvityökustannuksiin vaikuttavat määrät

JÄLKILASKENTA

Pvm: 20.4.2022

Nitrogen Terminal Kotka

M11

Talvityökustannukset

Laatija: Roope Pohjoisaho

		LASKELMA	
Talvitöistä johtuvat kustannusvaikutukset		€/yks	
Nimike	Määrä	yks.	
Betonimassat			
Anturat betonimassa	717,5	m ³	
Siiipimuurit betonimassa	260,1	m ³	
Seinät betonimassa	197,2	m ³	
Talvityö eristeet ja suojaukset			
Eristevilla	558	m ²	
Routamatto	20	rl	
Kestopeite	16	kpl	
Lumen ja jään sulatus			
Höyrylämmitys vuokra	2	kk	
Öljy Roudax	14	vrk	
Puhalluslamppu	1	kpl	
Polttoaine	1075	l	
Polttoaine	1278	l	
Vesi	31	m ³	
Sähkö			
Sähkö (Talvi)	28974	kWh	
Sähkö (Kesä)	7654	kWh	
Talvityö valaistus			
Diesel käyttöinen valomasto	60	vrk	
Valomasto	60	vrk	
Talvityö betoninlämmityskaapelit			
Betoninkovetuskaapeli 20 m 735W	105	kpl	
Betoninkovetuskaapeli 10 m 380W	10	kpl	
Betoninkovetuskaapeli 55 m 2200W	5	kpl	
Betoninkovetuskaapeli 85 m 3500W	6	kpl	

Betoninkovetuskaapeli 35 m 1400W	20	kpl	
Talvityötunnit			
Henk. Talvityö	130	h	
Henk. Talvityö	42,5	h	
Henk. Talvityö	84	h	
Henk. Talvityö oma	82	h	
Konetyötunnit ja muut kulut talvitöistä			
Konetyötunnit lumityöt	115	h	
Konetyötunnit Dumpperi lumenajo	80	h	
Ylimääräiset kulut laskutus, pienet kulut yms.	1	kpl	
Työtunnit yleis.			
Talvi	1613,5	h	
Kesä	1453	h	

Huomioitavaa!

Määräluettelossa esitettyihin betonimäärien hintoihin vaikuttavat yksikköhintojen ero talvella ja kesällä.

Talvityökustannukset muodostuvat työn ja sähkön osalta talvi- ja kesämäärien erotuksella.