

Transport av betong i kaldt klima

FORSTUDIE: KARTLEGGING AV TEMPERATUR-
UTVIKLING I BETONG PÅ VEI FRA BLANDEVERK TIL
BYGGEPLASS



SINTEF Notat

Isak Strøm Langås

Transport av betong i kaldt klima

Forstudie: Kartlegging av temperaturutvikling
i betong på vei fra blandeverk til byggeplass

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Notat 37

Isak Strøm Langås

Transport av betong i kaldt klima

Forstudie: Kartlegging av temperaturutvikling i betong på vei fra blandeverk til byggeplass

Emneord: Kaldt klima, transport av fersk betong, nedkjøling, luftmotstand, herdevarme, motorvarme, isolasjon, vindskjerming, simulering, B4cast, betongtransport, betongbil, trommelbil, helikoptertobbe, betongpumpe, vinterstøp

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1693-3 (pdf)

Illustrasjon omslag: Betongflyving i desemberlys, Foto: Megan O'Sadnick

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2021

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

Dette forstudiet er resultatet av et av mange initiativer som har blitt til gjennom betongklyngen N3C, denne gang med FABEKO i spissen. Betongklyngen har gjennom en årrekke samlet bedrifter og organisasjoner med relasjon til betong i kaldt klima og har vært en arena hvor disse kan møtes for å drøfte felles behov for FoU, kunnskap og løsninger på utfordringer i bransjen. N3C har gått fra å omfavne små bedrifter i Ofoten-området til å være en landsdekkende klynge med ambisjoner om å søke ARENA Pro.

Denne forstudien har lyktes i å tallfeste det alle vet, at betong utsettes for nedkjøling når den transporteres i kaldt klima – og oppvarming i varmt klima. Vi har derfor nådd målet med å legge et grunnlag for utvikling av bedre løsninger for transport, der vi utnytter disse effektene i stedet for å lide under dem. En trommelbil har i prinsipp sett likedan ut siden 1960-tallet og den ser i prinsipp likedan ut over hele verden. Vi ønsker å ta betongtransport inn i det 21. århundre, og dette forstudiet har vært det første forsiktige steget.

Narvik, 1. mars 2021

Bård Arntsen
Forskningsleder
SINTEF Narvik AS

Isak Strøm Langås
Prosjektleder
SINTEF Narvik AS

Sammendrag

I denne forstudien har vi utført praktiske målinger på transport av fersk betong i kaldt klima. Vi har fokusert på transport med trommelbil, helikoptertobbe og betongpumpe. Målingene er analysert og vurdert ved bruk av simuleringsprogrammet B4Cast og herdekassemålinger av forskjellige aktuelle resepter.

Når det gjelder transport med trommelbil har N. Petersons formel fra 1966 blitt verifisert. I tillegg har det blitt avdekket at eksterne faktorer har stor innvirkning på temperaturutviklingen. Det viktigste funnet er det store bidraget fra motorvarmen til trommelbilene når bilene har oppnådd driftstemperatur. Funnene danner grunnlag for et eget prosjekt for videreutvikling av dagens standard på trommelbiler. Et konsept som kan benytte motorvarmen og skjerme for vinden på vinterstid og skjerme for motorvarmen på sommerstid, vil være en internasjonal salgsvare.

For helikoptertobber er det dokumentert at betongen utsettes for kraftig nedkjøling med dagens topper, og at isolert topper med lokk utgjør en stor reduksjon i realisert kjøleeffekt. Datagrunnlaget er for lite for konkrete tallfestinger. Vår anbefaling er å videreføre forskningen, med et endelig mål om å utvikle en vintertobbe. En vintertobbe vil heve kvaliteten på levert betong både sommer og vinter.

SINTEF Narviks målinger på betongpumpe har ikke avdekket signifikant kjøling gjennom betongpumpen, og vi har kun gjort observasjoner som verifiserer dagens råd og anbefalte praksis når det gjelder bruk av betongpumpe i kaldt klima.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
BAKGRUNN	6
OPPDRAGET	7
DELTAKERE	8
MÅLSETNING	9
KOMPETANSE OG LITTERATURSTUDIE	9
N. PETERSONS FORMEL	9
SINTEF NARVIKS LOGGERE OG MÅLEUTSTYR	9
RESULTATER FRA UTFØRT ARBEID MED TROMMELBIL	12
INNLEDNING	12
VERIFISERING AV N. PETERSONS FORMEL FRA 1966.....	12
ANDRE FAKTORER SOM PÅVIRKER TEMPERATUR UNDER TRANSPORT	14
<i>Hastighetens betydning</i>	14
<i>Strålevarme fra solen</i>	16
<i>Avgitt varme fra betongbilens motor og drivverk</i>	17
<i>Herdevarme</i>	20
<i>Friksjonsvarme</i>	21
<i>Trommeldesign og farge</i>	21
<i>Analyse og simuleringer av komplekse målinger</i>	21
FORSLAG TIL VIDERE ARBEID MED TROMMELBIL	27
RESULTATER FRA UTFØRT ARBEID MED HELIKOPTERTOBBE	28
INNLEDNING	28
VINKEL	32
ORIENTERING UNDER FLYVING	33
VINTERTOBbens FLYVEEGENSKAPER I RETUR (TOM).....	35
TEMPERATURUTVIKLING I TOBBE	36
<i>Tydelig nedkjøling</i>	37
FORSLAG TIL VIDERE ARBEID MED HELIKOPTERTOBBE	44
RESULTATER FRA UTFØRT ARBEID MED BETONGPUMPE	45
IKKE UTFØRT ARBEID	48
KRANTOBBE	48
KJEMISKE TILSETNINGER I KALD BETONG.	48
REFERANSER	48

Bakgrunn

I betongklyngen "Norwegian Cold Concrete Cluster" (N3C) har man gjennom en årrekke jobbet med å fremme konstruktive ideer til FoU-arbeid som er relevant for gruppens medlemmer.

Norsk Fabrikkbetongforening (FABEKO) tok eierskap til en av disse ideene og formulerte allerede i 2019 et utkast til STATEMP (STabil TEMPeratur i transportleddene for fabrikkblandet betong).

Bakgrunnen for FABEKOs engasjement ble formulert i et brev fra mars 2019:

Nye og enda mer miljøvennlige betongtyper setter større krav til stabil temperatur i betong, og støping under vinterforhold er spesielt utfordrende. Lavkarbonbetong har lave sementmengder med dertil lave vanninnhold. En effekt av dette er at tilsatt mengde varmt vann er lavere enn i tradisjonell betong og det er derfor vanskeligere å oppnå tilstrekkelig høy temperatur fra betongfabrikk. Tilslaget kan selvfølgelig oppvarmes, men dette er en mer utfordrende prosess enn oppvarming av vann.

For å sikre tilsiktet betongtemperatur ved levering på byggeplass er det viktig at temperaturløstapet under transport og pumping ikke er høyt. Det er i dag lite samlet kunnskap om hvor temperaturløstapet er størst eller hvilke prosesser som påvirker temperatur i fersk betong mest.

FABEKO formulerte flere konkrete oppgaver og mål i sin henvendelse. Dette ble tatt inn i søknaden av 2020 og bygd videre på.

Oppdraget

Nedenfor følger formuleringen av oppdraget fra søknaden og tildelingen fra Innovasjon Norge, som del av deres ekstraordinære koronatiltak våren 2020 (Tiltakspakke 3).

Forstudie – Herdeteknologi

«Statemp» eller «Hele kjeden» er en sammenfatning av en rekke løsrevne ideer og tanker som har kommet ut av betongklyngens arbeid. Fellesnevneren for dette er at det er behov for kunnskap og kontroll på temperaturforløpet til fersk betong gjennom hele produksjonskjeden, fra betongfabrikk til ferdig utstøp, f.eks. som fundament på vinterfjellet. Løsninger her vil kunne løfte absolutt alle i hele bransjen, men som det er vanskelig å finne direkte eierskap til siden de forskjellige aktørene tradisjonelt ser kun på sin avgrensede del av kjeden.

Vi har gjennom beslektet arbeid og gode samarbeidspartnere i klyngen gjort flere mindre innledende initiativ og har foreløpige målinger som tilsier at betongen taper 2 grader pr time i transport. Dette er enkeltstående målinger fra en aktør og vi ønsker å få i gang en bredere data-innsamling fra flere aktører. Vi ønsker også å utrede om betongbilene kan skjermes eller isoleres på en hensiktsmessig måte. Vi har simulert temperaturløp i helikoptertobber, og har ønsket om å gjennomføre fysiske målinger. Vi har ønsket om å gjøre tilsvarende på alle sekundære transportmåter av betong. Det være seg krantobbe, pumpebil osv.

Vi ønsker å sett inn i sammenheng hvordan venting og forsinkelser i transport og på byggeplass påvirker kvaliteten på sluttproduktet og hvordan kjemiske tilsetningsmidler i betongen oppfører seg når betongen er kald. (Disse tilsetningene er typisk ment for 20 graders betong og oppover). Denne kunnskapen kan være grunnlag for å utarbeide kraftige opplærings og produksjonsplanleggingsverktøy for bransjen. Ved riktig bruk av simulering og planleggingsverktøy vil bransjen kunne redusere oppvarmingseffekt på vinteren, ved å bruke den på riktig sted og på riktig tidspunkt.

Den vil også være direkte innspill til hovedprosjekter for utarbeidelse av konkrete tekniske nyvinninger og potensielt grunnlag for etablering av ny teknisk industri med felles mål om bl.a. redusert CO₂-avtrykk.

Vi bærer også på et ønske om at disse nyvinningene kan bidra til å heve den generelle kunnskapen blant de utøvende i bransjen og øke fokus på viktigheten av – og fordelene med – god planlegging og god oppfølging.

Tildelte midler vil brukes til å etablere forprosjekter der vi får samhandling mellom de forskjellige leddene i kjedene og kan følge betongleveranser gjennom de forskjellige ledd, under varierende vinterforhold. Ansvarlig for prosjektet er SINTEF Narvik med støtte fra KUPA c/o Betongklyngen.

Deltakere

SINTEF Narvik ønsker å takke alle som har bidratt i dette forstudiet:

B&E Entreprenør AS, ved André Marthinussen og deres transportør Thore Magnussen og Sønn AS.

Consto Anlegg Nord AS, ved Torbjørn Torgnes, Alf-Einar Eliassen og Geir-Åge Linchausen.

Contech Analysis Aps, ved Erik Steen Pedersen. (simuleringsprogrammet B4Cast)

Fjellbygg AS, ved Cato Dale

Helitrans AS, Bård Kjesbu og samtlige helikoptercrew.

HGB Betong AS, ved Stian Pedersen og Lillian Larsen

Magnar Solvang transport og betongpumping AS, Magnar Solvang mfl.

Narvik Kran og Transport AS, ved Daniel «Dappen» Pedersen

Norsk Grønnkraft Utbygging AS, ved Svein Halveg

Storegga betong AS, Cato Nordgård, Mads Kittelsen, Tor Arne Hansen mfl.

SINTEF Digital, Tor Thorsrud Sporse

Technomek AS, ved Kåre-Jan Johansen

Torbjørn Torgnes, privat veggstøp

Tecto AS, Gunnar Olsen mfl.

Unicon AS, Kari Aarstad og Berith Gudding Pedersen mfl.

Veiservice Betongtransport AS, Rune Ingebrigtsen, Markus A. Pedersen, Eugeniusz Krzeminski mfl.

Deltakere fra SINTEF Narvik AS:

Bård Arntsen

Christian Petrich

Fredrik Arntsen

Isak S. Langås

Megan O'Sadnick

Torbjørn Torgnes

Tore Pedersen

Øystein Kleven

Målsetning

1. Etablere en god oversikt over temperaturforløp i transport under forskjellige nordnorske forhold og betongsammensetninger
2. Informere/distribuere resultatene til betongklyngens medlemmer spesielt og nordnorsk betongbransje generelt
3. Utarbeide forslag til forbedringer av metoder og innovasjoner/utvikling av utstyr basert på resultatene i mål 1
4. Utrede/følge mulige forbedringer inn i utviklingsprosjekter

Kompetanse og litteraturstudie

Gjennom en innledende dialog med betongentreprenørene N3C har vi fått bekreftet at entreprenørene sitter på lite faktabasert kunnskap om temperaturutvikling i betongtransport. De fleste benytter logiske tilnærminger og erfaringer fra eget virke som planleggingsgrunnlag for transport.

Vi har fulgt opp med et litteratursøk og har som forventet funnet svært lite om temaet. American Concrete Institute har utarbeidet en rapport om betongarbeid vinterstid [1] der avsnittet om transport refererer til Nils Petersons arbeid fra 1966 [2]. Dette er også det eneste vi har funnet i vårt søk som omhandler målinger og beregninger av temperatur i betongtransport. I Petersons rapport fra 1966 refereres det igjen til "Avkylning av fersk betong under transport, Cement- og Betonginstituttet, Kontaktavdelningen, NR.261 1964". På tross av gjentatte henvendelser til norske og svenske biblioteker har det ikke lyktes oss å få tak i denne rapporten.

Vi har ikke funnet noe om kjøling under sekundær transport som helikoptertobber, krantobber eller betongpumper.

N. Petersons formel

N. Petersons utledet tre formler for transport av betong med bil. Formlene for transport i lastebil med henholdsvis åpen og lukket kasse er ikke lenger relevante fordi betongtransport i dagens Norge nesten utelukkende foregår med trommelbil.

Petersons formel gjelder for 90 minutter transport (ACI bruker samme formel for 60 minutter), og ifølge ham påvirkes ikke temperaturfallet signifikant av transporthastighet. Vi skal komme tilbake til dette, men nøyer oss her med å kommentere at hastighetene på svenske vinterveier tidlig på 1960-tallet nok var betydelig lavere – og dermed ga mindre påvirkning – enn dagens transport.

N. Petersons formel for betongtrommel: $T = 0,25(t_r - t_a)$

Hvor: T = Temperaturfall i transport

T_r = Ønsket temperatur ved mottak

T_a = Lufttemperatur

Regneeksempel:

Hvis man ønsker 15 °C på betongen ved mottak og lufttemperaturen er 2 °C, vil regnestykket se slik ut:

$$T = 0,25 \cdot (15 - 2) = \underline{3,25 \text{ °C per 90 min}} \text{ (~} 2,1 \text{ °C for 60 min)}$$

Dette tilsier at betongen ut fra blandeverk bør være 18,25 °C før en 90 minutters kjøretur.

SINTEF Narviks loggere og måleutstyr

Oppsettet til trommelbil består av to loggere. En logger er montert på trommelbil (Figur 1), som registrerer utetemperatur med to temperatursensorer: En sensor er montert inne i boksen og en annen stikker ut av boksen. I tillegg har denne boksen et GPS-system som logger posisjon/hastighet. Alle data blir sendt til <https://ndat.no/bb/> i sanntid. Den andre loggeren legges i

trommelen når den fylles med betong (Figur 2). Denne loggeren har også to temperatursensorer – en intern og en stikkende ut. Denne har naturlig nok ikke GPS-mottaker, men sender også i sanntid til vår hjemmeside.

Loggerne og sensorsystemet er spesialbygd av SINTEF Narvik AS. Systemet er i utgangspunktet utviklet for å logge is- og vanntemperatur i åpent hav og nordnorske fjorder, der systemet må tåle påkjenninger som saltvann, høyt trykk på dypt vann, isproblematikk og uvær. De forskjellige sensorene er testet og sortert før bruk slik at vi har temperaturlogging med feilmargin $< \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ [3].

Dette systemet er også benyttet i SINTEF Narviks herdekasse og helikoptersensor (se "Resultater fra utført arbeid med helikoptertobbe").



Figur 1: Lufttemperatur- og GPS-logger montert på en av bilene til Thore Magnussen og Sønn, i forbindelse med betongtransport for B&E. Foto: <https://www.magnussenogsonn.no/>



Figur 2: Trommellogger etter ett års bruk. De fungerer fremdeles. Utstikkende sensor ses midt i bildet.

SINTEF Narvik har i tillegg supplert med manuelle målinger og IR-foto av trommelbiler når anledningen har bydd seg. Ved manuelle målinger har vi benyttet et FLUKE 54 II B Termometer med tilhørende prober, som har oppgitt nøyaktighet 0,05 % +/- 0,4 °C. Vårt IR-kamera er et FLIR B425 med følsomhet < 50 mK.



Figur 3: IR-fotografi av Magnar Solvangs bil som vaskes med varmt vann etter fullført leveranse i forbindelse med helikoptertransport av betong på Altevann 8.12.2020. Fargespekter i høyre kant representerer temperatur målt i °C.

Resultater fra utført arbeid med trommelbil

Innledning

Gjennom året 2020 har vi fått mulighet til å logge på tre forskjellige lokasjoner:

- Betong og Entreprenør AS, med utgangspunkt i deres blandeverk på Rækøya i Kabelvåg, Lofoten
- Unicon AS, innlemmet i prosjektet SiteCast: <https://www.sintef.no/prosjekter/sitecast/>
 - Utgangspunkt i blandeverk i Leirfossveien, Trondheim
 - Utgangspunkt i blandeverk på Sjursøya, Oslo

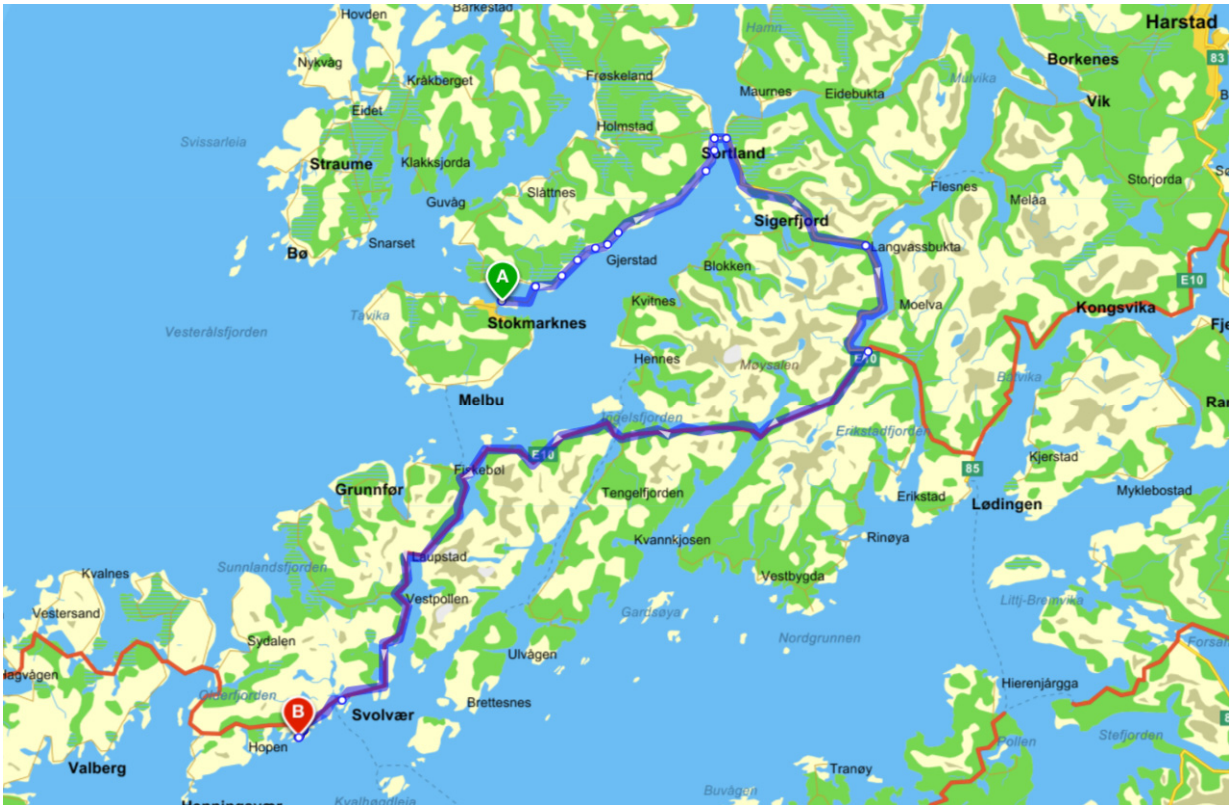
Hovedandelen av trommelmålingene har blitt utført at B&E i André Marthinussens regi. Det er også hos B&E vi har fått mulighet til å utføre herdekassemålinger på relevant betongresept i kombinasjon med trykkprøving og reseptanalyse, og fått detaljerte hendelseslogger fra utførte transporter. Resultatanalysen er derfor i hovedsak gjort på målingene fra B&E og verifisert med målinger fra Unicon.

Som en del av resultatanalysen har SINTEF Narvik utviklet en simuleringsmodell av B&Es aktuelle betongresept og brukt dette aktivt i analysen av deres temperatur i transport og herdeforløp i aktuelle objekter.

Våre måleresultater bekrefter at N. Petersons formel fra 1966 er en god tommelfingerregel, men vi ser også at det er mange faktorer som påvirker, og dermed er disse faktorene essensielle i forståelsen av temperaturutviklingen i betongen når den transporteres. I de følgende delkapitlene utreder vi de forskjellige faktorene vi har identifisert.

Verifisering av N. Petersons formel fra 1966

Vi har flere gjennomføringer der betongbilen kjører direkte fra A til B og verifiserer at Petersons formel fra 1960-tallet stemmer godt. Figur 5 viser et eksempel der betongbilen kjører fra Kabelvåg til Børøya på Stokmarknes via Lofast.



Figur 4: Kartutsnitt som viser kjørerute fra Kabelvåg til Stokmarknes via Lofast

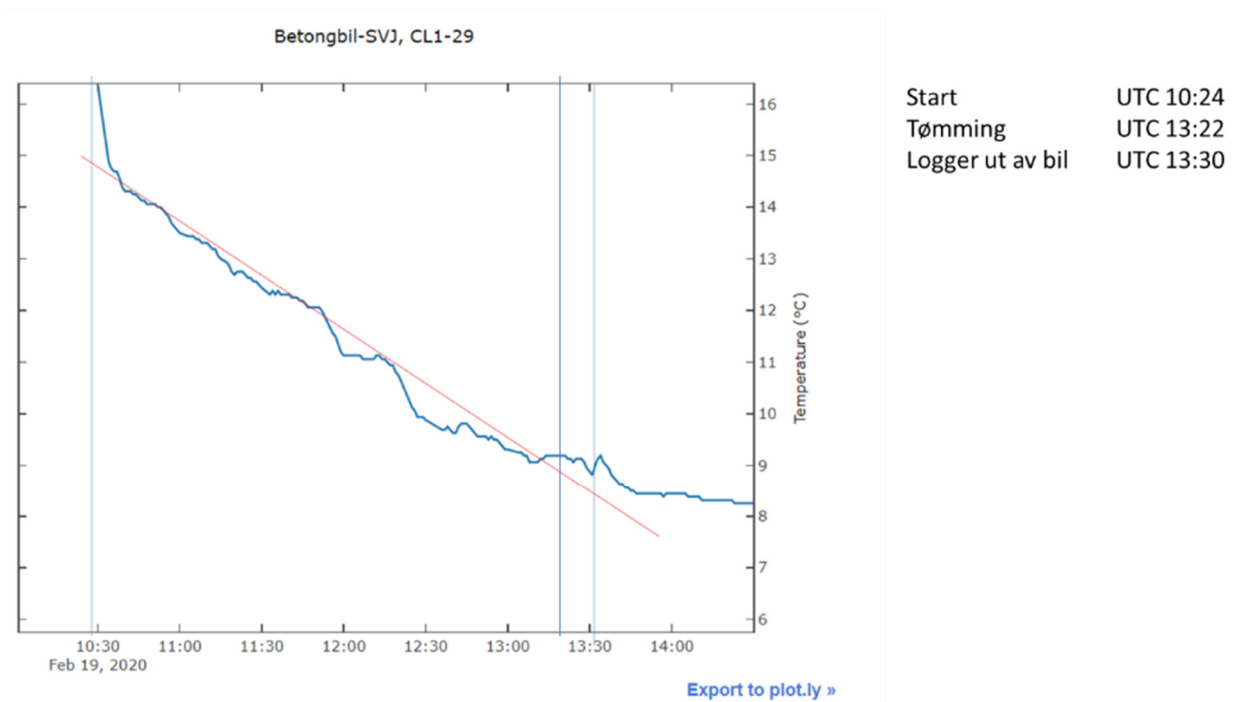
Det kjøres i et relativt jevnt tempo med en gjennomsnittsfart på ca. 50 km/t og gjennomsnittlig lufttemperatur på ca. -2 °C. Petersons uttalte at variasjon i hastighet ikke hadde stor innvirkning på deres målinger [2]. Vi antar at de i 1966 kun hadde anledning til å måle temperatur før og etter transport, og vi antar at hastigheten langs svenske vinterveier i dette tidsrommet var ganske moderat sett fra dagens perspektiv. Når vi nå har mulighet til å logge underveis, ser vi produktet av variasjonen i fart og temperatur i løpet av turen.

Utrekning ved bruk av N. Petersons formel i dette konkrete tilfellet, der T_r er hentet fra Figur 5:

$$T = 0,25 (T_r - T_a) = 0,25 (9 \text{ °C} - -2 \text{ °C}) = 0,25 * 11 \text{ °C} = \underline{2,75 \text{ °C per 90 min.}}$$

Kjøreturen varte ganske nøyaktig 3 timer, som tilsvarer en starttemperatur:

$$T_s = T_r + T * 2 = 9 \text{ °C} + (2,75 \text{ °C} * 2) = \underline{14,5 \text{ °C}}$$



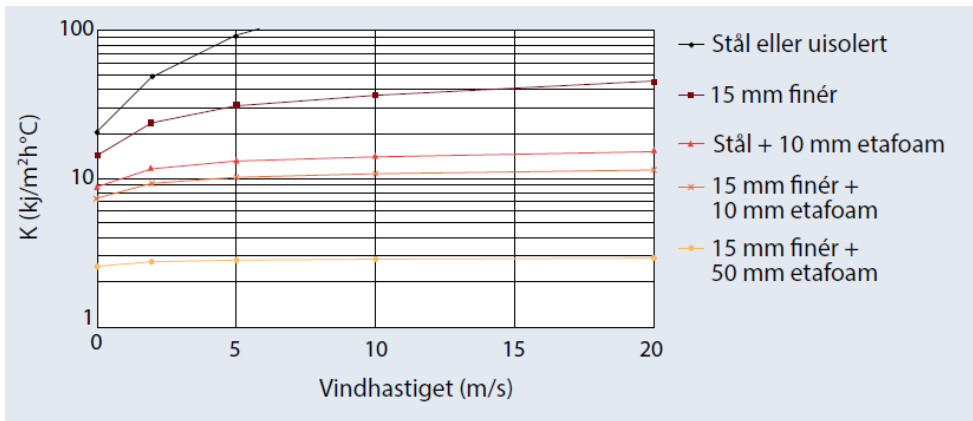
Figur 5: Verifisering av N. Petersons formel. Transport fra Kabelvåg til Børøya på Stokmarknes, via Lofast. 19.2.2020. Gjennomsnittlig utetemperatur var -2°C og gjennomsnittlig hastighet 50 km/t. Noen variasjoner i hastighet og utetemperatur i løpet av turen.

Andre faktorer som påvirker temperatur under transport

Gjennom analysene av målte transportforløp dukket det opp enkelte svært komplekse målinger som ikke lar seg forklare med N. Petersons formel. Ved kun å se på blandetemperatur (temperatur før transport) og temperatur i forskaling (temperatur etter transport) vil man kunne konkludere med at formelen feiler. SINTEF Narvik har jobbet mye med disse komplekse målingene og formulert en rekke hypoteser. Hypotesene er så bekreftet eller avkreftet ved bruk av simuleringssystemet B4Cast. Konklusjonen er at vi kan bekrefte at N. Petersons formel er korrekt for selve transporten, i det som i dag beskrives som moderat hastighet, men at den ikke tar hensyn til innvirkningen fra faktorene vi skal beskrive videre i dette kapitlet.

Hastighetens betydning

Nedkjølingseffekten har en direkte sammenheng med trommelbilens hastighet. I betonglitteraturen er det som nevnt innledningsvis svært lite som omhandler transport, men på fenomenet vindhastighet mot forskaling fins det mye dokumentasjon. Norcem's FoU-avdeling har utarbeidet en betongbrosjyre om herdeteknologi i kaldt klima [4] – en oversiktlig og lettlest brosjyre som vi anbefaler for alle som jobber med fersk betong. Norcem FoU beskriver her blant annet hvordan transmisjonstallet K (Figur 6) økes med økt vindhastighet, og da spesielt mot stålforskaling. Betongbilens trommel er av stål, og Norcem diskuterer dette materialet på lik linje med uisolert betong, da det har en forsvinnende lav varmeledningsmotstand (Tabell 1).

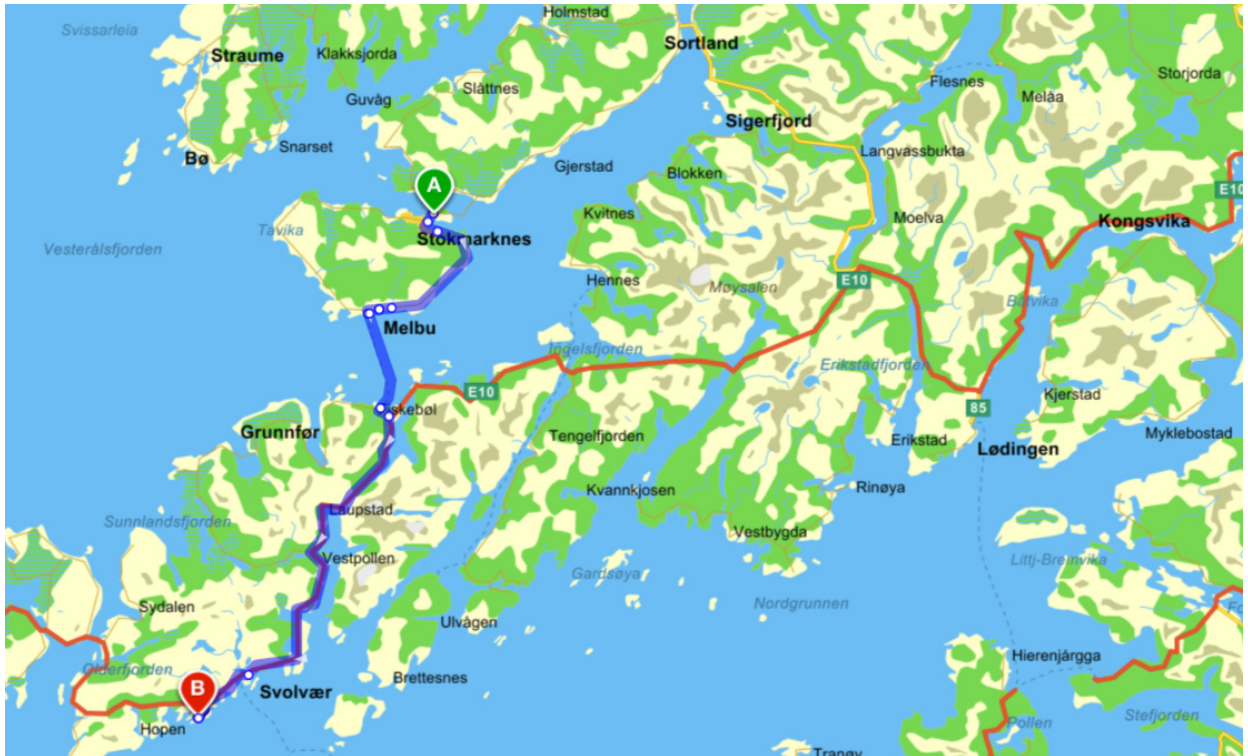


Figur 6: Transmisjonstallet K for endel forskalingsløsninger. Transmisjonstallets endring avhengig av vindhastighet. OBS: logaritmisk skala. 5 m/s tilsvarer 18 km/t. Kilde: Norcem [4]

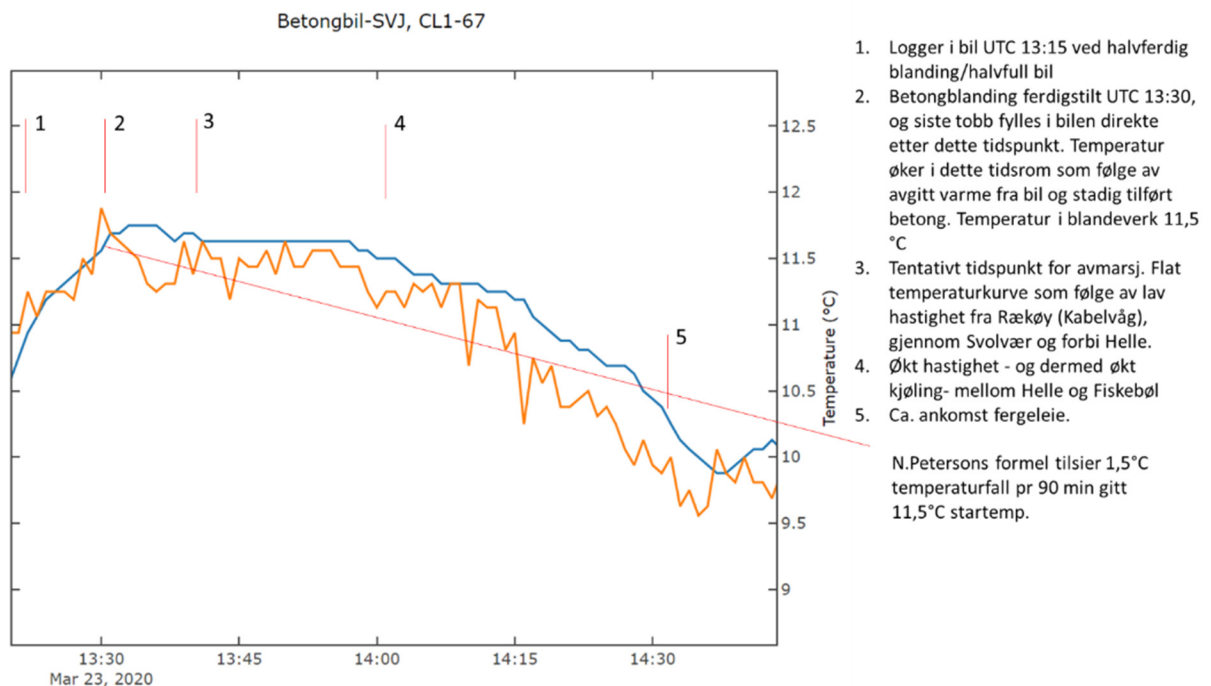
Tabell 1: Varmeledningsmotstand m_1 ($m^2h^\circ C/kJ$). Norcem's tabell for varmeledningsmotstand i forskjellige forskalingsmaterialer. Kilde: Norcem [4]

Stålforskaling:	0,00005
Finér 15 mm:	0,022
Finér 22 mm:	0,033
Etafoam 10 mm:	0,067
Vintermatte 50 mm:	0,330
Stål + etafoam 10 mm:	0,067
Finér 15 mm + skumplast 10 mm:	0,089

Gjennom målinger har vi funnet flere eksempler på hastighetens betydning. I de fleste tilfeller er bildet komplekst med flere innvirkende faktorer (se Figur 17), men i Figur 8 har vi et eksempel der hastigheten er den dominerende og tydelige faktoren. Dette utsnittet av transportforløpet er hentet fra logging 23. mars på strekningen Kabelvåg–Fiskebøl–Stokmarknes. Det var en gjennomsnittlig utetemperatur på ca. 4 °C, og vi ønsker her å framheve den tydelige effekten av hastighetsendringene.



Figur 7: Kartutsnitt som viser reiserute Kabelvåg–Fiskebøl, med ferje over Hadsselfjorden, så Melbu–Stokmarknes

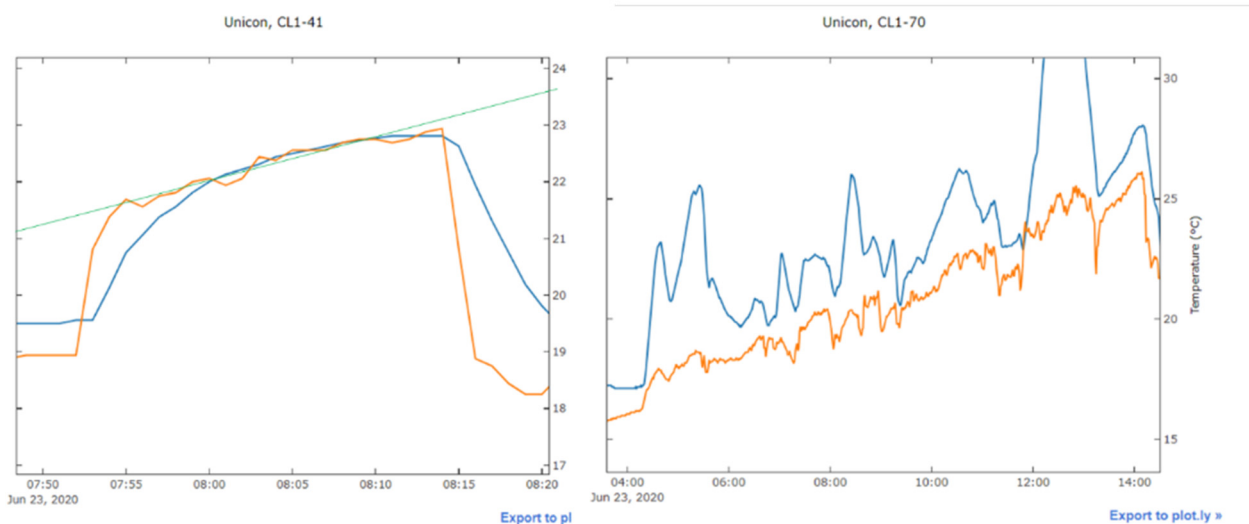


Figur 8: Eksempel på hastighetens betydning. Transport mellom Kabelvåg og Stokmarknes 23. mars 2020. Figuren viser strekningen Kabelvåg–Fiskebøl.

Strålevarme fra solen

SINTEF Narvik hadde forventninger om at solens varmestråling påvirker betongtemperaturen i positiv retning, og har brukt dette som hypotese gjennom studien for å forklare temperaturøkningen vi har sett. Siden transport i sommersonne og sommertemperatur ikke har vært i fokus i denne forstudien, har vi ikke instrumentert bilene for å kunne sette tall på dette. Vårt grunnlag for

analyse har kommet gjennom indirekte målinger, og det er usikkert hvor stor effekt varmestråling har. Figur 9 viser en av de målingene hvor det tydeligst kommer fram at solen kan være en viktig faktor, her i kombinasjon med høy lufttemperatur og høy starttemperatur på betongen. I høyre del av figuren vises lufttemperaturen, og blå graf er fra sensoren inne i den svarte boksen som helt tydelig blir varmet opp når solen skinner rett på. I venstre del av figuren vises det at betongen har en betydelig temperaturøkning under den korte transporten.

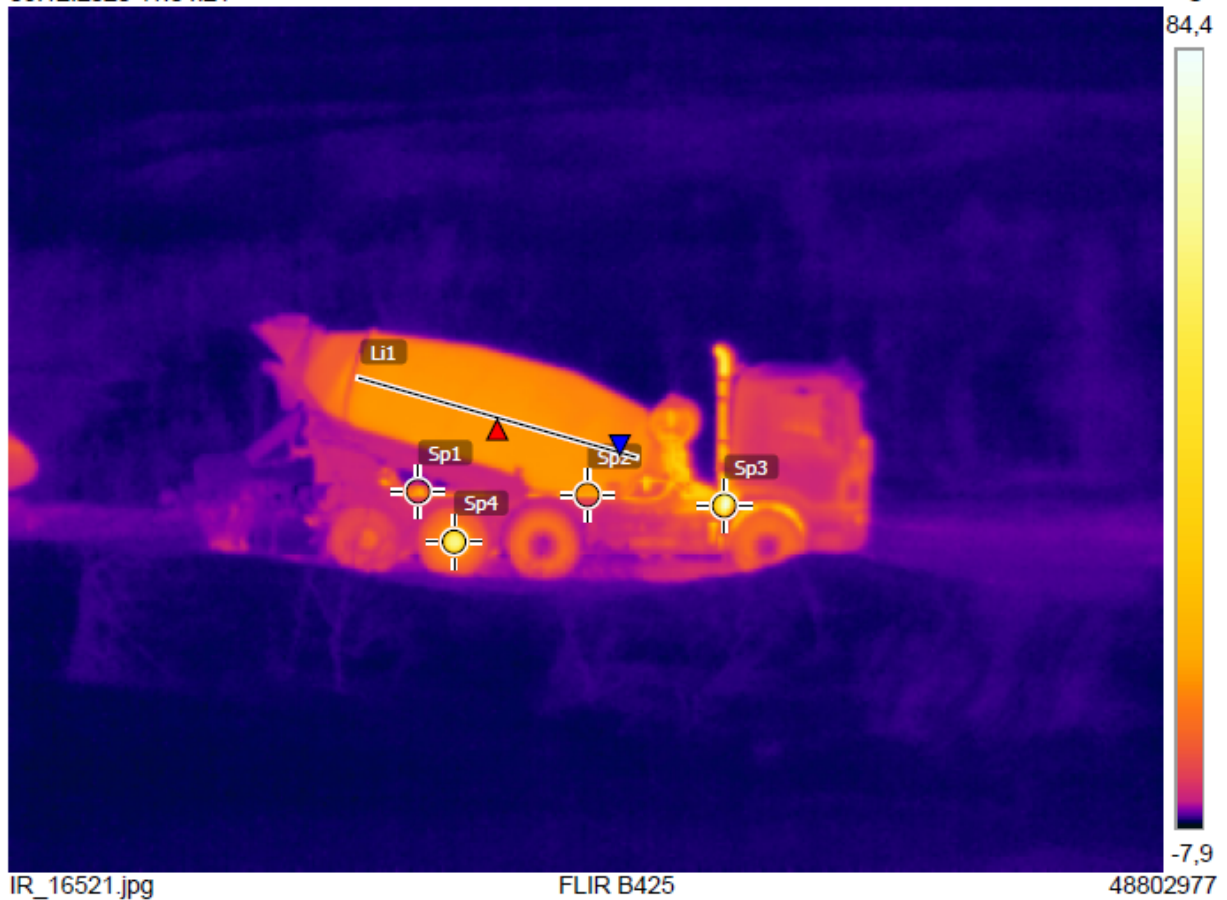


Figur 9: Målinger hos Unicon i Trondheim som viser betongens temperaturøkning (venstre) sammen med utetemperaturen (høyre). 23.6.2020

Avgitt varme fra betongbilens motor og drivverk

Avgitt motorvarme fra trommelbilen gir betongen et langt større varmebidrag enn vi hadde forutsett. I løpet av prosjektet analyserte vi oss fram til at dette var en faktor, som igjen ledet til at vi så spesielt etter dette for å avdekke hvor stort bidrag denne faktoren gir. Figur 10 gir tydelig dokumentasjon på bilens varmeutstråling etter noe driftstid. Bilen har kjørt distansen Andslimoen–Altevann. Dette er en strekning på ca. 70 km, med en betydelig stigning de siste kilometerne opp til lasteplass (Figur 11 og Figur 12). Aktuell lufttemperatur hadde et gjennomsnitt på ca. -5 °C. Vi ser at motor, drivverk og selve rammen til bilen har en betydelig høyere temperatur enn selve trommelen, til tross for at bildet er tatt 10 minutter etter ankomst.

08.12.2020 11:04:21



Målinger

Sp1		18,8 °C
Sp2		22,2 °C
Sp3		84,8 °C
Sp4		67,5 °C
Li1	Max	16,7 °C
	Min	13,4 °C
	Average	15,9 °C

Parametere

Emissivitet	0.95
Refl. temp.	0 °C

Bil 2, ca 10 min etter ankomst

Sp1 og Sp2, ramme på bilen har ca 20 grader!

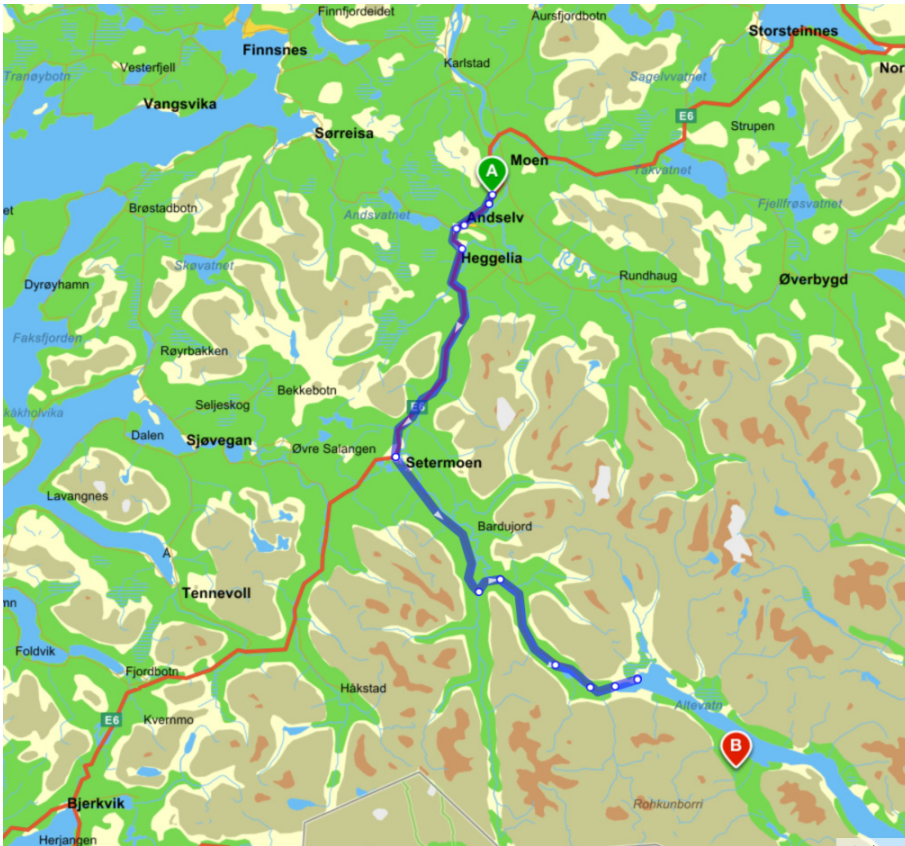
Sp3, motorvarme bak hytta på 85 grader

Sp4, reduksjonsgir på drivakslingen

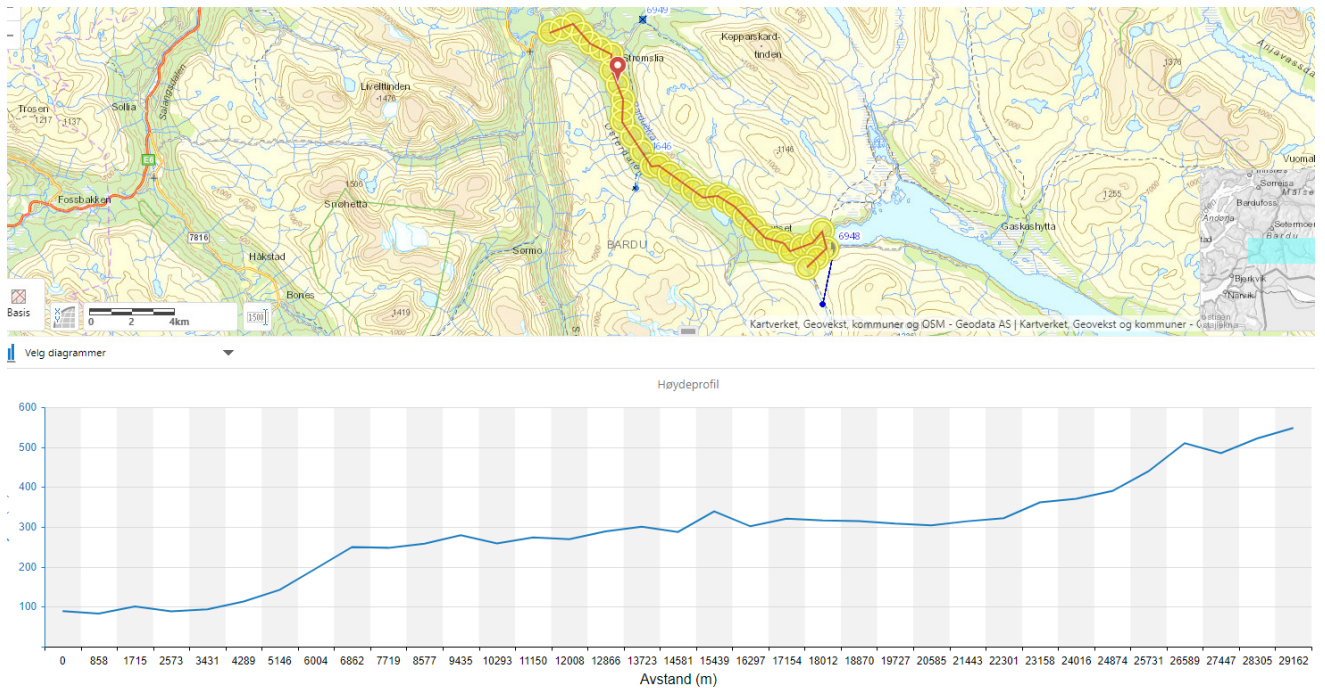
Trommel har jevn overflatetemperatur

Figur 10: IR-bilde av betongleveranse på Altevann, ca. 10 min etter ankomst

Hvis vi ser tilbake på Figur 8, så vises det tydelig at temperaturen øker når bilen har fått parkert på fergeleie mens den venter på ferga.



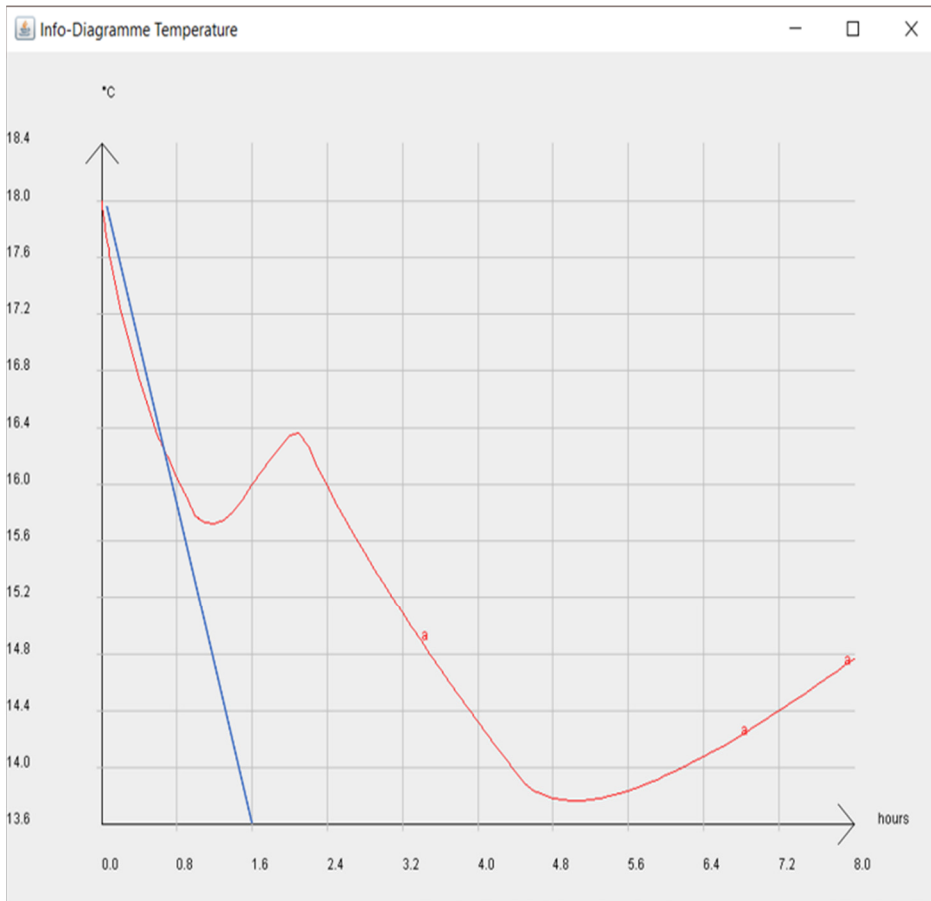
Figur 11: Kartutsnitt, Andselimoen – Altevann



Figur 12: Høydeprofil for de siste 30 km opp til Altevann. 500 m stigning

I forbindelse med loggingen av helikoptertobber fikk vi også gjort gode målinger ved mottaket av betongen, som da hadde blitt transportert relativt langt i kaldt klima, jf. Figur 10. I denne situasjonen hadde vi ikke logger i trommelen, men vi fikk gode data fra blandeverket til Storegga: Betongen ble blandet til 18 °C. Dette er en tydelig situasjon hvor N. Petersons formel ville feilet

hvis man ikke tar hensyn til bilens varmebidrag den første tiden etter ankomst. Hvis man benytter N. Petersons formel, skulle betongen ha ca. 13,5 °C ved leveranse. Den hadde 16,6 °C. Ved å påtrykke 25 °C varme i ca. 30 minutter etter ankomst i simuleringen, møter simuleringen faktiske målinger. Se Figur 13.



Rød linje, simulering av temperaturforløp i betongbil

Trenden tydelig:
Nedkjøling under transport, oppvarming første tiden etter parkering, «normal» nedkjøling frem til herdevarmen starter

Legg merke til knekken i transportnedkjølingen, der er det lagt inn at farten reduseres som funksjon av oppoverbakkene til Altevann

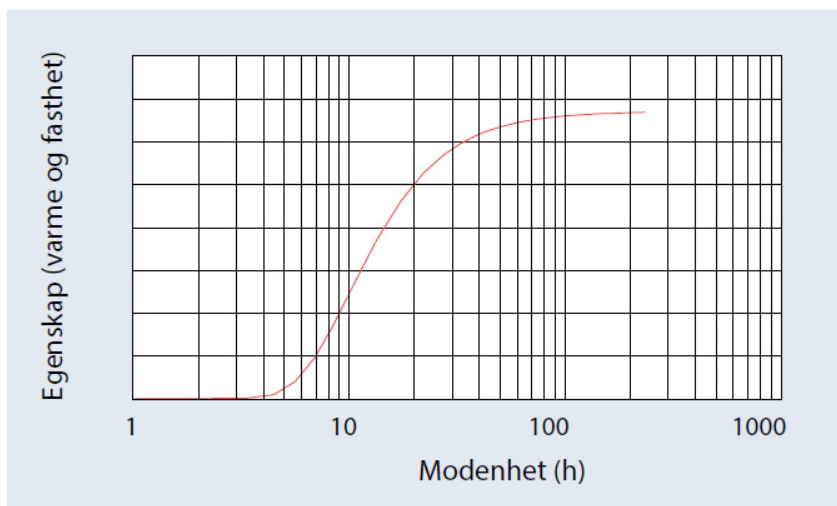
Legg også merke til at herdevarmen er tydelig etter 4,8 timer.

Blå linje, viser N.Petersons formel for transport. Den tilsier 4,4°C tap pr 90 min

Figur 13: Simulering av temperaturutvikling for betongtransport til Altevann

Herdevarme

Når hydratiseringen starter i betongen, utvikler betongen selv en betydelig herdevarme. I alle våre målinger, bortsett fra hos Unicon i Oslo, er det brukt betong blandet på Norcems STD Fa sement. Figur 14 viser egenskapsutviklingen som funksjon av modenhet. Dette beskriver når betongen begynner å utvikle varme og styrke ved 20 °C. Hvis betongen er varmere enn 20 °C, går det hurtigere, og hvis den er kaldere, går det saktere. Vi ser i figuren at utviklingen starter etter ca. 3 modenhetstimer, og at den eskalerer hurtig fra ca. 5 modenhetstimer.



Figur 14: Sammenheng mellom egenskap og modenhet. Egenskapsutvikling til Norcem STD Fa. Kilde: Norcem [4]

I forbindelse med loggingen til Unicon i Trondheim fikk vi tilbakemelding om at mottakerne av betongen ofte opplevde at herdingen var tiltakende ved leveranse på varme dager – til tross for kort transporttid. Vi har for lite datagrunnlag til å analysere hvor langt de respektive betonglassene hadde kommet i modningsprosessen, men på generelt grunnlag ser vi at deres transport ikke har hastighet eller transporttid til å kjøle betongen. Da får faktorer som varm bil, varmt vær og varm betong fra blandeverk lov å virke sammen, og som resultat akselerere modenheten på betongen betydelig.

Friksjonsvarme

Vi har ved flere anledninger hørt påstander om at det utvikles friksjonsvarme som konsekvens av høy rotasjonshastighet. Det har vi ikke data for å uttale oss om i denne forstudien. Se kapitlet "Forslag til videre arbeid med trommelbil".

Trommeldesign og farge

De forskjellige trommelbilene har tromler av forskjellig størrelse, utforming og ståltykkelse. I tillegg har de forskjellig lakk og påmalte logoer. Vi har ikke data for å uttale oss om dette har en signifikant betydning i forbindelse med temperatur. Se kapitlet "Forslag til videre arbeid med trommelbil".

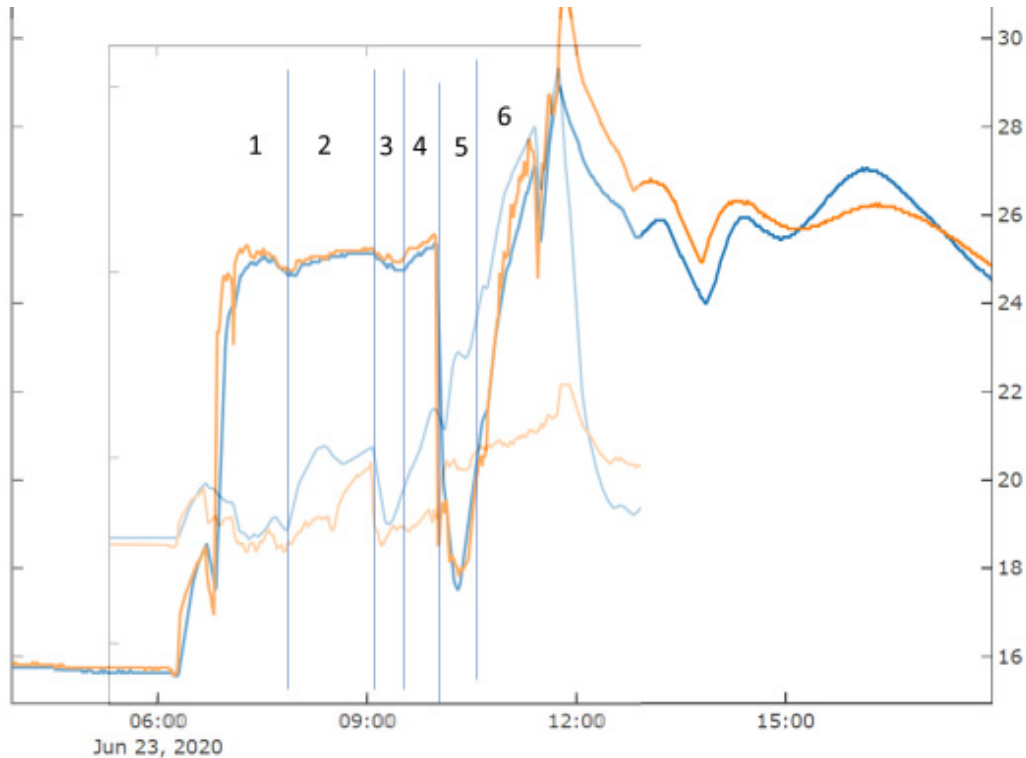
Analyse og simuleringer av komplekse målinger

De fleste av våre målinger gir som nevnt et bilde av et komplekst hendelsesforløp. Vi har med utgangspunkt i mekanismene beskrevet ovenfor forsøkt å analysere disse målingene, for deretter å etterprøve analysene i simuleringprogrammet B4Cast.

I Figur 15 viser vi loggen fra 23. juni 2020. B&E transporterer her betong fra blandeverket på Rækøya via fergestrekket over Hadsselfjorden til anlegget på Børøy på Stokmarknes. Den nedtonede temperaturgraf er logget lufttemperatur som viser at det er i overkant av 18 °C ute og betydelig varmere på ferga. Det ble rapportert om skyfritt og vindstille vær. Se Bilde 7 for kartutsnitt.

Detaljert forklaring til Figur 15:

1. Nedkjøling under transport fra Rækøya til Fiskebøl. Legg merke til høy starttemperatur.
2. Venting på fergeleiet, og transport i ferge. Temperaturen øker.
3. Nedkjøling under transport fra Melbu til Børøya
4. Venting før tømning på anlegget. Temperaturen øker kraftig.
5. Loggere kommer ut av betongen og blir vasket.
6. Loggere legges bak i personbil som står i solsteiken.

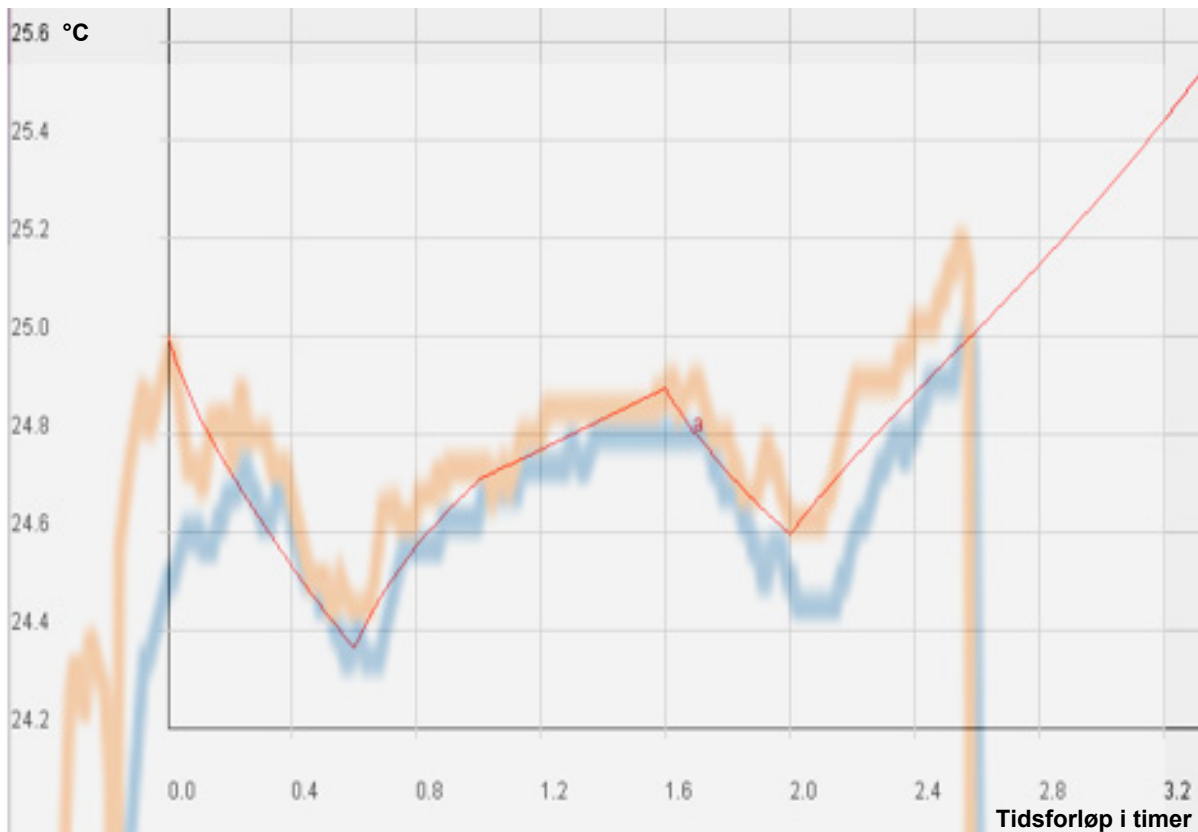


Figur 15: Analyse av logging mellom Rækøya (Kabelvåg) og Børøy (Stokmarknes) med bruk av ferge. 23. juni 2020. Høyre side markerer temperatur i °C

Når vi i ettertid har gjenskapt temperaturforløpet, har vi lagt inn følgende forutsetninger til de respektive fasene:

1. B&Es B45MF40 0,2 % retardert (simuleringsmodell utviklet gjennom logging i herdekasse), med starttemperatur **25 °C** og 1 time initial modenhet (for å imøtekomme blandetiden og opplasting i høy varme)
 - Under transport har vi satt lufttemperatur til 18 °C og 15,5 m/s (ca. 60 km/t).
2. Ventetid og ferge: Lufttemperatur **30 °C** og 0 m/s. 30 °C for å ivareta faktisk lufttemperatur og varmen fra betongbilen
3. Under transport har vi satt 18 °C og 15,5 m/s (ca. 60 km/t).
4. Ventetid: **35 °C** og 0 m/s. 35 °C for å ivareta lufttemperatur, varme fra bilen, solsteiken som er beskrevet og tiltakende intern herdevarme

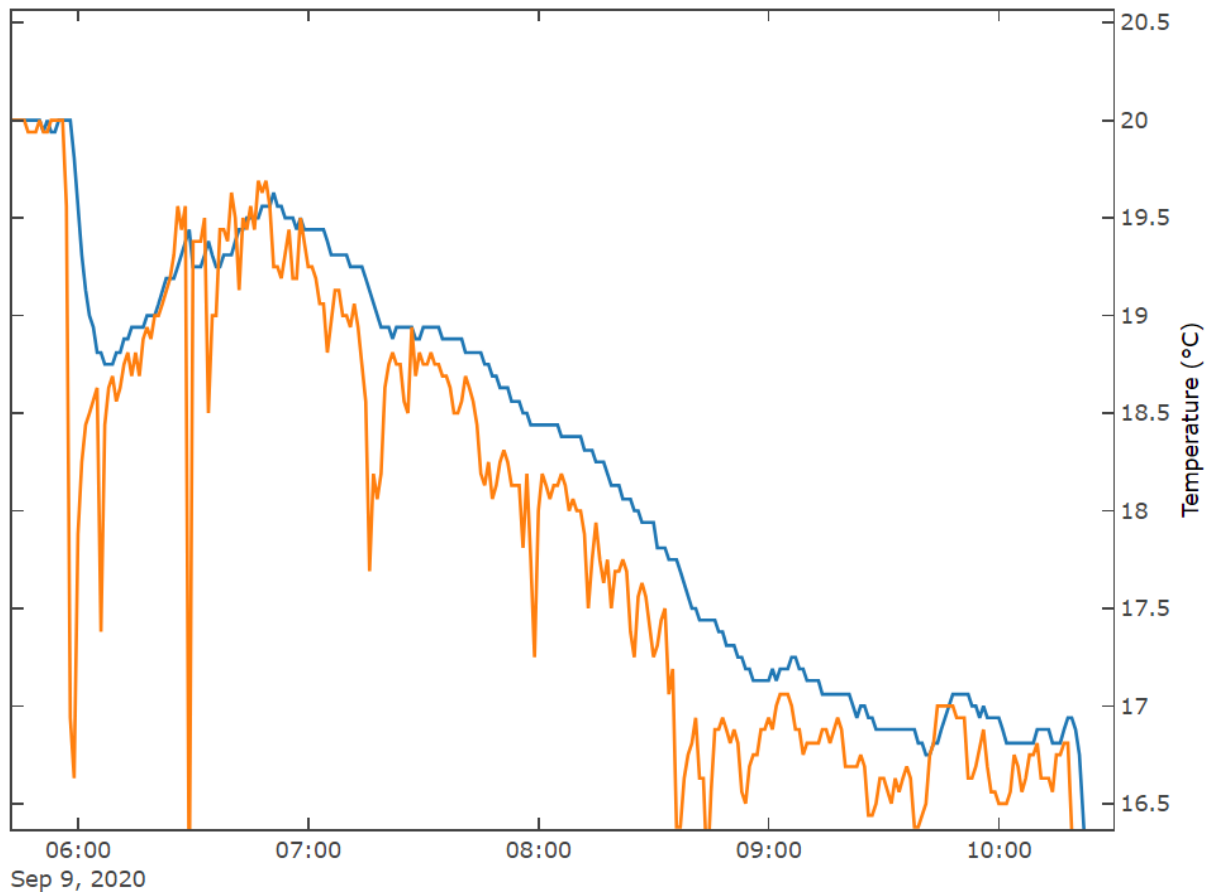
Resultatet fra simuleringen er sammenstilt med faktisk måling i Figur 16. Når vi da går videre inn i simuleringsresultatene, ser vi at betongen hadde utviklet ca. 4 timer modenhet når det ble tømt ut av bilen, og at den dermed var i starten på fasthetsutviklingen. Etter 5 modenhetstimer ville betongen ha størknet betraktelig. Fra anlegget bekreftes det at betongen var svært vanskelig å jobbe med, og at resultatet ikke ble optimalt.



Figur 16: Sammenstilling av simulering og faktisk måling fra 23. juni 2020

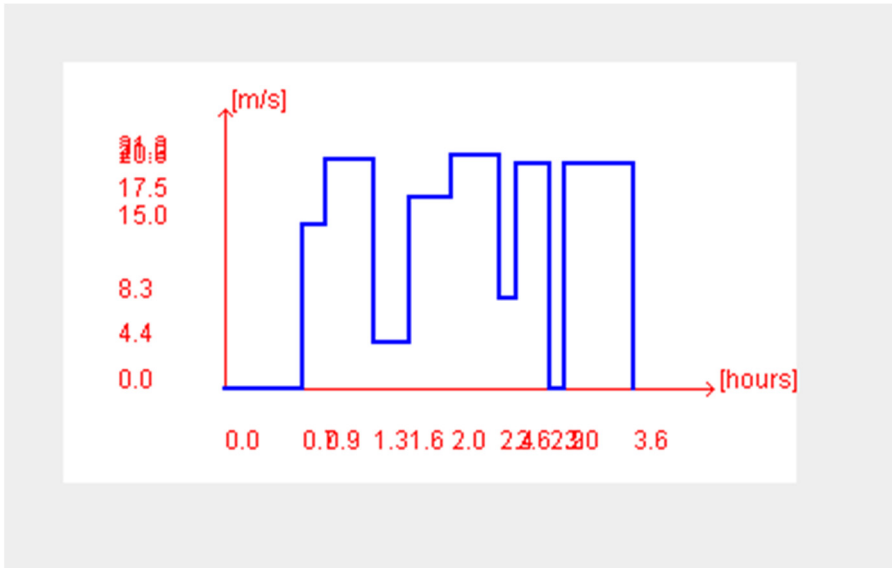
Som en direkte konsekvens av denne analysen og påfølgende dialog mellom SINTEF Narvik og B&E ble det besluttet å kjøre rundt Lofast på de neste leveransene for å unngå tilsvarende problematikk.

I Figur 17 vises en av turene mellom Rækøya og Børøy fra 9. september 2020, denne gangen om Lofast (jf. Figur 4). Dette var en tur uten større dramatikk, men samtidig med en temperaturutvikling som ikke kan forklares ved bruk av N. Petersons formel. Det ble en svært viktig tur i analysesammenheng fordi vi mottok en svært detaljert beskrivelse av hendelsesforløpet under transporten fra Marthinussen hos B&E, kombinert med gode GPS-data fra bilen og værforhold som utelukket innvirkningen av sol. Dette er en av de loggene som tydeligst dokumenterer innvirkningen fra motorvarmen til betongbilen, da det er utelukket utover enhver tvil at sol eller herdevarme har medvirket.

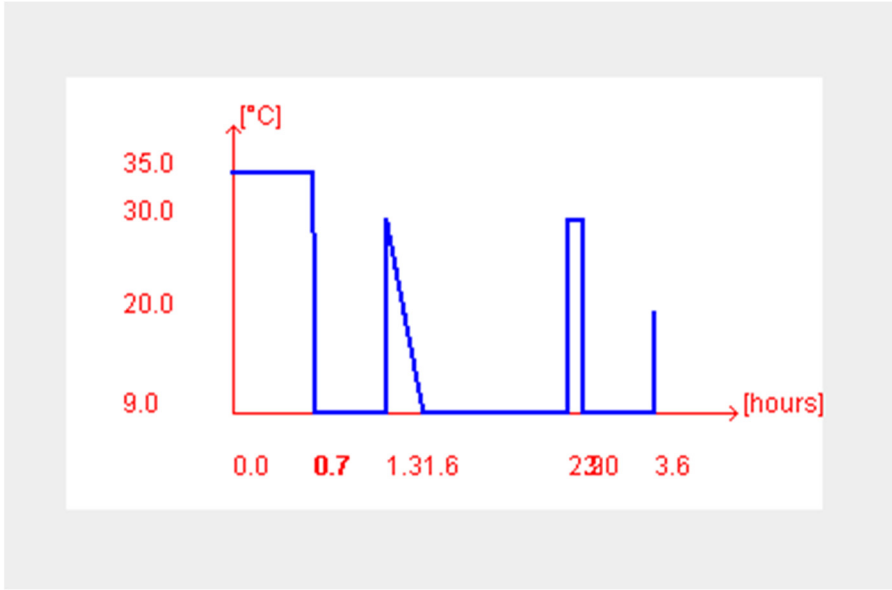


Figur 17: Temperaturlogg fra 9. september 2020. Stor variasjon i temperaturutvikling som produkt av hastighet og bilens utstrålte varme

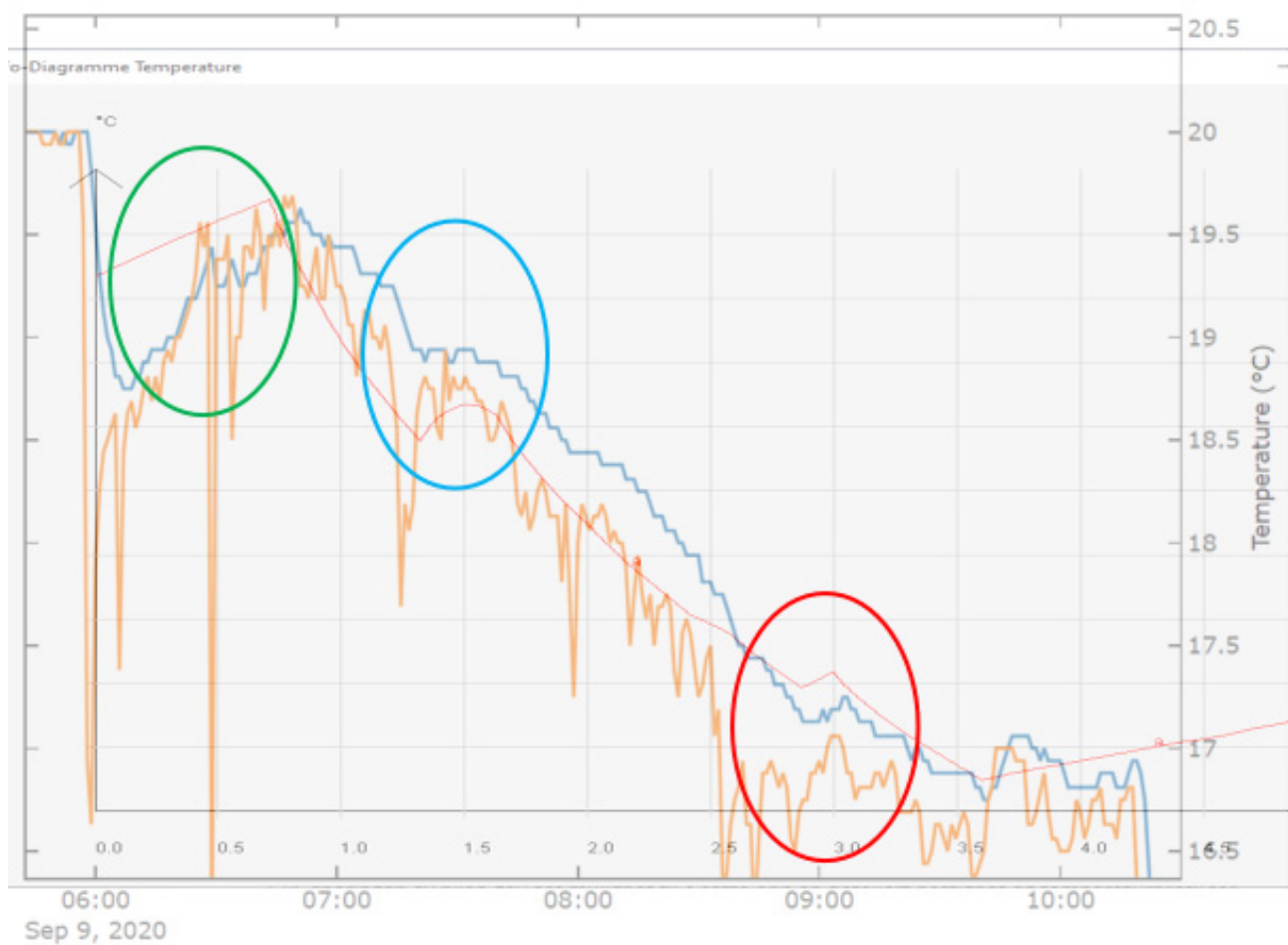
Med bakgrunn i Martinussens hendelseslogg og GPS-sporing har vi satt opp en graf for vinden (hastighet på trommelbilen) i simuleringen, se Figur 18. I temperaturgrafene (Figur 19) har vi benyttet 9 °C – som var faktisk utetemperatur – når bilen har kjørt. Det som er oppsiktsvekkende, er at vi har måttet opp i påtrykt 35 °C for å klare å imøtekomme varmestrålingen fra bilen når bilen har stått i ro. Når vi i Figur 20 sammenstiller simulering og faktisk måling, framgår det tydelig i hvor stor grad betongen blir påvirket av bilens varme.



Figur 18: Bilens registrerte hastighet omgjort til påtrykt vind



Figur 19: Påtrykt temperatur



Figur 20: Sammenstilling av simulering og faktisk temperaturlogg

Forklaringer til Figur 20:

Grønn sirkel:

Betongbilen står og venter i forbindelse med prøvetaking av betong fra full bil til herdekasse. Betongbilen kommer fra Thore Magnussen og Sønn AS på Bøstad, og har derfor kjørt en halv-times tid før den fylles.

Blå sirkel:

Veiarbeid på Lofast ved Myrland. En periode med stans og lav hastighet.

Rød sirkel:

Pølsestopp på Circle-K Stokmarknes. Før bilen kjører det korte stykket til Børøy og venter på å få tømme.

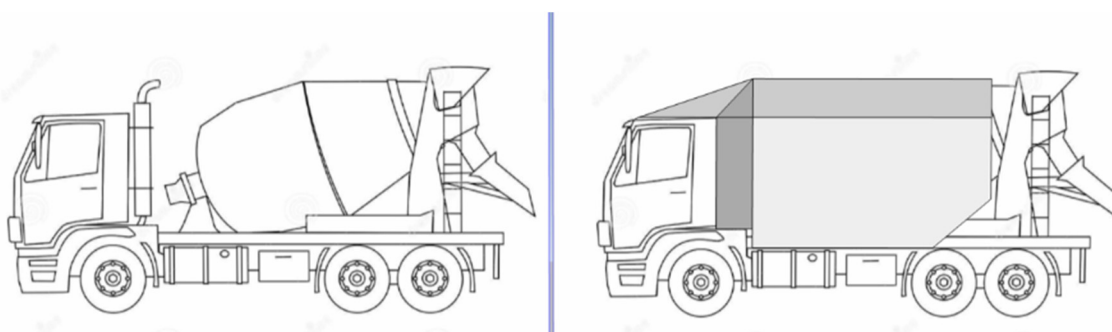
Forslag til videre arbeid med trommelbil

SINTEF Narvik har følgende forslag til bachelor-/masteroppgave:

- Utredning av varmeutvikling som funksjon av rotasjonshastighet til trommel. Vil høyere rotasjonshastighet på trommel skape betydelig varme?
- Utrede eksakt fryse- og tinepunkt for fersk betong. Er dette signifikant avhengig av v/c tall?
 - Herunder behov for fryse-/tineenergi i KJ/kg betong gitt forskjellige v/c tall
- Har design av trommel og valgt farge noen signifikant betydning?
 - Herunder utrede hvor stort bidrag direkte solskinn og nattlig utstråling (mørketid) gir

SINTEF Narvik ønsker å finne samarbeidspartnere for å:

- Utvikle et design for trommelbil som benytter bilens varmeutvikling til å vedlikeholde/øke betongtemperaturen på kalde dager. Innledningsvis foreslår vi å bygge et kabinett rundt trommelen som skjermer den for vindbelastningen, som er et produkt av hastigheten til bilen samt kanalisere bilens motorvarme rundt trommelen.



Figur 21: Illustrasjon av trommelbil med og uten kabinett

- Utvikle et design for trommelbil som skjermer trommelen for bilens varme på varme dager. Videreutvikle "varm bil"-designet slik at man kan rigge om til å utnytte vindbelastningen optimalt til kjøling av trommelen, og skjerme trommelen for motorvarmen når bilen står i ro med varm motor.

En trommelbil med egenskaper som beskrevet over vil heve levert betongkvalitet både sommer og vinter og vil dermed være et internasjonalt produkt.

Resultater fra utført arbeid med helikoptertobbe

Innledning

I denne forstudien har SINTEF Narvik AS videreført et samarbeid med Helitrans AS og Technomek AS. Gjennom dette samarbeidet har vi over noe tid jobbet med problemstillingen knyttet til helikoptertobber i kaldt klima. Vi har satt opp teoretiske hypoteser for nedkjøling, der den korte konklusjonen er at det er åpenbart at en betongtobbe som henger under helikopteret, utsettes for en stor nedkjølingseffekt, men at det er knyttet stor usikkerhet til de teoretiske beregningene fordi tobbens aerodynamiske egenskaper er svært komplekse. Vinkelen tobben har under flyving varierer, og vindbelastningen fra hastighet og helikopterets rotor gir en komplisert vind-/nedkjølingsmodell. Partene i samarbeidet satte seg derfor tidlig et mål om å få gjort praktiske tester for å etablere et utgangspunkt for videre arbeid. I denne sammenheng ble det utviklet et sensor-kryss for logging i helikoptertobber. Sensorkrysset består av 6 sensorer. 1 i senter av betongvolumet, 4 i overflaten og 1 i luft. Loggeren samler data fra sensorene og GPS og sender dette i sanntid til vår nettside <https://ndat.no/heli/>.



Figur 22: SINTEF Narviks sensorkryss plassert i en tom standardtobbe fra Technomek AS. Her vises de fire overflatesensorene og luftsensoren. Boksen inneholder logger, sender og GPS og sender i sanntid.

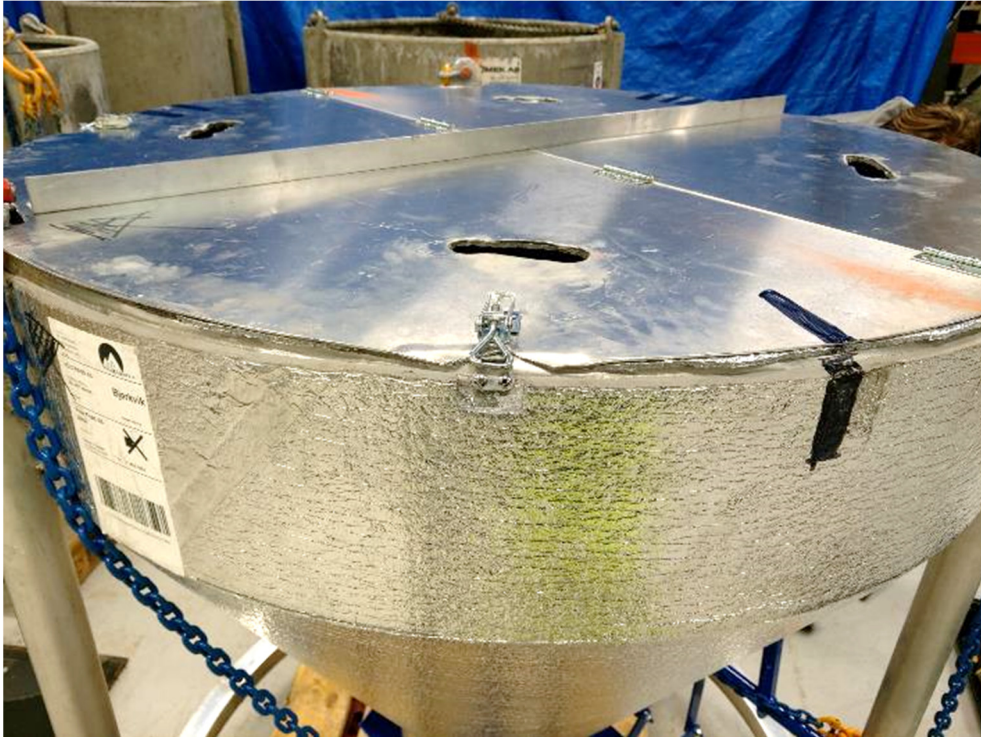


Figur 23: Sensorkryss i full standardtobbe



Figur 24: Godt brukt sensorkryss. Krysset lener seg på sentersensor.

Helitrans og Technomek har vært svært proaktive i denne prosessen og vist initiativ og vilje til å utvikle en prototype på forbedring av tobbe – allerede i forstudiet! Vi har derfor i samarbeid utviklet et isolert lokk og en isolert tobbe slik at vi kunne stå klare når anledningen bød seg i november og desember 2020. Vi fikk dermed testet standardtobbe side om side med en prototype på isolert vintertobbe, som i teorien skal ha en mye større motstand mot nedkjølingseffekten fra utetemperatur og vindkreftene.

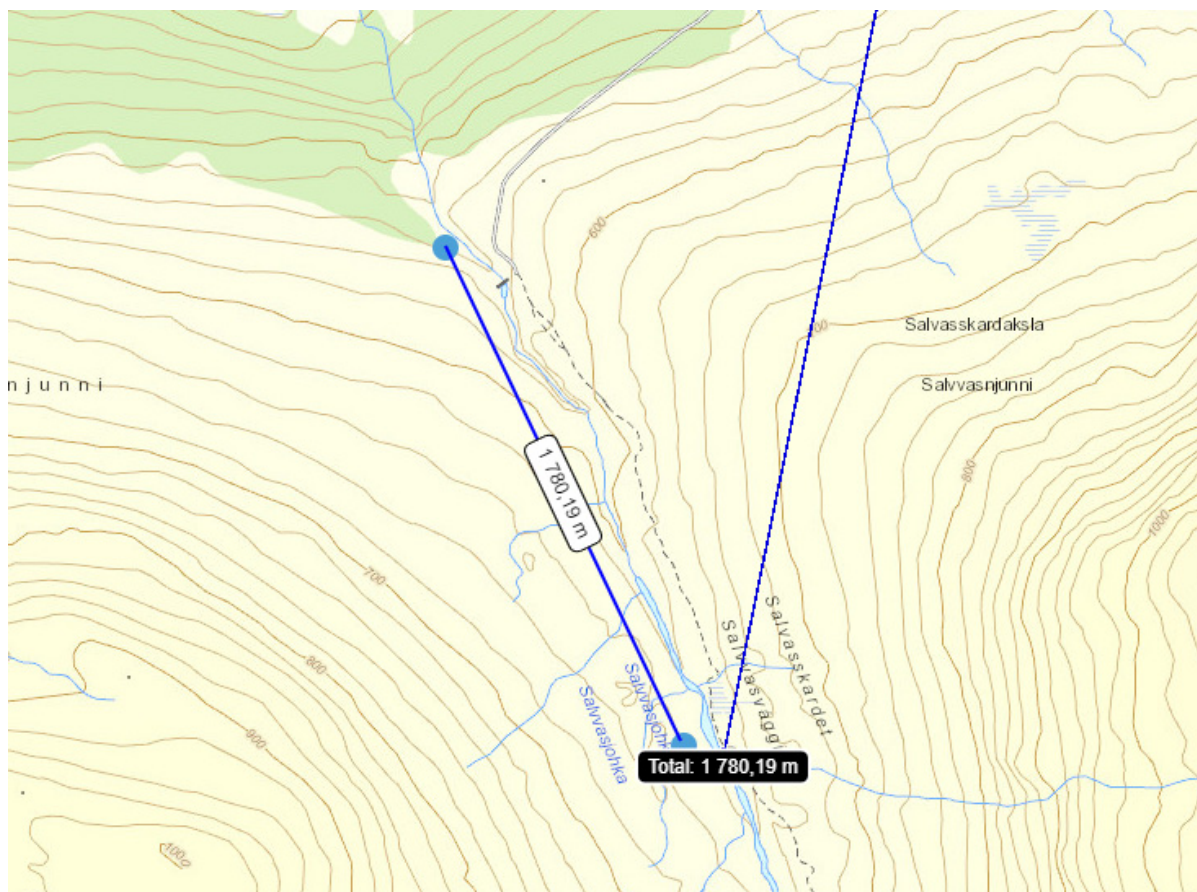


Figur 25: Isolert tobbe med lokk



Figur 26: Klargjøring til flyving på Altevann. Isolert lokk kilt fast mellom fuelkanner til venstre, vintertobbe til høyre, godt brukte standardtobber i midten

SINTEF Narvik fikk utført målinger i forbindelse med flyving på anlegget til Fjellbygg AS som bygger betongkonstruksjonene til Norsk Grønnkraft utbygging AS. NGKU bygger Salvasskard-elva kraftverk ovenfor Altevann i indre Troms.



Figur 27: Flydistanse fra lasteplass til anlegg

Det ble utført målinger på 3 støpedager: 10.11.2020, 8.12.2020 og 16.12.2020. Vi har samlet våre observasjoner, data og konklusjoner i understående kapitler.

Vinkel

Vinkelen til tobben er en viktig faktor hvis man skal gjøre teoretiske beregninger på de aerodynamiske mekanismene som opptrer under flyving. I løpet av flyvingene har SINTEF Narvik tatt en rekke fotografier og noe film av tobbens oppførsel under transport. Som forventet varierer vinkelen som følge av hastighet og vekt. Tobbene fylles til forskjellig nivå avhengig av fuelnivå på helikopter. Jo mindre fuel, jo større løftekapasitet og dermed fullere og tyngre tobbe. Vi har observert hengevinkler relativt til lodd fra 0 til $8,1^\circ$ og påstår dermed at teoretiske beregninger på tobbers aerodynamikk må ta hensyn til vinkler nær 0° for lave hastigheter og opp mot 12° for helikoptrenes maksimale transporthastighet med full tobbe. 12° anbefales med bakgrunn i unøyaktighet gitt av manuell plassering av referanse (skistav) og vinkel mellom fotoapparat og helikopter i horisontalt plan. Helikoptrene hadde normal høy hastighet i forbindelse med fotoferingen.



Figur 28: Illustrasjon av vinkel på full tobbe. I bakgrunnen flyr en tom tobbe i retur.

Orientering under flyving

Et annet vesentlig moment i forbindelse med aerodynamiske analyser er kunnskap om hvorvidt en full tobbe ligger stabilt i luften eller om den er under konstant rotasjon. Våre observasjoner tilsier at en full betongtobbe roterer rolig fra gitt tilfeldig utgangsorientering til en stabil orientering der utløserhåndtaket er vendt bakover i forhold til flyveretning.



Figur 29: Helikopter under oppbremsing. Tobbe henger stabilt med utløserhåndtak bakover.



Figur 30: Ankomst forskaling med utløser bakover

Vintertobbens flyveegenskaper i retur (tom)

En standardtobbe er åpen og henger stabilt bak helikopteret som en fallskjerm med en relativt stor vinkel til lodd. Det gjør at helikopteret kan returnere med høy hastighet til lasteplass.

Konseptet "vintertobbe" har lokk. Tidlig i prosessen ble det tatt til orde for det potensielle problemet med at lokket ville gi den tomme tobbe en aerodynamikk som ville lede til turbulens og problemer under returflyving, og dermed betydelig lavere returhastighet.

Når vi har observert returflyving, har vi ikke kunnet se forskjell på standardtobbe og vintertobbe med lokk. Det bekreftes av pilotene som heller ikke har merket forskjell mellom de to tobbe-typene. Begge tobbene kan returneres i normal hastighet.



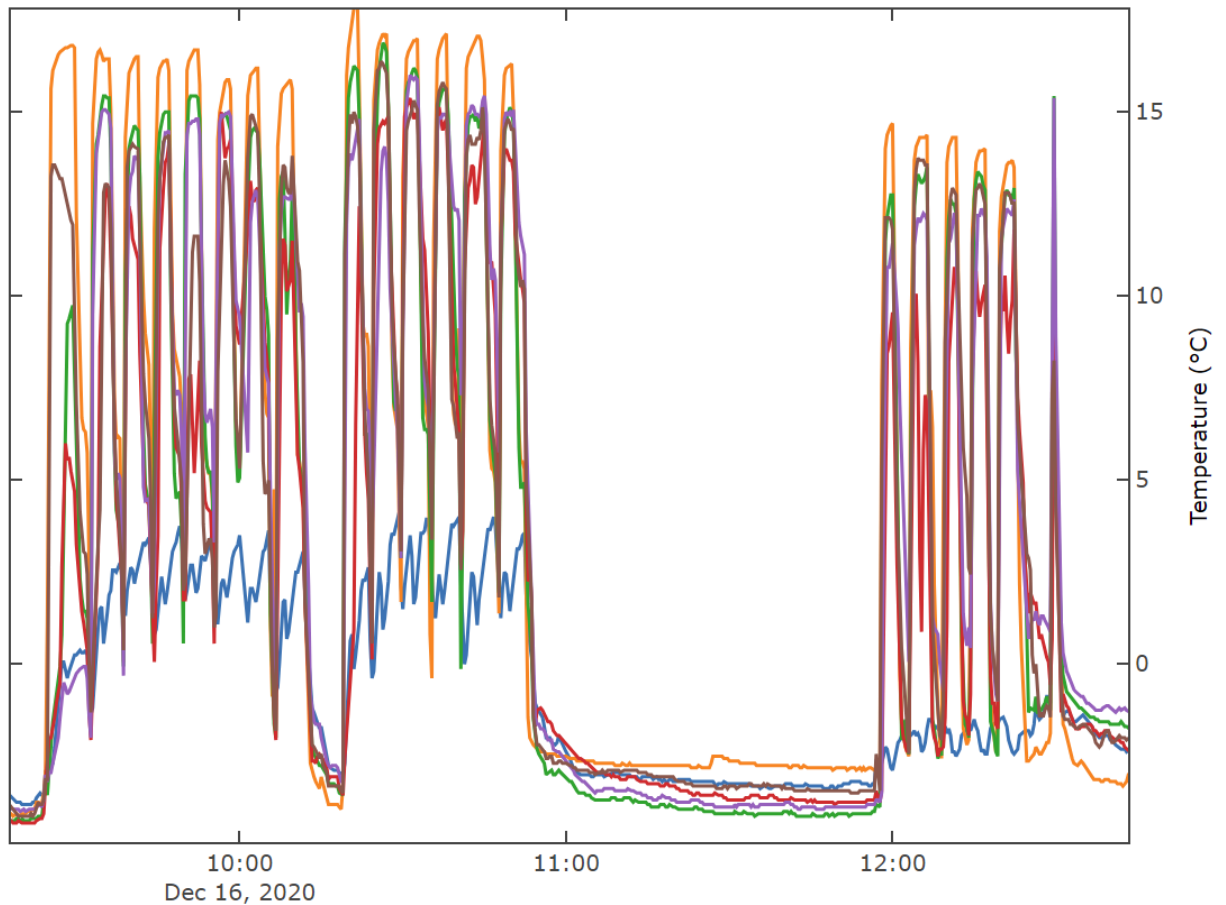
Figur 31: Returflyving av tom tobbe. Uvisst om det er standard- eller vintertobbe

Temperaturutvikling i tobbe

I løpet av de tre testdagene fikk vi logget ca. 100 av ca. 140 utførte løft. Av de 100 loggførte løftene har vi 14 løft med vintertobbe + lokk og 5 løft med vintertobbe uten lokk. Vi observerte som forventet svært stor variasjon mellom målingene som følge av alle de store eksterne variablene som virker inn, blant annet:

- Variasjon i temperatur og vind
- Forsinkelse som følge av utbedringer på anlegget (10.11.2020)
- Forsinkelse som følge av utforkjøring med trommelbil (16.12.2020)
- Forskjellige temperaturer på levert betong
- Forskjellig syklustid (ett helikopter med 2 tobber den 10.11.20 og to helikoptre med 3 tobber de to andre dagene)
- Begrenset atkomst til forskaling, som vanskeligjør manuell logging. Utførende betongarbeidere er under et ekstremt stress i forbindelse med tømning og utstøping. Arbeidsoppgaver som temperaturlogging – med lavere prioritet – må derfor ofte vike.
- Forskjellig fyllingsgrad i tobber. Fyllingsgrad varierer avhengig av fuelnivå til helikopter.

heli-test, CL1-54



Figur 32: Oversikt over loggingene med vintertobbe 16.12.2020. Oversikten illustrerer variasjonene mellom hver måling: først to serier fra de to første bilene (vintertobbe + lokk), så ventetid som følge av utforkjøring, og til sist en serie uten lokk.

Vi ser flere tydelige tendenser i datagrunnlaget, men har for lite data til å utlede formler og forholdstall. Derfor er tendensene kun sterke indisier som gir grunnlag for videre arbeid.

Tydelig nedkjøling

I løpet av utførte målinger 10.11.20 fikk vi anledning til å utføre manuelle målinger på betongen rett etter den hadde blitt levert i forskalingen. På de to spesifikke løftene som vi fikk målt, hadde kjernetemperaturen i tobben falt fra henholdsvis 11,75 og 11,69 °C til gjennomsnitt i forskaling (15 cm dybde) på henholdsvis 9,4 og 9,0 °C. Det tilsvarer et temperaturfall på over 1 °C per minutt flytid. Vi mistenker at lav temperatur i forskaling har bidratt til temperaturfallet.



Figur 33: En av delmålingene for gjennomsnittsberegning. Utført med 15 cm lang "probe". Her er det 10,9 °C i betongen og -2,4 °C lufttemperatur.

I Figur 37 og Figur 38 vises temperatur ved tømning for henholdsvis standard tobbe og vintertobbe med lokk. Disse grafene er direkte sammenliknbare da begge tobbe ble brukt til å løfte betong fra samme trommelbil. I figurene vises grafene for kjernetemperaturen "center" som er lik i begge loggene. Kjernetemperaturen faller jevnt fra 18 til 16 °C ettersom betongen i bilen kjøles utover i økta.

N, E, S, W er benevnelsene for sensorene som ligger i overflaten av betongen. N er valgt som retning mot utløserhåndtak. Det er tydelig at overflatesensorene er kaldere enn kjernetemperaturen ved levering, og at standardtobben har lavere temperatur enn overflatesensorene i vintertobbe med lokk; dette til tross for kort flytid (under to minutter). Transportfrekvensen er markert sammen med klokkeslett i UTC og var gjennomsnittlig 5 minutter og 40 sekunder. Det er tiden det tok fra tømning av et lass til tømning av det neste. I disse minuttene er tobbe tømte, flydd i retur, fylt på ny og flydd til forskaling. Dette vitner om et svært hektisk arbeid når det pågår.



Figur 34: Hektisk aktivitet hos Fjellbyggs arbeidere som er i ferd med å tømme en standardtobbe. Snøkov som følge av helikopterets rotorer som dundrer 15 m over. 10.11.2020



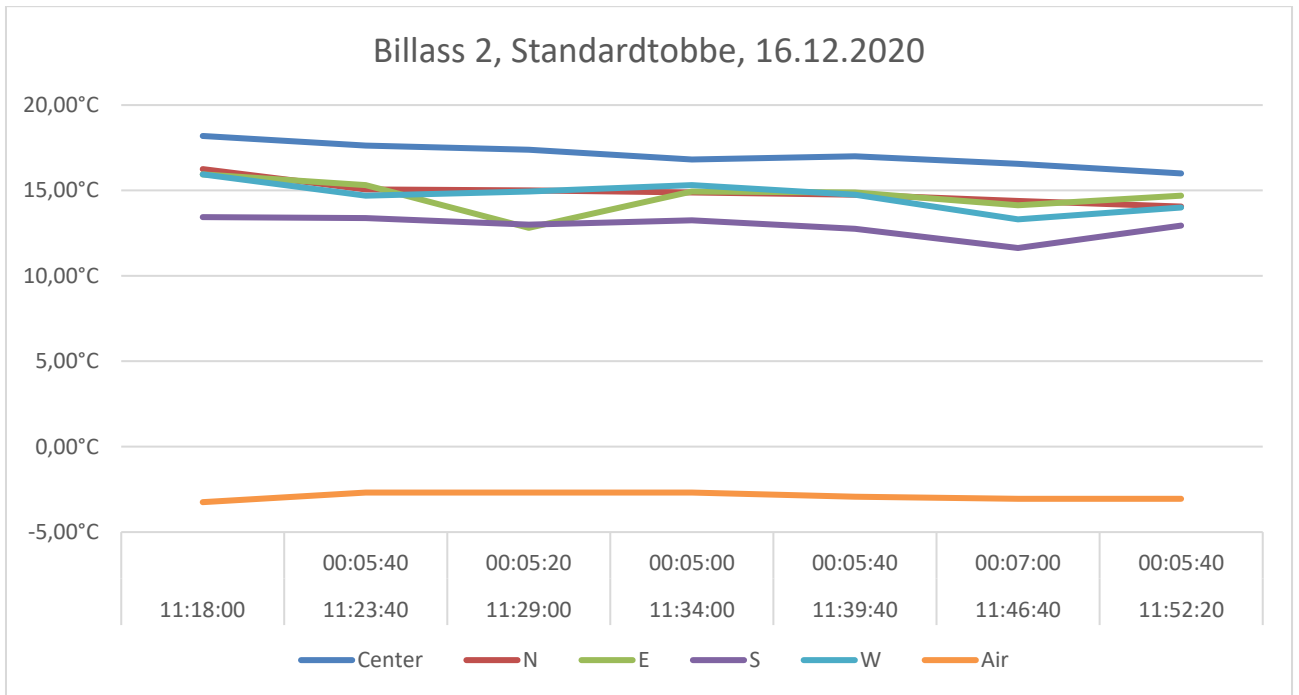
Figur 35: Hektisk aktivitet på lasteplass. Mottak av tom standardtobbe, samtidig som lokk monteres på ferdigfylt vintertobbe. 16.12.20

Som en gjennomgående trend ser vi at temperaturfallet er størst i den delen av tobben som er orientert mot vinden/flyveretningen – sensor "S" – for begge tobbetypene.

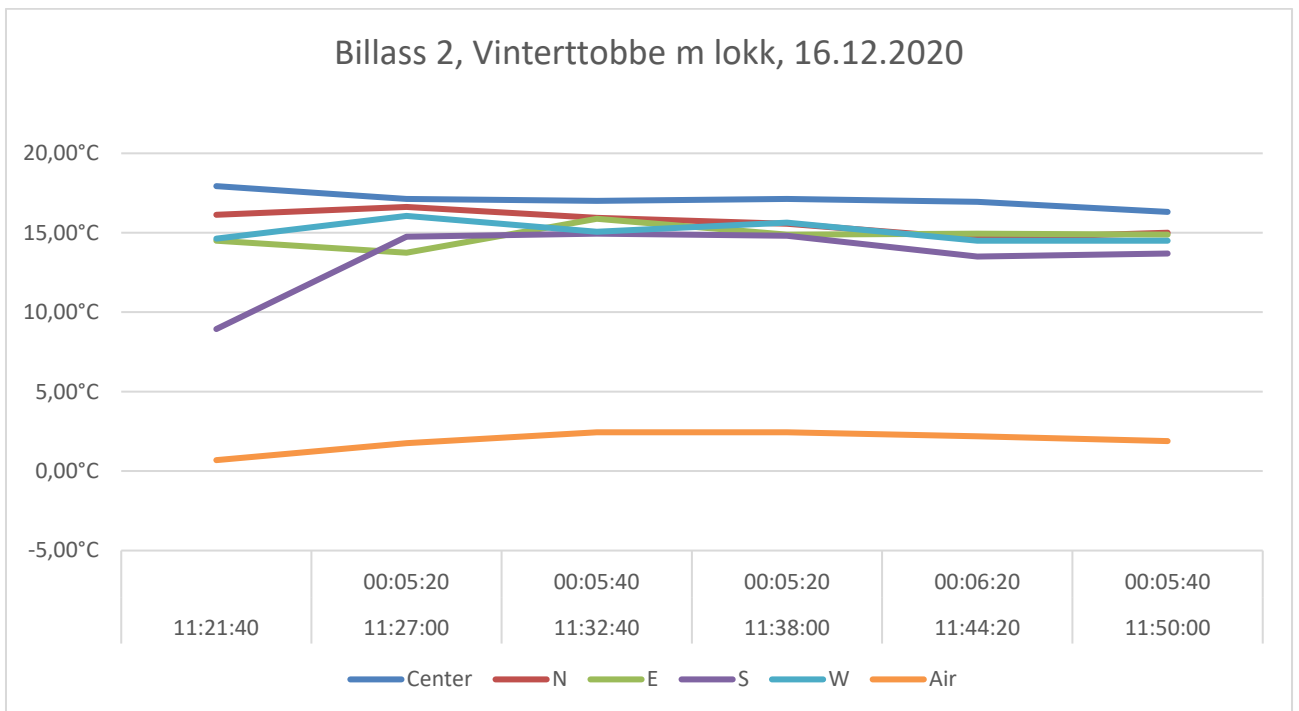
Lufttemperaturmåleren "Air" viser reell utetemperatur for standardtobben, gjennomsnitt $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens den for vintertobben viser realisert lufttemperatur under lokket ved endt transport, gjennomsnitt $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 36: Vintertobbe fylles, og SINTEF Narviks representant står klar med målekrysset. Lufttemperatursensoren markert i rød sirkel. 16.12.2020



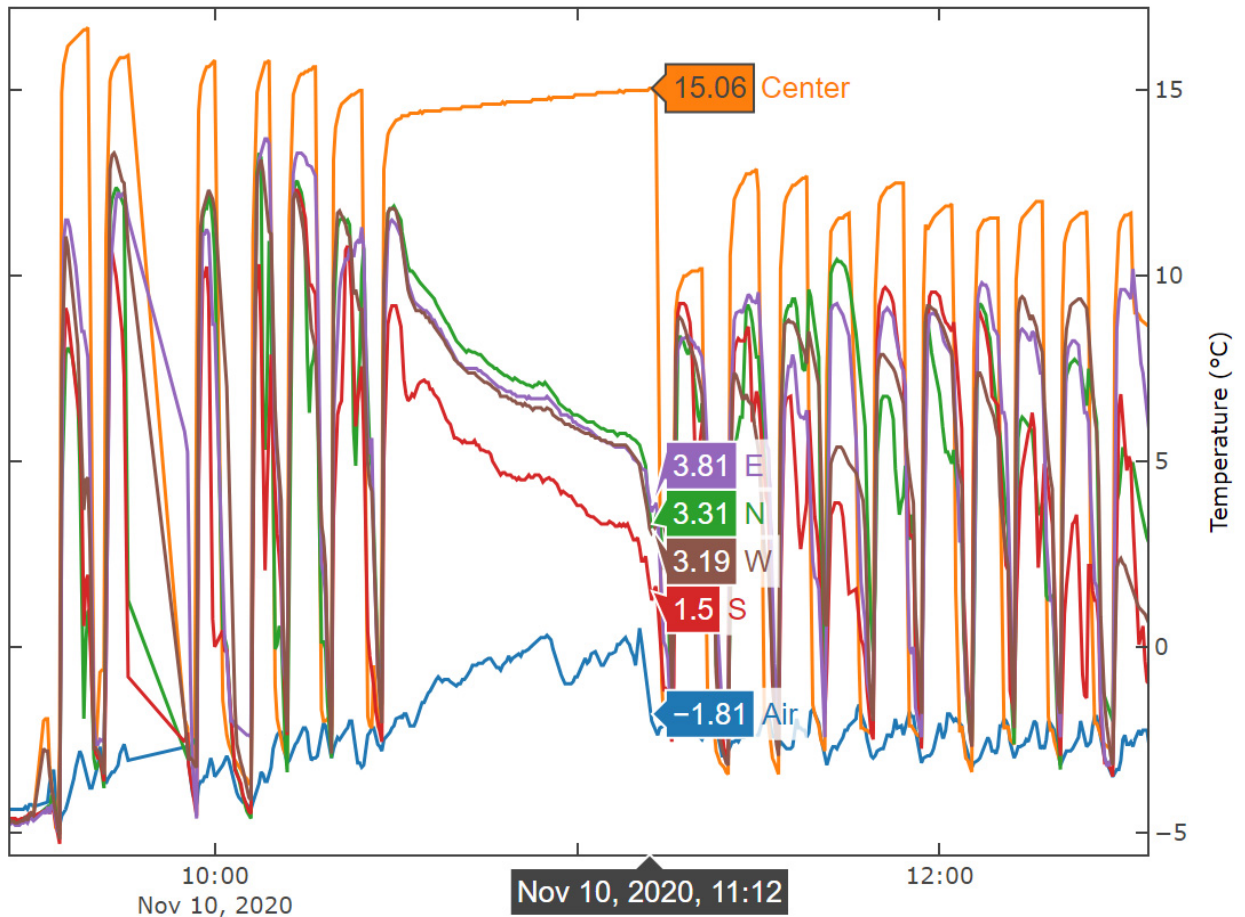
Figur 37: Temperatur i standard tobbe rett før tømning. Tid er angitt i UTC sammen med transportfrekvens.



Figur 38: Temperatur i vintertobbe med lokk rett før tømning. Tid er angitt i UTC sammen med transportfrekvens.

Vi har utført målinger med isolert tobbe uten lokk. Vi klarer ikke å se signifikant forskjell på isolert tobbe UTEN lokk og standard tobbe. Vi har svært få målinger uten lokk og forventer at et større datagrunnlag vil vise at en isolert tobbe uten lokk gir bedre resultater enn en standard tobbe. Det er likevel hevet over tvil at lokket, og dermed vindskjermingen fra overflaten av betongen, gir et stort positivt utslag og er særdeles viktig hvis man ønsker å utvikle en standard vintertobbe.

Målingene som ble utført 10.11.20, ga oss god dokumentasjon på en rekke sekundære faktorer som er relevante for denne formen for betongtransport. Det oppsto en rekke forsinkelser på anlegget denne dagen, og flyvingen kom ikke i gang før ca. klokken 10.30. Planlagt oppstart var 09.00. Da det igjen oppsto forsinkelser rett før bil 1 var tømt, ble loggeren liggende i ferdigfylt tobbe mens vi avventet gjenoppstart av flyvingen. Betongen var da ca. 5,5 timer gammel og herdingen godt i gang. I Figur 39 er det tydelig når denne utilsiktede pausen oppstår, og man ser tiltakende herdevarme hvis man følger den oransje "Center"-grafene. Like interessant er det å se hvor jevnt de fire overflatesensorene synker i temperatur: Betongen i standardtobbe taper temperaturen svært fort selv når den står i ro på bakken. Til sist ønsker vi å påpeke hvor mye varme-strålingen fra betongen påvirker luftsensoren gjennom disse 45 minuttene med utilsiktet venting.



Figur 39: Temperaturgrafene fra logger CL1-72. 10.11.2020. To billass, med loggeren liggende i siste tobbe fra lass 1. Tid i UTC

Forslag til videre arbeid med helikoptertobbe

Det er generelt behov for mer data for å kunne sette tall på mekanismene vi observerte gjennom de tre testdagene. SINTEF Narvik har fått gode erfaringer, og vi ønsker å finne samarbeidspartnere for å videreføre arbeidet i et rendyrket tobbeprosjekt med mål om å ferdigutvikle en vintertobbe for helikopter. Vår påstand er at en slik tobbe vil heve levert betongkvalitet både sommer og vinter, og at resultatene er direkte overførbare til krantobber og all annen form for bulkloft av betong. Dette har dermed stort potensial som et internasjonalt produkt.

Konkrete forslag:

- Videreutvikle vårt loggerkryss. Vi har behov for å se gradientene gjennom tverrsnittet og har konkrete planer om hvordan vi skal løse dette.
- Utføre logging på lengre transporter – 5 minutters flyvetid eller lengre – for å få fram tydeligere differanser og trender.
- Premontere temperatursensorer i forskaling, for å unngå behovet for manuell måling ved mottak
 - Herunder ønsker vi å få støpt et helt volum med standard tobbe og et tilsvarende volum med isolert tobbe for å kunne dokumentere forskjellen der det betyr noe, i forskalingen.
- Utarbeide en aerodynamisk modell for tobben basert på nåværende kunnskap om vinkel og orientering under flyving. Dette punktet har potensial for å være en masteroppgave.
- Videreutvikling lokk. Krans + hengslet lokk. Forsterket kant. Hensikt er å utvikle et lokk som tillater hurtig fylling i kombinasjon med gode funksjonaliteter for rengjøring/demontering.
- Videreutvikle isolering av tobben. Finne det optimale isolasjonsmateriale

Resultater fra utført arbeid med betongpumpe



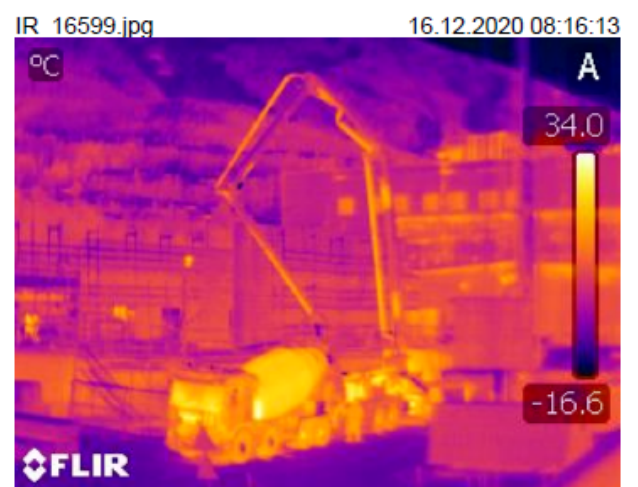
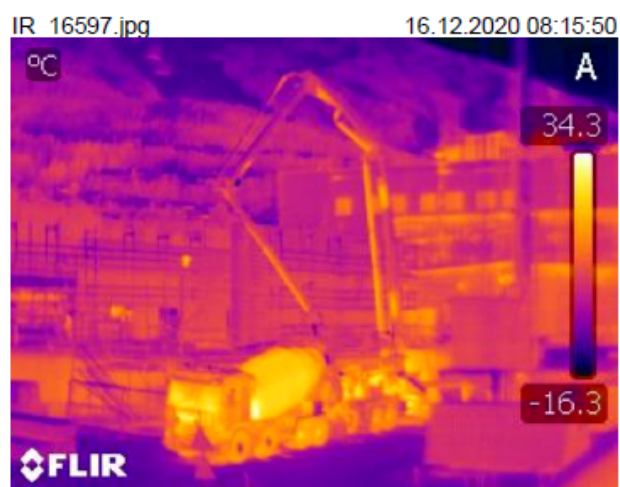
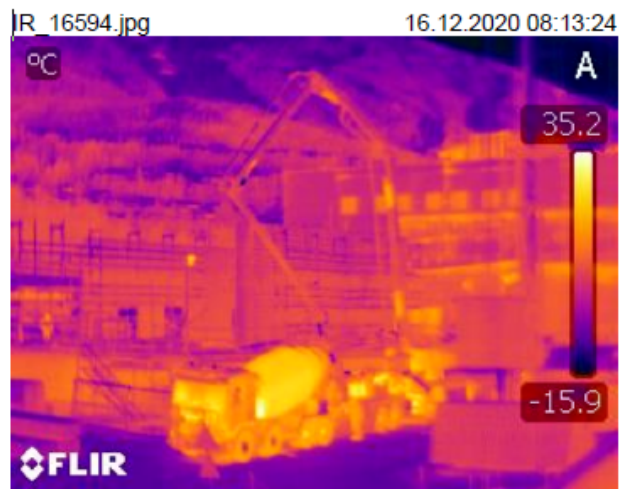
Figur 40: Pumpestøp av vegg til nye Narvik Brannstasjon. SINTEF Narviks kontorer i bakgrunnen og alpinanlegget i det fjerne. 16.12.2020. Betongen har nådd 2/3 høyde i veggforskalingen.

I løpet av denne forstudien har SINTEF Narvik ved en rekke anledninger utført temperaturmålinger på betongpumper. Vi har fått utført målinger i moderate sommertemperaturer og i relevante vintertemperaturer. Vi har ikke registrert signifikant kjølingseffekt gjennom pumpen under vanlig drift, uansett lufttemperatur. Vi har i hovedsak benyttet vårt IR-kamera i dette arbeidet, men har etterprøvd resultatene med manuelle målinger i tobben til betongpumpen og i forskalingene, og vi har funnet resultatene meget samsvarende.

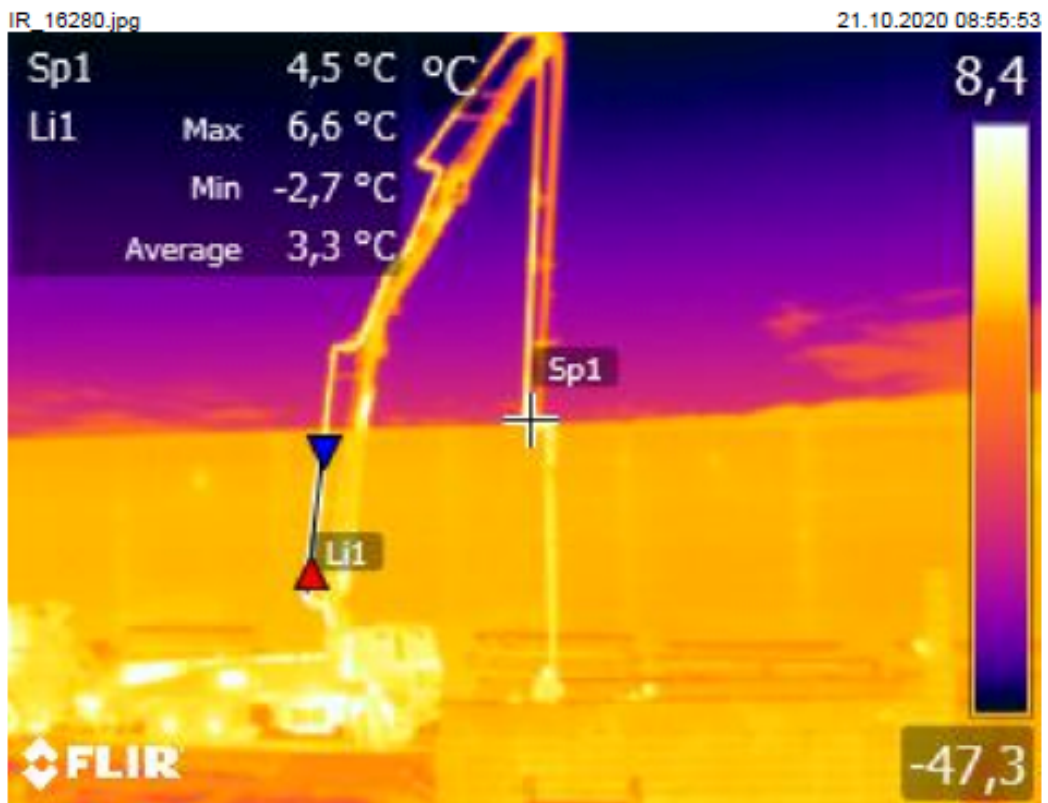
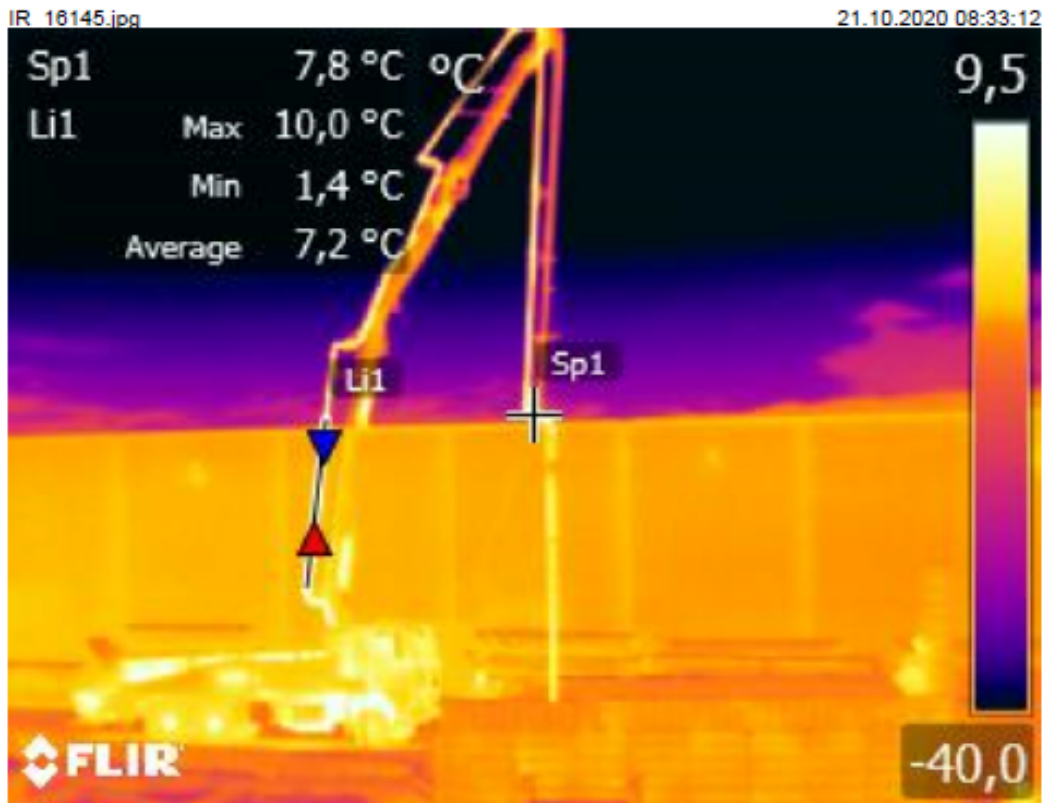
Tabell 2: Manuelle målinger på betongpumpe/forskaling

Dato	Sted	Lufttemp	Målt temp i tobbe på pumpe (før)	Målt temperatur i forskaling (etter)
21.10.2020	Nye Narvik Brannstasjon	-0,5°C	16,0°C	16,8°C
08.07.2020	Fjellveien 3, Narvik	14,0°C	20,0°C	20,0°C
08.07.2020	Fjellveien 3, Narvik	14,0°C	20,0°C	20,0°C

Det vi derimot observerer, er at smørelasset gjennom rørgaten ikke bare er viktig for å unngå propp, men også for å heve temperaturen i den kalde rørgaten til betongtemperatur før selve støpen starter. Figur 41 er en serie av infrarøde bilder som tydelig viser oppvarmingen som følge av smørelasset. Vi ser også at temperaturen faller tydelig med en gang det blir stillstand. Figur 42 viser både at temperaturen er stabil i rørgaten ved pumping og at temperaturen faller ved stillstand. Basert på disse observasjonene kan vi stille oss bak rådene i FABEKOs veiledning til pumping av betong [5].



Figur 41: Bildeserie som viser at smørelasset varmer opp rørgaten før støp. Nye Narvik Brannstasjon



Figur 42: Temperaturfall etter stillstand. Nye Narvik Brannstasjon. Legg merke til at det er nær samme temperatur i Linje 1 som i SP1 ved stans kl. 08:33.

Ikke utført arbeid

Krantobbe

SINTEF Narvik har ikke prioritert å utføre logging på krantobber, og i denne forstudien har vi ikke gjort erfaringer eller observasjoner som tilsier at det er interessant å anbefale dette for videre arbeid. Logging på krantobber har blitt prioritert bort som følge av en vurdering av at eksponeringstiden til betongen i en krantoppe er svært kort og derfor har liten innvirkning.

Kjemiske tilsetninger i kald betong.

SINTEF Narvik har ikke hatt anledning til å utføre tester på betong med og uten kjemiske tilsetninger. All helikoptertransportert betong har blitt tilsatt SP og i enkelte tilfeller akselerator. Flere av betongtransportene over lengre distanser har hatt små mengder retarder. Vi stiller oss bak spørsmålet om hvordan kjemiske tilsetningsmidler, som er designet for temperaturer rundt 20 °C, oppfører seg når betongen blir kald, og anbefaler at dette blir tatt opp som et eget prosjekt eller studentoppgave på bachelor-/masternivå.

Referanser

1. ACI Committee 306. *Guide to cold weather concreting*. ACI 306R-16. American Concrete Institute, 2010.
2. Petersons, N. *Concrete quality control and authorisation on ready-mixed concrete factories in Sweden*. Reprint no. 43. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Institute, 1966.
3. Petrich, C., O'Sadnick, O., Kleven, Ø. & Sæther, I.V. A low-cost coastal buoy for ice and metocean measurements. In: *Proceedings of the 25th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Delft, 9.–13.06.2019*.
4. Norcem, FoU. *Herdeteknologi*. Brevik, 2016.
5. FABEKO – Norsk Fabrikkbetongforening. *Pumping av betong. Veiledning*. Oslo, 2015.

TRANSPORT AV BETONG I KALDT KLIMA

FORSTUDIE: KARTLEGGING AV TEMPERATURUTVIKLING I BETONG PÅ VEI FRA BLANDEVERK TIL BYGGEPLASS

Nye og enda mer miljøvennlige betongtyper har lave sementmengder og dertil lave vannmengder i sin sammensetning. Slike betongtyper utvikler mindre hydrasjonsvarme når de herder, og er vanskeligere å varme opp på blandeverket (gjennom tilførsel av varmt vann). Dette gjør støping under vinterforhold spesielt utfordrende. Ved å forhindre store temperaturløstap under transport og håndtering kan man sikre tilsiktet betongtemperatur levert i forskalingen. Per i dag fins det lite samlet kunnskap om hvor temperaturløstapet er størst eller hvilke prosesser som påvirker temperatur i fersk betong.

I denne rapporten presenterer vi resultater fra målinger av transport av fersk betong i kaldt klima. Vi har fokusert på transport med trommelbil, helikoptertobbe og betongpumpe. Målingene er analysert og vurdert ved bruk av simuleringsprogrammet B4Cast og herdekassemålinger av forskjellige aktuelle resepter.

Rapporten danner et godt grunnlag for videre forskning på temaet, og SINTEF Narvik søker samarbeidspartnere for å utvikle prototyper til morgendagens trommelbil og helikoptertobbe.

Dette forstudiet er resultatet av et initiativ fra betongklyngen N3C, med FABEKO i spissen. Det er finansiert gjennom Innovasjon Norges ekstraordinære koronatiltak, Forskningsrådet gjennom Kapasitetsløftet til BA-Senter Nord og Interreg-prosjektet Arctic Ecocrete.