

Sluttrapport



SiteCast

2018 – 2023

Rapportnummer:

2023:00633 - Åpen



Rapport



2018 – 2023

VERSJON

1.0

DATO

2023-09-18

FORFATTER(E)

Gunrid Kjellmark, Eirin Lodgaard, Natalia Iakymenko, Guillermina Peñaloza, Andreas Sjaastad, Broska Karim, Kari Aarstad, Jan Malyzko, Yngve Urnes

OPPDRAGSGIVER(E)

SiteCast
NFR-prosjekt 282236

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Espen Martinsen
Celsa Steel Service AS

PROSJEKTNUMMER

102018294

ANTALL SIDER OG VEDLEGG

44

SAMMENDRAG

Prosjektet SiteCast har utviklet løsninger of arbeidsprosesser for byggeprosjekter der betongkonstruksjoner utføres på byggeplass, med mål om å redusere tidsbruk og kostnader. Partnerne i prosjektet har vært Celsa Steelservice (prosjekteier), Veidekke, Unicon, Peri, AFRY og SINTEF.

Denne sluttrapporten oppsummerer mye av arbeidet som har vært gjort og hva vi har oppnådd gjennom tverrfaglig samarbeid i hele verdikjeden for plasstøpt betong.

Det er skrevet en egen rapport med en beskrivelse av alle demonstrasjonsprosjektene vi har bruk i prosjektet, SINTEF rapport 2020:00494.

KONTROLLERT AV

Gunrid Kjellmark

SIGNATUR


Gunrid Kjellmark (Sep 19, 2023 09:38 GMT+2)**GODKJENT AV**

Vibeke Nossum

SIGNATUR



COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2023:00633

ISBN

978-82-14-07758-2

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen



Innholdsfortegnelse

SiteCast – Bakgrunn	3
Dagens praksis og identifiserte nøkkelpunkter for suksess	5
Erfaringsbasert "taus kunnskap" på byggeplass	7
Kartlegging og forbedring av arbeidsprosesser	12
Verdistrømsanalyse som grunnlag for valg av forbedring	12
Toyota Kata – Prosess for prosessforbedring	13
Utvikling av Unicons kundeportal	17
Kortere behandlingstid på retur - Peri	18
Materialløsninger	20
Nye miljøbetonger krever endrede prosedyrer	20
Utvikling av lavkarbon ekstrem betong	21
Styrt bruk av herdeakselerator	24
Forskalingssystemer for økt produktivitet	26
Armeringsløsninger for økt produktivitet på dekker og vegger	28
Merverdi ved digitalisering	30
Bruk av sensorikk for å overvåke temperaturendringer under transport	31
Bruk av data for effektivisering av betongleveranser	33
Sanntidsovervåking av herdeprosessen ved bruk av sensorer og integrasjon med andre digitale verktøy	35
Bruk av Augmented Reality (AR) i armeringsproduksjon	41
Samarbeid med studenter	43
Veileder for effektiv plastøping	44
Referanser	45



SiteCast – Bakgrunn

Bygg og anleggsektoren er blant Norges største næringer med en produksjon på over 520 milliarder¹. Mellom 40 og 50 % av kostnadene på større bygg er materialkostnader, hvorav råbygget og betongen utgjør en betydelig andel. Plaststøping av betong er av teknologiene med lengst forhistorie som fortsatt benyttes i dagens byggeprosess. Støpeprosessen, bestående av forskalingsarbeid (lage form), armeringsarbeid og støp, er en av de første prosessene som starter opp på byggeplassen. Støpeprosessen kan være svært kompleks og arbeidsintensiv. Prosessen krever god informasjonsflyt og koordinering av ulike roller, både internt og med eksterne aktører, som leverandører av materialer.

Norske entreprenører opplever økt konkurranse på hjemmemarkedet for store prosjekter hvor det benyttes plasstøpt betong. Samtidig konkurrerer verdikjeden for plasstøping med nasjonal og internasjonal produksjon av prefabrickerte betongelementer. Prefabrickering flytter verdiskaping i byggeprosessen vekk fra byggeplass og til elementfabrikker. Leverandørene av armering og betong tjener langt mindre som råvareleverandør til elementfabrikkene enn som bidragsyter til verdiskaping på byggeplassen. I tillegg til nasjonal produksjon av betongelementer konkurrerer verdikjeden for plasstøping med importerte betongelementer. I 2012 ble det importert betongelementer til en verdi av 650 millioner kroner til Norge.² En målsetning med SiteCast var å snu denne trenden, slik at en større andel av denne verdien i stedet kunne skapes hos armeringsleverandører, rådgivere, forskalingsleverandører, leverandører av ferdigbetong og på byggeplassen.

Tidligere studier har vist at det er stort potensial for tidsinnsparinger i bygg- og anleggsprosjekters planleggingsfase enn i gjennomføringsfasen. Det er imidlertid i gjennomføringsfasen at de store kostnadene påløper. Redusert tid i gjennomføringsfasen kan derfor bidra til at aktørene i byggeprosessen kan utnytte egen kapasitet mer effektivt og øke sin omsetning. Støpeprosessen er dessuten en nøkkel for at resten av prosjektet skal kunne gjennomføres effektivt.

I SiteCast-prosjektet har aktører fra hele verdikjeden gått sammen for å øke kunnskapsgrunnlaget for en mer effektiv produksjon av plasstøpt betong. Gjennom systematisk forbedringsarbeid har vi identifisert nøkkelpunkter for forbedring hos den enkelte partner og i byggeprosessen som helhet. Prosjektet tar adressert utfordringene med plasstøpte konstruksjoner gjennom innovasjon i materialer (armerings- og forskalingsløsninger og betongsammensetning), samt at det er etablert nye arbeidsprosesser. I prosjektet har vi jobbet med fire forskningsutfordringer:

Byggeprosess

Utfordringene innenfor byggeprosess er knyttet til områdene *fremdriftsplanlegging, koordinering og informasjonsflyt*. Koordinering vil si å styre avhengigheter, og prosesser for beslutningstaking som må ta hensyn til avhengighetene. Å håndtere mange parallelle aktiviteter samtidig nødvendiggjør dessuten gjennomsiktighet for å kunne legge til rette for god koordinering og informasjonsflyt. Samhandlende aktører

¹ SSB (2017), *Årlig nasjonalregnskap 2016* <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/statistikker/nr/aar/2017-02-09?fane=tabell&sort=nummer&tabell=294861>

² Elnan, K. (2013) Frokostseminar Betongelementforeningen 19. mars 2013. Lastet ned fra <http://www.byggevarerindustrien.no/getfile.php/Filer/Markedsanalyse%20og%20kartlegging%20av%20modul-%20og%20elementimport%20til%20det%20norske%20markedet.pdf>



i bygg- og anleggsbransjen kan i tillegg ha forskjellige målsettinger og rammebetingelser som kompliserer koordinering og beslutningstaking ytterligere. Forskningsaktivitet har derfor forsøkt å avdekke:

1. Hvordan koordinering og informasjonsflyt bør foregå i verdikjeden, internt i den enkelte organisasjonen, og mellom organisasjoner for å oppnå redusert byggetid.
2. Hvordan kritiske grensesnitt (mellom kontraktspartnere, fag, aktører) bør håndteres for å fremme redusert byggetid.
3. Hvilken informasjon den enkelte aktør trenger til hvilke tider for å oppnå god situasjonsbevissthet, og hvordan fremdriftsplanlegging kan understøtte dette.

Materialteknologi

Skal plasstøpt betong konkurrere med prefabrikkerte elementer på pris og tid kreves det innovasjon innenfor materialteknologi. Oppnåelse av prosjektets målsetning forutsetter vellykket innovasjon innenfor armering, forskaling og betong. Nye produkter må inneha både materielle kvaliteter og være tilpasset arbeidsprosessene på byggeplassen. Forskningsaktiviteten har forsøkt å gi kunnskap om:

1. Hvordan domenekunnskap fra arbeiderne på byggeplassen (jernbindere, forskallingsnekkere) kan innlemmes i nye løsninger for armering og forskaling
2. Hvordan krav til herdetider, styrke, fremdrift og miljøhensyn kan balanseres i plasstøpeprosjekter.

Læring, kunnskapshåndtering og forbedring

For at SiteCast skal fortsette å gi nytte etter at prosjektet er avsluttet, for å gi bedriftspartnerne varig konkurransefordel og for at plasstøp skal forbli konkurransedyktig mot bruk av elementer, er forskning innenfor området læring, kunnskapshåndtering og forbedring sentralt. Området inkluderer sanntids datafangst og prosessovervåking, systematisk kartlegging av tidstyver og flaskehals og prosesser for uttesting av tidsbesparende løsninger som utnytter fleksibiliteten og muligheten som ligger i plasstøping. Aktiv læring og kontinuerlig forbedring (uten at man går på akkord med sikkerhet) krever nye måter å drive forbedringsarbeid på. Forskningsaktiviteten har sett på:

1. Hvordan man sikrer seg at erfaringsbasert kunnskap kontinuerlig blir satt i system og utnyttes
2. Hvordan man sikrer at aktørene fortsetter innovasjonsarbeidet etter prosjektavslutning
3. Hvordan man får innovasjoner fra laboratoriene ut i kommersiell drift med krevende klimatiske forhold, krevende tilgang til områder og varierende grad av kunnskap hos de som skal benytte de nye teknikkene.

Integrering av verdi og verdirealisering

Teknologisk utvikling innenfor områder som sensorikk, big data og digitalisering åpner nye muligheter for å integrere potensiell verdi for eiere og fremtidige brukere av de plasstøpte konstruksjonene. Å integrere sensorikk i konstruksjonen handler i stor grad om å forberede konstruksjonene på behov og en fremtid man ikke kjenner i detalj, men trendene går mot å utnytte dataene til tilstandsovervåking og styring av vedlikehold. Radikal innovasjon drives sjelden av de etablerte aktørene i et marked, men når nye øyne møter gamle problemstillinger. Vi vil derfor hente inspirasjon fra miljøer som arbeider med bl.a. industri 4.0.

1. Hvordan kan inspirasjon og lærdom om verdi og verdirealisering fra *industri 4.0* tilpasses og benyttes i forbindelse med plasstøp-prosjekter?
2. Hvordan skal aktørene i prosjektet integrere og realisere teknologi i produktet de leverer for å gi merverdi til fremtidig eier og brukere?



Dagens praksis og identifiserte nøkkelpunkter for suksess

Mange entreprenører er gode på å gjennomføre plaststøping, og har god kontroll på prosessene på byggeplass. Det er imidlertid regelen fremfor unntaket at arbeidet forsinkes på grunn av både forutsette og uforutsette hendelser. Eksempler på dette kan være feil eller mangler i prosjekteringsgrunnlag, forsinkelser eller feillevering av varer til byggeplass, unøyaktig utførelse og lignende. For å være i stand til å håndtere forsinkelsene planlegges støpeprosessene med vesentlig grad av slakk.

Studier foretatt på norske byggeprosjekter av (Thune-Holm & Johansen, 2006) viser at ved utførelse av betongarbeid er arbeiderne produktive fra 65 % til 69 % av tida de arbeider. I en litteraturstudie foretatt av (Kalsaas, 2010) av arbeidere knyttet til betong, ventilasjon, elektronikk, rørlegging og snekring, kom betongarbeidere ut som arbeidsgruppen med høyest andel sløsing av tid grunnet feil gjort av andre. Det er imidlertid observert at betongarbeidere også mister noe tid grunnet egne feil. En annen flaskehals i betongstøping er identifisert å være kranaktivitet (Kalsaas, 2010).

I SiteCast har vi gjort en grundig kartlegging av dagens praksis og sammen med partnerne identifisert flere faktorer som nøkler for en vellykket støpeprosess.

Krankapasitet

Plaststøping innebærer mye bruk av kran, til løfting av blant annet forskalingsutstyr til vegg og dekke, prefabrikkerte elementer, bærestål, armeringsjern, løfteåk og betong. Dermed stilles det også høye krav til kranførere for at driften skal bli god.

Riggplanlegging

Ettersom betongproduksjonen foregår på byggeplassen, må plassbruken gjennomtenkes nøye. Riggplanlegging bør inngå som en viktig del av fremdriftsplanleggingen.

Bemanningsplanlegging

Plaststøping er arbeidskrevende. Et godt betonglag kan riktignok ha en høy produksjon. Samtidig deles arbeidskraften gjerne med flere prosjekter der under- eller overkapasitet – enten det gjelder for egne arbeidere eller hos underentreprenørene – vil kunne skape mye variasjon i forhold til en opprinnelig plan. Dette krever både en overordnet bemanningsplanlegging fra virksomhetens side samt en god dialog mellom ditt prosjekt og andre prosjekter.

Uteproduksjon

Betongproduksjonen foregår ute. Særlig om vinteren må produksjonen tilrettelegges med fyring og tildekking for at betongen skal herdes, og ved snøfall må det ryddes. Det er viktig med utstyr og planer for dette og det å sørge for frie adkomster og gangsoner.

Samarbeid med grunnarbeid

I byområder er det i dag ofte spesielt omfattende grunnarbeid. Grunnarbeidet danner grunnlaget for betongproduksjonen. Samtidig foregår det i mange tilfeller grunnarbeid parallelt med at byggene reises. Da



er det lett at betongfaget blir «hengende på» grunnarbeidene, dels for at disse skal bli ferdige med sin del av jobben og dels for at de ikke skal oppta for mye av plassen under betongproduksjonen. Grunn og betong bør derfor koordinere fremdriften tett og være åpne om status og kunne koordinere sine aktiviteter fortløpende. Dette er spesielt viktig ettersom mye grunnarbeid kan være uforutsigbart (man kan finne bekker, kloakkrør, strøm og annen infrastruktur som ikke er tegnet inn på kartene for området), og hvor man hele tiden er opptatt av å få til en avstand som er stor nok sikkerhetsmessig mellom grunn og betong.

SUKSESSFaktorER

- ✓ Alt må være klart for støping når betongbilen kommer!
 - Kjøreveier for betongbilene frem til bygget.
 - Nødvendig utstyr må være på plass til rett tid.
- ✓ Alt må være klart for montasje av plattendecke-elementer når de kommer.
 - Montasje skjer med at de løftes fra bil og monteres direkte i bygget.
- ✓ Det må planlegges godt med plass i tilknytning til betongdriften.
 - Dette fordi det parallelt foregår prefabrikasjon av forskalingsformer og armering, og fordi det i tillegg trengs plass til lagring av diverse materialer og utstyr
- ✓ Forskalingssystemene må kunne plasseres fysisk nært råbygget.
 - Dette fordi de kontinuerlig løftes av og på bygget under produksjon
- ✓ Godt sammensatte arbeidslag
 - En betongbas med et lag av håndverkere som kjenner hverandre godt, inkludert den samlede arbeidskapasiteten til laget og nødvendig tidsbruk for ulike aktiviteter
- ✓ Tidlig involvering av tekniske fag og leverandører
 - Involvering av de tekniske fagene i framdriftsplanlegginga, slik at de gis mulighet til å komme med innspill og forslag til justeringer i planene. Videre at leverandører av forskaling, armering og betong involveres tidlig for å finne gode løsninger og best mulig ressursutnyttelse.

Les mer: *Dagens status og forslag til fokusområder for forbedring av plasstøpeprosessen* (Økland et. al, 2020)



Erfaringsbasert "taus kunnskap" på byggeplass

Begrepet *taus kunnskap* er en beskrivelse for personlig kunnskap det er vanskelig å formulere eller dele med andre. Dette er kunnskap som erverves gjennom erfaring og lagres i hodene våre. Dersom folk bytter jobb eller går av med pensjon, tar de med seg den erfaringsbaserte tause kunnskapen sin, og den går tapt for bedriften dersom det ikke er gjort tiltak for å overføre den til andre medarbeidere i bedriften eller på andre måter har evnet å lagre kunnskapen. Byggebransjen er helt avhengig av arbeidere med slik erfaringsbasert *taus kunnskap* innenfor de ulike fagene, samt kunnskap om hvordan en byggeplass fungerer. Dette er kunnskap som må tilegnes gjennom erfaring på byggeplasser.

Det er noen særtrekk ved byggebransjen som gjør kunnskapsforvaltning særlig utfordrende. Det er en fragmentert sektor, med mange små selskaper, lite ressurser, høy utskiftningstakt, samt mange konkurser og nyetableringer. Generelt er det lav innovasjonsaktivitet og lite bruk av avansert teknologi sammenlignet med andre bransjer. Videre er det vanskelig å holde et arbeidslag samlet lengre enn varigheten til et prosjekt på grunn av den midlertidige organisering av arbeidet i separate prosjekter, og det er generelt mye utskiftning av personell. Dette gjør det vanskelig å bygge opp tillitt og etablere langvarig samarbeid for lagring og deling av kunnskap fra et prosjekt til et annet, og det settes sjelden av tid og ressurser til evaluering og erfaringsutveksling i prosjektene. I tillegg er det generelt lave utdanningsnivået, samt at en stor andel av arbeidsstokken er utenlandsk, med varierende språkferdigheter og lite erfaring med norsk arbeidsliv, også barrierer for å skape gode læringsmiljø.

I SiteCast har vi sett nærmere på hvordan prosjektpartnerne legger til rette for å få tak i den *tause kunnskapen* som allerede er *i medarbeiderne*, hvordan virksomhetene kan skape best mulige vilkår for individuell og kollektiv læring, samt hvordan det legges til rette for deling av kunnskap og erfaring, spesielt i tilknytning til støpearbeider.

Et typisk eksempel på taus kunnskap innen plasstøping er hvordan betongarbeideren raskt vurderer om levert betong er av riktig kvalitet, kun ved å kaste et blick på den. En uerfaren arbeider vil ikke kunne vurdere dette uten å gjennomføre standardiserte tester først, slik som slumpmåling.

*"Du ser det på hvordan den flyter, på størrelsen på steinene, på hvor våt den er.
Dette lærer du etter hvert"*

Et annet eksempel er hvordan det kreves erfaring for å lykkes med utlegg av fersk betong.

Dersom betongen blir ujevnt fordelt, kreves det mer etterarbeid, og i verste fall må dekket slipes før det kan støpes vegger. Dette koster tid og penger. Denne kunnskapen kan ikke forklares eller vises slik at noen uten erfaring uten videre vil lykkes i å ta over oppgaven.

"Det tar flere måneder å få følelsen inn i kroppen på hvordan du gjør et godt utlegg. Lærlinger må gå med vibratoren og dissa lenge før de får styre slangen"

De to eksemplene illustrere hvor sentral erfaringsbasert taus kunnskap er for å lykkes med kritiske aktiviteter i støpeprosessen.



En annen form for erfaringsbasert taus kunnskap er knyttet til å forstå byggeplassens kompleksitet. Denne formen for erfaringsbasert taus kunnskap er enda vanskeligere å konkretisere og beskrive, og umulig å plassere i et prosesskart. En teknisk sjef beskrev det som at man kan lære mye om de enkelte aktivitetene gjennom tekst, bilder og video, men at det er umulig å forstå hvordan aktiviteter og folk på byggeplass påvirker hverandre uten å ha erfart det selv.

"Det kan ikke beskrives med ord, du må ut på byggeplass for å skjønne det"

Byggeplasser inneholder så mange aktiviteter, fag og folk som påvirker og avhenger av hverandre, at de kan beskrives som ekstremt komplekse. Å forstå og håndtere denne kompleksiteten er helt sentralt for å opprettholde framdrift og minimere feil. Denne ferdigheten bygger på erfaringsbasert taus kunnskap som er umulig å gjengi, og som samtidig vurderes av flere som en av de viktigste kunnskapene til en bygningsarbeider.

Byggeplassen som læringsarena

"Skygging" pekes på som den mest effektive formen for å forstå og håndtere kompleksiteten på en byggeplass. Enkelt sagt er det en metode for å lære gjennom å følge og observere erfarne kolleger over tid. I Veidekke kalles dette for *praktisk sidemannsopplæring* og er regnet som en av de viktigste verktøy for å dele kunnskap og erfaringer fra erfarne til uerfarne i organisasjonen. Videre er *kollektiv erfaringsbasert taus kunnskap* ansett som en kritisk faktor for et vellykket prosjekt. Kunnskapen som arbeidere skaper i et arbeidslag, er en kollektiv erfaringsbasert kunnskap.

Folk med erfaring fra byggeplass endrer også arbeidsprosessene til andre aktører i verdikjeden. Hos Celsa har de erfart at folk med erfaring fra byggeplass gjerne finner nye måter å gjennomføre produksjonen på, samt at produksjonen forbedres. Videre ser de at arbeidere med slik erfaring stiller færre spørsmål til teknisk avdeling, noe som kan tyde på at de i større grad evner å finne løsninger selv.

Fange og spre erfaringsbasert taus kunnskap

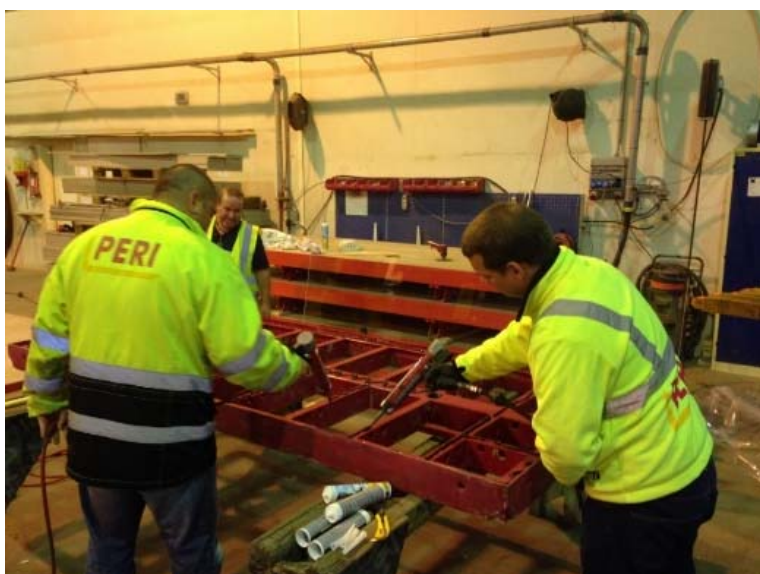
Kunnskapsdeling oppstår i hovedsak mellom arbeiderne når det er behov, ved at de bruker sine nettverk og relasjoner til å finne kunnskapen de trenger. Dette skjer i stor grad lokalt og uorganisert i og mellom prosjekter som er nær hverandre i geografi eller relasjoner. I Veidekke har de også en organisert form for kunnskapsdeling gjennom *fagnettverk*. Her samles arbeidere for å dele ny praksis og suksesshistorier, samt diskutere relevante faglige problemstillinger. Disse er imidlertid avhengige av ildsjeler som holder nettverkene i gang og som skjermes for en del andre aktiviteter i hverdagen. I Veidekke har de også noen sentrale kunnskapsgrupper som legger til rette for at kunnskap deles mellom prosjekter, blant annet en betongfaglig gruppe og en gruppe som jobber med å standardisere planleggingsprosesser, fysiske løsninger og samarbeidsformer. Disse gruppene leies ut som fagekspertise til prosjektene eller arrangerer samlinger for å spre kunnskap. Samtidig lærer de nye praksiser ute i prosjektene som de tar med seg videre. En utfordring er imidlertid at det er opp til prosjektene selv om de vil leie inn disse kunnskapsgruppene. Det innebærer at beste praksis kun flyter mellom de prosjektene som prioriterer å hente inn ekspertisen. Videre fins det nye arbeidsmetoder og løsninger ute i prosjektene som aldri besøkes og forblir skjult. Det kan tenkes at det oppstår selvforsterkende effekter der prosjekter med dårlig økonomi går dårligere fordi de ikke har ressurser og kan prioritere denne typen viktig kunnskapsarbeid, mens de som går best går enda bedre siden de får tilført den nye kunnskapen.



Teknologi som støtte for erfaringsbasert taus kunnskap

I SiteCast har vi også sett på hvordan teknologi kan bidra til raskere læring av erfaringsbasert taus kunnskap, samt hvordan teknologien kan gjøre overføring av slik kunnskap mindre avhengig av at den som lærer og den som skal lære bort befinner seg nært hverandre.

Hos Veidekke ble det gjort forsøk med bruk av **gjennomsiktig forskaling** for økt innsikt i hvordan betongen flyter i støpeformen og omslutter armeringen. Økt kunnskap om dette bidrar til redusert risiko for støpereir eller hulrom i konstruksjonen, og kan gi en penere betongoverflate. Gjennomsiktig forskaling gjorde det mulig å se årsak og hvordan betongen oppførte seg i ulike situasjoner og med ulike betonger og støpemetoder.

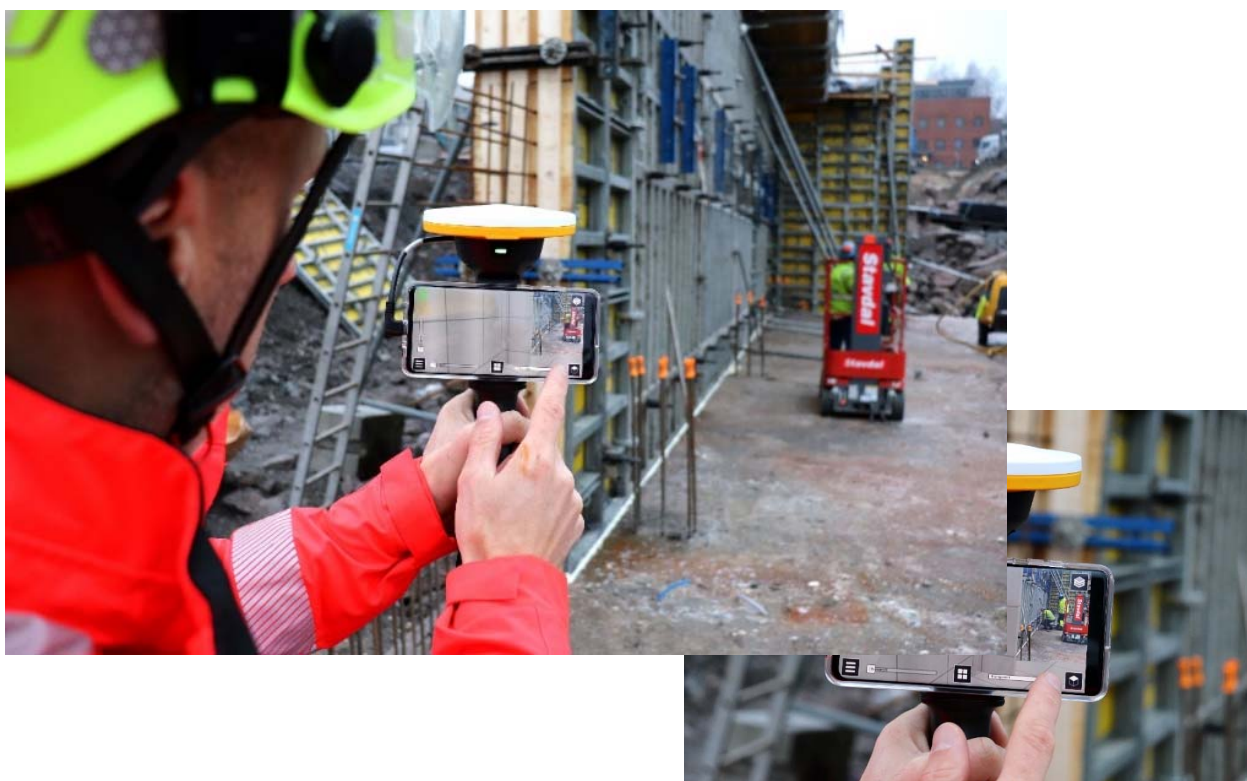


Figur 1: Her ser man produksjon av gjennomsiktig forskaling og at betongen fyller formen, inkludert evt avvik (steinreir). Foto: Andreas Sjaastad, Veidekke



Sammen med Unicon har vi prøvd ut **sanntids temperaturmåling** av betong under transport. Det er viktig å levere betong med riktig temperatur til byggeplassen, og det kreves lang erfaring for å forstå hvilke faktorer som påvirker temperaturen og å gjøre riktige anslag av temperaturendringene under transport. Ved å benytte sanntidsmålinger av temperaturen, er det ikke lenger nødvendig å gjøre anslag, da man kan kompensere for temperaturendringene i fabrikkens fortløpende. Dette finner du mer om senere i rapporten.

Både Celsa og Veidekke eksperimenterer med bruk av **AR-briller** (Augmented Reality-briller, oversatt til *utvidet virkelighet* på norsk). Det kan for eksempel gjøre det enklere å forstå armeringstegninger, samt bedre kommunikasjonen mellom armeringsfabrikken og byggeplassen. Økende digitalisering i byggebransjen og de muligheter 5G-teknologien gir, med raskere overføringshastighet og -kapasitet, mer prosessorkapasitet, samt at "alt blir mobilt", gir nye muligheter for å skape læringsmiljø som simulerer lærings situasjoner fra byggeplass. AR/VR er på full fart inn i byggebransjen som prosjekterings- og planleggingsteknologi, men potensialet som læringsverktøy for erfaringsbasert taus kunnskap er også veldig stort.



Figur 2: Her vises bruken av XR-teknologi som tilfører mer informasjon til virkeligheten/bildet. Foto: Øyvind Svaland, Veidekke

I arbeidet med *Taus kunnskap* har vi funnet flere gode eksempler på at partnerne i SiteCast har lyktes i arbeidet med kunnskapsoverføring. Nødvendigheten for erfaringsbasert taus kunnskap anerkjennes av både arbeidere og ledere, og eksemplene på metoder for deling av kunnskap, med omreisende kunnskapsgrupper, skygging, lagarbeid og lignende viser at de også har stor evne til å lykkes. Partnerne har tatt lærdom av hverandres erfaringer og bør investere i lignende arbeid i egen organisasjon. Arbeidet med *Taus kunnskap* i SiteCast ledet oss fram til tre konkrete anbefalinger for videre arbeid:



ANBEFALINGER FOR VIDERE ARBEID

- ✓ Forskningslitteraturen og funnene i SiteCast peker på at lagarbeid og stabile arbeidslag er en av nøklene for å lykkes med både kunnskapsarbeid og selve byggeprosjektene. Sammen skaper de en kollektiv erfaringsbasert taus kunnskap som gir flyt i arbeidet. Det anbefales å legge til rette for stabile arbeidslag som jobber sammen i prosjekt etter prosjekt.
- ✓ I læringsaktiviteter som skygging (praktisk sidemannsopplæring) er det viktig å sette de riktige menneskene sammen. For å lykkes med denne metoden, er det viktig å lære hvordan man er en "god skygge" og en "god mentor". I byggebransjen praktiseres dette i stor grad gjennom lærlingeordningen, med lærlingeansvarlige/-koordinatorene, men prinsippet om læremester og læresvenn bør også systematiseres etter læretiden. Det bør skapes incentiver som belønner enkeltindivider for å dele sin individuelle kunnskap.
- ✓ Bedrifter bør lete etter teknologi som kan støtte overføringen av erfaringsbasert taus kunnskap, og gjøre slik teknologi tilgjengelig i prosjektene. Bruk av gjennomsliktig forskaling for å hjelpe arbeiderne med å tilegne seg viktig erfaring, er et godt eksempel på hvordan relativt enkel teknologi kan gi stor effekt i kunnskapsarbeidet, uten at det kreves organisasjonsendringer eller fundamentale endringer i arbeidsmetodikk.

Les mer: *Erfaringsbasert taus kunnskap – Læring og deling av kunnskap på byggeplass, utfordringer og muligheter* (Sporssem, T. & Hatling, M., 2021)

Lytt: SINTEF Pod cast Smart forklart: *Hva er din tause kunnskap?* Episode 48

18. aug. 2022 · 20 min gjenstår

48. Hva er din tause kunnskap?

Smart forklart >

|| Pause

Din tause kunnskap er gull verdt, både for deg og bedriften du jobber for. En frisør som kjenner saksen som en forlengelse av sin egen arm, og en kokk som kan lukte og føle seg frem til at en matrett er perfekt – det er eksempler på taus kunnskap.

Altså kunnskap som du har skaffet deg gjennom erfaring, og som det ikke er så lett å formidle videre til andre.

I denne episoden forklarer forsker Tor Sporssem hvordan du kan finne ut hva som er



Kartlegging og forbedring av arbeidsprosesser

Plasstøping er en av mange prosesser på en byggeplass. Bygg- og anleggsprosjekter kjennetegnes gjerne av at de ulike arbeidsprosessene optimaliseres hver for seg, noe som fører til en suboptimalisering av arbeidsflyten og verdiskapingen som skjer på plassen. Arbeidet med prosessforbedring har derfor fokusert på sammenhengen mellom ulike prosesser på plassen. Disse kan være direkte koblet (betongarbeidet må komme etter grunnarbeider), men kan også være koblet på andre måter som tilgang på kran eller inngangsporter for kjøretøy. Fremdrift i prosjektene er heftet med usikkerhet, noe som gir behov for robuste fremdriftsplaner uten at det fører til mer slakk i planene. Det er i dag liten tradisjon for kontinuerlig, systematisk forbedring av arbeidsprosesser på byggeplassen. Prosjektet skal derfor utvikle en ny *prosess for prosessforbedring*.

Verdistrømsanalyse som grunnlag for valg av forbedring

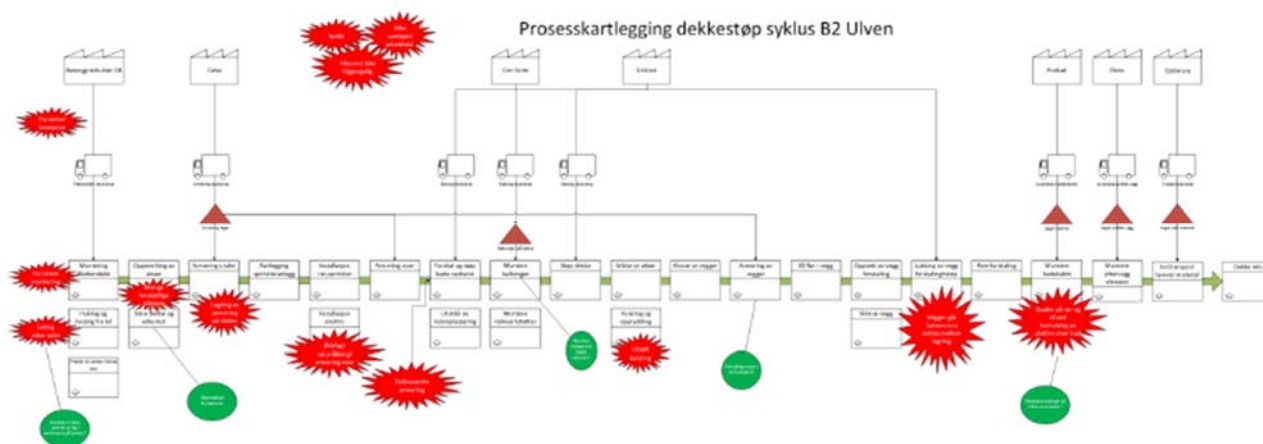
Versistrømsanalyse er en metode, som brukes innen Lean og systematisk forbedringsarbeid, for å analysere og forstå alle prosessene som utføres for å levere et ferdig produkt til en kunde. Med en verdistrøm menes en serie prosesser som er nødvendige for å produsere og levere et produkt som kunden vil ha, i det antallet kunden har behov for, til det tidspunktet kunden ønsker produktene levert. Prosessene vil bestå av både verdiskapende og ikke verdiskapende aktiviteter og er en helhetsbeskrivelse av dagens situasjon (as-is). Om ønskelig kan en også beskrive den ønskelige verdistrømmen som en fremtidig situasjon, uten unødvendige ikke verdiskapende aktiviteter (to-be). Hensikten er øke verdiskapende andel i alle prosesser for å sikre kunde verdi og øke produktiviteten. Dette gjøres ved å identifisere sløsing, ineffektive prosesser, flaskehalser og unødvendige aktiviteter. Neste trinn er å systematisk ta tak i utfordringene og løse disse for å skape en forbedret og gunstigere verdistrøm.

Et av målene i dette prosjektet var å identifisere felles utfordring mellom flere av aktørene og samarbeide om felles forbedringsløsninger ved bruk av *Toyota Kata* som metode. En stegvis beskrivelse av prosessen for dekkestøp for leilighetsbygg på

Les mer: *Verdistrømsanalyser for prosesser tilknyttet betongarbeid* (Totland, H et. al, 2021)

Ulven B2 ble utarbeidet. Målet var å få en felles forståelse av den helhetlige prosessen for involverte fra Veidekke, Unicon, Peri og Celsa Steel. Deltakerne dekket prosessene for forskaling, armering, betongstøping og boligbygging. For hver av prosesstrinnene identifiserte vi utfordringer som typisk oppleves under dekkestøp, inkludert prosjektet Ulven B2. Utfordringene kategorisert vi under: (1) kommunikasjon, (2) logistikk og transport og (3) produksjon på byggeplass. Siden målet var å identifisere felles utfordringer og teste disse ut ved bruk av metoden *Toyota Kata*, valgte vi å ekskludere resterende trinn for verdistrømsanalysen, inkludert tallfesting og beskrivelse av en best mulig verdistrøm (to be).

Visualiseringen av helheten for prosesser, se Figur 3, hvor flere aktører er involvert i, er et godt utgangspunkt for å jobbe videre med endringsprosesser innen byggebransjen. Det er enklere å forstå sin rolle som aktør og hvordan den påvirker andre aktører ved bruk av prosesskartleggingen som et visualiseringsverktøy. Her synliggjøres påvirkningen fra alle aktører og hva som skal til for å forbedre verdiskapende aktiviteter. Prosesskartleggingen, inkludert en oversikt over utfordringer hver av aktørene opplever, gir en felles problemforståelse og et felles utgangspunkt for å diskutere og finne forbedringsmuligheter. Resultatet viser muligheter til å velge forbedringsmuligheter på tvers av aktører og internt for hver av aktørene.



Figur 3 Eksempel fra en av verdistrømsanalysene som ble utført i prosjektet

Toyota Kata – Prosess for prosessforbedring

Det er i dag liten tradisjon for kontinuerlig, systematisk forbedring av arbeidsprosesser på byggeplassen. Forskning viser at de som jobber både systematisk og kontinuerlig med forbedringer oppnår gode resultater både innen produktivitet og bedre kvalitet for sine prosesser og produkter. Dette viser viktigheten av å utvikle en kultur for kontinuerlig og systematisk forbedring i byggebransjen. Plasstøpeprosessen, som er SitCast sitt hovedtema, er en kompleks og arbeidsintensiv prosess med både interne og eksterne aktører, som krever god informasjonsflyt og koordinering av ulike roller. For å oppnå en effektiv plasstøpeprosess med riktig kvalitet, er det viktig å unngå uforutsette hendelser og redusere andel sløsing. For å håndtere utfordringene, er systematisk forbedringsarbeid både på individ-, team- og ledelsesnivå et viktig virkemiddel. Tilnærmingen er involvering og samspill med alle medarbeidere i en organisasjon for å identifisere og implementere forbedringer i en organisasjon. Dette innebærer bruk av en systematisk tilnærming med standardiserte problemløsningsteknikker kontinuerlig i en arbeidshverdag. Formålet er å eliminere sløsing og feil, effektivisere prosesser, skape kunde verdi og kontinuerlig læring.

Toyota Kata, som vi har valgt å teste i dette prosjektet, er en av flere anerkjente metoder. Systematisk forbedringsarbeid er et kjerneprinsipp innen flere kjente ledelsesformer som Total Kvalitetsledelse, Lean, Lean Six Sigma, Six Sigma og Toyota Kata. I SiteCast har vi valgt å fokusere på Toyota Kata, en metode som kommer fra bilindustrien. Prosjektet har som mål om å utvikle en metode for prosessforbedringer basert på Toyota Kata, men tilpasset byggebransjen.

Toyota Kata er utviklet av Toyota med formål om å fremme en kultur for systematisk forbedring og utvikling av ferdigheter hos ansatte. Toyota Kata består av Forbedrings-Kata og Coaching-Kata. Forbedringskata er en strukturert tilnærming for å utvikle en kultur for forbedringer med involvering av ansatte. Fokuset er å sette mål, planlegge og gjennomføre små eksperimenter for deretter å lære av disse og justere veien videre med nye eksperimenter for å systematisk forbedre prosesser. Coaching-Kata handler om å coache ansatte underveis ved gjennomføring av Forbedrings-Kata. Her fokuseres det på å utvikle ferdigheter for de involverte menneskene og etablere en kultur for læring og kontinuerlig forbedring. Toyota Kata er ikke begrenset til bilproduksjon, men kan anvendes i ulike bransjer. Imidlertid er det begrenset forskning på implementering av Toyota Kata i byggebransjen, med bare noen få studier som utforsker dens bruk. I dette prosjektet har vi testet Forbedrings-Kata med tre av partnere som er involverte i et felles plasstøpeprosjekt.



Hva er forbedrings-Kata (se fiugur nedenfor):

- 1) Forstå og definer langsiktig utfordring
- 2) Beskrivelse av nåsituasjonen før iverksetting av tiltak
- 3) Nedbryting av langsiktig utfordring i delmål og hindringer
- 4) Eksperimenter, lær og tilpass

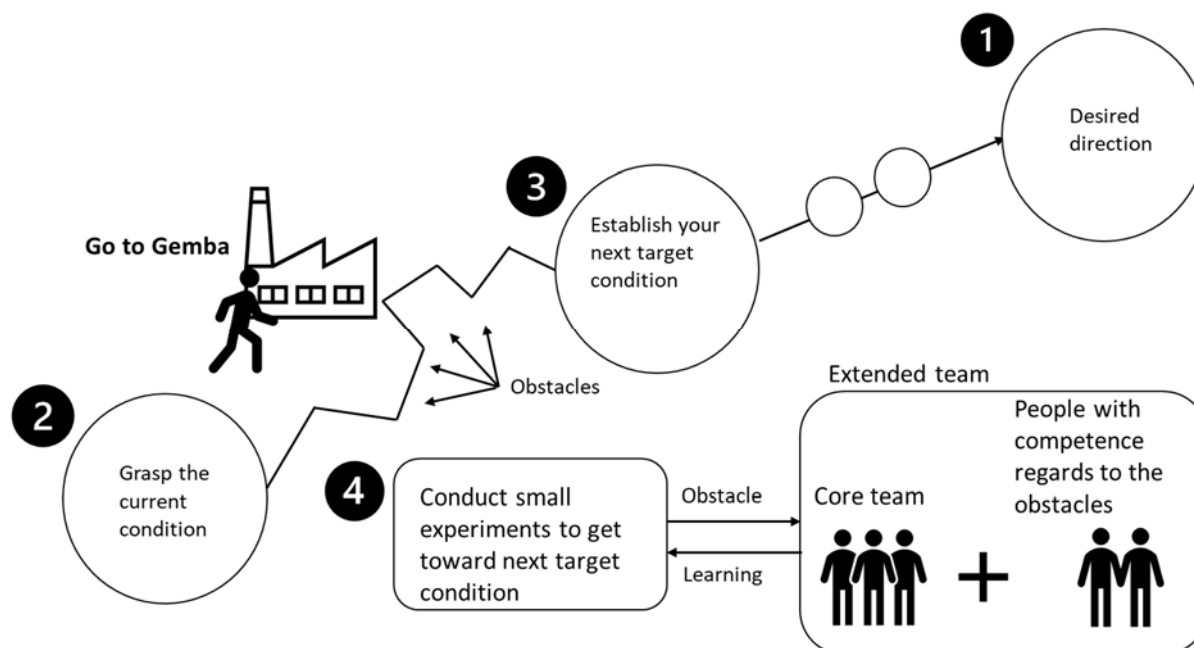


Figure 1: Forbedrings-Kata tilpasset våre forbedringscaser.

Det finnes en god del forskning innen implementering av systematisk forbedringsarbeid i organisasjoner. På tross av dette viser det seg at bedrifter sliter med å opprettholde en kultur for dette over lengre tid. Det er viktig å forstå de kritiske suksessfaktorene i Toyota Kata-implementeringsprosessen for å unngå fallgruver. Som Lean, må Toyota Kata tilpasses det spesifikke miljøet der det blir brukt. I dette prosjektet undersøkte vi om Toyota Kata er en metode som kan brukes i byggebransjens verdikjeder, og i så fall hvordan den bør tilpasses til behovene i byggebransjen. Ut ifra dette har vi sett på hvilke suksessfaktorer som må tas hensyn til for å lykkes med bruk av Forbedrings-Kata i byggebransjen. Vi valgte underveis i prosjektet å ekskludere Coaching-Kata, siden bedriftene var relativt ukjente med bruk av systematisk tilnærming til forbedringsmetoder og anså bruk av ukjent forbedringsmetodikk som tilstrekkelig tema å starte med. Noen viktige funn innen suksessfaktorer for bruk av Forbedrings-Kata basert på de tre forbedringscasene i dette prosjektet:

Organisatoriske faktorer: Engasjement, støtte og fokus fra ledelsen er avgjørende for å lykkes og som for ofte er undervurdert i en organisasjon. Det er ikke så lett for ansatte i en bedrift å jobbe med noe ledelsen ikke er like opptatt av og som ikke etterspørres i tilstrekkelig grad. Selv må lederne være gode rollemodeller og praktisere valgt metode i sin egen arbeidshverdag. I tillegg må det settes av tilstrekkelig med ressurser med nødvendig kompetanse og tilrettelegge slik at forbedringsteamet kan få satt av tilstrekkelig med tid til å utføre nødvendige aktiviteter. Kompetansen må også inkludere, i tillegg til kunnskap om selve problemet, metodikk og coaching.



Valg av tema/problem: Et viktig trinn er å velge et strategisk viktig problem som teamet kan og bør forbedre i henhold til strategi og mål for bedriften. Er organisasjonen relativt ukjent med bruk av en anerkjent forbedringsmetodikk, kan det være enklere å starte med et internt problem uten å måtte involvere eksterne aktører. Dette fordi kompleksiteten vil øke med enda en faktor – avhengigheten av andre uten å ha ansvar og myndighet for disse. I vårt prosjekt har vi testet ut forbedring av repeterbare prosesser. Her ser vi det lettere å få til testing av eksperimenter, læring og tilpassing når det er relativt kort tidshorisont mellom de repeterbare aktivitetene.

Forbedringsteam. Her er det viktig etablere et team hvor en tar hensyn til kompetanse og eierskap til problemet, i tillegg til antall medlemmer. For vellykket implementering av kontinuerlig forbedring bør teamet være tverrfaglige, inkludere medlemmer med erfaring i metodikken inkludert problemløsningsverktøy, coach/fasilitering, endringshåndtering og kompetanse om utfordringen som skal løses. En interessant observasjon som ble gjort i prosjektet, var viktigheten av å involvere operatører ute i produksjonen. Det vil si de som jobber med utfordringen daglig og som har kompetanse om prosessen. Dette vil gi en større sannsynlighet for realistiske og gjennomførbare tiltak. Sitat fra en av lederne:

"Skal du få til en forbedring må du involvere folka"

Ansattes deltakelse og engasjement er avgjørende for å lykkes. Vektleggingen av samarbeidet mellom ledere og ansatte er en viktig karakteristikk ved den norske arbeidsmodellen, som kjennetegnes av et lavt hierarkisk nivå og oppmuntrer til involvering på alle nivåer i organisasjonen. Størrelsen på team er ikke noe man kan fastslå med to streker under svaret. Her er det viktig å reflektere over om det er riktig mennesker med og med et antall slik at det er god dynamikk i teamet. Et funn i dette prosjektet er å utarbeide et kjerneteam og i tillegg involvere andre aktuelle ut ifra hvilken hindring som skal løses. Dette betyr at du involvere de menneskene som til daglig er involvert ifm hindringen og ta de med for å eksperimentere, lære og tilpasse nye tiltak. Se figur ovenfor.

Gjennomføring av Forbedrings-Kata: Alle fire trinn er viktige å gjennomføre for valgt tema/problem.

- 1) Forstå og definer langsiktig utfordring
- 2) Beskrivelse av nåsituasjonen før iverksetting av tiltak
- 3) Nedbryting av langsiktig utfordring i delmål og hindringer
- 4) Eksperimenter, lær og tilpass

Møteledelse, møtestruktur og hvordan dokumentere prosessen underveis må avklares. De av casene med avklaring på ansvar for møteledelse fungerte best underveis. I tillegg opplevde vi at avklart møtestruktur inkludert frekvens var av en positiv fordel. I våre tre case har vi benyttet tavlestrukturen som vist i figuren nedenfor for å dokumentere og visualisere. Vi har testet både elektronisk versjon og manuell versjon ved bruk av en papirutgave hengt opp på ei tavle i et møterom. Hva som fungerer best, har vi ikke noe konkret svar på. Et argument for bruk av papirutgave på ei tavle var viktigheten av å kunne diskutere rundt tavla samtidig som du kan skrive ned aktuelle ting som kommer opp i møtet. Sitat fra en av operatørene:

"Det er ålreit å tenke utenfor boksen og diskutere hva vi bør bli bedre på"



Et funn er utfordring i å oppdatere tavla med tilhørende dokumentasjon. Et annet funn er om læring av utførte eksperimenter – hva lærte vi? Dette oppleves nok som uvant tema å diskutere og her trenger teamet tid over en lengre periode for å bli vant til en ny måte å reflektere og tenke på.

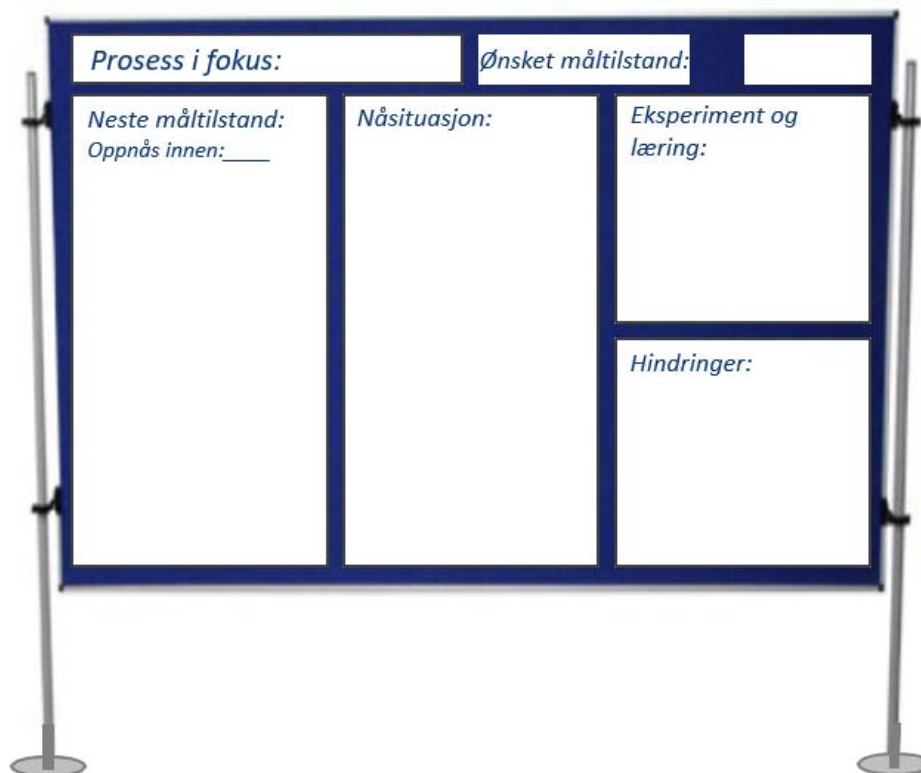


Figure 2: Tavlestruktur for Forbedrings-Kata

Våre tre case har forskjellig grad av suksess med tanke på implementering av en ny metodikk. Et av casene var med stor suksess og kommentert med dette utsagnet:

"Uoppnåelig mål ble oppnåelig"

Les mer:

Lessons learned from Toyota Kata Implementation in the Norwegian Construction Industry. (Lodgaard et. al, 2021)

Toyota Kata for continuous improvement: an action research project in the Construction Industry. (Lodgaard et. al, 2023)

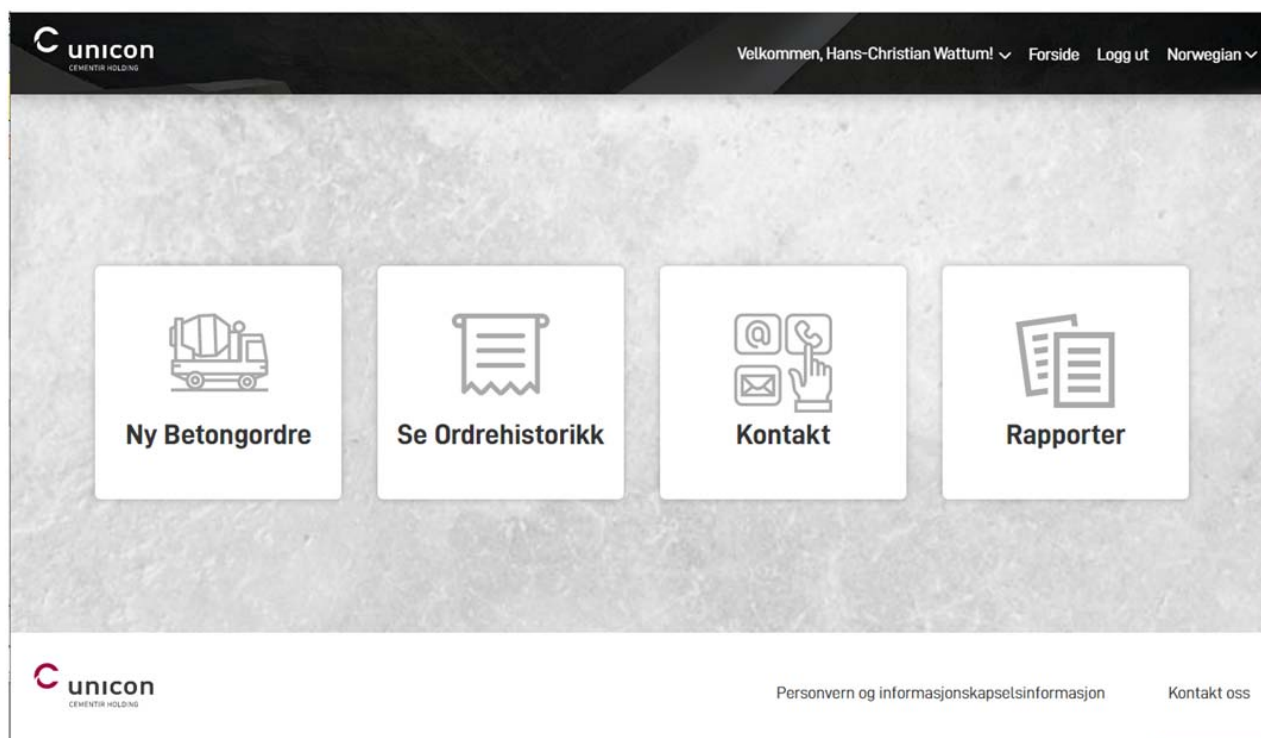


Utvikling av Unicons kundeportal

Det er naturlig at byggeprosjekter har behov for å oppdatere og endre bestillingene. Når endringene blir mange og store og kommer med veldig kort varsel, skaper dette problemer ikke bare for Unicons egen planlegging, men også for andre kunder som «ligger i kø» på bestillingene. I tillegg hender det at det oppstår misforståelser i forbindelse med bestillinger, særlig over telefon.

Unicon har derfor startet arbeidet med å opprette en kundeportal hvor prosjektene sjøl kan legge inn bestilling. Betingelsene er kanskje noe mer krevende enn for et standard bestillingssystem ettersom leveransene også gjerne skal tilpasses transport- og pumpetjenester.

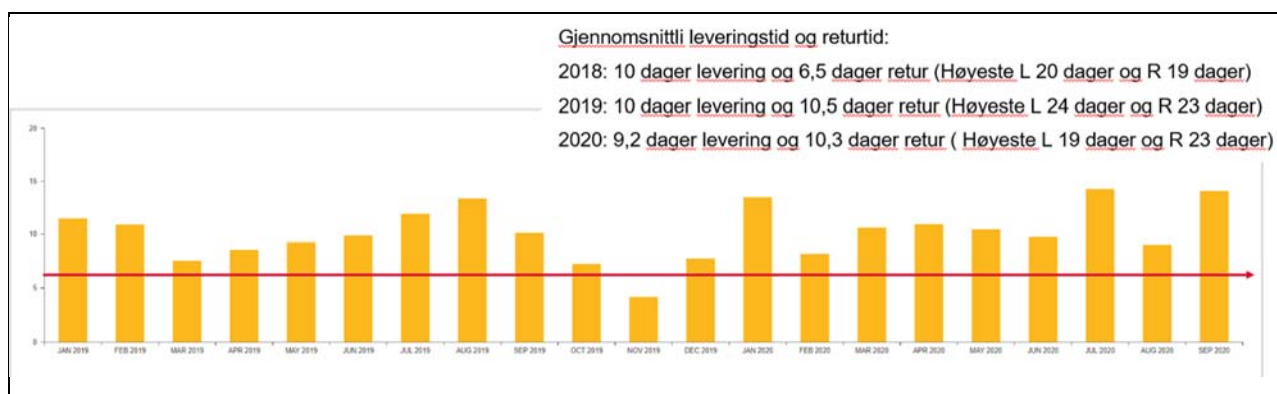
Tanken er at portalen skal tilpasses de enkelte prosjektene ved at det på forhånd defineres hvilke betongkvaliteter som skal benyttes og som bestiller kan velge mellom. Portalen er under utprøving i samarbeid med enkelte kunder.



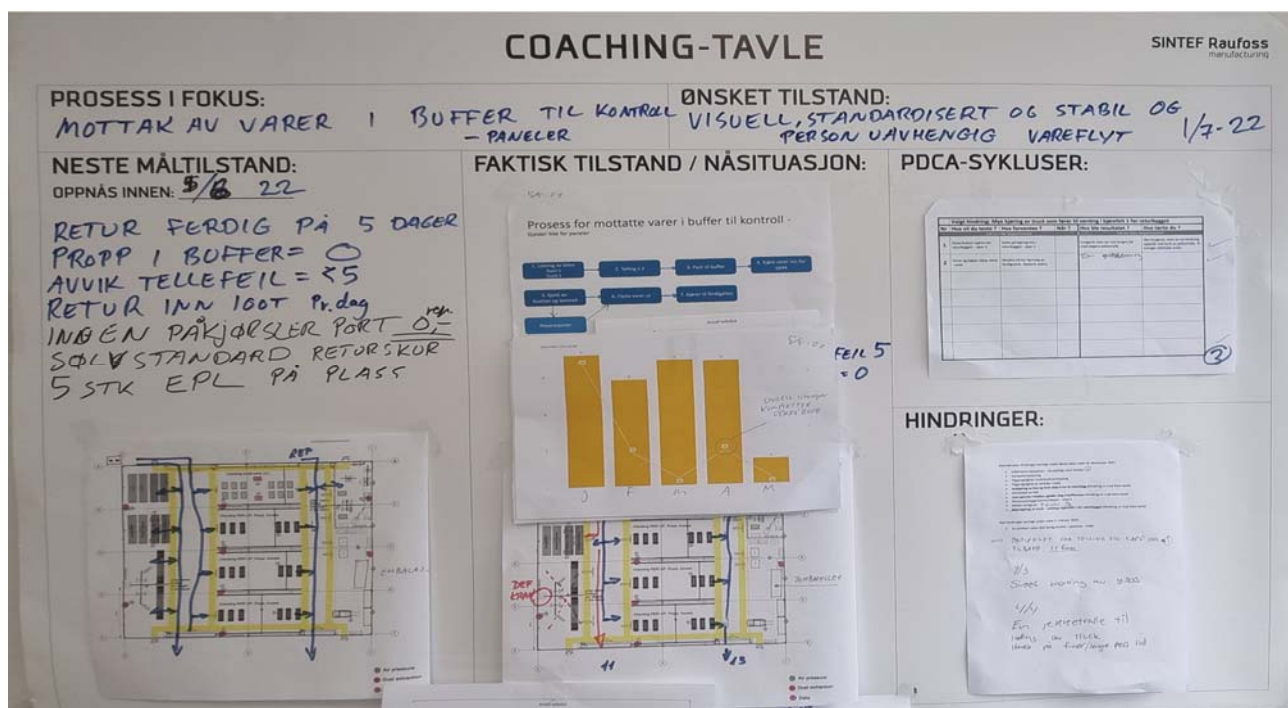


Kortere behandlingstid på retur - Peri

I Peri sitt forbedringsarbeid ved hjelp av Kata-metodikk ble det jobbet med å redusere antall dager for returprosessen på forskaling, altså hvor lang tid man bruker fra forskalingen kommer tilbake fra byggeplass til den er klar for ny bruk. Figur 4 viser gjennomsnittlig returtid per måned fra januar 2019 til september 2020. Peri har selv estimert et tap grunnet for lang prosesstid i retur på 3 millioner pr. år. Det ble satt et mål om en gjennomsnittlig returprosess på 7 dager, som tilsvarte nivået fra 2018. Figur 5 viser et eksempel på hvordan Peri brukte sin Coaching-tavle i forbedringsarbeidet.



Figur 4: Gjennomsnittlig returtid forskaling fra jan 2020 – sept 2020



Figur 5: Eksempel på hvordan Coaching-tavla ble brukt hos Peri

Ved blant annet å øke kapasiteten i produksjonen noe, samt å endre på truckflyten i produksjonshallen, klarte Peri å oppnå en markant forbedring. I 2021 oppnådde de et gjennomsnitt på 6 dager for levering og 7 dager for å levere retur. I 2022 oppnådde de henholdsvis 2,2 og 2 dager for levering og retur.



EFFEKT AV FORBEDRINGSARBEID HOS PERI

- ✓ Kan se resultater fra dag til dag
- ✓ Engasjement fra ansatte. De opplever at de faktisk kan påvirke
- ✓ Fikk et rammeverk som satte idéene i system
- ✓ Redusert prosessid i retur gir raskere levering til nye kunder
- ✓ Mulighet for økt tonnasje inn pga redusert returtid og større fleksibilitet i bemanningen
- ✓ Nytt digitalt retursystem som gir mulighet for ytterligere reduksjon i returtid
- ✓ Verktøy for å konkretisere og løse problemstillinger
- ✓ Reduserte fraktkostnader
- ✓ Komplette leveringer



Materialløsninger

Nye miljøbetonger krever endrede prosedyrer

Strengere krav til klimagassutslipp i byggeprosjekter har medført intensiv FoU-aktivitet hos en rekke aktører innenfor byggenæringen, og kanskje spesielt i verdikjeden for plasstøpte konstruksjoner. Dette skyldes at betong er det mest brukte byggematerialet i verden, samt at det står for en betydelig andel av det totale klimagassutslippet fra byggenæringen. Selv om ikke betongens miljøegenskaper var et hovedfokus ved oppstarten av SiteCast, har de stadig strengere kravene til reduserte utslipp knyttet til betongproduksjon ligget som et bakteppe for forskningsaktivitetene i prosjektet. Forslag til forbedring innenfor tidsbruk og materialkostnader som kan være til ulempe for det totale klimaregnskapet, har blitt avvist. Miljøpåvirkning trumfer i stor grad både tidsbruk og kostnader.

Betongens klimagassutslipp avhenger av parametere som til en viss grad varierer med geografi; tilgjengelig bindemiddeltipe, medgått bindemiddelmengde ved bruk av lokale tilslag, transport av råvarer til betongfabrikk og transport av betong fra fabrikk til byggeplass. Tilgang til ulike materialer varierer fra blandeverk til blandeverk, så betongprodusentens lokasjon er avgjørende for hvilken betongkvalitet man kan levere til et prosjekt.

Bindemiddelet som brukes, gir det klart største bidraget til betongens klimagassutslipp. I betong med vanlig portlandsement står bindemiddelet for over 90 % av klimagassutslippet. I de senere år har det derfor vært stor F&U aktivitet knyttet til utvikling av bindemidler som gjør betongen mer miljøvennlig. Dette er en ønsket og naturlig utvikling som bransjen må forholde seg til. Ulempen med disse bindemidlene er imidlertid at de ofte gir lengre herdetid for betongen og dermed påvirke framdrifta i prosjektet. For å komme forbi dette, må fasthets- og temperaturutvikling følges nøye, samtidig som nødvendige tiltak i form av for eksempel ekstra oppvarming, isolert forskaling, herdeakseleratorer, osv. settes inn. Tiltakene gjøres ofte spontant, og uten en helhetlig plan og kanskje uten å ha innsikt i den totale effekten.

I Site Cast har vi sett nærmere på teknologier og materialløsninger som kan understøtte plasstøpeprosessen, systematisere tiltak og produkter, målsette effekten (på tid, økonomi og miljø), og etablere løsninger for "best practice" ved plasstøping:

- Utvikling av lavkarbon ekstrem betong og tiltak for å øke produktiviteten
- Styrt bruk av herdeakselerator for å oppnå ønsket fasthetsutvikling
- Forskalingssystemer for økt produktivitet
- Armeringssystemer for økt produktivitet

Les mer:

State-of-the-art: Effektivisering av plasstøping – Dagens løsninger for betong, armering og forskaling (Kjellmark, G. & Anton, Y., 2020)



Utvikling av lavkarbon ekstrem betong

Lavkarbonbetong defineres som konstruksjonsbetong der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Det er i Norsk Betongforening sin publikasjon nr. 37 definert fire ulike lavkarbonklasser; Lavkarbon B, A, Pluss og Ekstrem. Felles for alle lavkarbonklassene er at deler av sementinnholdet i betongen er erstattet av tilsetningsmaterialer, slik som slikastøv, flygeaske eller slagg. Disse tilsetningsmaterialene påvirker betongens egenskaper i varierende grad, og det er noe man må ta hensyn til ved utstøping. De påvirker betongens støpelighet, temperaturfølsomhet og fasthetsutvikling. Bruk av tilsetningsmaterialer som flygeaske og slagg gir en mer langsom fasthetsutvikling enn betonger uten disse materialene. Dette kan gi utfordringer når det er lagt opp til korte produksjonssykluser. I praksis er det bare for de tre høyeste klassene, A, Pluss og Ekstrem at effekten på fasthetsutviklingen er så stor at den vil kunne påvirke rivningstiden og produksjonssyklusene. Ved vinterstøp vil det også kunne være behov for ekstra tiltak som økt bruk av isolasjonsmaterialer, ekstra oppvarming eller økt temperatur på den ferske betongen. Her kan man også bruke herdeakseleratorer aktivt for å styre fasthetsutviklingen til å passe med produksjonen ellers.

Lavkarbonbetong ekstrem er den strengeste lavkarbonbetongklassen i NB37. Den skal ha nesten 1/3 av CO₂-utslipp, sementmengde og varmeutvikling, sammenlignet med en referansebetong. I praksis er denne betongen kun oppnåelig ved å benytte sement av typen CEM III/B. Lavkarbon ekstrem brukes gjerne i massive konstruksjoner, hvor man ønsker å unngå høy varmeutvikling eller i prosjekter som har en uttalt miljøambisjon. Ekstrem lavkarbonbetong er imidlertid svært sårbar mot kulde og krever gode herdetiltak og kontroll gjennom hele herdeforløpet. Den fryser lett, da den har lav indre varmeutvikling, se Figur 6.



Figur 6: Noen tiltak som ble testet for å motvirke kaldt klima og senere tidligfasthetsutvikling, som infrarød varme og varmerør. Foto: Alf Egil Mathisen.

Betong klassifisert som lavkarbon ekstrem er forholdsvis enkel å produsere. Men fordi betongen krever en spesiell type sement, innebærer det at en silo må reserveres denne typen sement. Det er det ikke alle produsenter som har anledning til. I tillegg kan transportavstanden bli betydelig til visse deler av landet. For Unicons del oppfattes lavkarbon ekstrem-betong som enkel å få til med en akseptabel konsistens fordi man kan bruke tilnærmet normal vannmengde i betongen. Fasthetsutvikling etter 28 døgn er uproblematisk for betongprodusenten, men da må man ta med i betraktning at betongprøvene alltid oppbevares ved 20°C.



Veidekke har prøvd ut denne betongen ved flere prosjekter, blant annet i *Klimahuset*, *Ruseløkka Skole*, *Oksenøya senter* i Oslo og ved *ALO-bygget* i Trondheim, og har lært mye nytt om bruk av denne typen betong, både ved sommer- og vinterforhold. Den skal også benyttes til Veidekkes nye hovedkontor på Ulven der det i februar 2022 ble kjørt over 5 fullskala prøvestøper (over 100 m³ totalt). Der ble det også brukt resirkulert betong som tilslag i resepten, som også vil være tilfelle når byggingen begynner.



Figur 7: Prøvestøp med ekstrem lavkarbonbetong for Veidekkes nye hovedkontor. Foto: Andreas Sjaastad.

Ulike tiltak ble gjort for denne betongen ved vinterstøp, som ga verdifulle data for senere bruk. Ved sommerstøp fungerte det bra å støpe med denne betongen, både til støping av vegger og støping av dekker med avretting over. Det ble ikke gjort forsøk med støping av synlig overflate. Ved vinterforhold, var det imidlertid flere utfordringer. Det gikk bra med støping av ikke synlig overflate og støp av vegger, men Veidekkes erfaring var at de måtte tenke nytt for å få det til, og de fikk ikke noe godt resultat ved støp av synlig overflate. Etter disse forsøkene har Veidekke oppsummert følgende kilder til utfordringer ved bruk av ekstrem lavkarbonbetong:

- Siden det i all hovedsak har vært pilotprosjekter ekstrem lavkarbonbetong er testet på, med ulike utfordringer og krav, har dette ført til merarbeid med ekstra planlegging for å sikre grei fremdrift.
- Betongarbeidere som ikke kjenner til betongens egenskaper som varierer fra normal betong.
- Ikke nok folk til å følge opp, siden det enkelte ganger krever mer personell.
- For lav temperatur på levert betong som kan føre til høyere støpetrykk og tregere fasthetsutvikling. I verste fall at betongen fryser som kan føre til 80 % fasthetstap på sluttfastheten.
- Iskald armering som kan føre til mindre heft mellom betong og armering, ved at armeringen kjøler ned en allerede temperatursensitiv betong.
- Sensitiv for nedbør, herdetiden kan øke ved store nedbørsmengder grunnet raskere nedkjøling av overflater.
- Lengde på sløyfer for varmerør som skal varme opp inni betongkonstruksjonen som støpes.
- Lang tid før betongen kunne tildekkes/isoleres grunnet lengre størkningstidspunkt.
- Betongresepten, og spesielt med tanke på støpelighet som kan gi utfordringer når bindemiddelmengden må reduseres for å klare miljøkrav.
- Type og mengde med herde- eller størkningsakselerator ved ulike omgivelsestemperaturer.
- Driftsstans ved bruk av heatwork-systemet, som er et ekstra element som kan gi stopp eller forsinkelser, spesielt om det kanskje blir behov for tilførsel av energi i helgene (eks biodiesel/diesel).



«Måtte skrote alt vi kunne om vanlig betong, og tenke nytt»

Veidekke har erfart at oppfølging i alle ledd er en viktig suksessfaktor. I tillegg har bruk av ekstrem lavkarbonbetong som et miljøtiltak tilleggskostnader i form av behov for ekstra oppvarming/isolasjon, reparasjoner på synlig dekke, samt at prisen fra leverandør generelt er litt høyere enn «vanlig betong», f.eks med ekstra varme eller akselerator.



Figur 8: Etter flere prøvestøper med ekstrem lavkarbonbetong til Veidekkes nye hovedkontor. Foto: Andreas Sjaastad.

Peri gjorde også noen erfaringer knyttet til forskalingen i forbindelse med støping av vegg med ekstrem lavkarbonbetong ved Oksenøya. Dette var en vegg led lengde 11,75 m, høyde 9,5 m og tykkelse 0,35 m. Også Peri konkluderer med at denne typen betong gir ekstra utfordringer. Med den stighastigheten som ble brukt under støpingen, skulle støpetrykket vært tilnærmet 40 kN/m². Det ble imidlertid gjort en måling av støpetrykk på 65 kN/m², noe som er over det tillatte støpetrykket på 60 kN/m², som forma var dimensjonert for med utført ankerløsning. Ved bruk av størkningsakselerator, utviklet støpetrykket seg på en mer «normal» måte. Videre ble det bekreftet en langsommere fasthetsutvikling, som innebar at forskalingen måtte stå i minimum 24 timer før den kunne rives og flyttes, samt at det var behov for tilførsel av varme for å få i gang herdeforløpet. Dette innebærer at mer forskalingsutstyr må regnes med.



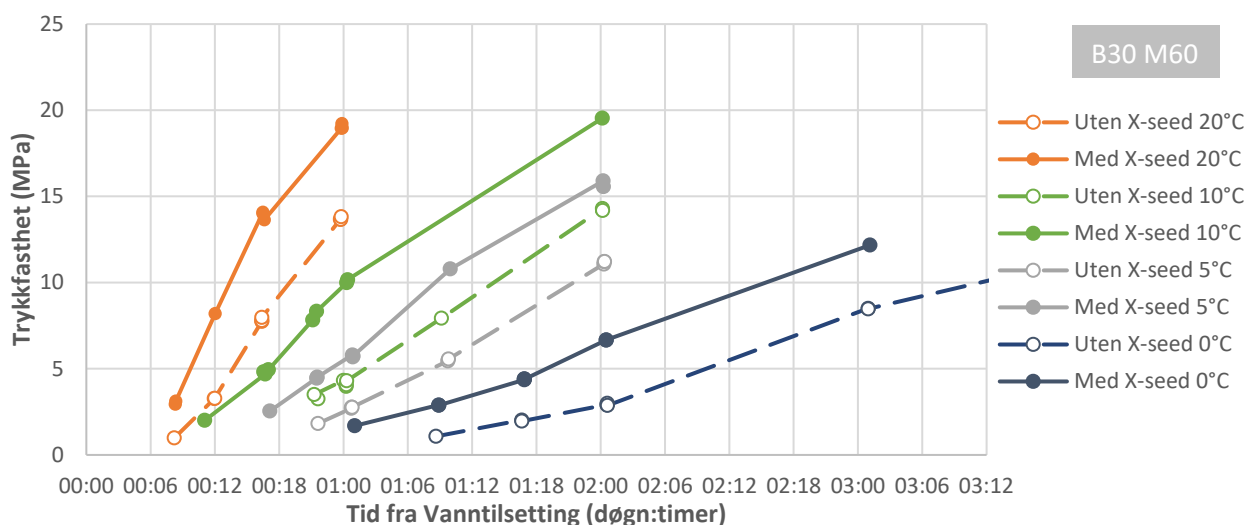
Figur 9: Vegg fra Oksenøya som skal støpes, der støpetrykk ble målt med ekstrem lavkarbonbetong. Foto: Helga Synnøve Kjos-Hanssen.



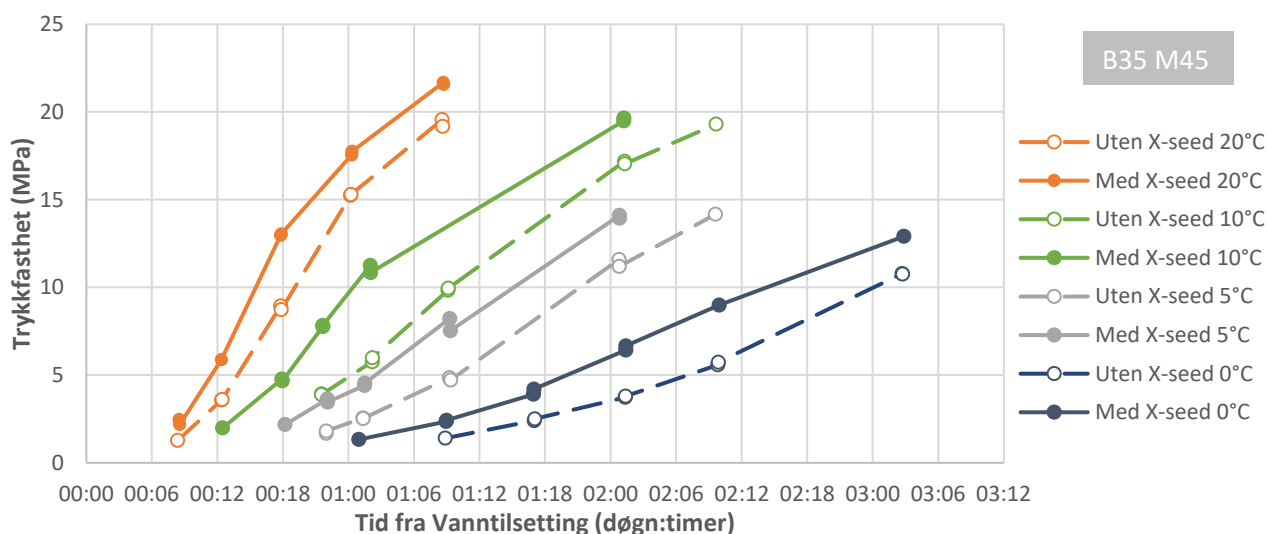
Styrt bruk av herdeakselerator

Bruk av herdeakselerator slo for alvor igjennom i det norske ferdigbetongmarkedet for nesten 10 år siden. BASF lanserte da produktet X-seed, og entreprenørene så raskt fordelen ved å benytte produktet. I utgangspunktet ble X-seed markedsført som et produkt for gulv på grunn, men i dag benyttes X-seed i nær sagt alle typer konstruksjoner. Det er uomtvistet at X-seed har en effekt på fasthetsutvikling, noe som også er dokumentert fra leverandøren sin side. Det har imidlertid manglet dokumentasjon av effekten ved lavere temperaturer, som er realiteten vinterstid i Norge. I SiteCast ble det derfor utført måling av synktap, varmeutvikling og fasthetsutvikling i laboratoriet for å undersøke hvordan X-seed påvirker betongens herdeutvikling ved lavere temperaturer. Forsøkene ble utført på to ulike betongkvaliteter, B30 M60 og B35 M45, i temperaturer fra 0 °C til -15 °C. Det ble også gjort forsøk ved 20 °C som referanse. Hensikten med denne dokumentasjonen er å kunne bruke X-seed mer bevisst som tilsetningsstoff for å aksellerere fasthetsutviklingen ved lavere temperaturer, og på den måten å kunne redusere kostnader knyttet til oppvarming av konstruksjonen etter støping, samt å oppnå en raskere framdrift.

Tilsetning av herdeakseleratoren gav et raskere synktap enn for betong uten tilsatt akselerator. For B30 M60 betongen falt synkmålet til under 50 mm på hhv. 100 min med X-seed og 247 min uten X-seed. For B35 M45 var synktapet henholdsvis 140 min med X-seed og 251 min uten X-seed. Resultatet kan gi en pekepinn på hvor lenge støpingen kan utføres ved kalde omgivelsestemperaturer. Betongen med herdeakselerator har et raskere synktap og det kreves derfor en velfungerende infrastruktur under støpingen og på byggeplassen. Figur 10 og Figur 11 viser tidlig fasthetsutvikling for de to betongkvalitetene, med og uten X-seed, ved ulike temperaturer. Referanseforsøkene ved 20 °C viser en høyere slutfasthet (28 dogn) for betong tilsatt X-seed.



Figur 10: Fasthetsutvikling for B30 M60 med og uten X-seed ved ulike temperaturer



Figur 11: Fasthetsutvikling for B35 M45 med og uten X-seed ved ulike temperaturer

EFFEKT VED BRUK AV HERDEAKSELERATOR

- ✓ Forskjellen mellom trykfastheter for betong hhv. med og uten herdeakselerator er ca. 14 % - absolutt verdi utgjør ca. 5 MPa ved samme prøvetidspunkt. Forskjellen er større for B30 M60 enn for B35 M45.
- ✓ Som forventet utvikler betong med X-seed temperaturen raskere enn betong uten herdeakselerator. "Akselerasjon" i temperaturutviklingen med herdeakselerator estimeres til å være ca. 3 til 3,3 timer.
- ✓ Det er lite variasjon i maksimal herdetemperaturer for serien med X-seed ved 5°C omgivelsestemperatur sammenliknet med den på 38°C. B30 M60 oppnår litt lavere maksimaltemperaturer sammenliknet med B35 M45.
- ✓ Betongen med X-seed (unntatt B30 M60 ved 5°C) oppnår en økt maksimaltemperatur, som er i område opp til ca. 2%.

Man ønsker verken å «overselge» eller «underselge» et produkt. Disse målingene har gjort det enklere for Unicon å forutsi effekten av X-seed med mye bedre nøyaktighet nå kunden etterspør data. Unicon har også som ambisjon å få inkludert dataene i herdesimuleringsprogram, f.eks. HETT 22.

Les mer:

SiteCast: Effekt av herdeakselerator (Anton, Y. & Aarstad, K., 2022)



Forskalingssystemer for økt produktivitet

Forskalingen er en viktig faktor i effektiv produksjon av betongkonstruksjonen. Dette er en midlertidig konstruksjon som former den ferske betongen og holder den på plass til den har herdnet. Når betongen er fersk, påfører den forma maksimalt trykk. Etter hvert som den herdner, eller «setter seg», vil trykket mot forskalinga avta. Hvordan dette trykket utvikler seg etter hvert som forma fylles med fersk betong, er avgjørende for hvilken stige-hastighet man kan ha på utstøpingen, altså hvor fort man kan fylle forma. Normal stige-hastighet i en veggforskaling er 1,5 – 2,0 m/time. Forskalingen må altså kunne bære det trykket som oppstår når betongen fylles i forma, fram til betongen har stivnet tilstrekkelig til å holde fasongen selv. Deretter rives forskalinga og klargjøres til å brukes på nytt i neste støp. Dette innebærer mye manuelt, tidkrevende og tungt arbeid på byggeplassen, og det kan være mye å hente på å effektivisere prosesser knyttet til forskalingsarbeid.

Det har skjedd svært liten utvikling av forskaling og forskalingsarbeid de siste tiårene. Entreprenørene baserer seg i stor grad på leie av forskalingssystem fra utleiefirma eller forskalingsleverandører, og det liten eller ingen bruk av for eksempel forskaling tilpasset klima. Det har tradisjonelt vært lite søkelys på hvordan forskaling kan bidra til å effektivisere arbeidsprosesser i forkant av eller i etterkant av forskalingsarbeidet. Tidsbruk på selve forskalingsarbeidet er en målbar parameter, men hvordan forskaling kan bidra til raskere framdrift, har ikke vært viet mye oppmerksomhet. For eksempel kan en forbedret kvalitet på den endelige betongoverflata, gi besparelser i form av redusert tid og kostnad på flikking. Forskaling som gjør at betongen herder raskere kan gi økt framdrift vinters tid. Dette er kjent teknologi, men utfordringa er at dette må kunne gjøres minst like raskt, og det må kombineres med materialparameterne for totalt å få en mest mulig effektiv og økonomisk byggeprosess.

De nye betongkvalitetene som har kommet på markedet oppfører seg i mange tilfeller annerledes en tradisjonell betong. De har gjerne en langsommere fasthetsutvikling, og «setter seg» senere. Dette har gitt noen utfordringer med at man må støpe langsommere eller at forskalingen må stå lengre før den rives og flyttes til neste konstruksjonsdel som skal støpes ut.

På markedet for forskalingssystemer er det flere digitale tjenester på vei, som har til hensikt å bidra til økt produktivitet på byggeplassen. Dette er diverse planleggings- og beregningsverktøy, webportaler for tilgang til prosjektdata, muligheter for integrering med CAD programmer, forbedrede 3D visualiseringsverktøy, samt diverse sensorbaserte systemer, som for eksempel måler temperaturutvikling i betongen, eller forenkler nivellering og innretting av vertikale forskalinger. Det er også utviklet forskalingssystemer som kan varmes opp, slik at de kan bidra til varmeutvikling i betongen og dermed raskere fasthetsutvikling, noe som igjen fører til at forskalingen kan rives og flyttes tidligere.

PERI har blant annet utviklet et APP-basert verktøy for å beregne støpetrykket som oppstår i forma, og dermed motvirke risikoen for overbelastning eller store defomasjoner. Denne støpetrykkskalkulatoren baserer seg på standarden DIN 18218:2010-01 *Fresh concrete pressure on perpendicular formwork*, og i appen får man ut verdier for hvor raskt man kan støpe i den aktuelle forskalingen med valgt betongtype. Kalkulatoren inneholder ikke tilstrekkelig data for de nye betongkvalitetene som nevnt over, men den gir en klar indikasjon på riktig bruk.

I SiteCast gjorde vi forsøk med PERI sitt sensorsystem for måling av støpetrykk i forskalinga. Hensikten med å bruke støpetrykksensor på forskalingen er altså for å kunne følge med på at trykket som oppstår i



forskalingen ikke overstiger det forskalingen er dimensjonert for. PERI har utviklet en sensor som kombinert kan måle støpetrykk og temperaturutvikling på betongen. Det var denne som ble brukt ved demonstrasjonsprosjektet R26 i Vika. Forsøket var imidlertid mislykket på grunn av at prototypen hadde for lang rapporteringstid fra målingene i sensor til avlesning, samt at det også var en kalibreringsfeil. Nå er det imidlertid kommet en forbedret versjon av styringsenheten til dette systemet, som slippes kommersielt i juni 2023.



Figur 12: For å kunne styre produksjonen bedre, ble det i Sitecast gjort et forsøk med utprøving av støpetrykksensorer på forskalingen. Forsøket ble utført i Veidekkes prosjekt «R26», sammen med Peri. Foto: Yngve Urnes, PERI

Les mer: *Rapport støpetrykk Ekstrem lavkarbonbetong, Veidekke Oksenøya 22.09.2020 (Urnes, Y., 2020)*



Armeringsløsninger for økt produktivitet på dekker og vegger.

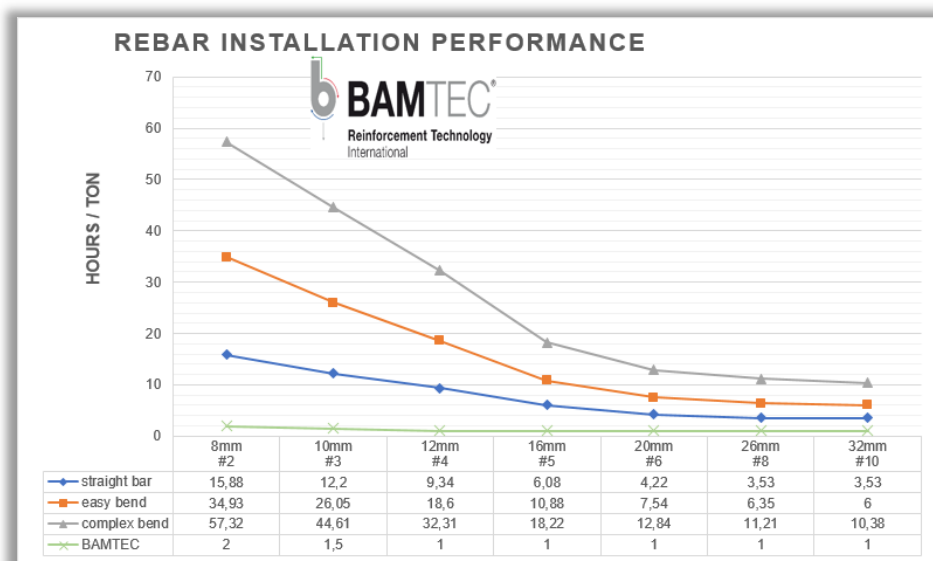
Legging og binding og av armering utgjør en betydelig andel av timeverkene i plaststøpeprosjekter. I prosessen med å legge armering inngår også tilpasning på plassen til uforutsette forhold. Ifølge Veidekkes betongplanleggere er det også store forskjeller i tidsbruk mellom de ulike arbeidslagene av jernbindere, i størrelsesordenen 30-40 %. Det kan derfor være mye å hente ved å ta i bruk nye produkter og arbeidsmetoder for legging av armering. Armeringsleveranser som er tilpasset byggeprosjektene krever mindre tilpasning på plassen, færre timeverk til jernbinding, kortere og mer forutsigbar gjennomføringstid. Innen dette området ligger også muligheter til å møte fremtidas krav om slankere betongkonstruksjoner for å redusere betongvolum og derigjennom redusere klimagassutslipp. FoU-utfordringen i denne sammenheng ligger i å måle og verdsette effektene av innspart tid for andre prosesser på byggeplassen og verdien av at prosessen blir mer forutsigbar (reduert tidsusikkerhet).

Tradisjonell legging av armering dominerer fortsatt på norske byggeplasser, men BAMTEC rullearmring er et produkt som har klart å etablere seg godt i markedet. Det er mange grunner til det, men noen av de viktigste er økt produktivitet og kostnadsbesparelse. BAMTEC brukes stort sett på store overflater, der det er lite oppstikkende armering. Takket være sin form kan en BAMTEC rull rull ut av 2 eller 3 jernbindere, avhengig av bredden på rullen. Dette er et skreddersydd produkt, noe som også bidrar materialbesparelser. Tilsvarende jobb kan utføres tradisjonelt ved bruk av løpemeterarmring hvor man bruker f.eks. 12 meters lengder og tilpasser armering på plass. Dette resulterer i mer svinn og ekstra prosesser som må håndteres på byggeplass. Arbeidsmetoden er også mer fysisk krevende, se Figur 13.

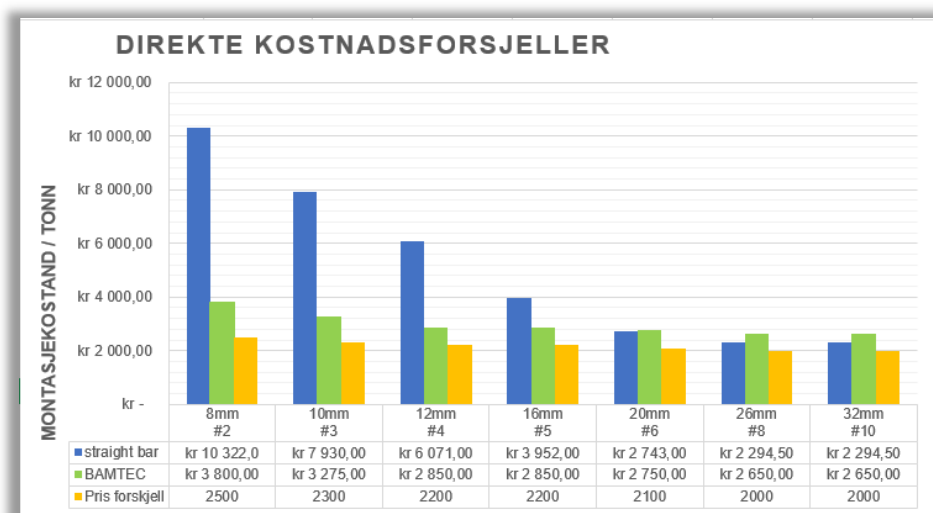


Figur 13: Legging av rullearmring vs tradisjonell løs armering. Foto: celsa-steelservice.se

En østerriksk studie viser at BAMTEC i noen tilfeller kan bidra til en tidsbesparelser på opptil 90 % for små dimensjoner (10-12 mm). 12 mm er en av de mest brukte dimensjonene på norske byggeprosjekter. Figur 14 viser gjennomsnittlig antall timer brukt pr tonn for montering av ulike armeringsprodukter. Det mest interessante er sammenligning mellom BAMTEC (grønn linje) og løpemeterarmring (blå linje). Det er verdt å merke seg at leggetiden på BAMTEC er ganske lik, selv om det er forskjellige stangdiametere. Grunnen til det er at BAMTEC prosjekteres slik at rullene veier ca. 1 tonn. Dette oppnås ved å lage lengre ruller som gjør det mulig å få flere stenger på en rull. Selve utrulling tar bare noen sekunder så en lengre rull påvirker ikke montasjetiden i større grad. Ved å sette en timepris er det mulig få oversikt over direkte kostnadsbesparelser. Figur 15 viser direkte kostnadsforskjeller for ulike armeringsprodukter med en timepris på 650 NOK. Analysen tar hensyn til prisdifferansen mellom produktene, men ikke til besparelse på indirekte kostnader, noe som varierer ut ifra prosjektstørrelse. Kortere monterings tid for armering kan bety kortere byggetid og besparelser på å leie av utstyr, kraner, brakkerigger osv.



Figur14: Timeforbruk pr tonn for montering av ulike armeringsprodukter



Figur 15: Direkte kostnadsforskjeller for ulike armeringsprodukter med en timepris på 650 NOK

SUKSESSKRITERIER FOR PREFABRIKERT ARMERING

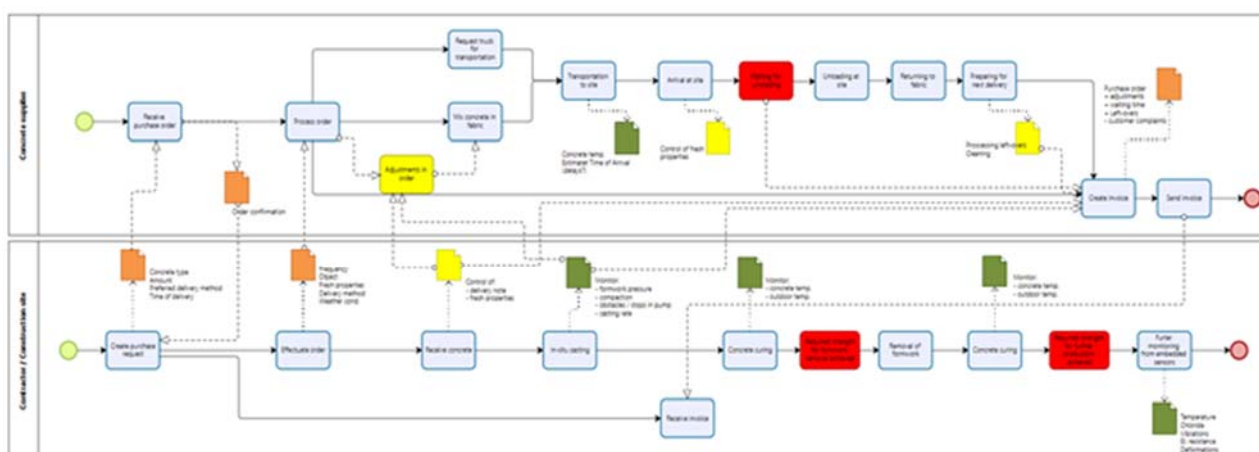
- ✓ Tidlig involvering i prosjektet
 - Valg av løsninger
 - Samarbeid mellom RIB og Celsa
- ✓ God planlegging
 - Bestille i god tid
 - Arbeidskraft tilpasset løsninger
- ✓ Standardisering
 - Unngå variasjon av produkter, f eks standardlengde 6 m på sveiste produkter



Merverdi ved digitalisering

I SiteCast har en del av forskningsaktiviteten vært knyttet til å undersøke i hvilken grad bruk av digital teknologi i forbindelse med plasstøping kan gi en merverdi for aktørene i byggeprosessen så vel som framtidige eiere og brukere av konstruksjonen. Økt digitalisering kan gi mer transparent og sporbar informasjon som er viktig i produksjonsfasen, drift- og vedlikeholdsfasen, samt dokumentasjon i en evt. slutfase hvor man ønsker å gjenbruke materialet i størst mulig grad.

Plasstøping av betong er en svært informasjonsintensiv byggemetode. Fra tidlig planleggingsfase, til detaljprosjektering, til produksjonsplanlegging, i selve utførelsen og herdefasen genereres det store mengder informasjon som i en eller annen form må behandles. Dette kan være informasjon om betongtyper, ferske og herdnede egenskaper, mengde, samt leveringsmetode. Videre er det strenge krav til dokumentasjon, der hvert eneste betonglass krever eksplisitt dokumentasjon. Ideelt sett bør mye av denne informasjonen være tilgjengelig i hele konstruksjonens levetid med tanke på vedlikehold i driftsfasen og gjenbruk eller gjenvinning etter endt levetid. Svært mye av den nødvendige informasjonsflyten knyttet til betongproduksjon i byggeprosjekter, innebærer manuelt arbeid, og det er ikke gode, helhetlige systemer i dag for å ivareta denne informasjonen. Figur 16 er hentet fra en av publikasjonene vi har utarbeidet gjennom SiteCast, og viser eksempel på et prosesskart for informasjonsutveksling mellom betongprodusent og byggeplass.



Blue: Information processing, Orange: Paper based documentation, Yellow: Manual procedures / communication, Green: Possible digital monitoring support, Red: Waiting time (non-productive). The text in the figure is not intended to be readable.

Figur 16: Eksempel prosesskart over informasjonsutvekslingen mellom betongprodusent og byggeplass (Kjellmark et. al, 2022)

I starten av prosjektet ble det gjort en kartlegging av hva slags digitale teknologier som er tilgjengelige og egnet for bruk i forbindelse med betongkonstruksjoner. Noen av disse brukes allerede aktivt i enkelte prosjekter, mens andre ikke er like modne. I SiteCast er det gjort et utvalg av noen teknologier vi ønsket å prøve ut i prosjektet. Støtte i digitale verktøy ved plasstøping av betong kan ha en positiv innvirkning på tidsbruk, kostnader, kvalitet og miljømål i prosjekter. Ved, for eksempel, å koble smarte enheter (sensorer) til eksisterende digitale verktøy, slik som bygningsinformasjonsmodeller, skytjenester eller stordata, kan man få bedre oversikt og sammenheng mellom produksjonsdata, planverktøy og dokumentasjonssystemer. Data fra sensorene kan gi informasjon til beslutningsstøtte for bedre og mer effektiv produksjon.



Bruk av sensorikk for å overvåke temperaturendringer under transport

I mange tilfeller er betongens temperatur ved levering på byggeplass en viktig parameter å ha kontroll på for å få riktig herdeutvikling for betongen. Betongens temperatur reguleres med temperaturen på blandevannet i fabrikken og ved forvarming av tilslag. På kalde dager (vinterstøping) brukes ekstra varmt vann for å hindre at temperaturfallet under transport blir så stort at betongens herdeforløp forsinkes. På varme sommerdager kan det være krevende å holde temperaturen lav nok for å unngå konsistenstap og begynnende herding under transport. Det er også mange faktorer som påvirker temperaturendringene under transport, slik som kjørelengde, vind, sol, utetemperatur og volum betong i trommelen. Dette kan medføre at det brukes unødvendig energi på oppvarming av vann, eller at betongen ikke har riktig temperatur ved levering og i verste fall blir sendt i retur.

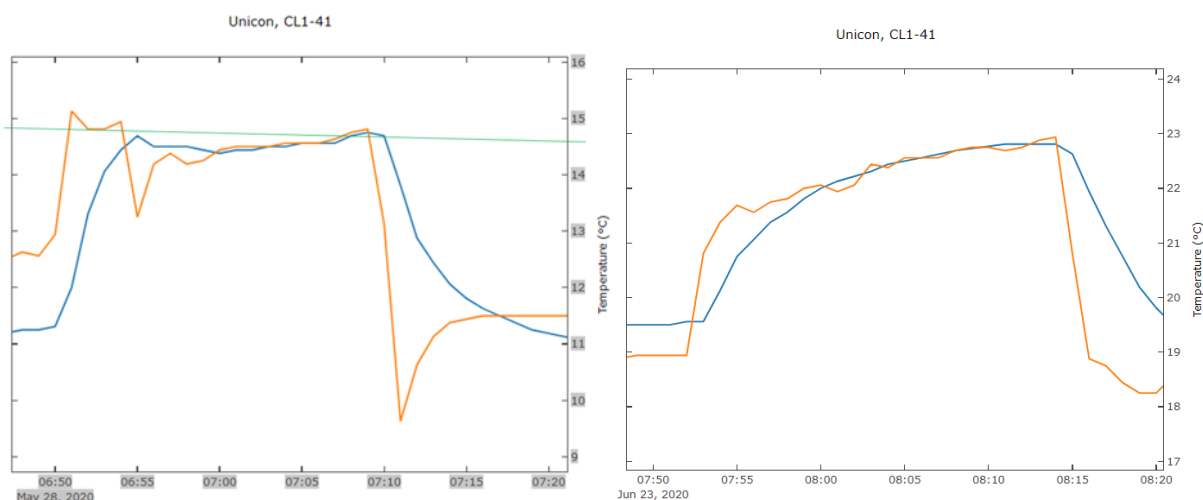
I SiteCast gjorde vi forsøk med sanntidslogging av temperatur under transport som et hjelpemiddel til å justere temperaturen på blandevannet i fabrikken. Oppsettet for logging av temperatur under betongtransport består av to loggere. En logger er montert utenpå bilen, og registrerer lufttemperatur med to sensorer, en sensor inne i boksen og en som stikker ut av boksen. I tillegg har denne boksen et GPS-system som logger bilens posisjon og hastighet. Den andre loggeren legges i trommelen når den fylles med betong. Denne har også to sensorer, en inne i boksen, og en som stikker ut. Alle data blir sendt til en web-portal (<https://ndat.no/bb/>) i sanntid. Loggerne og sensorsystemet er utviklet av SINTEF Narvik AS



Figur 17: Foto: <https://www.unicon.no/>



Fra de innledende forsøkene som ble utført i SiteCast, har vi fått økt innsikt i hvordan temperaturen i betongen oppfører seg under transport, samt kunnskap om hvordan slike data kan benyttes i arbeidet til betongblandere og kundesenteret. Figur X viser eksempler på temperaturkurver.



Figur 18 t.v.: viser stabil temperatur på en kort tur med lufttemperatur på 10 grader og overskyet. **T.h.:** viser temperaturstigning på ca. 1,5 grader under en kort tur med lufttemperatur på 20 grader og sol. (Oransje kurve: målt temperatur, blå kurve er temperatur inne i selve sensoren og kan sees bort fra)

For Unicon sitt vedkommende er kanskje den viktigste erfaringen at det faktisk er mulig å måle egenskaper i fersk betong i sanntid. Testene demonstrerte at loggerne faktisk tålte de tøffe omgivelsene inne i en betongtrommel og at data kan sendes tilbake til fabrikken. Dette kan anses som et skritt på veien til å kunne måle andre egenskaper på samme måte, og da kanskje spesielt med tanke på konsistens.

Les mer:

Testing av temperatursensorer i levering av betong hos Unicon i Fossegrenda. (Sporsem, T.T., 2020)

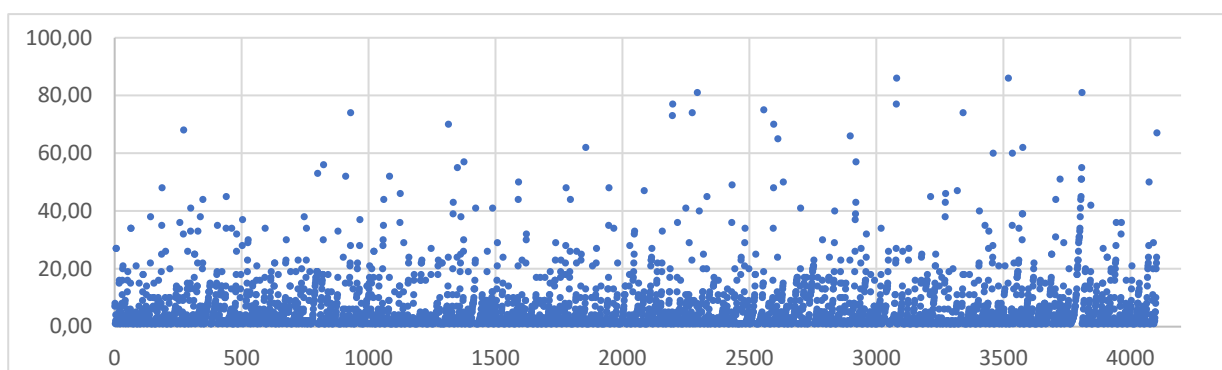


Bruk av data for effektivisering av betongleveranser

Å levere ferdigbetong på en tids- og kostnadseffektiv måte kan i mange tilfeller være utfordrende. Entreprenører er avhengig av pålitelig leveranse fra betongleverandøren, og samspillet mellom disse kan til tider være krevende. Entreprenører ønsker å kunne legge inn sine bestillinger så nær leveringstiden som mulig, ettersom det er vanskelig å forutsi lang tid i forveien når alt foregående arbeid, som forskaling og armering, er ferdig. Videre er dagsaktuelle forhold, slik som vær, avgjørende for framdriften på byggeplassen. Det er også vanskelig å anslå nøyaktig mål for betongvolum på forhånd.

Unicon på sin side, ønsker å være på tilbudssiden og levere det kunden etterspør. Typisk bestiller entreprenøren en høy leveransefrekvens fra starten av større støpearbeid, uten å hensynta at støpearbeidene ofte går litt tråere i starten. Entreprenøren vil også gjerne sikre seg for å unngå stillstand og uheldige støpestopper når produksjonen er i gang. Dette medfører i mange tilfeller at det blir kø for å levere betongen, med lang ventetid for bilene, som igjen medfører forsinkelser for de øvrige leveransene til betongfabrikken.

Unicon har i flere år samlet data fra alle sine betongleveranser. Dataene inneholder opplysninger om byggeplass, dato, ordrenummer, kunde, leveranse sted, bil ID, betongmengde og -kvalitet, tiden for når ordren sendes til produksjon, produksjonsstart og slutt, avreise fra betongfabrikken, ankomst på byggeplass, tidspunkt for avlastning, tømmetid, avreise fra byggeplass og hjemkomst til fabrikken. Data samles ved hjelp av GPS, nettbrett, sensorer og transportstyringsystemet de bruker. I SiteCast har vi analysert noen av disse dataene, for å identifisere forbedringsområder ved planlegging av betongleveransene. Dette er også noe som vil gagne entreprenørene, da de får færre kostnader knyttet til ekstra ventetid, samt at logistikk med biler inn og ut av anleggsområdet blir smidigere. I SiteCast gjorde vi en gjennomgang av leveransedata fra betongfabrikken i Fossegrenda i Trondheim, samt fra demonstrasjonsprosjektet *Ulven B2*. Figur 19 viser ventetidsdata fra de over 4000 betongleveransene fra Unicon sin fabrikk i Fossegrenda i 2020. Disse dataene ble bruk til videre analyser. Hovedfunnene er oppsummert på neste side.



Figur 19: Ventetid (min) på byggeplass for mer enn 4000 leveranser fra Unicon sin fabrikk i Fossegrenda i 2020

Les mer:

Analysis of concrete deliveries in Unicon (Iakymenko, N., 2022)

Measuring Impacts of Information Sharing on Perishable Product Supply Chain Performance. In Advances in Production Management Systems. (Iakymenko et. al, 2022)



FUNN VED ANALYSE AV LEVERANSEDATA

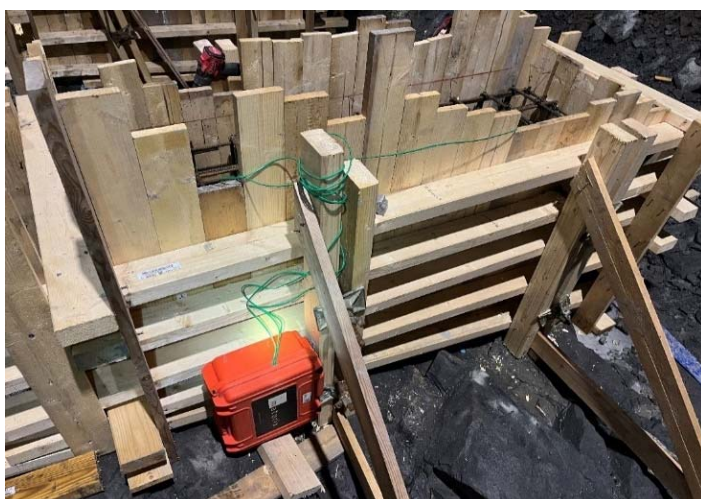
- ✓ **Gjennomsnittlig ventetid ved byggeplassen varierer fra prosjekt til prosjekt.**
Ytterligere undersøkelser bør gjøres for å sammenligne ventetid på de ulike byggeprosjektene, slik at man kan finne ut hva som påvirker denne ventetiden, slik som informasjonsdeling, erfaring i prosjektteamet, type byggeprosjekt, ledelse, organisering, osv.
- ✓ **Gjennomsnittlig ventetid ved byggeplassen avhenger av årstid og værforhold, for eksempel at det ofte er forsinkelser knyttet til kraftig nedbør.**
Ytterligere analyser, med værdata for flere år, bør gjøres for å se om slike data kan brukes til å forutse ventetid i større grad. På varme sommerdager er ventetiden kortere, noe som kan skyldes at det legges inn ekstra innsats for å unngå ventetid på slike dager, da det kan medføre for rask herdeutvikling
- ✓ **Det er en svak, lineær avhengighet mellom antall turer en bil kjører til byggeplass og ventetid på den aktuelle byggeplassen (Ulven B2): Jo flere turer, desto lengre ventetid.**
Denne konklusjonen bestrider antagelsen vår om at flere turer til samme byggeplass gir kortere ventetid. Videre undersøkelser vedrørende dette er nødvendig, men en forklaring kan være at det er mer tidkrevende å tømme biler når man kommer høyere opp i bygget, for eksempel at det er behov for å bruke kran. En annen forklaring kan være overfylte byggeplasser som vanskeliggjør logistikken for alle bilene.
- ✓ **I 69 % av ordrene, er det lengste intervallet mellom siste leveranse og nest siste leveranse.**
Denne ventetiden utgjorde til sammen rundt 170 timer ekstra ventetid for leveransene fra fabrikkens i Fossegrenda i 2020. Årsaker til dette må undersøkes nærmere, men en forklaring kan være at det er vanskelig å anslå det nøyaktige volumet for det siste lasset, og at man da venter med bestilling/levering til man har beregnet et nøyaktigere tall.
- ✓ **Gjennomsnittlig lossetid er høyest for "Pumi"-bilene.**
Dette er ikke overraskende for Unicon, da disse bilene har lengre lossetid, samt at de gjerne brukes på mindre privatjobber eller små lass hos mindre entreprenører.
- ✓ **Selvkomprimerende betong (SKB) losses i gjennomsnitt 3 m³/t raskere, sammenlignet med alle andre betongkvaliteter.**
Her forventet Unicon en enda høyere losserate, så her er det aktuelt å se på data fra flere år for en mer pålitelig gjennomsnittlig lossetid for SKB, betong.



Sanntidsovervåking av herdeprosessen ved bruk av sensorer og integrasjon med andre digitale verktøy

I SiteCast har vi sett nærmere på hvordan man kan bruke sensorikk og digitale hjelpemidler som støtte under herdefasen til betongkonstruksjoner. Beste praksis for bruk av sanntids modenhetsdata for overvåking av fasthetsutviklingen og potensialet for tids- og kostnadsfordeler ble utforsket. Sanntidsovervåking av betongens modenhet er en pålitelig indikator på *in-situ* fasthetsutvikling, og brukes for å kvalitetssikre konstruksjonens bæreevne. Bruken av modenhetssensorer forenkler og automatiserer overvåkingen av fasthetsutviklingen, se Figur 20. Samtidig tilrettelegger det for digital dokumentasjon av kritisk informasjon i produksjonsfasen. Informasjonen kan også være relevant i konstruksjonens drifts- eller avviklingsfase.

Underveis i prosjektet ble brukerforventninger og forbedringsforslag adressert til systemutvikler, Maturix. Dette var for eksempel tilpasning til lavkarbonbetong, samt bedre integrasjon og kommunikasjon av modenhetsdata med andre digitale systemer. Erfaringene viser imidlertid at sensorteknologiens bidrag ikke vil kunne utnyttes fullt ut, uten proaktiv kommunikasjon og samarbeid mellom involverte parter under planlegging og utførelse av betongarbeider. Bruk av sanntidsdata krever at de riktige beslutningene tas til rett tid og at det gis systematisk tilbakemelding, slik at parallelle eller påfølgende aktiviteter har positiv innvirkning på fremdriften.



Støtte i sanntidsmodenhetsdata tilførte verdi til byggeprosessen gjennom optimalisering av støpeprosessene, integrering av bærekraft i praksis, utvikling av proaktivt samarbeid og kommunikasjon, samt bedre dokumentasjon for kvalitetssikring og bruk i fremtidige applikasjoner.

Figur 20 Sensorer i betongen med sanntids oppfølging via skytjenester gjør det mulig å sikre effektiv fremdrift, samtid som kvaliteten øker og det kan produseres tryggere.

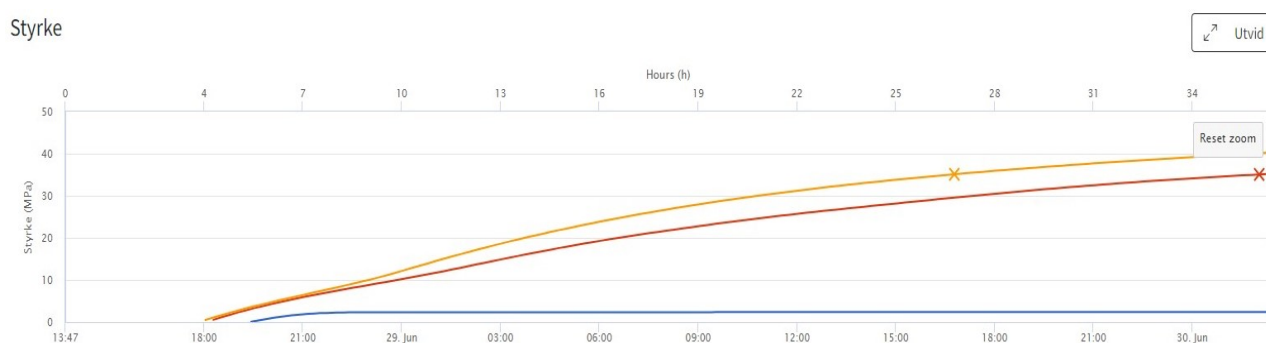
Redusert ventetid for ønsket tidligfasthet under "gunstige" værforhold

Ved aktivt å utnytte sanntids modenhetsovervåking, kunne vi dokumentere at den planlagte ventetiden fram til ønsket tidligfasthet i noen tilfeller kunne reduseres med 60 %. Dette kunne tilsvare en tidsbesparelse på 2 ½ dag per konstruksjonsdel. Det vil si at forskalingen kunne rives og konstruksjonen belastet tidligere enn planlagt. I dette tilfellet spilte "gunstige" værforhold en nøkkelrolle for å oppnå tidlig fasthet. I Norge er herdebetingelsene for betong normalt gunstigere i sommermånedene juni, juli og august. I løpet av disse månedene er værforholdene mer stabile, og generelt er temperatur- og fuktighetsnivået mildere, og nedbøren lavere. Variasjoner i herdeomgivelsene blir ivaretatt ved bruk av sensorikk for modenhetsutvikling.

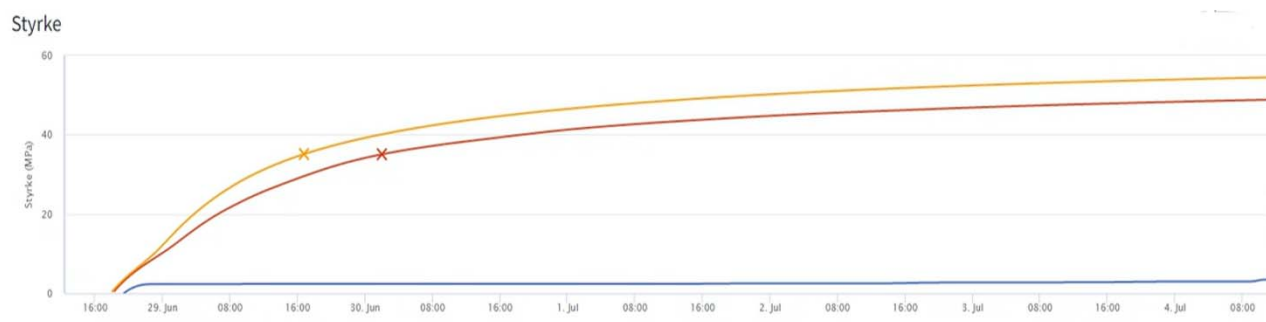


For utførelse av kulverter og overbygg i et av demonstrasjonsprosjektene var betongblandingen som ble brukt B45MF45 lavkarbonklasse B. Det gir en reduksjon på 26 % av klimagassutslippene (310 Kg CO₂-ekv. pr. m³ betong) i forhold til B45MF45 industrireferanse (standardbetong) (420 Kg CO₂-ekv. per m³ betong) (NS-EN 206). Ved bruk av lavkarbonbetong forventes en langsommere fasthetsutvikling sammenlignet med standardbetong. Ifølge prosjektspesifikasjonene, kunne ikke forskalingen fjernes før betongen hadde oppnådd en fasthet på 35 MPa. Totalt 4 dager var beregnet for å oppnå denne fastheten.

Ved sanntidsovervåking av fasthetsutviklingen, så vi at denne fastheten ble nådd allerede etter 1 ½ dag. Figur 21 og Figur 22 viser fasthetsutviklingskurvene til henholdsvis en kulvert med rund profil og en overbygning. For hele kulvertprosjektet, som bestod av 30 kulverter med rund profil og 18 med kvadratisk profil, ble det spart totalt 90 dager (3 måneder) ved effektiv bruk av sanntids modenhetsdata. Tidsbesparelsene hadde en positiv innvirkning på den totale prosjektvarigheten, samt at påliteligheten i tidsestimater øker, noe som er avgjørende for både entreprenør og byggherre.



Figur 21: Fasthetsutvikling for en kulvert med rund profil. Gult: termoelement plassert i midten av strukturen. Oransje: termoelement plassert på toppen/overflaten. (Kilde: Veidekke)



Figur 22: Fasthetsutvikling for en overbygning. Gul: i midten. Oransje: topp/overflate. (Kilde: Veidekke)

Redusert ventetid for ønsket tidligfasthet under "ugunstige" værforhold

Det ble også gjort forsøk med sanntids modenhetsovervåking ved mer "ugunstige" værforhold, dvs. forhold der temperaturene holder seg under null (vintersesongen) eller forhold der temperaturene svinger dramatisk i løpet av kort tid, med høye fuktighetsnivåer under herdeprosessen (høstsesongen). Vanligvis krever disse forholdene spesielle tiltak som varmeisolasjon eller beskyttelsesmatter.

En kjellervegg ble støpt i februar med B45MF45 lavkarbonklasse A. Denne blandingen gir en reduksjon på 43 % av klimagassutslippene (240 Kg CO₂-ekv. per m³ betong) sammenlignet med B45MF45 industrireferanse (420 Kg CO₂-ekv. per m³ betong). Det forventes langsommere fasthetsutvikling sammenlignet med



standardbetong og lavkarbonklasse B. Gjennomsnittlig omgivelsestemperatur under herdingen av kjellerveggen varierte mellom $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deler av vegg, hvor det var et spesifikt mål på 15 MPa på midten og 9 MPa på toppen ble isolert med Etafoam-matter (10 mm tykkelse). Veggseksjonene som ikke var underlagt det spesifikke målet, ble ikke tildekket.

Figur 23 viser fasthetsutviklingskurvene til veggseksjonen med isolasjonen (1: blå, 2: oransje og 3: gul) og uten isolasjon (4: grønn og 5: lilla). Hensikten var å vite nøyaktig når det spesifikke målet ble nådd, da det var avgjørende for fremdriften av andre aktiviteter. Sanntids modenhetsovervåking viste at ønsket fasthet ble oppnådd etter 6 dager, og man kunne fjerne forskalingen. For seksjonen uten isolasjon ble den oppnådd på rundt 10 dager. Planlagt ventetid fram til ønsket fasthet ble redusert med 12 % i dette tilfellet, noe som tilsvarer en tidsbesparelse på $\frac{1}{2}$ dag per konstruksjonsdel.



Figur 23 Fasthetsutvikling av kjellervegg med og uten isolasjon. (Kilde: Veidekke)

Les mer:

Digital support for monitoring cast in-situ concrete.
(Kjellmark et. al, 2022)



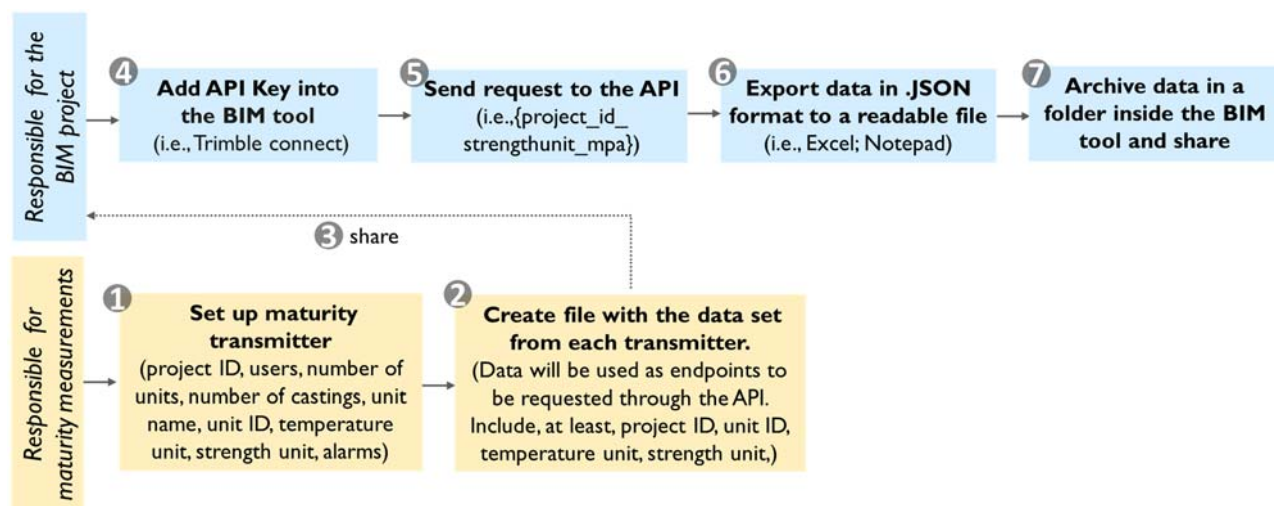
Integrasjon og kommunikasjon av modenhetsdata med andre digitale verktøy

Maturix-systemet gir et *Application Programming Interface* (API) som gjør det mulig for programvaren å kommunisere med andre programvarer ved hjelp av et sett med definisjoner og protokoller. API-en tilbyr en måte å trekke ut og dele konkrete modenhetsdataene med andre digitale verktøy, på tvers av prosjektdeltakere.

Mulighetene ved bruk av API-applikasjonen ble diskutert med Veidekke. Hovedinteressen til Veidekkes deltakere var å sentralisere modenhetsdataene til en felles prosjektdatabase (skybasert samarbeidsplattform). Ifølge dem kan dagens og nye krav håndteres bedre ved å konsolidere og sikre tilgang til relevant dokumentasjon (dvs. for sertifisering og miljøtillatelser, for påfølgende bruk i løpet av prosjektets livssyklus eller for Big Data-analyse). Dette vil først få betydning for offentlige infrastrukturprosjekter når offentlige myndigheter kreve obligatorisk bruk av sensorer for overvåking av herdetemperaturen til betong, eller når det vedtas spesielle herdetiltak som for eksempel supplerende varmeisolasjon (Statens Vegvesen, 2018).

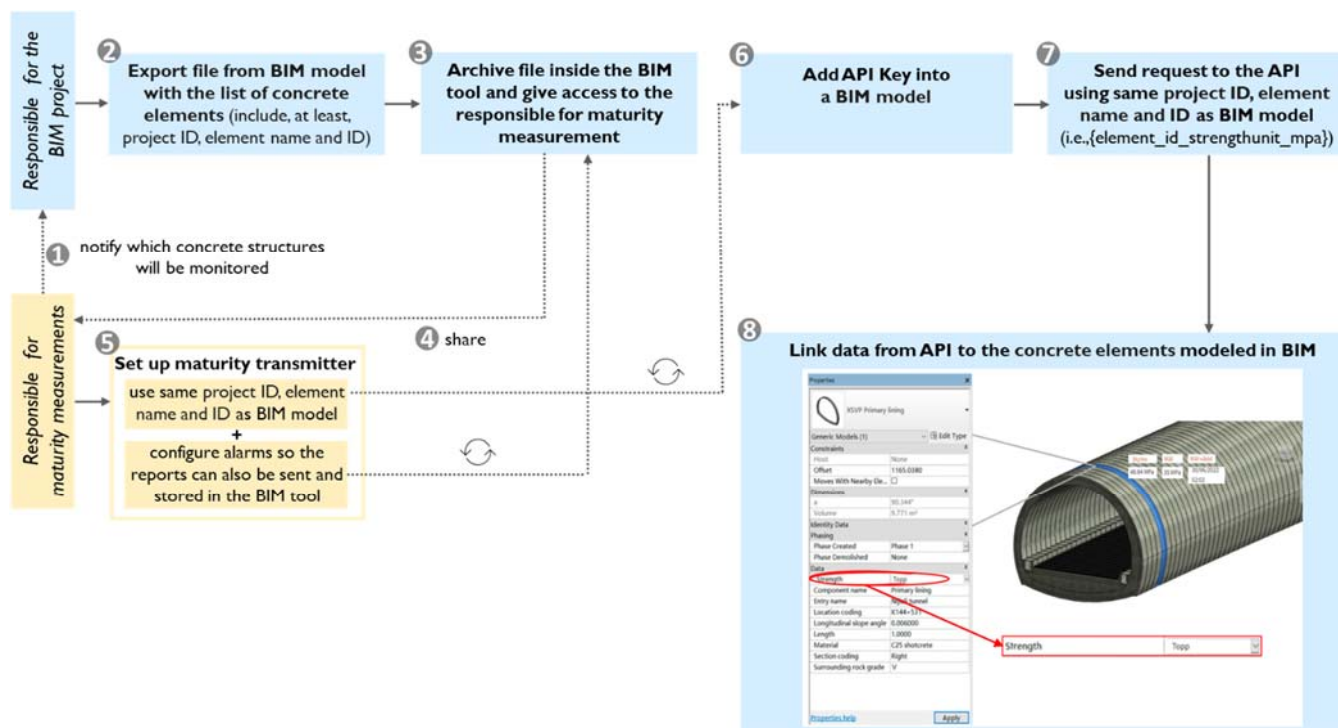
Spørsmål om API-interoperabiliteten dreide seg blant annet om i hvilken grad dataene er compatible med andre digitale verktøy, hvordan data skal struktureres og visualiseres, hvordan man navigerer mellom verktøy, hvilke data som er mest relevante å utveksle osv. Neste trinn var å utforske muligheter for dataintegrering basert på hva som kan gjøres i dag og hva som kan gjøres i fremtiden.

Det ble arrangert en workshop sammen med Veidekkes deltakere, der representanter for Maturix og en leverandør av digitale løsninger, Trimble, ble invitert til å delta. Den første diskusjonen handlet om å integrere modenhetsdataene i BIM-verktøyet (dvs. Trimble connect). Dette verktøyet er en samarbeidsplattform der alle prosjektdeltakere er koblet sammen i et skybasert felles datamiljø. Figur 24 viser hvordan dataflyten kan se ut med gjeldende verktøy og praksis.



Figur 24: Dataflytprosess (hvordan det kan gjøres i dag)

Trinn 2 og 3 er nye oppgaver som ansvarlig for modenhetsmålinger skal inkludere systematisk etter oppsett av sensorene. Likevel vil den ansvarlige for BIM-prosjektet bli pålagt å utføre fire ekstra trinn (fra 4 til 7) for å legge modenhetsdataene i en felles prosjektdatabase. Selv om API-en muliggjør den automatiske koblingen mellom overvåkingssystemet og BIM-verktøyet, må mange av de relaterte oppgavene fortsatt gjøres manuelt. Deretter ble en annen, fremtidig løsning diskutert, se Figur 25.



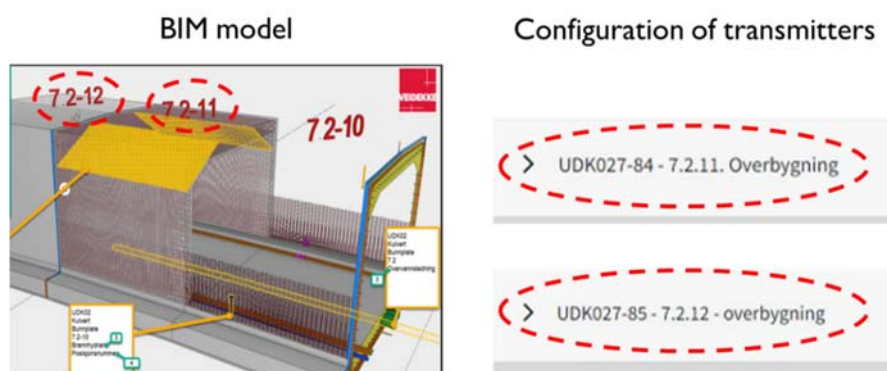
Figur 25: Dataflytprosess (fremtidig)

I tillegg til det som kan gjøres i dag, foreslår denne prosessen å koble modenhetsdataene til hver overvåket konstruksjonsdel ved hjelp av en parametrisk modell. Modenhetsdata kan, spores nøyaktig, visualiseres og kontrolleres bedre gjennom en digital tvilling av betongkonstruksjoner.

Dataflyten starter med å varsle ansvarlig for BIM-prosjektet om betongkonstruksjonene som skal overvåkes innenfor et prosjekt. Fra BIM-modellen eksporteres en fil som består av en liste over elementnavn og IDer for hver konstruksjonsdel. Filen lagres deretter i BIM-verktøyet og deles med ansvarlig for modenhetsmålinger for felles tilgang. Trinn 5 vil ideelt sett bestå av to oppgaver.

- 1) SENDERNE TIL SENSORENE MÅ KONFIGURERES VED Å FØLGE SAMME PROSJEKT-ID, ELEMENTNAVN OG ID-ER SOM ER ETABLERT I BIM-MODELLEN.
- 2) KONFIGURERE ALARMER SOM SENDER RAPPORTER TIL ET BIM-VERKTØY (DVS. TRIMBLE CONNECT) SLIK AT DATAENE AUTOMATISK LAGRES I EN FELLES PROSJEKTDATABASE.

Når API-en er aktivert i BIM-modellen, kan modenhetsdataene til den overvåkede konstruksjonsdelen etterspørres ved å bruke elementnavnet og ID-en. Deretter kan element-ID-en brukes til å koble dataene til de respektive betongelementene i modellen. Trinn 8 i Figur 25 illustrerer en måte å visualisere dataene på. Det vil ikke bare lette automatisering, styring og visualisering av modenhetsdata, men også fungere som et prosjektlager ved å dokumentere viktig informasjon for videre vurderinger, enten for gjenbruk av konstruksjonen eller for resirkulering av betong og tilslag.



Figur 26: Eksempel på dagens praksis: betongelementer modellert i BIM og modenhetssendere etter samme arbeidsnedbrytningsstruktur.

Fra Veidekkes side er det viktig at den generelle ideen om å samle modenhetsdata i en felles database ikke legger mer kompleksitet til arbeidshverdagen. Redesign av den nåværende prosessen for modenhetsovervåking kan medføre ekstra oppgaver, samt en krysskontroll av de delte dataene.

Fra leverandørens perspektiv bør målene og forventningene til fremtidige løsninger adresseres i detalj av flere brukere på tvers av organisasjonen, for å sikre et best mulig brukergrensesnitt og utnyttelse av potensialet. Pilottester ble foreslått for å evaluere brukervennligheten av nye løsninger. Videre arbeid vil innebære at

- (i) Veidekke utforsker kommunikasjon mellom API og eksisterende styringsverktøy videre og vil identifisere muligheter og utfordringer for en mer effektiv bruk av modenhetsovervåkingsdata. Leverandøren av de digitale verktøy konsulteres om systemprogrammering og andre tekniske problemer under denne prosessen.
- (ii) Leverandøren av modenhetssystem vil arbeide med utviklingen av et veikart for å fremme programvarens evne til å muliggjøre ny dataregistrering (dvs. element-ID) samt å avgrense strukturen og formateringen av data for en mer nøyaktig kommunikasjon mellom ulike verktøy.

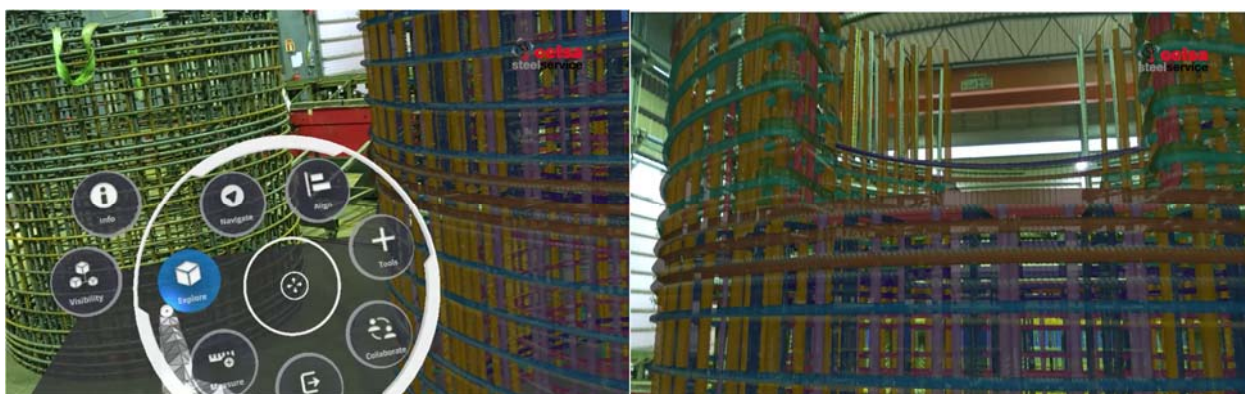
Denne studien hadde til hensikt å oppmuntre til sikker og effektiv bruk av et avansert verktøy, med sikte på bedre beslutningsstøtte under herding av betongkonstruksjoner, samt bedre datatransparens og sporbarhet. Studien har demonstrert at teknologien kan være nyttig støtte i produksjonen, og gi betydelige tids- og kostnadsbesparelser.



Bruk av Augmented Reality (AR) i armeringsproduksjon

I forbindelse med SiteCast har Celsa prøvd ut Augmented Reality (AR) ved bruk av Hololens 2 XR10 modell. En BIM modell kan inneholde mye informasjon om armering. Den viktigste informasjonen for Celsa er parametere som kan brukes til å produsere armering, det vil si post nr., formkoder, mål og så videre. Når de sammenligner en armeringstegning med armeringsmodellen kan de oppleve at det kreves flere steg i modellen for å få ut nødvendig informasjon, for eksempel at senteravstand mellom bøyler må sjekkes.

Målet med å ta i bruk AR var å se om det lot seg gjøre å bruke 3D (visuell) informasjon til å produsere og kvalitetssikre prefabrikkerte armeringskurver. I Figur 27 vises utklipp fra en film som ble tatt opp i forbindelse med en kvalitetskontrolltest i Celsa sin produksjonshall på Storo. Figur 28 er klipt fra en demonstrasjonsvideo som viser hvordan AR kan brukes til å plassere armering i riktig posisjon. Førsteintrykket etter utprøvingen var at dette var *kult*, men etter litt prøving ble det tydelig at det er mange ting som må forbedres for å kunne utnytte teknologien i praksis.



Figur 27: Kvalitetskontrolltest ved bruk av AR i Celsa sin produksjonshall på Storo



Figur 28: Demonstrasjon av hvordan AR kan brukes til å plassere armering i riktig posisjon

Wow, dette var kult!



ERFARINGER VED BRUK AV AUGMENTED REALITY (AR)

- ✓ Positivt
 - Du kan dra full nytte av 3D
 - Kan være nyttig ved utførelse av kvalitetskontroll
 - Trenger ikke bruke mye tid på å tolke armeringstegninger
- ✓ Negativt
 - Vanskelig å jobbe i
 - Krever gode IT-kunnskaper
 - Går fort tom for strøm
 - Krever mye forberedelser – modeller må være smalere; ØR koder må festes både i modell og fysisk i produksjonen



Samarbeid med studenter

SiteCast-prosjektet har samarbeidet med NTNU-studenter fra institutt for elektroniske systemer i forbindelse med smarte sensorer til bruk i fersk og herdnet betong.

Nicolas Skram – Sensorsystemer for betong

I prosjektets innledende fase, gjennomførte masterstudent Nicholas Skram en prosjektoppgave i faget TELE5001 Sensor systems, hvor han kartla tilgjengelige teknologier knyttet til logistikk ved plaststøping, betongens herdefase og tilstandsovervåking. Det ble også gjennomført en workshop hvor utprøving av potensielle teknologier ble diskutert. Maturix sitt system for sanntids modenhetsovervåking var et av systemene vi har tatt med videre i SiteCast. Arbeidet til Skram er oppsummert i en egen artikkel, *Sensor Systems for In-Sity Construction Processes* (Skram et.al., 2019).

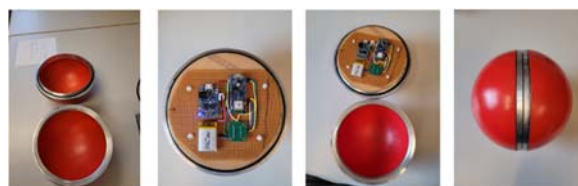


Tobias Thorvaldsen – Sensor for konsistens

Betongens konsistens, eller synkmål, er en av mange betongparametere som skal være i henhold til det kunden bestiller til byggeplass. For å kontrollere konsistensen på betongen, bør det foretas en slumpetest av betongen ved ankomst på byggeplassen. Dersom betongen ikke tilfredsstillere kravene, justeres konsistensen på byggeplass eller i verste fall sendes betongen i retur til blandeverket. Unicon har mange reklamasjoner knyttet til synkmål i løpet av et år, og det er ofte kilde til diskusjon mellom kunde og leverandør. Unicon opplever i mange av tilfellene at det ikke benyttes standardiserte målemetoder

for å bedømme betongens konsistens, men at kunden i mange tilfeller gjør en visuell bedømming av om betongen skal sendes tilbake eller ikke. Selv om den standardiserte slumpetesten er enkel å utføre, er den ikke enkel nok til at mottakskontrollen av betongen gjøres fullstendig. Unicon ønsker seg derfor en enklere metode for å måle betongens konsistens, slik at denne typen reklamasjonssaker ikke blir så omfattende.

I samarbeid med SiteCast har Tobias Thorvaldsen forsøkt å utvikle en ny målemetode for måling av synk i betong på byggeplass. Det ble utviklet et målekonsept som bruker et akselerometer til å måle støtet som oppstår når et objekt faller ned i fersk betong, og en prototype ble bygd.



Prototypen bestod av et akselerometer, med en utdatahastighet på 1600 Hz og et måleområde på ± 200 g, og en Arduino Nano 33 BLE. Et script skrevet i Python kontrollerer sensorsystemet og lagrer data fra målingene slik at de kan analyseres i etterkant. Innledende tester ga god innsikt i hvordan fremtidig utprøving burde gjøres, men det var ikke tid for utstrakt utprøving og vi fikk ingen definitiv konklusjon på om målekonseptet vil fungere til å måle konsistensen av fersk betong. Konseptet er imidlertid interessant nok til at det kan være aktuelt å ta videre i et nytt utviklingsprosjekt.





Veileder for effektiv plasstøping

For å sikre effektive betongarbeider, er det viktig å tenke gjennom listen under. Graden av viktighet for de ulike punktene under varierer fra prosjekt til prosjekt, type betong og støpeprosesser.

Dialog tidlig fase: fokus på effektive/økonomiske løsninger før oppstart:

- Byggherre, RIB og entreprenør må tidlig avklare og bli omforente om hva som er forventet sluttresultat, og om det er alternative løsninger som kan være mer effektive eller rimeligere.
- Entreprenør må involvere betongprodusent, armerings- og forskalingsleverandør for å avklare forventninger og tiltenkt fremdrift, slik at leveransene blir lettere å planlegge.

Kompetanse

- Kompetansekrav er pålagt noen nøkkelroller hos betongprodusent og entreprenør/UE. Kravene til kompetanse for utførelse av betongkonstruksjoner kan variere, men må være på plass før betongarbeidene påbegynnes/planlegges.

Planlegging

- Planlegging av betongarbeider og kontroll av tegningsunderlag er en god investering for å unngå kostnadskrevende feil/mangler. Leveranser/produksjon av betong, forskaling og armering krever en viss forutsigbarhet på kort og lang sikt, så innkjøp og produksjon av materialene kan planlegges.
- Tidlig kollisjonskontroll for innstøpningsgods/rør/armering i BIM bør gjøres av entreprenør i samarbeid med RIB, så endringer ikke skaper utfordringer med produksjon/materialer/leveranser.
- Entreprenør må planlegge støpearbeidene god tid i forkant av betongarbeider og ha tilstrekkelig mottakskontroll og personell for utførelse av arbeidene. Prosedyrer og støpeplaner må i god tid før støp tilpasses prosjektet og gjøres kjent for alle relevante personer. Spesielt viktig er å identifisere støpe-utfordringer tidlig i planlegging og innarbeide disse i prosjektets arbeidsprosedyrer og støpeplaner. Slik prosjektilpasning av prosedyrer og støpeplaner vil sikre at alle involverte kan bidra med innspill til den beste løsningen.
- Egenskapene til betongen/konstruksjonen må være kjent, og arbeidene må planlegges deretter, viktige punkter er:
 - o Betongkvalitet
 - o Overdekning
 - o Overflatekvalitet
 - o Herdeutvikling og tiltak ved ulike værforhold
 - o Fasthetsutvikling og tiltak/fremdrift ved ulike værforhold (eks med beregningsprogram som HETT 22, TempSim, CrackTestCoin, og sanntids oppfølging av temperatur- og fasthetsutvikling med f.eks Celsicom eller Maturix)

Oppfølging, samarbeid og erfaringsoverføring

- Oppfølging og vurdering av betongarbeidene underveis bør gjøres for å oppdage prosesser eller løsninger som kan optimaliseres, helst i dialog mellom betongprodusent, armerings- og forskalingsleverandør.
- God og fortløpende dialog mellom partene er viktig, så samarbeidet ikke stopper/bremses av konflikter mellom personer fra de ulike partene. Jevne møter mellom partene for å dele utfordringer og positive erfaringer bidrar som oftest til et godt samarbeid, der partene sammen prøver å finne løsninger på utfordringer
- Alle parter samarbeider slik at deres bidrag blir mest mulig effektivt, samt kvalitets- og kostnadsøkonomisk. Det er viktig å være realistisk, spesielt i grensesnittet mellom partene.
- Erfaringsoverføring fra andre prosjekter kan bidra til en tryggere og mer effektive prosesser eller løsninger.
- Etter at betongarbeidene på et prosjekt er ferdig, bør erfaringene samles og deles mellom betongprodusent, armerings- og forskalingsleverandøren og entreprenøren, for å ta med seg gode løsninger og prosesser og læring fra utfordringer som kan ha oppstått underveis.



Referanser

Anton, Y. & Aarstad, K. (2022) *SiteCast: Effekt av herdeakselerator*. SINTEF Rapport 2022:00105

Iakymenko, N. (2022) *Analysis of concrete deliveries in Unicon*. SINTEF Rapport 2022:007

Iakymenko, N., Kjellmark, G., Powell, D., & Reke, E. (2022). *Measuring Impacts of Information Sharing on Perishable Product Supply Chain Performance*. In *Advances in Production Management Systems. APMS 2022, Gyeongju, South Korea, September 25-29, 2022, Proceedings, Part I* (pp. 526-533). Cham: Springer Nature Switzerland.

Kalsaas, B. T. (2010). *Work-time waste in construction*. Haifa, Israel: Proceedings of the 18th Annual Conference of the IGLC, Technion.

Kjellmark, G. & Anton, Y. (2020). *State-of-the-art: Effektivisering av plasstøping – Dagens løsninger for betong, armering og forskaling*. SINTEF Rapport 2020:0049

Kjellmark, G., Peñaloza, G., Hjelseth, E. (2022) *Digital support for monitoring cast in-situ concrete*. In *ECPPM 2022 - eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022*

Lodgaard, E., Mogos, M. F. and Iakymenko, N., 2021. *Lessons learned from Toyota Kata Implementation in the Norwegian Construction Industry*. In *ELEC 2021, Trondheim, Norway, Proceedings 7* (pp. 365-372). Springer International Publishing.

Lodgaard, E., Mogos, M. F. and Iakymenko, N., 2023. *Toyota Kata for continuous improvement: an action research project in the Construction Industry*. Submitted to the journal of Lean Six Sigma.

Skram, N., Mogos, M.F., Osinski, D., 2019. *Sensor Systems for In-Situ Construction Processes*. Prosjektoppgave i TELE 5001 Sensor Systems, NTNU, Department of Electronic Systems, Norway.

Sporsem, T.T. (2020) *Testing av temperatursensorer i levering av betong hos Unicon i Fossegrenda*. SINTEF Notat 2020-08-27

Sporsem, T.T., Hatling, M. (2021). *Erfaringsbasert taus kunnskap – Læring og deling av kunnskap på byggeplass, utfordringer og muligheter*. SINTEF Rapport 2021:00120

Thune-Holm, E., & Johansen, K. (2006). *Produktivitetsmålinger i Skanska*. Oslo: Skanska internal report. Veileder for faserormen "Neste Steg" - et felles rammeverk for norske byggeprosesser. (2015, 11). Bygg 21, Oslo.

Totland, H., Lodgaard, E., Iakymenko, N. (2021). *Verdistrømsanalyse for prosesser tilknyttet betongarbeid*. SINTEF Rapport 2021:00768

Urnes, Y. (2020) *Rapport støpetrykk Ekstrem lavkarbonbetong, Veidekke Oksenøya 22.09.2020*. Rapport, PERI Norge AS

Økland, A., Ekambaram, S., Aslesen, S. (2020) *Dagens status og forslag til fokusområder for forbedring av plasstøpeprosessen*. SINTEF Rapport 2020:00528