

BACHELOROPPGAVE

BACHELOROPPGAVENS TITTEL Ekstrem lavkarbonbetong – slaggsement. Minimere utfordringer knyttet til treg varmeutvikling ved vinterstøp.	DATO 25.05.2021
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 83/12
FORFATTERE Sila Bozkurt, Nils Ove Børve, Andreas Josef Hansen	VEILEDER Gro Markeset

UTFØRT I SAMARBEID MED Veidekke Entreprenør AS	KONTAKTPERSON Helga Synnøve Kjos-Hanssen
---	--

<p>SAMMENDRAG</p> <p>Økt bruk av betonger med så lavt karbonutslipp som mulig er viktig for å ivareta stadig økende miljøkrav. CEM III/B er en sement inneholdende ca 70% slagg, den har et lavt karbonavtrykk. Men den store andelen slagg gir utfordringer knyttet til treg herding, særlig ved lave temperaturer. Disse utfordringene kan minimeres ved å tilsette herdingsakseleratorer ved blanding av betong.</p> <p>Formålet med oppgaven er å finne ut hvilken mengde X-Seed som er optimal i CEM III/B SKB for å minimere utfordringene vedrørende treg fasthetsutvikling ved herding under lave temperaturer.</p> <p>For å angripe problemet utføres forsøk i betonglaboratoriet ved OsloMet. Prøveterninger blir støpt og trykktestet. Resultatene loggført og sammenlignet.</p> <p>Konkluderer med at rett mengde X-Seed hjelper betydelig ved vinterstøping.</p>
--

3 STIKKORD
CEM III/B Ekstrem lavkarbonbetong
Selvkomprimerende betong (SKB)
Herdingsakseleratoren Master X-Seed 100

Forord

I flere tusen år har betong vært kjent som byggemateriale. De gamle romerne bygget monumentale byggverk, som Colosseum og Pantheon, som står den dag i dag. At betong er et sterkt og varig materiale er det således liten tvil om. Noen av utfordringene med betong er støpeligheten og de store miljøkonsekvensene, i form av CO₂-utslipp. Og det er dette vi ønsker å sette fokus på i bacheloroppgaven vår, som vi skriver for OsloMet våren 2021, i samarbeid med Veidekke AS.

Støpeligheten har bedret seg betraktelig ved hjelp av superplastiserende stoffer (heretter SP-stoffer), basert på syntetisk framstilte co-polymerer. Disse gjør konsistensen av betongen langt bløtere, og vi kan lage selvkomprimerende betong (heretter SKB), betong som fyller godt i støpeformer uten at den trenger å vibreres.

Produksjon av tradisjonell sement står for 5-8 % av alle klimagassutslipp på verdensbasis, og blir regnet som en klimaversting (Norsk Betongforening, 2020). Det har derfor de senere år blitt fokusert mye på hvordan en kan løse dette problemet. Noen gjør det ved CO₂-fangst og -lagring, andre, som i tilfellet vi ser på, gjør det ved å redusere andelen sement i sementen. Forvirrende? Ja, kanskje, men ved å bytte ut inntil 70 % av sementen med f.eks. flygeaske eller granulert råjernslag (heretter slagg), får man en sement med mange av de samme kvalitetene, men med et betydelig lavere CO₂-utslipp. Noen av egenskapene vil derimot endres, som varmeutvikling og herdetid. For at denne typen miljøvennlig sement skal bli like anvendelig som tradisjonell sement må man tilsette f.eks. herdingsakseleratorer, spesielt ved støping i lave temperaturer.

Det vi ønsker er å finne optimal mengde av BASFs herdingsakselerator Master X-Seed 100 (heretter X-Seed) i SKB-versjonen av Schwenk sin ekstremlavkarbonsement CEM III/B.

Vi ønsker å sende en stor takk til vår eksterne veileder Helga Synnøve Kjos-Hansen hos Veidekke for uvurderlig hjelp. Det samme sendes til betongteknolog Andreas Sjaastad, også hos Veidekke. Det han ikke kan om betong er ikke verdt å kunne. Usman Razzaq på Skedsmo Betong har også vært svært god å ha med på laget. Takk også til Saja al-Batat og Sigbjørn Derås for hjelp og veiledning med bruk av laboratoriet på OsloMet. Til slutt vil vi få takke vår interne veileder Gro Markeset, som har lest gjennom flere dårlige utkast til denne oppgaven, og kommet med gode innspill for å få den så god som mulig.

En liten funfact til slutt: Det har vært vanskelig for produsentene å produsere nok HA-stoffer det siste året, da en av hovedingrediensene, natriumtiocyanat, også er en av hovedingrediensene i corona-tester.



*Bilde 1: Oppgavens forfattere inspiserer støping av høyvegger på Oksenøya i Bærum høsten 2020.
Fra venstre: Andreas J. Hansen, Sila Bozkurt og Nils Ove Børve.*

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven omhandler bruken av ekstrem lavkarbonbetong ved vinterstøping. Et stadig økende fokus på miljøet har tvunget fram bruken av dette, med alle de utfordringer det måtte føre med seg. Formålet med oppgaven er å finne hva som er optimal mengde av det herdingsakselererende tilsetningsstoffet Master X-Seed 100 for å oppnå en ønsket trykkfasthet på 5 MPa tidligst mulig, uten å forringe betongens egenskaper. Det er ved denne trykkfastheten forskaling kan rives.

Problemstillingen ble angrepet ved å støpe terninger på 100x100x100 mm av CEM III/B, en ekstrem lavkarbonsement fra Schwenk, inneholdende 70 % slagg, med forskjellige mengder X-Seed, for så å trykkteste dem etter bestemte tider. Det ble også støpt terninger inneholdende størkningsakseleratoren MasterSet AC 100 for å se om den kunne være et alternativ til X-Seed. I tillegg ble det støpt terninger av den mer vanlige betongen CEM II/B, der sementen består av 35% slagg. Dette ble gjort for å ha en referanse. Terningene ble lagret fuktig på 5 og 20 ° C. Alle forsøkene ble gjort i betonglaben på OsloMet.

For å få tilstrekkelig kunnskap om emnet ble det før laboratorieforsøkene utført et omfattende litteratursøk. I tillegg var forfatterne flere ganger på befaring ved Veidekkes anlegg på Oksenøya for å se på støping av høyvegger med selvkomprimerende betong av CEM III/B. Dette var før koronarestriksjonene satte en stopper for slike besøk.

Etter noe prøving og feiling med den første betongresepten vi fikk, fikk vi tilsendt en ny fra vår leverandør Skedsmo Betong. Alle de kaldlagrede terningene av CEM III/B ble støpt med denne resepten.

Resultatene av denne oppgaven viser at de akselererende stoffene virker som forutsatt, men at det fortsatt er noen utfordringer knyttet til bruk av ekstrem lavkarbonbetong om vinteren. Videre viser resultatene også at å øke doseringsmengden av X-Seed kun er nyttig opp til en viss mengde.

Konklusjonen blir at med den rette doseringen av X-Seed vil ekstrem lavkarbonbetong kunne benyttes til vinterstøping. Det ble ikke gjort funn som viser at X-Seed har effekt på langtidsherden til CEM III/B.

Abstract

This bachelor thesis deals with the use of extreme low-carbon concrete in winter. A growing focus on the environmental issues has forced the use of this material forward, with all the challenges it entails.

The purpose of the thesis is to find the optimal amount of the hardening accelerator Master X-Seed 100 to achieve a required pressure strength of 5 MPa at the earliest time, without damaging the concrete's qualities. It is at this compressive strength the falsework can be taken down.

The issue was addressed by casting cubes of 100x100x100 mm of CEM III/B, an extreme low-carbon cement from Schwenk containing 70% slag, with different amounts of X-Seed, to then crush them in a machine at set times. Cubes containing the set accelerating admixture MasterSet AC 100 were also made, to see if that could be an alternative to X-Seed.

Additionally, cubes of the more commonly used concrete CEM II/B, where the cement contains 35 % slag, were cast to use as a reference. The cubes were stored moist at 5 and 20 degrees Celsius. All the experiments were done at the concrete laboratory at OsloMet.

To acquire an adequate amount of knowledge on the topic, a comprehensive literature study was carried out. The authors were also several times visiting Veidekke's construction site at Oksenøya to behold the forming of high walls made of self-compacting concrete of CEM III/B. This was before the corona-restrictions put an end to these kinds of visits.

After some trying and failing with the first concrete recipe, we got a new one from our dealer, Skedsmo Betong. All the cold-stored cubes made of CEM III/B were made with this recipe.

The results of our research shows that the accelerating admixes work as intended, but there are still some challenges concerning the use of low-carbon concrete in winter. Furthermore, the results shows that adding more X-Seed is only useful up to a certain point.

The conclusion is that with the right amount of X-Seed, low-carbon concrete will be usable for winter moulding. No findings showing that X-Seed had an impact on the long term hardening of CEM III/B were found.

INNHOOLD

FORORD	II
SAMMENDRAG	IV
ABSTRACT	V
INNHOOLD	VI
LISTER	VIII
DEFINISJONER	VIII
FORKORTELSER	IX
TABELLISTE	X
FIGURLISTE	XI
FORMELLISTE	XII
BILDELISTE	XII
RELEVANTE STANDARDER	XIII
1 INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 LITTERATURSTUDIE	2
1.3 DEN MEST MILJØVENNLIGE SEMENTTYPEN PÅ DET NORSKE MARKEDET	8
1.4 NORSK BETONGFORENING S PUBLIKASJON NR. 37 «LAVKARBONBETONG»	9
1.5 KLIMAGASSUTSLIPP CEM II/B B35 M45 OG CEM III/B B35 M45	11
1.6 FORMÅL	13
1.7 PROBLEMSTILLING/DELSPØRSMÅL	14
1.8 OPPGAVENS RELASJON TIL VEIDREKES PROSJEKT OKSENØYA SENTER I BÆRUM	15
1.9 AVGRENSNINGER	15
2 TEORI	16
2.1 MILJØ	16
2.1.1 Life Cycle Assessment (livsløpsanalyse - LCA)	16
2.1.2 BREEAM-NOR	17
2.1.3 Environmental Product Declaration (EPD)	17
2.1.4 Klimaregnskap	18
2.2 BETONG	18
2.2.1 Sementproduksjon	19
2.2.2 Klassifisering av sement	19
2.2.3 Portlandsement	22
2.2.4 Tilslag	22
2.2.5 V/C – forhold	24
2.2.6 Masseforhold	25
2.2.7 Hydratisering	26
2.3 TILSETNINGSMATERIALER	26
2.3.1 Pozzolanreaksjonen	27
2.3.2 Silikastøv	27
2.3.3 Flygeaske	27
2.3.4 Slagg	28
2.4 TILSETNINGSTOFFER	29
2.4.1 Herdingsakselererende stoffer	29
2.4.2 Størkningsakselererende stoffer	30
2.4.3 Superplastiserende tilsetningsstoff	31
2.5 BETONGTYPER	33
2.5.1 Normalbetong	33
2.5.2 Sprøytebetong	33
2.5.3 Selvkomprimerende betong	33

2.6	HERDETEKNOLOGI	34
2.6.1	Varmeutvikling	34
2.6.2	Varmetap	38
2.6.3	Hydratasjonsforløpet.....	38
2.6.4	Herdeforløpet.....	40
2.6.5	Temperatur påvirker herdeegenskaper	41
2.6.6	Vinterstøp.....	42
3	METODE	43
3.1	DRØFTING AV METODER	43
3.2	VALGT METODE	43
3.3	CEM II/B SKB – BETONGRESEPT.....	45
3.4	CEM III/B SKB – BETONGRESEPT VERSJON 1 (R1)	46
3.5	CEM III/B SKB – BETONGRESEPT VERSJON 2 (R2)	47
3.6	TO ULIKE RESEPTER FOR CEM III/B	47
3.7	VANNINNHOLD I TILSLAG.....	49
3.8	VANNINNHOLD I AKSELERATORER (HA OG SA).....	51
3.9	KONTROLL AV RESEPTENE FØR BLANDING	52
3.10	BLANDEPROSEDYRE	52
3.11	SLUMPUTBREDELSESMÅL	54
3.12	KVALITET SLUMPUTBREDELSE.....	55
3.13	SLUMPUTBREDELSE OVER TID.....	55
3.14	STØPING AV PRØVELEGEMER	55
3.15	MÅLING AV FASTHETSUTVIKLING	57
3.16	BRUDDFORM.....	58
3.17	METODEKRITIKK.....	59
3.17.1	Validitet	59
3.17.2	Reliabilitet.....	59
3.17.3	Objektivitet.....	60
3.17.4	Generaliserbarhet.....	61
4	RESULTAT	62
4.1	FASTHETSUTVIKLING, RESULTATER FRA LABORATORIEFORSØKET	62
4.2	FASTHETSUTVIKLING CEM III/B VED 5 °C.....	68
4.3	OPPNÅDD UTBREDELSESMÅL OG VISUELL KONTROLL AV SLUMPUTBREDELSE	69
4.4	BEGRENSNINGER	70
5	DISKUSJON	72
5.1	CEM III/B LAGRET VED 5°C; FASTHET PÅ 5 MPA OG OPTIMAL MENGDE X-SEED	72
5.2	ØKT FARE FOR SEPARASJON?	75
5.3	SA SOM ALTERNATIV TIL X-SEED.....	75
5.4	X-SEED PÅVIRKER FASTHETSUTVIKLINGEN TIL CEM III/B	76
5.5	X-SEED PÅVIRKER FASTHETSUTVIKLINGEN TIL CEM II/B	76
5.6	FRA 35 – 80 %, SLAGG SOM ERSTATNINGSMATERIALE.....	77
5.7	LANGTIDSHERDING	77
6	FEILKILDER.....	78
7	KONKLUSJON.....	79
	KILDELISTE.....	80
	VEDLEGG	84

Lister

Definisjoner

- Adiabatisk prosess – prosess uten energiutveksling mellom omgivelser.
- Akselerator – brukes for å øke hastigheten til en reaksjon
- Bindemiddel – materialer som tilsettes for å binde alt sammen.
- Eksoterm prosess – prosess der varme utvikles og stråler ut til omgivelsene (f.eks. hydratasjonen mellom sement og vann).
- Filler – partikler $< 0,125$ mm
- FutureBuilt – program som skal vise at det er mulig å utvikle klimanøytrale byområder med arkitektur av høy kvalitet
- Granulert råjernslagget – Slagget som ligger igjen som restprodukt etter råjernproduksjon holder $1350 - 1550$ grader celsius. For at slagget skal kunne fungere i blanding med Portlandsement må det avkjøles hurtig. Når dette blir gjort utfelles slagget som glass, i form av granulater på $4-5$ mm eller mindre.
- K-faktor – effektivitetsfaktor som uttrykker effektiviteten til et gitt tilsetningsmateriale i forhold til sement.
- Kalsiumhydroksid – $CA(OH)_2$ kalles løskrystaller og er ett av reaksjonsproduktene etter hydratasjonsreaksjonen mellom sement og vann.
- Kalsiumsilikathydrat – CSH forbindelser, kalles fastkrystaller og er ett av reaksjonsproduktene etter hydratasjonsreaksjonen mellom sement og vann.
- Kapillærporer – Porer i herdet betong som oppstår når overskuddsvann etter hydratiseringen tørker ut.
- Komposittsement – blandet sement
- Matriks – det frie vannet (vann som ikke er absorbert av tilslag, sement og andre finkornede partikler) og tilslag som er mindre enn $0,125$ mm.
- Matriksfase – det flytende som omslutter partiklene i en betong og fyller alle hulrom.
- Modenhet – herdetid betongen må ha for å oppnå samme fasthet som betongen ved $20^{\circ}C$ får.
- MPa – Megapascal. Trykkfasthet. $1 \text{ Mpa} = 1 \text{ N/mm}^2$.
- Parisavtalen – internasjonal avtale med felles mål om å redusere klimaendringene
- Portlandsement – navnet på sement som opprinnelig ble produsert i Portland. I dag en kvalitetsbetegnelse på sement der ikke noe av klinkeren er erstattet med andre materialer.

- Pozzolaner / pozzolane materialer – materialer med evne til å reagere kjemisk med kalsiumhydroksid.
- Reologi – læren om væskers oppførsel.
- Retarder – Materiale eller stoff som forsinker hydrasjonsprosessen mellom sementkorn og vann.
- Sementpasta / pasta / sementlim: Dette er fellesuttrykk for vann, sement og tilsetninger blandet sammen.
- Støpelighet – Betongens evne til, uten å separere, å fylle forskalingen og omslutte armeringen.
- Temperaturfølsomhet – parameter i hastighetsfunksjonen.
- Treg betong – Hydratiseringen går sakte i starten og gir lavere tidligfasthet.
- v/c-forhold – forholdstallet mellom vann og sement.
- Vinterstøping – Støpearbeider som utføres ved temperaturer lavere enn 5°C.
- Viskositet – Væskeseighet.

Forkortelser

- BREEAM-NOR: BREEAM-NORGE
- BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
- CA(OH)₂: Kalsiumhydroksid
- CSH: Kalsiumsilikathydrat
- EPD: Environmental product declaration – dokument basert på informasjon om produktets miljøprestasjon gjennom hele livssyklusen.
- LCA: Life cycle assessment – vurdering av et produkts miljø- og ressurspåvirkning gjennom hele livssyklusen.
- SKB: Selvkompimerende betong – betong hvor synkutbredelsesmål > 650 mm.

Tabelliste

Tabell 1: CO ₂ -utslipp fra tilgjengelig sementtyper i Norge per 2020 (Norsk Betongforening, 2020)	9
Tabell 2: CEM II/B og CEM III/B - utslippsmengde og plassering i lavkarbonklasser iht NB. 37	13
Tabell 3: Utdrag av sementtypene i NS-EN 197-1/7 (Maage, 2015).	21
Tabell 4: Fysiske og mekaniske krav fra NS-EN 197-1, tidlig- og standardfasthet (Maage, 2015).....	21
Tabell 5: De fire hovedmineralene i Portlandsement (Maage, 2015).	22
Tabell 6: Tilslaget defineres etter størrelsen (Maage, 2015).	23
Tabell 7: Resept fra Skedsmo Betong, B35 M45 C10, 1Dmax20S SKB. V/C= 0,445.....	45
Tabell 8: Resept fra Skedsmo Betong, B35 M45 C10, 1Dmax20s SKB- CEM III/B, Lavkarbon Ekstrem. V/C=0,445.....	46
Tabell 9: Resept fra Skedsmo Betong, B35 M45 C10, 1Dmax20s SKB – CEM III/B Lavkarbon Ekstrem. V/C= 0,445.....	47
Tabell 10: Detaljert blandedprosedyre.....	52
Tabell 11: Tidspunkter for trykktesting CEM II/B (5°C og 20°C) og CEM III/B (20°).....	57
Tabell 12: Tidspunkter for trykktesting CEM III/B (5°C)	57
Tabell 13: Fasthetsutvikling fra Skedsmo Betong. CEM III/B med 1,5% X-Seed lagret ved 5°C.....	59
Tabell 14: Fasthetsutvikling fra eget arbeid	60
Tabell 15: Fasthet etter 18 timer ved 20°C og 5°C.	62
Tabell 16: Fastheter etter 20 timer ved 5°C.	63
Tabell 17: Fastheter etter 22 timer ved 5°C.	63
Tabell 18: Fasthet etter 1 døgn ved 20°C og 5°C.....	63
Tabell 19: Fasthet etter 2 døgn ved 20°C og 5°C.....	64
Tabell 20: Fasthet etter 7 døgn ved 20°C og 5°C.....	65
Tabell 21: Fasthet etter 28 døgn ved 20°C og 5°C.....	66
Tabell 22: Fasthet etter 56 døgn ved 20°C og 5°C.....	67
Tabell 23: Forbedring av utbredelsesmål ved ekstra tilsetning av SP-stoff.	69
Tabell 24: Tiden CEM III/B bruker å oppnå en fasthet på 5 MPa og stipulert utvikling ved økende dosering.....	74

Figurliste

Figur 1: Karbonregnskap for konstruksjonsbetong. (Norsk Betongforening, 2020).....	1
Figur 2: 28 døgns fasthet ved ulike mengder flygeaske og kalksteinpuler. (De Weerd, 2011)	3
Figur 3: Den positive effekten ulike akseleratorer har på tidligfasthet (Bost et al., 2016).....	4
Figur 4: Utvikling av tidligfasthet for betongrespter med og uten X-Seed (Hansrud, 2017).	5
Figur 5: 24-timers trykkfasthet Mapefast HA (Solbraa, 2018).....	6
Figur 6: 24-timers trykkfasthet Mapefast Ultra N (Solbraa, 2018).....	6
Figur 7: 24-timers trykkfasthet Master X-Seed 100 (Solbraa, 2018).	7
Figur 8: Lavkarbonbetongklasser (Norsk Betongforening, 2020).....	10
Figur 9: Systemgrenser for utregning av karbonavtrykk til betongresepter brukt i oppgaven (vedlegg A1).....	11
Figur 10: Verdier for klimagassutslipp til betongen CEM II/B B35 M45 (EPD Skedsmo betong, 2019).12	12
Figur 11: Verdier for klimagassutslipp til betongen CEM III/B B35 M45 (EPD Skedsmo betong, 2019)12	12
Figur 12: Sammensetning av betong. Hentet fra Statens vegvesen «Teknologidagene» 2017.	18
Figur 13: Siktesats og ideel siktekurve. Hentet fra OsloMet «Betongens delmaterialer» 2019.....	23
Figur 14: Sammenheng mellom v/c-tall, porevolum og trykkfasthet (Onyango Orony, 2019)	25
Figur 15: Virkning av størknings- og herdingsakselerator på varmeutviklingen under hydrasjonsforløpet. 1: Betong uten akselerator, 2: Betong med SA, 3: Betong med HA. (Byggforsk) 31	31
Figur 16: Virkemåte for co-polymerer (Maage, 2015)	32
Figur 17: Varmeutvikling av betong herdet 200 timer ved 20°C (Maage, 2015).....	35
Figur 18: Varmeutvikling av Lavkarbon Ekstrem ved temperatur mellom 2 og -5°C. X-aksen representerer temperatur i betong, Y-aksen representerer tid.....	36
Figur 19: Varmeutvikling av Lavkarbon Ekstrem ved temperaturer mellom 0 og 11°C. X-aksen representerer temperatur i betong, Y-aksen representerer tid.....	36
Figur 20: Varmeutviklings 5 reaksjonsfase (Rasmussen, 2011).....	37
Figur 21: Hastighetsfunksjonen for to ulike betongtyper ved stigende temperatur (Byggforsk).....	39
Figur 22: Temperaturens innvirkning på hydratiseringshastigheten (Rasmussen, 2011).	40
Figur 23: Formler for utregning av fukt i tilslag.....	51
Figur 24: Eksempel på utregning av oppmålt mengde tilslag.....	51
Figur 25: Utregning av justering av vannmengde ved tilsetning av X-Seed.	51
Figur 26: Eksempel på utregning av justering av vannmengde ved tilsetning av X-Seed.	52
Figur 28: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 18 timer. Referanse er CEM II/B uten X-Seed.	62
Figur 29: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 1 døgn	63
Figur 30: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 2 døgn.	64

Figur 31: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 7 døgn.	65
Figur 32: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 28 døgn.	66
Figur 33: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 56 døgn.	67
Figur 34: Fasthetsutvikling av CEM III/B ved 5°C.	68
Figur 35: Oversikt over når de ulike reseptene oppnår 5 MPa ved 5°C.	68
Figur 36: Visuell kontroll av utbredelse.	70
Figur 37: Graf som viser når CEM III/B har en fasthet på 5 MPa og stipulert utvikling ved økende dosering X-Seed.	73

Formelliste

Formel 1: Adiabatisk temperaturstigning

Formel 2: Aktiveringsenergi

Formel 3: Hastighetsfunksjonen

Bildeliste

Bilde 1: Oppgavens forfattere inspiserer støping av høyvegger på Oksenøya i Bærum høsten 2020.

Fra venstre: Andreas J. Hansen, Sila Bozkurt og Nils Ove Børve.

Bilde 2: Utbredelse R1 med tørrhet i senter.

Bilde 3: Utbredelse R2 nesten uten tørrhet.

Bilde 4: En kilo tilslag veies opp.

Bilde 5: Tilslaget tørkes.

Bilde 6: Ferdig tørket tilslag veies.

Bilde 7: Oppveiing av X-Seed.

Bilde 8: Oppveiing av SP-stoff, Master Glenium.

Bilde 9: Oppveiing av silikastøv.

Bilde 10: Oppveiing av sement, CEM III/B.

Bilde 11: Sila og Nils Ove tilsetter vann under blanding i laboratoriet ved OsloMet.

Bilde 12: Andreas tilsetter X-Seed under blanding i laboratoriet ved OsloMet.

Bilde 13: Plate for utbredelse fuktes før bruk og overskytende vann fjernes.

Bilde 14: For lavt utbredelsesmål på ca 400 mm. Må tilsettes med SP eller blandes på nytt.

Bilde 15: Utbredelsesmål på ca 600 mm. Godkjent for støping av prøveterninger.

Bilde 16: Prøveterninger fuktet og pakket til kaldlagring.

Bilde 17: Prøveterninger til lagring ved 20°C.

Bilde 18: System for lagring i vannbad.

Bilde 19: Nils Ove trykktester terninger.

Bilde 20: Bruddformer på trykktestede terninger.

Bilde 21: Sila inspiserer bruddform etter trykktesting.

Bilde 22: Kvalitet på slumputbredelse.

Relevante standarder

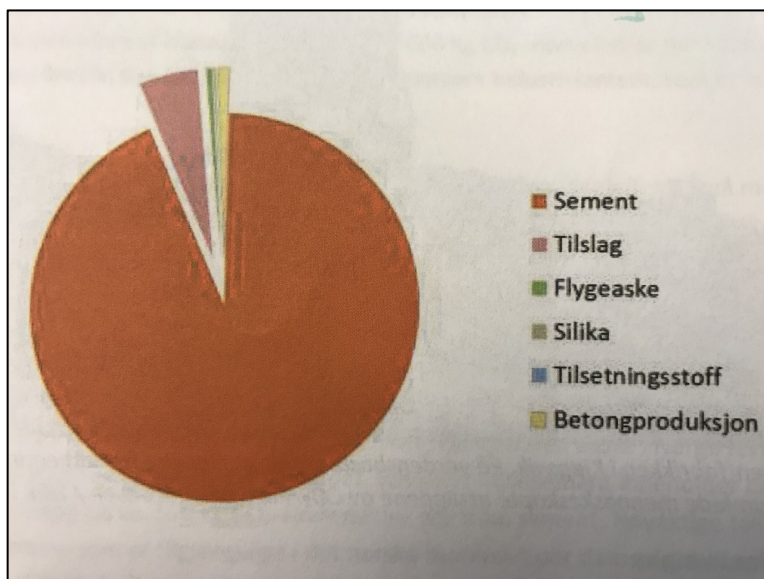
- NS-EN 206 *Betong — Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*
- NS-EN 13670 *Utførelse av betongkonstruksjoner*
- NS-EN 197-1 *Sement – Del 1: sammensetting, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*
- NS-EN 196-1/9 *Sementprøving – Del 1: bestemmelse av fasthet*
- NS-EN 12504-1 *Prøving av betong i konstruksjoner – Del 1: kjerneprøver, uttaking, vurdering og prøving av trykkfasthet*
- NS-EN 1097-5 *Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 5: bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørketap*
- NS-EN 12350-8 *Prøving av fersk betong – Del 8: Selvkomprimerende betong*
- NS-EN 12390-1 *Prøving av herdnet betong – Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former*
- NS-EN 12390-2 *Prøving av herdnet betong – Del 2: Støping og herding av prøvelegemer for fasthetsprøving*
- NS-EN 12390-4 *Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet*

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det blir stadig større fokus på miljø. FNs bærekraftsmål har satt en verdensomspennende standard for hvordan vi må forholde oss til miljø og bærekraft. Da Parisavtalen ble vedtatt i 2015 ble det berømte 2-graders målet satt. Verdens CO₂ utslipp skal reduseres slik at temperaturen på jorda ikke øker mer enn 2°C. Norge er forpliktet til å kutte nasjonens utslipp med minimum 40% innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå (FN, 2016). Hvilket ansvar må byggenæringen ta i denne sammenhengen? Denne bransjen blir kalt for 40%-næringen fordi den bidrar til å bruke nettopp 40% av alle verdens ressurser (Hatling et al., 2020). En del av dette knytter seg til produksjon av betong.

Betong er det mest brukte byggematerialet i verden og i Norge (Gjerp et al., 2004). Under ser vi Figur 1 som grovt viser karbonregnskapet for en typisk konstruksjonsbetong. I fordelingen er det tatt hensyn til både transport til fabrikk, energi brukt ved produksjon og utslipp ved tillaging av de ulike delmaterialene.



Figur 1: Karbonregnskap for konstruksjonsbetong. (Norsk Betongforening, 2020)

Her er det enkelt å se at sementen i betong dominerer totalt når det gjelder utslipp. Sement kan stå for over 90 % av det totale klimagassutslippet knyttet til betong, og på verdensbasis

utgjør sementproduksjon 5-8 % av alle menneskeskapt utslipp av CO₂. Her kan byggenæringen ta sin del av ansvaret ved å minimere bruken av tradisjonell portlandsement.

Det er vanskelig å minimere utslippene fra produksjonen av sement. For at sement skal kunne gi et lavere karbonavtrykk må en andel av portlandsementklinkeren erstattes med andre materialer som gir et bedre miljøregnskap (Norsk Betongforening, 2020).

1.2 Litteraturstudie

Hva har blitt gjort for å redusere CO₂ utslippene knyttet til produksjon og bruk av betong?

Hvilke utfordringer gir det å bytte ut noe av sementklinkermengden med erstatningsmaterialer?

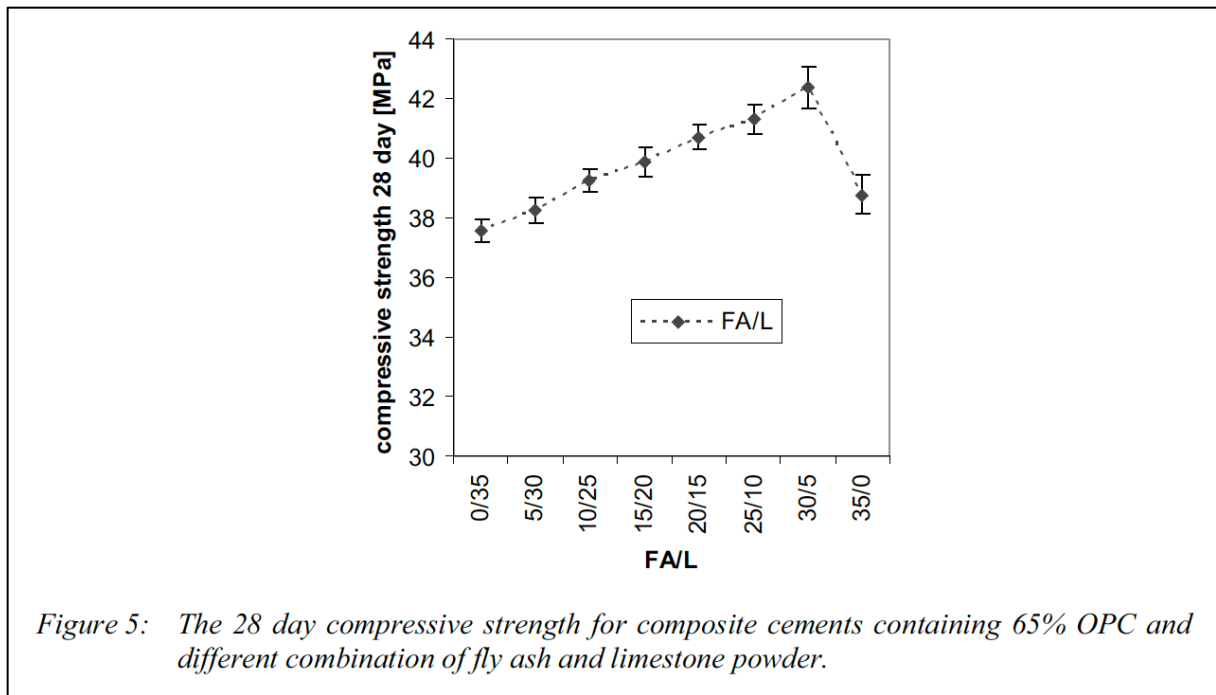
Er alle herdingsakseleratorer like effektive?

Bli lavkarbonsementer valgt i byggeprosjekter?

En doktoravhandling fra NTNU i 2011 «Blended cement with reduced CO₂ emission – utilizing the fly ash-limestone synergy» har vært viktig for utviklingen av nye typer sement med lavere klinkerinhold (De Weerd, 2011). Målet med studiet var å bidra til å utvikle en portland-komposittsement for bruk i Norge. Klaartje De Weerd fant ut at ved å erstatte 35 % av portlandsementklinkeren med henholdsvis 30 % flygeaske og 5 % kalksteinspulver økte 28 døgnsfastheten betraktelig.

Da De Weerd startet sin studie ble følgende sementer produsert i Norge: CEM I med opptil 5 % kalksteinspulver og CEM II/A-V med opptil 18% flygeaske (men uten kalksteinspulver).

Året etter De Weerds PhD, i 2012 lanserte Norcem en EPD for en sement med 35% substituttmateriale. Denne sementen hadde utslipp på 488 kg CO₂/tonn sement. Det var en reduksjon i utslipp på 35% sammenlignet med den tradisjonelle CEM I, og 50 % reduksjon fra sementer brukt på 90-tallet (De Weerd, 2011).



Figur 2: 28 døgns fasthet ved ulike mengder flygeaske og kalksteinpulver. (De Weerd, 2011)

Figur «2» viser hvilket forhold mellom flygeaske og kalksteinpulver som gav best resultat på 28 døgns fasthet. De Weerd fant ut at å bytte ut flygeaske med kalksteinpulver øker fastheten når herding foregår både ved 5, 20 og 40°C. Hennes funn viser at det å bytte ut deler av portlandsementklinkeren med kombinasjonen flygeaske og kalksteinpulver ikke bare gir lavere klimagassutslipp, men i tillegg en ekstra gevinst i form av høyere fasthet (De Weerd, 2011).

En masteroppgave fra NTNU i 2012 «Powerhouse – Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene» beskriver tre ulike tiltak for bæresystemet i Powerhouse-prosjektet på Brattørkaia i Trondheim, og anslår prosentvis størrelse på hvor stor effekt disse kan ha for reduksjon av betongens karbonavtrykk (Ollendorff, 2012). Ett av tiltakene er «Optimalisert karbontype, lavkarbonbetong», Ollendorff fant at denne betongen gav en karbonreduksjon på 10-20%.

Hun skriver følgende på side iii:

Flatdekket har størst betongvolum, og har dermed mest å hente på forbedring av betongens innebygde energi. Elementløsningene, hulldekket og BubbleDeckplaten har begge utgangspunkt i lite energieffektive betonger per i dag; hulldekket for å

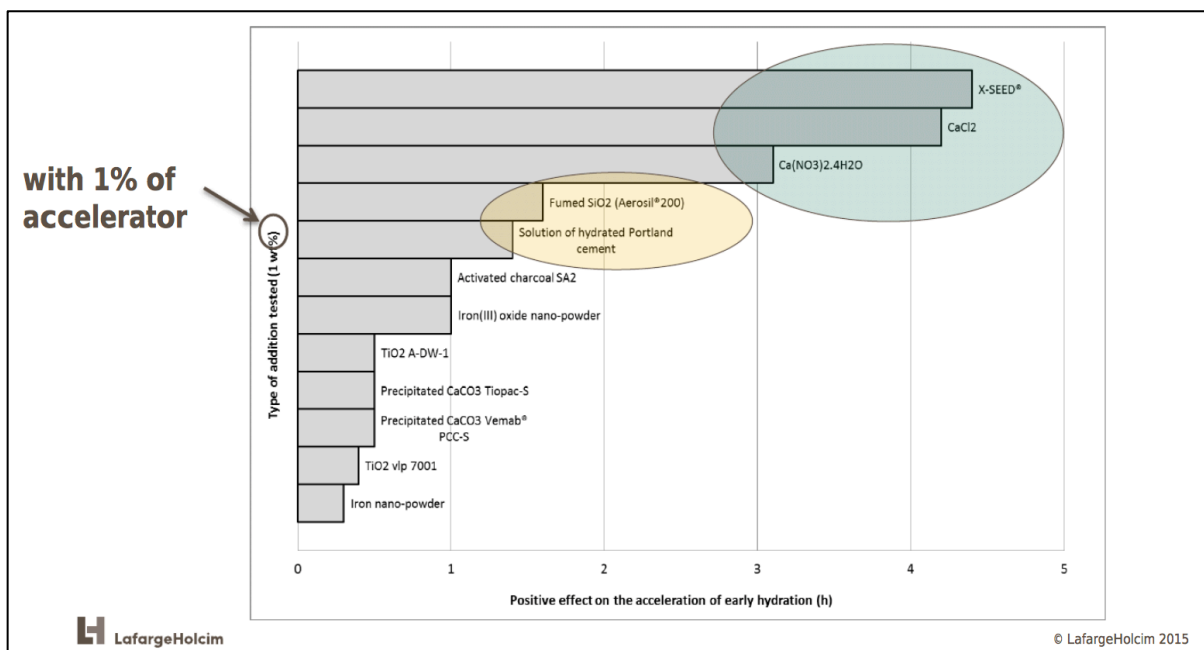
begrense herdetid av hensyn til produksjonen, BubbleDeck for å eliminere behov for vibrering av hensyn til plastkuler. Elementene har derfor også et vesentlig forbedringspotensial til tross for mindre betongvolum.

Hun skriver på side 90 angående hulldekker som blir omtalt som utslagsgivende bygningskomponenter for energiregnskapet ved Brattørkaia:

Ved 20 % sementerstatning reduseres innebygd energi i hulldekkene med omkring 10 %. Dersom erstatningen økes til 33 %, reduseres elementets energibidrag med cirka 16 %. Dette tilsvarer henholdsvis 7,5 % og 12 % energibesparelse for bæresystemet (Ollendorff, 2012).

Her ser vi altså at sementer inneholdende redusert mengde portlandsementklinker har blitt valgt bort på grunn av utfordringer knyttet til treg herding og lav tidligfasthet. Dette er vanlige utfordringer for lavkarbonsementer, men ved å tilsette herdingsakseleratorer ved blanding av betong kan disse utfordringene minimeres.

En fransk studie utført for Lafarge Holcim i 2016 har sett på utviklingen av tidligfasthet i portlandsement ved 20°C (Bost et al., 2016). Det ble tilsatt ulike akselererende tilsetningsstoffer med økende dosering, og v/c-tallet var 0,45 i alle blandinger.



Figur 3: Den positive effekten ulike akseleratorer har på tidligfasthet (Bost et al., 2016).

Det konkluderes med at X-Seed er den klart mest effektive akseleratoren. Det ble observert at X-Seed gav særlig gode resultater i forhold til andre akseleratorer når mengden var 1% av bindemiddelmengden eller mindre (Bost et al., 2016)

En Case-studie fra NTNU i 2017 fra Powerhouse-prosjektet Brattørkaia «Lavenergibetong til Powerhouse One – prosjektet». Her ble ulike betongresepter testet ut for å undersøke hvilke som kunne tilfredsstille prosjektets strenge krav til tidligfasthet og mengde innebygget energi (Hanserud, 2017). Hanserud beskriver slaggsementens utfordringer knyttet til lav tidligfasthet og undersøker herdingsakselerator som mulig løsning på dette. Figur 4 viser resultater fra test av syv ulike resepter. Resept 3 og 4 er Standard FA med og uten X-Seed. Resept 6 og 7 er slaggsement uten og med X-Seed.

Tidspunkt [døgn]	Resept						
	1	2	3	4	5	6	7
0,5	0,00	0,00	4,77	0,00	3,33	2,03	3,58
1	5,07	4,33	16,48	12,96	10,10	11,74	15,11
2	7,47	6,13	22,84	21,34	13,86	18,85	21,25
3	8,97	7,13	26,31	26,53	16,47	24,57	26,90
7	12,24	8,45	37,85	38,05	24,27	41,13	42,38
28	24,13	18,64	62,84	65,24	43,10	62,75	62,00

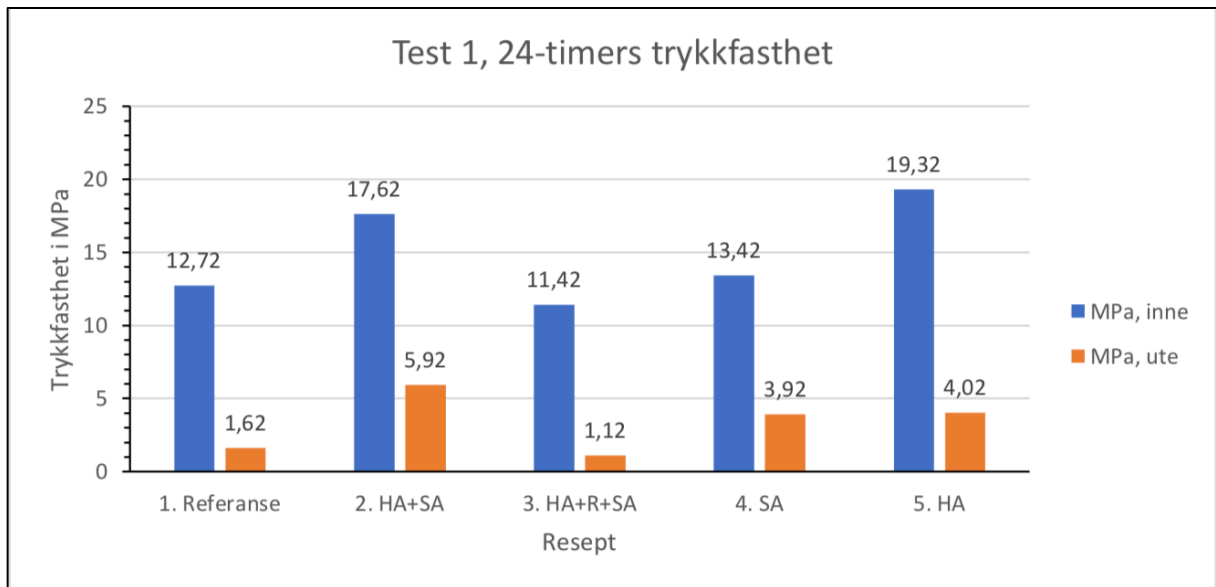
Figur 4: Utvikling av tidligfasthet for betongrespter med og uten X-Seed (Hanserud, 2017).

Hanserud viser at slaggsementer kan oppnå tilnærmet like høy 28 døgns fasthet som sementer fra klasse CEM II ved hjelp av herdingsakseleratoren X-Seed. Men alle disse prøvene er herdet ved 20°C . Hvordan fungerer X-Seed ved temperaturer <5°C?

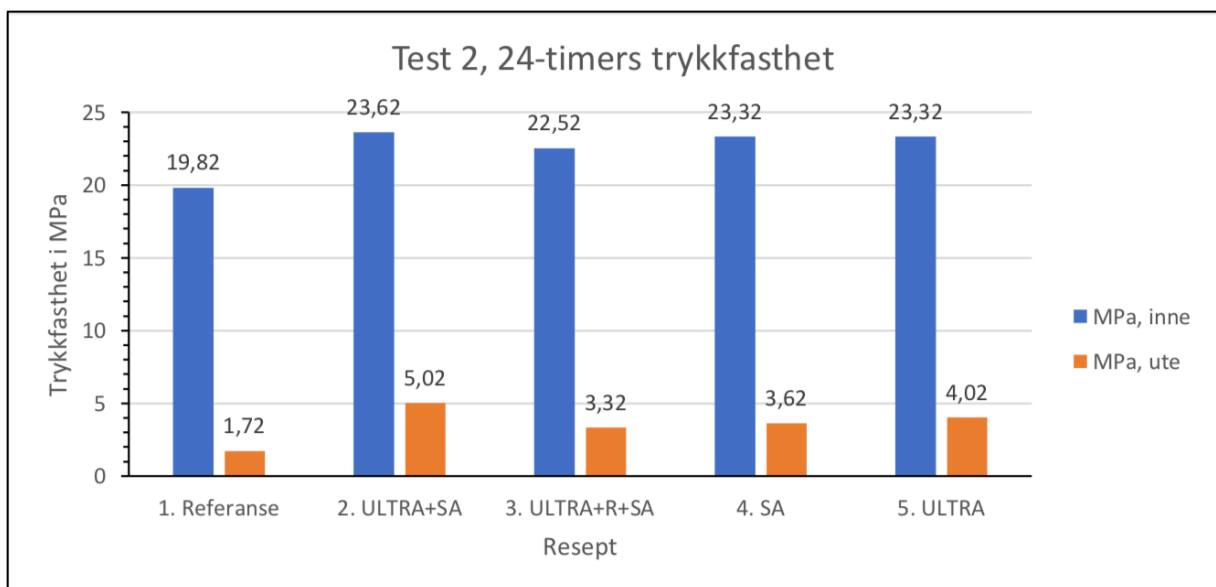
Vi kan lese fra Hanseruds tabell at X-Seed øker kun tidligfastheten. Effekten er størst i starten. Så avtar den fram mot 28 døgn.

En masteroppgave fra NMBU i 2018 “Eksperimentell undersøkelse av akseleratorer i gulvbetong i kaldt klima” undersøker hvordan ulike akselererende tilsetningsstoffer påvirker resepter for gulvbetong ved vinterstøping (Solbraa, 2018). Her er det glattetidspunktet til gulvet som står i sentrum for undersøkelsene (et betonggulv glattes i betongens avbindingsfase). Solbraa konkluderer med at de ulike tilsetningsstoffene gir

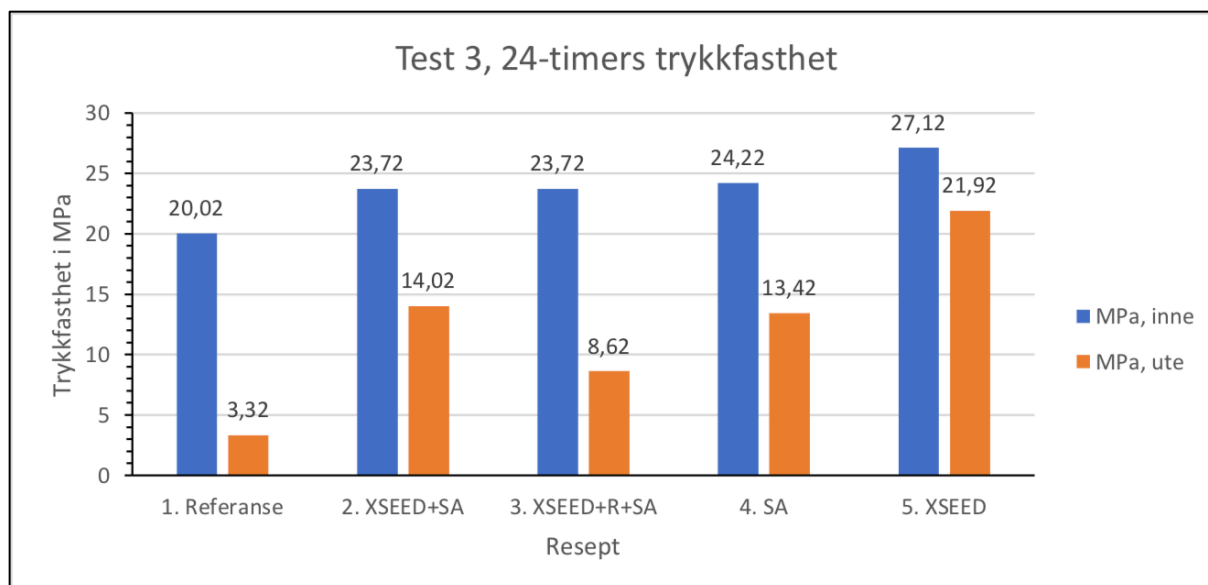
positiv effekt på flere områder, men ikke alle er like effektive ved lave temperaturer. X-Seed gir samlet sett best resultat. Under vises resultatene fra tre ulike tester der herdingsakseleratorene Mapefast HA og Mapefast ultra N fra Mapei og Master X-Seed 100 fra BASF/Master Builders Solutions er brukt. Resultatene til herdingsakseleratorene ved lave temperaturer vises som oransje søyle helt til høyre i figurene.



Figur 5: 24-timers trykkfasthet Mapefast HA (Solbraa, 2018).



Figur 6: 24-timers trykkfasthet Mapefast Ultra N (Solbraa, 2018).



Figur 7: 24-timers trykkfasthet Master X-Seed 100 (Solbraa, 2018).

Vi ser at Master X-Seed 100 gir størst mulig økning i trykkfasthet både ved varm og kald temperatur (Solbraa, 2018).

Solbraa avslutter sin masteroppgave med en oppfordring til videre arbeid med undersøkelser av akseleratorer.

“For å få bedre kunnskap om akselererende tilsetningsstoffers innvirkning på betong i kaldt klima, bør samme framgangsmåte som utført i denne oppgaven prøves med andre betongresepter. F.eks. en betong med fasthetsklasse B35. Det vil også være interessant å prøve ut framgangsmåten med større prosentvis tilsetning av akselererende stoffer, mer tilsvarende det en betongfabrikk kan tilsette direkte i produksjon. Undersøkelsene i denne oppgaven har fokusert på gulvbetong, men det bør også gjennomføres undersøkelser i likhet med denne på f.eks. veggbetong” (Solbraa, 2018).

Litteraturen viser at det å erstatte en andel av portlandsementklinker for at betonger skal oppnå lavere karbonavtrykk allerede har vært gjort en god stund. I Norge var De Weerdts sine funn i 2011 viktige i denne sammenhengen. Hun så på flygeaske i kombinasjon med kalkstein. Men NS-EN 206 /8/ har bare bruksregler som tillater utskifting av opptill 35% av klinkermengden når det brukes flygeaske (CEM II/B-V). For å kunne oppnå ytterligere

karbonavtrykksreduksjon, må vi se til sementtypene CEM III/A og CEM III/B, slaggsementer hvor standarden åpner for å bytte ut opptil 80 % av portlandsementklinkeren med granulert råjernslag (Standard Norge, 2021).

Videre viser litteraturen at lavkarbonbetongenes utfordringer er knyttet til treg herdeprosess særlig ved lave temperaturer. Dette har vært grunn til at mindre miljøvennlige sementtyper er valgt i store byggeprosjekter i Norge. Tregheten kan avhjelpest ved å bruke akseleratorer. Og vi ser at X-Seed kanskje er den beste akseleratoren på markedet når den brukes i forbindelse med slagg. Det ser ut til at det å løse utfordringene rundt slaggets treghet ved lave temperaturer er lite belyst. Det er vanskelig å finne litteratur hvor dette blir omtalt. Temaet bør undersøkes mer og grundigere enn det som er blitt gjort hittil.

1.3 Den mest miljøvennlige sementtypen på det norske markedet

Norsk betongforenings publikasjon nr. 37 (heretter NB 37) gir oversikt over de sementtypene som er tilgjengelige i Norge per 2020 (Norsk Betongforening, 2020). Her vises klimagassutslippet som kg CO₂/tonn sement. Legg merke til at disse tallene gjelder kun for sementen fra aktuell silo i Norge. Den sementen med lavest karbonavtrykk det er mulig å kjøpe i Norge er CEM III/B 42,5 L-LH/SR (na) fra Schwenk. Den har et klimagassutslipp på 347 kg CO₂/tonn sement.

Tabell 1: CO₂-utslipp fra tilgjengelig sementtyper i Norge per 2020 (Norsk Betongforening, 2020)

Produktnavn	Aalborg Hvitsement ^d	Aalborg Rapidsement ^f
Produsent	Aalborg Portland	Aalborg Portland
Type iht. NS-EN 197-1:2011	CEM I 52,5 R	CEM I 52,5N
CO ₂ utslipp (GWP, A1-A4) (kgCO _{2-ekv} /tn) ^a	1100 ^b	871
Produksjonssted	Aalborg, Danmark	Aalborg, Danmark
Leveringsstatus	Prosjektsement ^e	Ordinært produkt
Tilgjengelighet ^c	^c	Østlandet ^f
Normal anvendelse	Bygg/Element	Bygg/Anlegg
Bestandighetsklasser iht. NS-EN 206+NA	Alle	Alle

Produktnavn	Hvitsement	Lavvarmesement	Miljøsement	Rapidsement
Produsent	Schwenk	Schwenk	Schwenk	Schwenk
Type iht. NS-EN 197-1:2011 /9/	CEM I 52,5 R	Cem III/B 42,5 L-LH/SR (na)	Cem II/B-S 52,5 N	Cem I 52,5 R (ft)
CO ₂ utslipp (GWP, A1-A4) (kgCO _{2-ekv} /tn) ^a	1240	347	570	799
Produksjonssted	Bunol, Spania	Eisenhüttenstadt, Tyskland	Rüdersdorf, Tyskland	Rüdersdorf, Tyskland
Leveringsstatus	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt
Tilgjengelighet ^b	^b	Østlandet og Vestlandet	Østlandet og Vestlandet	Østlandet og Vestlandet
Normal anvendelse	Bygg/Element	Anlegg	Alt	Bygg/Element
Bestandighetsklasser iht. NS-EN 206+NA	Alle	M40, M45, M60, M90	Alle	Alle

- a) A4 representerer transport til silo i Oslo. Data per juni 2019
 b) Sementprodusent må kontaktes for lokalisering av silostasjonene.

Produktnavn	Norcem Anleggsement FA	Norcem Industrisement	Norcem Industrisement	Norcem Lavkarbonsement	Norcem Standardsement FA	Norcem Standardsement FA	Flygeaske
Produsent	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem ^d
Type iht. NS-EN 197-1:2011	CEM II/A-V 42,5N	CEM I 52,5R	CEM I 52,5R	CEM II/B-V 42,5N	CEM II/B-M 42,5R	CEM II/B-M 42,5R	NS-EN 450-1:2012 Category A
CO ₂ utslipp (GWP, A1-A3) (kgCO _{2-ekv} /tn) ^a	637	748	774	503	604	625	-
Produksjonssted	Brevik, Norge	Brevik, Norge	Kjøpsvik, Norge	Brevik, Norge	Brevik, Norge	Kjøpsvik, Norge	Hamburg, Tyskland
Leveringsstatus	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Prosjektsement ^c	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt
Tilgjengelighet ^b	Hele landet	Østlandet Sørlandet Sør-Vestlandet	Nord-Vestlandet Midt-Norge Nord-Norge	^b	Østlandet Sørlandet Sør-Vestlandet	Nord-Vestlandet Midt-Norge Nord-Norge	Hele landet
Normal anvendelse	Anlegg	Bygg/Element	Bygg/Element	Bygg/Element	Alt	Alt	Alt
Bestandighetsklasser iht. NS-EN 206+NA	Alle	Alle	Alle	Alle	Alle	Alle	Alle

- a) Fra silo på fabrikk i hhv. Brevik og Kjøpsvik. Data per juni 2019
 b) Sementprodusent må kontaktes for lokalisering av silostasjonene.
 c) Betongprodusent må kontaktes for hvert enkelt prosjekt for mulig leveranse.
 d) Flygeaske som selges til sement- og betongproduksjon. Leveres fra silo på Slemmestad og Kjøpsvik.

1.4 Norsk betongforenings publikasjon nr. 37 «Lavkarbonbetong»

NB 37 ble publisert i 2015. Den har blitt et viktig referansedokument for byggeprosjekter som skal etterleve stadig strengere miljøkrav. Her finnes spesifikasjoner for de ulike lavkarbonklassene, forutsetninger for valg av klasse, veiledning for miljøsertifisering, beskrivelser av levetidsbetraktninger med mer. Det finnes også detaljerte henvisninger til hvor i NS-EN 206 det finnes regler for bruk av flygeaske, slagg og silikastøv.

Stadig strengere krav til reduserte klimagassutslipp gav behov for en revisjon av NB 37 i 2019. Videre ble den også lettere oppdatert i 2020. I publikasjonens forord står det skrevet at ny revisjon vil igjen foreligge når det er behov for dette.

Før en betong kan plasseres i en lavkarbonklasse må lokal tilgjengelighet av nødvendige materialer kartlegges. Videre må klimagassutslippene dokumenteres ved hjelp av EPD'er.

Når så en betong er plassert i en av lavkarbonklassene, finner man reduksjonen i klimagassutslipp ved å ta utgangspunkt i en bransjereferanse. Denne referansen er definert i NB 37. Reduksjonen fra bransjereferansen er en verdi som brukes for å gi poeng i for eksempel en BREEAM-sertifiseringsprosess.

Figuren nedenfor viser de fire lavkarbonbetongklassene i NB 37 fra 2020.

Tabell 1 Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp (begrenset til modul A1-A3 i NS-EN 15804 /7/). Valg av klasse skal skje under de forutsetningene som er gitt i kapittel A2.

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

1) Se kapittel A2 om sammenhengen mellom fasthetsklasser, bestandighetsklasser og karbonklasser
 2) Mulig nivå for enkelte prosjekt, men med flere begrensninger i standardverket, og begrenset tilgjengelighet. Gjennomførbarhet må avklares i hvert enkelt prosjekt.

Klimagassutslippet oppgis for 1 m³ betong og dekker livsløpet fra råvareuttak til den ferdigblandede betongen forlater blandeverkets fabrikkport. Utslippet oppgis som kg CO₂-ekv./m³ betong. Ved omregning av klassegrensene fra kg/m³ til kg/tonn brukes densiteten 2400 kg/m³.

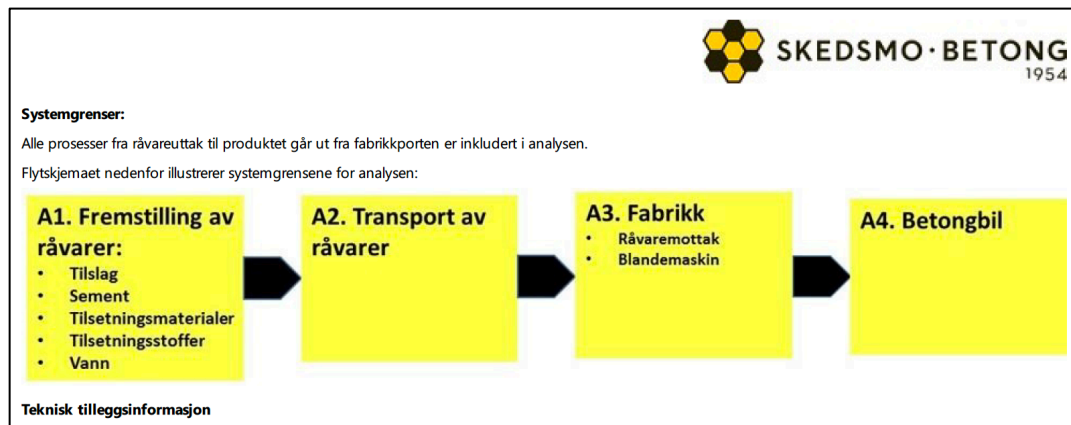
Figur 8: Lavkarbonbetongklasser (Norsk Betongforening, 2020).

Etter at de to nye lavkarbonklassene ble lagt til i 2019 økte behovet for å bruke akseleratorer i betonger betraktelig. Det er fordi når betonger fra en av disse klassene brukes kreves det

spesielle tiltak for å sikre god utstøping og riktige herdeforhold (Norsk Betongforening, 2020).

1.5 Klimagassutslipp CEM II/B B35 M45 og CEM III/B B35 M45

Hvilken lavkarbonklasse en gitt betong havner i er avhengig av mer enn bare sementens utslippsnivå. Lokal tilgjengelighet av bindemiddel og tilslag og transport av råvarer til betongfabrikken påvirker totalutslippet (Norsk Betongforening, 2020). Figur 9 er et utklipp fra EPD til betongresept for CEM II/B fra Skedsmo Betong. Denne vises i sin helhet som *vedlegg A1*. Utklippet viser skjematisk hva som inngår i beregningen av klimagassutslippet til en betongresept.



Figur 9: Systemgrenser for utregning av karbonavtrykk til betongresepter brukt i oppgaven (vedlegg A1)

Figur 10 og 11 er utklipp fra EPD til betongresepter fra Skedsmo Betong. Komplette EPD'er for henholdsvis CEM II/B og CEM III/B ligger som *vedlegg A1 og A2*. For å finne det totale klimagassutslippet ser man til linjen GWP, global warming potential. Her summeres kolonne A1, A2 og A3 som gir utslippet per m³ ferdig blandet betong ut porten fra blandefabrikanten.

LCA: Resultater

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklartert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage			Construction installation stage		User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering- potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
GWP	kg CO ₂ -eq	2,27E+02	4,50E+00	2,30E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,58E-06	8,56E-07	4,11E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	2,56E-02	7,85E-04	4,05E-04
AP	kg SO ₂ -eq	5,14E-01	1,56E-02	1,30E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	1,81E-01	3,14E-03	2,58E-03
ADPM	kg Sb -eq	1,63E-04	9,98E-06	1,83E-06
ADPE	MJ	9,32E+02	6,90E+01	3,26E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009
 *INA Indicator Not Assessed

Figur 10: Verdier for klimagassutslipp til betongen CEM II/B B35 M45 (EPD Skedsmo betong, 2019)

LCA: Resultater

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklartert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage			Construction installation stage		User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering- potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
GWP	kg CO ₂ -eq	8,19E+01	1,59E+01	2,69E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,84E-06	2,75E-07	4,69E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	1,04E-02	3,23E-03	5,44E-04
AP	kg SO ₂ -eq	2,45E-01	9,62E-02	1,99E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	5,57E-02	1,95E-02	4,29E-03
ADPM	kg Sb -eq	1,08E-04	1,42E-05	3,62E-06
ADPE	MJ	5,23E+02	2,28E+02	3,80E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009
 *INA Indicator Not Assessed

Figur 11: Verdier for klimagassutslipp til betongen CEM III/B B35 M45 (EPD Skedsmo betong, 2019)

CO₂ ekvivalenter CEM II/B B35 M45: $227+2,5+2,3 = 231,8 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ betong.

CO₂ ekvivalenter CEM III/B B35 M45: $81,9+15,9+2,69 = 100,49 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ betong.

Tabell 2: CEM II/B og CEM III/B - utslippsmengde og plassering i lavkarbonklasser iht NB. 37

Betongtype	CO ₂ ekvivalenter kg/m ³	Lavkarbonklasse
CEM II/B B35	231,80	Lavkarbon B
CEM III/B B35	100,49	Lavkarbon ekstrem

CEM II/B B35 gir en reduksjon fra bransjereferansen på $1 - (231,80/330) = 0,2975 = 30 \%$

CEM III/B B35 gir en reduksjon fra bransjereferansen på $1 - (100,49/330) = 0,6955 = 70 \%$

1.6 Formål

En vet at utslipp knyttet til sement kan stå for over 90 % av en betongs totale CO₂-avtrykk. Sammen med informasjon om hvilken sement i Norge som er mest miljøvennlig og med litteratursøket til grunn, ønsker vi å se nærmere på en betong laget med slaggsementen CEM III/B 42,5 L-LH/SR (na) fra Schwenk. I forrige kapittel ble det vist hvilket enormt besparingspotensiale det ligger i å bruke en betong som havner i lavkarbonklasse ekstrem. Men betonger som er laget med CEM III/B har utfordringer som gjør at det kan være vanskelig å velge nettopp disse. De har treg herdeutvikling og lav tidligfasthet. Dette kan føre til fremdriftsmessige problemer i et byggeprosjekt.

Ved støping av vegger er det gunstig å bruke SKB (Maage, 2015). Bløte betonger (som SKB) er allerede noe treg i herdeprosessen på grunn av sin lave viskositet, og i kombinasjon med CEM III/B blir den enda tregere på grunn av sementens høye slagginnhold. Tregheten fører til behov for støpepauser fordi det blir for høyt trykk i forskalingen. Det må tas pauser for å minimere trykket og dette kan gi kaldskjøter mellom støpelagene. Normalt kunne skjøtene vært unngått ved å vibrere støpelagene sammen. Men SKB skal ikke vibreres, så det vil være av stor betydning å akselerere herdingen tilstrekkelig mye slik at dette kan unngås. Samtidig er det viktig for fremdriften i et byggeprosjekt hvor raskt en forskaling kan fjernes fra en støp. Iht. NS-EN 13670 tillegg C C5.7. kan forskalingen fjernes når betongen har oppnådd en fasthet på 5 MPa (Standard Norge, 2010).

Litteraturstudiet viste at tilsetning av herdingsakselerator er en metode for å minimere utfordringene knyttet til treghet i slaggsementer. Det viste også at akseleratoren fra BASF er kanskje den mest effektive av de ulike tilgjengelige typene.

Oppgaven prøver å belyse hvordan tilsetning av X-Seed fra BASF øker tidligfastheten til CEM III/B B35 SKB ved 5°C. Resultater som kommer fram her vil kunne være viktige for alle som vil støpe vegger med denne typen av betong.

Litteratursøket viser også at X-Seed gir særlig god effekt når doseringen er mindre enn 1 % av bindemiddelmengden og herdetemperaturen er 20 °C (Bost et al., 2016). Men vil det samme gjelde når herdetemperaturen er 5°C?

1.7 Problemstilling/Delspørsmål

Problemstilling

Hvilken mengde X-Seed er optimal i CEM III/B SKB for å minimere utfordringene vedrørende treg fasthetsutvikling ved herding under lave temperaturer?

Delspørsmål

Hvor mye X-Seed kan tilsettes uten å øke faren for mørtelseparasjon?

Hvis det kommer fram at økende mengde X-Seed gir separasjon - vil dette i så fall være til hinder for å kunne øke fasthetsutviklingen tilstrekkelig mye?

Kan størkningsakselerator være et rimeligere alternativ til herdingsakselerator, som er godt nok til å minimere utfordringene knyttet til treghet og sen avforming?

(SA fremskynder ikke herdingsprosessen, kun størkningstidpunkt)

1.8 Oppgavens relasjon til Veidekkes prosjekt Oksenøya senter i Bærum

Betongreseptene som er brukt i denne oppgaven er utviklet av Skedsmo betong for Veidekke. På Oksenøya senter i Bærum ble CEM III/B B35 SKB brukt til å støpe vegger med opptil 9 meters høyde. I denne sammenhengen ble utfordringene knyttet til treg fasthetsutvikling og høyt trykk i forskalingen høyaktuelt. Det var første gang Veidekke brukte denne betongen ved vinterstøping. Det ble utført flere herdetiltak; isolering av forskaling, tilføring av varme til herdende betong og tilsetning av 1% X-Seed ved blanding av betong. Tilføring av varme ble utført ved å lede varmt vann gjennom konstruksjonen via innstøpte rør.

Helga Synnøve Kjos-Hanssen har vært ekstern veileder for denne oppgaven. I perioden skrivningen har foregått har hun vært stasjonert på nettopp Oksenøya i Bærum. Forfatterne har vært på besøk hos Helga Synnøve på byggeplassen ved flere anledninger. Hun har kurset oss i visuell kontroll av slumputbredelse. Satt oss inn i praktiske forhold vedrørende støping, måling av trykk i forskalinger med mer. Samtidig har betongteknolog Andreas Sjaastad i Veidekke gjennomført opplæring i betongteori. Begge to har bistått underveis med råd og innspill. Prosjektet på Oksenøya ligger som et bakteppe for oppgaven. Samtidig som litteratursøket og hele kapittel én legger det akademiske grunnlaget som viser at dette er en oppgave det er verdt å skrive.

1.9 Avgrensninger

For å bestemme hvilke mengder X-Seed som skulle testes ut ble det tatt hensyn til flere faktorer. BASF skriver på produktdatabladet «Master X-Seed 100» fra oktober 2019 at anbefalt doseringsmengde er 2-4%. I følge oppdragsgiver blir det sjelden brukt mer enn 3%. Det å støpe med denne betongen uten akselerator ved lave temperaturer gjøres ikke i praksis. Det å gjøre denne prøven kunne hatt en teoretisk verdi og blitt brukt i diskusjonsdelen. Men plassmangel i kjøleskapet i laboratoriet ved OsloMet gjorde dette vanskelig, dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.4 Begrensninger. Det ble gjort et utvalg av doseringsmengder til forsøket. Valget falt på henholdsvis 1, 2 og 3% X-Seed av total bindemiddelmengde.

Det måtte også gjøres en vurdering av hvilke prøver som var viktigst for forsøket. Her ble det valgt bort noen prøver som kanskje kunne vært interessante for diskusjonen. Valgene var nødvendig for å sikre mulighet til å gjennomføre forsøket i laboratoriet. Grunnene var tilgjengelig mengde materialer, tilgjengelig tid og tilgjengelig lagringsplass i laboratoriet. Prøver som ble valgt bort var CEM III/B lagret ved 20°C inneholdende 2 og 3% X-Seed. Og CEM II/B lagret ved 5°C inneholdende 2 og 3% X-Seed.

I laboratoriet skulle det lages 20 liter betong per blanding. Til sammenligning lages det gjerne 8000 liter (8 m³) betong per blanding hos Skedsmo betong. Dette førte til at forsvinnende små mengder av tilsetningsstoffene M-matrix 101, MasterSet R 433 og MasterAir 11 skulle blandes inn i laboratoriet (se kapittel 3.3, 3.4 og 3.5). Sammen med oppdragsgiver har vi valgt å ikke bruke disse tre stoffene fra reseptene.

2 Teori

2.1 Miljø

Når et bygg prosjekteres, er det store utfordringer vedrørende materialvalg og deres miljøprofil. Flere bedrifter i dag er opptatt av å bespare miljøavtrykket og konkurrerer i markedet om å ha den beste bærekraftige løsningen. Om betong er miljøvennlig eller ikke, er det flere som lurer på. Det er ingen tvil om at sementproduksjon utgjør en stor del av klimagassutslippene. Flere skulle trodd at betongens miljøbelastning kom av produksjonsfasen, men på grunn av materialets levetid og energieffektivitet i bruksfasen må hele livsløpet betraktes (Krokstrand et al., 2011) (Maage, 2015).

2.1.1 Life Cycle Assessment (livsløpsanalyse - LCA)

Konseptet med livsløpsanalyser er å redegjøre for miljøbelastningen ved ulike prosjekter ved å kartlegge produkters miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet. Produktene kartlegges etter utslippsmengden, klassifiseres avhengig av miljøpåvirkningen, og til slutt analyseres produktets forbedringsevne.

Analysen gir miljøvennlige løsninger og helhetsbilde av miljøbesparelser ved ferdig leveranse. Avhengig av hvilke faser som gir størst belastning kan bedrifter få oversikt over hvor i prosjektet man har besparelser og hvor mye. Dette gir friheten til å velge andre produkter som ikke vil gå på bekostning av miljøprofilen til prosjektet. LCA er også grunnlaget for utviklingen av andre verktøy som EPD og klimaregnskap (LCA, u.å-b).

2.1.2 BREEAM-NOR

BREEAM-NOR er den norske tilpasningen av BREEAM, et miljøsertifiseringssystem som forvaltes av Building Research Establishment (BRE) i Storbritannia. Det å gjennomføre et byggeprosjekt med en miljøprofil som kun søker å følge regulative minstekrav fra byggeforskriftene, er både mulig og lovlig. Men det vil ikke innfri nåtidens forventninger til klimavennlige bygg. Ved å sertifisere prosjektet gjennom BREEAM-NOR tilfredsstilles de normative forventningene som ligger i tiden. Belønningen blir et mer lettsolgt bygg og prosjektet blir en viktig positiv referanse for både byggherre og entreprenør.

Det å velge materialer med lave karbonavtrykk er én av flere faktorer som kan brukes for å gi et bygg en høy klassifisering.

Materialer er én av ni ulike kategorier hvor det samles poeng i sertifiseringsprosessen. For å vise at materialene som blir brukt godkjennes som poenggivende, dokumenteres klimaprofilen ved å legge fram EPD'er (Byggalliansen, u.å).

2.1.3 Environmental Product Declaration (EPD)

EPD er en miljødeklarasjonserklæring der miljøprofilen til komponenter, produkter eller tjenester oppsummeres på en standardisert og objektiv måte. Den er laget på bakgrunn av livsløpsanalyse - LCA. Hensikten er å samle produkters miljøpåvirkning i ulike faser og sammenlignbare dataer. EPD gir et helhetsbilde og mulighet til utvikling, der bedrifter kan bruke det som grunnlag i miljøregnskapet ved prosjekter. Det er mulig å sette inn egne verdier og få systemet til å regne miljøpåvirkningen automatisk (LCA, u.å-a).

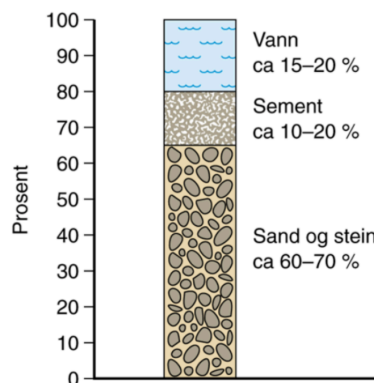
2.1.4 Klimaregnskap

Klimaregnskap er et verktøy som brukes for å beregne og redusere klimafotavtrykket av produkter eller aktiviteter. Klimafotavtrykket er relatert til direkte og indirekte utslipp av klimagasser, hvor direkte utslipp går ut på forbrenning av drivstoff, og indirekte utslipp av drivstoffproduksjon. Analysen er basert på livsløpsanalysemetodikken.

Det totale klimafotavtrykket kan beregnes fra uttak av råvarer og energivarer, transport, produksjonsprosesser og bruk/drift frem til avfallsbehandling. Ved hjelp av verktøyet kan brukernes behov tilpasses (LCA, u.å-c).

2.2 Betong

Betong er et byggemateriale som er sammensatt av fint og grovt tilslag, sement, vann og mindre mengder tilsetningsmaterialer og tilsetningsstoffer. Sement, vann og tilsetningene blandet sammen kalles sementlim eller sementpasta.



Figur 12: Sammensetning av betong. Hentet fra Statens vegvesen «Teknologidagene» 2017.

Dersom blandingen har for lite sementpasta vil det være vanskelig å fylle hulrom mellom det grove tilslaget. Dette kan resultere i en porøs betong med grove overflater og lav bestandighet. Blanding med overskudd av sementpasta vil kunne fylle formen lettere og gi en glattere overflate, men kan resultere i økt fare for riss og sprekker. Avhengig av hvilke egenskaper man ønsker betongen skal ha, endres blandingsforholdet mellom de forskjellige bestanddelene (Byggforsk).

Hva som skal støpes og hvordan bestemmer hvilke egenskaper betongen må ha. Ved proporsjonering av bestanddelene gjøres det valg for å oppnå ønskede kvaliteter. Det finnes

et utall måter å sette sammen en betong på. Og det må tas hensyn til ønsket bestandighet, støpelighet, varmeutvikling, herdingsforløp, eksponeringsklasse, konstruksjonens type og dimensjon (Maage, 2015).

2.2.1 Sementproduksjon

Sement er den viktigste bestanddelen i betong. Ved å brenne kalkstein med andre korreksjonsmaterialer får vi sement. Blandingen blir knust og malt opp i møller. Oppvarmet i en stor rotasjonsovn ved ca. 1450° Celsius. Resultatet gir klinker, som males sammen med gips og blir til sement.

Kalkstein består av kalsiumkarbonat, CaCO_3 . Ved oppvarming av kalkstein foregår det en kjemisk reaksjon kalt kalsinering. Denne reaksjonen bidrar til det meste av karbonavtrykket fra sement. Resten av utslippet kommer fra energi brukt til oppvarming av ovner og transport. (Krokstrand et al., 2011)

På grunn av sementens dårlige miljøprofil har det blitt vanlig å erstatte noe av klinkeren med andre materialer som slagg, kalksteinpulver, flygeaske, silikastøv og naturlige pozzolaner. Dette reduserer miljøbelastningen fra sementproduksjonen (Per Jahren, 2012).

2.2.2 Klassifisering av sement

Sementstandarden EN 197-1 er felles for Europa. Den inneholder regler for tilsetningsmaterialer, og et rammeverk som brukes for å klassifisere sement.

Definisjonen på en CEM-sement lyder som følger i NS-EN 197-1:

Sement er et hydraulisk bindemiddel, dvs. et finmalt uorganisk materiale som blandet med vann danner en pasta som størkner og hardner gjennom hydratisering og etter hardning beholder sin fasthet og stabilitet også under vann (Standard Norge, 2011).

En CEM-sement kan inneholde mange ulike typer materialer i tillegg til portlandsementklinker. I standarden er det definert ti ulike bestanddeler. Her listes opp de tre typene som er aktuelle for denne oppgaven:

- Portlandsementklinker (K)
- Granulert råjernslag (S)
- Silikastøv (D)

I NS-EN 197-1 /7/ er det definert 27 typer ordinær sement, som videre er delt inn i 5 hovedklasser;

- CEM I Portlandsement
- CEM II Portland blandingssement
- CEM III Slaggsement
- CEM IV Pozzolansement
- CEM V Blandingssement

Norge mangler erfaring og kjennskap til mange av disse sementtypene. Men NS-EN 206 /8/ har gitt bruksregler for 12 av typene, disse er listet opp i Tabell 3.

Tabell 3: Utdrag av sementtypene i NS-EN 197-1/7 (Maage, 2015).

Hovedtype	Betegnelse		Sammensetning (masseprosent ^a)					Sekundære bestanddeler
			Hovedbestanddeler					
			Klinker K	Råjernslag S	Silika-støv D ^b	Flygeaske V	Kalkstein L og LL	
CEM I	Portland-sement	CEM I	95–100	–	–	–	–	0–5
CEM II	Portland-slaggsement	CEM II/A-S	80–94	6–20	–	–	–	0–5
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–	–	–	0–5
	Portland-silikastøvsement	CEM II/A-D	90–94	–	6–10	–	–	0–5
	Portlandflygeaske-sement	CEM II/A-V	80–94	–	–	6–20	–	0–5
		CEM II/B-V	65–79	–	–	21–35	–	0–5
	Portlandkalkfillersement	CEM II/A-L	80–94	–	–	–	6–20	0–5
		CEM II/A-LL	80–94	–	–	–	6–20	0–5
	Portlandblandings-sement ^c	CEM II/A-M	80–88	12–20			–	0–5
CEM II/B-M		65–79	21–35			–	0–5	
CEM III	Slaggsement	CEM III/A	35–64	36–65	–	–	–	0–5
		CEM III/B	20–34	66–80	–	–	–	0–5
		CEM III/B	20–34	66–80	–	–	–	0–5

a Verdiene i tabellen er gitt som prosent av summen av hovedbestanddeler og sekundære bestanddeler
b Andelen av silikastøv er begrenset til 10 %
c I portlandblandingssement CEM II/A-M og CEM II/B-M skal hovedbestanddelene unntatt klinker angis ved betegnelse av sementen.

I denne oppgaven er det brukt to av sementtypene fra Tabell 3; CEM II/B-S og CEM III/B.

Standarden stiller krav til både fysiske og mekaniske egenskaper for sementene, disse er gitt som karakteristiske verdier og vises i Tabell 4.

Tabell 4: Fysiske og mekaniske krav fra NS-EN 197-1, tidlig- og standardfasthet (Maage, 2015).

Fasthetsklasse	Trykkfasthet MPa			Begynnende størkning min	Volumbestandighet mm
	Tidligfasthet		Standardfasthet 28 døgn		
	2 døgn	7 døgn			
32,5 L ^a	–	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≤ 10
32,5 N	–	≥ 16,0			
32,5 R	≥ 10,0	–	≥ 42,5	≤ 62,5	
42,5 L ^a	–	≥ 16,0			
42,5 N	≥ 10,0	–			
42,5 R	≥ 20,0	–	≥ 52,5	–	
52,5 L ^a	≥ 10,0	–			
52,5 N	≥ 20,0	–			
52,5 R	≥ 30,0	–	–	≥ 45	

a Fasthetsklasse definert bare for CEM III sementer

Fasthetsklassene er definert i NS-EN 196-1 /9/, ut fra en standardisert mørtel med masseforhold 0,50 (Standard Norge, 2016). Fasthetsklassene er altså ikke en verdi som viser hvilken fasthet som kan oppnås i en betong, kun en klassifisering av sementens fasthetsnivå (Maage, 2015).

2.2.3 Portlandsement

Portlandsement er en kvalitetsbetegnelse på ublandet sement hvor ikke noe av klinkeren er erstattet med mer miljøvennlige materialer. Den består i hovedsak av syv oksider, disse finnes som fire hovedmineraler og utgjør 90-95 % av portlandsementen.

Ved å endre mengdeforholdet mellom de ulike mineralene justeres varme- og fasthetsutvikling, fasthetspotensiale og bestandighetsegenskaper.

De resterende 5-10 % består av små mengder ulike andre materialer, som også er viktige for sementens egenskaper. En av disse er gips som styrer betongens størkningstidspunkt (Maage, 2015).

En ren portlandsement kan ha et totalt karbonavtrykk på opp mot 800 kgCO₂/tonn sement (Norsk Betongforening, 2020).

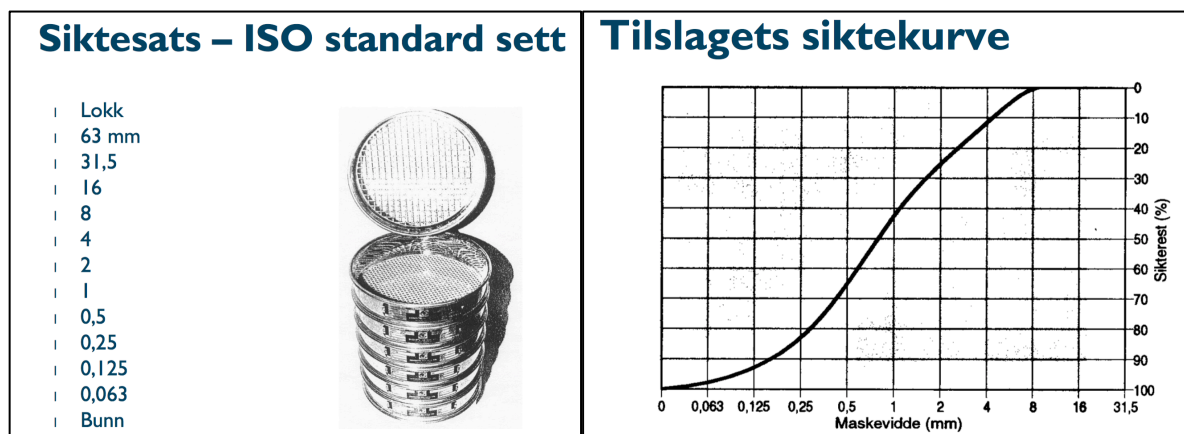
Tabell 5: De fire hovedmineralene i Portlandsement (Maage, 2015).

Navn	Kjemisk formel	Symbol
Trikalsiumsilikat	3CaO * SiO ₂	C ₃ S
Dikalsiumsilikat	2CaO * SiO ₂	C ₂ S
Trikalsiumaluminat	3CaO * Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsiumaluminatferritt	4CaO * Al ₂ O ₃ * Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

2.2.4 Tilslag

Tilslag er en fellesbetegnelse for sand- og steinmaterialene som utgjør den største delen av betongvolumet. Graderingen av partiklene påvirker fastheten, støpeligheten og vannbehovet til betongen. Sammen med graderingen er kornformen og dens kvalitet like viktig. Tilslagetets gradering bestemmes ved at det siktes gjennom masker med minkende

vidde, deretter veies gjenliggende tilslag etter hvert sikt. Vekten fra hvert siktenivå plottes inn i et koordinatskjema og gir en siktekurve. Kurven viser fordelingen mellom de ulike partikkelstørrelsene og bør være så jevn som mulig. En jevn siktekurve viser at tilslaget er velgradert, og tomrommet mellom steinene i utstøpt betong blir så lite som mulig. Dette gir en tettere og sterkere betong, samtidig som det reduserer vann- og sementbehovet. Valg av riktig og velgradert tilslag er en forutsetning for å oppnå ønsket konsistens og bestandighet. Figuren under viser ISO-standardiserte størrelser på et komplett siktesett og en velgradert siktekurve.



Figur 13: Siktesats og ideel siktekurve. Hentet fra OsloMet «Betongens delmaterialer» 2019.

Det finnes ulike typer tilslag - naturlig, kunstig, gjenvunnet eller resirkulert mineralsk delmateriale. Tradisjonelt brukes det naturlig sand og grusforekomster til betong, som er løsmasser avsatt gjennom lang tid, men det er begrensninger på uttak. Den økende mangelen på naturmaterialer fører til økt bruk av knust tilslag fra faste bergmasser.

Tabell 6: Tilslaget defineres etter størrelsen (Maage, 2015).

	Naturtilslag	Knust tilslag
Fint tilslag < 4 mm	Natursand	Maskinsand
Grovt tilslag > 4 mm	Singel	Pukk

Det finnes vann både i og på tilslaget. Før blanding av en betong settes i gang er det viktig å veie opp denne vannmengden og justere for dette i betongresepten. Dette er viktig for ikke å endre v/c-tallet resepten er satt opp med (Maage, 2015) (Byggforsk).

2.2.5 V/C – forhold

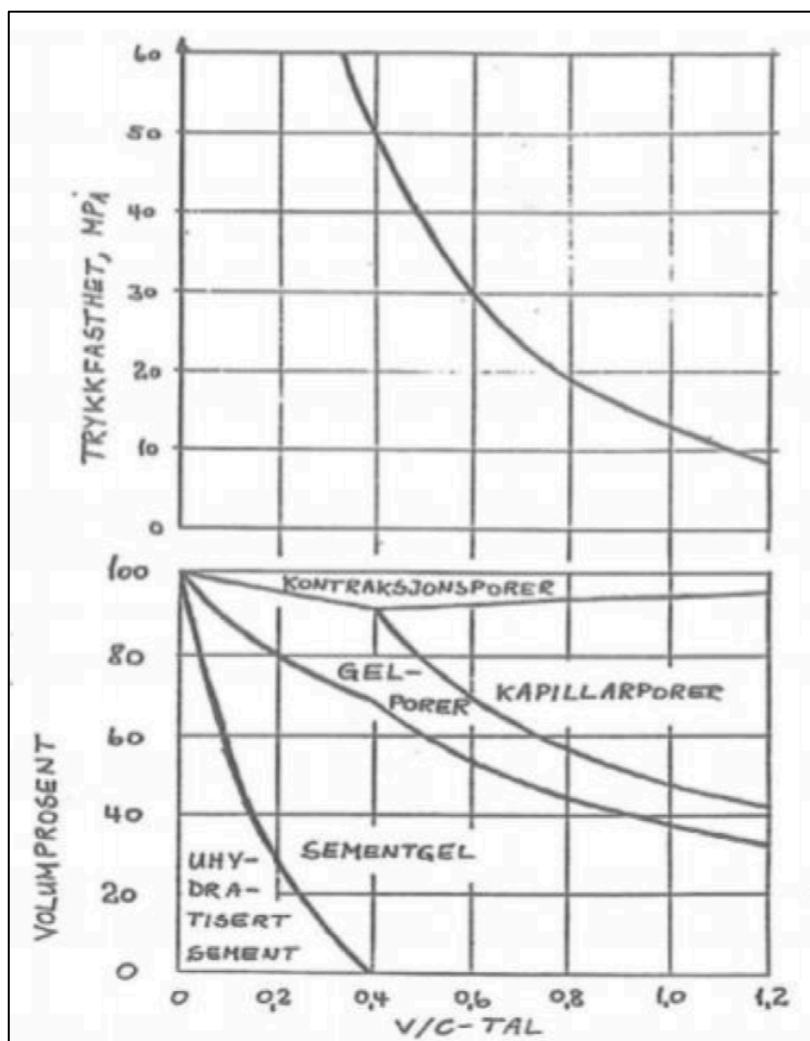
Styrken på en betong bestemmes av blandingsforholdet mellom vann og sement. Det er dette som kalles v/c-tall. Dette forholdet påvirker også egenskapene til fersk betong. For eksempel ved å øke vannmengden blir fersk betong mer støpelig, men da får samtidig ferdig herdet betong dårligere kvalitet. Dette er fordi overskuddsvann, vann som ikke brukes i hydratiseringen, blir liggende i betongen. Når dette vannet tørker ut etterlates porer. Disse porene danner svekkelser og nedsatt styrke, mindre tetthet og dårligere bestandighet (Jahren, 2012).

Det optimale v/c-tallet er 0,41. Da er alle sementkorn hydratisert. Når v/c-tallet er litt lavere enn 0,4 kan betongen oppnå høyest mulig fasthet, men den ferske blandingen vil da være så stiv at den vanskelig lar seg støpe ut i formene. Samtidig, på grunn av lite tilgang til vann, kan noe av sementen gjenstå som uhydratiserte korn – dette vil igjen kunne svekke fastheten til ferdig herdet produkt. Hvilken fasthet som trengs i ferdig herdet betong er avgjørende for hvilket v/c-tall betongresepten settes opp med.

Lave v/c-tall er ofte ønskelig for å oppnå høy fasthet i ferdig herdet betong. Men ved utfordringer i form av dårlig støpelighet må det vises varsomhet med å øke vannmengden for å avhjelpe dette. For mye vann kan ødelegge sluttproduktet.

Støpeligheten justeres helst ved å tilsette et superplastiserende stoff (heretter SP-stoff). SP-stoff forbedrer støpelighetsegenskapene til fersk betong uten å endre v/c – tallet.

Figur 11 viser at alle sementkorn er hydratisert ved v/c – tall 0,41, og at ved dette nivået eksisterer det mest mulig sementgel/sementlim, som er det som gir styrken til betongen. Videre viser den at når v/c – tallet er høyere enn 0,41 danner overskuddsvann kapillærporer. Den viser også sammenhengen mellom synkende trykkfasthet ved økende v/c – tall. Det kan ses at ved verdier ned mot 0,35 er det mulighet for høyere trykkfasthet selv om mengden sementgel minker. Dette er mulig fordi da er det totale porevolumet også mindre, og det viser at både mengden gel og mengden porer påvirker slutfastheten i en betong (Maage, 2015).



Figur 14: Sammenheng mellom v/c-tall, porevolum og trykkfasthet (Onyango Orony, 2019)

2.2.6. Masseforhold

Bindemiddelet i en betong består som regel av mer enn bare sement. Når det tilsettes materialer som flygeaske, silikastøv eller slagg kalles forholdet mellom vann og bindemiddel masseforhold.

Hvis vi ser på sammenhengen mellom trykkfasthet og v/c-tall som i forrige kapittel. Og andre materialer enn sement blir en del av bindemiddelet endres betongens fasthet ved samme v/c – tall. Begrepet masseforhold (m) har blitt innført på grunn av denne sammenhengen.

$$m = v / (c + k * \text{tilsetningsmateriale}).$$

Effekten av de ulike tilsetningsmaterialene er forskjellig. Derfor brukes virkningsfaktoren k som uttrykker hvor effektivt tilsetningsmaterialet er som erstatning for sement. Faktoren justerer masseforholdet slik at ønsket bestandighet opprettholdes.

Regler for bruk av virkningsfaktor til de ulike tilsetningsmaterialene finnes i det nasjonale tillegget til NS-EN 206 (Maage, 2015).

2.2.7 Hydratisering

Sement er et hydraulisk materiale, det betyr at den reagerer kjemisk ved kontakt med vann. Sementen hydratiserer altså med vannet. Det er dette som gjør at betongen kan bli en fast masse.

Vann og sementreaksjonen danner i hovedsak tre reaksjonsprodukter: det dannes kalsiumsilikathydrater (CSH-produkter), kalsiumhydroksid ($\text{CA}(\text{OH})_2$) og gelporer.

Det er CSH-produktene som bidrar til betongens fasthet, tetthet og bestandighet. Disse kalles fastkrystaller. $\text{CA}(\text{OH})_2$ holder betongens pH-nivå basisk, og armeringen er beskyttet mot korrosjon så lenge $\text{pH} > 10$. Disse kalles løskrystaller.

Overskuddsvann legger seg rundt i betongen som lommer, når vannet tørker ut er disse gelporene betongens minste porer (Maage, 2015).

2.3 Tilsetningsmaterialer

I dette kapitlet omtales de tre tilsetningsmaterialene silikastøv, flygeaske og råjernsslagg. Disse tre tilsetningene er restprodukter fra annen industri. De kommer fra henholdsvis produksjon av silisium- og ferrosilisiummetall, rensing av røykgasser fra kullfyrte varmekraftverk og fra produksjon av råjern. Dette er miljøskadelige industrier, men tilsetningenes karbonavtrykk allokeres til produksjonen av originalproduktet (Norsk Betongforening, 2020). Derfor regnes de som karbonnøytrale og gir positive utslag på klimagassregnskapet til betong.

Tilsetningene er ifølge NS-EN 206 nasjonalt tillegg definert som kjemisk aktive (Standard Norge, 2021). Dette betyr at de reagerer kjemisk når de kommer i kontakt med sitt aktiveringsmateriale $\text{CA}(\text{OH})_2$.

For at tilsetningsmaterialene skal være kjemisk aktive må de kjøles raskt ned når de hentes ut fra sine respektive industrier. Da oppnår de amorf/glassaktig struktur.

De kan tilsettes i forbindelse med produksjonen av sement, sånn som det blir gjort med for eksempel CEM II og -III sementer som brukes i denne oppgaven. Men de kan også tilsettes ved blanding av betong ved blandefabrikk. Tilsetningene endrer egenskapene til fersk-, herdende- og ferdig herdet betong og brukes etter behov (Maage, 2015).

2.3.1 Pozzolanreaksjonen

Silikastøv og flygeaske er pozzolane stoffer.

Når vannet i en betong har gitt sementen mulighet til å hydratisere. Har det som tidligere nevnt blitt dannet tre reaksjonsprodukter. Det ene av disse tre, løskrystaller, bidrar ikke nevneverdig til betongens fasthet.

Pozzolane stoffer inneholder SiO_2 , dette stoffer reagerer kjemisk med løskrystallene og danner nye og enda flere av de viktige fastkrystallene i betongen. Betongens tetthet og fasthet øker. Betongens motstandsevne mot sulfat- og syreangrep bedres.

Den pozzolane reaksjonen går tregt ved lave temperaturer og raskt ved høye temperaturer (Maage, 2015).

2.3.2 Silikastøv

Silikastøv kan normalt brukes i størrelsesorden 10-11 % av total bindemiddelmengde.

Det inneholder 85-98 % SiO_2 , og er meget finkornet. Støvet er omtrent hundre ganger mindre enn sementkorn. Ved bruk av silika må det alltid brukes plastiserende eller superplastiserende tilsetningsstoffer for å fordele støvet jevnt ut i den ferske betongen.

Silikaens finkornethet gir stort overflateareal som binder vannet i fersk betong godt. Dette minsker sjansen for at betongen separerer (Maage, 2015).

2.3.3 Flygeaske

Flygeaske kan normalt brukes i størrelsesorden inntil 35 % av total bindemiddelmengde.

Den inneholder 40-70 % SiO_2 . Den er mer grovkornet enn silikastøv og har omtrent samme størrelse som sementkorn. Lavere andel av SiO_2 og grovere korn gjør at reaksjonen til

flygeaske er tregere enn silika. Det kan kreve flere måneders herding før effekten av å tilsette flygeaske oppnås helt. Sementer med flygeaske gir lavere varmeutvikling, og kalles ofte for lavvarmesenter. Siden partiklene er kuleformede bidrar flygeaske positivt til fersk betongs støpelighet. De fungerer som kulelagere når betongen flyter ut i forskalingen.

2.3.4 Slagg

Slagg har en kjemisk sammensetning som ligner mye på Portlandsement. Derfor kan det brukes i større mengder. I Norge inntil 80 % av total bindemiddelmengde (Standard Norge, 2011).

Slagg skiller seg fra silika og flygeaske ved at det ikke er et pozzolant materiale. Det er latent hydraulisk. Dette betyr at slagget kan reagere kjemisk uten å være i kombinasjon med sement.

På 1980-tallet ble det brukt slagg ved produksjon av sement i Kjøpsvik, men i dag finnes det ingen norskproduserte sementer med slagg.

Det å tilsette slagg under blanding av betong er mer vanlig i for eksempel USA og Canada enn i Norge. NS-EN 206 gir bruksregler for hvordan dette kan gjøres. Men fordi partiklene må males ned før bruk er det mest vanlig å bruke slagg som erstatningsmateriale for portlandsementklinker ved produksjon av sement. Resten av dette avsnittet beskriver derfor slagg som tilsetning i sement.

Slagg har blitt brukt over det meste av verden i hvert fall siden 20-tallet. Spesielt i marine konstruksjoner i varmere strøk. Det er fordi denne typen sement gir betong ekstra god motstand mot kloridinntrengning, noe som gir brygger og lignende veldig god holdbarhet. Fordelene disse betongene får i marine miljøer er todelt. Slaggsementer inneholder aluminater som beskytter armeringen mot kloridangrep. Samtidig skjer det samme som i pozzolanreaksjonen, nemlig at løskrystallene brukes til å danne enda fler fastkrystaller. Dette gir en tettere betong som er mer motstandsdyktig mot kloridinntrengning. Altså er det sånn at selv om slagget skiller seg fra de pozzolane materialene er også her løskrystallene aktivatoren som starter den kjemiske reaksjonen.

Historisk var bruken av slaggsementer knyttet til fordelene rundt kloridinntrengning. Senere har det nye perspektivet knyttet til lavere CO₂-utslipp og forbedring av miljøregnskapet i

byggeprosjekter fått større fokus. Dette gjør betong laget av slaggsementer til et veldig spennende og aktuelt byggemateriale.

Tidligere ble disse sementene som nevnt brukt i typisk varme områder. Men når vi nå øker bruken av slaggsement i Norge, hvor det er relativt kaldt store deler av året, blir slaggets treghet et tema som må belyses mer. Betonger med ulike egenskaper kan proporsjoneres fra teoretisk kunnskap. Men ofte er det bruk og testing av betong som gir den mest verdifulle kunnskapen om betongegenskapene.

I følge Maage kan det ta flere måneder før en betong støpt med slaggsement oppnår sin maksimale trykkfasthet; Økende mengde slagg gir lengre tid før full fasthet oppnås.

For regler angående bruk av slagg i sement og betong gjelder standardene NS-EN 206 og NS-EN 15167 (Maage, 2015).

2.4 Tilsetningsstoffer

Det blandes tilsetningsstoffer i betongen for å endre visse egenskaper. De er vannløselige, organiske og uorganiske salter og forbindelser både i flytende og fast form.

Stoffene anvendes når man ønsker spesifikke egenskaper eller om man støper under ulike herdeforhold som påvirker framdriften. Avhengig av hvilke stoffer som tilsettes, mengde og andre bestanddeler vil disse tilsetningsstoffene gi ulike resultater (Byggforsk).

2.4.1 Herdingsakselererende stoffer

Herdingsakselererende stoffer bidrar til en rask utvikling av tidlig fasthet i betong, med eller uten innvirkning på størkningstiden (Byggforsk).

Kloridfrie herdingsakselererende stoffer (heretter HA-stoffer) er relativt nytt på markedet. I NorCems egen brosjyre om herdeteknologi står det enkelt og greit: «Herdingsakselererende stoffer er lite brukt» (Norcem, u.å). Både i Grunnleggende betongteknologi, (Gjerp et al., 2004) og i Betongboka (Maage, 2015) står det knapt nevnt med en setning. I begge verkene blir det sagt at herdingsakselererende tiltak er tilføring av varme og å bruke finere malt sement (Gjerp et al., 2004) (Maage, 2015). Dette er dog ikke velegnede tiltak sett i et miljøperspektiv. Derfor har det de siste 8-10 årene kommet flere nye flytende herdingsakseleratorer på markedet. Som Sikas SikaRapid C-100, Mapeis MapeFast HA og

Master Builders Solutions' Master X-Seed 100 (X-Seed). Felles for disse er at de er utviklet spesielt med tanke på bruk i betonger med høyt innhold av slagg eller flygeaske, og de er alle kompatible med samme produsents SP-stoff. Formålet med HA-stoffene er å frigi hydratasjonsvarmen tidligere, noe som vil føre til økt tidligfasthet.

Det vi fokuserer på i denne oppgaven er X-Seed. Stoffet tilsettes under blandedeprosessen for å sikre en homogen fordeling. X-Seed inneholder en suspensjon av aktive nanopartikler som akselererer hydreringen i tidlig fase. Teknikken er basert på krystalldannelsesteknologi, der kalsiumsilikathydrat-dannelsen akselereres (Master Builders Solution, u.å-a).

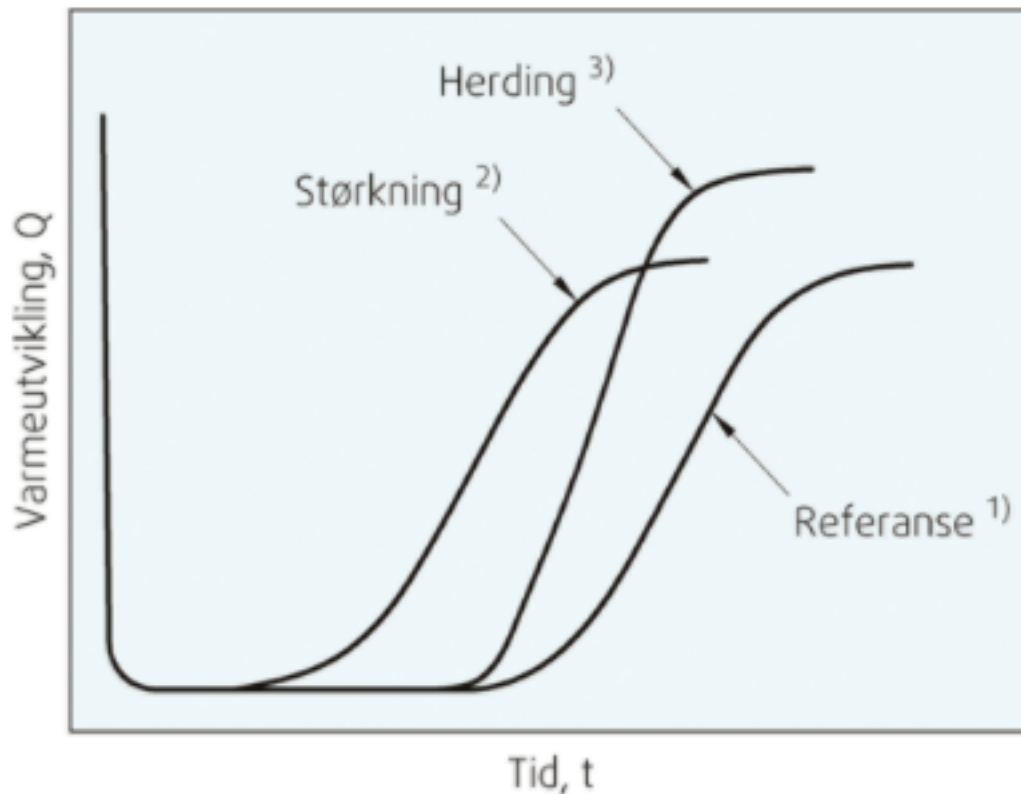
Stoffet bidrar til å øke betongherdingen uavhengig av betongens temperatur. I forhold til andre akselereringsmetoder vil tidlig styrkeutvikling oppnås raskere (Byggforsk) (NorSika, u.å-b).

2.4.2 Størkningsakselererende stoffer

Størkningsakselererende stoff er et tilsetningsstoff som brukes for å oppnå ønsket størkningstid. Ved tilsetning av størkningsakselererende stoff, som er basert på kalsiumnitrat, reduseres tiden på blandingens overgang fra plastisk til stiv tilstand. Dette er spesielt viktig ved gulvstøping da glatting av gulvet kan utføres etter størkning.

Akseleratoren påvirker sementhydratiseringen, slik at hastigheten øker. Den raske hydratiseringen fører til forkortet størkningstid, akselerasjon i fasthetsutvikling eller begge deler.

Ved å måle varmeutviklingen som genereres av hydratiseringen kan størknings- og herdingsprosessen bestemmes, og på den måten kontrolleres. Varmen produseres mye tidligere og raskere ved bruk av størkningsakselerator i forhold til referanseverdien.



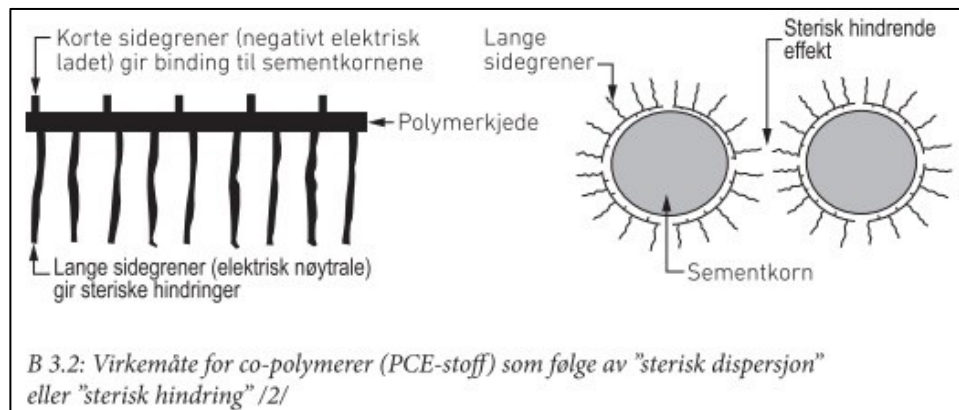
Figur 15: Virkning av størknings- og herdingsakselerator på varmeutviklingen under hydrasjonsforløpet. 1: Betong uten akselerator, 2: Betong med SA, 3: Betong med HA. (Byggforsk)

Størkningsakseleratoren fungerer hovedsakelig når betongen er i plastisk tilstand, mens herdeakseleratoren virker hovedsakelig etter betongen har størknet. Når størkningsakselerator brukes må det utvises varsomhet, fordi dersom stoffet inneholder store mengder alkalier eller doseres for høyt kan det redusere langtidsfastheten til betongen (Byggforsk).

2.4.3 Superplastiserende tilsetningsstoff

Plastiserende (P-) og superplastiserende (SP-) stoffer endrer viskositeten til betongen og gjør den mer støpbar uten å endre v/c-tallet. I dag brukes de gamle P-stoffene mest for det som tidligere var regnet som bivirkninger, nemlig størkningsretardasjon og lang åpentid. Dette kan være gode egenskaper, spesielt ved transport over lange avstander og ved støping i

varmere klima. Den plastiserende effekten man er ute etter får man nå klart mest fra sistegenerasjons SP-stoffer. Disse er basert på co-polymerer (sammensatt av forskjellige monomerer av poly-akrylsyre($\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$), molekyler som kan danne forbindelser med andre molekyler) (Sire, 1995) Lange kjeder av disse polymerene legger seg rundt betongkornene, og lange sidegrener på disse skyver dem fra hverandre (Maage, 2015). Denne virkemåten blir kallet sterisk dispersjon/hindring.



Figur 16: Virkemåte for co-polymerer (Maage, 2015)

Det finnes i dag mange forskjellige SP-stoffer på markedet. De forskjellige leverandørene leverer egne SP-stoffer med spesialiserte egenskaper til formål/bruksområder/betongtyper. SP-stoffer til gulvstøp trenger ikke å gjøre betongen like bløt som ved veggstøp, men må til gjengjeld være med på å redusere fordampingsvinn, SP-stoff til elementproduksjon må hjelpe til med å øke tidligfastheten osv.

Mapei har Dynamon-serien, som består av 27 produkter tilpasset helt spesifikke formål (Mapei, u.å). Sikas ViscoCrete-serie består av 5 produkter tilpasset forskjellige betongtyper (Norsika, u.å-a),

og Master Builders Solutions (tidligere BASF) har sin MasterGlenium-serie (Master Builders Solution, u.å-b). I vår oppgave har vi brukt MasterGlenium SKY 830. Grunnen til det er at det er den de bruker hos Skedsmo Betong, som er vår betongleverandør.

2.5 Betongtyper

2.5.1 Normalbetong

Normalbetong er, som navnet tilsier, den vanligste formen for betong. Den består i all hovedsak av sement, vann og tilslag. Den har vanligvis en egenvekt på mellom 2000 og 2600 kg/m³. Normalbetongen har vært i bruk siden Portlandsementen ble patentert i 1824. Normalbetong må vibreres for å fylle ut i forskalingsformer, da viskositeten er relativt lav. Ved å erstatte tilslaget med lecakuler, skumplastperler eller pimpstein kan en lage lettbetong. Egenvekten blir da betydelig lavere, helt ned mot 300 kg/m³. Dette kan være lurt m.a. ved støping på dårlig grunn. Tilsvarende kan en lage tungbetong ved å bruke magnetitt eller barytt som tilslag. Egenvekten kan da komme opp i 5600 kg/m³, noe som kan være hensiktsmessig ved bruk til f.eks. motvekt på kraner eller som ballast i skip (Maage, 2015).

2.5.2 Sprøytebetong

Sprøytebetong blir i hovedsak brukt til bergsikring. I Norge benyttes metoden våtsprøyting, der ferdigblandet betong blir ført fram til et munnstykke, der farten blir akselerert ved hjelp av trykkluft. I munnstykket blir det også tilsatt størkningsakselerator, for at ikke betongen skal skli ut når den treffer bestemmelsesstedet.

2.5.3 Selvkomprimerende betong

Selvkomprimerende betong (heretter SKB) er tilsatt superplastiserende stoffer og har større mengde finstoffinnhold, som gir gode flyteegenskaper. Når synkmålet i en betong er større enn 23-24 cm blir denne regnet som en SKB. Å ha tilstrekkelig matriksvolum i SKB er viktig for egenskapene. Avhengig av om masseforholdet er for lite eller høyt kan tilstrekkelig matriksvolum oppnås ved å øke sandinnholdet, alternativt må større endringer gjøres om nødvendig.

SKB er en produksjonsteknikk som tillater gjennomføring av støpearbeid uten tilførsel av komprimeringsenergi i form av stavvibrator. Betongen flyter lettere og fyller formen bedre på grunn av konsistensen betongen har. Ved hjelp av egen vekt plasserer og komprimerer betongen seg. Disse egenskapene gir raskere og lettere støpearbeid hvor det kreves mindre menneskekraft. SKB er derfor en fin løsning som forenkler prosessen ved støping.

Betongen kan brukes både til vegg og gulvstøp. Ved slanke konstruksjoner, der armering ligger tett er det fordel å bruke SKB som ikke trenger vibrering. Dersom forarbeid og utstøping utføres riktig vil SKB gi en fin overflate, holdbarhet og god utfylling. Et godt resultat avhenger å planlegge støpearbeidet og -hastigheten. Grunnet viskositeten må støpeformene lages tettere enn ved ruk av normalbetong.

Fordelen med SKB inkluderer økonomisk effektivitet med forkortet byggetid, redusert arbeidskraft og utstyr. Det forbedrer arbeidsmiljø og bomiljø der det er mindre støy og helsefare (Maage, 2015) (Byggforsk).

2.6 Herdeteknologi

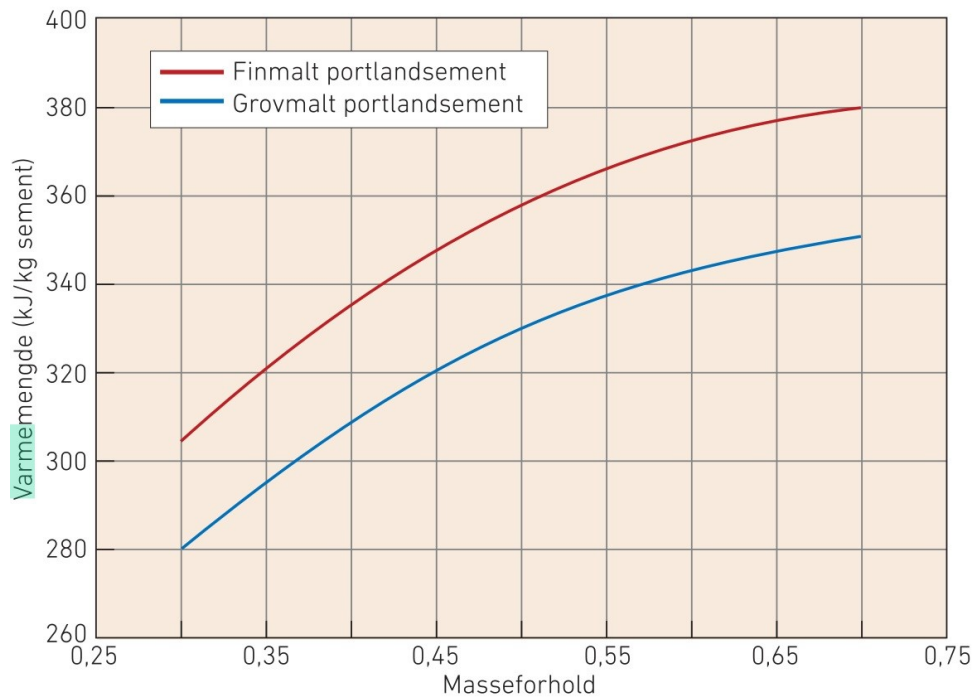
Herdeteknologi er kunnskapen om hvordan ulike faktorer sammen påvirker betongens temperatur- og fasthetsutvikling (Maage, 2015). Det kan blant annet være bestanddelene i blandingen, hvor både type, mengde og sammensetting tas i betraktning.

Hydratiseringshastigheten påvirkes av temperaturen og vil igjen påvirke betongens fasthetsutvikling. Noen betonger er mer avhengig av varme enn andre for å oppnå fasthet.

Kunnskap om herdeteknologi er nødvendig for produksjonsplanlegging og kvalitetsstyring av betong i prosjekter (Byggforsk) (Maage, 2015).

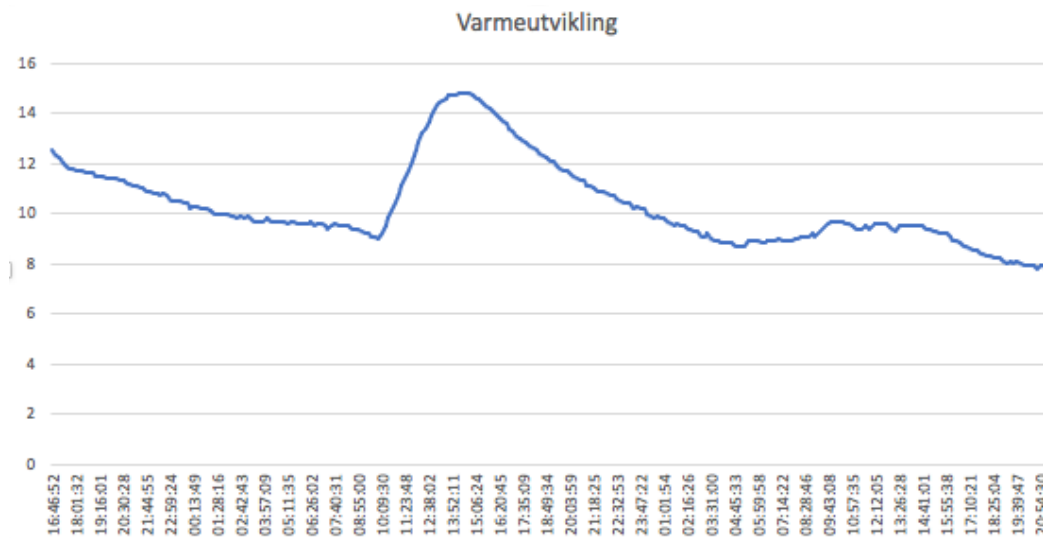
2.6.1 Varmeutvikling

Ved hydratiseringen oppstår det varme som er avgjørende for varmeutviklingen i betongen. I praksis er det vanskelig å oppnå full hydratisering på grunn av avhengigheten for tilgjengelig vann. I løpet av hydratiseringsprosessen vil sementkornene sammen med vann danne CSH-forbindelser. Videre er prosessen avhengig av at fukt transporteres gjennom sjiktene og inn til gjennliggende uhydratiserte korn. Hydratiseringsprosessen avhenger av diffusjonstetthet i sementpastaen. Finmalt sement har større diffusjon enn grovmalt, og vil derfor gi høyere hydratasjonsgrad. Se figur 17 for illustrasjon (Maage, 2015) (Rasmussen, 2011):

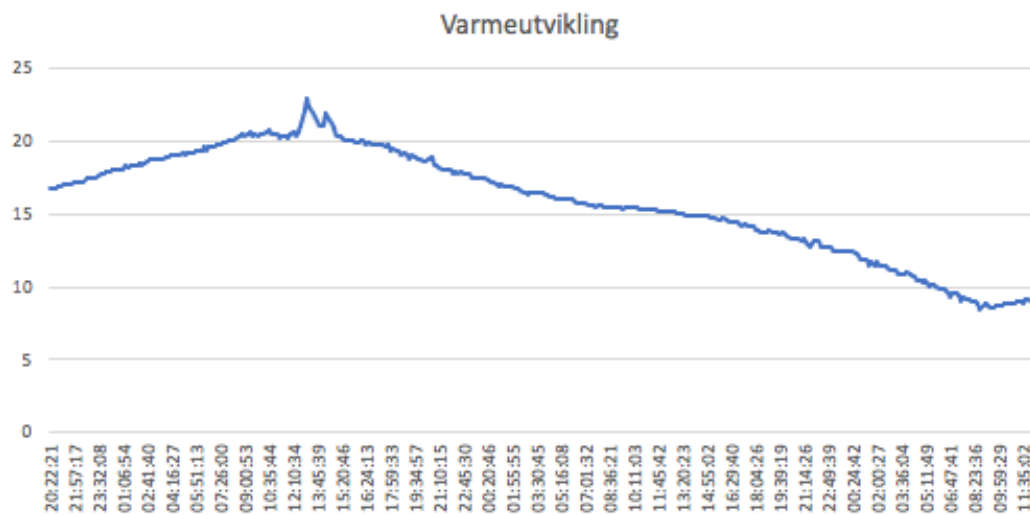


Figur 17: Varmeutvikling av betong herdet 200 timer ved 20°C (Maage, 2015)

Figurene under viser varmeutviklingen til CEM III/B som er støpt på Oksenøya under ulike tidspunkter og værforhold. Her kommer værforholdets betydning for varmeutviklingen tydelig frem. Se figur 18 og 19: Jo bedre værforholdene er gjennom herdeprosessen jo bedre blir varmeutviklingen. Varmeutviklingens positive innvirkning påvirker også hastigheten til fasthetsutviklingen. Ved figur 18 oppnår betongen minstekravet på 5 MPa etter 36 timer. Ved figur 19 bruker den 20 timer. For oversikt over værdata og fasthetsutvikling for figur 18 og 19, se Vedlegg B1 og B2.



Figur 18: Varmeutvikling av Lavkarbon Ekstrem ved temperatur mellom 2 og -5°C. X-aksen representerer temperatur i betong, Y-aksen representerer tid.

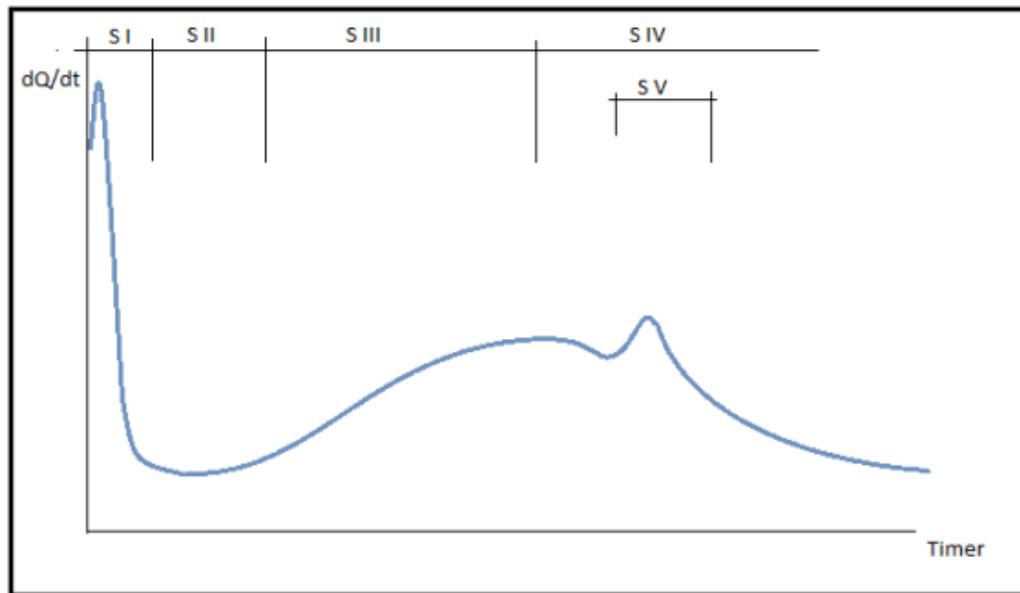


Figur 19: Varmeutvikling av Lavkarbon Ekstrem ved temperaturer mellom 0 og 11°C. X-aksen representerer temperatur i betong, Y-aksen representerer tid.

Det er flere faktorer som påvirker varmeutviklingen og dens hastighet. Blant annet sementsammensetningen, sementens finhet, tilgjengelig vann, betongens masseforhold og herdeforhold (Rasmussen, 2011) (Maage, 2015).

Klinkermaterialene i sement har ulik varmeutviklingsevne og blandingsforholdet mellom disse avgjør mengde energi som kan frigjøres ved ulike tidspunkter. For å se nærmere på

utviklingsprosessen deles den inn i fem ulike reaksjonsperioder, se figur 20 for illustrasjon (Rasmussen, 2011).



Figur 20: Varmeutviklings 5 reaksjonsfase (Rasmussen, 2011)

S I: Den første perioden som varer 10-20 minutter, starter når det tilsettes vann i sementen. Stigningen vi ser ved start kommer av varmen som produseres av løsningen og klinkerens overflatereaksjon. I denne fasen dannes ettringitt.

S II: Hvileperioden varer 2-4 timer, og kan påvirkes av tilsetningsstoffene. Her fortsetter oppløsning av kalsiumhydroksid til hydratiseringen aktiveres av C_3S .

S III: Akselerasjonsfasen er fasen hvor hydratasjonshastigheten øker, og betongens herdeprosess starter. C_3S produktene styrer perioden som varer omtrent 5-10 timer ved $20^\circ C$. Avhengig av temperaturen vil hastigheten variere, men mot slutten oppnås maksimal hastighet.

S IV: I retarderingsperioden binder CSH-produktene vannet i betongen. Her går transportprosessen noe tregere pga minkende hydratasjonshastighet avhengig av diffusjonsgrad.

S V: C₃A og ettringitt danner monosulfat etter som gipsen brukes opp ved tidligere faser. Varmeutviklingen får derfor en vekst (Rasmussen, 2011).

2.6.2 Varmetap

Ved tilfeller hvor det ikke overføres varme mellom konstruksjonen og omgivelsene har vi en adiabatisk prosess, $Q = 0$. Temperaturøkning forårsaket av varmeutviklingen er normalt, ofte stiger temperaturen over 60°C. Konstruksjoners varmetap avhenger av deres dimensjon og geometri. Jo tykkere konstruksjonene er jo mer varme vil de holde på. Varmetapet er større i overflaten enn i kjernen, dette påvirker temperaturgradienten (Rasmussen, 2011).

Adiabatisk temperaturstigning i betong er gitt ved ligning 1:

$$\Delta\theta = \frac{Q_{\infty} * C}{\rho r * cb}$$

$\Delta\theta$ er temperaturøkning, °C

Q_{∞} er mengde varmeutvikling per sementenhet, $\frac{kJ}{kg \text{ sement}}$

C er mengde sement, $\frac{kg}{m^3}$

cb er spesifikk varmekapasitet i betongen, $\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$

ρr er betongdenistet, $\frac{kg}{m^3}$

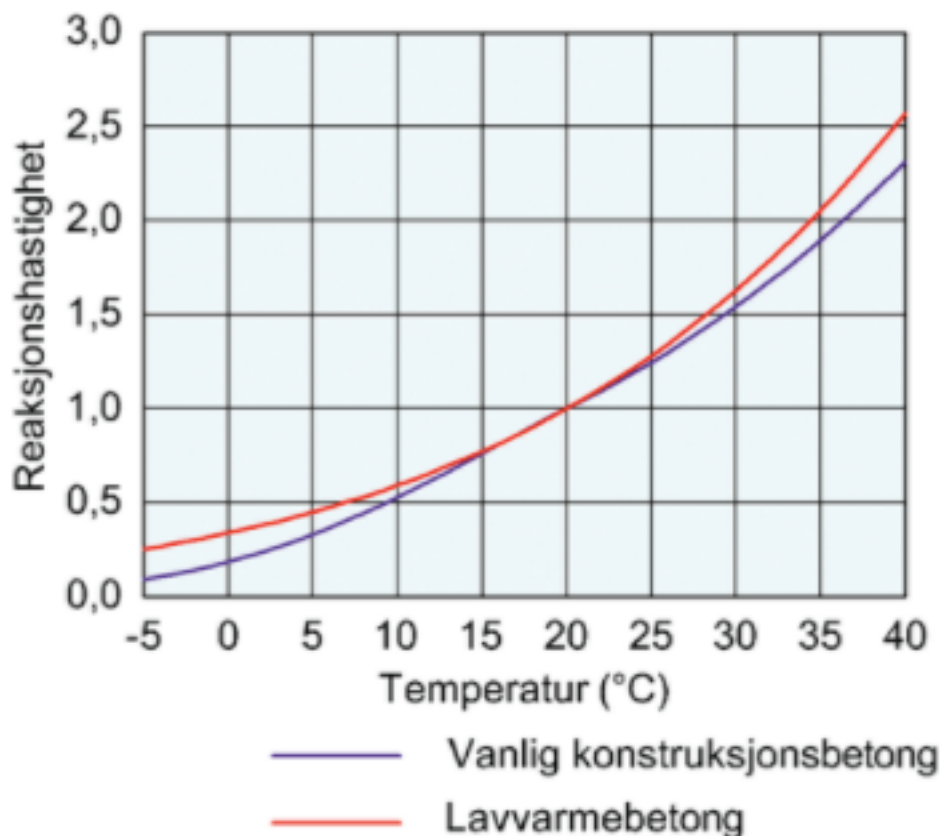
2.6.3 Hydratasjonsforløpet

Aktiveringsenergi er energi sementen trenger for at hydratiseringen skal kunne starte og gir oversikt over temperaturfølsomheten. Ved å definere aktiveringsenergien kan hydratiseringsgraden bestemmes ved en referansetemperatur på 20°C. Ligning 2 for aktiveringsenergi er gitt ved:

$$E(\theta) = A + B (20 - \theta) \quad \theta \leq 20^\circ C$$

$$E(\theta) = A \quad \theta > 20^\circ C$$

Konstantene A og B varierer fra betongtype, sementtype, pozzolaninnhold og masseforhold. Figur 21 viser aktiveringsenergien til to ulike betongtyper ved stigende temperatur. Figuren viser at endring i reaksjonshastigheten er større ved senkende temperaturer som skyldes økt temperaturfølsomhet (Maage, 2015).



Figur 21: Hastighetsfunksjonen for to ulike betongtyper ved stigende temperatur (Byggforsk)

Hastighetsfunksjonen gir sammenlignbare verdier for herdeforløpet ved forskjellige temperaturer. Betongens reaksjonshastighet beregnes ved gitt temperatur, ved å sammenligne med en definert hastighet på 20°C. På den måten bestemmes betongens modenhet ved ulike temperaturforløp, som tilsvarer herdetiden den aktuelle betongen må ha for å oppnå samme fasthet eller varmeutvikling som betong får ved herding ved 20°C (Byggforsk).

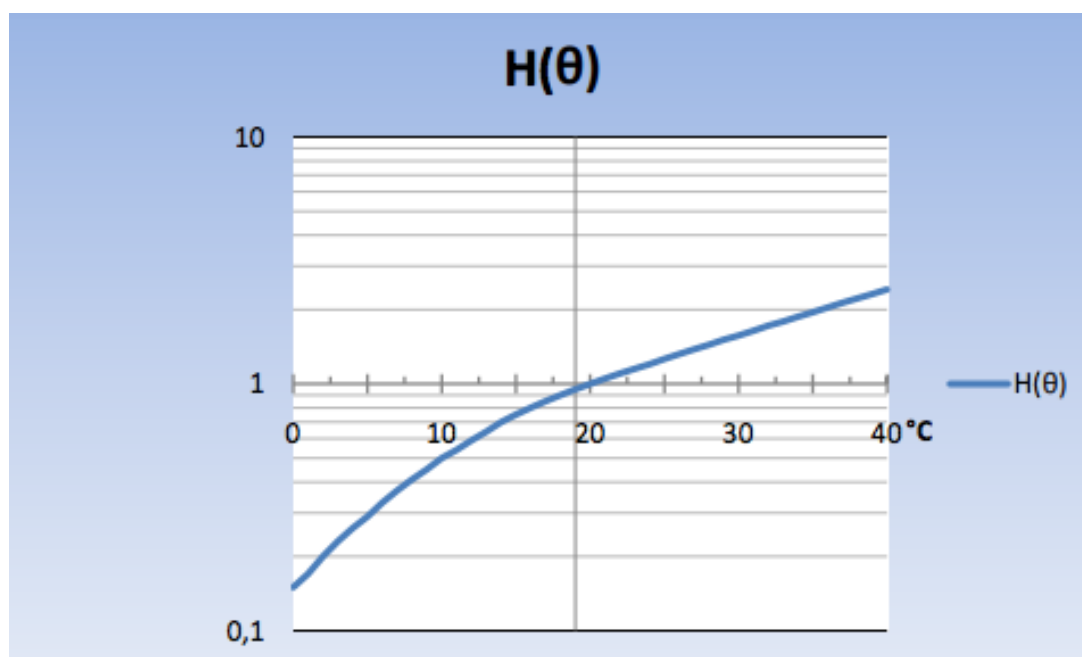
Hastighetsfunksjonen er gitt ved ligning 3, $H(\theta) = e^{\frac{E(\theta)}{R} * (\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta})}$

$E(\theta)$ er aktiveringsenergi, $\frac{kJ}{mol}$

θ er temperatur i $^{\circ}C$

R er gasskonstanten, $0.008314 \frac{kJ}{mol * ^{\circ}C}$

Hydratiseringshastigheten er ved $20^{\circ}C$ definert til å være 1. Hastigheten vil synke ved lavere temperaturer, og stige ved økende temperaturer. Se figur 22 for illustrasjon:



Figur 22: Temperaturens innvirkning på hydratiseringshastigheten (Rasmussen, 2011).

2.6.4 Herdeforløpet

Ved å bruke hastighetsfunksjonen kan man simulere herdeforløpet til en betong.

Når man simulerer, kan man ved beregninger av temperatur- og fasthetsforløp komme frem til behov for herdetiltak. For eksempel om betongen trenger isolasjon på grunn av varmetap. Simuleringen sikrer kvalitet og framdrift i byggeprosjekter. Mange entreprenører bruker planleggingsverktøyet Hett97. Dette verktøyet er ekstra gunstig å bruke under vinterarbeid (Maage, 2015) (Byggforsk).

Ved simulering tas det hensyn til varme- og fasthetsutvikling, konstruksjonstype, dimensjon, forskalingstype, lufttemperatur og vindforhold. Nødvendige opplysninger om når

forskalingen bør rives, tiltak som må settes for å følge fremdriftsplanen, hvilken sementtype og mengde, betongtemperatur, fare for frysing og eventuelle tiltak man bør utføre kan besvares (Byggforsk).

2.6.5 Temperatur påvirker herdeegenskaper

I herdefasen er både for kald og for varm temperatur ugunstig. Hvis betongen utsettes for frost vil vannet i betongen fryse før hydratiseringen oppnås, og betongen er ødelagt. Ved høye temperaturer vil vannet fordampe, og fordampningssvinn oppstår. Det er også andre risikoer ved for høy herdetemperatur.

Herdet betong som blir utsatt for sulfat vil reagere med monosulfat og danne ettringitt, som er en stavformet krystall. Ved dannelsen påføres det spenninger i konstruksjonen som fører til riss, endring i strukturen og svekkelser i fastheten. Høyere herdetemperatur fører til forsinket ettringittdannelse, som igjen øker betongens volum og gir økt fare for oppsprekking. For å unngå dette kan utstøpingstemperaturen kontrolleres. Tilslaget og vannet kan kjøles ned. Samtidig bør temperaturen over hele tverrsnittet holdes lik. Betong utvider seg ved varme og trekker seg sammen ved kulde. Ulik temperatur gjennom tverrsnittet fører også til uønskede spenninger i betongen. (Rasmussen, 2011).

Tilsetning av flygeaske eller slagg fører til tregere fasthetsutvikling.

Når flygeaske eller slagg males inn i sementen på sementfabrikken økes finmalingsgraden for å kompensere for treg fasthetsutvikling. Men når tilsetningsmaterialene blandes direkte inn under betongproduksjon på blandefabrikk, må den trege fasthetsutviklingen kompenseres ved å senke masseforholdet. Det gjøres ved å øke bindemiddelinholdet, noe som ikke er aktuelt ved ønske om å oppnå lavkarbonbetong.

Selv om fasthetsutviklingen er langsom vil temperaturfølsomheten være mindre ved lave temperaturer for betong som er tilsatt flygeaske enn vanlig konstruksjonsbetong. Dette betyr at ulikhetene minsker ved lave temperaturer (Norsk Betongforening, 2020).

2.6.6 Vinterstøp

Det støpes året rundt, også under vintersesongen. Vinterforholdene fører til at det må tas forholdsregler og settes i verk tiltak ved produksjon og støping for å unngå driftsmessige utfordringer i et byggeprosjekt. Vinterstøp er definert som støping ved temperatur lavere enn 5°C (Byggforsk). Både herdeprosessen og fasthetutviklingen er temperaturavhengig. Dette gjør det vanskeligere å støpe når det er kaldt. Dersom herdende betong nedkjøles forsinkes fremdriften.

Når det støpes ved lave temperaturer øker sannsynligheten for temperaturforskjeller i betongen ved herding, dette kan føre til oppriss.

Isdannelse kan oppstå i betongoverflaten og innover i tverrsnittet. Dette kan gi permanente strukturfeil, blant annet kan det oppstå hulrom og poresystem. Strukturfeil fører til redusert fasthet og dårligere bestandighet enn normalt. Hvis en fersk betong har blitt utsatt for frost må betongkvaliteten verifiseres ved å ta ut borkjerner for prøving av trykkfasthet iht NS-EN 12504-1 (Standard Norge, 2020).

Når det brukes lavkarbonbetonger ved vinterstøping må det vurderes spesielt hvilke tiltak som behøves for å sikre herdeforløpet. Betonger fra lavkarbonklasse B kan brukes som vinterbetong med ordinære tiltak. Mens betonger fra lavkarbonklasse A krever mer bruk av isolasjonsmaterialer.

Dersom det brukes energikrevende tiltak for å kompensere redusert varme- og fasthetsutvikling må dette inkluderes i det totale karbonregnskapet.

Dette vil spesielt gjelde for klassene Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem. Her kreves det spesielle tiltak under vinterproduksjon. Blant annet tildekking med isolasjonsmaterialer og fyring (Norsk Betongforening, 2020) (Byggforsk).

3 Metode

3.1 Drøfting av metoder

Ekstrem lavkarbonbetong CEM III/B SKB er lite brukt ved vinterstøping. Dette betyr at litteratursøk, intervjuer eller case-studier ikke vil være relevante metoder å bruke for å undersøke problemstillingen.

Det ble utført et litteraturstudie ved oppstart av skriveingen (kapittel 1). Dette ble gjort for å bekrefte mangelen på kunnskap om temaet. For å sette lavkarbonbetonger i et miljøperspektiv og undersøke hvordan klimagassavtrykket fra betong kan minimeres. Det ble også søkt etter informasjon om effektiviteten til ulike herdingdakseleratorer. Ingen funn fra søket blir brukt direkte i oppgaven.

3.2 Valgt metode

Svarene som fremkommer i resultat, diskusjon og konklusjon baserer seg på data fra forsøkene gjort i laboratoriet ved OsloMet.

For å belyse betongegenskapene til CEM III/B SKB ved lave temperaturer, følges fasthetsutviklingen fra 18 timer fram til 56 døgn når herdetemperaturen er 5°C. Prøvene trykktestes ved utvalgte tidspunkter og resultatene gir datagrunnlag til oppgavediskusjonen. Det utføres visuell kontroll av slumpbredelsen til alle blandinger for å undersøke om økende mengde X-seed gir økt fare for separasjon. Det søkes etter når prøvene når en fasthet på 5 MPa.

CEM III/B:

- Det støpes prøveterninger av CEM III/B inneholdende henholdsvis 1, 2 og 3 % X-Seed som herder ved 5°C.
- Det støpes prøveterninger av CEM III/B med 3 % størkningsakselerator som herder ved 5°C.
- Det støpes terninger av CEM III/B inneholdende 0 og 1% X-Seed som herder i vannbad ved 20°C.

For å etablere et sammenligningsgrunnlag til oppgavediskusjonen støpes prøver av den mer brukte CEM II/B, som har en bedre dokumentert fasthetsutvikling. Denne betongen er referansen i oppgavediskusjonen.

CEM II/B:

- Det støpes prøveterninger av CEM II/B inneholdende 0% X-Seed som herder i vannbad ved 20°C.
- Det støpes prøveterninger av CEM II/B inneholdende 0 og 1% X-Seed som herder ved 5°C.

Skedsmo betong har bidratt med sine egne resultater fra tester av CEM III/B med 1,5% X-Seed. Skedsmo betongs laboratorieresultater brukes som sammenligningsgrunnlag for å øke reliabiliteten til resultatene fra denne oppgaven.

Ekstern veileder Helga Synnøve Kjos-Hanssen og betongteknolog Andreas Sjaastad ved Veidekke, har bistått med faglig veiledning. Dette har vært i forbindelse med utarbeidelse av laboratorieplan og ved opplæring i metodikk for måling og kontroll av slumpbredelse. De har vært tilgjengelige for spørsmål og diskusjon gjennom hele prosessen for å sikre god gjennomføring og høy kvalitet på arbeidet i laboratoriet.

Usman Razzaq fra Skedsmo Betong har utarbeidet reseptene og skaffet til veie alle materialer som er blitt brukt.

CEM III/B inneholdende økende doseringsmengde X-seed og referansebetongens fasthetsutvikling sammenlignes. CEM III/B er så treg i starten at dennes fasthet forventes å være lavere enn referansen inntil 28 døgn, men vil kanskje utvikle større fasthet etter dette. Derfor trykkestes prøvene etter 56 døgn herding.

3.3 CEM II/B SKB – Betongresept

Tabell 7: Resept fra Skedsmo Betong, B35 M45 C10, 1Dmax20S SKB. V/C= 0,445

	Materialer	kilo/m ³ VOT Original- resept	Nedskalert VOT kilo/0,02m ³ (20 liter)	Vann- Innhold %	Oppmålte mengder kilo/0,02m ³ (20 liter)
Tilslag	Bergmoen 0-6 mm	1147,600	22,952	veies	justeres
Tilslag	Tangen 4-8 mm	90,656	1,813	veies	justeres
Tilslag	Tangen 10-20 mm	562,068	11,241	veies	justeres
Sement	CEM II B-S 52,5	378,565	7,571	0,00	7,571
Finstoff (silika)	Microsilica	15,774	0,315	0,00	0,315
Vann	Vann	178,726	3,593	100,00	justeres
Varmt vann	Varmt vann	0,018	0,000	100,00	0,000
Tilsetning	M-Glenium 830.2	4,562	0,091	78,00	0,091
Tilsetning	M-Matrix 101	0,200	0,004	98,80	mangler
Retarder	MasterSet R 433	0,000	0,000	90,00	mangler
Herdeakselerator	Master X-Seed 0%	0,000	0,000	78,00	0,000
Sum		2378,168	47,580		kontrolleres

For original resept fra Skedsmo betong, se vedlegg C1.

3.4 CEM III/B SKB – Betongresept versjon 1 (R1)

Tabell 8: Resept fra Skedsmo Betong, B35 M45 C10, 1Dmax20s SKB- CEM III/B, Lavkarbon Ekstrem. V/C=0,445

	Materialer	Kilo/m ³ VOT Original- resept	Nedskalert VOT Kilo/0,02 m ³ (20 liter)	Vann- Innhold %	Oppmålte mengder Kilo/0,02m ³ (20 liter)
Tilslag	Bergmoen 0-6 mm	1157,756	23,155	veies	justeres
Tilslag	Tangen 4-8 mm	91,458	1,829	veies	justeres
Tilslag	Tangen 10-20 mm	567,042	11,341	veies	justeres
Sement	CEM III/B 42,5	329,255	6,589	0,00	6,589
Finstoff (silika)	Microsillica	28,631	0,573	0,00	0,573
Vann	Vann	167,717	3,354	100,00	justeres
Varmt vann	Varmt vann	0,017	0,000	100,00	0,000
Tilsetning	M-Glenium 830.1	4,642	0,093	78,00	0,149
Tilsetning	M-matrix 101	0,250	0,005	98,80	mangler
Retarder	MasterSet R 433	0,000	0,000	90,00	mangler
Tilsetning	MasterAir 11	0,447	0,009	89,00	mangler
Herdeakselerator	Master X-Seed 0%	0,000	0,000	78,00	0,000
Sum		2347,215	46,948		kontrolleres

For original resept fra Skedsmo betong, se vedlegg C2.

3.5 CEM III/B SKB – Betongresept versjon 2 (R2)

Tabell 9: Resept fra Skedsmo Betong, B35 M45 C10, 1Dmax20s SKB – CEM III/B Lavkarbon Ekstrem. V/C= 0,445

	Materialer	Kilo/m ³ VOT Original- resept	Nedskalert VOT Kilo/0,02 m ³ (20 liter)	Vann- Innhold %	Oppmålte mengder Kilo/0,02m ³ (20 liter)
Tilslag	Bergmoen 0-6 mm	1160,518	23,210	veies	justeres
Tilslag	Bergmoen 4-8 mm	89,271	1,785	veies	justeres
Tilslag	Bergmoen 10-20 mm	535,624	10,712	veies	justeres
Sement	CEM III/B 42,5	338,826	6,777	0,00	6,777
Finstoff (silika)	Microsillica	29,463	0,589	0,00	0,589
Vann	Vann	172,097	3,442	100,00	justeres
Varmt vann	Varmt vann	0,018	0,000	100,00	0,000
Tilsetning	M-Glenium 830.1	5,421	0,108	78,00	0,108
Tilsetning	M-matrix 101	0,250	0,005	98,80	mangler
Retarder	MasterSet R 433	0,000	0,000	90,00	mangler
Tilsetning	MasterAir 11	0,460	0,009	89,00	mangler
Herdeakselerator	Master X-Seed 0%	0,000	0,000	78,00	0,000
Sum		2331,948	46,637		kontrolleres

For original resept fra Skedsmo betong, se vedlegg C3.

3.6 To ulike resepter for CEM III/B

Ved blanding av både CEM II/B, og CEM III/B av R1 i laboratoriet var disse litt lite homogene. Slumputbredelsen var noe tørr på midten. Derfor ble resepten justert av Skedsmo Betong. Det ble tilsatt mer vann og sement i likt forhold (slik at v/c – tallet ikke endres). Denne økningen av mengden sementpasta i blandingen gav bedre resultat. Ved dette tidspunktet var allerede terningene av CEM II/B ferdig støpt. CEM III/B til lagring ved 20°C var også ferdig støpt med R1. På grunn av mangel på både materialer og tid i laboratoriet ble det besluttet å beholde disse terningene. Videre ble alle prøveterninger av CEM III/B til lagring ved 5°C støpt med R2. Dette er også nevnt senere i oppgaven i kapittel 6 Feilkilder.

Bildene under viser to av slumputbredelsene fra forsøket i laboratoriet ved OsloMet.



Bilde 2: Utbredelse R1 med tørrhet i senter.



Bilde 3: Utbredelse R2 nesten uten tørrhet.

3.7 Vanninnhold i tilslag

Følgende prosedyre gjøres for alle resepter før oppmåling av mengder til blandingene for å opprettholde riktig v/c-tall: Tørking av tilslag utføres iht. NS-EN 1097-5 (Standard Norge, 2008).

Det veies opp 1000 gram tilslag som tørkes i laboratoriet. Under tørking veies tilslaget kontinuerlig og når vekten stagnerer er tilslaget overflatetørt. Differansen mellom startvekten og overflatetørt tilslag er massen til det frie vannet i og på veiet tilslag. Dette kalles «fri fukt» og settes som andel av overflatetørt tilslag. I tillegg tas det hensyn til absorbert fukt i tilslaget for å finne «korrekt fuktinnhold». Informasjon om absorbert fuktinnhold i tilslagene finnes i ytelseserklæringer fra oppdragsgiver og ligger som *vedlegg D1, D2 og D3*.

«Korrekt fuktinnhold» kan ses som en prosentverdi som viser til hvor mye vann som må legges til VOT-verdien i resepten (VOT = teoretisk verdi). Når dette gjøres finner man mengde tilslag som skal veies opp til blanding, «oppmålt mengde».

Dette må gjøres for alle de ulike tilslagene i resepten. Summen av dette trekkes ut fra den teoretiske mengden vann som er satt opp i resepten.

Regneark som viser resepter inneholdende sine respektive mengder tilsetningsstoffer og med justert vannmengde ligger som *vedlegg E*.

Bildene under viser en kilo tilslag til en av blandingene av R2 utført i laboratoriet ved OsloMet.



Bilde 4: En kilo tilslag veies opp.



Bilde 5: Tilslaget tørkes.



Bilde 6: Ferdig tørket tilslag veies.

Figurene under viser formler for, og utregning av, hvor mye som måtte veies opp av tilslaget fra bilde 3, 4 og 5. Resepten viste en VOT-verdi på 23,210 gram, etter beregninger ble det veiet opp og brukt 23,976 gram.

startvekt – overflatetørt tilslag = fri fukt i og på tilslaget

$$\frac{\text{fri fukt tilslag}}{\text{overflatetørt tilslag}} = \text{andel fri fukt i tilslaget}$$

andel fri fukt i tilslaget – absorbert fukt = korrekt fuktinnhold

Figur 23: Formler for utregning av fukt i tilslag.

Eksempel: startvekt 1000 gram stagnerer på 960 gram, abs.fukt = 0,4%, VOT = 23,210 kg

$$1000 \text{ g} - 963,9 \text{ g} = 36,1 \text{ g}$$

$$\frac{36,1 \text{ g}}{963,9 \text{ g}} = 0,037$$

$$0,037 - 0,004 = 0,033 = 3,3 \% \text{ (korrekt fuktinnhold)}$$

$$23,210 \text{ kg} * 1,033 = 23,976 \text{ kg (oppmålt mengde)}$$

Figur 24: Eksempel på utregning av oppmålt mengde tilslag.

3.8 Vanninnhold i akseleratorer (HA og SA)

I løpet av forsøket endres reseptene ved å legge til henholdsvis 1, 2 og 3 % HA, da trekkes vanninnholdet i tilsetningsstoffet ut av den teoretiske vannmengden i resepten. Dette gjøres for å opprettholde riktig v/c-tall. Master X-Seed 100 inneholder 78% vann (Master Builders Solution, 2019).

HA er angitt i prosentandel av bindemiddelmengden (sement + microsilica).

$$\text{(Vekt i kg av sement + silika)} * \% \text{ HA} = \text{mengde HA}$$

$$\text{Mengde HA} * \% \text{ vanninnhold HA} = \text{mengde vann å trekke ut av resepten}$$

Figur 25: Utregning av justering av vannmengde ved tilsetning av X-Seed.

Eksempel når det tilsettes 1 % X-Seed i CEM III/B R2 (vanninnholdet i X-Seed er 78 %).

$$(6,777 + 0,589)kg * 0,01 = 0,07366 kg \text{ (massen til 1 \% X-Seed)}$$

$$0,07366 kg * 0,78 = 0,05745 kg \text{ (massen til vanninnholdet i tilsatt X-Seed, skal trekkes fra teoretisk verdi i resepten)}$$

Figur 26: Eksempel på utregning av justering av vannmengde ved tilsetning av X-Seed.

Samme prosedyre gjelder ved tilsetning av SA. I dette forsøket brukes MasterSet AC 100 fra Master Builders solutions, som inneholder 50% vann (Master Builders Solution, 2017).

3.9 Kontroll av reseptene før blanding

Etter justering av den teoretiske mengden vann i resepten ved fratrekke for fukt i tilslag og vanninnhold i HA utføres en kontroll. Summen av alle oppmålte masser skal være lik summen av alle teoretiske masser. Når dette stemmer er alt riktig utført, v/c-tallet er uendret og massene kan blandes sammen.

3.10 Blandeprosedyre

Tabell 10: Detaljert blandeprosedyre

Materialer	Tid
Tilslag / Sement / Silika	0:00 – 1:00 (tørrblandes)
Vann (tilsettes i løpet av 5 sekunder)	1:00 – 1:15
Tilsetningsstoffer (start med SP)	1:25 – 1:30
	Blandes fram til 3:00
Pause (manuell kontroll i blander)	3:00 – 5:00
Sluttblanding	5:00 – 7:00

Det blandes 20 liter betong om gangen, tvangsblenderen overflatefuktes før ifylling.

Ved manuell kontroll i blander undersøkes det at ikke noe av det tørre er ublandet i bunnen. Rett etter blandingen er ferdig tas det ut fersk betong til kontroll av slumpbredelse. Hvis utbredelsesmålet godkjennes støpes prøvelegemer av massen.

Hvis utbredelsesmålet er for lite, skuffes betongen tilbake i blanderen, tilsettes mer SP og blandes i ett minutt ekstra - deretter kontrolleres utbredelsesmålet på nytt.

Bildene under viser oppveing av materialer og tilsetting av vann og X-Seed under blanding.



Bilde 7



Bilde 8



Bilde 9



Bilde 10



Bilde 11



Bilde 12

Bilde 7: Oppveing av X-Seed.

Bilde 8: Oppveing av SP-stoff, Master Glenium.

Bilde 9: Oppveing av silikastøv.

Bilde 10: Oppveing av sement, CEM III/B.

Bilde 11: Sila og Nils Ove tilsetter vann under blanding i laboratoriet ved OsloMet.

Bilde 12: Andreas tilsetter X-Seed under blanding i laboratoriet ved OsloMet.

3.11 Slumputbredelsesmål

Umiddelbart etter blandedeprosedyren er ferdig utføres kontroll av slumputbredelsesmål.

Iht. NS-EN 12350-8 skal utbredelsesmålet til en SKB være 650 mm med et avvik på maks 40mm (Standard Norge, 2019a). Dette kravet gjelder for kontroll av betong ved mottak på byggeplass.

Det er vanskelig å gjenskape virkeligheten i et laboratorium. Når det opereres med små kvanta blir resultatet veldig følsomt for selv de minste variasjoner i mengder og utførelse. Derfor har, i samråd med oppdragsgiver, utbredelsesmål fra 580 mm blitt godkjent for bruk i dette forsøket.



Bilde 13: Plate for utbredelse fuktes før bruk og overskytende vann fjernes.



Bilde 14: For lavt utbredelsesmål på 400 mm.

Må tilsettes mer SP eller blandes på nytt.



Bilde 15: Utbredelsesmål ca 600 mm.

Godkjent for støping av prøveterninger.

3.12 Kvalitet slumpubredelse

Ved økende mengde X-Seed i resepten av CEM III/B skal det holdes øye med eventuell økt fare for separasjon i betongen.

Derfor utføres det visuell kontroll av kvaliteten på slumpubredelsen.

Tilslaget skal følge med massen helt ut, rundt hele randsonen til utbredelsen, massen skal være homogen.

3.13 Slumpubredelse over tid

I tillegg til kontroll av utbredelse for godkjenning til prøvelegemer følges også utbredelsen over tid. Utbredelse på urørt prøve måles etter 30, 60 og 90 minutter. Dersom utbredelsesmålet < 580 mm endres prøvemethode til synkmåling/slumptap iht. NB 29 «Synkutbredelsesklasser». Det letes etter synkmål < 5 cm, ved dette målet finnes betongens størkningstidspunkt.

3.14 Støping av prøvelegemer

Prøveformer, utstøping og lagring for herding utføres iht. NS-EN 12390-1 (Standard Norge, 2012b) og NS-EN 12390-2 (Standard Norge, 2019b)

Det støpes terninger i størrelse 100*100*100 mm i oljede, doble former. Terningene avformes neste dag, ca et døgn etter støping. Merkes med dato og klokkeslett for å holde kontroll på hvilke som skal trykktestes når. Terningene lagres ved henholdsvis 5 og 20°C.

Terninger til lagring ved 20°C legges i vannbad etter avforming.

Terninger til kaldlagring lagres i kjøleskap, det finnes ikke mulighet til å lagre i vannbad ved 5°C i laboratoriet. Dette er en liten utfordring i forsøket. Men NS-EN 12390-2 kap. 5.5.3 beskriver herdingsmetoder som avviker fra metodene i NS-EN 12390-2 kap.5.5.2 (Standard Norge, 2019b). For å sikre at herdingen ligger innenfor standardens krav omsluttet terningene av vått papir og pakkes i en tett plastpose for å sikre fuktig herding. Det overvåkes kontinuerlig at prøveterningene er overflatefuktige. Ved tegn på at papiret tørker spyles de våte igjen.

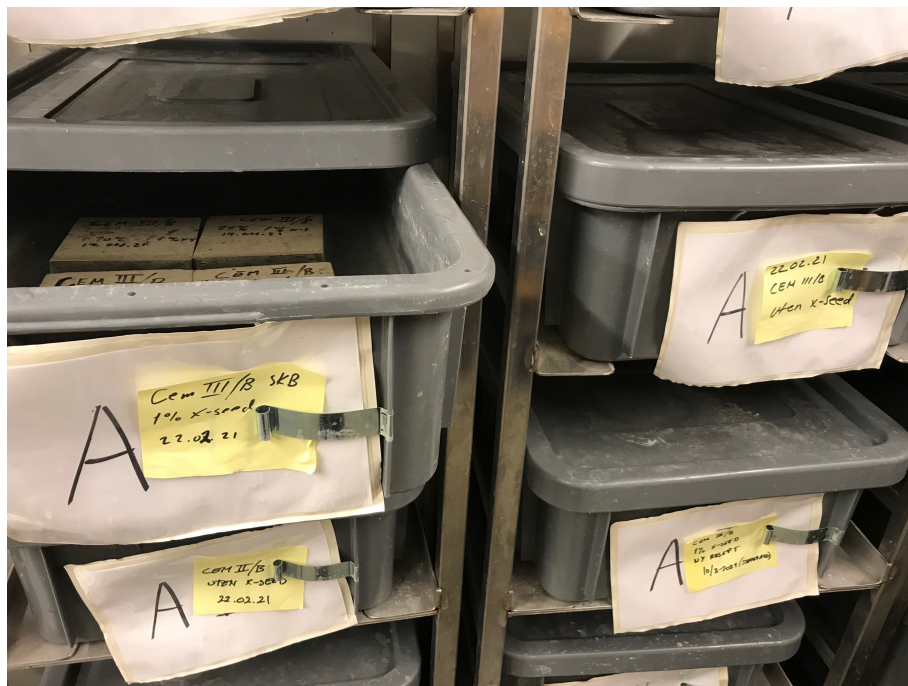
Bildene under viser prøveterninger i fuktet plast til lagring ved 5°C og terninger i vannbad til lagring ved 20°C.



Bilde16: Prøveterninger til kaldlagring.



Bilde17: Terninger til lagring ved 20 °C



Bilde 18: System for lagring i vannbad.

3.15 Måling av fasthetsutvikling

Maskin brukt til testing er en enaksial trykktester fra *Form+Test Prufsysteme* – modell *Alpha 3-3000*, denne er godkjent for trykktesting iht. NS-EN 12390-4 (Standard Norge, 2019d).

Ved trykktesting testes alltid to terninger og gjennomsnittet av disse to er resultatet for gitt tidspunkt.

Sideflatene til terningene som står mot hverandre i de doble terningsformene er de som skal utsettes for trykk. Disse terningsidene plasseres opp mot trykkplaten i maskinen.

Hovedfokuset er CEM III/B lagret ved 5°C celsius. Disse terningene trykktestes i tillegg til intervallene fra tabell 11, også etter 20 og 22 timer. Dette gjøres for å få en ekstra nøyaktig oversikt over utviklingen av tidligfasthet.

Tabell 11: Tidspunkter for trykktesting CEM II/B (5°C og 20°C) og CEM III/B (20°)

18 TIMER	1 DØGN	2 DØGN	7 DØGN	28 DØGN	56 DØGN
----------	--------	--------	--------	---------	---------

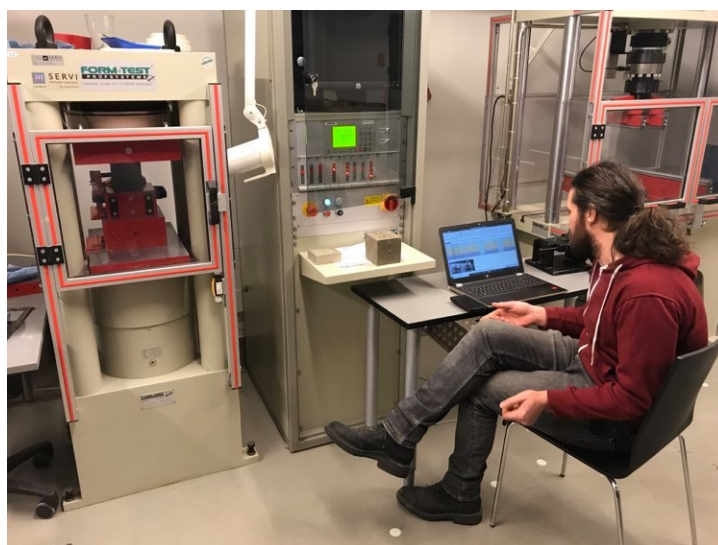
Tabell 12: Tidspunkter for trykktesting CEM III/B (5°C)

18 TIMER	20 TIMER	22 TIMER	1 DØGN	7 DØGN	28 DØGN	56 DØGN
----------	----------	----------	--------	--------	---------	---------

Testing fram til og med 7 døgn gir verdier for tidligfasthet.

28-døgns testing gir verdier for den generelle referanseverdien for klassifisering av betong.

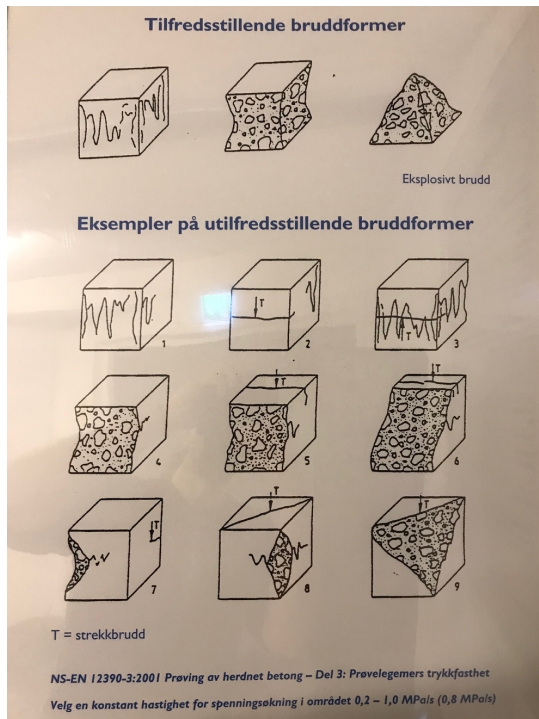
Testing ved 56 døgn gir mulighet for å se nærmere på den trege fasthetsutviklingen til CEM III/B.



Bilde 19: Nils Ove trykktester terninger.

3.16 Bruddform

Etter trykktesting vurderes terningenes bruddform. NS-EN 12390 beskriver tilfredsstillende og ikke tilfredsstillende bruddformer i del 3 fra 2001 (Standard Norge, 2019c). Figuren under er et utklipp fra standarden og viser typene av brudd som kan forekomme etter trykktesting. Bildet under viser et eksempel på den type brudd som oppstod oftest i løpet av dette forsøket. Det oppstod ingen eksplosive brudd.



Figur20: Bruddformer på trykktestede terninger.



Bilde 21: Sila inspiserer bruddform etter trykktesting.

3.17 Metodekritikk

3.17.1 Validitet

Oppgavens og forsøkets validitet er ivaretatt på den måten at det er tatt et tilstrekkelig og godt utvalg av prøver, for å kunne belyse oppgavens tema og problemstilling. Disse valgene er tatt i samarbeid med Veidekke. Norsk Standard er fulgt i alle ledd av forsøket, så langt det har vært mulig, og oppdragsgiver har blitt brukt som en viktig ressurs gjennom hele prosessen.

Forfatterne mener at resultatene fra forsøkene er relevante for alle som vil utforme resepter ved bruk av trege betonger. Økningen av HA i denne oppgavens tester viser en trend som kan hjelpe brukere av sementen til bedre forståelse ved utvikling av resepter.

3.17.2 Reliabilitet

Dette er en kvantitativ oppgave. Utførte trykktester gir objektive resultater presentert som rene tall. Men en liten del gir rom for noe subjektiv presentasjon. Dette gjelder visuell kontroll av slumpubredelse. Reliabiliteten rundt dette har blitt ivaretatt ved at ekstern veileder har gitt opplæring i hvordan slumpubredelsen skal leses.

Tabell 13: Fasthetsutvikling fra Skedsmo Betong. CEM III/B med 1,5% X-Seed lagret ved 5 °C.

Antall timer/døgn	Prøvet kl./dato	Dimensjon	Lagret ved temperatur	Romvekt	Trykkfasthet
18t	06:30	Terning 10x10	Logget	2,380g	1,99
21t	09:30	Terning 10x10	Logget	2,380g	3,14
22t	10:30	Terning 10x10	Logget	2,400g	3,87
24t	12:30	Terning 10x10	Logget	2,420g	4,69
48t	12:30	Terning 10x10	Logget	2,400g	6,13
28d	10.08.20	Terning 10x10	Logget	2,420g	35,94
56d	07.09.20	Terning 10x10	Logget	2,400g	48,9
56d	07.09.20	Terning 10x10	Logget	2,380g	49,3

Tabell 14: Fasthetsutvikling fra eget arbeid

Med 1% X-Seed		
Antall timer/døgn	Vekt	Trykkfasthet
18t		
24t	2295,5	0,52
2d	2275	1,35
7d	2328,5	12,4
28d	2341,8	44,91
56d	2359	54,85

Med 2% X-Seed		
Antall timer/døgn	Vekt	Trykkfasthet
18t	2363	0,45
24t	2318	1,31
2d	2330	5,67
7d	2322,5	15,05
28d	2357,8	45,15
56d	2366,2	56,49

Laborrietester er ikke alltid pålitelige. Det blir støpt i små mengder, noe som gjør at hver dråpe SP-stoff, HA-stoff og vann kan ha betydning for resultatet. Det samme kan hvert gram av sement og silika. Så om vi sammenligner våre resultater med 1 og 2 % X-Seed med Usman Razzaq på Skedsmo Betongs prøver med 1,5 % X-Seed (tabell 13) ser vi at det avviker noe. Ideelt sett skulle vi her ha sett at hans resultater lå omtrent midt mellom våre. Noe av forklaringen kan være at han blander 1 kubikk om gangen mens vi blander 20 L. Det at han er en erfaren betongblander, og vi bare er noviser i faget kan selvsagt også ha betydning.

3.17.3 Objektivitet

Det ligger i en kvantitativ oppgaves natur at den har stor grad av objektivitet. Resultatene fra testene som er utført i denne oppgaven gir ikke stort rom for individuell tolkning, de må ses på som «harde fakta».

Men utvalget av tidspunkter for trykktesting og valgte mengder X-Seed har et visst subjektivt tilsnitt. Disse er valgt ut og kunne vært valgt annerledes, men forfatterne ser på denne subjektiviteten som god. Siden formålet med oppgaven er å belyse hvordan lavkarbonbetongens utfordringer kan minimeres for å avhjelpe byggenæringen til å operere så miljøvennlig som mulig, aksepteres det at oppgaven er vinklet positivt til fordel for lavkarbonbetong. Utvalget av mengder tilsetningsstoffer (HA og SA) er valgt i samarbeid med oppdragsgiver for å passe best mulig til virkeligheten.

3.17.4 Generaliserbarhet

Under skrivingen av denne oppgaven har forfatterne vært i nær tilknytning til oppdragsgivers byggeprosjekt på Oksenøya i Bærum. Samtidig med oppstart av skrivingen ble det støpt vegger og høyvegger på Oksenøya med CEM III/B SKB, så det å undersøke muligheten for å optimalisere støpehastigheten kommer herfra. Men svarene som fremkommer vil være interessante og av betydning for alle som vil støpe med slaggbetonger ved lave temperaturer.

4 Resultat

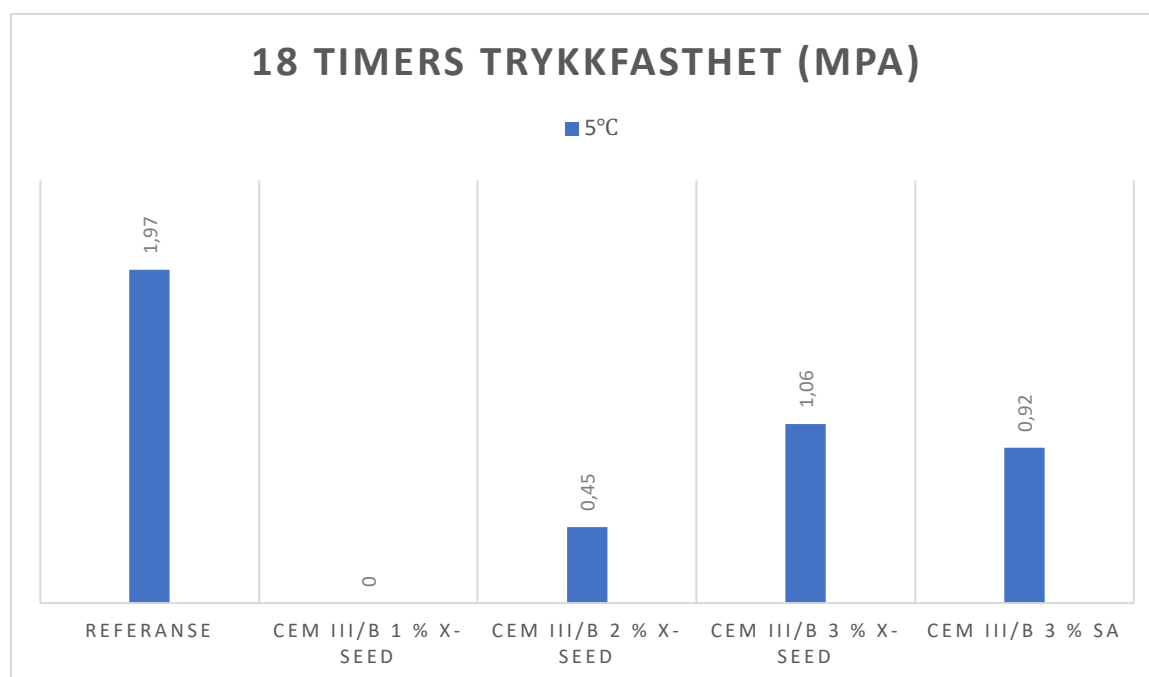
4.1 Fasthetsutvikling, resultater fra laboratorieforsøket

Her presenteres resultatene fra forsøket. De vises fra 18 timer fram til 56 døgns trykktesting av prøveterningene i laboratoriet. Tabellene inneholder alle testresultater fra både 5 og 20 °C. R1 er resept 1 og R2 er resept 2.

Søylediagrammene inneholder fasthetsutviklingen til CEM III/B lagret ved 5°C og referansebetongen i venstre kolonne.

Tabell 15: Fasthet etter 18 timer ved 20°C og 5°C.

Type	Temperatur i °C	18 timers fasthet (MPa)
CEM III/B uten X-Seed ^(R1)	20	
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	20	1,5
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	5	Ikke testbar
CEM III/B 2% X-Seed ^(R2)	5	0,45
CEM III/B 3% X-Seed ^(R2)	5	1,06
CEM III/B 3% SA ^(R2)	5	0,92
CEM II/B uten X-Seed	20	7,94
CEM II/B uten X-Seed	5	1,97
CEM II/B 1% X-Seed	5	2,79



Figur 27: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 18 timer. Referanse er CEM II/B uten X-Seed.

Tabell 16: Fastheter etter 20 timer ved 5°C.

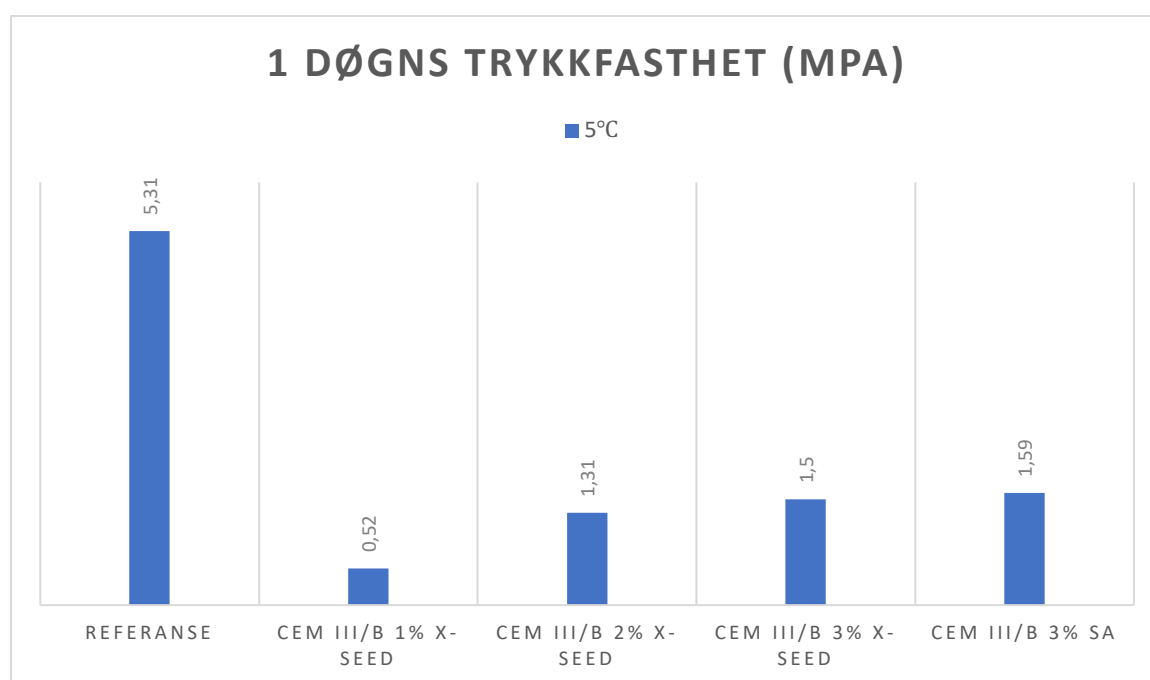
Type	Temperatur i °C	20 timers fasthet (MPa)
CEM III/B 2% X-Seed	5	0,88
CEM III/B 3% X-Seed	5	1,35
CEM III/B 3% SA	5	1,2

Tabell 17: Fastheter etter 22 timer ved 5°C.

Type	Temperatur i °C	22 timers fasthet (MPa)
CEM III/B 2% X-Seed	5	0,68
CEM III/B 3% X-Seed	5	1,48
CEM III/B 3% SA	5	2,11

Tabell 18: Fasthet etter 1 døgn ved 20°C og 5°C.

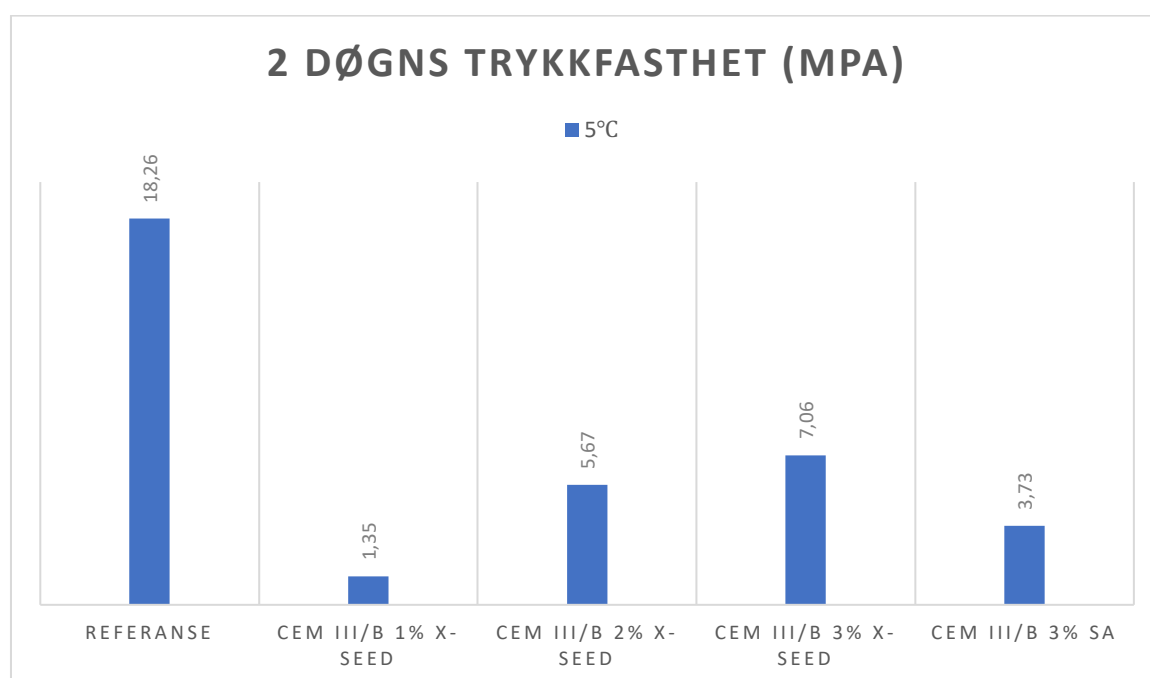
Type	Temperatur i °C	1 døgns fasthet (MPa)
CEM III/B uten X-Seed ^(R1)	20	
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	20	2,43
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	5	0,52
CEM III/B 2% X-Seed ^(R2)	5	1,31
CEM III/B 3% X-Seed ^(R2)	5	1,5
CEM III/B 3% SA ^(R2)	5	1,59
CEM II/B uten X-Seed	20	18,17
CEM II/B uten X-Seed	5	5,31
CEM II/B 1% X-Seed	5	9,20



Figur 28: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 1 døgn

Tabell 19: Fasthet etter 2 døgn ved 20°C og 5°C

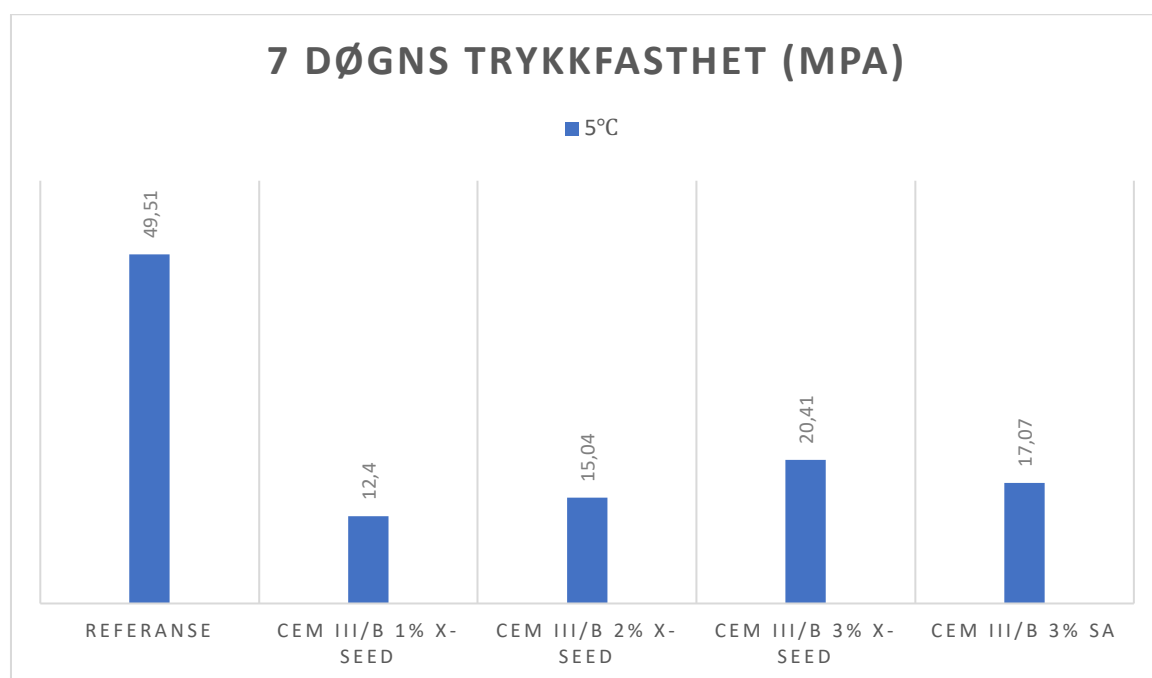
Type	Temperatur i °C	2 døgns fasthet (MPa)
CEM III/B uten X-Seed ^(R1)	20	10,38
CEM III/B 1% X-Seed ^(R1)	20	19,66
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	5	1,35
CEM III/B 2% X-Seed ^(R2)	5	5,67
CEM III/B 3% X-Seed ^(R2)	5	7,06
CEM III/B 3% SA ^(R2)	5	3,73
CEM II/B uten X-Seed	20	33,75
CEM II/B uten X-Seed	5	18,26
CEM II/B 1% X-Seed	5	25,86



Figur 29: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 2 døgn.

Tabell 20: Fasthet etter 7 døgn ved 20°C og 5°C.

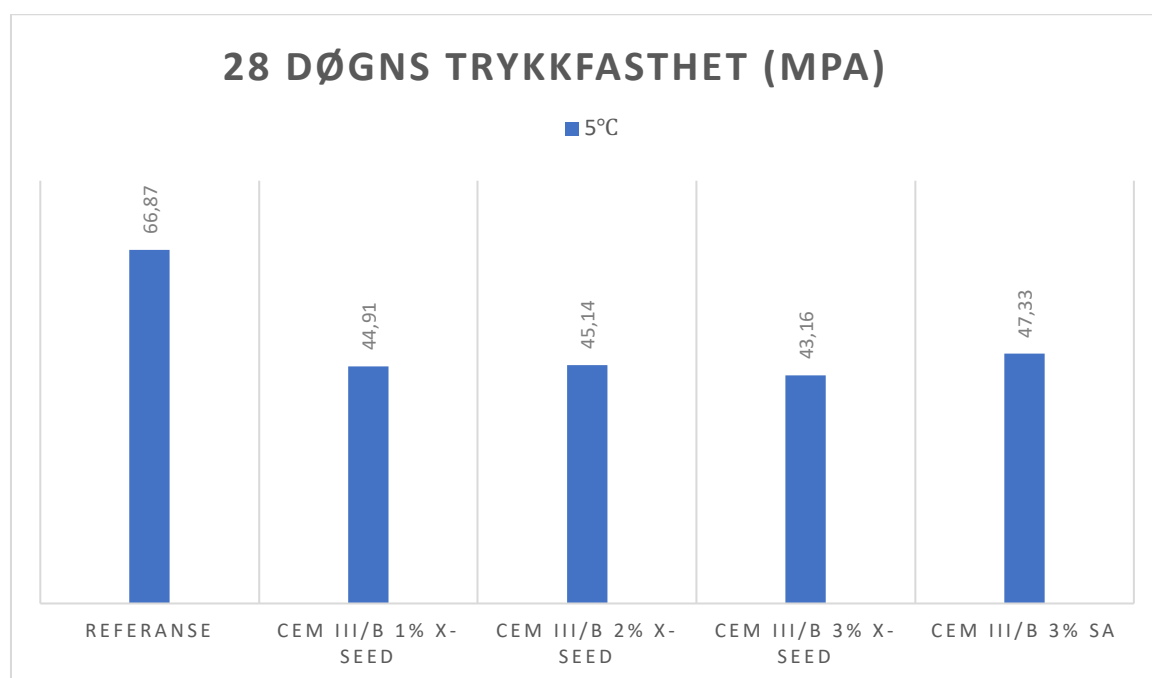
Type	Temperatur i °C	7 døgns fasthet (MPa)
CEM III/B uten X-Seed ^(R1)	20	37,67
CEM III/B 1% X-Seed ^(R1)	20	48,91
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	5	12,4
CEM III/B 2% X-Seed ^(R2)	5	15,04
CEM III/B 3% X-Seed ^(R2)	5	20,41
CEM III/B 3% SA ^(R2)	5	17,07
CEM II/B uten X-Seed	20	56,93
CEM II/B uten X-Seed	5	49,51
CEM II/B 1% X-Seed	5	50,76



Figur 30: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 7 døgn.

Tabell 21: Fasthet etter 28 døgn ved 20°C og 5°C.

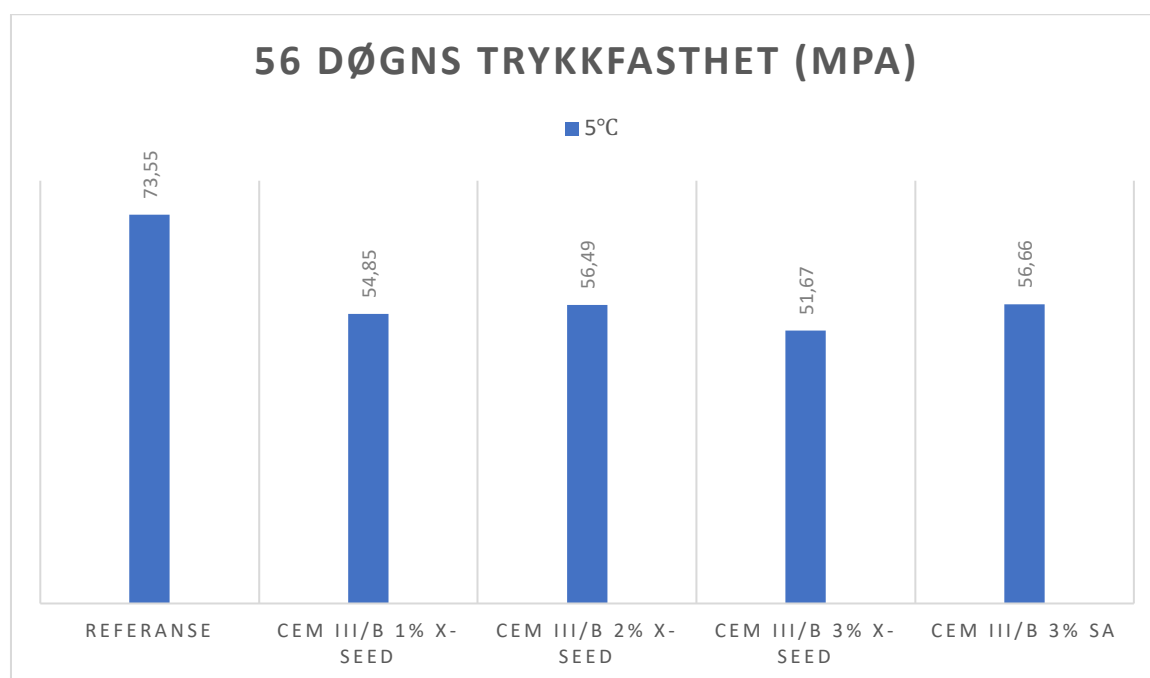
Type	Temperatur i °C	28 døgns fasthet (MPa)
CEM III/B uten X-Seed ^(R1)	20	61,86
CEM III/B 1% X-Seed ^(R1)	20	74,99
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	5	44,91
CEM III/B 2% X-Seed ^(R2)	5	45,14
CEM III/B 3% X-Seed ^(R2)	5	43,16
CEM III/B 3% SA ^(R2)	5	47,33
CEM II/B uten X-Seed	20	75,65
CEM II/B uten X-Seed	5	66,87
CEM II/B 1% X-Seed	5	66,97



Figur 31: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 28 døgn.

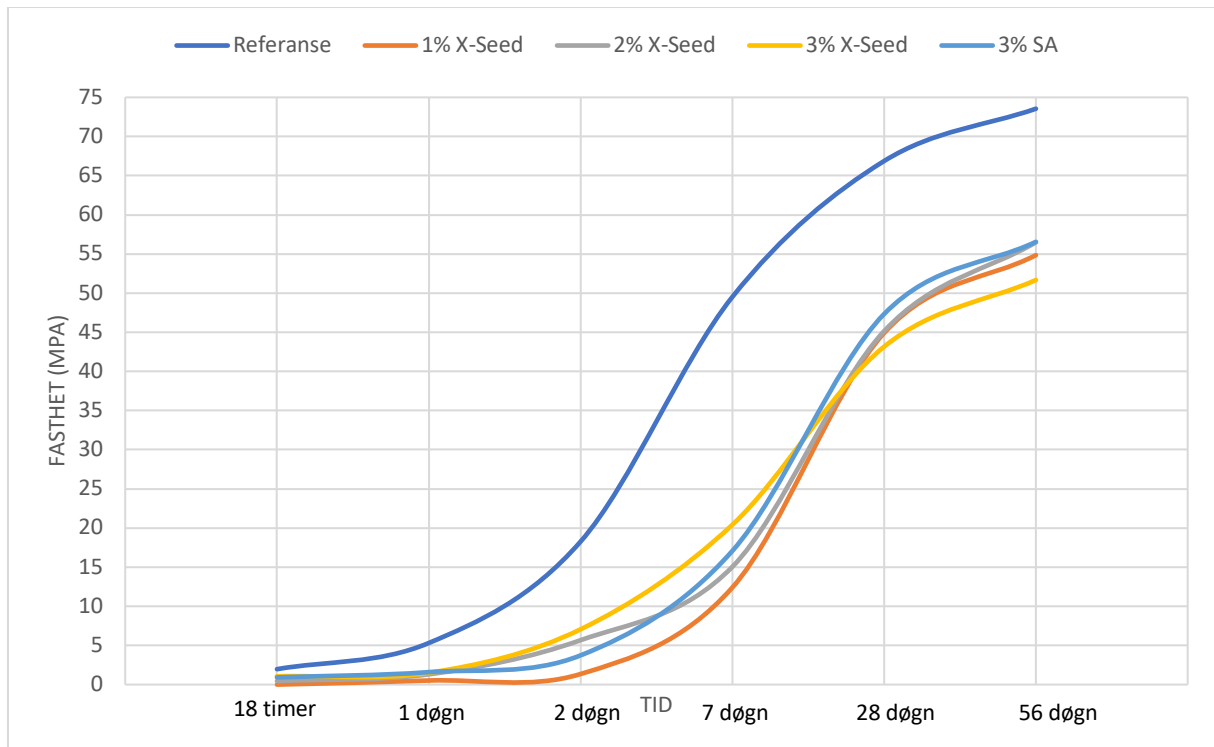
Tabell 22: Fasthet etter 56 døgner ved 20°C og 5°C

Type	Temperatur i °C	56 døgns fasthet (MPa)
CEM III/B uten X-Seed ^(R1)	20	75,86
CEM III/B 1% X-Seed ^(R1)	20	83,35
CEM III/B 1% X-Seed ^(R2)	5	54,85
CEM III/B 2% X-Seed ^(R2)	5	56,49
CEM III/B 3% X-Seed ^(R2)	5	51,67
CEM III/B 3% SA ^(R2)	5	56,66
CEM II/B uten X-Seed	20	89,17
CEM II/B uten X-Seed	5	73,55
CEM II/B 1% X-Seed	5	71,36

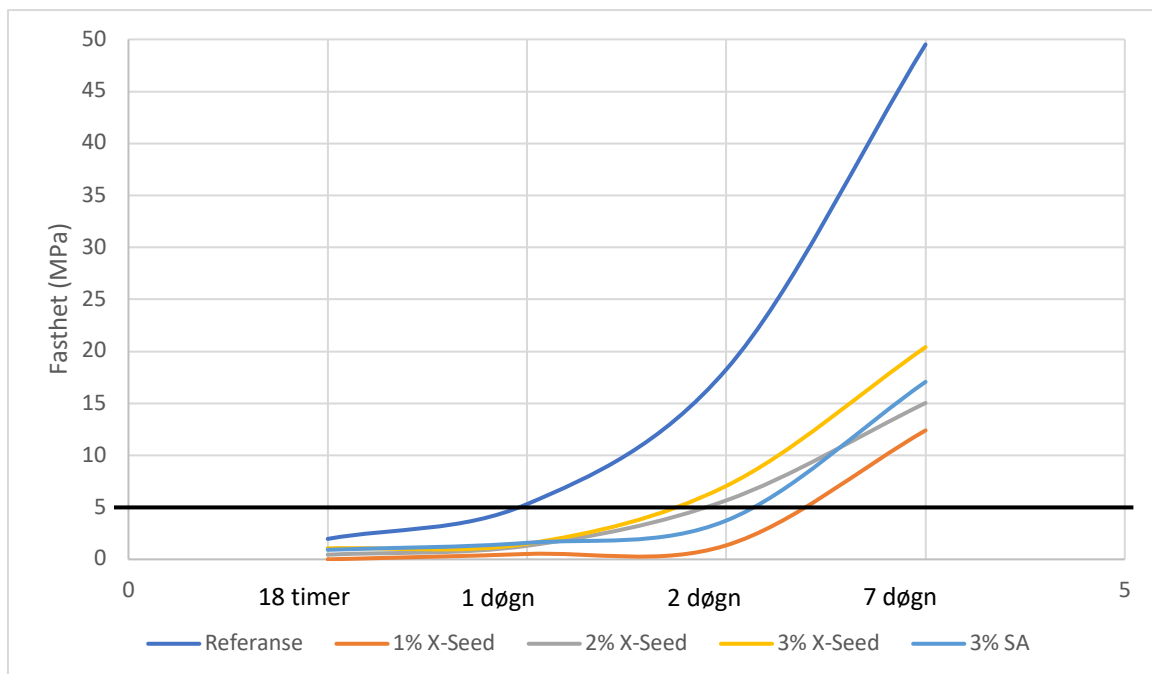


Figur 32: Trykkfasthet av CEM III/B ved 5°C etter 56 døgner.

4.2 Fasthetsutvikling CEM III/B ved 5 °C



Figur 33: Fasthetsutvikling av CEM III/B ved 5°C.



Figur 34: Oversikt over når de ulike reseptene oppnår 5 MPa ved 5°C.

4.3 Oppnådd utbredelsesmål og visuell kontroll av slumputbredelse

Tabellen under viser hvor mye ekstra SP-stoff som ble tilsatt hver enkelt blanding for å oppnå utbredelsemålene i kolonnen til høyre.

Tilsatt SP-stoff er angitt i prosent økning i forhold til den opprinnelige mengden fra de respektive reseptene. På det meste ble mengden SP-stoff økt med 80%. For CEM II/B tilsvarer dette $4,562 \text{ kg} * 1,8 = 8,212 \text{ kg}$. Dette er ca 2,2 % av sementmengden i resepten til CEM II/B. Mengden er altså ikke for høy i forhold til grensen fra NS-EN 934-2.

Tilsetningsstoffer kan tilsettes under blanding av betong med en samlet masse opp til 5% av sementvekten (Standard Norge, 2012a).

Tabell 23: Forbedring av utbredelsesmål ved ekstra tilsetning av SP-stoff.

Resept	Tilsetning	Ekstra SP-stoff	Utbredelsesmål
CEM II/B	uten	80%	590 mm
CEM II/B	1% X-Seed	70%	630 mm
CEM III/B (R1)	Uten	80%	595 mm
CEM III/B (R1)	1% X-Seed	70%	590 mm
CEM III/B (R2)	1% X-Seed	25%	625 mm
CEM III/B (R2)	2% X-Seed	37%	600 mm
CEM III/B (R2)	3% X-Seed	25%	600 mm
CEM III/B (R2)	3% SA	10%	610 mm



Bilde 22: Kvalitet på slumputbredelse.

Den ferske betongen er noe tørr på midten av utbredelsen. Men det er så lite at det anses som ubetydelig. Utbredelsen har god nok homogenitet. De større delene av tilslaget er omgitt av matriksmasse og følger med utbredelsen helt ut, rundt hele randsonen.

Figur 35: Visuell kontroll av utbredelse.

4.4 Begrensninger

I kapitell 3.13 står det beskrevet hvordan slumputbredelsen skulle følges over tid for å finne betongens størkningstidspunkt. Dette ville vært viktig for å kunne sammenligne SA med HA. Det var planlagt å utføre denne delen av forsøket i blandefabrikken til Skedsmo betong eller på Oksenøya hos Veidekke. På grunn av smittefare i forbindelse med pandemien (Covid 19) kunne dette ikke gjennomføres. Bredden på oppgaven ble noe mindre enn planlagt. Dette resulterte i et mindre resultatgrunnlag til å svare på problemstillingens siste delspørsmål.

Når CEM III/B brukes i et byggeprosjekt og utetemperatur er lavere enn 10°C er det nødvendig å tilføre varme som herdetiltak (Maage, 2015). I laboratoriet ved OsloMet er dette ikke mulig å gjøre når prøveterningene skal herde i kjøleskap. Dette anses som en liten begrensning, fordi X-Seed avhjelper herdeprosessen uavhengig av temperatur (BASF, 2019). Altså vil de ulike doseringene av akselerator vise en trend som sannsynligvis er overførbar mellom ulike herdetemperaturer en betong måtte utsettes for.

Det er relativt liten lagringsplass i kjøleskapet i laboratoriet på OsloMet. Dette ble en begrensning som førte til at det ble gjort et utvalg av prøvelegemer til kaldlagring. Utvalget er beskrevet i kapittel 1.9 Avgrensninger.

5 Diskusjon

5.1 CEM III/B lagret ved 5°C; fasthet på 5 MPa og optimal mengde X-Seed

I kapittel 1.6 *Formål* knyttes oppgavens problemstilling til behovet for å unngå ventetid i forbindelse med støping av høye vegger og påfølgende fjerning av forskaling. For å belyse dette brukes resultatene fra forsøket som viser hvor mye de ulike doseringene med X-Seed påvirker tiden før prøveterningene nådde 5 MPa. Disse resultatene viser en trendutvikling hvor effekten til X-Seed avtar ved økende dosering.

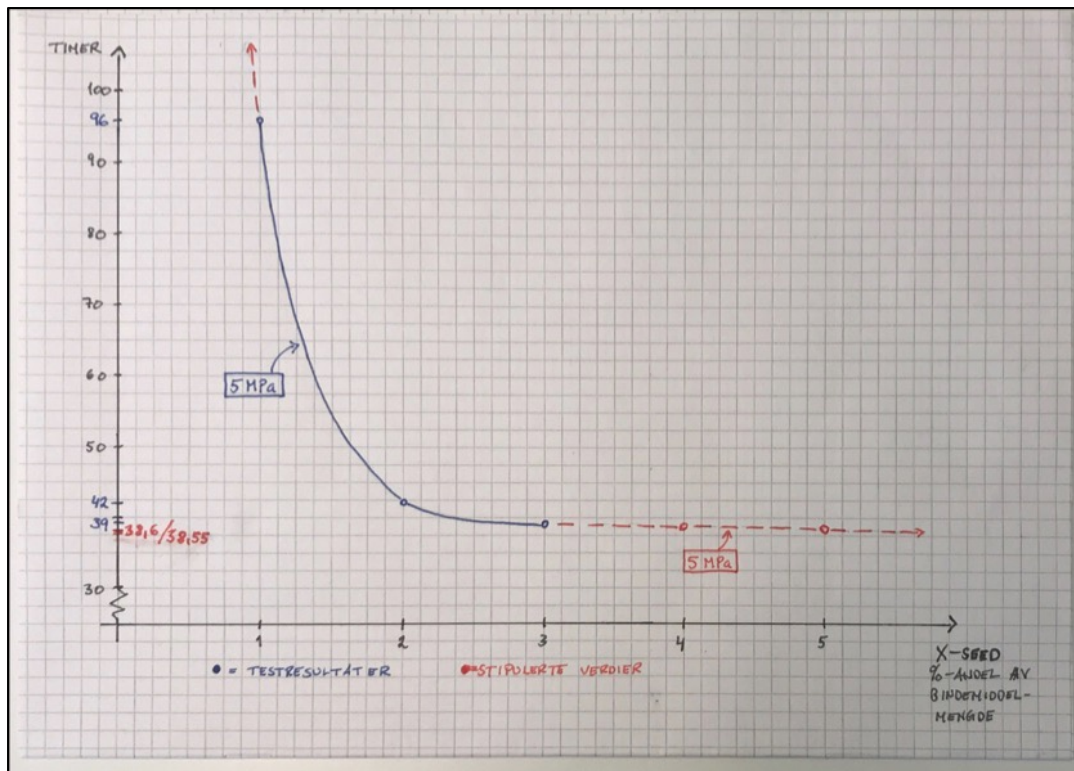
Grafene i figur 34 og 35 viser de respektive doseringene av X-Seed som en funksjon av oppnådd fasthet og herdetid. I figur 37 (under) har vi laget en graf som viser CEM III/B som en funksjon av herdetid og doseringsmengde X-Seed. Ethvert punkt på grafen viser altså når betongen oppnår 5 MPa fasthet og hvor mye X-Seed den da inneholder. Her vises tydelig en trend hvor effekten til X-Seed avtar ved økende dosering.

Økning fra 1 til 2% X-Seed gir en tidsbesparelse på 56,25%.

Økning fra 2 til 3 % X-Seed gir en tidsbesparelse på 7,14%.

Det anses som sannsynlig at denne trenden vil fortsette ved økende dosering. Derfor går grafen videre via 4 til 5% med tilsvarende nedadgående effekt.

Heltrukken linje viser resultater fra laboratorieforsøket. Stiplet linje viser stipulert utvikling ved økende dosering X-Seed.



Figur 36: Graf som viser når CEM III/B har en fasthet på 5 MPa og stipulert utvikling ved økende dosering X-Seed.

Stipulert utvikling viser tydelig at grafen flater ut og det antas at den har en grense på omkring 38 timer. For at CEM III/B skal kunne oppnå fasthet på 5 MPa forttere enn dette, er den avhengig av tilføring av varme som herdetiltak. Det er verdt å merke seg at disse tallene stammer fra prøveterninger på 100x100 mm. I en massiv og tykk konstruksjon vil fasthetsutviklingen gå forttere fordi størrelsen på konstruksjonen gir mindre varmetap til omgivelsene. Men som tidligere nevnt fungerer X-Seed uavhengig av temperaturer (BASF, 2019). Derfor er denne trenden overførbart til større konstruksjoner.

Tabellen under viser det samme som figur 36 i skjematisk form.

Tabell 24: Tiden CEM III/B bruker å oppnå en fasthet på 5 MPa og stipulert utvikling ved økende dosering

3% SA	1% X-seed	2% X-seed	3% X-seed	Stipulert 4 % X-seed	Stipulert 5% X-seed
63 timer	96 timer	42 timer	39 timer	38,6 timer	38,55 timer
		besparelse 56,25%	besparelse 7,14%	besparelse 0,91%	besparelse 0,12%

Å øke mengden X-Seed fra 1 til 2% gir mye tidsbesparelse. Å øke fra 2 til 3% gir litt tidsbesparelse. Og hvis det er som det antas, at trenden fortsetter ved økende doseringer. Vil det å øke fra 3 til 4% osv. gi så små besparelser at det ikke har noen praktisk betydning i et byggeprosjekt. I vurderingen av hvilken mengde X-Seed som er optimal må det også tas i betraktning at enhver økning av mengde akselerator kan øke faren for separasjon i fersk betong. I tillegg til dette er X-Seed ganske kostbart.

I litteratursøket ble det vist funn som peker på at X-Seed har størst effekt ved tilsetningsmengder <1% av bindemiddelmengden (Bost et al., 2016). Som allerede nevnt viser resultatene fra denne oppgaven en nedadgående effekt ved økende dosering X-Seed. Og det har blitt antatt at trenden kan føres videre med samme utvikling. Det antas tilsvarende i motsatt retning, nemlig at det er en stadig økende effekt ved minkende dosering X-Seed. Resultatene fra Bost et al. understøtter disse antagelsene.

I litteratursøket kom det også fram at Solbraa etterspør undersøkelser av doseringsmengder med X-Seed som er høyere enn hva som er normalt å bruke (Solbraa, 2018). Dette kunne hatt en teoretisk verdi ved å bekrefte antagelsen om at trenden i dalende effekt fortsetter videre etter 3%. I BASF's datablad for X-Seed er 4% oppgitt som maks tilsetningsmengde. I tillegg har oppdragsgiver opplyst at selv 3% X-Seed er unormalt mye tilsetning. Dette, sammen med det som er vist i figur 37, gjør Solbraa's ønske lite relevant for denne oppgaven.

5.2 Økt fare for separasjon?

Opgavens problemstilling har to delspørsmål. Det ene knytter seg til at tilsetning av X-Seed kan øke faren for separasjon av betongen. Dersom det ville komme fram tegn på dette i forsøket måtte dette tas hensyn til i forbindelse med eventuell konkludering av optimal mengde X-Seed. Det ble utført visuell kontroll av slumpbredelse når tilsetningsmengdene var både 1, 2 og 3% X-Seed. Alle disse tre var så like at det var vanskelig å skille dem fra hverandre, og vi kunne ikke se antydninger til separasjon. Derfor er resultatet for visuell kontroll av utbredelse det samme for alle blandningene (figur 36, side 58).

5.3 SA som alternativ til X-Seed

Problemstillingens andre delspørsmål knytter seg til SA som et mulig alternativ til X-Seed. Begge disse er tilsetningsstoffer som fremskynder tidlig hydratisering og varmeutvikling, derfor kan det være interessant å sammenligne disse med hverandre fram til og med 7 døgns herding.

Ved 18 timer har terninger støpt med SA oppnådd en fasthet på 0,92 MPa og ligger såvidt lavere enn prøven med 3% X-Seed. SA har bedre fasthet enn prøven med 2% X-Seed.

Ved ett døgn passerer SA såvidt prøven med 3% X-Seed. Nå har SA bedre fasthet enn prøvene med 2 og 3% X-Seed.

Ved to døgn endrer dette seg. Nå går utviklingen til SA saktere mens X-Seed går fortere. Dette er som forventet og resultatene fra forsøket harmonerer godt med det som er beskrevet i kapittel 2.4.2: SA bidrar mest til å framskynde størkning mens HA bidrar mest til tidligfasthet etter at avbindingen har funnet sted. Dette er vist i figur 15 på side 25.

Etter 7 døgns herding har SA igjen høyere fasthet enn prøven med 2% X-Seed. Men dette er ikke avgjørende i denne sammenhengen fordi 5 MPa fasthet er sentralt i dette forsøket;

Prøven med 1% X-Seed oppnår 5 MPa fasthet etter ca 96 timer.

Prøven med SA oppnår 5 MPa fasthet etter ca 72 timer.

Prøven med 2% X-Seed oppnår 5 MPa fasthet etter ca 42 timer.

5.4 X-Seed påvirker fasthetsutviklingen til CEM III/B

Som allerede nevnt viser resultatene at intervallet som gir høyest økning i fasthet er økningen fra 1 til 2% X-Seed. 2% X-Seed gir nesten tre ganger så høy fasthet etter 24 timers herding. Og over fire ganger så høy fasthet etter to døgns herding. Etter syv døgns herding starter ulikhetene i fastheten mellom de ulike doseringene av X-Seed å utlignes. Etter 28-døgns herding har alle doseringer av X-Seed tilnærmet samme fasthet. Altså viser resultatene våre det teorien sier nemlig at X-Seed gir en betong med høyere tidligfasthet (Solbraa, 2018) (BASF, 2019).

Det er interessant å se at våre testresultater harmonerer med Hanseruds fra 2017. Hanserud har nemlig sammenlignet fasthetsutviklingen til prøveterninger av slaggsement uten og med tilsatt X-Seed. Figur 4 fra vårt litteratursøk viser disse resultatene. Her vises tydelig at X-Seed øker tidligfastheten til slaggsement og at effekten til X-Seed avtar når tiden går mot 28 døgns fasthet. Vi setter dette i sammenheng med våre egne resultater som viser at mengden tilsatt X-Seed er tilnærmet uviktig for fasthetsnivået etter 28 og 56 døgns herding. Også her er ulikhetene forsvinnende små mellom prøvene med ulik mengde X-Seed.

5.5 X-Seed påvirker fasthetsutviklingen til CEM II/B

Resultatene viser at X-Seed har god effekt fram mot 28 døgns fasthet i CEM III/B.

I CEM II/B viser resultatene at X-Seed har god effekt fram mot 7 døgns fasthet. Allerede etter 7 døgn er ulikheten mellom 0 og 1% X-Seed så og si utlignet. Dette henger sammen med at CEM III/B inneholder ca 70% slagg og CEM II/B ca 35%. I CEM II/B blir altså slagget brukt opp fortere og effekten av ulike doseringer X-Seed utlignes raskere. CEM III/B inneholder betydelig mer slagg, og bruker lenger tid på å oppnå full hydratisering og fasthet. Dette er som forventet og forsøket bekrefter teorien fra kapittel 2.3.4 *Slagg*.

Som det er nevnt i kap 2.6.6 vinterstøp kan betonger fra lavkarbonklasse B brukes som vinterbetong med ordinære tiltak. Dette bekreftes av resultatene. Referansebetongen uten herdingsakselerator når en fasthet på 5 MPa etter ca 23 timers herding ved 5 °C. Ved interpolering av verdiene for fasthetene fra tabell 13 og 16 vises det at referansebetongen inneholdende 1% X-Seed når 5 MPa etter ca 20 timers herding. Forsøket viser at ved å

tilsette 1% X-Seed i en betong fra lavkarbonklasse B, kan ventetiden før fjerning av forskaling framskynes med noen få timer.

5.6 Fra 35 – 80 %, slagg som erstatningsmateriale

Da De Weerdt skrev sin doktoravhandling i 2011 hadde NS-EN 206 definert bruksregler for betonger der maksimal erstatningsmengde for portlandsementklinker var 35% (De Weerdt, 2011). I denne oppgaven ble det vist i tabell 3 fra kapittel 2.2.2 Klassifisering av sement, at maksimal mengde nå er 80% (Norsk Betongforening, 2020).

Referansebetongen i dette forsøket, som inneholder 35% slagg, oppnår en fasthet på 5 MPa etter ca 23 timer. CEM III/B inneholdende 70% slagg og tilsatt 3% X-Seed gjør det samme etter 39 timer. Vi har en differanse på 16 timer og det er lang tid på en byggeplass der man venter på å kunne fjerne en forskaling. Med disse resultatene til grunn ser det ikke sannsynlig ut at en betong fra lavkarbonklasse «Ekstrem» vil bli brukt med X-Seed som eneste herdingstiltak ved vinterstøping. Det bør også tilføres varme til den herdende betongen. Denne varmen gir økt energibruk i prosjektet og må tas med i det totale miljøregnskapet. Det kan se ut som at de to siste lavkarbonklassene som ble tilført NB 37 i 2019 har presset seg fram av miljøhensyn. Det er bra. Men samtidig har ikke tekniske løsninger for å gjøre de nye betongtypene like brukervennlige som de mer tradisjonelle klart å henge helt med.

5.7 Langtidsherding

Ved sammenligning mellom CEM II/B og CEM III/B inneholdende 1% X-Seed fra 28 til 56 døgns herding vises følgende.

CEM II/B øker sin fasthet fra ca 67 – 71 MPa. Samtidig øker CEM III/B fra ca 45 – 55 MPa.

Som nevnt i kapittel 2.3.4 Slagg tar det lang tid før en slaggsement oppnår full trykkfasthet.

Det var forven

Etter endt forsøk ved 56 døgn har prøvene med CEM III/B enda ikke oppnådd en fasthet i nærheten av referansen. Men det er tydelig at CEM III/B fortsatt er sterkt økende, mens

CEM II/B er avtagende. Dette indikerer at CEM III/B kan oppnå fasthet i nærheten av

referansen ved videre herding. Som betyr at forventningen fra kapittel 3.2 Valgt metode er delvis innfridd.

6 Feilkilder

Gjennom forsøket ser vi at noen av verdiene er lavere enn forventet. Det kan være flere mulige feilkilder som kan ha gitt dette resultatet, blant annet:

- Når terningformene er fylt opp skrapes overskytende fersk betong vekk fra toppen av terningen med en mureskje. Hvis det skrapes litt for mye, får siden som står mot skilleveggen (det er denne siden av terningen som bli utsatt for trykk under trykktesting) mindre areal. Følgelig vil terningen tåle mindre trykk.
- Når det graves opp fersk betong fra blandemaskinen, kan det følge med mer eller mindre tilslag for hver gang. Støpingen foregår i så liten skala at dette kan gi utslag på fastheten.
- De ulike terningene blir komprimert bedre eller dårligere enn hverandre i terningformene.

Alle disse tre mulige feilkildene påvirker terningvekten og kan påvirke terningens fasthet på hver sin måte. For full oversikt over vekt og fasthet på hver enkelt terning, se vedlegg F «Fasthetsutvikling».

Som beskrevet i kapittel 3.6 har det blitt brukt to ulike resepter ved støping av CEM III/B; R1 og R2.

Dette kan være en mulig feilkilde dersom man vil finne sammenhenger mellom kald- og varmlagrete prøver, siden de varmlagrete er støpt med R1 og de kaldlagrete med R2.

Men når det gjelder oppgavens viktigste prøver, nemlig CEM III/B lagret kaldt, anses reseptene ikke som et problem. Sammenhenger, utvikling og trender er trygt ivaretatt siden alle de kaldlagrete prøvene er støpt med R2.

7 Konklusjon

Etter å ha jobbet med denne oppgaven kan vi konkludere med en hel del: at laboratorieforsøk og støping ute på anlegg er to helt forskjellige ting, som bare kan sammenlignes teoretisk, at OsloMet trenger større kjølelager og at covid 19-situasjonen har vært utfordrende. De viktigste konklusjonene er likevel de vi kan lese direkte ut fra forsøkene våre:

- HA-stoff virker. Optimalt sett skulle vi hatt kaldlagrede prøver uten HA-stoff, for å ha hatt som sammenligningsgrunnlag. Grunnet plassmangel i kjøleskap ble ikke dette gjort. Ut fra de prøvene vi gjorde, kan vi se at økende mengde tilsatt HA-stoff fører til økt tidligfasthet. En prøve uten HA-stoff ville da i teorien brukt så lang tid på å oppnå ønsket tidligfasthet at det ikke har noen praktisk betydning.
- Den optimale mengde X-Seed i CEM/III-B ved vinterstøping er 2%. Da oppnår betongen ønsket trykkfasthet slik at forskaling kan fjernes innen to døgn. Mindre mengder X-Seed vil føre til at en må vente fler dager for å oppnå samme trykkfasthet, mens større mengder ikke vil føre til at forskalingen kan fjernes noe særlig tidligere.
- X-Seed har ikke noe å si for sluttfastheten. Etter 28 og 56 døgn er variasjonene i trykkfasthet mellom de forskjellige prøvene så små at de like gjerne kan tilskrives uregelmessigheter ved terningenes utstøping.
- Faren for separasjon er ikke noe å bekymre seg for. I våre blandinger med hhv. 1, 2 og 3% X-Seed så vi ikke antydning til separasjon. Mer HA-stoff enn dette har lite for seg.
- SA-stoff er ikke en god erstatning for HA-stoff ved støping av vegger.

Det at vi ikke fikk utført utbredelsesmål over tid er selvsagt beklagelig, men det må vi skylde på tidens pågående pandemi, da planen var å utføre testene enten på Oksenøya eller på Skedsmo Betong. Om vi skulle ha gjort det på laben på OsloMet måtte vi ha hatt tilgang på betydelig mye mer råvarer, noe som var praktisk ikke gjennomførbart.

Kildeliste

- BASF. (2019). *Master X-Seed 100*. M. B. Solutions.
<https://www.master-builders-solutions.com>
- Bost, P., Regnier, M. & Horgnies, M. (2016). Comparison of the accelerating effect of various additions on the early hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*, 113, 290-296.
- Byggalliansen. (u.å). *Nysgjerrig på BREEAM-NOR?* Byggalliansen.
<https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/>
- Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF Byggforsk.
Byggforsk, S. *SINTEF byggforsk skriftserie*. SINTEF byggforsk.
- De Weerd, K. (2011). *Blended cement with reduced CO2 emission* [Doktorgradsavhandling, NTNU]. ntnuopen.ntnu.no.
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/236723>
- FN. (2016). *Norges rapportering til FNs bærekraftsmålspanel*.
https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/10692NORWAY%20HLPF%20REPORT%20-%20full%20version.pdf?fbclid=IwAR0V5ASMJ9eQCVQSITvvyjHuVFevViTMkHp64_rN7EeYE9fU8aGP1qkTdwU
- Gjerp, P., Opsahl, M. & Smeplass, S. (2004). *Grunnleggende betongteknologi* (2. utg.). Byggenæringens forl.
- Hanserud, F. M. (2017). *Lavenergibetong til Powerhouse Brattørkaia prosjekt* [Masteroppgave, NTNU]. ntnuopen.ntnu.no.
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2452850>
- Hatling, M., Blakstad, H. S., Venås, C., Sporse, T. T. & Jære, L. (2020). *Framsikt 2050*. Sintef Community.
(<https://www.sintef.no/contentassets/ccf2bfe7339a4a75af3a5a8bfafdccff/framsikt-2050-rapport.pdf>).

- Jahren, P. (2012). *Betong - mangfold og muligheter*. Akademika.
- Krokstrand, O. H., Steen, Ø. & Wiggen, M. M. (2011). *Betongoverflater*. Gyldendal.
- LCA. (u.å-a). *EPD-generator*. LCA.no. <https://lca.no/epd-verktoy/>
- LCA. (u.å-b). *Hva er LCA?* LCA.no. <https://lca.no/hva-er-lca/>
- LCA. (u.å-c). *Klimaregnskap*. LCa. <https://lca.no/klimaregnskap/>
- Mapei. (u.å). *Produkter*. Mapei. https://www.mapei.com/no/no/produkter-og-systemlosninger/produktliste/?q=dynamon&fbclid=IwAR3gG_D9_cyzngL9VYfjq_YBmnUM-SD5XNqiOvd8Ftf9vKW5L9wFlhFw2B4E
- Master Builders Solution. (2017). *MasterSet AC 100*. Master Builders Solutions. M. B. Solution. <https://assets.master-builders-solutions.com/nn-no/mbs-masterset-ac-100-db.pdf>
- Master Builders Solution. (2019). *Master X-Seed 100*. Master Builders Solutions. <https://assets.master-builders-solutions.com/nn-no/mbs-master-x-seed-100-db.pdf>
- Master Builders Solution. (u.å-a). *Master X-Seed 100 - unik herdningsakselerator*. <https://www.master-builders-solutions.com/nn-no/products/master-x-seed/master-x-seed-100>
- Master Builders Solution. (u.å-b). *Produkter*. https://www.master-builders-solutions.com/nn-no/products?fbclid=IwAR0IspzfGZV_5IUoou-9nR02cZBkYIKZeKWPSfsij96ti0gXkRZDtGPqpDM
- Maage, M. (2015). *Betong : regelverk, teknologi og utførelse*. Byggenæringens forl.
- Norcem. (u.å). *Herdeteknologi*. Norcem. https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/bb/11/herdeteknologi_lav.pdf
- Norsika. (u.å-a). *Superplastiserende tilsetningsstoffer for ferdig betong*. Norsika. <https://nor.sika.com/no/losninger-innen-bygg/bygge/tilsetningsstoffer-betong/vannreducerende-tilsetninger.html?fbclid=IwAR2gg0CaGiRsUmYhaPa2WjJZotZhc4WnNfgzTN3F04kZGloXee1jtybopW0>

- NorSika. (u.å-b). *Tilsetningsstoffer for betong*. NorSika.
<https://nor.sika.com/no/losninger-innen-bygg/bygge/tilsetningsstoffer-betong.html>
- Norsk Betongforening. (2020). *Lavkarbonbetong* (Bd. nr. 37). Norsk betongforening.
- Ollendorff, M. (2012). *Powerhouse - Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene* [Masteroppgave, NTNU]. ntnuopen.ntnu.no. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/237130>
- Onyango Orony, E. (2019). Effekt av Idrocrete KR 1000 på betongporestruktur og permeabilitet (Effect of Idrocrete WP 1000 on concrete pore structure and permeability). I. UiT Norges arktiske universitet.
- Per Jahren. (2012). *Betong - mangfold og muligheter*. Akademika.
- Rasmussen, H. (2011). Temperaturutvikling i betong. I. University of Stavanger, Norway. <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/182768/Masteroppgave.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sire, J. (1995). *Chemica* (1. utg.). Fagbokforlaget.
- Solbraa, E. (2018). *Eksperimentell undersøkelse av akseleratorer i gulvbetong i kaldt klima* [Norwegian University of Life Sciences, Ås]. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2566411>
- Standard Norge. (2008). NS-EN 1097 Del 5: Bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap. I(1 (2008-07-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no
- Standard Norge. (2010). NS-EN 13670 Utførelse av betongkonstruksjoner. I(2009-12 (2010-10-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no
- Standard Norge. (2011). NS-EN 197 Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper. I(1 (2011-12-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no
- Standard Norge. (2012a). NS-EN 934 Del 2: Tilsetningsstoffer for betong - Definisjoner, krav, samsvar, merking og etikettering. I(1 (2012-09-01) utg.). Standard Norge www.standard.no

Standard Norge. (2012b). NS-EN 12390 Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former. I(1 (2012-12-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Standard Norge. (2016). NS-EN 196 Del 1: Bestemmelse av fasthet. I(1 (2016-07-01) utg.). Standard Norge.

Standard Norge. (2019a). NS-EN 12350 Del 8: Selvkomprimerende betong - Synkutbredelsesmetode. I(1 (2019-12-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Standard Norge. (2019b). NS-EN 12390 Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving. I(1 (2019-11-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Standard Norge. (2019c). NS-EN 12390 Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet. I(1 (2019-11-01) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Standard Norge. (2019d). NS-EN 12390 Del 4: Trykkfasthet - Krav til prøvingsmaskiner. I(2019-10 (2020-09-14) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Standard Norge. (2020). NS-EN 12504 Del 1: Kjerneprøver — Uttaking, vurdering og prøving av trykkfasthet. I(2019-06 (2020-11-18) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Standard Norge. (2021). NS-EN 206 Betong — Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar. I(2013-12 (2021-04-14) utg.). Standard Norge. www.standard.no

Vedlegg A1

Veri 2015

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Skedsmo Betong AS
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	
Publiseringsnummer:	Ikke tildelt
ECO Platform registreringsnummer:	Ikke tildelt
Godkjent dato:	12.06.2019
Gyldig til:	

B35 M45 LAVKARBON B - Konsistens 180 mm. (450/6601)

Skedsmo Betong AS



www.epd-norge.no



Generell informasjon

Produkt:

B35 M45 LAVKARBON B - Konsistens 180 mm. (450/6601)

Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo
Phone: +47 23 08 80 00
e-post: post@epd-norge.no

Deklarasjonsnummer:

ECO Platform registreringsnummer:

Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR

Erklæring om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

Deklarert enhet:

1 m3 B35 M45 LAVKARBON B - Konsistens 180 mm. (450/6601)

Deklarert enhet med opsjon:

A1,A2,A3

Funksjonell enhet:

Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign



Seniorforsker Anne Rønning

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

Eier av deklarasjonen:

Skedsmo Betong AS
Kontaktperson: Usman Razzaq
Telefon: 64 83 68 50
e-post: usman@skedsmobetong.no

Produsent:

Skedsmo Betong AS

Produksjonssted:

Skedsmo Betong AS sin fabrikk på Skedsmokorset.
Lokasjon på Berger industriområde, langs E6, ca. 8 km nord for grense mellom Akershus og Oslo.

Kvalitet/Miljøsystem:

ISO-14001: S031

Org. no.:

987 719 818

Godkjent dato:

12.06.2019

Gyldig til:

Arstall for studien:

2018

Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av eEPD v3.0 fra LCA.no
Godkjenning:
Bedriftsspesifikke data er

Samlet og registrert av: Usman Razzaq

Kontrollert av: Finn O Berget

Godkjent:

Sign

(Daglig leder av EPD-Norge)

Produkt

Produktbeskrivelse:

LAVKARBONKLASSE B - B35 M45

Produktspesifikasjon:

B35 M45 i samsvar med NS-EN 206:2013

Material	%
Cement	15,02
Aggregate	78,45
Water	6,36
Chemicals	0,18

Tekniske data:

Markedsområde:

Bygg og Anlegg, infrastruktur i Oslo- og Romerike.

Levetid, produkt:

Levetid, bygg:

LCA: Beregningsregler

Deklarert enhet:

1 m3 B35 M45 LAVKARBON B - Konsistens 180 mm. (450/6601)

Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert.

Allokering:

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Miljøpåvirkning og ressursforbruk for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til det opprinnelige produksystemet. Bearbeidingsprosessen og transport av materialet til produksjonssted er allokert til analysen i denne EPDen. Allokering er gjort iht bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Påvirkning for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til hovedproduktet der materialet er brukt. resirkuleringsprosessen og transport av materialet er allokert til denne analysen. Innsatsfaktorer på energi og fyringsolje/diesel er basert på gjennomsnittstall fra 2016, (totalt forbruk/antall m3 produsert).

Datakvalitet:

Spesifikke data for produktsammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarete produktet og ble samlet inn for EPD- utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804, Østfoldforskning sine databaser, ecoinvent og andre LCA databaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

Transport og databaseverdier.

Energi forbruk- samt fyringsolje og diesel er basert på årsforbruk ved fabrikk i 2016, dividert på antall M3 produsert.

Materials	Source	Data quality	Year
Aggregate	EcoInvent 3	Database	0
Aggregate	Modified EcoInvent	Database	2012
Chemicals	EPD-EFC-20150086-IAG1-EN	EPD	2015
Chemicals	EPD-EFC-20150088-IAG1-EN	EPD	2015
Chemicals	EPD-EFC-20150091-IAG1-EN	EPD	2015
Water	ecoinvent 3.4	Database	2017
Cement	NEPD-1545-531	EPD	2018

Systemgrenser:

Alle prosesser fra råvareuttak til produktet går ut fra fabrikkporten er inkludert i analysen.

Flytskjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:

Image not available

Teknisk tilleggsinformasjon

LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil					l/tkm	
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Byggefasen

.	Enhet	Verdi
Hjelpemateri...	kg	
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	
Materialer fra avfallsbehandling		
Støv i luften		
VOC utslipp		

Monterte produkter i bruk (B1)

.	Unit	Value

Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*		
Hjelpematerialer	kg	
Andre ressurser	kg	
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	
VOC utslipp	kg	

Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Elektr...	kWh	
Utskifting a...	0	

Driftsenergi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Utstyrets varmeeffekt	kW	

Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	
Energigjenvinning	kg	
Til deponi	kg	

Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil					l/tkm	
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Scenarier etter A1-A3 er ikke inkludert

LCA: Resultater

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklart, MNR=modul ikke relevant)

Product stage			Construction installation stage		User stage								End of life stage			Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkuleringspotensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
GWP	kg CO ₂ -eq	2,27E+02	4,50E+00	2,30E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,58E-06	8,56E-07	4,11E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	2,56E-02	7,85E-04	4,05E-04
AP	kg SO ₂ -eq	5,14E-01	1,56E-02	1,30E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	1,81E-01	3,14E-03	2,58E-03
ADPM	kg Sb -eq	1,63E-04	9,98E-06	1,83E-06
ADPE	MJ	9,32E+02	6,90E+01	3,26E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

*INA Indicator Not Assessed



Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
RPEE	MJ	7,23E+01	1,10E+00	1,00E+01
RPEM	MJ	1,74E+01	2,65E-01	0,00E+00
TPE	MJ	8,97E+01	1,36E+00	1,00E+01
NRPE	MJ	1,13E+03	7,06E+01	3,35E+01
NRPM	MJ	1,55E+01	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	1,14E+03	7,06E+01	3,35E+01
SM	kg	1,36E+02	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	9,20E+01	0,00E+00	1,70E-03
NRSF	MJ	4,46E+02	0,00E+00	0,00E+00
W	m ³	2,08E+00	5,43E-02	5,23E-02

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Leseeksempel 9,0 E-03 = $9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
HW	kg	1,45E-03	5,05E-05	1,46E-05
NHW	kg	3,73E+01	6,88E+00	2,28E-01
RW	kg	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

Leseeksempel 9,0 E-03 = $9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	2,05E-01	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Leseeksempel 9,0 E-03 = $9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

*INA Indicator Not Assessed

Norske tilleggskrav

Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmiksblanding fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A3). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.

Elektrisitetsmiksblanding	Datakilde	Mengde	Enhet
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO2-ekv/kWh

Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten.

Inneklima

Betongen inneholder ingen stoffer som påvirker innneklimaet.

Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer

NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer

ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products.




ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories.

Iversen et al., (2018) eEPD v3.0 - Background information for EPD generator system. LCA.no rapportnummer 04.18

Vold, M. og Edvardsen, T. (2014) EPD-generator for betongindustrien, bakgrunnsinformasjon for verifisering, OR 04.14, Østfoldforskning, Fredrikstad.

NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.

NPCR 020 Part B for Concrete and concrete elements. Ver. 2.0 October 2018, EPD-Norge

	Programoperatør og utgiver Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway	Telefon: +47 23 08 82 92 e-post: post@epd-norge.no web: www.epd-norge.no
	Eier av deklarasjon Skedsmo Betong AS Postboks 254 2021 Skedsmokorset	Telefon: 64 83 68 50 Fax: 416 60 472 e-post: usman@skedsmobetong.no web: www.skedsmo-betong.no
	Forfatter av livsløpsrapporten Østfoldforskning AS Stadion 4 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 69 35 11 00 Fax: +47 69 34 24 94 e-post: web: www.ostfoldforskning.no
	Utvikler av EPD-generator LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 916 50 916 e-post: post@lca.no web: www.lca.no

Vedlegg A2

ver 1.2020

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

In accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Skedsmo Betong AS
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	21002
Publiseringsnummer:	Ikke tildeelt
ECD Platform registreringsnummer:	Ikke tildeelt
Gjeldert dato:	04.09.2020
Gyldig til:	

B35 M45 Lavkarbon Ekstrem, Konsistens 200. Dmax 20s

Skedsmo Betong AS



www.eed-norge.no



Generell informasjon

Produkt:

B35 NMS Lankarbon Ekstrem, Konsistens 200, Dmax 20e

Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner
Pb. 5250 Majorstuen, 0105 Oslo
Phone: +47 25 00 80 00
e-post: post@epd-norge.no

Deklarasjonsnummer:

21802

ECO Platform registreringsnummer:

Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR

Erklæring om ansvær:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

Deklært enhet:

1 m³ B35 NMS Lankarbon Ekstrem, Konsistens 200, Dmax 20e

Deklært enhet med opsjon:

A1,A2,A3

Funksjonell enhet:

Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14005:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign



Seniorfonker Anne Renning

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

Eier av deklarasjonen:

Skedsmo Betong AS
Kontaktperson: Usman Razzaq
Telefon: 04 85 88 50
e-post: usman@skedsmobetong.no

Produsent:

Skedsmo Betong AS

Produksjonssted:

Skedsmo Betong AS sin fabrikk på Skedsmokorset.
Lokasjon på Berger Industriområde, langs E6, ca. 8 km nord for grense mellom Akershus og Oslo.

Kvalitet/Miljøsystem:

ISO-14001: 5031

Org. no.:

987 719 818

Godkjent dato:

04.09.2020

Gyldig til:

Årstall for studien:

2019

Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en byggingkontekst.

Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utarbeidet ved bruk av eEPD v4.0 fra LCA.no
Godkjenning:
Bedriftsspesifikke data er

Semlet og registrert av: Usman Razzaq

Kontrollert av: Finn Ø Berget

Godkjent:

Sign

(Daglig leder av EPD-Norge)

Produkt

Produktbeskrivelse:

Lavkarbonklasse Ekstrem - B35 M45 - Konsistens 200mm, Dmax 20s

Produktspesifikasjon:

B35 M45 i samsvar med NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017

Material	%
Cement	24,20
Aggregate	62,55
Water	11,77
Chemicals	0,21
SCM	1,27

Tekniske data:

Markedsområde:

Bygg og Anlegg, infrastruktur i Oslo- og Romsås.

Levetid, produkt:

Som for bygginget.

Levetid, bygg:

LCA: Beregningsregler

Deklarert enhet:

1 m³ B35 M45 Lavkarbon Ekstrem, Konsistens 200, Dmax 20s

Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energitømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for færlige materialer og stoffer.

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energitømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert.

Allokering:

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Målepåvirkning og ressursforbruk for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til det opprinnelige produktsystemet. Bearbeidingsprosessen og transport av materialet til produksjonsstedet er allokert til analysen i denne EPDen.

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Påvirkning for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til hovedproduktet der materialet er brukt. Resirkulerings prosessen og transport av materialet er allokert til denne analysen.

Innsatsfaktorer på energi og fyringsolje/diesel er basert på gjennomsnittstall fra 2019, (totalt forbruk/antall m³ produsert).

Datakvalitet:

Spesifikke data for produkt sammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarererte produktet og ble samlet inn for EPD-utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804. Østfoldforskning sine databaser,ecoinvent og andre LCAdatabaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

Transport og databaserverdier

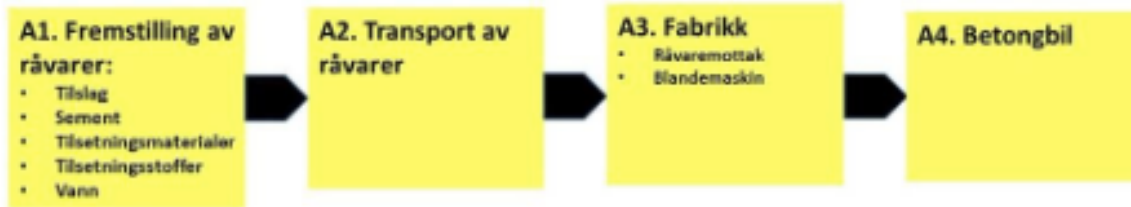
Energi forbruk- samt fyringsolje og diesel er basert på årsforbruk ved fabrikk i 2019, dividert på antall M3 produsert.

Materials	Source	Data quality	Year
SCM	0	Waste	0
Aggregate	Modified Ecoinvent	Database	2012
Chemicals	EPD-EFC-20150091-1AG1-EN	EPD	2015
Water	ecoinvent 3.4	Database	2017
Cement	NEPD-2208-995-NO	EPD	2020

Systemgrenser:

Alle prosesser fra råvareuttak til produktet går ut fra fabrikkporten er inkludert i analysen.

Ryttekjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:



Teknisk tillegginformasjon



LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (t)
Bil					l/km	
Jernbane					l/km	
Båt					l/km	
Annet					l/km	

Byggefase

	Enhet	Verdi
Hjelpemateriale	kg	
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialestap	kg	
Materialer fra avfallsbehandling		
Støv i luften		
VOC utslipp		

Monterte produkter i bruk (B1)

	Unit	Value

Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	-	
Hjelpematerialer	kg	
Andre ressurser	kg	
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialestap	kg	
VOC utslipp	kg	

Utskifting (B4)/Renovering (B5)

	Enhet	Verdi
Elekt.	kWh	
Utskifting av...	0	
* Tall eller referanse		

Driftsenergi (B6) og vannbruk (B7)

	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Utlysts varmeeffekt	W	

Sluttfase (C1,C3,C4)

	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	
Energigjenvinning	kg	
Til deponi	kg	

Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (t)
Bil					l/km	
Jernbane					l/km	
Båt					l/km	
Annet					l/km	

Scenarier etter A1-A3 er ikke inkludert



LCA: Resultater

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklarerert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage			Construction installation stage	User stage							End of life stage			Beyond the system boundaries		
Råmateriale	Transport	Tilførsel	Transport	Konstruksjon/ installasjon	Brak	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftninger	Resonering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfalltilsøring	Gjerdokumentasjon/ rehabiliteringspotensial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
GWP	kg CO ₂ -eq	8,19E+01	1,59E+01	2,69E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,84E-06	2,75E-07	4,69E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	1,04E-02	3,29E-03	5,44E-04
AP	kg SO ₂ -eq	2,45E-01	9,62E-02	1,99E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	5,57E-02	1,95E-02	4,29E-03
ADPM	kg Sb -eq	1,08E-04	1,40E-05	3,62E-06
ADPE	MJ	5,23E+02	2,28E+02	3,80E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

*Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

*INA: Indicator Not Assessed



Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
RPEE	MJ	5,15E+01	4,16E+00	2,22E+01
RPEM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TPE	MJ	5,15E+01	4,16E+00	2,22E+01
NRPE	MJ	6,08E+02	2,34E+02	3,96E+01
NRPM	MJ	1,33E+01	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	6,16E+02	2,34E+02	3,96E+01
SM	kg	2,35E+02	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	4,20E+01	0,00E+00	3,82E-03
NRSF	MJ	2,26E+02	0,00E+00	0,00E+00
W	m ³	2,98E+00	4,95E-02	4,32E-02

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

*Leseeksempel 9,0 E-03 = $9,0 \cdot 10^{-3}$ = 0,009

*INA: Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
HW	kg	1,62E-03	5,01E-05	2,05E-05
NHW	kg	2,08E+01	1,11E+01	4,03E-01
RW	kg	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

*Leseeksempel 9,0 E-03 = $9,0 \cdot 10^{-3}$ = 0,009

*INA: Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1	A2	A3
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

*Leseeksempel 9,0 E-03 = $9,0 \cdot 10^{-3}$ = 0,009

*INA: Indicator Not Assessed

Norske tilleggskrav

Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmix fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A5). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.

Elektrisitetens	Detalje	Mengde	Enhet
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO ₂ -ekv/kWh

Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten.

Inneklime

Betongen inneholder ingen stoffer som påvirker inneklimate.

Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III

NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer

NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner

ISO 21910:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works

ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories .

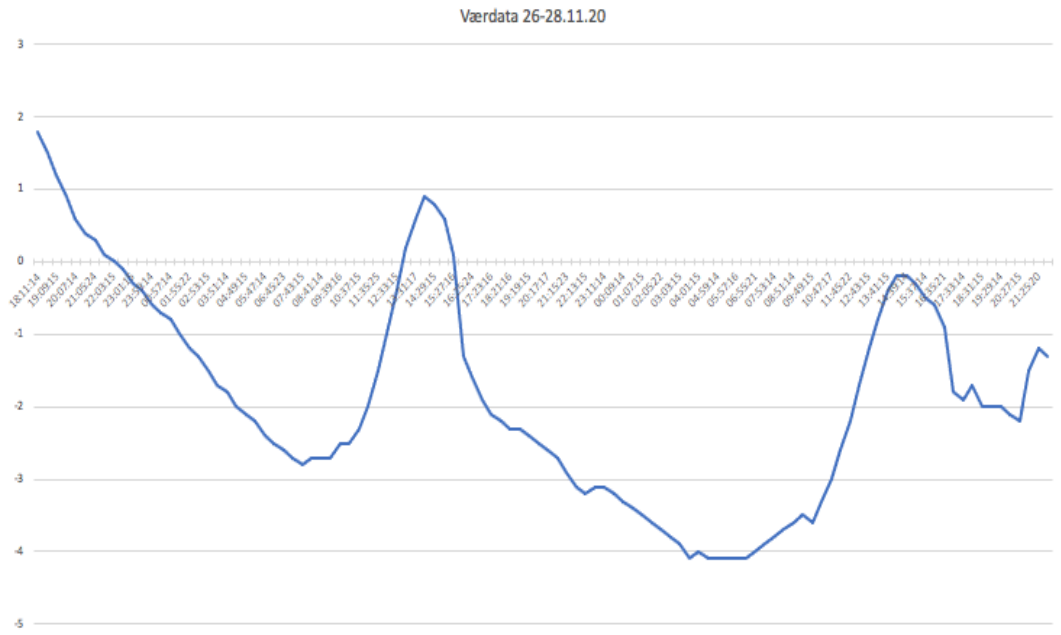
Herren et al. (2018) eEPD v3.0 - Background information for EPD gen. system. LCA no GR04.18

Volden et al. (2014) EPD-generator for betongindustrien, bakgrunnsinformasjon for verifisering. GR04.14, Østfoldforskning.

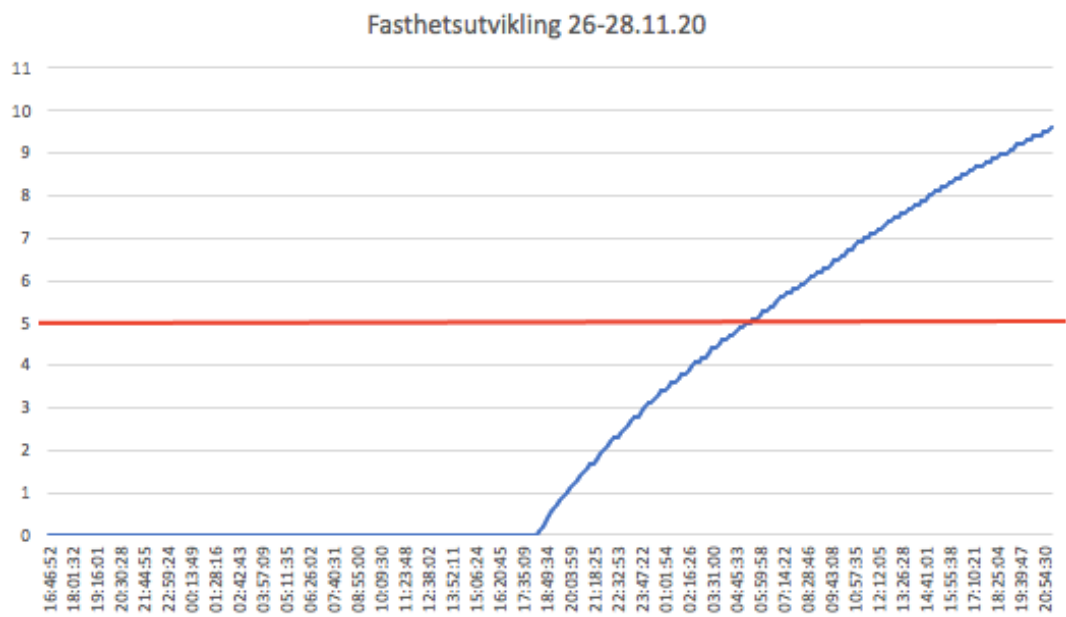
NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.

	Programoperatør og utgiver Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0005 Oslo Norway	Telefon: +47 23 08 82 92 e-post: post@epd-norge.no web: www.epd-norge.no
	Eier av deklarasjon Skedsmo Betong AS Postboks 254 2021 Skedsmokorset	Telefon: 64 85 68 50 Fax: 416 60 472 e-post: usman@skedsmo-betong.no web: www.skedsmo-betong.no
	Forfatter av livsløpsrapporten Østfoldforskning AS Stasjon 4 1671 Kråkøy	Telefon: +47 69 35 11 00 Fax: +47 69 34 24 94 e-post: web: www.ostfoldforskning.no
	Utvikler av EPD-generator LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkøy	Telefon: +47 916 50 916 e-post: post@lcano web: www.lcano

Vedlegg B1

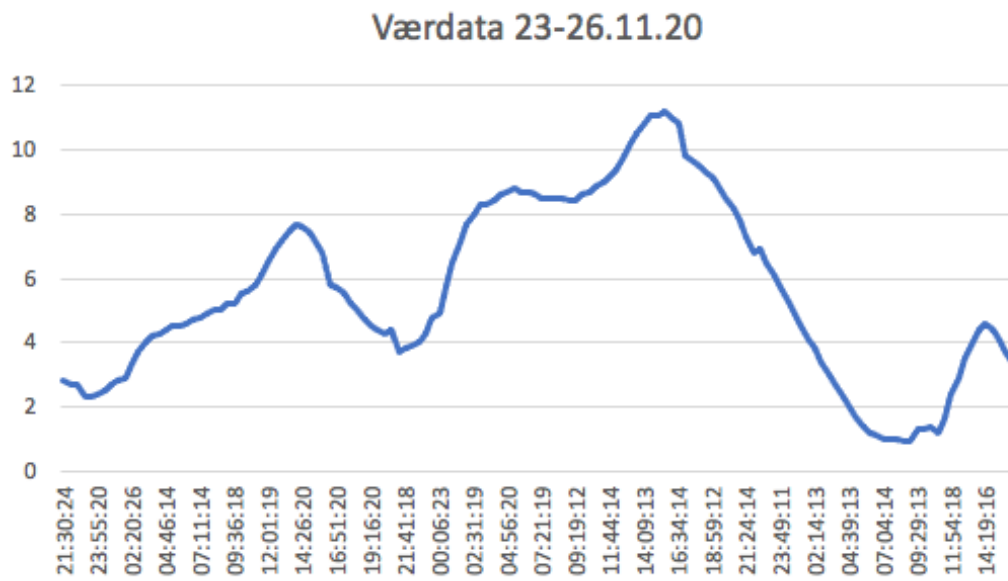


Værdata for figur 18, kapittel 2.6.1

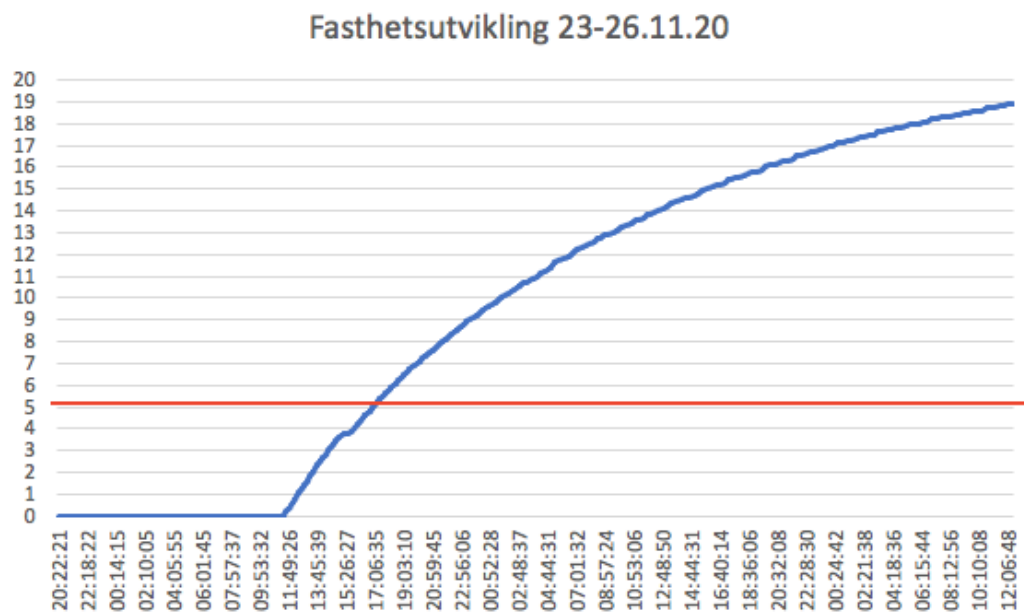


Fasthetsutvikling av figur 18, kapittel 2.6.1

Vedlegg B2



Værdata for figur 19, kapittel 2.6.1



Fasthetsutvikling av figur 19, kapittel 2.6.1

Vedlegg C1

Resept: CEM II/B, Lavkarbon B

Skedsmo Betong AS

Johan Kjus Engenevei 56
2020 Skedsmokorset
Tel.: 64836850/95987795, Fax: 64836858
W...: www.skedsmo-betong.no - @...: fabrikk@skedsmo-betong.no

Resept: 6651 ~ B35M45C10,1Dmax20x SKB

Proporsjonering

Synkubredningsmål : 650
Luft : 2,0
Ekv. sement : 410,112
Samlet vannbehov : 182,500

Materialer	Kilo/m ³ VOT	Vanninnhold	Kilo/m ³	Pris/Kg	Pris/m ³	CO2/m ³
1555 Bergmoen 0-6mm	573,800	4,00	596,615			0,00
1555 Bergmoen 0-6mm.	573,800	4,00	596,615			0,00
1553 Tangen 4-8mm	90,656	0,00	90,656			0,00
1554 Tangen 10-20mm	562,068	0,00	562,068			0,00
2032 Cem II B-S 52,5	378,565	0,00	378,565			0,00
3001 Microsilica	15,774	0,00	15,774			0,00
5001 VANN	178,726	100,00	133,096			0,00
5010 VARM VANN	0,018	100,00	0,018			0,00
6031 M-Glenium B30.2	4,562	78,00	4,562			0,00
6209 M-Matrix 101	0,200	98,80	0,200			0,00
6052 MasterSet R 433	0,000	90,00	0,000			0,00
6106 Master X-SEED	0,000	78,00	0,000			0,00
	2378,168			2378,168		0,00

Proporsjoneringsfeil: Der er ønsket 0 kg til materialet : 6052 MasterSet R 433

Proporsjoneringsfeil: Der er ønsket 0 kg til materialet : 6106 Master X-SEED

NS206

	Resultat	Krav	Ok
Vannbehov (Fri)	182,500	-	
Effektiv bindemiddel (Fri)	410,112	-	
V/C fri beregning	0,445	-	
Vannbehov (EN206)	182,500	-	
Effektiv Bindemiddel (EN206)	410,112	300,000	✓
V/C i henhold til EN206	0,445	0,455	✓
Eff. Bindemiddel mengde fratrukket	0,000	-	
Bindemiddel (total kg)	394,339	-	
Luft %	2,000	-	
Beregnet m ³	1,000	-	
Kloridinnhold	0,068	0,100	✓
Andel reaktiv tilslag %	0,000	-	
Alkaliinnhold	3,193	4,000	✓
Flyveaske/bindemiddel forhold	0,000	0,350	✓
Silika/bindemiddel forhold	0,040	0,110	✓
Flyveaske, Ren sement andel	0,000	-	
Slagg, Ren sement andel	65,280	-	
Matrikavolum eks. luft (l)	345,978	-	
Sementpastavolum (l)	312,581	-	
Samlet vurdering			✓

Vedlegg C2

Resept 1: CEM III/B, Lavkarbon Ekstrem

Skedsmo Betong AS

Johan Kjus Engersvei 56
2020 Skedsmokorset
Tel.: 64836850/95987795, Fax: 64836858
W...: www.skedsmo-betong.no - @...: fabrikk@skedsmo-betong.no

Resept: 3651 ~ B35M45C10,1Dmax20a SKB - CEM III/B, Lavkarbon Ekstrem

Proporsjonering

Synkubredningsmål : 650
Luft : 3,0
Ekv. sement : 386,517
Samlet vannbehov : 172,000

Materialer	Kilo/m³ VOT	Vanninnhold	Kilo/m³	Pris/Kg	Pris/m³	CO2/m³
1555 Bergmoen 0-6mm	578,878	4,00	601,895			0,00
1555 Bergmoen 0-6mm.	578,878	4,00	601,895			0,00
1553 Tangen 4-8mm	91,458	0,00	91,458			0,00
1554 Tangen 10-20mm	567,042	0,00	567,042			0,00
2035 CEM III/B 42,5	329,255	0,00	329,255			0,00
3001 Microsilica	28,631	0,00	28,631			0,00
5001 VANN	167,717	100,00	121,683			0,00
5010 VARM VANN	0,017	100,00	0,017			0,00
6031 M-Glenium 830.1	4,642	78,00	4,642			0,00
6209 M-Matrix 101	0,250	98,80	0,250			0,00
6052 MasterSet R 433	0,000	90,00	0,000			0,00
6081 MasterAir 11	0,447	89,00	0,447			0,00
6106 Master X-SEED	0,000	78,00	0,000			0,00
	2347,215			2347,215		0,00

Proporsjoneringsfeil: Alkali reaktiv grense overskredet (2,68 > 2,50)

Proporsjoneringsfeil: Der er ønsket 0 kg til materialet : 6052 MasterSet R 433

Proporsjoneringsfeil: Der er ønsket 0 kg til materialet : 6106 Master X-SEED

NS206

	Resultat	Krav	Ok
Vannbehov (Fri)	172,000	-	
Effektiv bindemiddel (Fri)	386,517	-	
V/C fri beregning	0,445	-	
Vannbehov (EN206)	172,000	-	
Effektiv Bindemiddel (EN206)	386,517	300,000	✓
V/C i henhold til EN206	0,445	0,455	✓
Eff. Bindemiddel mengde fratrukket	0,000	-	
Bindemiddel (total kg)	357,886	-	
Luft %	3,000	-	
Beregnet m³	1,000	-	
Kloridinnhold	0,072	0,100	✓
Andel reaktiv tilslag %	0,000	-	
Alkaliinnhold	2,684	2,500	✗
Flyveaske/bindemiddel forhold	0,000	0,350	✓
Silika/bindemiddel forhold	0,080	0,110	✓
Flyveaske, Ren sement andel	0,000	-	
Slagg, Ren sement andel	27,600	-	
Matrikavolum eks. luft (l)	330,319	-	
Sementpastavolum (l)	296,626	-	
Samlet vurdering			✗

Vedlegg C3

Resept 2: CEM III/B, Lavkarbon Ekstrem

Skedsmo Betong AS

Johan Kjus Engerstøl 56
2020 Skedsmokorset
Tel.: 64836850/95987795, Fax: 64836858
W...: www.skedsmo-betong.no - @...: fabrikk@skedsmo-betong.no

Resept: 3651 ~ B35M45C10,1Dmax20s SKB - CEM III/B, Lavkarbon Ekstrem

Proporsjonering

Synkubredningsmål : 650
Luft : 3,0
Ekv. sement : 397,753
Samlet vannbehov : 177,000

Materialer	Kilo/m ³ VOT	Vanninnhold	Kilo/m ³	Pris/Kg	Pris/m ³	CO2/m ³
1555 Bergmoen 0-6mm	589,186	4,00	612,613			0,00
1555 Bergmoen 0-6mm.	571,332	4,00	594,049			0,00
1556 Bergmoen 4-8mm	89,271	0,00	89,271			0,00
1557 Bergmoen 10-20mm	535,624	0,00	535,624			0,00
2035 CEM III/B 42,5	338,826	0,00	338,826			0,00
3001 Microsilica	29,463	0,00	29,463			0,00
5001 VANN	172,097	100,00	125,953			0,00
5010 VARM VANN	0,018	100,00	0,018			0,00
6031 M-Glenium 830.1	5,421	78,00	5,421			0,00
6209 M-Matrix 101	0,250	98,80	0,250			0,00
6052 MasterSet R 433	0,000	90,00	0,000			0,00
6081 MasterAir 11	0,460	89,00	0,460			0,00
6106 Master X-SEED	0,000	78,00	0,000			0,00
	2331,949			2331,949		0,00

Proporsjoneringsfeil: Alkali reaktiv grense overskredet (2,77 > 2,50)

Proporsjoneringsfeil: Der er ønsket 0 kg til materialet : 6052 MasterSet R 433

NS206

	Resultat	Krav	Ok			
Vannbehov (Fri)	177,000	-				
Effektiv bindemiddel (Fri)	397,753	-				
V/C fri beregning	0,445	-				
Vannbehov (EN206)	177,000	-				
Effektiv Bindemiddel (EN206)	397,753	300,000	✓			
V/C i henhold til EN206	0,445	0,455	✓			
Eff. Bindemiddel mengde fratrukket	0,000	-				
Bindemiddel (total kg)	368,290	-				
Luft %	3,000	-				
Beregnet m ³	1,000	-				
Kloridinnhold	0,063	0,100	✓			
Andel reaktiv tilslag %	0,000	-				
Alkaliinnhold	2,766	2,500	✗			
Flyveaske/bindemiddel forhold	0,000	0,350	✓			
Silika/bindemiddel forhold	0,080	0,110	✓			
Flyveaske, Ren sement andel	0,000	-				
Slagg, Ren sement andel	27,600	-				
Matrikavolum eks. luft (l)	338,204	-				
Sementpaatavolum (l)	305,249	-				
Samlet vurdering			✗			

Vedlegg D1



1111-CPR-0026

Veidekke Industri AS

Bergmoen Grus, Gardermoen Allè 246, 2067 Jessheim

17

Ytelseserklæring nr.: 60185-3020-CPR-004

NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016


Naturgrus 0/6

Tilslag for betong

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring.



YTELSESERKLÆRING NR. 60185-3020-CPR-004

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen:	Knust, samfengt tilslag til bruk i betong
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	Naturgrus 0/6
3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tilslag for betong
4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5	Bergmoen Grus, Veidekke Industri AS, Gardermoen Allè 246, 2067 Jessheim
5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant
6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+
7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard	NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på førstegangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.
8. Angitt ytelse	Se neste side
9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8. Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4. Undertegnet for og på vegne av produsenten av:	
<p>Eivind K. Herseth - KS-leder</p> <hr/> <p>(navn og stilling)</p>	
<p>Bergmoen Grus, 19.05.2020</p> <hr/> <p>Sted og utstedelsesdato</p>	 <hr/> <p>Underskrift</p>

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016		
Vesentlige egenskaper	Ytelse	
Tilslagsstørrelse	0/6	
Gradering	$G_{A 85}$	
Kategori		
Toleransekategori		
	Deklarert toleranse (%)	Typisk verdi (%)
Deklarert siktekurve		
Passert 12,5mm	100	
Passert 10mm		100
Passert 8mm	98-100	100
Passert 6,3mm	85-99	96
Passert 4mm		89
Passert 2mm		78
Passert 1mm		61
Passert 0,5mm		37
Passert 0,25mm		13
Passert 0,125mm		4
Passert 0,063mm		1,1
Kornform for grovt tilslag	F_{NR}	
Korndensitet	2,690 Mg/m ³	
Vannabsorpsjon	0,4 % +/-2	
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC IK	
Motstand for frysing/tining for grovt tilslag	F_2	
Finstoffinnhold	f_3	
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt	
Alkali - Silika-reaktivitet	SV=44,7	
Klorider	0,000 %	
Syreløselig sulfat	AS _{0,2}	
Totalt innhold av svovel	0,02 %	
Innhold av kalsiumkarbonat (kalk)	Ikke påvist	
Bestanddelere som påvirker størknings- og herdetiden for betong (Humus)	Godkjent	
Motstand mot knusing	Ikke bestemt	
Motstand mot slitasje	Ikke bestemt	
Volumstabilitet	Ikke bestemt	
Farlige stoffer	Ikke påvist	
Forenklet petrografisk beskrivelse	Uknust sandtilsl. fra løsmasseforek. innslag av gneis/granitt, mørke bergarter og kvartsitt. Dom. av kubiske korn. Kantrundede/rundede korn dominerer over skarpkantede. Ikke synlig belegg. Hovedsaklig friske overflater. Meget svake korn utgjør 1%.	

Vedlegg D2



1111-CPR-0040

Tangen Pukkverk

Tangen Pukkverk, Vestre Hurdalsveg, 2032 Maura

20

Ytelseserklæring nr.: 13504-3009-CPR-005

NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016


Pukk 4/8

Tilslag for betong

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring.



YTELSESERKLÆRING NR. 13504-3009-CPR-005

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen:	Tilslag for betong
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	Pukk 4/8
3. Produsentens tilsktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tilslag for betong
4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5	Tangen Pukkverk, Tangen Pukkverk, Vestre Hurdalsveg, 2032 Maura
5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant
6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+
7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard	NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på førstegangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.
8. Angitt ytelse	Se neste side
9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8 Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4. Undertegnet for og på vegne av produsenten av:	
<p>Eivind K. Herseth - KS-leder</p> <hr/> <p>(navn og stilling)</p>	
<p>Tangen Pukkverk, 28.10.2020</p> <hr/> <p>Sted og utstedelsesdato</p>	 <hr/> <p>Underskrift</p>

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016																									
Vesentlige egenskaper	Ytelse																								
Tilslagsstørrelse	4/8																								
Gradering	$G_{C 80/20}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Deklarert toleranse (%)</th> <th>Typisk verdi (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>98-100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>80-99</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td></td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>0-20</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>0-5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0-2</td> <td>0,9</td> </tr> </tbody> </table>	Deklarert toleranse (%)	Typisk verdi (%)	100		98-100	100	80-99	91		35	0-20	6	0-5	2		2		2		1		1	0-2	0,9
Deklarert toleranse (%)		Typisk verdi (%)																							
100																									
98-100		100																							
80-99		91																							
		35																							
0-20		6																							
0-5		2																							
		2																							
		2																							
		1																							
		1																							
0-2		0,9																							
Kategori																									
Toleransekategori																									
Deklarert siktekurve																									
Passert 16mm																									
Passert 11,2mm																									
Passert 8mm																									
Passert 5,6mm																									
Passert 4mm																									
Passert 2mm																									
Passert 1mm																									
Passert 0,5mm																									
Passert 0,25mm																									
Passert 0,125mm																									
Passert 0,063mm																									
Kornform for grovt tilslag	Fl_{35}																								
Korndensitet	2,730 Mg/m ³																								
Vannabsorpsjon	0,6 %																								
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC_{10}																								
Motstand for frysing/tining for grovt tilslag	F_1																								
Finstoffinnhold	$f_{1,5}$																								
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt																								
Alkali - Silika-reaktivitet	SV=6,1																								
Klorider	0,000 %																								
Syreløselig sulfat	AS _{0,2}																								
Totalt innhold av svovel	0,20 %																								
Innhold av kalsiumkarbonat (kalk)	Ikke påvist																								
Bestanddeler som påvirker størknings- og herdetiden for betong (Humus)	Godkjent																								
Motstand mot knusing	LA ₂₀																								
Motstand mot slitasje	MDE ₁₀																								
Volumstabilitet	Ikke bestemt																								
Farlige stoffer	Ikke påvist																								
Forenklet petrografisk beskrivelse	Knust tilslag fra fjellforekomst. Dominans av gneis/granitt med innslag av mørke bergarter. Dominans av skarpkantede, kubiske korn. Friske kornoverflater. Meget svake korn er ikke registrert.																								

Vedlegg D3



1111-CPR-0040

Tangen Pukkverk

Tangen Pukkverk, Vestre Hurdalsveg, 2032 Maura

20

Ytelseserklæring nr.: 13504-3013-CPR-005

NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016


Pukk 10/20

Tilslag for betong

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring.



YTELSESERKLÆRING NR. 13504-3013-CPR-005

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen:	Tillslag for betong
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	Pukk 10/20
3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tillslag for betong
4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5	Tangen Pukkverk, Tangen Pukkverk, Vestre Hurdalsveg, 2032 Maura
5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant
6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+
7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard	NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på førstegangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.
8. Angitt ytelse	Se neste side
9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8 Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4. Undertegnet for og på vegne av produsenten av:	
Eivind K. Herseth - KS-leder _____ (navn og stilling)	
Tangen Pukkverk, 28.10.2020 _____ Sted og utstedelsesdato	 _____ Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN 12620:2002 +A1:2008 +NA:2016		
Vesentlige egenskaper	Ytelse	
Tilslagsstørrelse	10/20	
Gradering	$G_{C 80/20}$	
Kategori		
Toleransekategori		
Deklarert siktekurve	Deklarert toleranse (%)	Typisk verdi (%)
Passert 31,5mm	98-100	100
Passert 20mm	80-99	97
Passert 16mm		64
Passert 14mm		38
Passert 12,5mm		20
Passert 10mm	0-20	4
Passert 8mm		2
Passert 6,3mm		1
Passert 4mm	0-5	1
Passert 2mm		1
Passert 1mm		1
Passert 0,5mm		1
Passert 0,25mm		1
Passert 0,125mm		0
Passert 0,063mm	0-2	0,4
Kornform for grovt tilslag	Fl_{20}	
Korndensitet	2,730 Mg/m ³	
Vannabsorpsjon	0,5 %	
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC_{10}	
Motstand for frysing/tining for grovt tilslag	F_1	
Finstoffinnhold	$f_{1,5}$	
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt	
Alkali - Silika-reaktivitet	$Sv=6,1$	
Klorider	0,000 %	
Syreløselig sulfat	$AS_{0,2}$	
Totalt innhold av svovel	0,20 %	
Innhold av kalsiumkarbonat (kalk)	Ikke påvist	
Bestanddelere som påvirker størknings- og herdetiden for betong (Humus)	Godkjent	
Motstand mot knusing	LA_{20}	
Motstand mot slitasje	MDE_{10}	
Volumstabilitet	Ikke bestemt	
Farlige stoffer	Ikke påvist	
Forenklet petrografisk beskrivelse	Knust tilslag fra fjellforekomst. Dominans av gneis/granitt med innslag av mørke bergarter. Dominans av skarpkantede, kubiske korn. Friske kornoverflater. Meget svake korn er ikke registrert.	

