

Lavkarbon ekstrembetong m/resirkulert tilslag

OPPDRAGSNAVN: Prosjekt Nedre Sem Låve

Oppdragsgiver: Asker kommune, Alf Kaare Stokker

Utarbeidet av:

Daniel Banka, Håvard Kirkebøen, Tor Flesseberg & Alf Egil Mathisen, Veidekke Entreprenør AS

Dato: 31.10.2023



Illustrasjon av Nedre Sem Låve - Ola Roald Arkitektur

Innhold

Lavkarbon ekstrembetong m/resirkulert tilslag	1
1. Bakgrunn	3
2. Introduksjon	3
2.1 Sirkulær Betong.....	4
2.2 Veidekke Sirkulær	5
3.0 Prøvestøp Veidekkes hovedkontor på Ulven	6
4.0 Resirkulert tilslag og NS-EN 206/NS- EN 12620	8
5.0 Klimagassreduksjon.....	12
6.0 Nedre Sem Låve	15
6.1 Oppstartstidspunkt	15
6.2 Differensiering av betongkvaliteter	15
6.3 Fremdrift	15
6.4 Leveransetidspunkter	17
6.5 Sanntidsovervåkning av fasthetsutvikling.....	18
6.6 Temperaturkontroll.....	19

1. Bakgrunn

Veidekke er ett av de første selskapene på Oslo Børs som har forpliktet seg til å drive virksomheten i samsvar med Parisavtalen. Denne forpliktelsen ga en klar retning i miljøarbeidet, og det ble satt fokus på å kutte utslipp i hele verdikjeden.

Veidekkes overordnet miljømål er en klimagassreduksjon på minimum 50 prosent innen 2030 og klimanøytralitet innen 2045. Selskapets jobb er å både redusere egne utslipp, men også å bruke egen kompetanse og ekspertise til å redusere kundens og leverandørens klimaavtrykk.

Som et ledd i dette arbeidet utforsker Veidekke samarbeid med ulike eksterne aktører med tanke på sirkulære løsninger, dette eksempelvis knyttet til gjenbruk av betong. Gjennom et samarbeid mellom Veidekke Entreprenør AS og Unicon AS er det testet en betongresept med tilslag av knust betong, i kombinasjon av lavkarbonsement. Dette er ekstremvarianten av lavkarbonbetong som inneholder CEM III/B sement og 100 prosent resirkulert tilslag(8-22mm) av knust betong.

Videre har Veidekke Entreprenør AS og FutureBuilt inngått et samarbeid som en del av prosjektet Nedre Sem Låve, der Futurebuilt bidrar med støtte for utarbeidelse av rapport som dokumenterer erfaringer, reduksjon av klimagassutslipp og merkostnader knyttet til bruk av Lavkarbon ekstrem betong med resirkulert tilslag.

2. Introduksjon

Nedre Sem Gård ligger ved Semsvannet i Asker og ble i 2014 kjøpt av Asker Kommune. Gården huser i dag et kommunalt arbeidssenter, samt enkelte omsorgsboliger. Låvebygningen på gården er oppført omkring 1890, men har de senere tiår forfalt og delvis kollapset. Låven er ikke benyttet til driftsformål over lengre tid, og har de siste årene stått tom og avspærret av sikkerhetsgrunner.

Det har siden 2017 pågått arbeid med utvikling av et prosjekt som skulle gjenreise låvebygningen til bruk som arbeidssenter i tilknytning til resten av gården. Våren 2022 ble det etter endt forprosjekt utlyst anbudskonkurranse om samspill og prosjektering av nytt låvebygg, en konkurranse Veidekke Entreprenør AS vant. Kostnadsramme og bevilgning ble vedtatt i formannskapet i Asker Kommune på sensommeren samme år. Prosjekt Nedre Sem Låve omfatter demontering av eksisterende låve og oppføring av nytt bygg, med blant annet gjenbruk av de gamle materialene. Det nye bygget vil inneholde arbeidssenter med snekkerverksted over to etasjer, storkjøkken, egen gårdsbutikk og seks omsorgsboliger. Ny bygningsmasse blir på om lag 2.000 m², med likt uttrykk som den opprinnelige enhetslåven. Nybygget planlegges ferdigstilt og overlevert i løpet av første kvartal 2024.

Nedre Sem Låve oppføres etter FutureBuilds kriteriesett Zero, Zero T og NZEB (nær nullenergibygget). Videre er prosjektet pilot for FutureBuilds kriteriesett for plastbruk og sirkulære bygg som omhandler reduksjon av plastprodukter og ombruk av byggematerialer. Nybygget skal oppnå minimum 50 prosent reduserte klimagassutslipp fra byggeprosess, energi- og materialbruk i henhold til FutureBuilt Zero, og bestå av totalt 50 vektprosent ombrukte- og ombrukbare materialer. Nedre Sem Låve er også med som pilot i EU-prosjektet sirkulære byer. Byggeplassen skal driftes utslippsfritt med elektriske maskiner.

2.1 Sirkulær Betong

Som en del av arbeidet med sirkulære materialstrømmer i prosjektet og ombrukte komponenter ble det igangsatt arbeid med å vurdere de deler av konstruksjonen som skulle utføres i betong. For det nye bygget omfattet dette stripefundamenter, betongvegger på alle utvendige vegger i plan U, innervegg rundt teknisk rom plan U, dekke over teknisk rom i plan U, veggskive under låvebru samt gulv på grunn i plan U. Det ble tidlig klart at ombruk av hele betongelementer fra donorbygg eller likende ikke lot seg gjøre å grunn av konstruksjonssikkerhet og bygningsfysikk, samt logistikk og kostnader. Det samme gjaldt for armeringen.

Arbeidet fortsatte derfor videre med fokus på innsatsfaktorer og delkomponenter i plasstøpt betong. I den forbindelse ble ressurser i Veidekke som arbeidet med betongteknologi og utvikling tilknyttet prosjektet. Det ble deretter klart at betongens tilslag, normalt stein, var en mulig sirkulær komponent. Dette viste seg å være arbeid som allerede pågikk gjennom et annet innovasjonsprosjekt i Veidekke, som underveis videreutviklet seg til opprettelsen av Veidekke Sirkulær, en egen enhet for sirkulære materialstrømmer. Nevnte innovasjonsprosjekt arbeidet med muligheten for å bytte ut 100 prosent av tilslaget(8-22mm) i betongen, altså stein, med gradert knust betong fra tidligere konstruksjoner, altså en form for ombruk av tilslag. Det spesielle med dette er at Norsk Standard pr i dag kun tillater 40 prosent innblanding av knust betong som tilslag. Effekten utover sirkulære materialstrømmer, vil også være en reduksjon i uttak av jomfruelige steinmasser med tilhørende naturinngrep, og samtidig en reduksjon av årlig deponibehov av rivemasser av betong. Det aktuelle tilslaget til betongen på Nedre Sem Låve var utsortert fra rivemassene fra betongelementfabrikken til Follobaneprosjektet på Åsland. Denne ble demontert og revet etter at tunnelprosjektet var fullført. Det ble bestemt at dette tilslaget skulle erstatte 100 prosent av normalt tilslag(8-22mm) i betongen som skulle benyttes på Nedre Sem Låve, i kombinasjon med betongresept etter lavkarbon ekstrem nivå (NB37) med CEMIII/B sement.



Resirkulert tilslag fra Follobaneprosjektet på Åsland – Bilde fra Veidekke Geomaterialers massesenter på Gardermoen.

Utover utfordringen med sirkulært tilslag, ville betongtypen av erfaring medføre klare konsekvenser knyttet til produksjon. Dette skyldes blant annet betongens reduserte evne til intern varmeutvikling som igjen påvirker herdeprosessen. For å unngå unødvendig plast og ressursbruk (kriteriesett plast), ble det besluttet å ikke benytte mekanisk oppvarming av betongen ved støp gjennom innstøping av varmesløyfer eller varmekabler. Som et resultat av dette ble det videre bestemt at fremdrift på betongarbeider skulle legges opp for å treffe med varm periode av året, samt noe differensiering i betongkvaliteter etter bygningsdel. I praksis medførte dette noe vinterstopp i produksjonen i januar og februar i 2023 etter endt riving og demontering, samt at stripefundamenter ble prosjektert og utført med Lavkarbon LA betong med naturtilslag. De første veggstøpende med 100 prosent resirkulert tilslag og lavkarbon ekstrembetong ble utført fra midten av mai 2023.

2.2 Veidekke Sirkulær

Som et ledd i arbeidet med å redusere utslippene i selskapet til netto null innen 2045 i alle scope, vedtar Veidekke høsten 2022 å opprette en egen enhet med fokus på sirkulære materialstrømmer. Enheten heter Veidekke Sirkulær og er etablert for å håndtere pågående sirkulære prosjekter og for å initiere nye klimaløsninger i bygg- og anleggsbransjen. Selskapet fokuserer i hovedsak sitt arbeid mot gjenbruk, ombruk, resirkulering og andre problemstillinger knyttet til sirkularitet.

Det ble tidlig igangsatt arbeid med å utforske strømmer for avfallshåndtering og deponering i Norge, da graden av effektive sirkulære nedstrømsløsninger syntes lav. Det er med utspring i dette arbeidet det er etablert et system for mottak, håndtering og videreforedling av knust rivebetong til bruk som tilslag i ny betong, som erstatning eller supplement til naturlige steinmasser. Veidekke sirkulær har gjennom samarbeid med Veidekke Entreprenørs prosjekt på Ulven, Veidekke Geomaterialer og Unicon AS klart å etablere system for mottak og håndtering, samt utarbeidelse av dokumentasjon på egenskaper for betongresepter med stor grad av resirkulert tilslag. Dette har medført at det pr i dag er etablert fullverdig produksjonslinje for sirkulært betongtilslag til bruk i det kommersielle markedet på lik linje med naturtilslag av steinmasser.

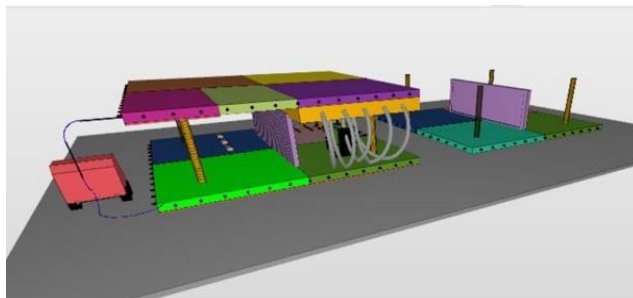
3.0 Prøvestøp Veidekkes hovedkontor på Ulven

I februar 2022 gjennomførte Veidekke Entreprenør, Veidekke Sirkulær og Unicon en storskala prøvestøp med ferdigbetong i Lavkarbonklassen Ekstrem og 100 prosent resirkulert tilslag av knust betong. Målet var å dokumentere betongens egenskaper som herdeutvikling og kvalitet på det resirkulerte tilslaget.

Til prøvestøpen ble det støpt en «mock-up» av dekker, vegger og søyler for å dokumentere betongens egenskaper ved bruk av ulike varmetiltak. Det ble i tillegg foretatt ulike tester av fersk og herdet betong for å dokumentere nødvendige betongegenskaper, ihht. NS-EN 206A+NA og NS12620.



Prøvestøp med Resirkulert knust betong og CEM III/B



3D Modell av "mock-up"

Det ble testet ulike herdetiltak før, under og etter støp. Det ble eksempelvis brukt både varmekabler og vannbårne varmesløyfer i veggstøpen. Alle støper ble loggført med Maturix loggere for å kunne dokumentere temperatur i betongen, og dermed også betongens herdeutvikling over tid.



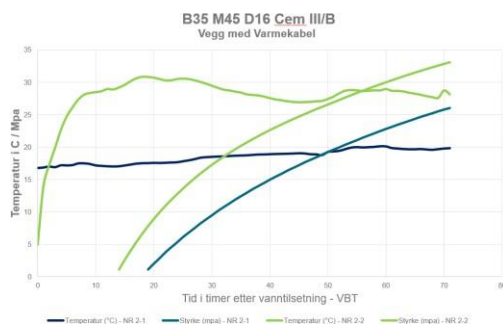
Herdetiltak i vegg: Varmekabler innstøpt i vegg



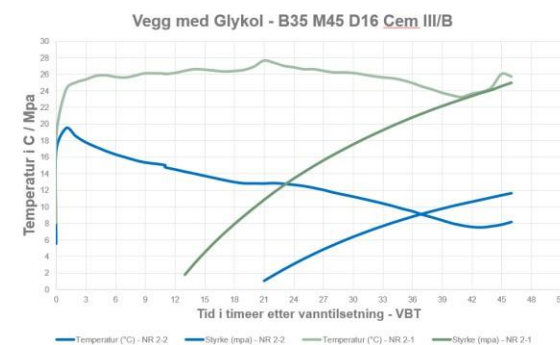
Herdetiltak i vegg: Varmerør med glykol innstøpt i vegg

Maturix loggføringssystem loggfører modenhet og dermed styrke betongen har til enhver tid, dette basert på betongens temperaturutvikling over tid.

Loggføring av fasthetsutviklingen (Mpa) er en avgjørende faktor med tanke på tiden det tar før forskaling kan rives. Driftsmessig er også dette viktig kunnskap i forhold til planlegging av fremdrift og mengde forskalingsutstyr som må benyttes for å kunne følge fremdrift.



Fasthetsutvikling og temperatur – Vegg med varmekabler



Fasthetsutvikling og temperatur – Vegg med varmesløyfer

Det ble i forbindelse med prøvestøp, ikke utført tilstrekkelig testing for å kunne tilby denne betongen i MF klassene. Tvert imot frarådes det bruk av lavkarbon ekstrem til frostsatte konstruksjoner.

Det er viktig å presisere at arbeidet med prøvestøpen på Ulven var et omfattende prosjekt som besto av langt flere tester og prosesser enn det som er beskrevet i denne rapporten.

4.0 Resirkulert tilslag og NS-EN 206/NS- EN 12620

Ved produksjon av betong er det to standarder som følges, hhv NS-EN 206 som «beskriver sammensetning og produksjon av betong til plasstøpte konstruksjoner, prefabrikkerte konstruksjoner og lastbærende produkter for bygg- og anleggskonstruksjoner». NS-EN 206 henviser videre til NS-EN 12620 som «angir egenskapene for tilslag og fillere som fås ved produksjon av naturlige, industrielt fremstilte eller resirkulerte materialer og blandinger av disse tilslagene for bruk i betong». Disse danner da grunnlaget for prosessen som kreves for å etablere den sirkulære materialstrømmen gjennom å føre knust betong fra rivemasser eller tilsvarende, til salgbart tilslag som innsatsfaktor i betong fra kommersielt blandeverk.

For å oversiktlig vise prosessen som kreves for å kunne deklarerer betong ihht. til NS-EN 206, listes derfor de ulike stegene punktvis i dette kapitelet. Prosessen kan sammenfattes i fem steg:

- ⊕ Tilslaget skal deklarerer etter Tabell NA.8 NS-EN 206+NA.

Følgende skal testes for at tilslaget skal kunne benyttes i betongen:

NS-EN 933-1, Tilslagsstørrelse, gradering, flislighetsindeks, finstoffinnhold

NS-EN 1097-2, Motstand mot knusing

NS-EN 1097-6, Korndensitet, Vannabsorbasjon

EN 933-11, Bestanddeler

NS-EN 1744-1 punkt 7, Klorider

NS-EN 1744-1 punkt 12, Innhold av syreløselig sulfat

Andel mineralsk innhold > 99%

Tabell E.3 angir anbefalinger for verdier for de ulike egenskapene

Tabell E.3 — Anbefalinger for grovt resirkulert tilslag i henhold til NS-EN 12620

Egenskap ^a	Punkt i NS-EN 12620:2002+ A1:2008	Type	Kategori i henhold til NS-EN 12620
Finstoffinnhold	4.6	A + B	Deklarert kategori eller verdi
Flisighetsindeks	4.4	A + B	$\leq FI_{50}$ eller $\leq SI_{55}$
Motstand mot knusing	5.2	A + B	$\leq LA_{50}$ eller $\leq SZ_{32}$
Ovnstørr korndensitet ρ_{rd}	5.5	A	$\geq 2\,100\text{ kg/m}^3$
		B	$\geq 1\,700\text{ kg/m}^3$
Vannabsorpsjon	5.5	A + B	Deklarert verdi
Bestanddeler ^b	5.8	A	$RC_{90}, Rcu_{95}, Rb_{10}, Ra_{10}, FL_{20}, XRG_{10}$
		B	$RC_{50}, Rcu_{70}, Rb_{30}, Ra_{50}, FL_{20}, XRG_{20}$
Innhold av vannløselig sulfat	6.3.3	A + B	$\leq SS_{0,7}$
Innhold av syreløselig kloridion	6.2	A + B	Deklarert verdi
Påvirkning på størkningstid	6.4.1	A + B	$\leq A_{40}$

^a Kategori IK (ingen krav) gjelder for alle andre egenskaper som ikke er angitt i denne tabellen, og hvor kategori IK kan deklarerer i henhold til NS-EN 12620.

^b For spesielle anvendelser som krever overflatebehandling av høy kvalitet, bør delmaterialets FL begrenses til kategori $FL_{0,2}$.



Testresultater ihht. Tabell E3.

KSR MASKIN A.S.
Grunnlagt i 1918
Rådgivende ingeniør
720 000 0000

Fysiske egenskaper for tilslag - Konkretebet og vannkvikningsprosjekt

Profil	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse
1	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20
18	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20

Betongens vannkvikningsprosjekt og vannkvikningsprosjekt

Profil	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse
1	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20
18	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20

KSR MASKIN A.S.
Grunnlagt i 1918
Rådgivende ingeniør
720 000 0000

Styrkeklasse og vannkvikningsprosjekt

Profil	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse
1	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20
18	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20

Styrkeklasse og vannkvikningsprosjekt

Profil	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse	Styrkeklasse
1	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20
18	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20

⊕ Tilslaget må CE-merkes for at tilslaget skal kunne omsettes og brukes.

Dersom betongen skal oppfylle NS-EN 206 må tilslaget være CE-merket. Dette gjelder alle omsettelige byggevarer i land som er medlem av EØS. CE-merking er et bevis og en deklarasjon på at et produkt anses å oppfylle de krav som er fastsatt gjennom aktuelle direktiver og forordninger. Et CE-merke er videre et bevis på at produktet oppfyller de sikkerhetskrav som gjelder i EØS, men det sier ikke noe alene om produktets generelle kvalitet. CE-merket er også en bekreftelse på at den produserende bedriften bak produktet innehar interne styrings- og kontrollsystemer for å ivareta rett kvalitet på produktet. Produksjon ihht CE-merkets krav sørger altså kort fortalt for at kvaliteten på tilslaget er tilstrekkelig gjennom flere batcher, ikke bare den enkelte som har blitt testet. CE-merking krever testing ved en viss hyppighet.

- ⊕ Når tilslaget er deklarerert etter tabell NA. 8 NS-EN 206+NA, angir Tabell NA. 5 hvilken kvalitetsklasse det resirkulerte tilslaget tilhører. > 99% renhet angir type AN

NA.5.2.3.4(903) Resirkulert tilslag som skal benyttes i betongproduksjon, klassifiseres i henhold til [tabell NA.5](#) i to nasjonale kvalitetsklasser, AN og BN.

Tabell NA.5 — Klassifisering av resirkulert tilslag

Emne	Type AN	Type BN
Mineralsk innhold:		
RCu ₉₉ ^a (Rcu ₉₉ + Rb), der Rb ^b < 5 %	> 99 %	> 95 %
Ikke-mineralsk innhold ^c og glass:		
— Totalt	< 1 %	< 5 %
— Isolasjonsmateriale	< 0,1 volumprosent	< 0,5 volumprosent
— Planterester	< 0,1 volumprosent	< 0,5 volumprosent
Densitet:		
— ovnstør ^d	> 2000 kg/m ³	> 1800 kg/m ³
— vannmettet overflatetør ^d	> 2100 kg/m ³	> 2000 kg/m ³
Vannabsorpsjon	< 10 %	< 20 %
<p>a Kategorien er ikke angitt i NS-EN 12620. Rcu₉₉ skal bestå av minst 99 % av følgende bestanddeler, enten enkeltvis eller i kombinasjon: betong, betongprodukter, mørtel, naturstein eller mekanisk eller hydraulisk stabilisert tilslag.</p> <p>b Rb er murprodukter av leire og kalsiumsilikater samt ikke-flytende porebetong.</p> <p>c Ikke-mineralsk innhold som kohesjonsmaterialer (leire og jord), metaller, ikke-flytende tre, plast og gummi samt gips.</p> <p>d Utføres iht. NS-EN 1097-6. Kravet skal oppfylles for minst én av metodene.</p>		

Tabellen viser de krav som gjelder for de ulike klassene av resirkulert tilslag, hhv AN og BN. Klassen settes etter tilslagets renhet. Med dette menes hvor stor andel av tilslaget som er mineralsk, og hvor stor andel der er av ikke-mineralske partikler, som treverk etc, samt glass. Veidekke sirkulær leverer resirkulert tilslag med 99% renhet.

- ⊕ Tabell NA.7 angir største andel av tilslag i fraksjon 4/32mm som kan erstattes med resirkulert tilslag.

I dette tilfellet – Type AN, B35, M60. Tabellen viser da at betongen kan produseres med 40% andel resirkulert tilslag uten ytterligere tiltak

Tabell NA.7 — Største andel av tilslag i fraksjon 4/32 mm som kan erstattes med resirkulert tilslag

Trykkfasthetsklasse og bestandighetsklasse	Andel resirkulert tilslag		
	Type AN	Type BN	Sum Type AN + BN
Trykkfasthetsklasse ≤ B35 og bestandighetsklasse M90	40 %	10 %	30 % ^a
Trykkfasthetsklasse ≤ B45 og bestandighetsklassene M90 og M60	40 %	0 %	-
Øvrige klasser	0 %	0 %	0 %
a Dersom begge typer benyttes, gjelder også begrensningen på 10 % av Type BN.			

- ⊕ Dersom det benyttes mer en 40% andel resirkulert tilslag i betongen, må dette hensyntas i prosjekteringen.

Dersom det skal benyttes en større andel av resirkulert tilslag enn det som er angitt i tabell NA.6 og NA.7 vil RIB kreve ulike testresultater av betongegenskapene, ref. NA.5.2.3.4(902).

NA.5.2.3.4(902) Resirkulert tilslag kan anvendes opp til de mengder som er angitt i [tabellene NA.6](#) og [NA.7](#). Høyere verdier kan benyttes der dette er angitt i betongspesifikasjonen.

MERKNAD Bruk av resirkulert tilslag i større mengder enn angitt i [tabellene NA.6](#) og [NA.7](#) kan gjøre det nødvendig å justere materialegenskapene for betongen. Dette skal tas hensyn til i prosjekteringen og det skal angis i betongspesifikasjonen der større mengder er tillatt.

Betongegenskaper som må hensyntas:

- Trykkfasthet f_{ck}
- Elastisitetsmodul E_{cm}
- Strekkfasthet, f_{ctm} og f_{ctk} , 0,05
- Uttørkingssvinn $\epsilon_{cd,0}$
- Autogen svinn $\epsilon_{ca,\infty}$

Disse betongegenskapene ble testet på lab og oversendt til RIB for en endelig godkjenning på bruk av høyere andel resirkulert tilslag. Dokumentasjon på betongegenskaper stammer fra tester utført på terninger fra prøvestøp på Ulven og fra betongen produsert hos Unicon.



Fra Testing av E-modul

5.0 Klimagassreduksjon

Lavkarbonbetong defineres som konstruksjonsbetong produsert i samsvar med reglene i NS-EN 206+NA, der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Tabellen under viser lavkarbonbetong klasser med grenseverdier for klimagassutslipp (begrenset til modul A1-A3 i NS15804/7).

Fasthetsklasse ¹⁾ og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv. pr m ³ betong]							
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss ²⁾			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem ²⁾			110	120	130	140	150

Tabell fra Norsk Betongforening NB37

Det er per dags dato ikke utarbeidet EPD av Veidekke Sirkulær for det resirkulert betongtilslaget. Klimagassberegninger som presenteres i denne rapporten baserer seg derfor på en prosjektspesifikk EPD av Lavkarbon Ekstrem, men beregnet med naturtilslag. Mengde tilslag i beregningen er identisk med mengde resirkulert tilslag, men det er korrigert for transportavstand fra Veidekke Sirkulærs anlegg og til Unicon på Sjursøya

Forutsetninger for beregningen:

- ⊕ Det er tatt utgangspunkt i reelle mengder benyttet betong på prosjektet
- ⊕ For beregning av "Standard" bygg er Lavkarbon klasse B lagt til grunn. Dette er regnet som standard i det norske markedet på nåværende tidspunkt.
- ⊕ For Lavkarbon klasse A og B er det tatt utgangspunkt i grenseverdiene for utslipp i NB37
- ⊕ Tall for lavkarbon ekstrem er hentet fra EPD for den faktiske benyttede betongen, utenom tilslag.
- ⊕ Da prosessene er forholdsvis like, er det pdd. ikke beregnet noe CO₂ gevinst fra resirkulert tilslag, og det beregnes derfor med verdier for standard naturtilslag.
- ⊕ For sammenligning er utslippsverdiene i A1-A3 valgt, da det kun er disse som er forskjellige fra et "Standard" bygg til Nedre Sem Låve.
- ⊕ Det ble benyttet B30M60 til stripe-og punktfundamenter. B35M45 ble ellers benyttet i prosjektet.

I kriterieverdiene Futurebuilt ZERO, som prosjektet er omfattet av, inngår ikke bygningsdel `21 – Grunn og fundamenter. Årsaken er at ulike tomter kan ha svært stor variasjon når det gjelder omfanget av grunnarbeider og fundamenteringsmetoder. Stripefundamenter og punktfundamenter er likevel medtatt i oversikten presentert i denne rapporten.

KONSTRUKSJONSDEL	STANDARDBYGG				NSL			REDUKSJON
	MENGDE BETONG (M3)	KLASSE (TYPE)	KLIMAGASS* [kgCO2e/m3]	KLIMAGASS [kgCO2e]	KLASSE (TYPE)	KLIMAGASS* [kgCO2e/m3]	KLIMAGASS [kgCO2e]	KLIMAGASS [kgCO2e]
STRIPEFUNDAMENT	58,5	B	230	13 448,1	A	200	11 694	1 754,1
PUNKTFUNDAMENT	10,8	B	230	2 487,0	A	200	2 162,6	324,4
DEKKE HEIS	2,1	B	280	574,0	EKSTREM	111,3	228,2	345,8
DEKKE OVER PLAN U	33,8	B	280	9 450,0	EKSTREM	111,3	3 756,7	5 693,3
GULVPÅ GRUNN	102,5	B	280	28 711,2	EKSTREM	111,3	11 413,7	17 297,5
STRIPEOPPLEGG MASSIVTRE	2,4	B	280	660,8	EKSTREM	111,3	262,7	398,1
VEGGER PLAN U-YTTERVEGGER	137,7	B	280	38 561,6	EKSTREM	111,3	15 329,6	23 232
VEGGER PLAN U-GRUBE	5,6	B	280	1 576,4	EKSTREM	111,3	626,7	949,7
VEGGER PLAN U-INNERVERGGER	11,1	B	280	3 108,0	EKSTREM	111,3	1 235,5	1 872,5
VEGGER PLAN U-HEISGRUBE	4,06	B	280	1 136,8	EKSTREM	111,3	451,9	684,9
VEGGER PLAN 1 LÅVEBRU	4,05	B	280	1 134,0	EKSTREM	111,3	450,8	684,2
SØYLER TEK-ROM	0,5	B	80	150,2	EKSTREM	111,3	59,7	90,5
								<u>53 327</u>

Klimagassreduksjon Lavkarbon Ekstrem Betong

I tillegg til klimagassreduksjoner knyttet til materialbruk, ble det iverksatt andre klimagassbesparende tiltak i prosjektet. For å redusere mengde energi tilknyttet vinterdrift, ble det i samråd med Asker kommune besluttet å planlegge med et opphold i fremdriften mellom demontering/riving og grunnarbeider. Hensikten med dette var å treffe i varm periode med betongarbeider, altså de måneder der døgntemperatur ligger over null. På Nedre Sem resulterte dette i at støp av fundamenter startet opp rundt påske, og første veggstøp gikk i midten av mai. Dette resulterte i en reduksjon av nødvendige varmetiltak og dermed en konstansreduksjon og klimagevinst. Prosjektering, planlegging og innkjøp foregikk for fullt i perioden med driftsopphold.

Forbehold for beregningen av klimagassreduksjon grunnet utsatt oppstart:

- ⊕ Det ble benyttet utslippsfaktor beskrevet av Futurebuilt i Scenario 2
- ⊕ Utslippsfaktor er Europeisk (EU28+NO) forbruksmiks, 60 års framskriving med utgangspunkt i 2018.
- ⊕ Timeantallet tar utgangspunkt i kontinuerlig oppvarmingsbehov i 8 uker.

OPPVARMINGSKILDE	PRODUKTNAMN	FORBRUK	TIMEANTALL	UTSLIPP (A1-A3)	REDUKSJON
					LIMAGASS [kgCO ₂ e]
NR 1: LUFT TIL LUFT VARMEPUMPE	XHP40 Nordic (ELTRODE)	11kW	1344	14 784kWt	1 422 (0.0962/kWh)
NR 2: LUFT TIL LUFT VARMEPUMPE	XHP40 Nordic (ELTRODE)	11kW	1344	14 784kWt	1 422 (0.0962/kWh)
				29 568 kWt	<u>2 844</u>

Klimagassreduksjon som følge av utsatt oppstart

Forbehold for beregningen av kostnadsreduksjon grunnet utsatt oppstart:

- ⊕ Snittpris på 1,96 kr/kW. Dette er basert på hva prosjektet har betalt for strøm i periode januar/februar/mars. Snittprisen kan forventes å være høyere da effektledet på nettleie hadde økt grunnet høyere maksforbruk.
- ⊕ Timeantallet tar utgangspunkt i kontinuerlig oppvarmingsbehov i 8 uker.
- ⊕ Bemanningskostnader for nødvendig tildekking og andre relaterte arbeidsoppgaver er basert på to personer i to dager per. støpetappe. Varigheten på støpetappene er basert på data hentet ut fra Maturix loggføringssystem.
- ⊕ Ekstra arbeider i form av rigg & drift knyttet til vinterdrift er ikke medtatt.
- ⊕ Det ble benyttet varmepumper typen XHP40 Nordic levert av Eltrode AS. Denne varmepumpen har et forbruk Nedre Sem Låve- Betong 24.10.23 på 11kW/t og leverer 48 kW/t varmeeffekt. Dersom betongarbeidene ikke hadde blitt utsatt og hadde hatt oppstart i januar eller februar antar vi nødvendig, kontinuerlig oppvarmingsbehov i åtte uker for å holde tilstrekkelig varme for betongen.

					REDUKSJON
TYPE	FORBRUK	TIMEANTALL	KOSTNAD kW/t	FORBRUK	TOTALKOSTNAD
XHP40 NORDIC (ELTRODE)	11kW	1344	1,96 kr	14 784kW/t	28 976,-
XHP40 NORDIC (ELTRODE)	11kW	1344	1,96 kr	14 784kW/t	28 976,-
BEMANNING					270 000,-
					327 952,-

Kostnadsreduksjon som følge av utsatt oppstart

6.0 Nedre Sem Låve

Ved utførelse av betongarbeidene på Nedre Sem, ble det lagt en egen strategi for utførelsen. I dette kapitlet gjennomgås noen av de ulike aspektene ved gjennomføringen av støpeetappene, samt noen av erfaringene som ble gjort i prosjektet. Utover å produsere et sluttprodukt med rett kvalitet, ble det også brukt noe tid og ressurser på å teste ulike løsninger og strategier for utførelse, som erfaringsbygging. Dette gjaldt spesielt rundt ulike varmetiltak, som gjennomgås senere i kapitlet.

6.1 Oppstartstidspunkt

Sementtypen i Lavkarbonklassen Ekstrem er CEM III/B som inneholder typisk 66-80% slagg (et biprodukt fra produksjon av jern) og resterende er portlandsementklinker. Den lave andelen sement gir en betydelig klimagassreduksjon, men medfører samtidig en vesentlig reduksjon av varmeutvikling i betongen. Å støpe med denne type betong er derfor svært krevende ved lave omgivelsestemperaturer. For å oppnå tilstrekkelig rivefasthet (Mpa), viser tidligere erfaring at det må iverksettes varmetiltak ved temperaturer under 10 grader.

Lave omgivelsestemperaturer kan i verstefall resultere i en forsinket hydratiseringsprosess av sementen, noe som forlenger herdetiden og reduserer fasthetsutviklingen. Dersom fersk betong utsettes for fryse- og tineforhold før den har nådd en viss styrke, kan det forårsake interne skader, noe som resulterer i en svekket og porøs struktur.

Kombinasjonen av betongens lave varmeutvikling, lave omgivelsestemperaturer ved opprinnelig planlagt oppstart, samt kriterier som utelukker innstøping av varmekabler eller varmesløyfer, førte til at prosjektet etter inngående dialog med Asker kommune, besluttet å utsette betongarbeidene til varmere periode av året.

6.2 Differensiering av betongkvaliteter

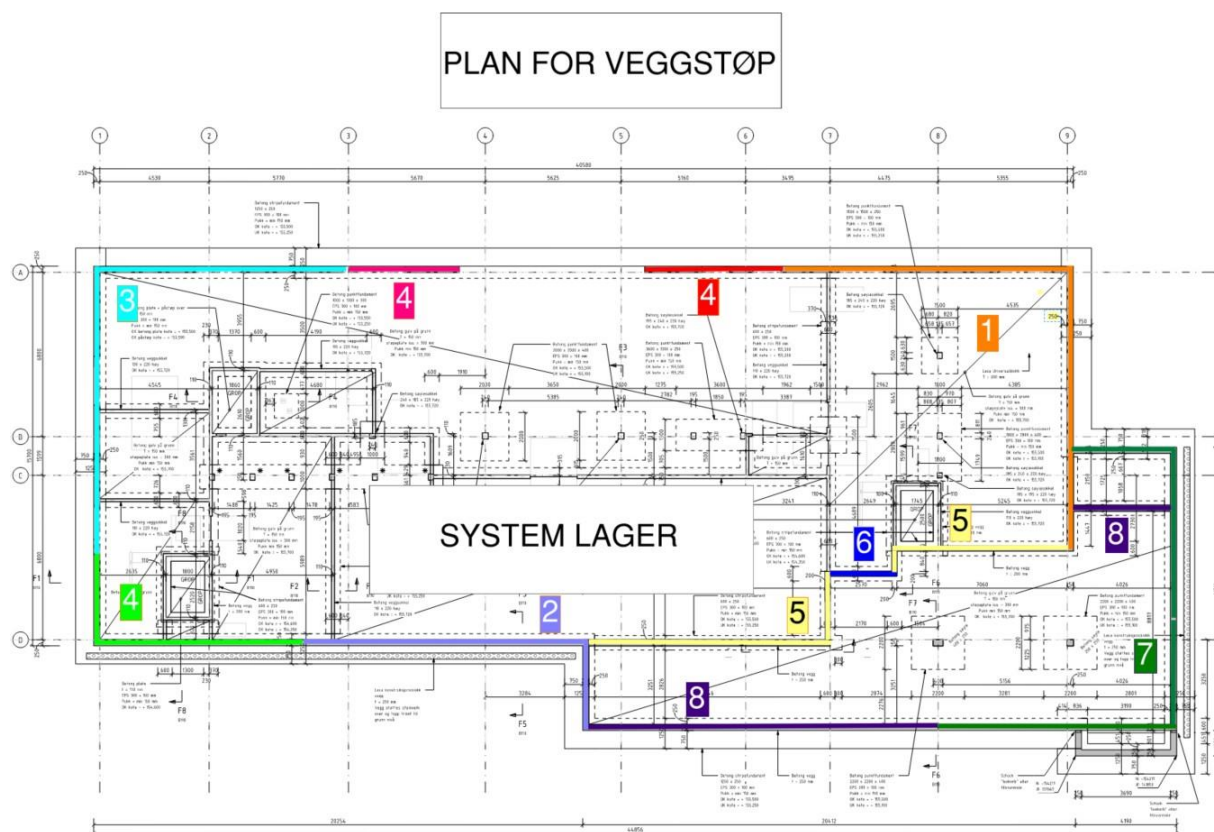
Prosjektets første støp var planlagt midt i mars, der heisgruber, stripefundamenter og punktfundamenter ble støpt med Lavkarbon klasse A betong. Valg av denne betongtypen skyldes flere årsaker. Bygningsdel `21 – Grunn og fundamenter omfattes ikke av kriteriesettet Futurebuilt ZERO, slik at klimagassreduksjonen som følge materialvalg under denne bygningsdelen ikke er hensyntatt i beregningen av den totale klimagassreduksjonen i prosjektet. Videre hadde prosjektet store bekymringer knyttet til lave temperaturer og betongens fasthetsutvikling dersom Lavkarbon Ekstrem betong ble valgt. Fundamenter er også ansett som frostutsatt konstruksjon i visse tilfeller, noe som krevde MF-klassifisert betongresept. All data og informasjon prosjektet hadde om Lavkarbon ekstrem betong m/resirkulert tilslag kom fra laben på Unicon og fra prøvestøp på Ulven. Betongen var på dette tidspunktet ikke testet tilstrekkelig for å kunne leveres i MF klasse, altså frostbestandig betong. Det bør understrekes at ved bruk av Lavkarbon ekstrem betong kreves det omfattende varmetiltak. Det er derfor ikke helt korrekt å sammenligne ren klimagassreduksjon kun basert på betongresepten alene.

6.3 Fremdrift

Samtlige veggstøper på Nedre Sem ble støpt med lavkarbon ekstrem betong m/resirkulert tilslag. Det ble gjennomført flere møter i forkant av betongstøp. Grunnet svært lite erfaring med denne type betong, herdetiden og fremdrift valgte prosjektet å sette opp en støpeplan som baserte seg på 2 oppsett og 1 lokk. På denne måten kunne prosjektet fortsette støpearbeidene selv om fastheten på

tidligere støp ikke var tilstrekkelig med tanke på riving av forskalling. Dataene fra Maturix er navngitt etter støpetappene som vises på illustrasjonen under.

Rekkefølge på støper kan synes vilkårlig, men er et resultat av øvrig fremdrift i prosjektet, med koordinering mot både tidligere og påfølgende aktiviteter. Hovedpoenget bak fremdriften var at retning og rekkefølge måtte passe mot påfølgende massivtremonasje, som ville påstartes før betongarbeidene var ferdigstilt. Videre måtte støpetappene legges opp i en slik rekkefølge at konstruksjonen fortløpende blir selvstabiliserende. Dette betyr at ved å starte med støp av vegg i hjørner, eller forbi hjørner, vil konstruksjonen støtte seg selv. Slik unngå man omfattende arbeid med montering av sikringsstøtter underveis. Til slutt må oppdelte etapper og fordelinger passe ut med mengder og lenger på valgt forskalingssystem.



Rekkefølge på støpetapper av vegger på Nedre Sem Låve

6.4 Leveransetidspunkter

Et aspekt ved betongarbeidene på Nedre Sem som skilte seg noe fra produksjon med mer standardiserte resepter, var å få levert betong til byggeplass med rett temperatur og åpentid. Til forskjell fra prøvestøpen på Ulven i Oslo, lå byggeplassen på Nedre Sem vesentlig lengre unna blandeverket på Sjursøya i Oslo, noe som ville påvirke temperaturfall og rest åpentid på betongen. På grunn av betongens lave sementinnhold og dertil reduserte varmeproduksjon, var det kritisk å opprettholde temperaturen fra blandeverk lenge nok. Erfaringer fra prøvestøp på Ulven viste også at Lavkarbon Ekstrem betong m/ resirkulert tilslag oppførte seg noe annerledes en standard betong, blant annet ved at herdeprosessen påbegynte både raske og bråere enn normalt.

Basert på disse erfaringene ble alle støpetapper på Nedre Sem Låve planlagt med et begrenset volum pr støp, noe lengre tid mellom bilene enn normalt og med utførelse midt på dagen. Hensikten med dette var å unngå at betongbiler ble forsinket av rushtrafikk, samt at det ikke skulle hope seg opp biler dersom det ble problemer med utstøping. Denne strategien fungerte godt, og det ble gjennom alle støpetapper på vegg ikke sendt en eneste bil i retur til blandeverk. Det ble for øvrig utført slump- og temperaturtester på samtlige betongleveranser til veggstøpene.



Utbredelsesmålt utført på Nedre Sem Låve



Måling av temperatur på mottatt Lavkarbon Ekstrem betong m/resirkulert tilslag



Slumpetest utført på Nedre Sem Låve

Unicon AS Kongshavnkalle 1 0193 OSLO	TE: 2105 8434	unicon CEMENTFABRIK HOLLAND
Følgeseddel Veddekke Entreprenør AS Region Syd Kottveit 2780 N-7439 TRONDHEIM Nedre Sem Låve Sernavien 156 A N-1384 ASKER m.m., nærmest mot Skaugum IKKE OPP TIL BARENAHGET! Per Vidar Enger, 92879819		Nummer 654319 Dato 12.06.2023 Side 1 Salgsordre 2076432 / 45608013 Kundenr 1010290 Fakturadato 30.06 Kontrakt 20231913 Sign. m. 30.06 - NG LA BETONG!! Ekspedert Anders Madsen Bilnr. 881 Sjøfører SZYMON JACEK KRAWCZYNSKI Følgebrev lest
Opplysning om avtalt vare: Vare ID: Betong B35 M45 16LE 8,00 m³ Normal betong B35 M45 CL 0,10 Sementtype: CEM 16,5 (S) 66-80% slag Dråke: 16 mm Synkemaal 240 mm Bestill temp: 15 °C		LAB Unicon utf. av SynkVutbredelse 150/160 Temperatur 15,4 12.6.23 17.11 17.11
Opplysning om produksjon: Resept UE54A-S100 Standard NS-EN 206 Betongtype Egenskapsdefinert betong		Blødet 10:34 Sjørsøysd Blødet av Angelo Orlandi
Opplysning om levering og mottak: Drøket levering 10:55 - 11:10 Blødet mengde denne vare 10,00 m³ Levert m.k. dette lastet 8,00 m³ 8,00 m³ Normal anslagsning Avstand produksjonsfabrik 25 km		Ark. plass: Tømming start Tømming slutt
Betongen er ikke i samsvar med NS-EN 206 (sett kryss) []		
Sjøfører bemerkning: Kvittering: Opplysningene overfor er i samsvar med det som er avtalt:		

Følgeseddel på Lavkarbon Ekstrem m/resirkulert tilslag

6.5 Sanntidsovervåkning av fasthetsutvikling

Ved bruk av standardbetonger kan forskaling i de fleste tilfeller rives etter 12-24 timer på vegg, fundament og søylestøper. Erfaring fra tidligere prosjekter utført med lavkarbon ekstrem betong hadde vist en herdetid, eller fasthetsutvikling (MPa), som var vesentlig tregere enn normalt, spesielt ved lave omgivelsestemperaturer. Prosjektet hadde derfor som utgangspunkt en herdetid på opptil 48 timer før betongen var sterk nok til at forskaling kunne rives. For å utfordre denne antagelsen ble det besluttet å benytte sanntidsovervåkning av fasthetsutviklingen i betongen, ved bruk av systemet Maturix. Dette er et intelligent overvåkingssystem for betong som bruker trådløse sensorer for å måle betongens temperatur og styrkeutvikling i sanntid. Dataene fra sensorene blir sendt til skyen hvor de analyseres gjennom Maturix eget dataverktøy. Dette gjør det mulig å overvåke betongherdeprosessen fra hvor som helst og foreta eventuelle tiltak basert på sanntidsdata. Med Maturix kan man optimalisere herdeprosessen, spare tid, redusere kostnader og sikre kvaliteten på betongen.



Prosjektet hadde totalt 4 forskjellige sensorer tilgjengelige. Disse kunne plasseres ut forskjellige steder i den støpte konstruksjonen.

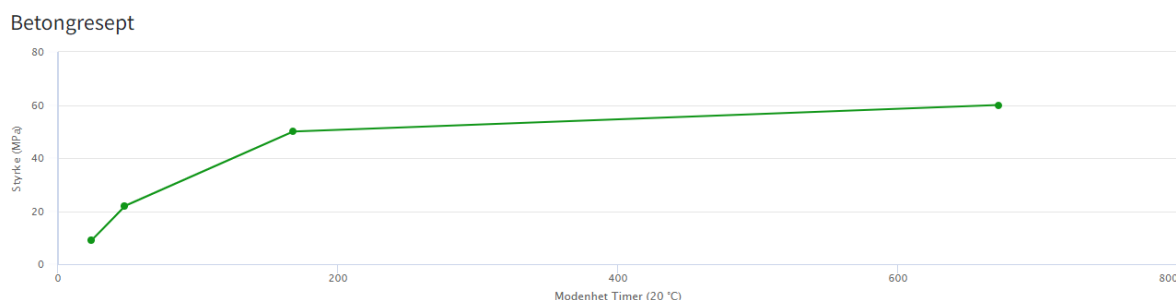


Maturix sensor tilkoblet og klar for loggføring

Videre var det et vesentlig forhold at temperaturen i betongen ikke falt under 10 grader i løpet av den første herdeperioden, frem til en bestemt trykkfasthet ble oppnådd. Erfaringer fra tidligere prosjekter og prøvestøper viste at dersom temperaturen falt for lavt, kunne herdeprosessen stoppe og betongkvaliteten kunne i ytterste konsekvens forringes permanent. Maturix systemet ble derfor satt opp med alarmvarslinger ved gitte temperaturer, slik at støpeleder fikk varslings og igjen kunne igangsette tiltak. Varmesystemet som ble benyttet kunne videre styres og justeres via nett/telefon/app, slik at temperatur kunne fjernstyres ved behov.

Kvaliteten på herdet betong angis med dens trykkfasthet i MPa ved en alder av syv og/eller 28 døgn etter utstøping. Før støpearbeidene på Nedre Sem gjennomførte betongteknolog hos Unicon trykkfasthetsmåling av betong ved hjelp av testterninger. Støpte terninger ble målt på trykkfasthet

etter 1, 3, 7 og 28 døgn. Terningene var lagret i vannbad ved 20 +/- 2 grader. Med utgangspunkt i denne testen kunne prosjektet få etablert en graf som vises på bilde under. Denne grafen er essensiell for å kunne vite spesifikt hvilken modenhet betongen har til enhver tid, basert på betongens temperatur over tid. Grafen var derfor en grunnstein i avlesning av data fra Maturix.



Graf for modenhetsutvikling

6.6 Temperaturkontroll

Det ble som tidligere nevnt i rapporten lagt en egen strategi for temperaturkontroll under støp og herdeprosess. Det ble ikke benyttet innstøpte varmekilder som varmekabel eller vannbåren varme, men luft-luft varmepumpe på strøm for oppvarming av omgivelsesluft rundt forskaling ved bruk av telt. For å illustrere tiltakene som ble iverksatt for å sikre tilstrekkelig temperatur, er tre støpetapper fra prosjektet valgt: Støpetappe 1,2 og 4. Basert på værprognoser og erfaringer fra foregående støpetapper, ble det utført ulike varmetiltak. Dokumentasjon fra Maturix-loggere, som viser betongtemperatur og fasthetsutvikling, samt værdata fra nærmeste offisielle værstasjon er vedlagt. Skisser og bilder av tiltakene, spesielt vedrørende tildekking utført ved støpetapper 1 og 2.

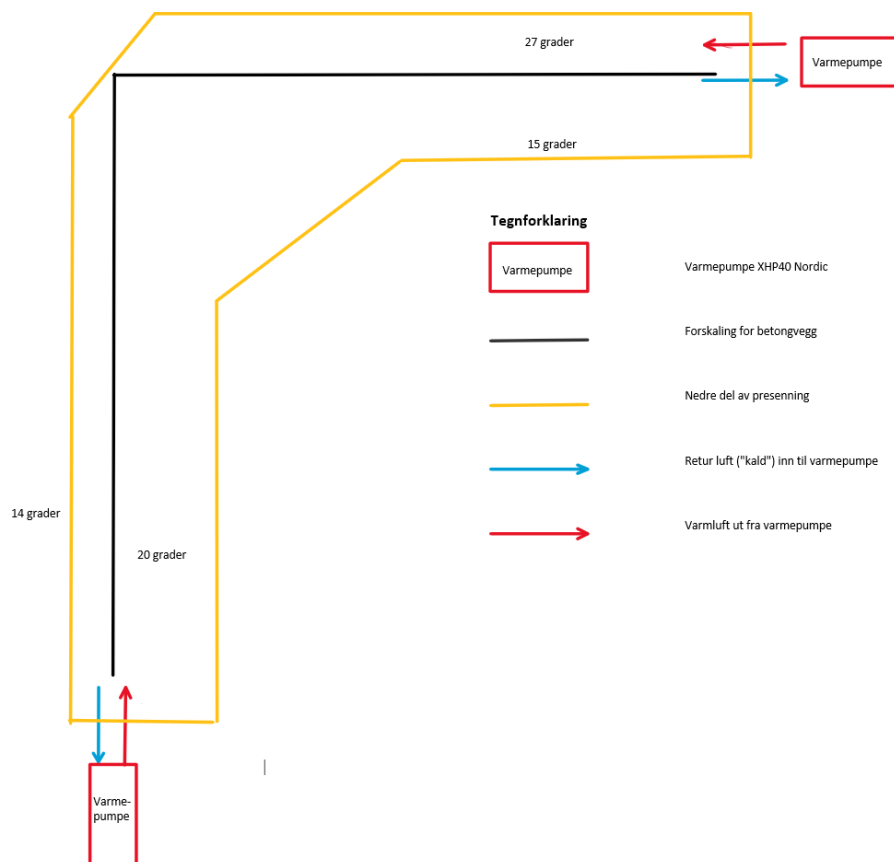
Støp nr 1

På første støpetappe var det usikkerhet rundt hvilke tiltak som måtte gjøres for å opprettholde tilstrekkelig temperatur for herding i betongen. Tidspunkt for støp var tidlig i mai, så temperaturen kunne bli under 0 grader celsius. Det ble derfor besluttet at prosjektet skulle sørge for å ha god margin med tanke på varme hvis det var behov. Det ble satt opp to varmepumper som skulle sirkulere luften på innsiden av presenninger som ble hengt fra toppen på forskalingene. Det ble også lagt vintermatter på toppen av forskalingen etter at betongen var pumpet i forskalingen for å forhindre varmetap på toppen. Det ble større luftrom på innsiden av vegg da det stod stag på denne siden som holdt forskalingen på plass. Tilluften fra varmepumpen ble blåst inn i nederst ved veggen (rød pil), luften som varmepumpen trakk inn for å varme opp ble trukket inn ved toppen av forskalingen på innsiden av presenningene. Det var mulig å følge med på temperaturene til inn og ut luft fra varmepumpene, samt å styre hvilke temperaturer som varmepumpene skulle levere inn under presenningen. Se figur under for illustrasjon av oppvarmingsprinsipp og luftsirkulasjon.

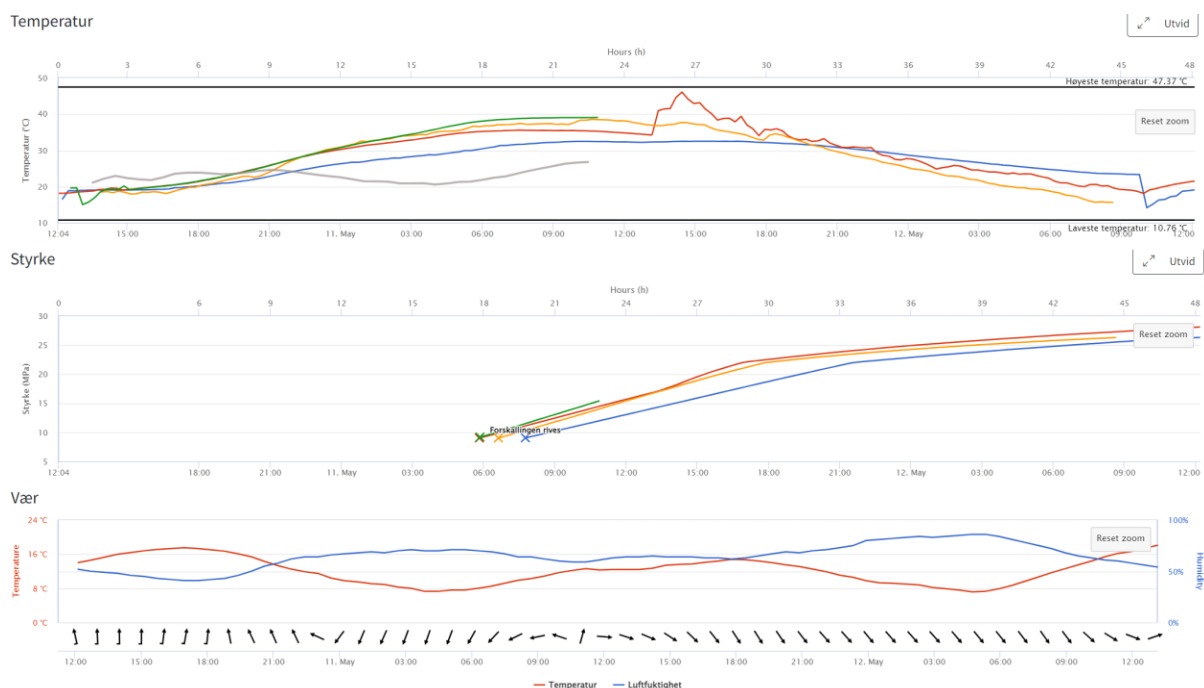
Erfaringer fra den første støpen, blant annet gjennom avleste temperaturer på varmepumpene, viste at det var noe dårlig luftsirkulasjon rundt forskalingssystemet, og at sirkulasjonen i «teltet» ikke fungerte optimalt. Noe av årsaken var antagelig steder der presenning hang for tett på forskalingssystemet. Det ble også vurdert om varmen burde vært fordelt med mer enn bare to punkter i hver ende av systemet. To varmepumper var for øvrig mer enn tilstrekkelig med varme i forhold til været



Støp 1 – To varmepumper og tildekking på begge sider av forskalingssystemet.



Støp 1 – prinsippskisse for oppvarmingsprinsipp



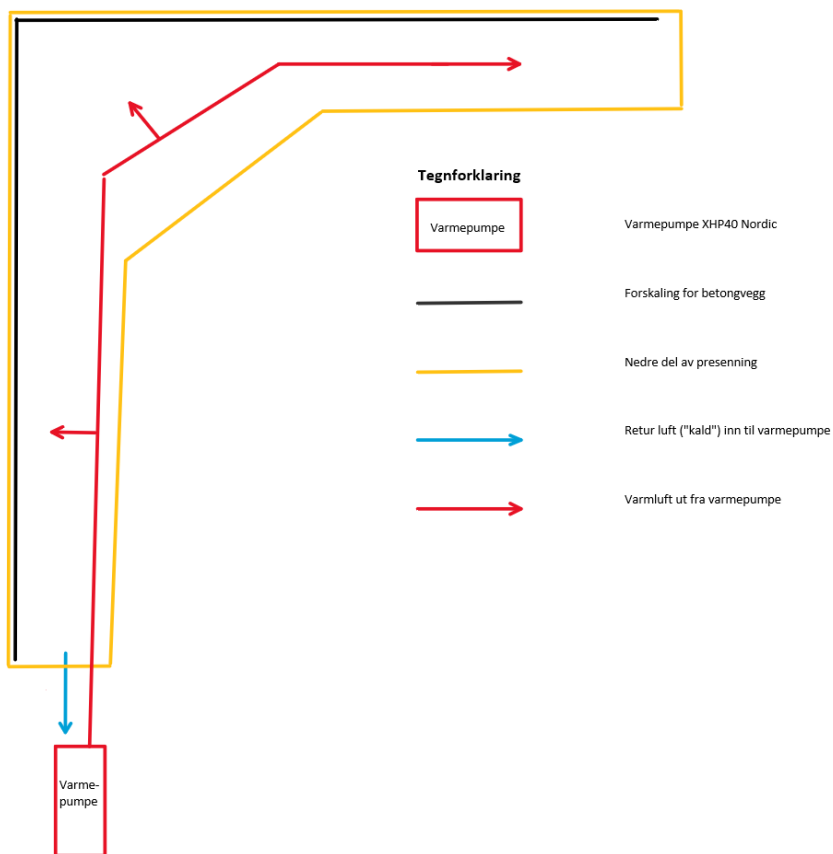
Støp 1 – logging av temperatur- og fasthetsutvikling i betongen i fire punkter, samt værdata i perioden.

Støp nr 2

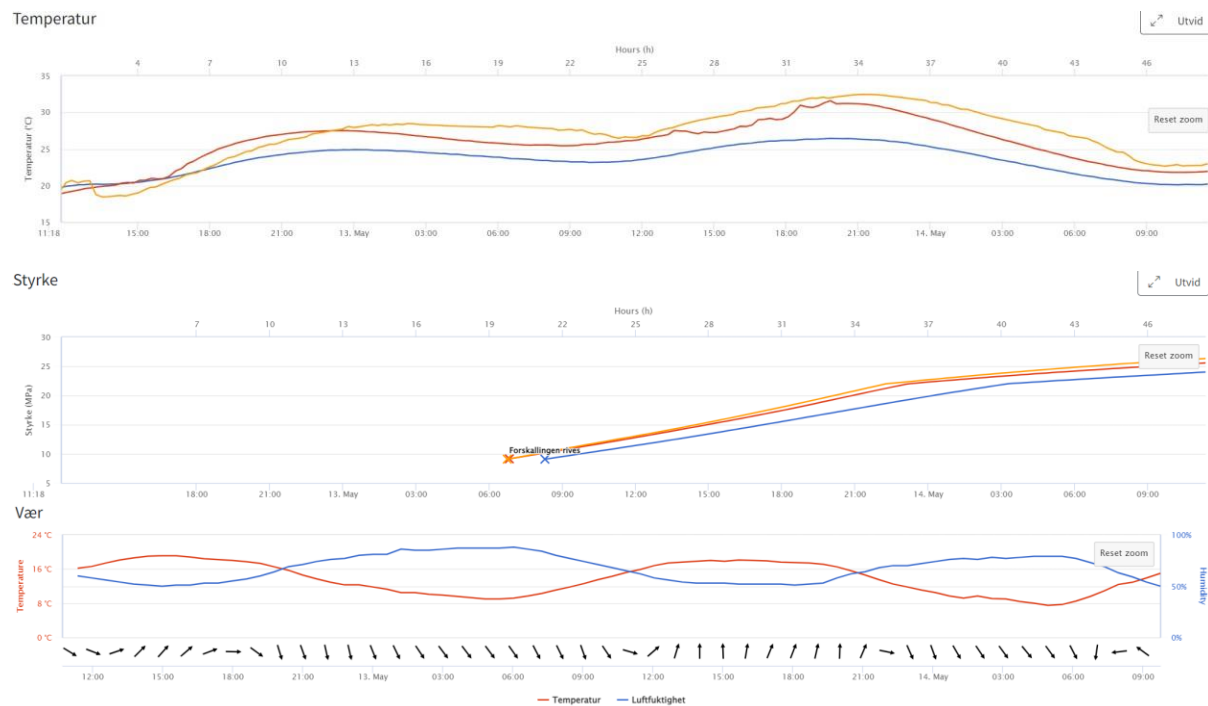
Tiltakene på støpetappe to var til dels like som på støpe etappe én. Det ble dekket på begge sider av forskalingssystemet som på første støpetappe, men det ble kun lagt opp til luftsirkulasjon én side, ved bruk av én varmpumpe istedenfor to. Det ble også benyttet en luftslange som slapp ut varme på tre punkter under presenningen. I forhold til været i perioden var dette nok varme for å oppnå tilstrekkelig trykkfasthet i betongen til å rive forskalingen dagen etter. Ved å benytte flere slanger og ved å fordele ut varmen på flere punkter under presenningen ble temperaturen jevnere, og det ble mindre temperaturforskjeller i betongen i støpetappe nr to.



Støp 2 – tildekking begge sider, men kun varmpumpe og sirkulasjon på én side.



Støp 2 – prinsippskisse for oppvarmingsprinsipp



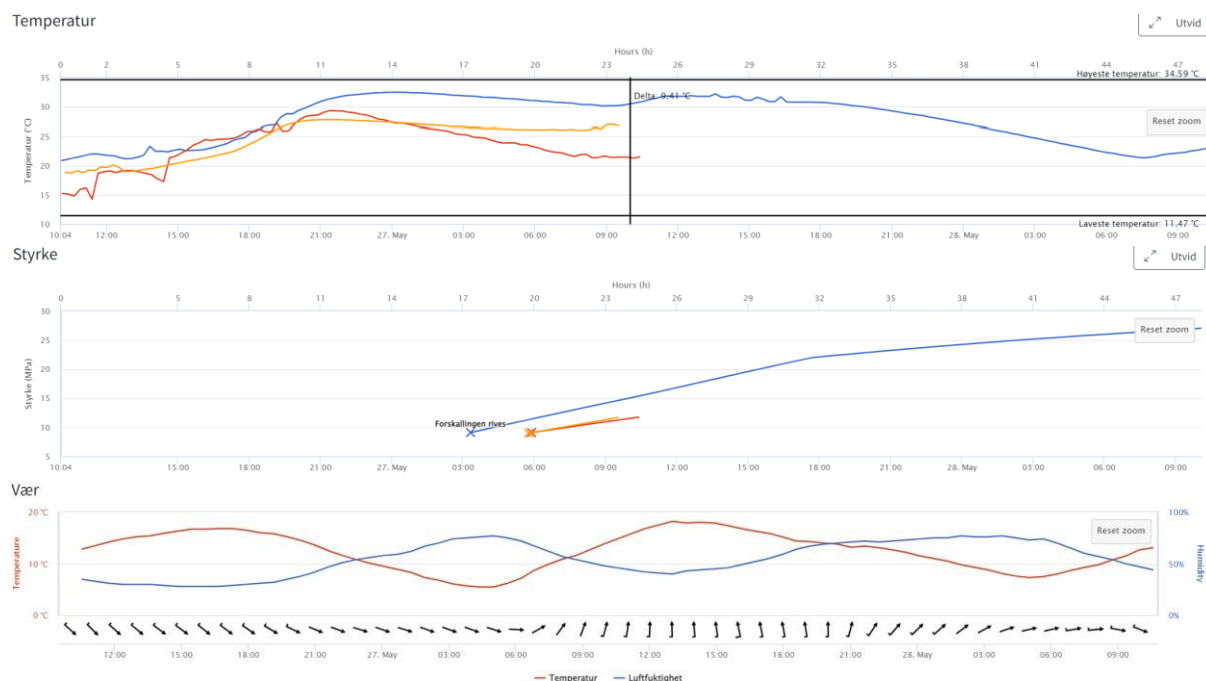
Støp 2 – logging av temperatur- og fasthetsutvikling i betongen i fire punkter, samt værdata i perioden.

Støp nr 4

På støpetappe nr 4 var det meldt relativt varmt på dagtid, men fortsatt under 10 grader på natta. Siden denne støpetappen var over en helg, ble det bestemt at det skulle forsøkes å ikke gjøre noe spesiell tildekking eller varme tiltak. Det ble lagt over vintermatter på toppen av forskaling, men ikke noe mer tildekking utover dette. Temperaturen på dagtid bidro til at herdingen kom godt i gang før det ble kjøligere på natta. Det ble videre registrert noe kaldere temperatur i toppen av betongen, men det var fortsatt tilstrekkelig styrke tidlig på morgenen til at forskalingen kunne vært revet.



Støp 4 – kun tildekking over topp.



Støp 4 – logging av temperatur- og fasthetsutvikling i betongen i fire punkter, samt værdata i perioden.