



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:
Byggingeniør, konstruksjonsteknikk

Vårsemesteret, 2021

Åpen

Forfattere:

Kato Ø. Lindstrøm, Vegard N. Pedersen & Snorre B. Øksnevad

Fagansvarlig:

Veileder: Kjell Tore Fosså

Tittel på bacheloroppgaven: Miljøvennlig betong

Engelsk tittel: Environmental Concrete

Studiepoeng: 20

Emneord: Miljøvennlig betong

Sidetall: 58

+ vedlegg/annet: 6

Stavanger, 15/05 - 2021

Forord

Vi valgte denne oppgaven da betong er noe vi kommer til å jobbe mye med i fremtiden. Vi har dessuten jobbet hos betongentreprenører før vi begynte på oppgaven, og sett hvor mye betong som blir brukt på daglig basis. Det er et stort fokus på utslipp og klimavennlighet i dag. Ved å skrive en oppgave om dette vil vi kunne tilegne oss kunnskap som vi kan ta med videre ut i arbeidslivet.

Dette er en teoretisk oppgave, men vi valgte også å ha en praktisk del da dette gir et mer variert arbeid samt en bedre forståelse for faget. Dette gav oss også mulighet til å ta med resultater fra det praktiske arbeidet i svaret på problemstillingen.

Det har vært en veldig interessant oppgave som har vist seg å være svært relevant i forhold til dagens og fremtidens bygge bransje. Kunnskapen vi har opparbeidet oss gjennom denne bacheloroppgaven vil være essensiell som fremtidige ingeniører.

Vi vil samtidig takke alle som har bidratt med god kunnskap og hjelp til denne oppgaven.

Med stor takk til:

- ***Kjell Tore Fosså (Veileder)***
- ***GL Prosjektservice AS***
- ***NorBetong Haugesund***
- ***Sandnes & Jærbetong AS***

Sammendrag

Bacheloroppgaven vår er delt inn i tre deler. Første del av oppgaven er en teoridel hvor vi tar for oss hva betong er for å gi et bedre grunnlag til å forstå konklusjoner og valg senere i oppgaven.

I del to har vi utført lab forsøk hvor vi har støpt totalt 24 terninger med to forskjellige resepter. I den ene resepten bruker vi lavvarmesement med rundt 70% slagg, mens vi i den andre resepten bruker vanlig anleggssement. Begge reseptene har samme fasthetsklasse og bestandighetsklasse ettersom vi skulle sammenligne dem i en "case" i del 3 av oppgaven. Fra resultatene kunne vi se at lavvarmebetongen hadde litt større flyt enn anleggsbetongen og at tidligfastheten på lavvarmen også var lavere enn anleggsbetongen, men jo nærmere vi kom dag 28 jo likere ble de to reseptene på fasthet.

I den siste delen har vi lagd en "case" hvor et parkeringshus skal bli støpt, og ser på hvilke konsekvenser eller forskjeller man ville fått om man støpte det i lavvarme betong kontra vanlig anleggs betong. Vi så at prisen per kubikk var gjennomsnittlig 50 kr dyrere for lavvarmesementen, noe som ga et prisutslag på 190 000 kroner for vårt prosjekt, og i tillegg krever lavvarmen mer utstyr og en strengere dokumentasjon, samt at fremdriften vil bli noe forsinket grunnet en tregere herdetid. Det positive vi fant ut var at ved å velge lavvarmebetongen så reduseres CO₂-utslippet med det tilsvarende årlige utslippet til 100 nordmenn.

Foreløpig er prisen på miljøbetong litt dyrere, men i løpet av fremtiden vil miljøbetong bli mer tilgjengelig og dermed billigere. Samtidig vil det komme strengere miljøkrav til produksjon og bruk av betong og vi tror derfor at miljøbetong vil bli viktig, og mye brukt fremover.

Innhold

1 Innledning.....	6
1.1 Problemstilling:	6
2 Teori.....	7
2.1 Sement og betongproduksjon.....	7
2.1.1 Hva er betong?	7
2.1.2 Sementproduksjon	7
2.2 Betong betegnelser og grunnleggende egenskaper	9
2.2.1 Lavkarbonbetong.....	9
2.2.2 Lavvarmebetong.....	9
2.3 Sementtyper	11
2.3.1 Historie	11
2.3.2 Miljøhensyn	11
2.4 Sement	12
2.5 Hydratisering av portlandsement	13
2.5.1 Hydratisering av portlandsement	13
2.5.2 Hydratiseringsprodukter.....	15
2.6 Fasthetsutvikling av portlandsement	15
2.7 Klassifisering og inndeling	16
2.7.1 Inndeling etter mekaniske og fysiske egenskaper	16
2.7.2 Inndeling etter mekaniske og fysiske egenskaper	18
2.7.3 Inndeling etter spesielle egenskaper eller innhold	19
2.8 Hovedgrupper av sementtyper og bruksområder	20
2.8.1 Portlandsement, CEM I.....	20
CEM I sementtyper:.....	20
2.8.2 Portland blandingssement, CEM II	21
CEM II sementtyper:.....	22
2.8.3 Slaggsement, CEM III	23
2.9 Tilsetningsstoffer	23
2.10 Miljøvennlig betong	25
2.10.1 Miljøvennlige tiltak i sement- og betong produksjon	26
3 Forsøk på lab	29
3.1 Sammendrag	29
3.2 Proporsjonering.....	30
3.3 Metode.....	32
3.3.1 Slumptest	32

3.3.2 Støping av prøveterninger	32
3.3.3 Densitet.....	32
3.3.4 Trykktesting.....	33
3.4 Resultater.....	34
3.4.1 Slumptest	34
3.4.2 Densitet.....	35
3.4.3 Trykktest Resultater	36
Dag 3:.....	36
Dag 7:.....	37
Dag 14:.....	38
Dag 28:.....	39
3.5 Konklusjon lab forsøk.....	42
4 Parkeringsanlegg på Jorenholmen.....	43
4.1 Byggets utforming og betongmengde.....	43
4.2 Miljøregnskap	47
4.2.1 Norcem Anleggsement	48
4.2.2 SCHWENK Lavvarmesement	48
4.3 Økonomiske og praktiske forskjeller.....	50
5 Konklusjon	52
6 Referanseliste	54
7 Vedlegg	59
Vedlegg A – Datablad, SCHWENK Lavvarmesement.....	60
Vedlegg B – Datablad, Norcem Anleggsement.....	61
Vedlegg C – Proporsjonering, «Lavvarmesement #1»	62
Vedlegg D – Proporsjonering, «Anleggsement #2»	64

1 Innledning

Klima og miljø blir viktigere og viktigere for å ha en bærekraftig fremtid. Norge hadde et utslipp av klimagasser på 50,3 tonn CO₂- ekvivalenter i 2019 ifølge SSB. Dette er en betraktelig nedgang fra forrige århundre, men som også gjør det viktigere for oss å fortsette arbeidet.

Betong er et av de mest brukte materialene i hele verden, men samtidig en av de verste for klimaet. Det antas at sementen som inngår i betongen står for 5-6% av klimagassutslipp på verdensbasis. For å gjøre betongen mer miljøvennlig, er det sementen som det må tas tak i. Sementen står for 90% av utslippene til betongen, noe som betyr at forskere må prøve å redusere utslipp i sementproduksjonen.

Ved utgangspunkt i en case, der vi tar parkeringshuset på Jorenholmen som et eksempel, vil vi se på forskjellige aspekter knyttet til miljøvennlig betong. Hvordan vil denne type betong fungere mot en vanlig betong resept? Da vi er kommende bygningsingeniører er det viktig å ta med seg en god kunnskap om faget og samtidig kunne finne løsninger på problemer som angår hele samfunnet. Kunnskap og innsikt i miljøvennlig betong er noe som hele samfunnet vil dra nytte av.

Vi vil i denne bacheloroppgaven gå inn på hvor lang tid en miljøvennlig betong resept vil bruke på å herde, hvor mye det vil koste å bruke denne kontra en normal resept, samt se på miljøregnskapet. Om miljø betong og vanlig betong har samme kostnader og egenskaper er valget enkelt, men om miljø betong har dårlige egenskaper, som resulterer i merkostnad for å få den samme kvaliteten, hva kan man da gjøre?

Videre vil vi støpe forskjellige betongresepter og sammenlikne egenskaper fra blant annet trykkprøving. Dette for å få et godt bilde av forskjellene på de forskjellige reseptene. Vi vil herde begge betongene på samme måte, og teste de i spesifikke tidsmønstre.

For å kunne bruke miljøvennlig betong må det være bærekraftig. Dette gjelder ikke bare miljø, men også fra et driftsperspektiv. Det må kunne være kostnader som er bærekraftige for både byggherre og entreprenører, samt at tidsperspektivet på et prosjekt må kunne være noenlunde det samme som ved bruk av normale materialer.

1.1 Problemstilling:

Hvilke konsekvenser er det å bruke miljøvennlig betong fremfor en konvensjonell betong?

2 Teori

2.1 Sement og betongproduksjon

2.1.1 Hva er betong?

Betong er det mest brukte byggematerialet i verden på grunn av den lange levetiden og de hardføre egenskapene. Betong består av vann, sand, tilslag, sement og forskjellige tilsetninger. Tilsetningene utgjør ikke en stor del av blandingen, men er svært viktige for egenskapene til betongen.

Blanding av vann og sement blir kalt sementpasta, som blandes med tilslaget. Tilslag er fellesbetegnelsen på plukk/grus, sand og stein, og utgjør rundt 60 prosent av betongen. Videre kan man tilsette forskjellige tilsetningsstoffer for å bestemme hvilke egenskaper betongen skal ha. Når betongen er blandet sammen er den flytende, og kan formes. Herdeprosessen begynner med en gang, og man bør begynne formingsarbeidet i løpet av få timer etter at blandingen er komplett.

Betong vil ha forskjellige egenskaper, alt ettersom hvordan blandingen utføres. Antall liter vann, kilo tilslag, hvilken type sement samt tilsetningsstoffene vil gjøre at en betong oppfører seg forskjellig. Dette gjør at man enkelt kan bestemme egenskapene for å få riktig betong til riktig gjøremål. [4]



Flytende betong (Kilde: Tekna [29])

2.1.2 Sementproduksjon

Sement er hovedingrediensen i betong, og kalkstein er råstoffet som brukes til sementproduksjon. Steinen fås hovedsakelig fra dagbrudd, men også i gruver. Kalkstein kjøres til et lager, hvor det knuses og oppbevares. Fra steinlageret transporteres kalksteinen til en rømmølle, der den males til fint pulver, råmel. For å få riktig sammensetning, tilsettes små

mengder silisium, aluminium og jern. Ovnsanlegget produserer varme, som tørker melet, og gassen som produseres går gjennom flere filtre for å fjerne støvet. Råmelet lagres deretter i siloer. Etter lagring, brenner man råmelet. Brenningsprosessen deles i flere deler.

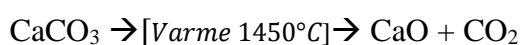
Kalsinering: Først varmes melet i et seriekoblet, høyt syklontårn som fungerer som en varmeveksler. Oppvarmingen fører til at kalsiumkarbonat spaltes kalsiumoksid CaO og karbondioksid CO₂. Rundt 66% av CO₂-utslippene i forbindelse med sementproduksjon oppstår ved kalsinering. Det resterende CO₂ utslippet kommer fra brensel som brukes til å varme opp kalsineringsovnen.



Siloer Risavika (Kilde: Norcem [30])

Sintring: Deretter varmes råmelet opp til 1450°C i en roterovn. En roterovn er en sylindereformet ovn på 60-80 meter. Diameteren på roterovnen er 4,5-5 meter. Når partiklene i råmelet reagerer med tilsetningsstoffene dannes det små kuler som kalles klinker. Klinkeren kjøles brått ned til 100°C i kjøleren, og transporteres til en lagersilo.

Maling og transport: Siste del av prosessen er malingen av klinkeren i sementmøllene. Her males den til sement, og tilsettes 3-5% gips for å hindre at betongen herdes for fort. Deretter transporteres sementen til store siloer for lagring. Så blir sementen pakket i sekk, og fraktet med bulkbil eller skip til en av mange silostasjoner rundt om i verden, eller direkte til kunden. Sementen er da klar for bruk. [3]



2.2 Betong betegnelser og grunnleggende egenskaper

2.2.1 Lavkarbonbetong

Lavkarbonbetong benyttes for å gi et CO₂-avtrykk som er så lite som mulig. Som oftest er det byggherre som stiller krav til CO₂-utslippet som gjøres under et prosjekt. Norsk betongforening har klassene A, B og C for lavkarbonbetong der det oppgis antall kg CO₂ per m³ betong. Klasse A er kravet som er strengest.

Tabell 1 [4]

Lavkarbonklasser og maks tillatt antall kilo CO₂-ekvivalenter for betong i henhold til [941]

Lavkarbon klasse	Maks tillatt kg CO ₂ -ekvivalenter per kubikkmeter betong						
	Betongkvalitet og bestandighetsklasse						
	B20 M90	B25 M90	B30 M60	B35 M(F)45	B35 M(F)40	B45 M(F)40	B55 M(F)40
A	170	180	200	210	230	240	250
B	200	220	240	270	300	310	320
C	240	260	280	320	350	360	370

Sementene avgjør hva produsenter kan levere av lavkarbonbetong, da det er sementen som utgjør mesteparten av karbon i betong. Når det kommer til klassifiseringen, er klasse C noe alle betongprodusenter kan oppnå. Klasse A derimot krever de beste miljøsementene eller helt spesielle miljøtiltak. Tiltakene kan blant annet være å bytte ut mye av sementen med slagg, flygeaske eller silikastøv. Når man velger tilslag vil man bruke det minst vannkrevende, da dette gjør at man også behøver mindre sement, som igjen holder utslippene nede. Det kan misforstås her at det er sementen som har kravet, men det er betongen som har CO₂ kravene. Sementen er bare materialet å angripe for å oppnå krav.

En lavkarbonbetong vil i likhet med lavvarmebetong ofte ha en senere fasthetsutvikling. Dette kan selvfølgelig ordnes ved bruk av akseleratorer el. [4]

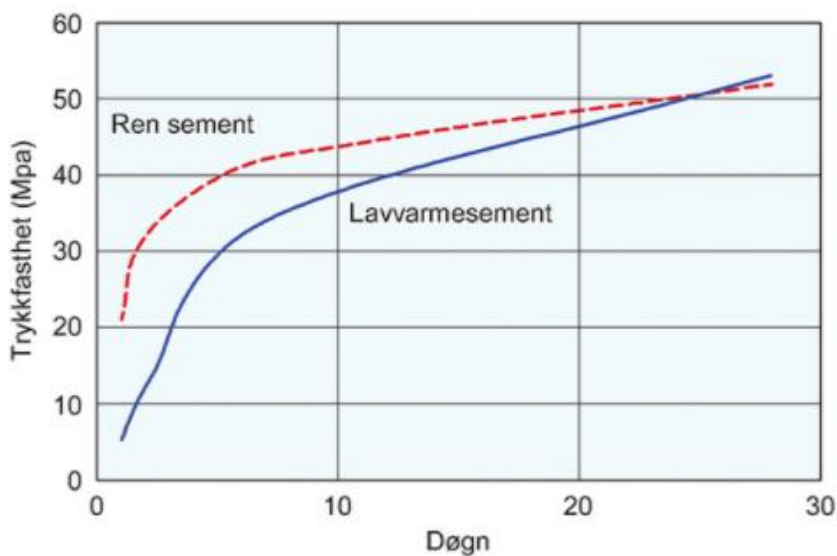
2.2.2 Lavvarmebetong

Lavvarmebetong har ingen spesifikk definisjon i standarden, men sammensetningen og maksimal varmeutvikling i herdekasseforsøk kreves. Lavvarme betong blir brukt i større konstruksjoner som for eksempel anlegg og i konstruksjoner der det er svært viktig å unngå oppriss. Dette kan for eksempel være krav om vanntetthet.

For å oppnå lavvarme betong må man bruke sement som har en større andel med slagg eller flygeaske. Mengden sement står for varmeutviklingen, og derfor bør innholdet sement være så lite som mulig. Det kan man gjøre ved å bruke mindre vannkrevende stein/tilslag, proporsjonere betongresepten med så mye tilslag som lar seg gjøre, og å styre konsistens ved hjelp av plastiserende og tilsetningsstoffer.

Det bør være minst mulig sement-klinker andel i en lavvarmebetong. Dette gjør òg at den er mye mer miljøvennlig enn en konvensjonell normalbetong. Ved et lavt sementinnhold vil fasthetsutviklingen gå saktere, noe som kan gjøre det vanskeligere for et prosjekt å ha den fremdriften man trenger. Hvert enkelt prosjekt er forskjellig, og dette med fasthet kontra fremdrift er noe vi vil ta videre i oppgaven.

Fasthetsutvikling til betong som har det samme innholdet bortsett fra sement, kan sees på kurven nedenfor:



Figur 1: Fasthetsutvikling for en typisk lavvarmesement og en ren sement [4]

Figuren viser to forskjellige utviklinger, der den ene er lavvarme sement som inneholder en større andel slagg og den andre er konvensjonell ren portlandsement. Man ser her at lavvarme sementen har en tregere fasthetsutvikling, men etter 28 dager vil man utligne og til og med få en sterkere fasthet. I henhold til *NS-EN 206* skal trykkfasthet måles etter 28 dager, men i tilfeller der man skal måle trykkfasthet på betong med lavvarmesement er det ofte lurt å måle fastheten etter 56 eller 90 dager. Skal dette gjøres under et prosjekt trengs byggherres aksept for løsningen. [4]

2.3 Sementtyper

2.3.1 Historie

En sentral ingrediens når det kommer til betong og mørtel, er sement, ettersom det er sementen som ved å reagere med vann danner «limet» mellom tilslaget i betongen. Dette er et bindemiddel, som gjennom arkeologiske studier, kan dateres helt tilbake til rundt 3 650 f.Kr. Det startet med at grekere og romerne begynte å blande knust keramikk og andre brente leirmaterialer med kalk, og senere lagde romerne et sementliknende materiale ved å blande brent kalk med vulkansk jord og bergarter som for eksempel pozzolan og trass. Flere av disse romerske byggverkene står fortsatt den dag i dag, og viser hvor godt og solid betong og sement kan være som byggemateriale. En av de mest kjente er Pantheon-tempelet i Roma som ble bygget rundt 130 år e.Kr., og som har en kuppel av lett betong hvor den porøse og lette vulkanske bergarten tuff, er brukt som tilslagsmateriale.

[5]



Sement (Kilde: Ragn-Sells [31])

I dag er den mest brukte sementtypen portlandsement. Denne typen sement ble først utviklet i England allerede i 1843 av William Aspedin og senere videreutviklet av Isaac Charles Johnson. I Norge har vi to sementfabrikker som i dag produserer portlandsement og portland flygeaskesement, Brevik i Telemark og Kjøpsvik i Nordland. [5]

2.3.2 Miljøhensyn

Ulempen med sement er at det er gjennom produksjonen av det fører til store utslipp av CO₂. Derfor har det i de siste årene blitt et stort fokus på å redusere sementproduksjonens miljøbelastning ved å blant annet bruk av alternative råmaterialer og avfallsbasert brensel istedenfor naturlige råmaterialer og kull. Dette fører til en reduksjon av CO₂ i tillegg til at sementproduksjonen blir mer bærekraftig ved denne utnyttelsen av avfall. Eksempler på slikt industrielt avfall kan være masovnslagg og flygeaske, og dette blir ofte gjenbrukt som tilsetningsmateriale. [5]

2.4 Sement

Sement er et materiale som består av klinker, framstilt av kalkstein, som er finmalt sammen med gips. Ved å finmale klinker med tilsetningsmaterialer som for eksempel slag, flygeaske og kalkstein, kan man produsere blandingssementer.

Sement er et hydraulisk bindemiddel, som vil si at det er et uorganisk materiale som ved kontakt med vann vil herde og vil med det være stabilt under vann. Ren kalk hvor hardheten oppstår ved at det reagerer med karbondioksid i lufta, er altså ikke et hydraulisk bindemiddel.

[5]

Mineralsammensetning til sement angis som vektprosent av de ulike kjemiske forbindelsene. I sementterminologi brukes følgende forkortelser for de viktigste forbindelsene:

- C: kalsiumoksid, CaO
- S: silisiumdioksid, SiO_2
- A: aluminiumoksid, Al_2O_3
- F: jernoksid, Fe_2O_3
- sulfater: SO_3
- K- og N -alkalier: K_2O og Na_2O
- I portlandsement fins sulfater hovedsakelig som innmalt gips, hemihydrat eller anhydritt, samt noe jern(II)sulfat for dekromatisering og alkalisulfater i klinkeren. Klinkermineralene i sementen er:
- C_3S (alitt)
- C_2S (belitt)
- C_3A (trikalsiumaluminat)
- C_4AF (feritt)
- CaSO_4 (fra gips, hemihydrat eller anhydritt)

[5]

For portlandsement har man følgende kjemisk sammensetning og mineralsammensetning:

Tabell 2

Størrelsesorden for kjemisk sammensetning av portlandsement [5]

Kjemisk forbindelse	Mengde
C (CaO –kalsiumdioksid)	62–67 %
S (SiO ₂ –silisiumdioksid)	20–25 %
A (Al ₂ O ₃ –aluminiumoksid)	3–7 %
F (Fe ₂ O ₃ –jernoksid)	2–5 %

Tabell 3

Typisk mineralsammensetning i klinker til portlandsement [5]

Klinkertype	Mengde
C ₃ S (alitt)	45–65 %
C ₂ S (belitt)	15–30 %
C ₃ A (trikalsiumaluminat)	1–8 %
C ₄ AF (feritt)	8–15 %

En normal måte å skille sementtyper på er ved hjelp av finhet og densitet. Finheten til sementen vil si den spesifikke overflaten og bruker enheten m²/kg. Dette måles ved hjelp av et Blaine-apparat og en standardisert metode, beskrevet i NS-EN 196-6, som går ut på at det blåses luft gjennom en viss mengde sement, og der apparatet måler luftmotstanden. [5]

2.5 Hydratisering av portlandsement

2.5.1 Hydratisering av portlandsement

Når sement blandes med vann oppstår det en kjemisk reaksjon som kalles for hydratisering.

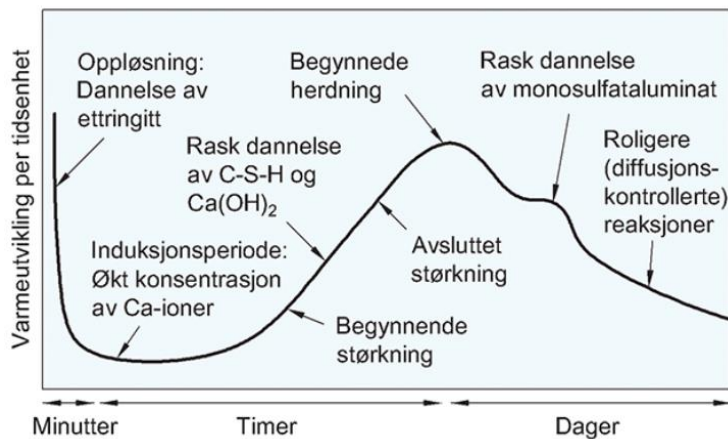
Denne reaksjonen kan deles i ulike faser, normalt etter varmeutvikling per tidsenhet.

Varmeutviklingen under hydratisering måles i kalorimeter og vil variere etter hvilken sementtype som er brukt. For portlandsement vil varmeutviklingen være 250-425 kJ/kg etter

28 døgn. (Se tabell for faseinndeling og idealisert kalorimeterkurve for reaksjonene mellom portlandsement og vann. [5])

Tabell 4
Hydratisering av portlandsement – inndeling i seks faser [5]

Fase		Reaksjon
1	Pre-induksjonsperiode (minutter)	Oppløsning av alkaliesulfater, kalsiumsulfater, C_3S og C_3A . Begynnende hydratisering med dannelse av C-S-H-film og ettringitt
2	Induksjonsperiode (minutter/timer)	Hvileperiode før størkning. Hydratiseringen bremses opp og konsentrasjonen av Ca-ioner øker til metning.
3	Størkning (1–12 timer)	Hydratiseringen akselereres igjen. Det oppstår kjemiske bindinger mellom sementpartiklene slik at det dannes et tredimensjonalt nettverk.
4	Tidlig herdning (timer/døgn)	Dannelse av stabile bindemidler. Fasthetsutvikling for konstruktiv bruk. Høy varmeutvikling per tidsenhet
5	Herdning (døgn/måneder)	Fasthet i det herdende produktet øker ved ytterligere fortetting av bindemiddelstruktur. Moderat varmeutvikling
6	Lang tid (måneder/år)	Fastheten øker svært langsomt, og relativt lite over tid sammenliknet med de to foregående fasene.



Figur 2 Kalorimeterkurve for reaksjonen vann-portlandsement [5]

2.5.2 Hydratiseringsprodukter

Kalsium-silikat-hydrater (C-S-H) og kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) er de viktigste hydratiseringsproduktene fra reaksjonen mellom portlandsement og vann, og er det som hovedsakelig utgjør bindemiddelet i herdnet sement. I tillegg inneholder det kalsium-sulfoaluminater, kalsium-karboaluminat og jernforbindelser. C_3A vil alene reagere veldig raskt med vann og gi lynavbinding. Derfor tilsettes det også gips for å bremse denne reaksjonen. [5]

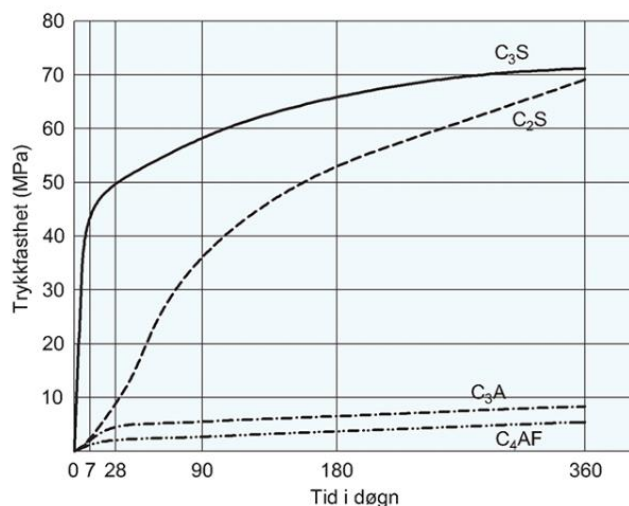
2.6 Fasthetsutvikling av portlandsement

I tillegg til klinkersammensetningen og finhet, er også hydratiseringsgrad, herdetemperatur og v/c-tall viktige påvirkninger av portlandsementens fasthetsutvikling. v/c-tallet går ut på vektforholdet vann/sement, mens hydratiseringsgraden sier noe om hvor langt sementen har kommet i herdningsprosessen og viser vektforholdet mellom kjemisk bundet vann og sement. For denne hydratiseringsgraden bruker man symbolet α , og det er v/c-tallet og α som brukes for å bestemme porøsiteten til herdet betong. Andre parametere som kan påvirke fasthetsutviklingen er bruk av slagg, pozzolaner og tilsetningsstoffer, hvor flygeaske og slagg normalt gir litt mindre fasthet i tidligfase, men høyere langtidsfasthet. [5]

Figur 3 viser fasthetsutviklingen til de rene klinkermineralene i sement, og man ser at C_3S påvirker fastheten i størst grad. C_2S har en langsommere fasthetsutvikling, men fører også til en nokså lik endelig styrke. C_3A og gips ser man at bidrar litt i den tidlige herdningsfasen, men bidrar ikke mye til den endelige styrken. [5]

Alkalier finnes i små mengder i sementen, men vil likevel påvirke stryken til herdnet mørtel, sementpasta og betong. Som regel vil et større alkaliinnhold øke tidlig fasthet, men redusere fasthetsutviklingen over tid. [5]

Kalsiumsulfat, oftest i form av gips er også et tilsetningsstoff som kan være med å påvirke sementens fasthetsutvikling. Dette fører til en forlengelse eller optimalisering av størkningsforløpet. [5]



Figur 3 Fasthetsutvikling av de forskjellige klinkermineralene i sement [5]

2.7 Klassifisering og inndeling

2.7.1 Inndeling etter mekaniske og fysiske egenskaper

For å få en god oversikt og beskrivelse av sementen og dens egenskaper har vi flere måter å klassifisere sement på, og en av dem er ved inndelingen av sementtyper etter NS-EN 197-1. Vi har mange forskjellige sementtyper som alle har tilpassede egenskaper for ulike bruksformål bestemt av kjemisk sammensetning og/eller finhet. Standarden deler disse opp i fem klasser: CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV og CEM V. CEM I består av forskjellige varianter av ren portlandsement, hvor det er kjemiske sammensetningen og/eller finhet som skiller variantene og avgjør deres egenskaper. CEM II er blandingssement med minst 65% klinker. Portlandsement som er produsert med flygeaske (CEM II/A-V og CEM II/B-M), utgjør i dag mer enn 65 % av den norske portlandsementen. CEM IV og CEM V er sementtyper som ikke er særlig aktuelle i Norge. [5] Tabell 5 viser denne inndelingen av sementtyper beskrevet i NS-EN 197-1.

Tabell 5

Inndeling av sementtyper etter NS-EN 197-1 [5]

Hovedtype, se også pkt. 8	Betegnelse på de 27 typene ordinær sement ¹⁾		Bestanddeler (masseprosent)		
			Klinker	Andre bestanddeler	Sekundære bestanddeler
CEM I	Portlandsement	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-silikastøsement	CEM II/A-D	90–94	6–10	0–5
	Portland-pozzolansement	CEM II/A-P	80–94	6–20	0–5
		CEM II/B-P	65–79	21–35	0–5
		CEM II/A-Q	80–94	6–20	0–5
		CEM II/B-Q	65–79	21–35	0–5
	Portland-flygeaskeseiment	CEM II/A-V	80–94	6–20	0–5
		CEM II/B-V	65–79	21–35	0–5
		CEM II/A-W	80–94	6–20	0–5
		CEM II/B-W	65–79	21–35	0–5
	Portland-skiferseiment	CEM II/A-T	80–94	6–20	0–5
		CEM II/B-T	65–79	21–35	0–5
	Portland-kalksteinseiment	CEM II/A-L	80–94	6–20	0–5

		CEM II/B-L	65–79	21–35	0–5
		CEM II/A-LL	80–94	6–20	0–5
		CEM II/B-LL	65–79	21–35	0–5
	Portland-blandingssement	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/C	5–19	81–95	0–5
CEM IV	Pozzolansement	CEM IV/A	65–89	11–35	0–5
		CEM IV/B	45–64	36–55	0–5
CEM V	Blandingssement	CEM V/A	40–64	36–60	0–5
		CEM V/B	20–38	62–80	0–5

¹⁾ Bokstavene angir mengden og typen av andre bestanddeler enn klinker.

2.7.2 Inndeling etter mekaniske og fysiske egenskaper

En annen måte for å klassifisere sement på er ved mekaniske og fysiske krav. Dette gjøres ved å for de ulike sementtypene er det satt opp krav til trykkfasthet målt etter NS-EN 196-1, i tillegg til størkningstid og maksimal utvidelse målt etter NS-EN 196-3. I standarden angis det også krav til både tidligfasthet og standardfasthet, hvor tidligfasthet er inndelt i klassene R og N. R vil si at det har en høy tidligfasthet (rapid), mens N angir en normal tidligfasthet. [5]

Tabell 6

Mekaniske og fysiske krav til sement etter NS-EN 197-1 [5]

Fasthetsklasse ¹⁾	Trykkfasthet (MPa)				Begynnende størkning	Volumbestandighet (utvidelse) mm
	Tidligfasthet		Standardfasthet			
	2 døgn	7 døgn	28 døgn		min	
32,5 L	Ingen krav	≥ 12	≥ 32,5	≥ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	Ingen krav	≥ 16				
32,5 R	≥ 10	Ingen krav				
42,5 L	Ingen krav	≥ 16	≥ 42,5	≥ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10	Ingen krav				
42,5 R	≥ 20	Ingen Krav				
52,5 L	≥ 10	Ingen krav	≥ 52,5	Ingen krav	≥ 45	
52,5 N	≥ 20					
52,5 R	≥ 30					

¹⁾ L: Lav tidligfasthet

N: Normal tidligfasthet

R: Høy tidligfasthet (rapid)

2.7.3 Inndeling etter spesielle egenskaper eller innhold

Noen ganger ønsker utbyggerne en mer spesifikk oversikt over sementens egenskaper, enn det som er de nevnte tabellene gir. Derfor oppgir ofte leverandørene flere egenskaper som er definert i NS-EN 197-1 ved hjelp av klassifiseringene i tabell 7 på neste side.

Tabell 7

Andre egenskaper og benevnelser som brukes ved klassifisering av sement [5]

Benevnelse	Egenskap
L	Lav tidligfasthet
N	Normal tidligfasthet
R	Høy tidligfasthet
RR	Ekstra høy tidligfasthet
LH	Lavvarmesement
SR	Sulfatbestandig sement
LA	Lavalkaliesement
(S) ¹⁾	Inneholder råjernslag
(V) ¹⁾	Inneholder silikatbasert flygeaske
(L) ¹⁾ eller (LL) ¹⁾	Inneholder kalkstein

¹⁾ Gjelder for blandingssementer i klasse CEM II

2.8 Hovedgrupper av sementtyper og bruksområder

2.8.1 Portlandsement, CEM I

CEM I har i nyere tid blitt mindre og mindre tatt i bruk ettersom at miljøfokuset innen byggenæringen har økt. Allikevel er det noen betongprodusenter som fortsatt bruker denne sementen, men tilsetter tilsetningsmaterialer under blandeprosessen.

CEM I sementtyper:

- *Standard portlandsement* er en sementtype som karakteriseres ved at den har et middels herdeforløp, hydratasjonsvarme og fasthet. Brukes ofte til å lage betong til byggkonstruksjoner, mørtel til murlegging, og gips for å gi vegger en fin og jevn overflate. [5] [6]
- *Rapid portlandsement* har en økt finmaling av klinker enn standard portlandsement, noe som fører til en raskere herdning. Finheten/overflatearealet til rapid portlandsement ligger på 450-550 m²/kg, og ved spesielle formål kan det finmales ytterligere slik at man oppnår en svært høy tidligfasthet. I tillegg kan man også oppnå en hurtigere herdning ved å endre den kjemiske sammensetningen, noe som gjøres ved

å øke innholdet av C_3A og C_3S . Rapid portlandsement er altså en type sement som brukes dersom man ønsker en høy tidligfase, for eksempel i elementproduksjon, legging av fortau eller på grunn av tidlig riving av forskalling. Den høye hydratasjonsvarmen i tidlig herdeforløp gjør at sementen også passer godt til vinterstøping. [5] [6]

- *Sulfatbestandig sement (SR-sement)* er en sement som har et redusert C_3A innhold. Dette gjøres ettersom at sement med et C_3A innhold på under 5 % og som oppfyller krav til tetthet, er motstandsdyktig mot moderate sulfatangrep. SR-sement vil derfor være relevant for konstruksjoner som er i kontakt med jord eller grunnvann med henholdsvis mer enn 0,2% eller 0,3% g/l sulfatsalter. I tillegg kan det brukes for betongoverflater som er utsatt for vekslning mellom fukting og tørking, for eksempel bropilarer. [6] Å redusere C_3A innholdet vil også føre til en lavere herdetemperatur, noe som gjør at SR-sement ofte er brukt i massive konstruksjoner hvor det er aktuelt med lav varmeutvikling. [5]
- *Hvit sement* er normalt en CEM I sementtype med lite jerninnhold. Slik sement kan brukes for å oppnå arkitektoniske fargeeffekter i fasader og gulv, for eksempel ved at bruk av marmor som tilslag, kan føre til at konstruksjonen gulner over tid. [5]
- *Lavalkalisement (LS-sement)* har et alkaliinnhold på mindre enn 0,6 % og regnes som ekvivalent Na_2O . Det finnes ingen EN-standard for LS-sement, men flere land har nasjonale standarder med ulike tilleggskrav, og i Norge håndteres dette gjennom Norsk Betongforening sine anvisinger [5]

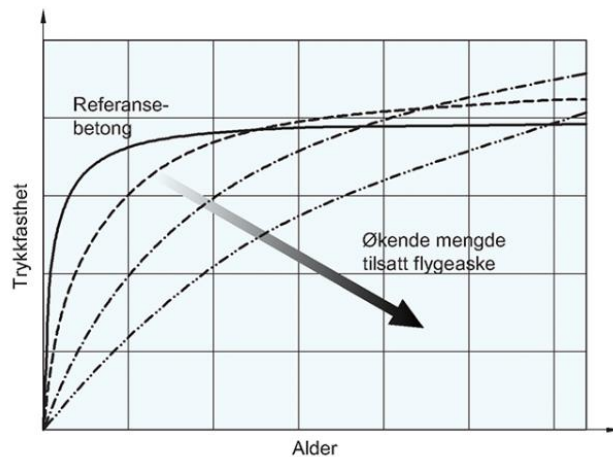
2.8.2 Portland blandingssement, CEM II

I dag har man et stort fokus på å redusere miljøbelastningen som sementproduksjonen medfører, og en måte å gjøre dette på er ved å benytte blandingssementer i større grad. CEM II er mer miljøvennlig enn CEM I ettersom at klinkerandelen er lavere, og i Norge oppnås dette ved at sementer anvendes med innmalt flygeaske, kalkstein og slagg. I tillegg til at portland blandingssement er mer miljøvennlig, har det også noen gunstige egenskaper i anleggskonstruksjoner. [5]

CEM II sementtyper:

- *Portland-flygeaskesement* er sement som inneholder inntil 20 % innmalt flygeaske. I motsetning til reaksjonen i ren portlandsement, hvor det produseres kalsiumhydroksid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, vil tilsetning av flygeaske føre til en pozzolanreaksjon hvor det forbrukes $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Denne reaksjonen er langsom, så varme- og fasthetsutviklingen tar også lengre tid enn CEM I sement. Derimot er flygeaskesement ofte mer finmalt enn CEM I sement, slik at tapet av tidligfasthet kompenseres. I tillegg vil reaksjonsprodukter fra en pozzolanreaksjon være svært effektive i å fylle opp porer og hulrom i materialet og dermed gi forbedret tetthet og styrke. Dette er illustrert i figuren nedenfor. Denne type sement gjør betongen meget motstandsdyktig mot kjemiske angrep, og blir derfor ofte brukt iblant annet marine konstruksjoner, kloakksystem, broer, brygger og dammer.

[5] [6]



Figur 4 Fasthetsutvikling for portlandsement med varierende mengde flygeaske [5]

- *Portland-slaggsement* er svært vanlig blandingssement i Norge. Slagg inneholder amorft kalsium-aluminosilikat (glassfase) som er hydraulisk latent. Ved hjelp av ulike typer sulfat- og alkaliaktivatorer som for eksempel CaSO_4 , NaOH og Na_2CO_3 eller portlandsement, kan denne glassfasen aktiveres og hydratiseringen av slaggsementen vil produsere C-S-H som har en lavere C/S-forhold enn ren portlandsementpasta. Det kan også dannes andre sementhydratfaser, noe som avhenger av blandingsforhold og slaggets kjemiske sammensetning. [5]

- *Lavvarmesement* er en sementtype med en rolig fasthets- og varmeutvikling. Slik sement egner seg godt ved støping av store og massive tverrsnitt hvor temperaturutvidelse og opprissingsproblemer gjør at hydrasjonsvarmen ikke må bli for høy. Lavvarmesement blir i NS-EN 197-1 og NS-EN 14216 karakterisert utfra målt hydrasjonsvarme, noe som avhenger av innhold av C_2S i forhold til C_3S , alkaliinnhold og hvor grov malingsgraden er. I tillegg kan man oppnå en moderat til lav varmeutvikling ved å tilsette flygeaske og slagg i blandingen, som for eksempel i CEM II – IV. [5]

2.8.3 Slaggsement, CEM III

CEM III slaggsement er en sementtype som ikke er særlig aktuell i Norge. Den kan inneholde opptil 95 % slagg og har en lavere varmeutvikling og langsommere fasthetsutvikling enn ren portlandsement. CEM III er også litt mer motstandsdyktig mot sulfat og svake syrer, men har normalt ikke særlig god frostmotstand. Slaggsement kan derimot benyttes dersom det kan dokumenteres tilfredsstillende frostbestandighet. [5]

2.9 Tilsetningsstoffer

I dag produseres nærmest all betong med tilsetningsstoffer. Noen av de vanligste pozzolanene og tilsetningsstoffene er flyveaske, slagg, silikastøv, P-stoffer(plastiserende) og SP-stoffer (superplastiserende).

Pozzolan er en gruppe stoffer som har den egenskapen at de danner bindestoffer når de reagerer med kalsiumhydroksid($Ca(OH)_2$). Pozzolaner består for det meste av silisiumforbindelser, og finnes i naturlig form i vulkanske bergarter, men kan også kunstig fremstilles som for eksempel brente leirmineraler eller flyveaske fra kullfyrte kraftverk.

I betong kan man tilsette slike pozzolaner som tilvirkningsstoffer. Disse brukes både i sementproduksjon og i betongproduksjon. Pozzolaner som tilsettes i sementproduksjonen endrer sementens egenskaper ved at den kjemiske sammensetningen blir endret. De mest vanlige pozzolanene brukt i sementproduksjon er flyveaske og slagg. Når pozzolaner blir tilsatt i betongproduksjonen endrer ikke sementens sammensetning og egenskaper seg, men betongen egenskaper endrer seg. De mest vanlige pozzolanene i betongproduksjon er flyveaske og silika.

Pozzolan tilsettes først og fremst for å endre og forbedre betongens egenskaper. Økt styrke, høyere tetthet og bedre resistans mot korrosjon er som oftest målene man har når man tilsetter disse stoffene. Men mange slike pozzolaner man bruker i betongen i dag, har et mye lavere miljøavtrykk, og noen er faktisk avfallsstoffer fra andre industrier, noe som gjør at man kan regne miljøavtrykket som lik null.

De mest vanlige pozzolanene man bruker i dag er finmalt kalkstein (kalksteinsmel), flyveaske fra kullfyrte kraftverk, slagg fra råjernsproduksjon og silikastøv fra ferrosilisiumproduksjon.

Kalksteinsmel tilsettes vanligvis som 4-5% av klinkerinholdet. Den forbedrer betongens støpelighet og erstatter mindre deler av den vanlige portlandklinkeren, noe som også bidrar til å redusere sementen, og dermed betongens miljøavtrykk.

Flyveaske er en pozzolan, og er et avfallsprodukt fra forbrenningsprosessen i kullfyrte kraftverk. Asken inneholder svært små partikler som fanges opp av filtre i kraftverkene. Asken blir ofte deponert lokalt, noe som gir miljøkonsekvenser av den negative typen, derfor er det viktig å finne områder vi kan bruke dette avfallsproduktet videre på.

Her har å bruke flyveaske som suppleringsmateriale i betongen vært en god løsning. Asken har en kjemisk sammensetning som gjør at den reagerer i betongen og gjør den veldig tett, samt at de fine partiklene i flyveasken gir betongen gode støpelighetsegenskaper. I tillegg får betongen økt motstandsdyktighet mot nedbrytning når man tilsetter flyveaske.

Miljømessig er det også fordelaktig å bruke flyveaske i sementen, det minsker behovet for den vanlige klinkeren, det reduserer energibruket per tonn ferdig sement, noe som videre fører til et lavere utslipp av klimagasser som CO₂. I tillegg reduserer man mengden avfall som må deponeres ved å heller bruke det i betongen.

Flyveasken tilsettes vanligvis med en mengde på omtrent 20% av klinkerinholdet, men det kan også tilsettes når man blander betongen for å få et enda høyere innhold.

Slagg er også et pozzolant materiale, og er et biprodukt fra produksjonen av jern. Man kan bruke det i sementproduksjon for å oppnå en høyere styrke og større tetthet i betongen. Når man tilføyer slagg i sementen trenger man mindre klinker, og dermed vil miljøavtrykket til betongen også bli redusert. Slagget i sementproduksjonen kan tilsettes i ulike doseringer, men ligger vanligvis på rundt 30% av klinkerandelen, men den kan økes til 70-75% for å få spesielle betongegenskaper.

Silikastøv er et mye dyrere pozzolan, og benyttes oftest i mindre mengder på ca 4-6% av klinkerandelen. Det er biprodukt fra produksjonen av ferrosilisium, som man ved moderne renseteknologi kan rense og bruke som en ressurs. Silikastøv tilsettes normalt i betongproduksjon for å få en høyere styrke, og en større tetthet.

Plastiserende- og superplastiserende-stoffer brukes for å redusere vannmengden i betongen, eller for å få et større synkmål, og en bedre støpelighet, uten å endre vanninnholdet i betongblandingen. [7] [8] [9]

2.10 Miljøvennlig betong

En vanlig feiltagelse når det kommer til byggebransjen er at man må droppe betongen for å kunne bygge miljøvennlig. I realiteten vil lavkarbonbetonger og optimaliserte konstruksjonsløsninger føre til sterk reduksjon av klimautslipp, slik at det absolutt er mulig å bygge klimasmart ved hjelp av betong. I tillegg vil byggkonstruksjoner i betong ha lang levetid og lave drifts- og vedlikeholdskostnader. [10]



(Kilde: Tekna [32])

Byggutengrenser er et norsk bransjeorgan som arbeider for å sette fokus og inspirere til ulike løsninger for å oppnå god og robust arkitektur på en miljøvennlig måte ved bruk av mur og betong. Byggebransjen er hele tiden under utvikling, noe som fører til stadig flere muligheter for en mer miljøvennlig betongbruk. Vi har sett på noen av disse mulige løsningene som Byggutengrenser mener er viktig for bygg- og anleggsnæringen. [11]

I dag ønsker mange offentlige byggherrer å bygge i tre, og spesielt massivtre, ettersom dette ofte ses på som mest klimavennlig. Det at tre er et godt byggemateriale for å bygge mer miljøvennlig i fremtiden er helt riktig, men dette kan også fint oppnås ved bruk av mur og betong. Å låse seg til et materiale vil begrense mulighetene for byggingen slik at den mest klimavennlige og bærekraftige løsningen ofte vil være en kombinasjon av ulike materialer.

Som sagt er byggebransjen og mur- og betongprodukter i kontinuerlig utvikling, noe som fører til stadig forbedret klimaavtrykk. Klimagassutslippet har også blitt redusert gjennom forbedret kunnskap om prosjektering og konstruksjon med mur og betong ved at det har gitt oss mer optimaliserte løsninger og bedre utnyttelse av materialer. I tillegg har det blitt lettere å velge gode dokumenterte løsninger ettersom vi har fått mer dokumentasjon av miljøegenskaper og bedre systemer og regler for sammenlikning av løsninger.

2.10.1 Miljøvennlige tiltak i sement- og betong produksjon

Hovedkilden til klimagassutslippet innen betongproduksjonen er sement. I Norge har man to fabrikker, begge eid av Heidelberg Norcem, som produserer sement, i tillegg til at noe blir importert fra Danmark og Tyskland. Ettersom det er så få produksjonssteder for sement, vil miljøbevisste tiltak føre til store utslag, og sementene i det norske markedet har dermed et svært lavt utslippstall sammenliknet med de fleste andre markeder. Men hvilke tiltak må gjøres for å oppnå et slikt lavt utslippstall? [12]

En viktig løsning som er gjort for å redusere utslippet ved sementproduksjon er å erstatte fossile brensler som kull og olje med andre type brensler. Eventuelt kan det også være en mulig løsning å heller bruke elektrisitet for å oppvarme kalsineringsovnene under sementproduksjonen. En slik erstatning av fossile brensler vil både redusere klimagassutslippet under selve produksjonen og hindre avfallsproblem hvor farlige stoffer slippes ut i kretsløpet. I den norske produksjonen utgjør ca. 75 % alternative brensler, hvor mye av dette er basert på biomasse. Selv om dette er en løsning som i stor grad er oppnått, er det fortsatt et stort fokus på ytterlig forbedring. [12] [13]

Et annet tiltak som gjøres for at sement- og betongproduksjonen blir mer miljøvennlig er å blande inn andre råmaterialer. Det meste av det som brukes ved innblanding er restprodukter fra annen industri, som for eksempel flygeaske, silikastøv og slagg. Sement har egentlig lite innblanding av andre råmaterialer, men disse kan også tilsettes i betongproduksjonen slik at utslippet til betongen kuttes. En slik innblanding av råmaterialer vil derimot påvirke

egenskapene til betongen, og det er derfor gjort mange tilpasninger i regelverk og produksjon for at økt innblanding skal være mulig. [12]

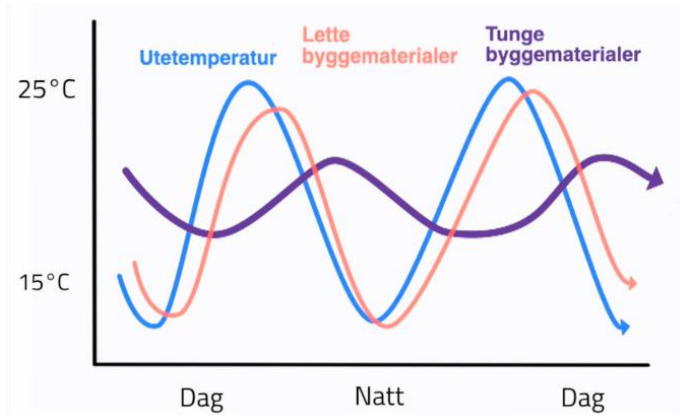
Karbonfangst er enda et viktig tiltak som i fremtiden kan være med på å gi store utslippskutt. Tanken er at CO₂ utslippet fra sementfabrikker skal kunne fanges opp for så å pumpes ned under Nordsjøens havbunn for permanent lagring. Dette har foreløpig kun vært en foreslått løsning som enda ikke er blitt tatt i bruk, men Norcem sitt karbonfangst prosjekt i Breivik begynner nå å nærme seg realisering etter å ha fått støtte fra Stortinget. Sementfabrikken i Breivik produserer over halvparten av all sement som brukes i Norge, og siden mesteparten av CO₂ utslippet skyldes nettopp denne prosessen hvor kalkstein omdannes til sement, vil karbonfangst gi stor klimaeffekt for hele byggebransjen. [14]

I tillegg til å utføre klimatiltak knyttet til sementproduksjonen, er det også flere tiltak som lokale betongprodusenter kan gjøre for å redusere utslipp. Det kan være for eksempel omlegging av fyringsanlegg, bedre utnyttelse av restvarme og elektrifisering av betongleveringer. Andre miljøtiltak blir også gjort med fokus på å minimere vannforbruket og redusere avfall osv. Flere av fabrikkene i dag har for eksempel nullutslipp av vann og full resirkulering av materialene. [12] [13]

Betong er et materiale som tåler veldig mye trykk, men ikke så mye strekk. Derfor er det normalt at betongkonstruksjoner blir armert med armeringsstål for å øke strekkstyrken. Denne armeringen vil også føre til noe klimagassutslipp som er viktig å ta hensyn til. I Norge har vi kun en produsent av armeringsstål og her brukes det skrapmetall som råstoff, noe som gir mye lavere utslipp enn jomfruelige råmaterialer. [12]

Betongens termisk masse er en stor fordel når det kommer til betongbruk i byggkonstruksjoner. Betong er et tungt materiale med høy termisk masse, som vil si at den har god evne til å absorbere, oppbevare og frigi varmeenergi. Denne effekten kan enkelt utnyttes i bygg slik at man reduserer energibruket for oppvarming og kjøling, og med det også reduserer byggets miljøbelastning og CO₂ utslipp. I diagrammet nedenfor vises det hvordan

tunge materialer som betong kan jevne ut innetemperaturen ved at den absorberer varme om dagen som den senere frigir til bygget om natten. [15]



Figur 5: Utjevning av innetemperatur ved hjelp av termisk masse [15]

Et svært sentralt element for hvordan vi oppnår mest mulig bærekraftige bygg er betongbransjens dokumentasjon i form av miljødeklarasjoner, også kalt EPD (Environmental Product Declaration). Disse dokumentene beskriver miljøegenskapene til sement og ferdige betongprodukter, og gir muligheten til å gjøre klimagassberegninger for bygg. EPD-ene gir også med det muligheten for gode sammenlikninger slik at man enkelt kan gjøre vurderinger på hvilke løsninger som vil være mest miljøvennlige. [12]

3 Forsøk på lab

3.1 Sammendrag

I lab-rapporten vil vi støpe to forskjellige resepter med betong og deretter gjøre ulike øvelser og beregninger på disse batchene. Etter de ulike øvelsene har blitt utført vil vi drøfte og se hvordan egenskapene til de to batchene varierer, og hvorfor. Vi tester slump, densitet og trykkfasthet. Dette gjøres for å få en helhetlig og riktig tilnærming til de to reseptene.

Batch #1 var en resept med miljøvennlig lavvarme sement (Se vedlegg A). Denne har 67% slagg i seg, og klinkerandel på 33%. Dette gjør denne sementen mer bærekraftig og miljøvennlig. Slagg er gjenbruk av enkelte materialer, som for eksempel FA. Klinker er som skrevet i teoridel en av de største miljøverstingene i sement, som er miljøverstingen i den ferdige betongen. Ved at man minsker klinkerandelen, vil man slippe å gjøre klinkerutvinningen i like stor grad som ved en konvensjonell sement, noe som vil bidra til et mye mindre miljøutslipp.

Batch #2 var en resept med standard anleggssement uten FA (Flyveaske) som vi benyttet for å få en så normal betong som mulig, med omtrent 95 % klinker innhold (Se vedlegg B). Dette skal representere en ikke miljøvennlig betong, som gjør at sammenligningen med en miljøvennlig betong blir mer oversiktlig.



3.2 Proporsjonering

Vi skulle støpe to forskjellige blandinger, en med lavvarmesement med 67% slag, og en med vanlig anleggssement av omtrent 95% klinker. Hensikten med å teste betongen var for å se på egenskapene spesielt i tidlig fasen og hvordan det ville påvirket støpningen og byggingen av et parkeringshus på Jorunnsholmen.

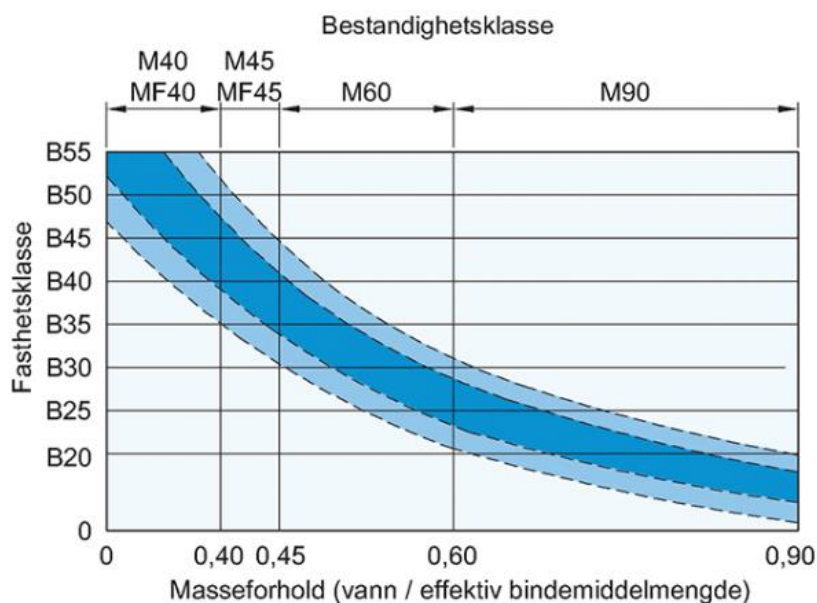
Klassifisering av konstruksjoner ut fra miljøbelastning	
Grad av belastning angis med nummer. For en mer detaljert oversikt av klasseinndelingen og beskrivelse av miljø, samt eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme, henvises det til NS-EN 206:2013+NA:2014	
EKSPONERINGSKLASSE	
X0	Ingen risiko for korrosjon eller angrep
XC1-4	Korrosjon framkalt av karbonatisering
XD1-3	Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann
XS1-3	Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann
XF1-4	Fryse-/tineangrep
XA1-4	Kjemisk angrep
XSA	Særlig aggressivt miljø

Parkeringshuset på Jorunnsholmen vil falle under eksponeringsklasse XS1 da plasseringen langs sjøen vil gjøre at det er utsatt for korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann. Vi ser bort fra frostpåkjenning på betongen vår, og har et luftinnhold på 2% i betongen. Dette gjør at parkeringshuset ikke faller inn under XD-klassen. I tabellen under ser vi at eksponeringsklassens tilhørende fasthetsklasse og bestandighetsklasse blir B45 og M45

Tabell 8: Eksponeringsklasse til betong [16]

Eksponerings-klasse	Tilhørende fasthetsklasser	Bestandighets-klasse	Minimum luftinnhold	Bruksområder (eksempler)
X0	B20	M90		Betong inne i bygninger med lav luftfuktighet
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1	B25 B30	M60		Fundamenter el. utendørs betong beskyttet mot regn. Vertikale flater utsatt for regn og frost
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4	B35 B45	M45		Landbrukskonstruksjoner samt konstruksjoner nær/på kysten
XF2, XF3, XF4	B35 B45	MF45	4%	Horisontale konstruksjoner utsatt for regn og frost
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XSA	B45 B55	M40		Svømmebasseng
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XSA	B45 B55	MF40	4%	Veidekker, parkeringsanlegg eller maritime konstruksjoner i tidevannssone

*Tabell fra NS-EN206+NA



Figur 6: Sammenheng mellom fasthetsklasse og bestandighetsklasse for normalbetong [17]

Fra grafen på bildet over fant vi at med en fasthetsklasse på B45 og bestandighetsklasse M45 ga et V/C tall på 0,45. Matriksvolumet valgte vi å ha på 340 liter for at betongen skulle ha god støpelighet. I tillegg tilsatte vi 0,8 % av det superplastiserende stoffet Mapei Dynamon SX-N, dette var også for å sikre en god støpelighet.

Deretter fant vi siktekurvene UIS hadde for tilslaget vi skulle bruke. Henholdsvis den for «Årdal 0/8 nat vask» og «Årdal 8/16 nat vask. På labben testet vi også vanninnholdet på det fineste tilslaget da det kunne variere litt, og at tilslaget nettopp var blitt hentet til Universitetet fra bedrift og virket våt. Vi brukte et apparat kalt Speedy Moisture Tester, hvor vi fant ut at vanninnholdet var på 7%, noe som bekreftet vår mistanke om at det var våtere enn vanlig. Dette la vi inn i regnskapet da vi skulle finne reseptene.

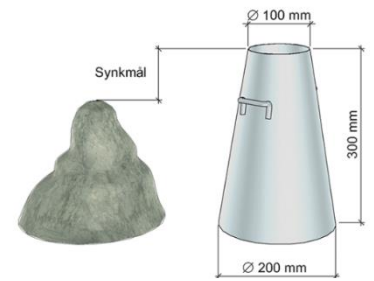
Luftinnholdet satte vi som 2 % ettersom at Stavanger har svært få frostdager i løpet av året. I tillegg er bygget henholdsvis tørt, og vi har derfor valgt å se vekk ifra frostpåkjenning. Om vi hadde tatt høyde for frostpåkjenning, måtte vi satt luftinnholdet i betongen til 5%.

Alle disse verdiene ble så lagt inn i et Excel ark for proporsjonering av betong, slik at vi fikk ut reseptene for de to betongtypene og vi kunne sette i gang med blandingen (Se vedlegg C og D).

3.3 Metode

3.3.1 Slumptest

Etter at vi hadde funnet riktig proporsjonering til hver betongtype og blandet dette sammen til to ulike betong blandinger, ble det utført slumptest. Dette er en metode beskrevet i NS-EN 12350-2 for å bestemme konsistensen og støpbarhet av fersk betong. Testen gikk ut på å fylle opp en metallkjegle med betongblanding samtidig som den ble presset ned mot bakken. For å unngå luftbobler og sikre at betongen ble støpt ut så godt som mulig, ble kjeglen fylt lagvis i tre deler, hvor det for hvert lag ble stampet 25 ganger i blandingen med en metallstang. Da kjegla var fylt helt opp, ble den forsiktig løftet opp på et intervall på 2-5 sekunder, og plassert ved siden av den nedsunkne betongmassen. Synkmålet ble så funnet ved at metallstangen ble lagt oppå kjegla og avstanden mellom metallstangen og toppen av betongmassen ble målt. I tillegg ble det målt diameterne til den nedsunkne ferske betongen. Alt dette ble gjort for begge betongblandingene



Synkmål og prinsipp for måling
(Kilde: Byggforsk [33])

3.3.2 Støping av prøveterninger

Etter at slumptesten var gjennomført, ble blandingene støpt til prøveterninger i en form på 100x100x100 mm som på forhånd var smurt i fett. Også her ble formene fylt i tre lag og stampet 25 ganger per lag for å forhindre luftbobler. For å ha tilstrekkelig med prøveterninger til planlagte tester, ble det totalt støpt 24 terninger, 12 med anlegg sement og 12 med lavvarme sement. Vi lot så betongen herde ett døgn i formene før terningene ble tatt ut og plassert i vannbad ved en temperatur på 20C for videre herdning.



3.3.3 Densitet

Densitet valgte vi å finne ved hjelp av å måle vekten av de herdede betongterningene. Det nøyaktige volumet til hver terning vil være noe forskjellig og kan finnes ved å legge dem i en vannbeholder og se hvor mye vannet stiger. Forskjellene vil derimot utgjøre såpass lite betydning og ettersom at alle terningene er støpt i former på 100x100x100mm vil volumet av dem alle være omtrent 1 liter. Densiteten finner man så ved å dele terningenes masse på

volumet, og siden volumet i dette tilfelle er 1 liter, vil betongens densitet være lik massen til prøveterningen multiplisert med 1000. Nedenfor har vi målt massen og densiteten til 6 terninger fra hver betongblanding og funnet gjennomsnittsdensiteten.

3.3.4 Trykktesting

Til slutt ble det gjort trykktesting av alle terningene for å se på styrken og herdningsprosessen til de ulike blandinger på dag 3, 7, 14 og 28 etter støping. Trykktestingen ble utført etter NS-EN 12390-3 ved å plassere terningene nøyaktig sentrisk i en pressemaskin med de glatte overflatene mot maskinens berøringspunkter. Prøvene ble så belastet med økende kraft helt til brudd og betongen begynte å sprekke. Vi kunne da avlese den maksimale kraften terningene kunne motstå. For å ha mulighet til å observere eventuelle avvik under testene og dermed få et mest mulig riktig bilde på trykkfasthetsutviklingen, valgte vi å, for hver test-dag, teste tre terninger fra hver betongtype.



3.4 Resultater

3.4.1 Slumptest

Tabell 9: Resultater Synkmål

Betongblanding	Synkmål	D1	D2
Lavvarme sement #1	260mm	380mm	450mm
Anlegg sement #2	240mm	300mm	370mm

Kommentar:

I henhold til NS-EN 12350-2 er dette en metode som kan brukes dersom betongens synkmål ligger på mellom 10mm og 210mm, men i praksis brukes likevel metoden for synkmål opp til 240mm. [18] Som man ser ut ifra resultatene ovenfor, ligger betongblandingen med anleggsement akkurat på denne grensen, mens blandingen med lavvarme sement egentlig er litt for høy. Vi har likevel valgt å utføre denne metoden på begge blandingene på grunn av mangel på andre testalternativer, og at det fortsatt i noen grad gir en oversikt over forskjellen i støpbarhet mellom de to betongblandingene. Testen viser altså at lavvarme sementen gir et litt høyere synkmål og bedre støpelighet enn anlegg sementen. Dette gjør lavvarmebetongen litt enklere å jobbe med, samtidig som det gir massen en god stabilitet slik at det ikke oppstår lommer av betong med høyere v/c-tall, noe som gir en mer porøs struktur. En god utstøping og komprimering, vil i tillegg være svært viktig for betongens levetid. [2]



Synkmål av Lavvarme sement #1

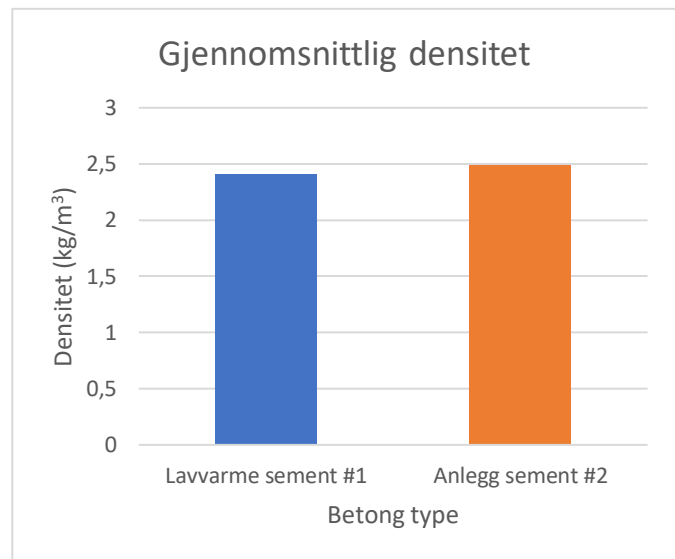


Synkmål av Anlegg sement #2

3.4.2 Densitet

Tabell 10: Densitet resultater

Prøveterning	Densitet (kg/m ³)
Anlegg sement 1	2 460
Anlegg sement 2	2,480
Anlegg sement 3	2 500
Anlegg sement 4	2 500
Anlegg sement 5	2 480
Anlegg sement 6	2 500
Lavvarme sement 1	2 380
Lavvarme sement 2	2 440
Lavvarme sement 3	2 460
Lavvarme sement 4	2 360
Lavvarme sement 5	2 420
Lavvarme sement 6	2 400



Figur 7: Gjennomsnittlig densitet

Kommentar:

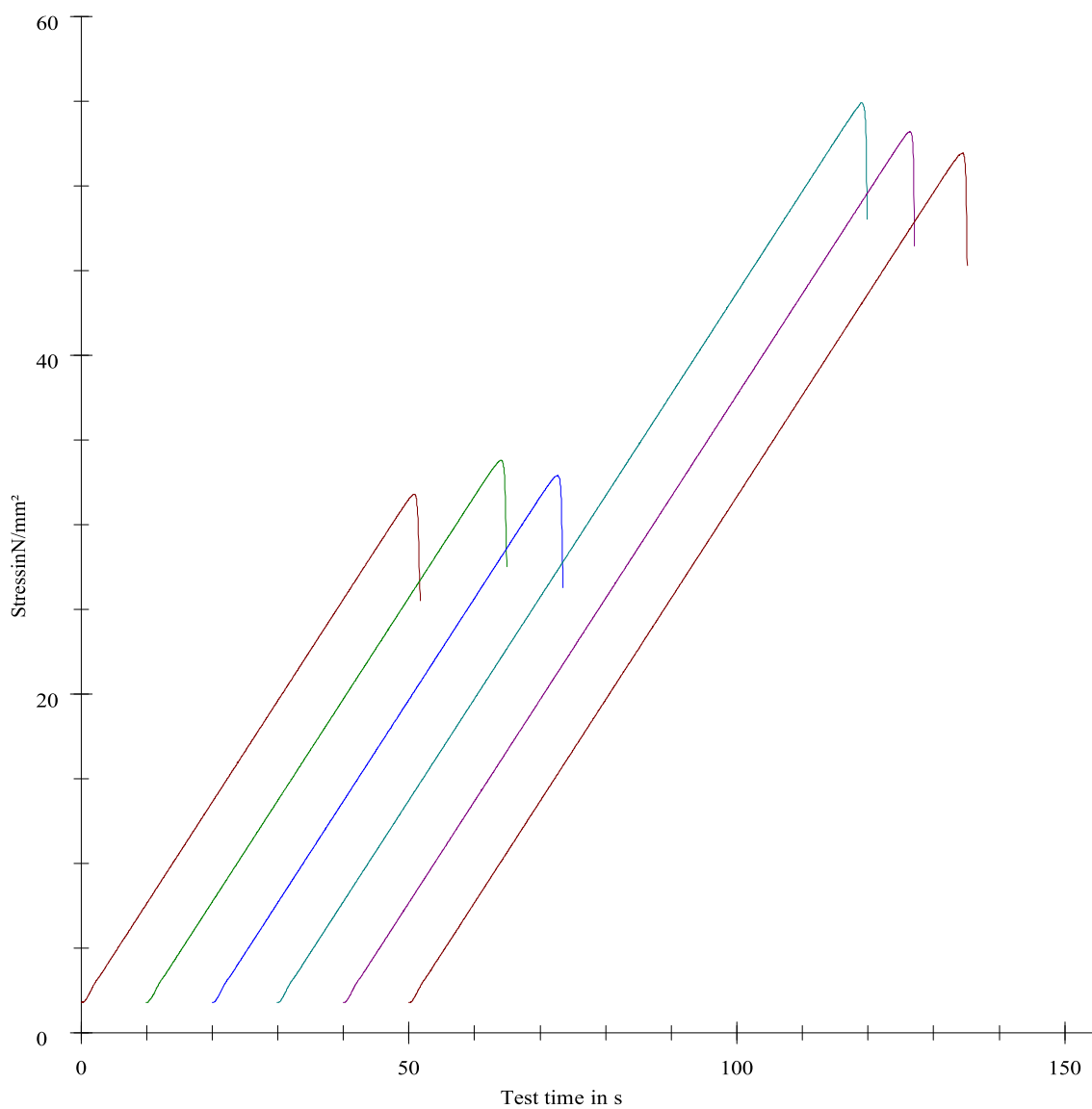
Som man ser utefra resultatene ovenfor, er det ikke særlig stor forskjell på densitet mellom blandingen med anlegg sement og blandingen med lavvarmesement. Begge blandingene har en densitet som ligger i området mellom 2 000 – 2 600 kg/m³, noe som vil si at de karakteriseres som *normalbetong*. [17] Anlegg sementen gir gjerne litt høyere densitet, men det er såpass lite at det ikke vil ha noe spesiell betydning for betongenes egenskaper. Densiteten på betongblandingene er litt høyere da vi har et lavere luftinnhold (2%). Dette fordi vi ser bort ifra frostpåkjenning.

3.4.3 Trykktest Resultater

Dag 3:

Tabell 11

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	Clock time	σ _m N/mm ²
1	25.02.2021	Lavvarme sement #1 Dag 3	100,0	100,0	317,75	13.27.38	31,8
2	25.02.2021	Lavvarme sement #1 Dag 3	100,0	100,0	337,95	13.31.27	33,8
3	25.02.2021	Lavvarme sement #1 Dag 3	100,0	100,0	328,67	13.34.28	32,9
4	25.02.2021	Anlegg sement #2 Dag 3	100,0	100,0	549,03	13.37.56	54,9
5	25.02.2021	Anlegg sement #2 Dag 3	100,0	100,0	531,73	13.40.43	53,2
6	25.02.2021	Anlegg sement #2 Dag 3	100,0	100,0	519,31	13.44.00	51,9

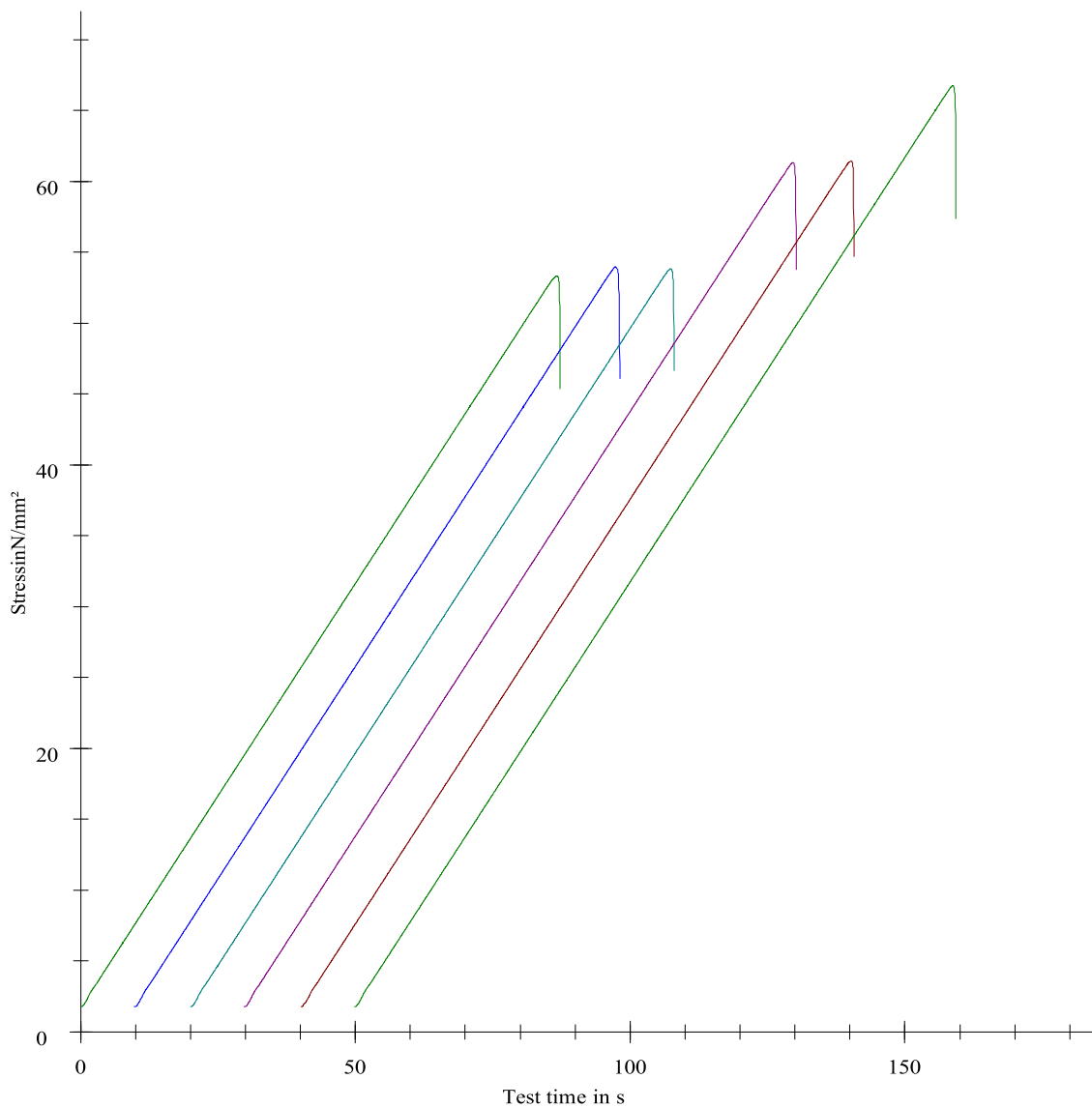


Figur 8

Dag 7:

Tabell 12

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	Clock time	σ _m N/mm ²
7	01.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 7	100,0	100,0	533,26	13.15.38	53,3
8	01.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 7	100,0	100,0	539,81	13.18.49	54,0
9	01.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 7	100,0	100,0	538,29	13.21.56	53,8
10	01.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 7	100,0	100,0	613,06	13.24.53	61,3
11	01.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 7	100,0	100,0	614,35	13.27.52	61,4
12	01.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 7	100,0	100,0	667,37	13.30.50	66,7

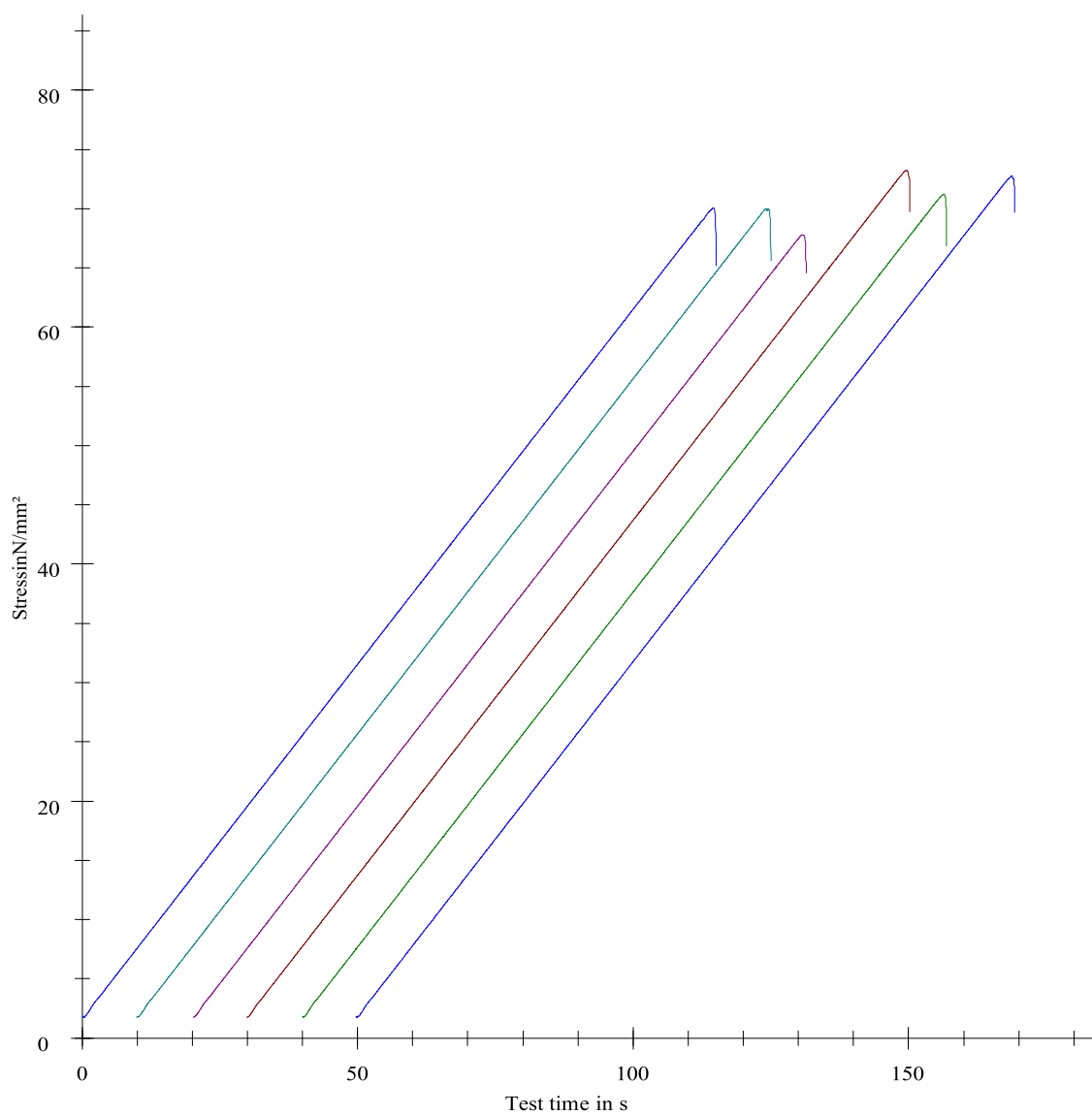


Figur 9

Dag 14:

Tabell 13

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	Clock time	σ _m N/mm ²
13	08.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 14	100,0	100,0	700,54	12.14.12	70,1
14	08.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 14	100,0	100,0	700,20	12.18.07	70,0
15	08.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 14	100,0	100,0	678,09	12.21.00	67,8
16	08.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 14	100,0	100,0	732,56	12.24.23	73,3
17	08.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 14	100,0	100,0	712,35	12.27.41	71,2
18	08.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 14	100,0	100,0	727,62	12.30.53	72,8

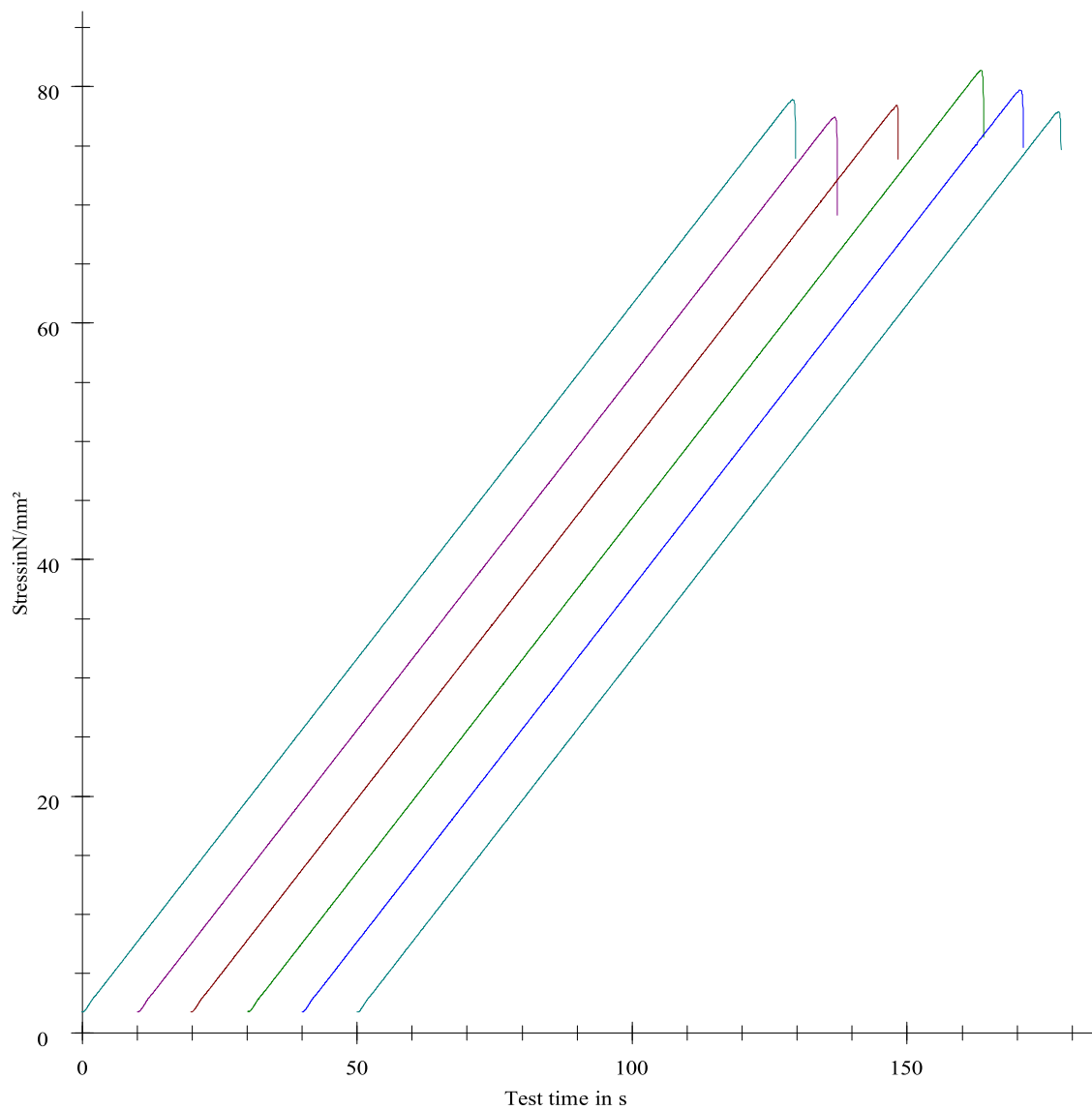


Figur 10

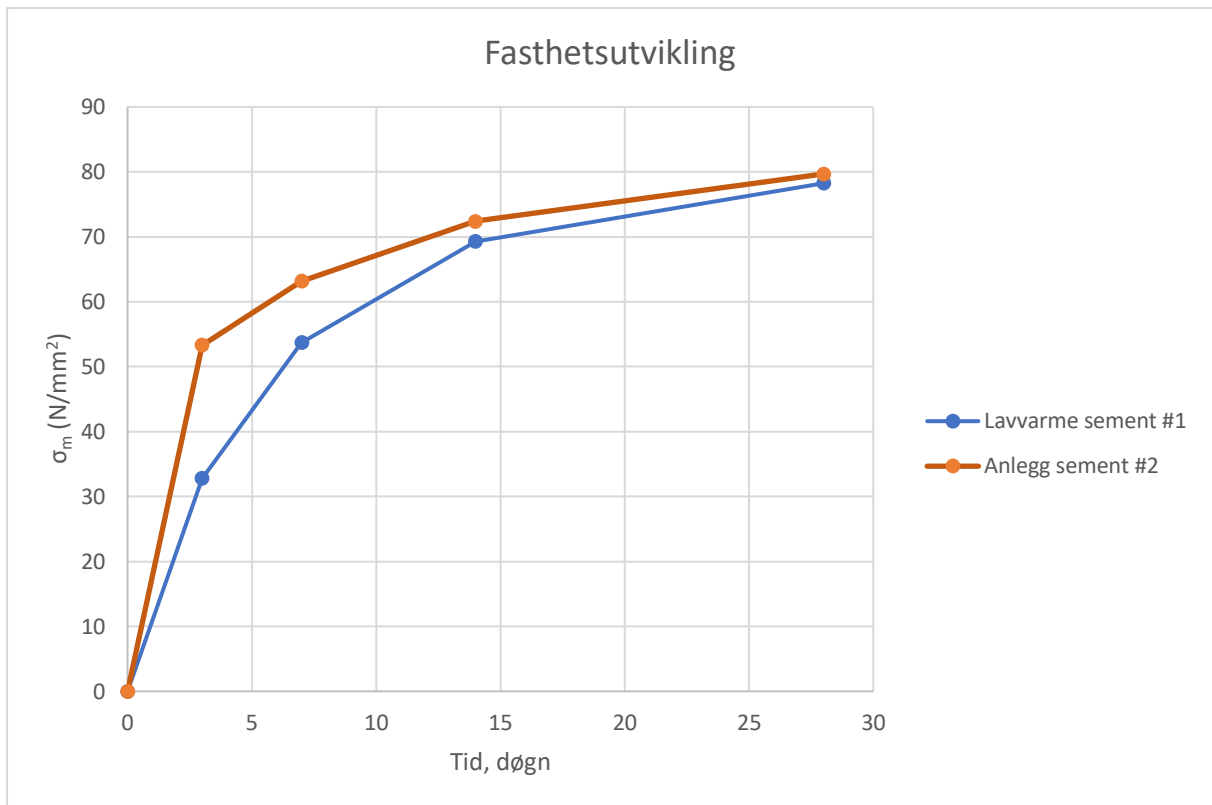
Dag 28:

Tabell 14

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	Clock time	σ _m N/mm ²
19	22.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 28	100,0	100,0	788,95	13.20.22	78,9
20	22.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 28	100,0	100,0	774,24	13.11.07	77,4
21	22.03.2021	Lavvarme sement #1 Dag 28	100,0	100,0	784,20	13.25.19	78,4
22	22.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 28	100,0	100,0	814,07	13.28.58	81,4
23	22.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 28	100,0	100,0	797,32	13.33.39	79,7
24	22.03.2021	Anlegg sement #2 Dag 28	100,0	100,0	778,97	13.37.11	77,9



Figur 11



Figur 12: Fasthetsutvikling av betongblandingene



Brudd etter en trykktest av Lavvarme sement #1



Brudd etter en trykktest av Anlegg sement #2

Kommentar:

Beregningen av resultatene fra trykktesten er beskrevet i NS-EN 12390-3 etter følgende formel:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

hvor

f_c (σ_m) er trykkfasthet, [N/mm²];

F (F_m) er den maksimale trykkraften prøvene motstår før brudd, [N];

A_c er tversnittarealet til prøvene hvor trykkraften virker mot, [mm³].

[20]

Disse resultatene viser tydelig at til å begynne med har betongen med anlegg sement nokså høyere trykkfasthet enn betongen med lavvarme sement, men at dette vil over tid jevne seg ut. Betongen med anlegg sement vil altså ha høyere tidligfasthet, men likevel oppnå omtrent den samme sluttfastheten som den mer miljøvennlige betongen.

Forskjellen i herdetid skyldes nok lavvarmesementens høye innhold av slagg. En vanlig løsning for å kompensere for noe av den langsomme fasthetsutviklingen er å øke finmalingsgraden på det ferdige sementproduktet. Dette er derimot kun mulig når tilsetningsmaterialene males inn som en del av sementen. Ved tilfeller hvor slagget tilsettes direkte i betongproduksjonen er det ikke mulig å kompensere langsom fasthetsutvikling uten å senke masseforholder, noe som igjen vil øke bindemiddelinholdet og karbonavtrykket. [21, side 33]

Resultatene på dag 28 viser at styrken til betongen med anlegg sement fortsatt er litt høyere, og normalt ville man også gjøre en test etter 56 dager, men på grunn av begrenset tid, valgte vi å ikke gjøre dette. Likevel kan man tenke oss at resultatene av en slik test ville ha vist en enda mindre styrkeforskjell mellom de to betongtypene.

I tillegg har det tidligere blitt gjort observasjoner på labben som kan tyde på at ved enda lenger herding, vil styrken på den miljøvennlige betongen til og med overstige anlegg betongen en god del. Dette er derimot kun en hypotese som vi ikke har dataene til å kunne konkludere noe med.

3.5 Konklusjon lab forsøk

Dette har vært et nokså enkelt og lite komplisert lab forsøk, men som likevel har gitt et godt bilde på hvordan sementbruken i betongproduksjon kan være med å påvirke både betongens egenskaper og klimaavtrykk.

Slumpetesten gav resultater som kan tyde på at den miljøvennlige sementen kan gi litt bedre støpelighet. En bedre støpelighet kan gi en enklere utstøping som igjen kan føre til økt fasthet og levetid. Det er allikevel vanskelig å fastslå om dette er en tilfeldighet, da vi ikke støpte mer enn en blanding av hver.

Resultatene til trykktesting av betongterningene viser som sagt at til å begynne med har betongen med anlegg sement en høyere tidligfasthet, men at begge betongtypene oppnår omtrent den samme sluttfastheten etter 28 dager herdning. Å bruke lavvarme sement kan derfor bli noe problematisk ved prosjekter som krever en høy tidligfasthet for å ha en god fremdrift, som for eksempel i elementindustrien. Fordelen derimot med lavarmesementen er at den fører til langt mindre CO₂ utslipp, og lab resultatene tyder også på at det å ha et større fokus på en mer miljøvennlig betongproduksjon, ikke trenger å føre til ulemper når det kommer til betongens- og fremtidige konstruksjoners styrke og levetid.

4 Parkeringsanlegg på Jorenholmen

Parkeringsanlegget på Jorenholmen ble i sin tid, for nesten 40 år siden satt opp som en midlertidig løsning. Jorenholmen ble brukt til parkering også før parkeringslegget ble satt opp, men kapasiteten var for lav, dermed fikk de ett midlertidig parkeringsanlegg. Det ble i avisen da omtalt som byens styggeste hus og misnøyen med anlegget har absolutt ikke forsvunnet med tiden, folk synes ikke det er estetisk fint, og i tillegg tar det all utsikt mot sjøen fra Klubbgata.

Bygget som bare skulle være en midlertidig løsning, står fortsatt i dag, og selv om det har vært mye snakk om rivning og flytte det over til Fiskepiren, så ser det ikke ut som at vil skje nå heller etter at en arbeidsgruppe undersøkte hva det realistisk ville koste. Selve bygningen ble anslått mellom 240-480 millioner, og utfylling/landvinning til ny tomt på fiskepiren kom på 144 millioner, noe som gjør at bare utfyllingen øker prisen på prosjektet med 25-50%. Dette gjorde at de aller fleste endret mening, og det ser ikke ut til at å flytte parkeringsanlegget blir noe av.

Dette gjør det vanskelig å fikse problemet med utsikten til sjøen, men at bygget ikke er noe fint og kan pyntes på, eller få nye funksjoner er ting man ser på. Vi vil i denne casen anta at bygget er blitt revet og skal bygges opp igjen i betong, da det vil se mye bedre ut enn det som nå står i stål. Vi vil da se på hvordan prosjektets økonomi og miljøregnskap ville blitt påvirket om man brukte miljøbetong i stedet for den vanlige anleggsbetongen.

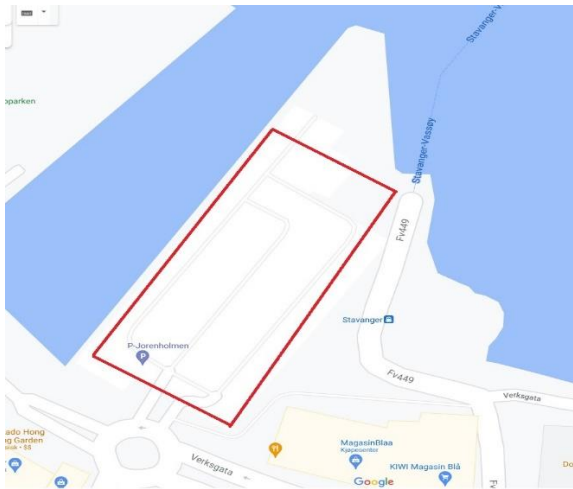
Parkeringshuset som allerede står nede på Jorenholmen har en lengde på rundt 90 meter, og bredde på rundt 45 meter. Vi tar forbehold om bæredyktig grunn, da det gamle bygget allerede står der. Ut mot piren er det pælet, noe som gjør at det ikke egner seg for denne typen bæring. [22]

4.1 Byggets utforming og betongmengde

Vi tar utgangspunkt i et standard parkeringshus, der en parkeringsplass er 5000 x 2500.

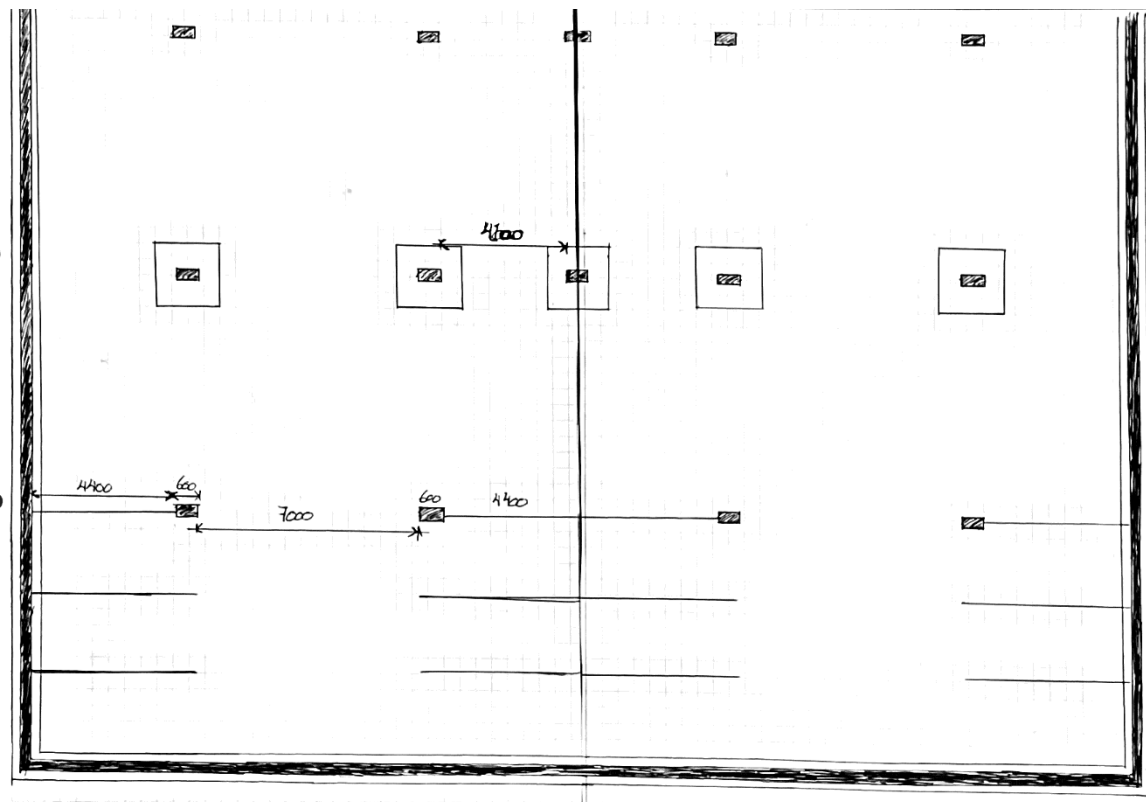
Videre vil lengden mellom søyler fra veggen være 7000mm. Et standard parkeringshus med parkering på begge sider, og veibane i midten vil da være 17m bredt. Siden vi velger å bygge det med omtrent like mange parkeringsplasser som er på Jorenholmen parkering nå (500 parkeringsplasser), dobler vi bredde for å få fire rekker bil i en etasje. Dette gjør at vi må ha en søylerekke til i midten, der avstanden fra de andre søylene er 5000mm. Hvis man tar utgangspunkt i at man får 35 biler på en rekke i lengden, vil dette gjøre at parkeringshuset får en lengde på rundt 90 meter, noe som er tilsvarende det som står der i dag. Ved at man har en

bredden på parkeringshuset på 35 meter, vil man ved dette få fire rekker à 35 biler. Dette tilsvarer 420 biler på tre etasjer.



Illustrasjon på hvor bygget vil ligge

En løsning på dette parkeringshuset blir da med bankett rundt hele bygget, punktfundamenter, søyler, vegger og dekker i betong. Total høyde på bygget blir 8,9m, og veggene vil ikke ha vinduer. Dette for å skjerme biler mot vær og vind.



Plantegning snitt av hvordan parkeringshuset blir støpt av oss

Bankett 800 x 400

Banketten er selve fundamentet som går rundt hele bygget, og som veggene står på (Selve grunnmuren). På plantegningen på forrige side vises banketten som det hvite under den sorte veggen. Den er bredere enn veggen for å gi god støtte. Størrelsen på denne er 800mm x 400mm x løpemeter. Dette er standard dimensjon på en bankett. Betong: $0,8 \cdot 0,4 = 0,32\text{m}^3$ per 1m (løpemeter). $\rightarrow 90+35+90+35 = 250\text{m}$. Mengde betong på bankett blir da 80m^3 .

Søyler 600 x 300

Vi velger å gå for firkantede søyler i parkeringshuset, da dette vil gi større utnyttelse av plass. Runde søyler vil ta mer plass, og derfor stjele parkeringsareal.

Betong: $0,6 \cdot 0,3 = 0,18\text{m}^2$. Bygget skal ha tre etasjer, der vi setter høyden i hver etasje til 2,3m. Drenerende belegning mellom fundament og første dekke er på 600mm. Hvis man tar som utgangspunkt at en søyle går gjennom de tre etasjene, er hver søyle på $2,3+2,3+2,3+0,6 = 7,5\text{m}$.

$7,5\text{m} \cdot 0,18\text{m}^2 = 1,35\text{m}^3$ betong per søyle. Vi må ha 65 søyler, $13\text{stk} \cdot 5$ rader. Dette fører til at man må ha $87,75\text{m}^3$ betong for søylene.

Punktfundament 2000 x 2000 x 500

Punktfundamentene er kvadratene som står rundt søylene på bilde ovenfor.

Betong per fundament: $2 \cdot 2 \cdot 0,5 = 2\text{m}^3$. Antall fundamenter er det samme som antall søyler, i dette tilfellet 65. Dette blir da 130m^2 betong for punktfundamentene.

Yttervegger 300mm

Ytterveggene strekker seg rundt hele bygget uten åpning. Dette for at biler som står i parkeringshuset skal slippe vær og vind som eventuelt kunne oppstå.

Betong: $0,3 \cdot \text{høyde} \cdot \text{lm} = 0,3 \cdot 8,9\text{m} \cdot 250 = 667,5\text{m}^3$.

Dekker tre etasjer.

Hvert dekke er på 300mm.

Betong: $0,9 \cdot \text{totalt areal for tre etasjer}$. Vi skal ha tre etasjer, og arealet er 3150m^2 .

Antall kubikk betong blir da: $0,9 \cdot 3150 = 2835\text{m}^3$

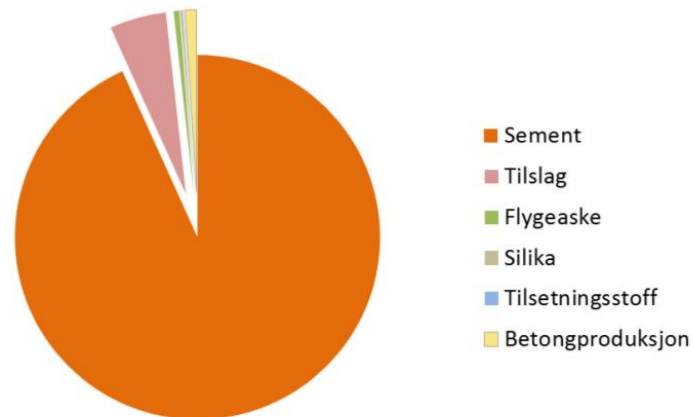
Betong for parkeringshuset

Antall kubikk betong til sammen på dette parkeringshuset blir da: $80\text{m}^3 + 87,75\text{m}^3 + 130\text{m}^3 + 667,5\text{m}^3 + 2835\text{m}^3 = \underline{3800,25 \text{ m}^3}$

Vi trenger altså $3800,25\text{m}^3$ betong for dette parkeringsbygget.

4.2 Miljøregnskap

Som sagt tidligere er det sementen som står for mesteparten av klimagassutslippet for en konstruksjons betong. I figuren nedenfor er det illustrert hvor stor andel av klimaavtrykket hvert delmateriale i betongen forårsaker ved produksjon. Sementen står altså for over 90 % av klimautslippet, og på grunn av dette har vi i caset med Jorenholmen hovedsakelig hatt fokus på forskjellene som skyldes valg av nettopp sementtype. [21 , s 11]



Figur 13: Klimagassutslipp for en typisk konstruksjonsbetong, fordelt på delmaterialer og betongproduksjon. [21, s 11]

For å få en grei oversikt over hvordan ulike sementtypene påvirker klimagassutslippet ved en eventuell nybygging av parkeringsanlegget Jorenholmen, er det blitt gjort en miljøberegning ved hjelp av deres EPD-er. En EPD er et kortfattet dokument med en oppsummering av miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte. [23] Dette gjør det enkelt å sammenligne ulike løsninger innen bygge bransjen slik at man lett kan vurdere hva som vil være mest miljøvennlig.

I dette miljøregnskapet er det blitt gjort en sammenlikning av de samme sementtypene som ble brukt i lab øvelsen, Norcem Anleggsement og SCHWENK Lavvarmesement. Tabellene på neste side er hentet fra deres EPD-er hvor A1-A4 viser GWP verdiene for hele produksjonsprosessen av sementene. GWP (Global Warming Potential) er et mål som sier oss hvor stor oppvarmingseffekt alle drivhusgassene relatert til sementen har på atmosfæren.

4.2.1 Norcem Anleggsement

Tabell 15 Produktspesifikasjoner, Norcem Anleggsement [25]

Portlandsement

Material	%
Klinker	90,67
Gips	5,95
Kalkmelfiller	3,38

Tabell 16 Miljøpåvirkning, Norcem Anleggsement [25]

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/ resirkulering- potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1-A3	A4
GWP	kg CO ₂ -eq	7,26E+02	2,61E+00

4.2.2 SCHWENK Lavvarmesement

Tabell 17 Produktspesifikasjoner, SCHWENK Lavvarmesement [26]

Material	%
Aggregate	3,62
SCM	64,09
Additives	1,81
Binder	2,67
Raw materials, Mineral	27,81

Tabell 18 Miljøpåvirkning, SCHWENK Lavvarmesement [26]

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/ resirkulering- potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
GWP	kg CO ₂ -eq	1,29E+00	7,92E+00	2,14E+02	3,06E+01

Som man ser fra EPD-ene til sementtypene, har SCHWENK lavvarmesement et nokså høyere utslipp når det kommer til transport. Anleggsementen har en GWP på 2,61 kg CO₂ per tonn, mens lavvarmesementen ligger på 30,6 kg CO₂ per tonn. Dette skyldes at Anleggsementen produseres i Norge, mens lavvarmesementen produseres i Tyskland og må så transporteres til Norge. Utslipet til lavvarmesementen er beregnet mellom Bernburg og Oslo, og det er estimert et ekstra utslipp på 2,8 kg CO₂/tonn for transport til Randaberg. Det vil si at i vårt tilfelle må regne med et totalt transportsutslipp på rundt 33,4 kg CO₂/tonn for lavvarmesementen. Altså nesten 13 ganger så høyt som for anleggsementen.

EPD-ene viser at Norcem Anleggsement har en total GWP på 728,61 kg CO₂/tonn mens SCHWENK Lavvarmesement har en total GWP på 256,61 kg CO₂/tonn. Tidligere beregninger av parkeringsanlegget Jorenholmen har vist at det krever omtrent 3 800 m³ betong for å bygge. Ved hjelp av Excel arkene som ble brukt under proporsjonering av betongen til labbøvelsen, ble det beregnet at dette tilsvarer et sementbruk på omtrent 1 651 tonn anleggsement og 1 603 tonn lavvarmesement. Disse verdiene gir med det et samlet klimagassutslipp på ca. 1 203 tonn CO₂ for anleggsementen og ca. 411 tonn CO₂ for lavvarmesementen.

Resultatene viser at ved å velge en mer miljøvennlig sementtype oppnår man, i dette tilfelle, en reduksjon av klimagassutslipp på nesten 66 %. Lavvarmesementen fører til en svært mindre klimabelastning til tross for sitt høye transportutslipp. Man kan da tenke seg at dersom det i fremtiden blir flere og flere sementprodusenter rundt om i verden som kan tilby slik miljøvennlig sement, vil denne transporten kunne kuttes ned og klimagassutslippene vil bli redusert ytterligere.

I 2019 ble det beregnet at det gjennomsnittlig CO₂ utslippet per innbygger i Norge er på ca. 7,9 tonn per år. [27] Det vil si at å bygge Jorenholmen ved hjelp av SCHWENK lavvarmesement framfor anlegg sement, vil man spare miljøet for det tilsvarende samlede årlige utslippet til omtrent 100 nordmenn. Ettersom at Norge har et forbruk på ca. 2 millioner tonn sement hvert år [28], viser dette at tiltak når det kommer til bruk av sement, vil føre til store miljøgevinster i fremtiden.

4.3 Økonomiske og praktiske forskjeller

Det er veldig vanskelig å anslå hva prisen på de forskjellige reseptene er.

Etter å ha pratet med flere aktører i bransjen, har vi fått bekreftet at prisene er ganske nærmere hverandre for en betongresept med anleggssement og en lavvarme resept. Hvis de skulle anslå ville prisen på en lavvarme resept ligge på 0-7% mer enn en standard resept. Disse materialkostnadene avhenger selvfølgelig av tilgjengelighet. I vårt tilfelle så koster det 1670,- for en kubikk B45 standard anlegg. En syv prosent økning ville gitt en pris på 1786,-. Tar vi gjennomsnittsprisen får vi ut av en lavvarmeresept i dette tilfellet er rundt 50 kr dyrere enn en konvensjonell. Dette er altså ikke den store utgiftsposten som flere kanskje har inntrykk av. Når det kommer til prissettingen, har det mye å si på størrelsen på prosjektet. Et stort prosjekt vil kunne sette av en hel silo, mens et mindre vil påføre arbeidstimer og tilleggsarbeid. Dette vil gjøre det dyrere.

BP1 pr. 01.01.21* (erstatte 01.01.20)



Prisliste for betong

HAUGESUND

PRISLISTE PR. M³ AB FABRIKK UTEN MERVERDIAVGIFT




Betong med Standardsement FA - synk 180 mm, i konsistensområde S4.
Kloridklasse Cl 0.1

	D 22 mm	D 16 mm
B20 M90	1370	1420
B25 M90	1445	1495
B30 M60	1470	1520
B35 M60	1545	1595
B35 M45	1570	1620
B45 M40	1670	1720

Miljøtillegg kr. 15,- pr. m³.

ANDRE YTTELSE OG TILLEGG

Lavkarbonbetong klasse A

kf PPF kr. 60,- pr. m³

Anleggsement FA kr. 60,- pr. m³

Industriosement kr. 45,- pr. m³

Med 25% steinreduksjon kr. 90,- pr. m³

Med 50% steinreduksjon kr. 150,- pr. m³

Finalis D8 kr. 55,- pr. m³

Med økt luftinnhold (MF) kr. 25,- pr. m³

Synkmål 190 - 200 mm kr. 50,- pr. m³

Synkmål 210 - 220 mm kr. 75,- pr. m³

Synkmål 230 - 240 mm kr. 135,- pr. m³

SKB Utbredelse 500-600 kr. 160,- pr. m³

SKB Utbredelse 600-700 kr. 30,- pr. ltr.

Tillegg for SP etterdosert kr. 55,- pr. m³

Akselelator styrkning kr. 30,- pr. kg

Retarder 1-2 t kr. 50,- pr. m³

Retarder 3-4 t kr. 75,- pr. m³

Retarder 5-6 t kr. 100,- pr. m³

Fiberbetong kr. PPF

Oppvarmet betong

15.10-15.04 ≤ 20° C kr. 50,- pr. m³

Ved best. 16.04 - 14.10 ≤ 20° C kr. 55,- pr. m³

Ved bestilt temp. over 20 grader, tilkommer kr. 55,- pr. m³

Overtid 15.30 - 21.00:

Bil (inntil 30 km fra fabrikk) kr. 500,- pr. lass

Fabrikk kr. 550,- pr. time

Beredskap/Utsettelse/Mobilisering

Beredskapsventing bil kr. 400,- pr. time pr. bil

Beredskapsventing fabrikk kr. 550,- pr. time pr. fabr.

Mobiliserings tillegg kr. 2100,- pr. gang

Overtid/beredskap 21.00-07.00 + lørdag og søndag

Bil (inntil 30 km fra fabrikk) kr. 1000,- pr. lass

Fabrikk kr. 1100,- pr. time

Beredskapsventing bil kr. 800,- pr. time pr. bil

Beredskapsventing fabrikk kr. 1100,- pr. time pr. fabr.

Miljøgebyr på returbetong pr. m³ ≥ 0.5 m³ kr. 1075,- pr. m³

For levering utover 30 km fra fabrikk kr. PPF

BETONG OG MILJØ - TA ET BEVISST VALG FOR MILJØET!

NorBetong er ledende i utvikling, produksjon og leveranse av betonger med redusert karbonavtrykk. Alle våre miljøvennlige betonger produseres iht. Norsk Betong-forenings publikasjon nr. 37 utgave november 2019. NorBetong er miljøsertifisert i henhold til NS-EN ISO 14001.

Bygg- og anleggsbransjens mest brukte miljøklassifisering er BREEAM og CEEQUAL. Når miljøtiltak skal planlegges og dokumenteres, er dette ofte i samspill mellom byggherre, entreprenør og NorBetong som leverandør.

Vår teknologivdeling er representert i alle regioner og bistår våre kunder med utvikling og dokumentasjon av miljøvennlige betonger.

*Erstatte senest 01.01.2022 / Transport- og leveringsbetingelser - se side 2

Som en del av dette utsteder vi EPD dokumentasjon og ECO produkt rapport. Ta gjerne kontakt med vår teknologivdeling om dere ønsker råd og bistand til akkurat deres prosjekt.

NorBetong har en stor flåte av biler og pumper i Euro 6 klassen, og vi kan tilby leveranser hvor fossilt drivstoff erstattes av sertifisert Bio-Drivstoff. Ta gjerne kontakt for opplysninger om tilgjengelighet og pris i våre regioner.

Vi har introdusert betongbiler med EL «plug-in» funksjon for levering til utslippsfrie byggeplasser. Denne løsningen er i 2021 tilgjengelig i Oslo regionen.

Prisliste NorBetong avd. Haugesund

Samtidig gjelder dette når det er ideelle forhold for å produsere og å frakte de forskjellige tilsetningene som skal være i betongen. Tilgjengeligheten på en lavvarmesement er ofte lavere

enn en standard anleggssement, noe som gjør at betongen kan bli vanskeligere å få tak i. På Vestlandet har de ikke lavvarmesement på silo. Dette fører til at man må transportere det fra Østlandet, eller lengre nord. Det prises merarbeid hvis betongen man skal bruke kreves visse tilsetninger. Dette kan være standard + ekstra FA, noe som mange her i distriktet ikke har på Silo. Det er ikke et problem å anskaffe om man trenger det, men transportutgiftene er større, noe som vil gi en større sluttsum.

Hvis man tar utgangspunkt i en pris på 1670kr per m³ betong for den konvensjonelle, og 1720kr per m³ for lavvarmeresepten, tilsvarer dette 190.000kr forskjell mellom disse to. Grunnen til at en kubikk er såpass dyr er fordi vi bruker B45 i vår resept. B45 brukes da det kan være værtøft der parkeringshuset skal ligge. I det store bildet er ikke 190.000kr mye for et stort prosjekt, men for entreprenører kan dette utgjøre en forskjell hvis man skal prise bygget på forskjellig grunnlag. Det er altså lite sannsynlig for at det er konkurransedyktig å prise et bygg med en miljøbetong hvis noen andre priser jobben med en konvensjonell.

Når det kommer til det praktiske vil herdetiden, som vist i lab-delen, ta lengre tid ved bruk av en miljøvennlig betong. Dette gjelder da hvorvidt man kan produsere på byggeplass når en betong ikke er tørr. Man vil med dette ikke kunne rive forskaling under samme tidsrom som hvis man hadde brukt konvensjonell resept. Dette vil gjøre at fremdriften tar lengre tid, noe som vil koste mer penger. Det er vanskelig å komme med anslag på dette, da det varierer fra prosjekt til prosjekt.

En lavvarme resept betong vil være mer komplisert å arbeide med, da ekstra utstyr og kompetanse ofte trengs. En betong skal holdes over minimum 5°C, mens en lavvarme betong bør ha en temperatur på minimum 15°C. I teorien vil man med god kompetanse og erfaring kunne ha omtrent like forutsetninger for produksjon med disse to reseptene. Man må gjerne forvarme former hvis det er kaldt om vinteren, noe det ikke er her i Stavanger til vanlig. Dette gjør at flesteparten av de som arbeider her ikke har liggende dyrt utstyr som trengs i slike situasjoner. Vinteren 2020/2021 viste at det kan bli sprengfrost også her nede.

Problemstillinger som dette kan gjøre det mer komplisert å benytte en lavvarme betong.

Flere byggherrer velger nå å ha krav om utslippet av betongen som benyttes til prosjektet de vil realisere. Dette er veldig bra for miljøet, og gir et mer bærekraftig bygg. Samtidig setter dette byggherrer i en kinkig situasjon der de velger å betale mer for noe de nødvendigvis ikke trenger. Flertallet av de som ønsker å bygge med store krav angående utslipp er ofte

kommunale eller statlige byggherrer. Det offentlige har mer og mer krav på miljøprofil, og denne utviklingen kommer til å fortsette.

Selv om vi i denne oppgaven har brukt en lavvarmeresept, så er det enorm forskjell på vanlig standard betong som blir levert i dag fremfor det som ble levert for 10 år siden. Det som i dag regnes som en standard resept betong, ville vært en miljøbetong på den tiden. Allikevel skjerpes kravene hele tiden, noe som gjør at man er nødt til å fortsette i riktig retning når det kommer til miljøutslipp. Tiden begynner å modnes for et større bruk av betong som har lavere utslipp. Den mest brukte miljøbetongen per dags dato er lavkarbo. Sementen vi bruker er en såkalt slaggsement, CEM III. Denne har ikke så godt fotfeste i Norge enda, selv om den blir brukt i betonger på noen prosjekter. Sandnes&Jærbetong får inn denne sementen på Silo i løpet av nærmeste fremtid. Dermed klargjøres det for enda et skritt i retning lavutslipp betong, og som selvfølgelig er behjelpelig for prissettingen i denne casen, da det gjør sementen kortreist.

Per dags dato er det en del mer og strengere dokumentasjon som kreves for å blande og støpe en lavvarme resept eller en lavkarbo resept. Dette kan gjør at man må strekke seg litt lengre, noe som igjen kan gi utslag på fremdrift og produktivitet.

Forskjellene må tas med i den helhetlige vurderingen av å bruke miljøvennlig betong. Hvis byggherre bare vil ha en pris på et parkeringshus som brukt i denne oppgaven, men ikke har kravet om miljøvennlig betong eller setter krav til utslipp, vil man ofte velge den rimeligste betongresepten. I dette tilfellet en standard betong. Samtidig kreves det strengere utslippskrav, og som definitivt vil fortsette å stige i fremtidens bygge bransje.

5 Konklusjon

I Norge i dag stilles det store krav til hvilke typer betonger man kan bruke. De aller fleste betongene leveres med FA og er mye mer miljøvennlige enn det som var for bare noen år tilbake.

Allikevel er det mulig og viktig å utvikle bedre og mer miljøvennlige betongresepter. Konsekvensene av å bruke en miljøvennlig betong, altså en lavvarme betong i denne sammenheng er ikke så store som man skulle trodd. Det er selvfølgelig en betydelig

økonomisk og fremdriftsmessig konsekvens, med mindre man har den kompetansen og det utstyret som trengs.

Samtidig så er det mye mer bærekraftig å bruke en miljøvennlig betong. Det er viktig at kravene og standarden for oppføring av betongbygninger blir strengere.

Hvilke konsekvenser er det å bruke miljøvennlig betong fremfor en konvensjonell betong?

Konsekvensene er, som vi har gått innpå, mindre enn det som først var antatt. Allikevel er de av en betydelig størrelse, og noe man er nødt til å ta hensyn til. Det er dyrere materialkostnader. Fremdriften går senere grunnet lengre herdetid, samt at man trenger ekstra utstyr til å støpe de mest miljøvennlige reseptene. Dokumentasjonen er strengere på en miljøvennlig betong. Tilgjengeligheten er mindre på enkelte sementer, noe som gjør at man får dyrere transportkostnader.

Samtidig er det flere gode konsekvenser. Det reduserte utslippet som i vårt tilfelle tilsvarer det årlige klimautslippet til 100 nordmenn er stort. Ved bruk av lavvarme betong vil man også slippe å få riss i konstruksjonen, noe som påvirker både styrke og estetikken på en god måte.

Kravene angående betong som blir brukt i Norge i dag vil mest sannsynlig ikke bli mye strengere før krav om miljøutslipp blir fastlagt. For at det skal bli enda mer miljøvennlig bygging enn det er i dag, er byggherren nødt til å ta kostnaden. Da vil det bli like vilkår mellom anbyderne, som resulterer i konkurranse på riktig grunnlag. Det er ikke mulig for entreprenører å være en «miljøentreprenør» hvis de priser seg ut av prosjektet på grunn av eget «miljøkrav» som andre ikke innehar.

Om denne omstillingen fortsetter vil dette føre til at man om noen år frem i tid vil ha mye mindre negative konsekvenser enn det vi har kommet frem til i denne oppgaven. Man er nødt til å gjøre det så bærekraftig som mulig for klimaet, samtidig som det er bærekraftig for produktivitet, effektivitet og økonomisk for bedriftene.

Mange har en feilaktig oppfatning av betong når det kommer til miljø. Betong trenger ikke være miljøskadelig om man benytter seg av en miljøvennlig sement og betong. At disse prosessene blir enklere å utføre vil gjøre at man i fremtiden vil ha en enda bedre forutsetning for å bygge miljøvennlig.

Vi vil derfor konkludere med at bruk av en miljøvennlig betong veier opp for de negative konsekvensene. I alle fall om man tenker frem i tid.

6 Referanseliste

- [1] Ø. Bjøntegaard, H. Vikan, L. Bathen. (2019). *Betong og handlingsrom*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/attachment/2855996/binary/1351170?fast_title=Betong+og+handlingsrom.pdf (Lest 18.03.2021)
- [2] Norcem. *God betong er bestandig*. Tilgjengelig fra: https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/godbetongerbestandig_web.pdf (Lest 24.03.2021)
- [3] Norcem. *Hvordan lages egentlig sement?*. Tilgjengelig fra: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjonsprosessen> (Lest 25.03.2021)
- [4] K. Aarstad, T. Ø. Lehmann, J. C. Krohn. (2016). *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader#i13 (Lest 17.03.2021)
- [5] C. J. Engelsen, K. Aarstad. (2016). *Sement. Typer, egenskaper og bruksområder*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader. (Lest 15.02.2021)
- [6] Hanson Malaysia. (2020). *Types of Cement Used In The Construction Industry.*: Tilgjengelig fra: <https://www.hanson.my/en/types-cement-construction-industry>. (Lest 22.02.2021)

- [7] Byggutengrenser. (2017). *Kalksteinsmel, flyveaske, slagg og silikastøv*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/faq-items/kalksteinsmel-flyveaske-slagg-og-silikastov/>. (Lest 22.03.2021)
- [8] Store Norske Leksikon. (2007). *Pozzolan*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/faq-items/kalksteinsmel-flyveaske-slagg-og-silikastov/>. (Lest 08.04.2021)
- [9] P. H. Pedersen. (2009). *Flyveaske i sement er en god miljøløsning*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/49208>. (Lest 12.04.2021)
- [10] Byggutengrenser. *Må du droppe betongen for å bygge klimavennlig?* mur + betong. 1 o 2021. side 25
- [11] Byggutengrenser. *Om Byggutengrenser*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/om-byggutengrenser/>. (Lest 29.03.2021)
- [12] Byggutengrenser. (2020) *Hva gjør bygget ditt bærekraftig?*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/2020/08/19/hva-gjor-bygget-ditt-baerekraftig/>. (Lest 06.04.2021)
- [13] Byggutengrenser. (2021) *Klimavennlig betong*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/2021/03/15/klimavennlig-betong/>. (Lest 08.04.2021)
- [14] Byggutengrenser. (2020) *Karbonfangst gir klimabetong til byggenæringen*
Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/2020/10/13/karbonfangst-gir-klimabetong-til-byggenaeringen/>. (Lest 08.04.2021)

- [15] Byggutengrenser. (2021) *Termisk masse*. Tilgjengelig fra:
<https://www.byggutengrenser.no/2021/03/16/termisk-masse/>. (Lest 08.04.2021)
- [16] Unicorn. *Hvilken betong skal jeg velge*. Tilgjengelig fra:
<https://www.unicon.no/vanlige-sporsmal/valg-av-betongtype/hvilken-betong-skal-jeg-velge/>. (Lest 17.03.2021)
- [17] K. Aarstad, T. Ø. Lehmann, J. C. Krohn. (2016). *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader#i13 (Lest 17.03.2021)
- [18] K. Aarstad. (2015). *Kvalitetskontroll av fersk betong*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll_av_fersk_betong#i43. (Lest 16.03.2021)
- [19] Statens vegvesen. (2005). *Konsistens; synkmål, vebetall og utbredningsmål*. Tilgjengelig fra:
https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20filer/14_6_Betong_og_matr_til_betong/14_62_Undsok_av_fersk_betong/014_622_konsistens_apr_05.pdf (lest 16.03.2021)
- [20] Standard Norge. (2019). *Prøving av herdnet betong Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet*. NS-EN 12390-3:2019
- [21] Norsk Betongforening. (2020). *Publikasjon nr. 37, Lavkarbonbetong*. 37 sider.

- [22] S. H. Jupskås. (2020). *Jorenholmen skal ikke rives likevel*. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/M3gLe5/jorenholmen-skal-ikke-rives-likevel>. (Lest 19.04.2021)
- [23] EPD-Norge. *Hva er en EPD*. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/> (Lest 16.04.2021)
- [24] EPD-Norge. *Bruksanvisning for hvordan tolke EPD'er*. Tilgjengelig fra: <http://epd-norge.no/getfile.php/Dokumenter/Bruksanvisninger%20tolke%20EPDer/Bruksanvisning%20for%20EPD%20-%20betongelementer%20og%20fabrikkbetong.pdf> . (Lest 14.04.2021)
- [25] EPD-Norge. (2020). *Norcem Anleggsement, Breivik – CEM I 52,5 N*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1315395-1603308349/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-2277-1028_EP_D_19362-Norcem-Anleggsement--Breivik---CEM-I-52-5N%281%29.pdf (Lest 14.04.2021)
- [26] EPD-Norge. (2020). *SCHWENK Lavvarmesement, Cem III/B 42,5 L-LH/SR (na)* Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313490-1589962884/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-2209-995_SCHWENK-Lavvarmesement-Cem-III-B--42-5-L-LH-SR--na-.pdf (Lest 14.04.2021)
- [27] Energi og Klima. (2021). *Utslippsfordelingen*. Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-per-innbygger/> . (Lest 15.04.2021)
- [28] Norsk Betongforening. *Visste du dette om betong og miljø*. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8-WEB.pdf> (Lest 15.04.2021)

Referanseliste bilder

- [29] Tekna. (2016). *Ny betong produksjonsstandard*. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/ny-betong-produksjonsstandard/> (Hentet 18.03.2021)
- [30] Norcem. *Produksjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.norcem.no/no/Produksjon> (Hentet 18.03.2021)
- [31] Ragn-Sells. *Sement og mørtel*. Tilgjengelig fra: <https://www.ragnsells.no/tjenester/kildesortering/sorteringsguide/farlig-avfall/sement-mortel/>. (Hentet 10.05.2021)
- [32] Tekna. (2018). *Miljøvennlig betong*. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/miljovennlig-betong/> (Hentet 29.03.2021)
- [33] K. Aarstad. (2015). *Kvalitetskontroll av fersk betong*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll_av_fersk_betong#i43. (Hentet 16.03.2021)

7 Vedlegg

Vedlegg A – Datablad, SCHWENK Lavvarmesement

Vedlegg B –Datablad, Norcem Anleggsement

Vedlegg C – Proporsjonering, «Lavvarmesement #1»

Vedlegg D – Proporsjonering, «Anleggsement #2»



Teknisk datablad

Lavvarmesement

CEM III/B 42,5 L-LH/SR (na)

Rüdersdorf

Sammensetning:	Slaggsement
Bruk:	Til bruk i betongproduksjon. Elementindustri, ferdigbetong og injeksjon.
Egenskaper:	Lav varme- og herdeutvikling. Lavt CO2 avtrykk.

Tilfredsstiller kravene ihht. EN 197-1: CEM III/B 42,5 L-LH/SR (na)
Produktet er sertifisert (CE-merket) ihht. EN 197-1 av VDZ, Tyskland

Typiske data:

Fysiske data

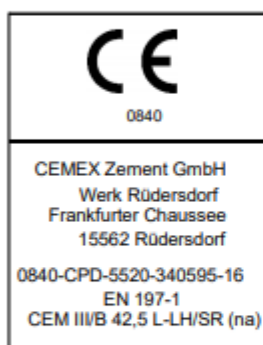
Finhet(blaine)	4700 cm ² /g
Densitet	2,98 g/cm ³
Bulkdensitet	1,1g/cm ³
Andel slagg	Ca 70%
Bindetid	230 min
Ekspansjon	0,3 mm

Trykkfasthet

2d	28 MPa
7d	36 MPa
28d	58 MPa
56d	64 MPa

Kjemiske data

		vekt %
Kalk	(CaO)	49
Silisium	(SiO ₂)	31
Aluminium	(Al ₂ O ₃)	8,3
Magnesium	(MgO)	6,1
Sulfat	(SO ₃)	2,1
Jern	(Fe ₂ O ₃)	1,6
Kalium	(K ₂ O)	0,6
Natrium	(Na ₂ O)	0,3
Alkali ekv.	(Na ₂ Oekv)	0,79
(C ₃ A)		5,3
Glødetap	(L.O.I)	0,7
Uløselig rest	(i.r)	0,2
Vannløslig klorid	(Cl ⁻)	0,05
Vannløslig krom	Cr ^(VI)	< 2 mg/kg



Teknisk spørsmål:
Lars Busterud, tel 908 90 668

- E-Mail lars.busterud@schwenk.no

Versjon August 2019

SCHWENK Norge AS
Grønland 70A, 3045 Drammen
Telefon: +47 31 02 10 11
E-Mail: info@schwenk.no · www.schwenk.no

Informasjonen i denne publikasjonen er basert på gjeldende kunnskap og erfaring. De gir en referanseverdi for grunnleggende egnethet og må matches av tester og forsøk av prosessoren til den spesifikke applikasjonen. For dette må de tilsvarende gyldige lover, standarder og retningslinjer samt de generelt anerkjente reglene for byggeteknikk overholdes. Ved publisering av dette tekniske databladet mister tidligere tekniske datablad deres gyldighet. Endringer i rammeproduktet og applikasjonsteknikk utviklingen er reservert. Våre salgs- og leveringsbetingelser i gjeldende versjon gjelder for alle forretningsforbindelser.

Vedlegg B – Datablad, Norcem Anleggsement

PRODUKTDATABLAD

ANLEGGSEMENT

CEM I 52,5 N

Sist revidert desember 2018

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portlandsement CEM I 52,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		415	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,14	
Volumbestandighet (mm)		1	10
Begynnende størkning (min)		120	45
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	21	
	2 døgn	33	20
	7 døgn	49	
	28 døgn	63	52,5
Sulfat (% SO ₃)		4,0	4,0
Klorid (% Cl ⁻)		0,07	0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		2	2 ¹
Alkalier (% Na ₂ O _{ekv})		0,6	
Klinker (%)		96	95-100
Sekundære bestanddeler (%)		4	0-5

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI-forbindelser.

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no

Vedlegg C – Proporsjonering, «Lavvarmesement #1»

Proporsjonering av betong SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	Resept A
Tilsiktet kvalitet	Miljøvennlig betong
Utført av	
Dato	19.02.2021

Initialparametre	Verdi
$m = v/(c+\sum kp)$	0,45
Luftinnhold	2,0 %

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m ³]	Alkalier	Klorider
Schwenk lavvarme sement	100,0 %	33,0 %	0,0 %	67,0 %	3000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m ³]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	0,0 %	0,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	0,0 %	0,7	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	0,6	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m ³]	Tørrstoff	[kg/m ³] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,0 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m ³]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m ³]	340
Oppnådd matriksvolum [l/m ³]	340
Klinkerandel i bindemiddel	33,0 %
Total FA- andel av bindemiddel	0,0 %
Total slaggandel av bindemiddel	67,0 %
Volum sementlim [l/m ³]	330,8
Effektivt vanninnhold [l/m ³]	189,8
v/p	0,43
Effektivt bindemiddel [kg/m ³]	422
Totalt bindemiddel [kg/m ³]	422

Beregn

02015-09-21.r

Prosjekt	Regnearktutvikling
Reseptnummer	Resept A
Tilsikket kvalitet	Miljøvennlig betong
Utført av	
Dato	19.02.2021

Masseforhold	0,45
Matriksvolum (l/m³)	340
Volumsementlim (l/m³)	331
Tilsikket luftinnhold (%)	2,0
Effektivt bindemiddel (kg/m³)	422

"Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl+N

Nullstill volumkorreksjon; Ctrl+K

Proporsjonert betong

Materialer	kg/m³
Schwenk lavvarmesement	421,7
	0,0
	0,0
Elkem Microsilica	0,0
Normineral flyveaske	0,0
	0,0
Fritt vann	189,8
Absorbent vann	12,1
Årdal 0/8 mm nat. vas.k.	971,3
Årdal 0/2 mm nat. vas.k.	0,0
Årdal 8/16mm	763,2
Årdal 16/22 mm	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
Mapei Dynamon SX-N	4,22
	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
Prop. betongdens. (kg/m³)	2359

Ønsket Oppnådd

kg	kg
21,1	21,1
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
9,5	9,5
0,6	0,6
48,6	48,6
0,0	0,0
0,0	0,0
38,2	19,1
0,0	19,1
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,21	0,21
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00

Fersk betong

Egenskap	
Ønsket volum (l)	50,0
Innveid volum (l)	50,0
Målt luftinnhold (%)	2,0
Målt betongdensitet (kg/m³)	2332
Effektivt v/(c+Σkp)	0,450

Aggressiver	
Kloridinnhold [% av b]	0,00 %
Alkalier [kg/m³]	0,00
Andel reakt. bergarter [%]	0,0

Volumkorreksjon

korrr.luft	korrr.dens	Korrigert
0,0	-4,8	416,9
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	-2,2	187,6
0,0	-0,1	12,0
0,0	-11,1	960,2
0,0	0,0	0,0
0,0	-4,4	377,2
0,0	-4,4	377,2
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	4,17
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	-27,0	2332



Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m³]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. Sv [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas.k.	2650	0,7	0,0	0,00	0,565	0,560	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas.k.	2650	0,7	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,7	0,0	0,00	0,435	0,440	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,7	0,0	0,00	0,000		
V		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
Sammensatt		2672		0,0	0,00	1,000	1,000	

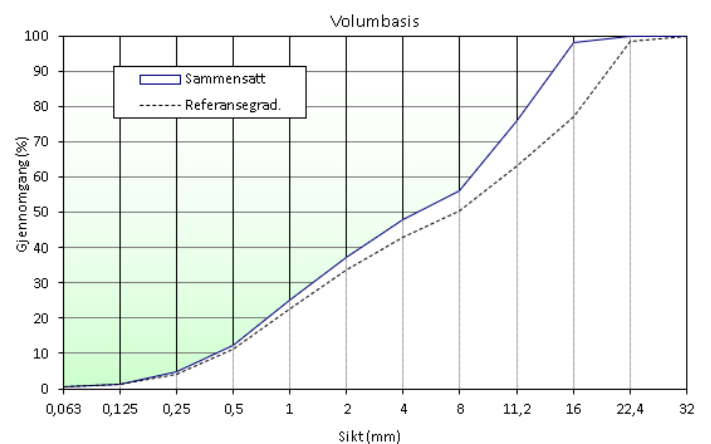
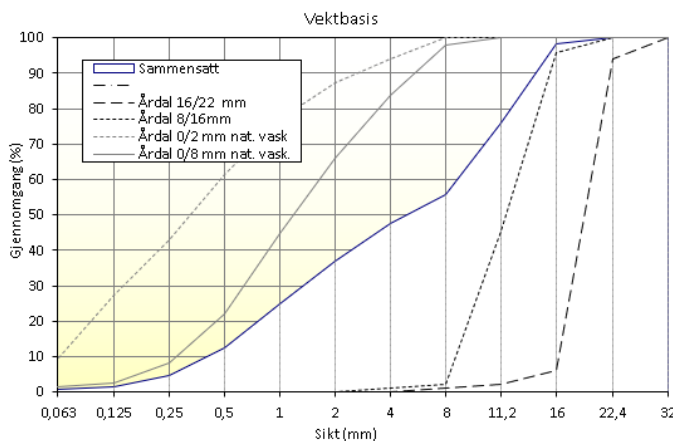
Finhetsmoduler
FM _{vekt} = 4,69
FM _{vol} = 4,67
FM _{ref} = 5,07
FM _g = 5,55

Tilpass til ref. gradening, Ctrl T

Sett ref. gradening, Ctrl R

Tilpass til FM_g, Ctrl F

Åpning	Gjennomgang		Ref. grad. [vol. %]	Vekt ved tilpasning g
	vol. [%]	vekt [%]		
32	100,0	100,0	100,0	1
22,4	100,0	100,0	98,6	1
16	98,3	98,2	77,3	1
11,2	76,3	76,0	63,2	1
8	56,2	55,7	50,5	1
4	47,8	47,4	42,9	1
2	37,3	37,0	33,6	1
1	25,2	25,0	22,7	2
0,5	12,4	12,3	11,2	2
0,25	4,7	4,6	4,2	2
0,125	1,4	1,4	1,3	2
0,063	0,7	0,7	0,7	2



Vedlegg D – Proporsjonering, «Anleggsement #2»

Proporsjonering av betong **SKANSKA**

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	Resept A
Tilsiktet kvalitet	B45 M45
Utført av	
Dato	19.02.2021

Initialparametre	Verdi	
$m = v/(c+\sum kp)$	0,45	
Luftinnhold	2,0 %	

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m ³]	Alkalier	Klorider
Norcem anleggsement	100,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3220	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m ³]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	0,0 %	0,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	0,0 %	0,7	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	0,6	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m ³]	Tørrstoff	[kg/m ³] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,0 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m ³]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m ³]	340
Oppnådd matriksvolum [l/m ³]	340
Klinkerandel i bindemiddel	100,0 %
Total FA- andel av bindemiddel	0,0 %
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %
Volum sementlim [l/m ³]	330,8
Effektivt vanninnhold [l/m ³]	195,4
v/p	0,43
Effektivt bindemiddel [kg/m ³]	434
Totalt bindemiddel [kg/m ³]	434

02015-09-21 ss

Prosjekt	Regnearkutvikling
Resepnummer	Resept A
Tilsiktet kvalitet	B45 M45
Utført av	
Dato	19.02.2021

Masseforhold	0,45
Matriksvolum (l/m³)	340
Volum sementlim (l/m³)	331
Tilsiktet luftinnhold (%)	2,0
Effektivt bindemiddel (kg/m³)	434

"Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl+N

Proporsjonert betong

Materialer	kg/m ³	Ønsket		Oppnådd	
		kg	kg	kg	kg
Norcem anleggsement	434,3	21,7	21,7	21,7	21,7
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elkem Microsilica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Normineral flyveaske	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fritt vann	195,4	9,8	9,8	9,8	9,8
Absorbent vann	12,1	0,6	0,7	0,6	0,7
Årdal 0/8 mm nat. vask.	971,3	48,6	48,5	48,6	48,5
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Årdal 8/16mm	763,2	38,2	38,3	38,2	38,3
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mapei Dynamon SX-N	4,34	0,22	0,22	0,22	0,22
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Prop. betongdens. (kg/m³)	2377				

Fersk betong

Egenskap	
Ønsket volum (l)	50,0
Innveid volum (l)	50,0
Målt luftinnhold (%)	2,0
Målt betongdensitet (kg/m ³)	2332
Effektivt v/(c+Σkp)	0,450

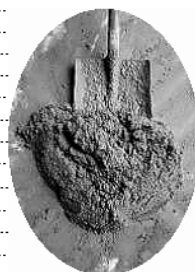
Aggressiver

Kloridinnhold [% av b]	0,00 %
Alkalier [kg/m ³]	0,00
Andel reakt. bergarter [%]	0,0

Nullstill volumkorreksjon, Ctrl+K

Volumkorreksjon

	korrr.luft	korrr.dens	Korrigert
	0,0	-8,5	425,8
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	-3,8	191,6
	0,0	-0,3	13,3
	0,0	-19,0	950,2
	0,0	0,0	0,0
	0,0	-15,0	750,3
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
	0,0	-0,1	4,26
	0,0	0,0	0,00
	0,0	0,0	0,00
	0,0	0,0	0,00
	0,0	0,0	0,00
	0,0	0,0	0,00
	0,0	0,0	0,00
	0,0	-46,7	2332



Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m ³]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. Sv[%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vask	2650	0,7	0,0	0,00	0,565	0,560	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vask	2650	0,7	0,0	0,00	0,000	0,000	ok
III	Årdal 8/16mm	2700	0,7	0,0	0,00	0,435	0,440	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	ok
V		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
Sammensatt		2672		0,0	0,00	1,000	1,000	

Fihetsmoduler	
FM _{vekt} =	4,69
FM _{vol} =	4,67
FM _{ref} =	5,07
FM _g =	5,55

Tilpass til ref. gradering, Ctrl T
 Sett ref. gradering, Ctrl R
 Tilpass til FM_g, Ctrl F

Åpning	Gjennomgang		Ref. grad. [vol. %]	Vekt ved tilpassing
	vol. [%]	vekt [%]		
32	100,0	100,0	100,0	1
22,4	100,0	100,0	98,6	1
16	98,3	98,2	77,3	1
11,2	76,3	76,0	63,2	1
8	56,2	55,7	50,5	1
4	47,8	47,4	42,9	1
2	37,3	37,0	33,6	1
1	25,2	25,0	22,7	2
0,5	12,4	12,3	11,2	2
0,25	4,7	4,6	4,2	2
0,125	1,4	1,4	1,3	2
0,063	0,7	0,7	0,7	2

