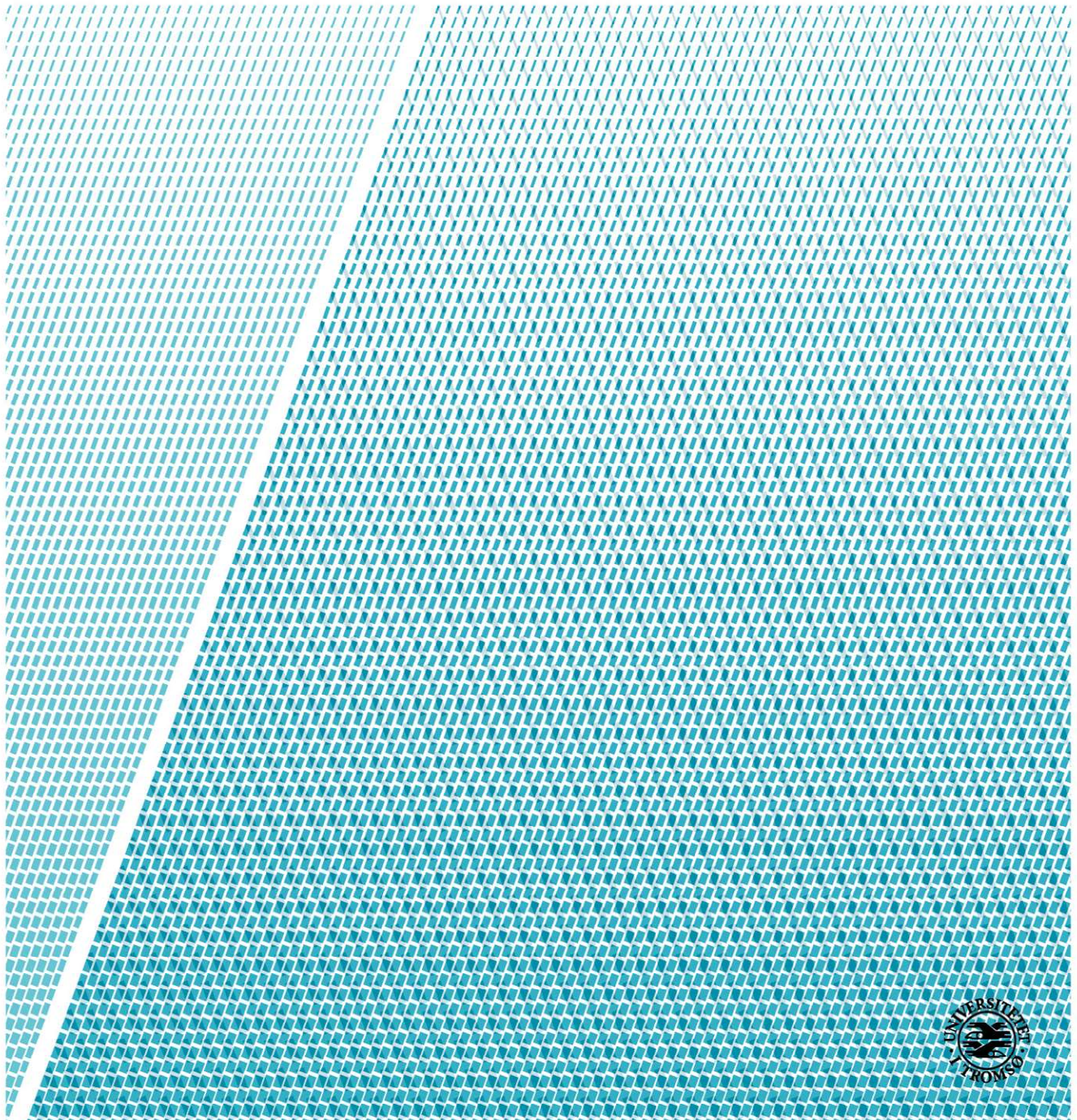


# Effekt av basaltfiber for betongkvalitet

*Effect of basalt fiber for quality of concrete*

**Duy Quang Ha**

*Masteroppgave i Integrert bygningsteknologi - Mai 2019*



---

# MASTEROPPGAVE

for

**Duy Quang Ha**

(Studentnummer 140668)

Vår 2019

## Bakgrunn

Betong er en av de mest brukte bygningsmaterialene i Norge og i verden. Betong er et komplisert materiale. Det har tatt mye tid og ressurser å oppnå god kunnskap om sammensetningen, egenskapene og bruken av betong, og enda mer tid til å få nok erfaring til å bruke denne kunnskapen på en riktig måte.

Vinterstøpt betong er et komplisert problem. Permeabilitet (Holdbarhet) er evne til betong oppta fukt, vann og klorider, og det kan medvirke til at armering ruster når armering (når den kommer i kontakt med klorider, som igjen fører til at strekkfastheten og holdbarheten til betongen reduseres).

I de siste årene, har det skjedd en rask utvikling i å utvikle nye fibermaterialer for å forbedre betongens egenskaper. Fiber materialet er 'nytt' tilleggs materiale som er mye brukt i betong i de senere år. For eksempel er basaltfiber et naturmateriale som har kommet frem i lys i forskning på betong-teknologi og er også anvendelig i praksis. I litteraturen og arbeid i betongkonstruksjoner ser man at basaltfiber gir betong bra strekkfasthet på grunn av sin elastisitet. Men, siden forskning på basaltfibre fortsatt er i startfasen trengs det mye mer eksperimentelt arbeid og teori for å verifisere om den gode effekten av basaltfiber har på betongens egenskaper.

## Begrensning av oppgaven

Trykkfasthet, strekkfasthet og holdbarhet er de viktigste parameterne i betong. For å avgjøre om basalt fiber har en gunstig effekt på betongens fasthet og holdbarhet må vi gjennomføre både eksperimentelt og teoretisk arbeid. I forhold til omfanget og tiden vi har til rådighet i en masteroppgave må vi begrense arbeidet til å omfatte:

- Trykks- og strekkfasthet, lab-testing for betongprøver med og uten basaltfiber.
- Kapillær- vann oppsug testing (Permeabilitet- test)
- Diffusjon varme modell (Fysisk modell som forutser temperaturfordelingen i betong under temperatur gradient)
- Kvadrat-root- modell (Fysikk/matematikk modell som forutsier vanns oppsug i betong, ved hjelp av kapillærkrefter)
- Diffusjon modell av Fick's andre lov (Fysikk/matematikk modell som forutsier vanns fordeling i betong med diffusjon transports mekanisme)

---

I denne oppgaven fokuserer vi på effekten av basalt-fiber på betongsegenskaper, derfor begrenser vi bruk av andre del-materialer til betong. For eks. vi bruker ikke tilsetningsstoffer og/eller andre bindemidler (pozzolant – materialer).

### **Arbeidet skal omfatte (men nødvendigvis ikke begrenses til)**

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Teori rundt effekt av basaltfiber på betong permeabilitet, (spes. kaldt klima).
3. Teoretisk- Kvadrat-rot-modell
4. Lab-arbeid test kapillær-oppsug av betong (med og uten fiber)
5. lab-arbeid test fukt-transport i luft porene
6. Sammenligne teori og lab resultater.
7. Se om resultatene av teori er samstemme med lab data (støpe betong med/og uten basalt fiber).

### **Samarbeidspartner**

Opgaven er en del UiT-forskningsprosjektet i IVT-Fak, Bygg-Energi- Materialet teknologi Inst.

### **Generelt**

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavens innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs

---

informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i MUNIN.

Utleveringsdato:	07.01.2019
Innleveringsdato:	16.05.2019
Kontaktperson bedrift:	
Veileder UiT - IVT:	1. am. Hung Thanh Nguyen Telefon: 76 96 62 49 E-post: hung.thanh.nguyen@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet  
Institutt for bygg, energi og materialteknologi

---

Hung Thanh Nguyen  
Faglig ansvarlig/veileder

---

## Sammendrag

Behov for betong blir større og større, man har forsøkt flere nye materialer for å forbedre de gode egenskapene til betong. Basaltfiber er et nytt tilsetningsmateriale i betongindustrien, så forskning på basaltfiber betong er ikke mye.

Tidligere forskningsresultater har vist positive effekt av basaltfiber på betongens mekaniske fastheter. Denne oppgaven er utført ved eksperimenter for å bekrefte effekten av basaltfiber på den viktigste fysiske egenskapen av betong, trykkfasthet. På grunn av begrenset tid og mangel på maskiner, hjelpemidler og resurs er det umulig å teste andre egenskaper av betong som strekkfasthet, bøyefasthet.

Dessuten fokuserer oppgaven spesielt på kapillær transportmekanisme for å sammenligne kapillær vannoppsugingsevne av betong med og uten basaltfiber. Eksperimentet utføres ved kapillær vannoppsug. Resultatene av dette eksperimentet vil være grunnlaget for å identifisere begrensninger av kvadrat rot modellen. Deretter skal modellen utvikles til en bedre modell.

Resultater fra eksperimenter viser at basaltfiber gir en gunstig effekt på trykkfasthet. Kapillær oppsugingsevne er omvendt proporsjonal med fiberinnhold i betong. Jo mindre basaltfiberinnhold er, jo mer vann blir suget inn.

---

## Abstract

The need of concrete is getting more and more, experts have researched new materials to improve the good properties of concrete. Basalt fiber is a new additive in the concrete industry, so researches on basalt fiber concrete is not many.

Previous research results have shown positive effects of basalt fiber on the mechanical strengths of the concrete. This task is performed by experiments to confirm the effect of basalt fiber on the main physical property of concrete, compressive strength. Due to limited time and lack of machines and resources, it is impossible to test other properties of concrete such as tensile strength, bending strength.

In addition, the task focuses especially on capillary transport mechanism in order to compare capillary water absorbency of concrete with and without basalt fiber. The experiment bases on capillary water absorption. The results of this experiment will be foundation for identifying the limitations of the square root model. Then the model will be developed into a better one.

Results from experiments show that basalt fiber has a beneficial effect on compressive strength. Capillary absorbability is inversely proportional to basalt fiber content in concrete. The smaller the basalt fiber content, the more water is absorbed in.

---

# Innhold

Sammendrag .....	1
Abstract.....	2
1 Innledning.....	7
1.1 Introduksjon.....	7
1.1.1 Generelt om betong .....	7
1.1.2 Porestruktur.....	8
1.1.3 Faktorer som påvirker betongs fasthet .....	9
1.1.4 Holdbarhet .....	10
1.1.5 Tilsetningsmaterialer .....	10
1.1.6 Tidligere arbeider .....	11
1.2 Begrensning og hensikt .....	12
2 Materiale og metode .....	14
2.1 Materiale.....	14
2.1.1 Basaltfiber.....	14
2.2 Metode.....	16
2.2.1 Trykkfasthet testing.....	16
2.2.2 Vannoppsug testing .....	16
3 Teori grunnlag .....	17
3.1 Trykkfasthet.....	17
3.2 Vannoppsug .....	17
3.2.1 Hvordan poretyper oppstår .....	17
3.2.2 Kapillærporøsitet.....	17
3.2.3 Transportmekanismer .....	18
3.3 Kapillærtransport .....	19
4 Laboratoriearbeider.....	22
4.1 Prøvestøping .....	22
4.1.1 Resept .....	22
4.1.2 Egenskaper for betongen .....	23
4.1.3 Rutiner .....	23

---

4.1.4	Synk måling .....	24
4.1.5	Utstøping .....	24
4.1.6	Herding .....	25
4.2	Trykkfasthetstesting .....	25
4.2.1	Prøveantall og prøvedimensjon.....	25
4.2.2	Testmaskin.....	25
4.2.3	Fremgangsmåte .....	26
4.3	Kapillærsugstesting.....	26
4.3.1	Prøveantall og prøvedimensjon (Material) .....	26
4.3.2	Fremgangsmåte .....	27
5	Resultat og Diskusjon .....	28
5.1	Trykkfasthet.....	28
5.2	Vannoppsug .....	30
6	Konklusjon .....	38
7	Videre arbeider .....	39
8	Referanser.....	40
9	Vedlegg .....	42
	Vedlegg A .....	42
	Vedlegg B .....	43
	Vedlegg C .....	45
	Vedlegg D .....	48
	Vedlegg E.....	49



---

## Tabelliste

Tabell 1: Reseptene av ulike blandinger for 15 liter .....	23
Tabell 2: Antall og dimensjon av betongprøver.....	24
Tabell 3: Antall og dimensjon av betongprøver i trykkfasthetstesting.....	25
Tabell 4: Antall og dimensjon av betongprøver i vannoppsug testing.....	27
Tabell 5: Trykkfasthetene til terningsprøver .....	28
Tabell 6: Gjennomsnitt kapillærporøsiteten til betongprøver .....	31
Tabell 7: Lab-data av gjennomsnitt vektøkning $M(t)$ .....	31
Tabell 8: Effektiv radius til betongprøver .....	33
Tabell 9: Teori-data av gjennomsnitt vektøkning $M(t)$ .....	33

## Figurliste

Figur 1: Betongs delmaterialer for $1\text{m}^3$ [2].....	7
Figur 2: Porestruktur i betong [3].....	8
Figur 3: Størrelser av poretyper i betong [1]. .....	8
Figur 4: Fordeling av porer i betong [1] .....	9
Figur 5: Sammenheng mellom betongens v/c-tall og trykkfastheten [4] [5].....	9
Figur 6: Sammenheng mellom trykkfasthet og v/c-tall med og uten silikastøv [1].....	11
Figur 7: Prosess av basaltfiberproduksjon [9] .....	14
Figur 8: MiniBars™ .....	15
Figur 9: Transportmekanismer i porestruktur .....	18
Figur 10: Profilet av vannoppsug prosess.....	19
Figur 11: Illustrerer vannoppsug i et rør.....	19
Figur 12: Balanserte krefter på vannfront.....	20
Figur 13: Porens radius varierer med tiden.....	21
Figur 14: Materialer for blandinger.....	22
Figur 15: Blandemaskin Roroto .....	23
Figur 16: Blandeprosedyre.....	23
Figur 17: Nystøpte betongprøver .....	24

---

Figur 18: Prøvestykker blir herdnet i vannbad.....	25
Figur 19: Trykkprøvemaskin .....	26
Figur 20: Betongprøver i kapillær-vannoppsug testing.....	26
Figur 21:Skisse av kapillært vannoppsug testing.....	27
Figur 22: Sammenligning av trykkfasthet etter 7 herdedøgn .....	29
Figur 23:Sammenligning av trykkfasthet etter 28 herdedøgn .....	29
Figur 24: Bruddform på terningsprøve.....	30
Figur 25: Lab-data av gjennomsnitt vektøkning $M(t)$ med tid $\sqrt{t}$ .....	31
Figur 26: Sammenligner vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 20mm .....	34
Figur 27:Sammenligner vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm .....	34
Figur 28: Sammenligning kapillær vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm i 6 timer.....	35
Figur 29: Sammenligning kapillær vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm i 1 døgn .....	35
Figur 30: To radius rør modell.....	39
Figur 31: Ulike radius rør modell.....	39

---

# 1 Innledning

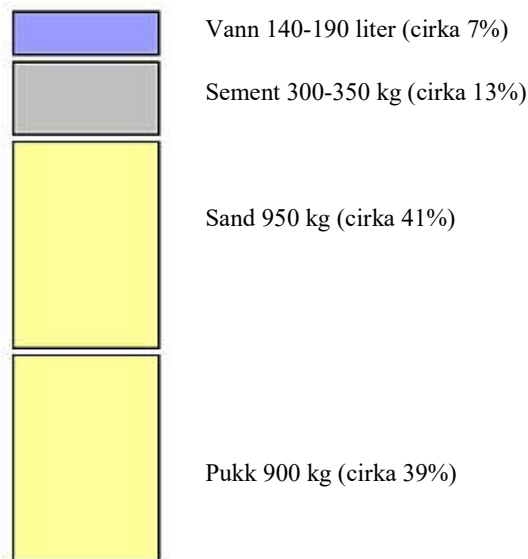
## 1.1 Introduksjon

### 1.1.1 Generelt om betong

Betong er kjennet som det mest populære byggematerialet i verden. Den har lang historie i flere tusen år. Forskere mener at betongs historie startet for cirka 10 000 år siden. Utvikling av dagen sement bygger på kunnskap om kalks egenskaper. Man bruker kalk som en bindemiddel for å binde sand og stein. Egypterne brukte denne kunnskapen da de bygget pyramidene. Etterpå framstilte grekerne en bindemiddel ved å bruke brent kalk og vulkansk aske, som betegnes pozzolan. Det var slike bindemidler som kunne herde under vann, et hydraulisk bindemiddel, som ble kalt sement.

I dag er betong fremdeles et av de mest brukt materialene i verden. I 2010 var det cirka 3300 millioner tonn sement som ble produsert på verdensbasis, og i Norge ble det produsert cirka 1,55 millioner tonn i 2011. For å produsere  $1\text{m}^3$  betong trenger vi cirka 350kg sement. Så vi kan omregne at det produsert cirka 10 000 millioner  $\text{m}^3$  betong i 2010 på verdensbasis, og Norge produsert cirka 5 millioner  $\text{m}^3$  betong [1].

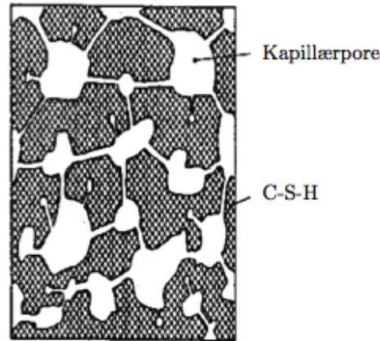
Betong består av vann, sement, sand, pukk og tilsetninger og den er et komposittmateriale. *Komposittmaterialer er per definisjon satt sammen av delmaterialer med komplementære egenskaper. Med det mener vi at delmaterialer i fellesskap gir kompositten egenskaper som ingen av delmaterialene har hver for seg* [1]. Avhengig av bruksformål har betong ulike delmateriale mengder. En vanlig kubikkmeter betong inkluderer 140-190 liter vann, 300-350 kg sement, 950 kg sand og 900 kg pukk, til sammen cirka 2300 kg [2].



Figur 1: Betongs delmaterialer for  $1\text{m}^3$  [2].

## 1.1.2 Porestruktur

Porestype og Porestruktur er de viktigste parameteren i betong. De påvirker sterkt på betongens egenskaper, for eksempel trykkfasthet, strekkfasthet og holdbarhet. Porestruktur består av ulike poretyper, og de knyttes sammen til et komplisert nettverk (se Fig2).

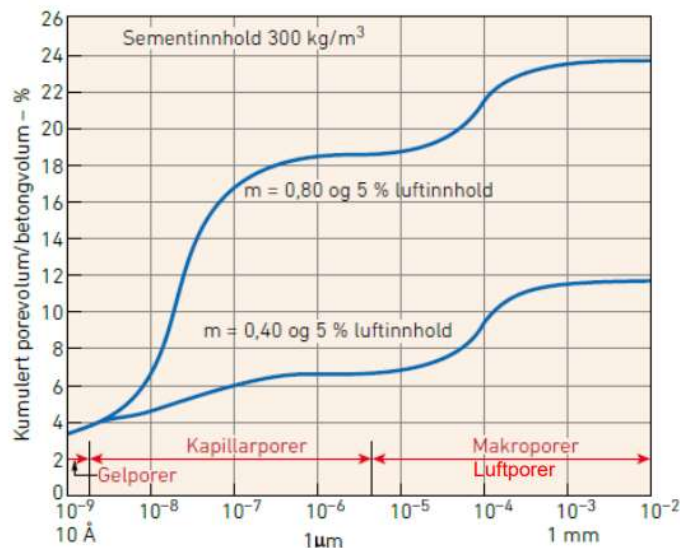


Figur 2: Porestruktur i betong [3]

Poretyper i betong er delt inn i 3 klasser [1]:

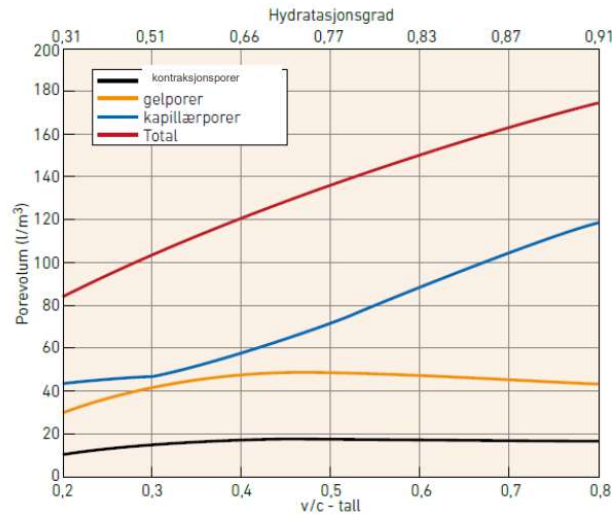
- Gelporer: er veldig små og har størrelse på  $[10^{-9} - 10^{-10} \text{ m}]$ . Den poretypen kan betrakte som en fast stoff og påvirker ikke mye til vanntransport i betong. Derfor den legges ikke vekt i denne oppgaven.
- Kapillærporer: har størrelse på  $[10^{-5} - 10^{-7} \text{ m}]$ . Den er avhengig av v/c tallet til betong og utgjør en stor del av poremengde. Derfor påvirker den mye til betongs fasthet og skal fokuseres hovedsakelig i oppgaven.
- Luftporer: har størrelse på  $[10^{-4} - 10^{-2} \text{ m}]$ , og kan ses med det blotte øye.

Fig.3 illustrerer porestype og poresandel i forhold til betong volume.



Figur 3: Størrelser av poretyper i betong [1].

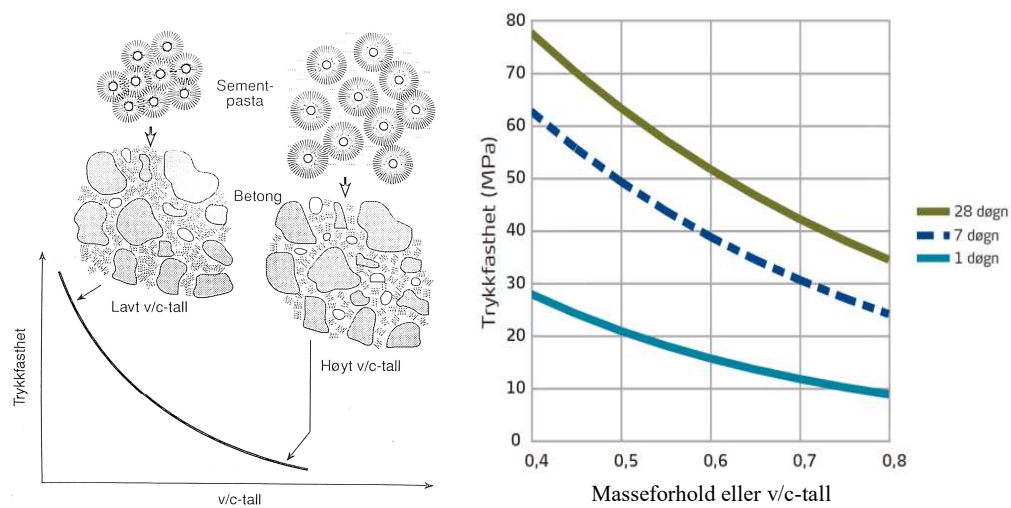
Poreandel i betong er hovedsakelig avhengig av forhold mellom vann og sement i betong, såkalt v/c-tall eller masseforhold. *Figur 4* viser fordelingen av poremengde med v/c-tallet. Det kan man se at jo høyere v/c-tall, desto mer er total-porevolum i betong, og dette er mest tydelig i kapillærpore. Kapillærporer har en sterk økning tendens når v/c-tall er høyere enn 0,4.



*Figur 4: Fordeling av porer i betong [1]*

### 1.1.3 Faktorer som påvirker betongs fasthet

Når poremengde i betong øker, betyr det også at fastheten til betong reduserer. Det vil si at v/c-tallet påvirker til betongens fasthet. Når v/c-tallet er lavt, blir vann flyttet opp av sementkornene. Sementkornene vil ligge tettere og gripe bedre inn i hverandre under hydratisering. Derfor blir betong tettere og fasthet blir høyere [4]. *Figur 5* viser sammenheng mellom v/c-tall og trykkfastheten.



*Figur 5: Sammenheng mellom betongens v/c-tall og trykkfastheten [4] [5]*

---

Men v/c-taller er bare en av mange faktorene som påvirke betongs fasthet. Fastheten er også påvirket av andre faktorer slik som [4]:

- Sementtype: har stor betydning for fastheten. Ulike sementtyper har ulik kjemisk sammensetning for å oppnå spesielle egenskaper. For eksempel for å hindre Norcem Standardsement kan gi fasthetsklasse med maksimum v/c-tall 0,41. Mens Norcem SR-sement kan gi sammen fasthetsklasse med v/c-tall 0,47.
- Tilslag (sand og pukk): vil også påvirke betongs fasthet. Uren tilslag kan føre til at sementpasta ikke hefte godt med tilslag. Sementpasta og tilslag jobber dermed ikke sammen til å gi den gode fastheten. En ideell betong skal ha så lite som mulig luftrom mellom steinene. Derfor spiller størrelse av tilslag en viktig rolle også.
- Tilsetningsstoff: for eksempel Superplastiserende tilsetningsstoff (SP) kan redusere vannbehovet i betong for at betong har en lavest v/c-tall som mulig mens kan også holder støplighet godt nok for utførelse.

#### 1.1.4 Holdbarhet

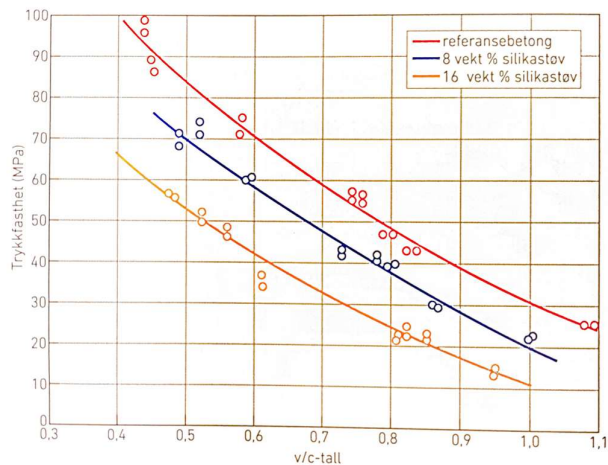
Holdbarhet kan defineres på andre ord at hvor lenge betong leve. Holdbarhet kan også forbindes med armeringskorrosjon i betong. For å bestemme holdbarhet må man studere hvordan klorid eller vann trenger inn i betongs porer. Det er fordi når klorid eller vann absorberer inn i betong, de kan korrodere armering og ødelegge betongkonstruksjoner. Holdbarhet er enda mer betydningsfull for marine betongkonstruksjoner der betong påvirkes av sjøvann i hele tiden.

Siden vann eller klorid kan bare absorberes inn i betong gjennom poresystem. Derfor er poreandel en viktig faktor for betongs holdbarhet. Det kan også si at v/c-taller er også en av de viktigste parameterne for betongs levetid.

#### 1.1.5 Tilsetningsmaterialer

I dag, ved raskt utvikling av verden, folk har satt strengere krav på betong slik som at betong må ha lang levetid, være vennligmiljø og redusere kostnad osv. Derfor forsøker man nye materialer eller tilsetningsmaterialer for å tilfredsstille de kravene. «*Tilsetningsmaterialer er et finfordelt materiale som tilsettes betong for å forbedre visse egenskaper eller for å oppnå spesielle egenskaper*» [4]. Nedenfor viser noen vanlige tilsetningsmaterialer:

**Silikastøv** [1]: Det kom i bruk som tilsetningsmateriale i Norge på slutten av 1970-tallet. Det utgjør 5% av sementvekt på grunn av at det blir dyrere enn før. Silikastøvet er svært finkornig. Partikler er i størrelse 1/1000 av sementpartikler, dvs. 1-5/1000mm. Reaksjonsprodukt av hydratisering mellom vann og sement er  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (kalsiumhydroksid) og den utgjør 20-30% av sementmengde. Silikastøvet består av 85-98%  $\text{SiO}_2$  (silisiumdioksid). Når silikastøv blir brukt, oppstår det en kjemisk reaksjon mellom  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  og  $\text{SiO}_2$ . Den reaksjonen danner C-S-H eller såkalt limpasta som gir betongen mer gode egenskaper med hensyn til fasthet, tetthet og bestandighet.



Figur 6: Sammenheng mellom trykfasthet og v/c-tall med og uten silikastøv [1]

**Flygeaske [1]:** Den ble produsert i Norge 1982, men etter 10-15 år ble den vanlig i bruk. Partikler i flygeaske har omtrent samme størrelse som sementpartikler. Flygeaske inneholder  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  og  $\text{SiO}_2$ , men innhold av  $\text{SiO}_2$  består bare 40-70%. Derfor den kjemisk effekt av flygeaske er mindre enn silikastøv. Med hensyn til fasthet og bestandighet bidra flygeaske liten effekt. Men ved bruk av 20% flygeaske i sement, kan det redusere varmeutvikling med omtrent 15% i forhold til sement.

Ved siden av tilsetningsmaterialer som har blitt brukt i lang tid, har man begynt å ta mer oppmerksomhet mot nye tilsetningsmaterialer slik som fiber. Mange forskninger om fiber har blitt utført, og disse forskningene viser positive effekt av på spesifikke bruksområder. Ble inspirert av disse resultatene, vil denne oppgaven derfor fokusere på fiber, spesielt basaltfiber, for å lære mer om effekten av det nye tilsetningsmaterialet på betongkvaliteten.

Siden basaltfiber er ganske nytt tilsetningsmateriale i betongindustri. Basaltfiber kanskje ikke hjelper å redusere mye kostnad i betongproduksjon. Men den har utrolige egenskapene, så det er en tro at ved bruk av basaltfiber gir det også positive innvirkninger på betongs kvalitet i hensyn til trykfasthet, strekkfasthet, tetthet og holdbarhet slik som vanlig fiberarmert betong.

### 1.1.6 Tidligere arbeider

**Fathima Irne (2014) [6]** har undersøkt mekaniske fastheter av basaltfiber betong. Hun sammenlignet trykk-, strekk- og bøyefasthet til basaltfiber med Betong M30. Laboratorieforsøk ble utført på terning, bjelke og sylinder prøver som inneholder  $1 \text{ kg/m}^3$ ,  $2 \text{ kg/m}^3$  og  $4 \text{ kg/m}^3$  basaltfibre. De eksperimentelle resultatene viste at jo mer basaltfiber innhold, jo mindre støpelighet blanding har, men hun bekreftet også at det problemet kan løse ved å bruke superplastiserende tilsetningsstoff. Mengde av basaltfiber påvirket ikke mye i trykfasthet, men det er en betydelig økning i strekk- og bøyefasthet. Resultatene viser at med  $4 \text{ kg/m}^3$  av basaltfiber gir det en økning på 54% på bøyefasthet og økning på 62% på strekkfasthet i forhold til vanlig betong.

---

**Dr. K. Ramadevi, Dr. R. Chithra og B. Rajesh (2017)** [7] benyttet basaltfiber med ulike lengde (16mm, 19mm og 24mm) og varierte fiberinnhold (1%, 2% og 3% av betongvolum) til å undersøke mekaniske fastheter av betong M40. Hver blanding inkluderer 6 kubikk, 6 sylinder og 6 prismer. Forsøket viste en positiv resultat med bruk av basaltfiber i betong. Det var en økende tendens på fastheter ved fiberinnhold 1% og 2%, men ved 3% oppstod det en tegn av reduksjon på all tre fastheter. Dessuten viste resultatene også at betongkvalitet har økende tendens med fiberlengde. De fikk 16% økning på trykkfasthet, 7% økning på strekkfasthet og 21% økning på bøyefasthet ved 2% 24mm basaltfiber i betong. Basert på disse resultatene konkluderte de at i deres eksperimenter var den optimale lengden og mengden av basaltfiber for trykkfasthet, strekkfasthet og bøyefasthet 24 mm og 2% volum.

**Jongsung Sim, Cheolwoo Park, Do Young Moon (2015)** [8] har undersøkt ulike fiberlag om volumreduksjon i alkalisk miljø og strekkfasthet gjennom et kunstig værforhold. Det var tre forskjellige fibertyper glassfiber, karbonfiber og basaltfiber som ble benyttet i eksperiment. Fibrene ble senket alkali oppløsning og ble tatt bilder etter 7 døgn og 28 døgn. Dessuten testet de også strekkfasthet av fibrene i de hvert tidspunkt. Resultatene av forsøket viste at på overflaten av basaltfiber og glassfiber var det et reaksjonsproduktlag, og begge fibre mistet volum og strekkfasthet. Mens det var ingen alvorlig reduksjon i strekkfasthet i karbonfiber. Under kunstige værforhold reduserte også basaltfiber og glassfiber strekkfasthet, og reduksjonen av basaltfiber langsommere enn glassfiber. Dessuten undersøkte forskerne også fibrene i en temperatur på 600<sup>0</sup>C, og det var bare basaltfiber som beholdet volum og 90% strekkfastheten.

## 1.2 Begrensning og hensikt

Forskningene om fiber overfor har vist at basalt fiber har gitt positive effekter til betongs mekaniske fastheter i både praksis og teori. Men for å konkludere fordeler av basaltfiber trenger det mer arbeider i hensyns til både mekaniske fastheter, holdbarhet og energi. På grunn av begrenset tid og mangel av hjelpemidler i betonglaboratoriet vil denne oppgave ikke omtale om energi. I stedet skal oppgaven utføre følgende arbeider:

- For det første skal oppgaven sammenligne betongprøver med og uten basaltfiber for å bekrefte effekt av basaltfiber i hensyns til trykkfastheter. For å gjennomføre det, skal vi bruke mye tid på betonglaboratoriet for å utføre eksperimenter. Strekkfasthet er også et av egenskapene som denne oppgaven ønsker å teste. Dessverre kan laboratoriet ikke klar å skaffe strekkprøvemaskin i tid. Så denne oppgaven kan ikke undersøke effekten av basaltfiber på betongs strekkfastheten.
- For det andre skal oppgaven fokusere på andre viktige betongegenskaper, som holdbarhet av basaltfiber betong. Ved å gjennomføre kapillært vannoppsugingseksperiment. Det eksperimentet gjennomføres også på både betong med og uten basaltfiber for å se hvordan basaltfiber påvirker til kapillært vannoppsugeevnen til betong. Etterpå skal vi bruke både praksis og teori (oppsug modell - kvadrat rot av tid modell) for å beregne vannoppsugeevnen og sammenligne



---

resultater av betongprøver. I virkelighet, vet vi at kapillærsugmodellen passer imidlertid ikke alltid for betong. Relativt tynne prøver (noe få *cm* tykke) som tørkes ut ved  $105^{\circ}C$  viser at rettlinjede absorpsjonskurver som modell forutsi. Mens. For tykkere betong prøver eller konstruksjonsdeler i kontakt med vann blir imidlertid vannopptatt lavere sammenligne med modell forutsi. Vi skal påpeke hva som begrensnig av modell og modifisere den kapillærsugmodellen.

---

## 2 Materiale og metode

### 2.1 Materiale

#### 2.1.1 Basaltfiber

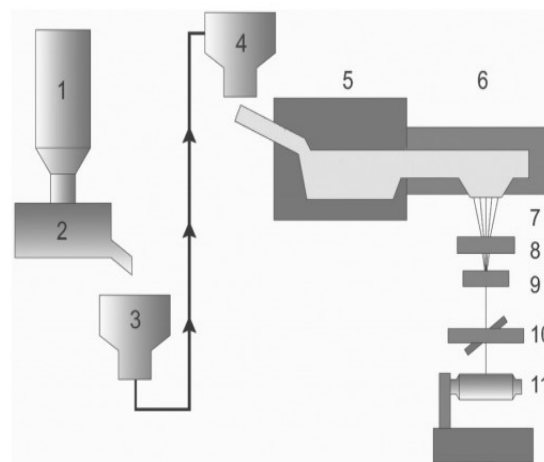
##### Generelt

Fiberbetong ser ut til å være et nytt konsept for betongindustrien i dag. Det finnes mange typer organiske fibre (karbon, glass, basalt, kokos, osv.) og uorganiske fibre (polypropylen, polyester, osv.). Hver type har sine fordeler og ulemper som påvirker til betongs kvalitet. Blant disse fibertypene er basaltfiber mer fremtredende på grunn av følgende egenskaper:

- Avledet fra naturen, er produksjonskostnaden billigere enn andre typer.
- God kompatibilitet med betong takket være høy heft.

##### Produksjon av basaltfiber

Basaltfiber er laget av et enkelt materiale, knust basalt. I motsetning til andre syntetiske materialer, slik som glassfiber, er det i utgangspunktet ingen materialer tilsatt under produksjonsprosessen. Basalt stein vaskes bare og smelter deretter. Produksjonen av basaltfibre krever smelting av knust basalt ved cirka 1500°C. Den smeltede steinen blir så ekstrudert gjennom små kraner for å lage kontinuerlige basaltfibre. En av de mest potensielle bruksområder for kontinuerlig basaltfiber og den mest moderne tendensen i dag er produksjonen av basaltstang, som erstatter den tradisjonelle stål armering på byggemarkedet.



*Figur 7: Prosess av basaltfiberproduksjon [9]*

*Figur 7* viser basaltproduksjonsprosess. 1) knust steinsilo; 2) stasjon; 3) transportsystem; 4) ladestasjon; 5) smelteområde; 6) varmesone med temperaturkontroll; 7) filament forming; 8) lim applikator; 9) fiberformasjonsstasjon; 10) fiberspenningsstasjon; 11) automatisert svingestasjon

---

## MiniBar™



*Figur 8: MiniBars™*

Basaltfibre som brukes i dette eksperimentet er MiniBar™, laget av ReforceTech. Den har høy strekkfasthet som ligner på stål. Den har også høy elastisk modul som ligner på betong. Fabrikks eksperimenter viser at bruken av basaltfiber vil gi betong følgende fordeler:

- MiniBars™ fungerer som sprekk kontroll og fordeler lasten gjennom betongen.
- MiniBars™ har grov overflate for å øke friksjon.
- Øker betongens strekkstyrke.
- Forbedrer tresthet oppførsel, støtmotstand og duktilitet.

Egenskapene til MiniBars™

- Diameter: 0,65mm
- Lengde: 21mm og 43mm
- Densitet: 2,1g/cc
- E-modul: 45 GPa
- Strekkfasthet: 1000 MPa

### **Hvordan fiber påvirker fasthet**

Fiber tilsettes i betong for å spille en viktig rolle i rissprosess. Når betong risser, blir strekkspenning tatt opp i fibrene. Rissprosessen kan deles inn i tre faser når et betongvolum blir utsatt strekkspenning [10]:

Fase 1: Mikroriss: Det er et riss med veldig liten lengde i forhold til størrelse på prøven. Mikroriss fordelt gjennom hele betongvolumet.

Fase 2: Makroriss: Det er et riss med liten lengde i forhold til størrelse på prøven. Det blir dannet av flere mikroriss.

Fase 3: Ett eller flere makroriss forplanter seg og forårsaker brudd.

---

I løpet av den første fasen, det starter å oppstår fordelt mikroriss. Fibre fungerer som sytråd, den knytter mikroriss sammen og forsinke begynnelse på fase 2. Men når det kommer til fasen 2, utvikler mikroriss størrelse og blir makroriss. Fibre med kort lengde kan nå ikke holde rissene sammen, mens lange fibre kan fremdeles tåle rissene. Når rissene utvikler seg større enn fiberens kapasitet, medfører det til brudd i betongvolumet.

## 2.2 Metode

Siden tidligere forskninger har vist at fiberlengden påvirker betongens fastheter. Og gjennom teori, som omtalt i avsnittet “2.1.1 Basaltfiber - Hvordan fiber påvirker fasthet” overfor, beskriver det også effekten av fiberlengde på betongs fasthet. For å bekrefte effekt av fiberlengden på betongs fastheter, i denne testen blir prøvestykker støpt med 2 forskjellige fiberlengder, men samme mengde. Samtidig er en referanseprøve også støpt for å sammenligne innvirkningen av basaltfiber på betongkvalitet.

For å kunne sammenligne nøyaktig, det vil begrenses bruk av tilsetningsmaterialer og tilsetningsstoffer færrest som mulig for at vi kan se bare på effekten av basaltfiber. Men for å bli nærmere virkeligheten og på grunn av kravet om høy støpelighet for gulvbetong, skal betongen blandes med superplastiserende tilsetningstoff.

Blandinger har samme resept, men oppdeles inn i tre følgende typer:

- En blanding ble tilsatt basaltfiber med en lengde på 43mm.
- En annen blanding ble tilsatt basaltfiber med en lengde på 21mm (kuttet fra fiber 43mm)
- En referanse blanding uten basaltfiber.

### 2.2.1 Trykkfasthet testing

Betongprøver vil bli støpt i standardiserte dimensjoner for testing av trykkfasthet. I henhold til “NS-EN 12390-2 Prøving av herdnet bet - Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former” skal betongprøvene støpes i terningformer med  $\text{Ø}100 \times 100 \times 100 \text{mm}$  og sylinderformer med  $\text{Ø}100 \times 100 \text{mm}$ . Betongprøvene skal testes trykkfastheten etter 7 døgn og 28 døgn herdnet i vannbad.

### 2.2.2 Vannoppsug testing

Vannoppsug vil bli undersøkt gjennom kapillært vannoppsug eksperiment. Betongprøver i denne testen blir kuttet i standardiserte dimensjoner  $\text{Ø}100 \times 20 \text{mm}$  og  $\text{Ø}100 \times 40 \text{mm}$ . Under undersøkelse i laboratoriet vil oppsug vannmengde (vektøkning) av prøvene veies på tidspunkter som er angitt i *R210 Laboratorieundersøkelse*. Samtidig vil oppsug vannmengde e også teoretisk beregnes ved å bruke teorien av kapillærtransport. De to verdiene vil sammenlignes for å se forskjell mellom praksis og teori. Baser på denne sammenlikningen vil vi vise fordeler og ulemper av teorien og finne en måte for å utvikle den bedre.

---

## 3 Teori grunnlag

### 3.1 Trykkfasthet

Begrepet trykkfasthet kan defineres som middelverdien av maksimal last omregnet til nominell spenning for en serie standardiserte prøvestykker belastet til brudd i en gitt belastningssituasjon. På andre ord, betongs trykkfasthet er den største trykkraften per flateenhet som betongen kan tåle før den bryter.

$$R = \sum \frac{R_i}{n} \quad (1)$$

Hvor  $R_i$  er trykkfasthet av prøvestykke nr.  $i$ , [MPa]

$n$  er antall av prøvestykker

I en samme betongresept kan trykkfasthet variere fra prøver til prøver. I betongteknologi benytter man statistisk metode for å beregne gjennomsnitt trykkfastheten til betong. Det trenger man mange prøver for eksempel helt opp til 1000 prøver for å beregne Normalt fordeling av trykkfastheten. Dessverre har vi i denne oppgaven begrenset med tid, resurs og lab-personell. Så vi kan ikke støpe og teste med så mange prøvene som vi ønsker. Derfor begrenses arbeid med få betongsprøver og bruker vanlig gjennomsnitt verdier i trykkfasthet testing og vannoppsug testing.

### 3.2 Vannoppsug

#### 3.2.1 Hvordan poretyper oppstår

Sement har ingen bindingsegenskaper før den blir blandet med vann. Den kjemiske reaksjon mellom sement og vann kalles *hydratasjon*, og denne prosessen gjør at betong blir porøs. Poretyper er dannet av ulike vann-typer som nevnt nedenfor [1]:

- Kjemisk bundet vann er vann som trenger for kjemisk reaksjon, og det tilsvare cirka 23% av sementvekt. Reaksjonsprodukt har et volum som er mindre enn reaktantene sement og vann. Den volumreduksjon kalles kjemisk svinn og det danne indre porer.
- Gelvann eller fysisk bundne vann som danner gelporer. Det utgjør så mye som 18% av sementvekt. Gelvann kan fordampes ved temperatur opp til 105<sup>0</sup>C.
- Kapillært vann som er overskudd vann, det danner et finfordelt og kontinuerlig poresystem i sementlimet, kalles kapillærporene.

#### 3.2.2 Kapillærporøsitet

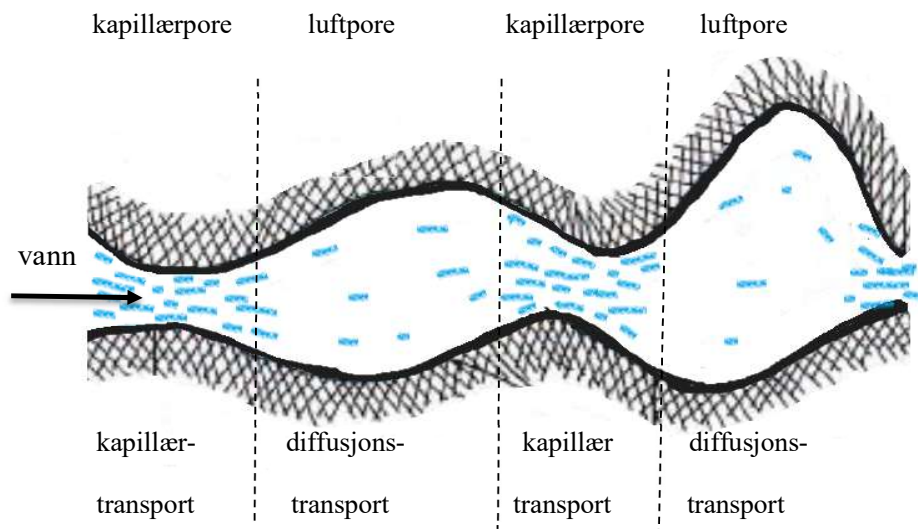
Kapillærporøsitet kan defineres som forhold mellom det totale volumet for kapillærpore og det totale ytre volumet for materialet, og den blir gitt i %. Det kan beregnes med følgende likningen [11]:

$$p_k = \frac{g_1 - g_2}{\rho \cdot V} \quad (2)$$

- Hvor
- $p_k$  er kapillærporer porøsitet, [%]
  - $g_1$  er vekt med veing etter tørking i 7 døgn, [kg]
  - $g_2$  er vekt med veing etter neddykking i 7 døgn, [kg]
  - $\rho$  er vannets densitet,  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$
  - $V$  er volumet til prøve [m<sup>3</sup>]

### 3.2.3 Transportmekanismer

Grov snakker, finner det 2 transportmekanismer i betong og de er kapillærtransport og diffusjonstransport. Diffusjonstransport fungerer basert på konsentrasjonsforskjell, det vil si at fukt eller vann beveger seg fra høyt konsentrasjonssted til lavt konsentrasjonssted. Mens kapillær transport skjer på grunn av kapillær drivkrefter (overflate spenning mellom luft og vann i pores). Fig. 9 illustrere forskjellige transportmekanismer i porestruktur.

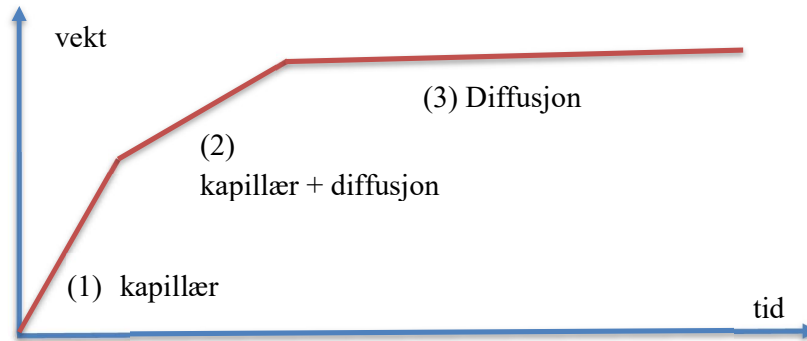


Figur 9: Transportmekanismer i porestruktur

Vann beveger seg gjennom kapillærporer med kapillærtransport. Absorberingshastighet er rask på grunn være drivkapillærkraft som tilsvarer 0,0073N/m [12]. Men når vann kommer til luftporer, taper det kapillærkraft og transportmekanisme bytter til diffusjon som har meget langsom absorberingshastighet på cirka  $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  [13] (diffusjonskoeffisient). Figur 10 viser vannoppsug prosess i tre faser:

- Fase (1): Vann trenger veldig raskt inn i betong gjennom 'tørr' kapillærporer.

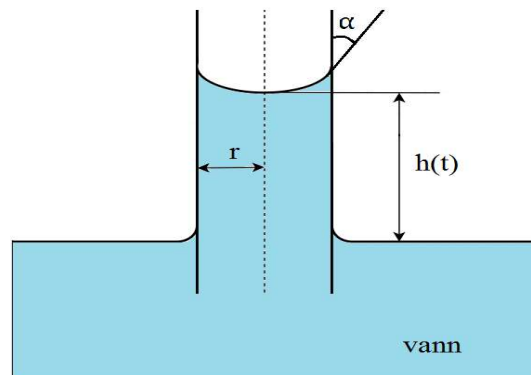
- Fase (2): Kapillærkrefter begynner å senke ned gradvis på grunn av at den må trekke ekstra mengden vann som har allerede suget inn. I denne fasen begynner diffusjonstransport.
- Fase (3): Neste alle kapillær porene har oppfyll. Så det gjenstår neste luft-porene. Transportmekanisme er hovedsakelig diffusjon. Derfor sugingshastighet reduserer betydelig i denne fasen.



Figur 10: Profilet av vannoppsug prosess

### 3.3 Kapillærtransport

Byggingeniør er veldig interessert i hvordan hastighet av vann trenger inn i betongs porestruktur, og de er også interessert i hvor langt vann inntrenger i betong. Disse problemene er vanskelige å beregne fordi det inngår mange fysiske parameter, for eksempel poretyper, porestruktur,  $v/c$ -tall, tilsetningsstoff osv. Derfor for å ha innsikt i klorid eller vanntransport i komplisert porestruktur, antar vi at alle porer i betong blir bare en pore med radius  $r$ , Figur 11 illustrerer kapillærtransport i en pore (et rør).



Figur 11: Illustrerer vannoppsug i et rør

Hvor:  $\alpha$  er kontaktvinkel røraksen og retningen for overflatespenning

$h(t)$  er stighøyde, [m]

$r$  er rørets radius, [m]

---

Vi antar at drivkraft som suger vann opp er kapillærkraft. Vann blir sugget opp i høyde  $h_{max}$  [12].

$$h_{max} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\alpha}{\rho \cdot g \cdot r} \quad (3)$$

Hvor  $\sigma$  er overflatespenning mellom luft og vann,  $\sigma = 0,073N/m$

$\rho$  er vannets densitet,  $\rho = 1000 \text{ kg}/m^3$

$g$  er tyngde akselerasjon,  $[m/s^2]$

$h_{max}$  er maksimum vann stighøyde, [m]

Likning (3) basert på balanse (eller likevekt) mellom to krefter: drivkraft (kapillar) som drar vannsøyle opp og tyngde kraften som trekker vannsøyle ned.

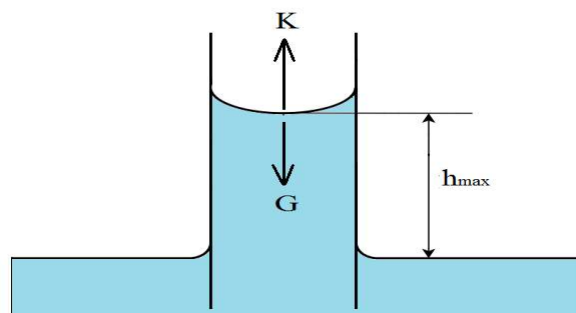
Men byggingeniør ønsker også å vite stighøyden av vann som er en funksjon av tid,  $h(t)$ . For eksempel ingeniører skal bygge Hålogaland bruene. De ønsker å vite hvor lang tid sjøvann skal treffe stålarmringer for at de kan dimensjonere overdekning tykk nok til å beskytte stålarmringene. Ligning som beskriver vann beveger seg i rørene [12]:

$$h(t) = \sqrt{\frac{r \cdot \sigma \cdot \cos\alpha \cdot t}{2 \cdot \mu}} \quad (4)$$

Hvor  $h(t)$  er stighøyde i tidspunkt  $t$ , [m]

$t$  er tid for at vannfront (stighøyde) kommer til høyde  $h$ , [s]

$\mu$  er vannets dynamiske viskositet,  $\mu = 0,001Pa \cdot s$



Figur 12: Balanserte krefter på vannfront

Likning (4) basert på samspillet mellom to krefter som påvirker vannsoppstige i et rør. De to krefter er drive kraft (kapillær) som dra vannsøyle opp og Newton viskositet som bremse



vannsøyler stige opp. I betongteknologi kalles den kvadrat rot ligningen. Hvor alle fysiske transportparameter som hastighet, stige høyde, vannoppsug mengde er proporsjonal med kvadrat rot med tid ( $\sqrt{t}$ ) (rettlinjede absorpsjonskurver).

Det er vanligvis interesse å kjenne oppsuget vannmengde. Her mener vi at vann som blir oppsuget i kapillærporer av kapillærkraften. Vannoppsug mengde kan beregnes ved følgende ligning [12]:

$$M(t) = \rho \cdot A \cdot h(t) \cdot p_k \quad (5)$$

Hvor  $A$  er arealet til sugingsoverflate,  $A = \pi r^2 = 3,14 \times 0,05^2 = 0,0079 \text{ m}^2$

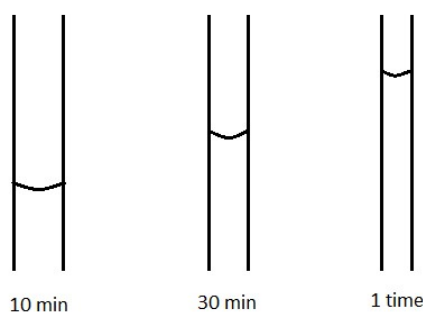
$p_k$  er kapillærporøsitet, [%]

$M(t)$  er vannoppsug mengde (vektøkning), [kg]

Ut i fra likningen (4) har vi:

$$r = \frac{2 \cdot \mu \cdot h^2(t)}{r \cdot \sigma \cdot \cos \alpha \cdot t} \quad (6)$$

I ligning (6) er det helt klart at hvis radius er konstant, så må også de parameterne  $\mu, \sigma, \alpha$  være konstante og forhold mellom  $\frac{H^2(t)}{t}$  må også være konstant. Men som erfaring og tidligere kunnskap viser at stighøyde  $h(t)$  vokser ikke lineær med tid. Dvs. forholdet  $\frac{H^2(t)}{t}$  er ikke konstant. I eksperimenter ser vi tydelig at  $h(t)$  vokser med forskjellige hastighet. Så vi kan bekrefte at radien til antatt kapillærrør varierer med tid.



Figur 13: Porens radius varierer med tiden

For å beregne vektøkning  $M(t)$ , må vi beregne radius for hvert tidspunkt. Deretter tar gjennomsnitt av alle radius og vi får effektiv radius. Gjennomsnitt av  $M(t)$  kan beregnes ved å bruke effektiv radius i ligninger (5) og (6).

---

## 4 Laboratoriearbeider

En stor del av denne oppgaven er basert på arbeider i betonglaboratoriet. Dette avsnittet gjennomgår 3 deler: prøvestøping, trykkfasthet testing og vannoppsug testing gjennom kapillærsugingseksperiment.

Som har omtalt på avsnitt “2.2 Metode”, dette eksperimentet skal bruke tre blandinger. To av tre blandingen vil tilsettes ulike fiberlengder, den ene er 43mm (såkalt hel fiber eller 1F), den annen blir klippet fra 43mm fiber (såkalt halv fiber eller 0,5F). Og en referanse blanding (såkalt uten fiber eller 0F).

### 4.1 Prøvestøping

#### 4.1.1 Resept

Resept i dette eksperimentet er hentet fra Hålogaland Gruss & Betong AS (se vedlegg A). Fordi vi trenger bare en liten blandingsmengde for å lage noe betongsprøve, resept blir omregnet for 15 liter blanding (vist i *Tabell 1*).



*Figur 14: Materialer for blandinger*

Mengden av basaltfiber blir tatt etter veiledningen av bedriftens ekspert. Han sa at en kubikkmeter inneholder 20 kg fiber, men den gjelder for stålfiber. Så eksperten anbefaler å redusere basaltfibermengde basert på vektforskjellen mellom stål- og basaltfiber. Ved sammenligning mellom to fibertypene kan det si at stålfibre har 1,9 ganger vekten i forhold til basaltfiber. Derav basaltfibermengde omberegnes tilsvarende 10,5 kg per kubikkmeter.

Tabell 1: Reseptene av ulike blandinger for 15 liter

Blandingstyper	Sand 0-8 (kg)	Pukk 8-22 (kg)	Sement FA (kg)	Vann (kg)	SX-23 (kg)	Basaltfiber (kg)
Referanse, 0F	19,06	7,1	5,75	3,04	0,043	-
21mm fiber, 0,5F	19,06	7,1	5,75	3,04	0,043	0,16
43mm fiber, 1F	19,06	7,1	5,75	3,04	0,043	0,16

#### 4.1.2 Egenskaper for betongen

Referansebetong har vann-sementforhold i betong er 0,52. Synkmål er ganske høy som tilsvarer 240mm, og fasthetsklassen er B30.

#### 4.1.3 Rutiner

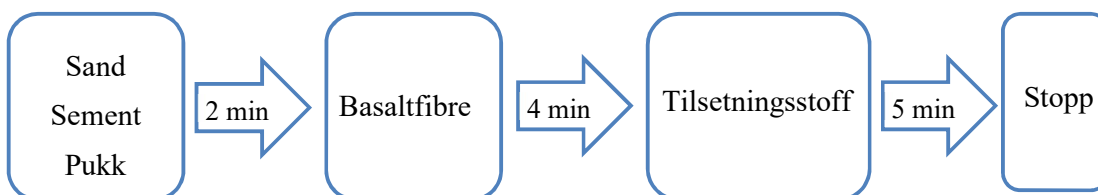


Figur 15: Blandemaskin Roroto

Alle de tre blandingene er blandet av blandemaskin Soroto som kan tåle 40 liter blanding. For å forhindre uforutsette effekter, er alle blandingene blandet på en samme prosedyre. Blandingene utføres på følgende måter:

- Sand, sement og pukk legges i blanderen i cirka 2 minutter.
- Basaltfibre tilsettes og blandes i cirka 4 minutter.
- Vann og flytende tilsetningsstoff tilsettes og blandes i cirka 5 minutter.

For å sikre at basaltfibre blandes godt og gjennomdelt i hele blandingen, etter basaltfibre tilsettes, kan blandingstid i den andre fasen være litt lengre. Blandeprosess foregår innen 11 minutter til 14 minutter.



Figur 16: Blandeprosedyre

#### 4.1.4 Synk måling

Synk måling blir utført etter standard “NS-EN 12350: Prøving av fersk betong - Del 2: synkmål”. Før utførelse må synkkjeglen innside og underlaget fuktes. Kjeglen fylles med tre omtrent like tykke lag. Hvert lag bearbeides med 25 støt av stålstangen jevnt fordelt over flaten, før neste lag fylles i. Prosessen forsettes inntil kjeglen fylles fult. Synkmålet eller avstand fra toppen av kjeglen til høyeste punkt i betong av alle blandिंगene ligger på cirka 243 mm.

#### 4.1.5 Utstøping

Hver blanding blir det støpt 6 terninger på 100x100x100mm. På grunn av mangel på sylindere støpeformer kan det bare støpe 2 sylindere på Ø100x200mm. Deretter 2 sylindereprøver blir kuttet i 2 Ø100x100mm, 3 Ø100x40mm og 3 Ø100x20mm for at det er nok prøver for testing.

Som har omtalt overfor i avsnitt “1.2 Begrensning og hensikt”, strekkfasthetstesting skal ikke gjennomføres, derfor vil prismeprøver bli ikke telt i. Tabell 2 viser antall av faktiske betongprøver.

Tabell 2: Antall og dimensjon av betongprøver

	Terning (100x100x100mm)	Sylinder		
		(Ø100x100mm)	Ø100x40mm)	(Ø100x20mm)
Referanse, 0F	6	2	3	3
21mm fiber, 0,5F	6	2	3	3
43mm fiber, 1F	6	2	3	3

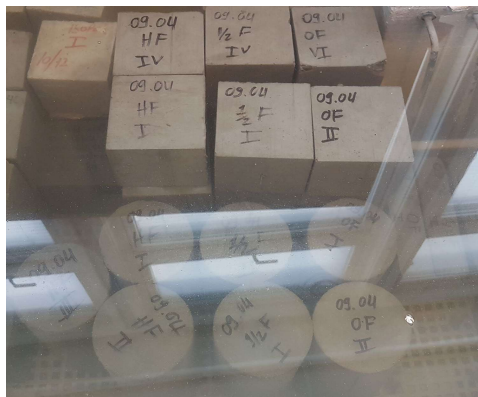
Utstøping av betongprøver skal følge “NS-EN 12390-2 Prøving av herdnet betong – Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetprøving”. Det utføres ganske sammen som synk måling. Formene fylles med tre omtrent like tykke lag. Hvert lag bearbeides med 25 støt av stålstangen jevnt fordelt over flaten. Kanter av formene blir banket av gummi hammer og de blir lagt på vibrasjonsmaskin i noen sekunder. De blir etterpå dekket med plast og lagt i romtemperatur før herdning.



Figur 17: Nystøpte betongprøver

## 4.1.6 Herding

Prøvene står til herding i formen i minimum 16 timer i romtemperatur. Deretter blir prøvene plassert i vannbad ved 20°C helt frem til testen. I følge NS-EN 14845-1 og NS-EN 14845-2 herdningstid er 28 døgn. Dette tilsvarer 1 døgn i form tildekket med plast og 27 døgn i vannbad.



Figur 18: Prøvestykker blir herdnet i vannbad

## 4.2 Trykkfasthetstesting

### 4.2.1 Prøveantall og prøvedimensjon

Denne testen ble utført med terningsprøver på 100x100x100mm og sylinderprøver på Ø100x100mm. Prøvingen blir utført to ganger, etter 7 døgn og 28 døgn herdet i vannbad. For første gang brukte det 3 terning former og 2 sylinder former. Den andre gangen bruker tre terning former. Antall av prøvene vises i tabell nedenfor:

Tabell 3: Antall og dimensjon av betongprøver i trykkfasthetstesting

	Terning (100x100x100mm)	Sylinder (Ø100x100mm)
Referanse, 0F	6	2
21mm fiber, 0,5F	6	2
43mm fiber, 1F	6	2

### 4.2.2 Testmaskin

Testmaskinen som ble benyttet ved trykkfasthetsprøving er regulert av “NS-EN 12390-4: Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner”. Testmaskin som blir benyttet er en en-aksiell trykkprøvemaskin. Pålastningshastighet var på 0,8 MPa/s.



*Figur 19: Trykkprøvemaskin*

### 4.2.3 Fremgangsmåte

Testen blir utført slik følgende måter nedenfor:

- Overflater på prøvene blir tørket tørre fordi friksjonen mellom betongen og stål flatene i maskinen kan redusere utvikling av tredimensjonale trykkspenninger.
- Deretter ble prøvene plassert i maskinen og sentrert med de jevnt plane flatene ned og opp, og med overflaten fra støpen til siden.
- Maskinen ble satt i gang med en økende kraft til prøven gikk til brudd.

## 4.3 Kapillærsugstesting

### 4.3.1 Prøveantall og prøvedimensjon (Material)

Dette eksperimentet blir utført med sylinderprøver på  $\text{Ø}100 \times 20\text{mm}$  og  $\text{Ø}100 \times 40\text{mm}$ . Antall av prøver vises i *Tabell 4*.



*Figur 20: Betongprøver i kapillær-vannoppsug testing*

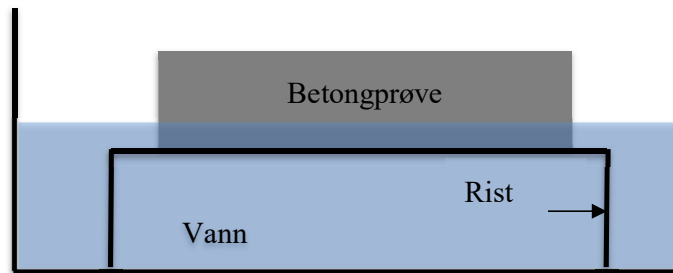
Tabell 4: Antall og dimensjon av betongprøver i vannoppsug testing

	Sylinder (Ø100x20mm)	Sylinder (Ø100x40mm)
Referanse, 0F	3	3
21mm fiber, 0,5F	3	3
43mm fiber, 1F	3	3

### 4.3.2 Fremgangsmåte

Dette eksperimentet undersøker betongs vannsugingsevne på 1 dimensjon. Derfor må prøvene males et epoksy lag på sideflate for å unngå vann suges inn gjennom andre kantene. Testen blir utført etter “R210 Laboratorieundersøkelse” med følgende måte:

- Prøvene blir tørket på overflater for å veie vekt og volum.
- Prøvene blir lagt i tørkeskap ved 105°C og blir veid hver dag inntil det er ikke vektreduksjon.
- Prøvene blir malt epoksy, og de blir deretter lagt tilbake i tørkeskap for å sikre at det er ingen fukt i prøvene. Før prøvestart de blir avkjølt i luft ved romtemperatur.
- Testen går ut på å plassere prøvestykker på en rist med vann cirka 1 millimeter opp på prøvene. Prøvene blir veid etter standardiserte tidspunkter (10 og 30 min; 1, 2, 3, 4 og 6 timer; 1, 2, 3 og 4 døgn). Etter 4 døgn blir prøvene senket fullstendig i vann i 3 døgn for å få vannmettet vekt.



Figur 21: Skisse av kapillært vannoppsug testing

## 5 Resultat og Diskusjon

I dette avsnitt skal vi presentere resultater av trykkfasthet og vannoppsug. Vi skal også bevege oss inn i analyse og diskusjon av data/resultater som vi har fått frem.

### 5.1 Trykkfasthet

Betong prøver er på terninger- og sylinder formen. Men på grunn av teknisk feil (ujevne overflaten på sylinderprøvene) blir resultatene mye avvik og kan ikke bruke. Så resultatene av sylinderprøver, derfor skal ikke omtale i dette avsnittet.

Resultaters er presentere i følgende *Tabell 5* og *Figur 22-23*. Og den karakteristiske brudd-formen til betongprøve illustreres i *Figur 24*.

- *Tabell 5* presenterer resultatene av trykkfasthet til betongprøver for terning betong prøve for ulike herde tidsperioder.
- *Figur 22 og 23* er illustrasjoner av verdier i *Tabell 5* ved søylediagrammer.
- *Figur 24* illustrerer brudd-form av terning prøver.

*Tabell 5: Trykkfasthetene til terningsprøver*

Betongtype	Merke	Etter 7 herdedøgn		Etter 28 herdedøgn	
		Trykkfasthet, [Mpa]	Gjennomsnittlig trykkfasthet [Mpa]	Trykkfasthet, [Mpa]	Gjennomsnittlig trykkfasthet [Mpa]
0F Referanse	0F A	42,19	42,24	52,45	51,74
	0F B	42,55		51,44	
	0F C	41,98		51,32	
0,5F 21mm fiber	0,5F A	43,19	43,16	52,36	52,94
	0,5F B	42,92		53,85	
	0,5F C	43,37		52,61	
1F 43mm fiber	1F A	45,11	45,30	56,67	56,44
	1F B	45,53		55,92	
	1F C	45,26		56,72	





Figur 22: Sammenligning av trykkfasthet etter 7 herdedøgn



Figur 23: Sammenligning av trykkfasthet etter 28 herdedøgn

I figur 22 ser vi tydelig at, etter 7 herdedøgn, betong med basaltfiber (både 1F og 0,5F) er sterkere enn referansebetong. I detalj ser vi at:

- Referanse betongprøver har gjennomsnitt trykkfasthet på 42,24 MPa, mens prøver med 21 mm og 43 mm fiberlengde oppnår trykkfasthet henholdsvis på 43,16MPa og 45,30 MPa.

Den gunstig effekt med basaltfiber er sammen tendens med herdetid på 28 døgn. I detalj ser vi:

- Referanse prøver har gjennomsnitt trykkfasthet på 51,74 MPa, mens prøver med 21 mm og 43 mm fiberlengde oppnår trykkfasthet henholdsvis 52,94 og 56,44 Mpa.

Legge merke til betong med 28 herdedøgn er mye sterkere enn 7 døgn. For eksempel oppnår referanse prøven sin styrke på 51,74 MPa på 28 herdedøgn, mens er 42,24 MPa på 7 herdedøgn. Det er samstemme med vårt kjennskap til relasjon mellom trykkfasthet utvikler og herdetid. Det betyr i praksis at jo lengre betong får tid å herde seg, desto sterkere er den.

---

I dette forsøk ser vi at basaltfiber har veldig gunstig effekt på betongs fasthet. Men det kan ikke være en endelig konklusjon. Fordi for å verifisere dette påstand trenger flere forskninger og data. Med så få prøver som vi har, er det ikke nok grunnlagt til å komme til endelig konklusjon. Men fra lab-data er vi samstemme om tendens at basaltfiber gir gunstig effekt på betongs fasthet.



*Figur 24: Bruddform på terningsprøve*

Figur 24 illustrerer den bruddformen er ikke samsvar med den standard karakterisk formen (standard er på glass-formen). Grunnen er en sammensatt årsaker: trykkprøvemaskin fungerer ikke optimalt, oppsett prosedyre er ikke helt riktig, osv.

## 5.2 Vannoppsug

Her presenterer gjennomsnitte resultater fra eksperiment i laboratoriet (lab-data) i *Tabell 6, 7* og *Figur 25*, og resultater fra beregninger (teori-data) i *Tabell 8,9* og *Figur 26, 27, 28, 29*. For detaljerte resultatene fra laboratoriet se vedlegg B, C, D og E.

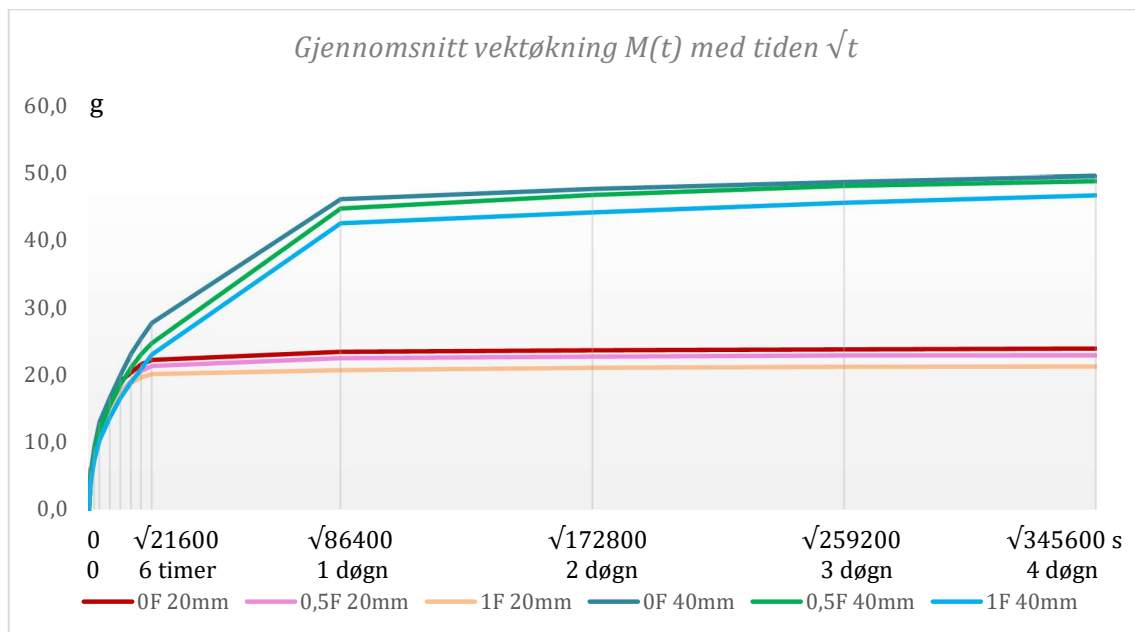
- Tabell 6 presenterer gjennomsnitt kapillærporøsitet for betongprøver.
- Tabell 7 viser vektøkning som måles gjennom kapillær vannoppsug eksperiment.
- Figur 25 er en illustrasjon av tabell 7 i linjediagram.
- Tabell 8 presenterer effektiv radius til betongprøver, den blir beregnet etter ligning (6).
- Tabell 9 viser teori-data vektøkning  $M(t)$  som beregnes basert på ligningene i kapittel “3.3 Transportmekanismer”.
- Figur 26 og 27 er en sammenligning av kapillær vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 20mm og 40mm.
- Figur 28 og 29 illustrerer sammenligning av kapillær vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm i den brukbare perioden av kvadrat rot modell.

Tabell 6: Gjennomsnitt kapillærporøsiteten til betongprøver

Prøve	OF 20mm	0,5F20mm	1F 20mm	OF 40mm	0,5F40mm	1F 40mm
Kap. porøsitet, $p_k$ (%)	19,22	18,94	17,52	18,89	18,27	17,68

Tabell 7: Lab-data av gjennomsnitt vektøkning  $M(t)$

	Tid	OF 20mm	0,5F 20mm	1F 20mm	OF 40mm	0,5F 40mm	1F 40mm
Vektøkning, $M(t)$ etter	Start	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	10 min	5,7	5,3	5,5	5,3	4,6	4,2
	30 min	9,2	8,4	9,0	9,4	8,8	7,4
	1 time	12,3	11,7	11,8	13,0	11,8	10,3
	2 timer	16,1	15,0	15,1	16,7	15,6	13,7
	3 timer	19,1	17,4	17,3	20,0	18,6	16,6
	4 timer	20,4	19,1	18,8	23,2	21,1	18,9
	5 timer	21,6	20,6	19,6	25,5	23,1	20,9
	6 timer	22,2	21,3	20,1	27,8	24,8	23,1
	1 døgn	23,4	22,5	20,7	46,1	44,7	42,5
	2 døgn	23,7	22,7	21,1	47,7	46,8	44,2
	3 døgn	23,8	22,9	21,2	48,7	48,1	45,6
	4 døgn	23,9	22,9	21,3	49,5	48,8	46,7



Figur 25: Lab-data av gjennomsnitt vektøkning  $M(t)$  med tid  $\sqrt{t}$

---

## Analyse

Figur 25 og Tabell 7 viser tydelig at prøve 0,5F 20mm suger vann mindre enn prøve 0F 20mm. Dette gjelder for stort sett helle sugeperioden på 4 døgn. Den tendensen er fortsatt med betong prøver 1F 20mm, og i nummer de er:

- 0F 20mm:  $M(4\text{time}) = 20,4\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 22,2\text{g}$ ,  $M(4\text{døgn}) = 23,9\text{g}$
- 0,5F 20mm:  $M(4\text{time}) = 19,1\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 21,3\text{g}$ ,  $M(4\text{døgn}) = 22,9\text{g}$
- 1F 20mm:  $M(4\text{time}) = 18,8\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 20,1\text{g}$ ,  $M(4\text{døgn}) = 21,3\text{g}$

Mens prøver 1F 20mm suger mer enn prøver 0,5F 20mm i en viss tid men ikke hele tidsperioden.

- 0,5F 20mm:  $M(10\text{min}) = 5,3\text{g}$ ,  $M(30\text{min}) = 8,4\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 11,7\text{g}$
- 1F 20mm:  $M(10\text{min}) = 5,5\text{g}$ ,  $M(30\text{min}) = 9,0\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 11,8\text{g}$

Vannoppsug tidsprofil er veldig interessant. I løpet kort tid i begynnelse ser det ut 1F 20mm suger vann relativt fort, men for 0F 20mm suger enda raskere.

- 0F 20mm: fra 4time til 5time øker vekt  $21,6 - 20,4 = 1,2\text{g/time}$
- 1F 20mm: fra 4time til 5time øker vekt  $19,6 - 18,8 = 0,8\text{g/time}$

For neste tidsperiode (6time – 4døgn) avtar hastigheten til vannoppsug for begge alle prøveserie, mens vannmengde for betong med fiber er mindre enn betong uten fiber.

40mm-prøvene har samme tendens som 20mm-prøvene. Det vil si at i tre 40mm-prøveserie, suger 0F 40mm mest vann, og 0,5F 40mm suger mer vann enn 1F 40mm.

## Diskusjon

Basaltfiber har en gunstig effekt på betongs kapillær oppsug. Men hva er grunn til at basaltfiber gir en den gode effekten?

Vannoppsug er i generelt avhengige med både poretypesandel og porestruktur. Vi sier at jo mer kapillarporeandel, jo mer betong kan suger vann. I vårt tilfelle ser det ut at basaltfiber gjør at betong har mindre kapillær poreandel eller kapillærporøsitet.

Men vannoppsug er avhengig med mange andre parameter også (ikke bare kapillar pore andel), for eksempel porestruktur, gel-, luft- og kapillarporefordeling i nettverk, tilsetningsstoff osv. Og på grunn av få prøver er det ikke nok grunnlag for å trekke endelig konklusjon om effekt av basaltfiber på vannoppsugingsevnen til betong. Men vi kan si at basaltfiber har en tendens av god effekt.

Tabell 8: Effektiv radius til betongprøver

Prøve	0F 20mm	0,5F 20mm	1F 20mm	0F 40mm	0,5F 40mm	1F 40mm
Effektiv radius, $r_{eff}$	4,34E-10	3,92E-10	4,651E-10	5,65E-10	5,14E-10	4,44E-10

Tabell 9: Teori-data av gjennomsnitt vektøkning  $M(t)$

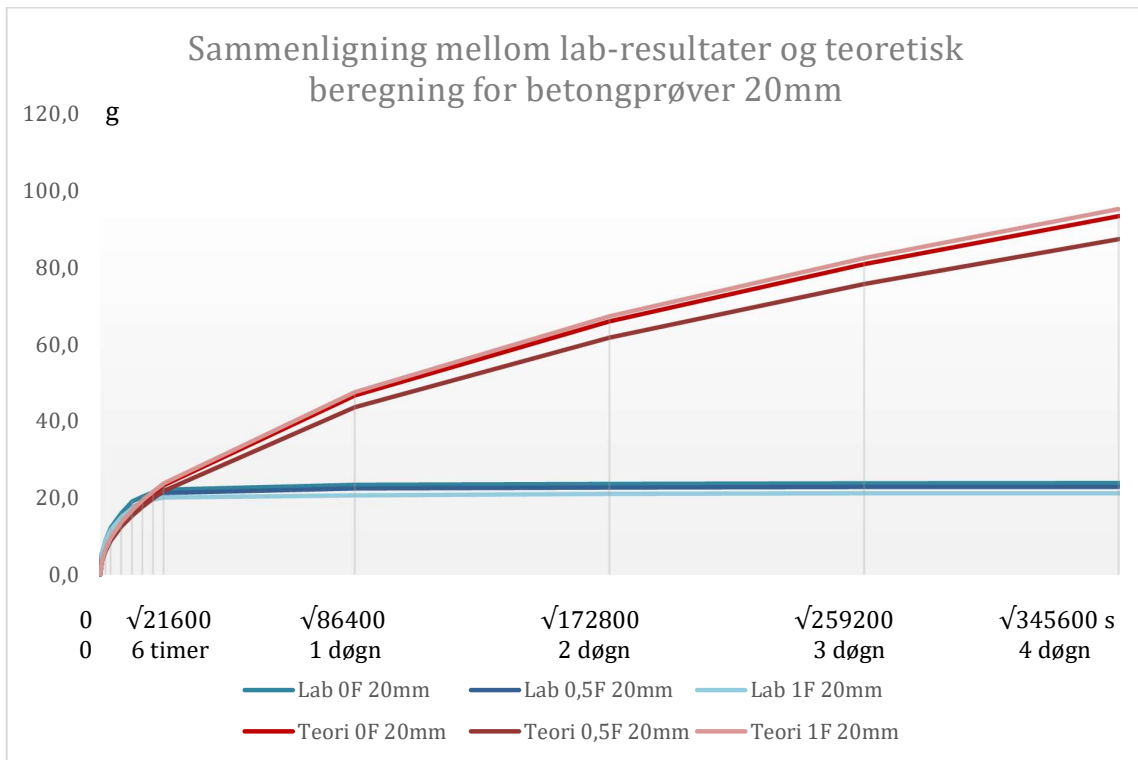
	Tid	0F 20mm	0,5F 20mm	1F 20mm	0F 40mm	0,5F 40mm	1F 40mm
Vektøkning, $M(t)$ etter	Start	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10 min	3,89	3,64	3,97	4,38	4,18	3,88
	30 min	6,74	6,31	6,87	7,58	7,23	6,72
	1 time	9,53	8,92	9,72	10,72	10,23	9,50
	2 timer	13,48	12,62	13,75	15,17	14,47	13,44
	3 timer	16,51	15,46	16,84	18,58	17,72	16,46
	4 timer	19,07	17,85	19,45	21,45	20,46	19,01
	5 timer	21,32	19,95	21,74	23,98	22,87	21,25
	6 timer	23,36	21,86	23,82	26,27	25,06	23,28
	1 døgn	46,71	43,72	47,63	52,54	50,12	46,56
	2 døgn	66,06	61,82	67,36	74,30	70,87	65,85
	3 døgn	80,90	75,72	82,50	91,00	86,80	80,65
	4 døgn	93,42	87,43	95,26	105,08	100,23	93,13

## Analyse

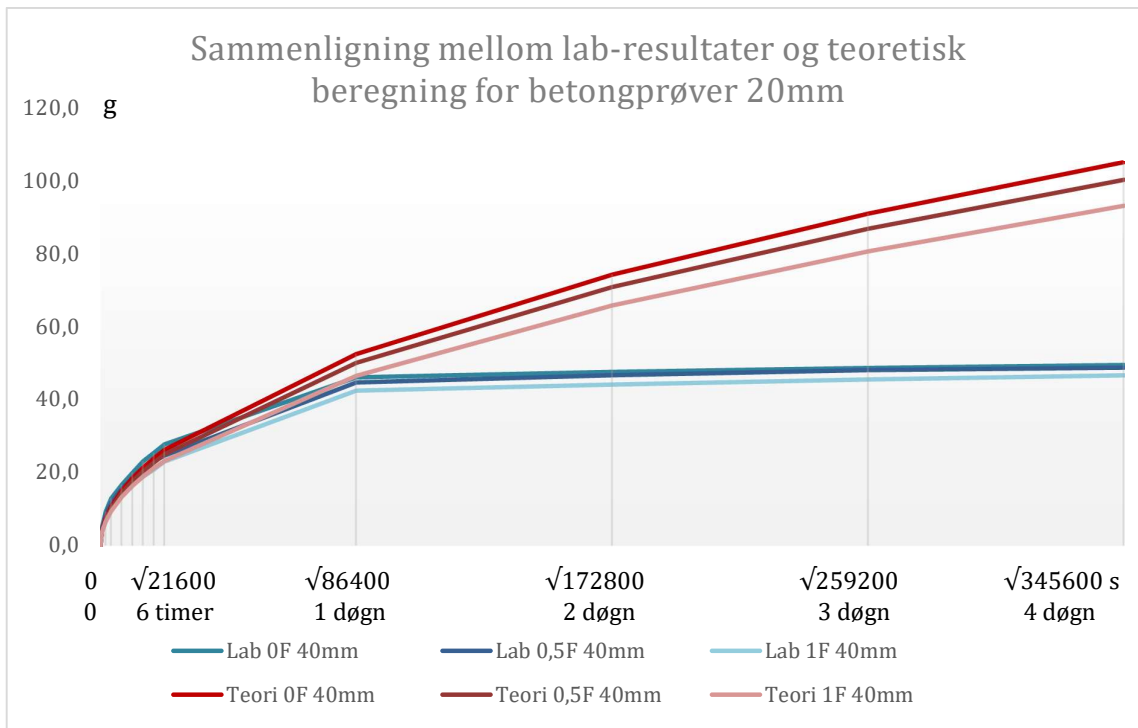
Tabell 9: Verdiene fra teori-data har samme tendens som verdier fra lab-data. Oppsugingsvannmengde er omvendt proporsjonal med fiberinnhold i betong. Dvs. prøver med fiber suger mindre vann enn prøver uten fiber, mens halvfiber prøver suger mer vann enn helfiber prøver. Men denne tendensen er ikke helt riktig for 20mm-prøvene, for at prøver 0,5F 20mm suger mindre vann enn prøver 1F 20mm.

- 0,5F 20mm:  $M(10\text{min}) = 3,64\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 8,92\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 12,62\text{g}$
- 1F 20mm:  $M(10\text{min}) = 3,97\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 9,72\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 13,75\text{g}$
- 0F 40mm:  $M(10\text{min}) = 4,38\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 10,72\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 15,17\text{g}$
- 0,5F 40mm:  $M(10\text{min}) = 4,18\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 10,23\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 14,47\text{g}$
- 1F 40mm:  $M(10\text{min}) = 3,88\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 9,50\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 13,44\text{g}$

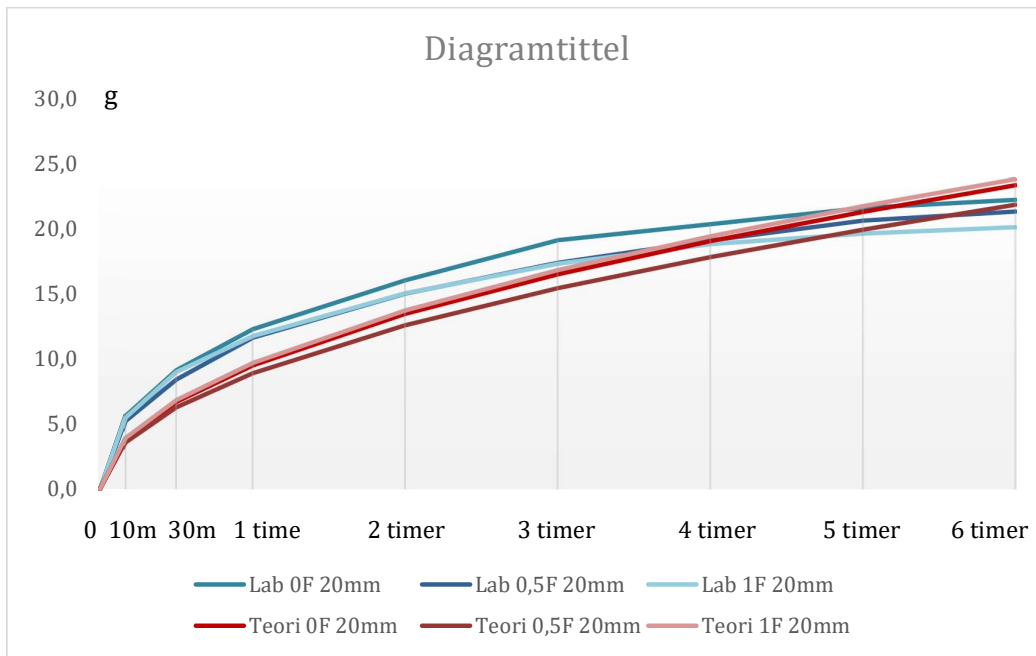
Det er verd å legge merke til, det er hastigheten av vannoppsug. Hastighet er relativ veldig rask i forhold til prøver med tykkelser 20 og 40mm. Og det er ingen tegn nedbremsing ned innen 4 døgn. Dette er helt forskjellig fra det faktiske eksperimentet i laboratoriet som vannoppsugehastigheten senker merkbart etter 6 timer for 20mm-prøver og etter 1 dag for 40mm-prøver. Se på figurene 26 og 27 for å se tydeligere denne forskjellen.



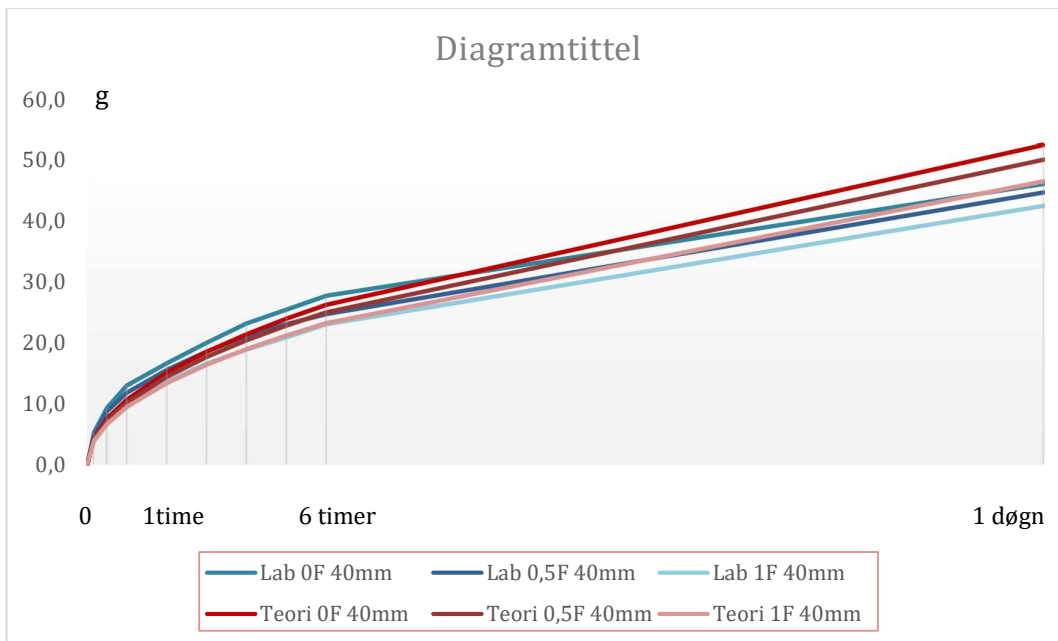
Figur 26: Sammenligner vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 20mm



Figur 27: Sammenligner vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm



Figur 28: Sammenligning kapillær vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm i 6 timer



Figur 29: Sammenligning kapillær vektøkning mellom lab-data og teori-data for prøver 40mm i 1 døgn

---

## Analyse

**Figur 26:** For 20mm-prøvene viser diagrammet at i starten (de første 6 timene), har begge lab-data og teori-data i generelt sett ikke mye avvik. Men hvis vi sammenligner verdier i *Tabell 7* og *9*, kan vi se at lab-prøver suger mer vann enn de “teori-prøver”.

- Lab 0F 20mm:  $M(30\text{min}) = 9,2\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 16,1\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 22,2\text{g}$
- Teori 0F 20mm:  $M(30\text{min}) = 6,74\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 13,48\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 23,36\text{g}$
- Lab 1F 20mm:  $M(30\text{min}) = 9,0\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 15,1\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 20,1\text{g}$
- Teori 1F 20mm:  $M(30\text{min}) = 6,87\text{g}$ ,  $M(2\text{time}) = 13,75\text{g}$ ,  $M(6\text{time}) = 23,82\text{g}$

Det ser ut avvik begynner å oppstå fra den 6. time. Lab-datas linjer vokser nesten i horisontal retning med en svært langsom økning, mens teori-datas linjer vokser utrolig med tid.

- Lab 1F 20mm:  $M(1\text{døgn}) = 20,7\text{g}$ ,  $M(2\text{døgn}) = 21,1\text{g}$ ,  $M(3\text{døgn}) = 21,2\text{g}$
- Teori 1F 20mm:  $M(1\text{døgn}) = 47,63\text{g}$ ,  $M(2\text{døgn}) = 67,36\text{g}$ ,  $M(3\text{døgn}) = 82,50\text{g}$

Sugehastighet for begge to datakilder er helt forskjellig i fase 2.

- Lab 1F 20mm: fra 2døgn til 3døgn øker vekt  $21,1 - 21,1 = 0,1\text{g/døgn}$
- Teori 1F 20mm: fra 2døgn til 3døgn øker vekt  $82,50 - 67,36 = 15,14\text{g/døgn}$

**Figur 27:** Generelt sett har 40mm-prøver samme tendens som 20mm-prøver. Forskjellen fra 20mm-prøven er at vannsugemengde er proporsjonal med fiberkomposisjonen i betongen, prøve 1F 40mm suger mer vann enn prøve 0,5F 40mm. I tillegg, prøvene har dobbel tykkelse, og det er faktisk mulig å suge mer vann enn 20mm-prøven i den slutte tidsperioden. Men teori-data viser ikke klart denne forskjellen.

- Teori 0F 20mm:  $M(2\text{døgn}) = 66,06\text{g}$ ,  $M(3\text{døgn}) = 80,90\text{g}$ ,  $M(4\text{døgn}) = 93,42\text{g}$
- Teori 0F 40mm:  $M(2\text{døgn}) = 74,30\text{g}$ ,  $M(3\text{døgn}) = 91,00\text{g}$ ,  $M(4\text{døgn}) = 105,08\text{g}$

**Figur 28:** Den er et forstørret figur av *Figur 26*. Figuren viser tydeligere avvik mellom teori-data og lab-data i den brukbare perioden av kvadrat rot modell. Ifølge veileders erfaring, for prøver med 20mm tykkelse, er kvadrat rot modell veldig nøyaktig i begynnelsen, og vektøkning fra teori-data og lab-data er alltid ganske samme. Men resultatet i *Figur 28* viser ikke sånn. I de første 3 timene suger “teori-prøver” mer vann enn lab-prøver.

- Lab 0F 20mm:  $M(30\text{min}) = 9,2\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 12,3\text{g}$ ,  $M(3\text{time}) = 19,1\text{g}$
- Teori 0F 20mm:  $M(30\text{min}) = 6,74\text{g}$ ,  $M(1\text{time}) = 9,53\text{g}$ ,  $M(3\text{time}) = 16,51\text{g}$

**Figur 29:** For 40mm-prøver er det ikke stor avvik. Resultatene viser tydelig den relative nøyaktigheten av kvadrat rot modell i starten.



---

## Diskusjon

I begynnelse kan kvadrat rot modell brukes til å beregne resultater med relativ nøyaktighet. Men den har fremdeles begrensninger som danner avvik. Figur 28 er et typisk eksempel for det avviket. Årsak kommer fra antagelsen av at alle porene i betong blir et pore. Siden porestruktur i betong er svært komplisert, er det vanskelig å beregne nøyaktig resultater med kvadrat rot modell. Selv om vi har bekreftet at antatt radius av poren endrer med tid, og vi har også satt ned avvik ved å ta effektiv radius for å beregne resultater (se vedlegg D). Men dette er ikke nok til å forbedre den kvadrat rot modellen. Dessuten tar vi hensyn til bare kapillærtransport i dette eksperimentet, mens det finnes andre transportmekanismer som forekommer, for eksempel diffusjonstranport. Objektive grunner kan også forårsake feiler. For eksempel, eksperimenter utføres ikke på en riktig standardisert prosedyre.

Avvik er mer åpenbare i slutten av eksperiment, så kvadrat rot modell vil gi stor feil/ avvikk. Som har omtalt i kapittel “3.2.3 *Transportmekanismer*”. I praksis, etter en viss tid, når vann blir suget opp til 2/3 av tykkelsen av betongprøve, avtar kapillærkraft mye. Det er fordi den kapillærkraften må trekke ekstra vann som har blitt suget inn i porene. På denne tiden blir diffusjonstranport, som med en svært langsom sugehastighet, gradvis erstattet kapillærkraft. Inntil kapillærkraften er helt tapt, er transportmekanismen hovedsakelig diffusjon. Men kvadrat rot modell bygges på kapillærteori og tar ikke hensyn til porene som har blitt fylt med vann. Derfor øker oppsugevanngmengden etter tid. Dette forklarer hvorfor oppsugevanngmengde av to 20mm- og 40mm prøver er ganske samme etter 4 døgn.

Gjennom årsakene som er skissert overfor, får vi vite at konstant rørets radius er en begrensning av kvadrat rot modell. Basert på dette har vi grunnlag til å modifisere den modellen bedre som skal omtale i kapittel “7. *Videre arbeider*”.

---

## 6 Konklusjon

I denne oppgaver vi har studert effekt av basaltfiber på betongs trykkfasthet og vannoppsugingsevne. Vi har utført 2 testinger:

- Trykkfasthet testing ble utført på 3 betongtyper: uten basaltfiber, med 21mm basaltfiber og 43mm basaltfiber. Betongprøver ble brukt i denne testing er 6 terninger på 100x100x100mm for hver betongtyper.
- Vannoppsug testing ble gjennomført ved kapillært vannoppsug på samme betongtyper som nevnt overfor. Betongprøver er sylindere på 20mm og 40mm tykkelse. Vi anvender kvadrat rot modell for forutsi vannoppsugemengde in i betongs porestruktur. Deretter sammenligner vi resultater fra lab-data og teori-data.

### Trykkfasthet

Gjennom resultatene av trykkfasthetstesting trekker vi konklusjoner som er relevante til effekten av basaltfiberbruk og basaltfiberlengde på betongs trykkfasthet. Prøver med basaltfiber gir bedre resultater (trykkfasthet øker 2-6%). Derfor kan vi ha en tro at basaltfiber har en gunstig effekt på trykkfasthet.

21mm basaltfiber gir effekt med en økning bare på ca. 1MPa i forhold til referanse betong. 43 mm basaltfiber gir bedre resultater med en økning på 3-4 MPa. Basert bare få prøver er det ikke nok grunnlag for å verifisere effekten av fiberlengden på betongfasthet.

### Vannoppsug

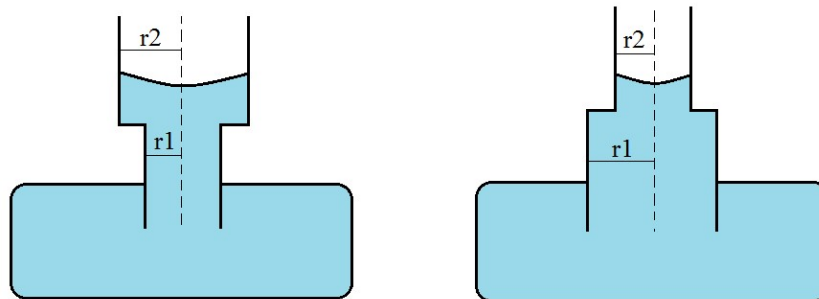
Resultater presenterer at kapillær sugeshastighet kommer an på tykkelsen av betongprøver. Tykke prøver gir langsommere kapillær sugeshastighet. For eksempel, kapillærkraft suger mest i de først 6 timene i 20mm prøver, med 40mm-prøver er det i hele den første dagen. I praksis avtar kapillærkraft med tid på grunn av at den må trekke vannet som har blitt suget allerede i porer. Det kan vi også se en tendens at oppsugingsvannmengde er omvendt proporsjonal med fiberinnhold i betong. Jo mindre basaltfiberinnhold, jo mer vann blir suget inn.

Kvadrat rot modell er nøyaktig i bare den første tidsperioden. Etterpå blir avvik større med tid. Det er fordi den modellen kan ikke beskrive komplisert porestruktur i betong. Aktuell grunnen er at modellen tar hensyn til bare tid men ikke oppsuget vannmengde i poren. Dessuten er konstant radius en begrensningen til kvadrat rot modellen og den reduserer nøyaktighet av kapillær resultat.

## 7 Videre arbeider

For å evaluere effekt av fiber på trykkfasthet, trenger vi flere eksperimenter hvor vi test trykkfasthet med mange prøver (for eks 1000 prøver) med forskjellige dimensjoner. Strekkfasthet til betong er også en viktig mekaniske egenskaper. Vi bør ha strekkfasthetstesting til betong med og uten basaltfiber. Slik at vi kan på sikt trekke klar og tydelig konklusjon om fiber har eller ikke har gunstig effekt på betong mekaniske egenskaper. En annet relevant problemstilling er fiberlengde ha noe effekt på betong mekaniske egenskaper. For å svar på dette spørsmålet tror jeg at det krever mye og omfatte arbeid, hvor for eksempel vi kan 'se' effekt av fiberlengde på porestrukturen til betong.

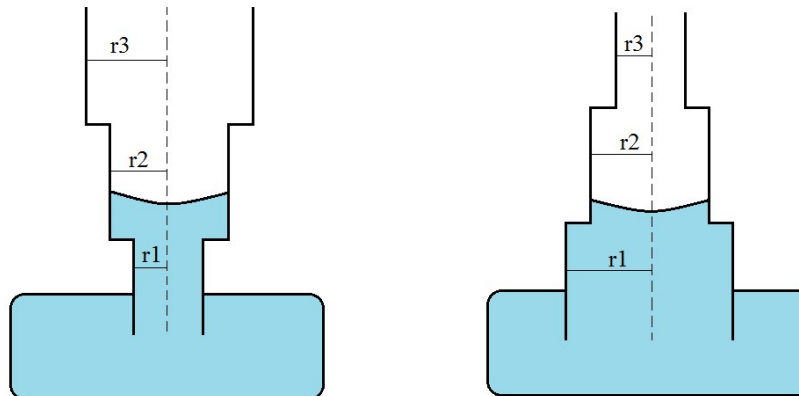
Kvadrat-rot-modell har en klar begrensing. Den bygge på et 'rør-sug-modell'. Det er helt klar et rør modell kan ikke beskrive komplisert porestruktur med variere poretyper. Derfor for å forbedre kvadrat-rot-modell, vi kan utvide et rør-sug-modell til en to-radius-rør-modell. *Figur 30* vise et rør med to radius modell.



*Figur 30: To radius rør modell*

Denne modellen er basert kombinasjon av tre krefter: drivkraft (kapillarkraft) som drar vannsøyle opp og tyngde kraften som trekker vannsøyle ned og sugekraft som er fra avvik av radius  $r$  og areal  $A$  ( $v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$ ).

Basert på den metode kan vi deretter utvikle til modell med varierte radius.



*Figur 31: Ulike radius rør modell*

---

## 8 Referanser

- [1] MAGNE MAAGE, Betong: regelverk, teknologi og utførelse, 2015.
- [2] WIKIPEDIA, Nov 2018. [Internett]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/Betong>.
- [3] JACOBSEN, TKT 4215 Concrete technology, Trondheim: NTNU, 2013.
- [4] PÅL GJERP, MORTEN OPSAHL og SVERRE SMEPLASS, Grunnleggende betongteknologi, 2004.
- [5] NORCEM, Standardsement, 2015.
- [6] FATHIMA IRINE, Strength aspect of basalt fiber reinforced concrete, 2014.
- [7] RAMEDEVI, CHITHRA og RAJESH, Experiment study on strength properties of concrete with different aspect ratios of basaltfiber, 2017.
- [8] JONGSUNG SIM, CHEOLWOO PARK og DO YOUNG MOON, Characteristics of basaltfiber as a strengthening material for concrete structures, 2005.
- [9] TAMÁS DEÁK, Chemical Composition and Mechanical Properties of Basalt and Glass Fibers: A Comparison, 2009.
- [10] ROSSI, Ultra-high-performance fiber-reinforced concretes, 2001.
- [11] STATENS VEGVESEN, R210 Laboratorieundersøkelse, 2014.
- [12] ARNE AALBERG, ROLF ANDRE BOHNE og STEFAN JACOBSEN, Bygnings- Og Konstruksjonsmaterialer, 2010.
- [13] TANG,L. og NILSSON, L.O., Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field, 1992.
- [14] NS-EN 206, Betong spesifisering, egenskaper, framstilling og samsvar.

- 
- [15] NS-EN 12350, Prøving av fersk betong - Del 2: synkmål.
- [16] NS-EN 12390-2 , Prøving av herdnet betong – Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetprøving.
- [17] NS-EN 14845-1, Prøvingsmetoder for fibere i betong - Del 1: Referansebetong.
- [18] NS-EN 14845-2, Prøvingsmetoder for fibere i betong - Del 2: Effekt på styrke.
- [19] NS-EN 12390-4, Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner.
- [20] NS-EN 12390-1, Prøving av herdnet betong - Del 1: Form, mål og andre krav il prøvelegemer og former.

## 9 Vedlegg

### Vedlegg A

Resepten til referansebetong fra Hålogaland Grus & Betong AS

Hålogaland Grus & Betong AS

Nedre Øyra 15

8514 Narvik

Tel.: 76 96 57 90

W...: www.hgb.no - @...: saf@hgb.no

Resept: 30050 ~ B-30,M60,CL010,R50%,DM22

#### Proporsjonering

Synkmål	: 240
Luft	: 1,6
Ekv. sement	: 383,178
Samlet vannbehov	: 205,000

Materialer	Kilo/m <sup>3</sup> VOT	Vanninnhold	Kilo/m <sup>3</sup>	Pris/Kg	Pris/m <sup>3</sup>	CO2/m <sup>3</sup>
Sand 1 0-8 Beisfjord	635,611	0,00	635,611	0,1450		0,00
Pokk 4 8-22 Rombak	236,857	0,30	237,564	0,1400		0,00
Pokk 6 8-22 Rombak	236,857	0,00	236,857	0,1400		0,00
Sand 2 0-8 Beisfjord	635,611	0,00	635,611	0,1450		0,00
Standard FA	383,178	0,00	383,178	1,0580		0,00
Vann Kald	202,787	100,00	202,081	0,0010		0,00
Vann Varm	0,000	100,00	0,000	0,2500		0,00
Dynamon SX-23	2,874	77,00	2,874	0,0000		0,00
	2333,775			2333,775		0,00

#### NS206

	Resultat	Krav	Ok			
Vannbehov (Fri)	205,000	-				
Effektiv bindemiddel (Fri)	383,178	-				
V/C fri beregning	0,535	-				
Vandbehov (EN206)	205,000	-				
Effektiv Bindemiddel (EN206)	383,178	250,000	✓			
V/C i henhold til EN206	0,535	0,540	✓			
Effektiv bindemiddel mengde fratrukk	0,000	-				
Bindemiddel (total kg)	383,178	-				
Luft %	1,600	-				
Beregnet m <sup>3</sup>	1,000	-				
Alkaliinnhold	5,799	-				
Kloridinnhold	0,088	0,100	✓			
Andel reaktiv tilslag %	9,396	-				
Flyveaske/bindemiddel forhold	0,180	0,350	✓			
Silika/bindemiddel forhold	0,000	0,110	✓			
Flyveaske, Ren sement andel	78,000	65,000	✓			
Slagg, Ren sement andel	0,000	-				
Matriksvolum eks. luft (l)	367,284	-				
Sementpastavolum (l)	332,768	-				
Min. fillerinnhold:	0,000	-				
Max. Ekvivalent alkaliforhold:	0,000	-				
Samlet vurdering			✓			

## Vedlegg B

### Lab-data av referansebetongprøver

Vekt (g)		Prøvestykke merket					
		OF 20mm A	OF 20mm B	OF 20mm C	OF 40mm A	OF 40mm B	OF 40mm C
Tørking (g1)		283,6	285,2	277,0	634,1	632,1	593,4
Kapillærsugingsvekt etter	Start	284,2	285,9	277,6	635,7	633,6	594,8
	10 min	289,5	291,7	283,5	640,8	637,0	602,1
	30 min	293,6	295,6	286,0	645,0	640,0	607,2
	1 time	296,5	298,6	289,5	648,7	644,2	610,3
	2 timer	300,7	302,9	292,3	651,8	648,5	613,9
	3 timer	304,1	305,9	295,1	655,3	650,8	618,1
	4 timer	305,5	307,1	296,2	657,9	653,4	622,4
	5 timer	306,3	308,6	297,6	660,4	655,1	625,1
	6 timer	307,1	309,1	298,2	662,6	657,5	627,3
	1 døgn	308,6	310,1	299,3	679,5	677,2	645,8
	2 døgn	308,8	310,3	299,6	681,1	679,3	646,7
	3 døgn	309,0	310,5	299,7	682,5	680,2	647,5
	4 døgn	309,1	310,7	299,7	683,2	681,0	648,5
Vannmetting (g2)		309,5	311,1	300,1	685,3	683,7	650,2
Volum (cm3)		132,1	132,0	125,3	288,4	276,8	280,2
Kapillærporøsitet %		19,61	19,62	18,44	17,75	18,64	20,27

### Lab-data av betongprøver med basaltfiber 21mm

Vekt (g)		Prøvestykke merket					
		0,5F 20mm A	0,5F 20mm B	0,5F 20mm C	0,50F 40mm A	0,5F 40mm B	0,5F 40mm C
Tørking (g1)		262,1	290,5	283,3	629,4	641,2	599,4
Kapillærsugingsvekt etter	Start	263,1	291,5	284,4	631,0	642,8	601,3
	10 min	268,6	297,2	289,0	635,4	646,8	606,8
	30 min	272,9	300,1	291,3	638,8	651,4	611,3
	1 time	275,7	303,7	294,6	641,2	654,4	615,0
	2 timer	279,9	306,9	297,3	644,7	657,7	619,5
	3 timer	281,7	309,1	300,4	647,6	660,5	622,9
	4 timer	283,5	311,7	301,1	649,9	663,0	625,6
	5 timer	284,5	313,5	302,9	651,4	665,5	627,6
	6 timer	285,3	313,9	303,8	652,7	666,9	629,8
	1 døgn	286,9	315,0	304,6	674,4	685,1	649,8
	2 døgn	287,1	315,2	304,9	676,1	686,8	652,5
	3 døgn	287,2	315,4	305,1	677,8	687,9	653,7
	4 døgn	287,2	315,4	305,2	678,2	688,7	654,6
Vannmetting (g2)		287,7	315,9	305,7	681,3	691,2	656,7
Volum (cm3)		120,2	136,7	132,2	292,0	291,9	288,0
Kapillærporøsitet %		21,30	18,58	16,94	17,77	17,13	19,90

Lab-data av betongprøver med basaltfiber 43mm

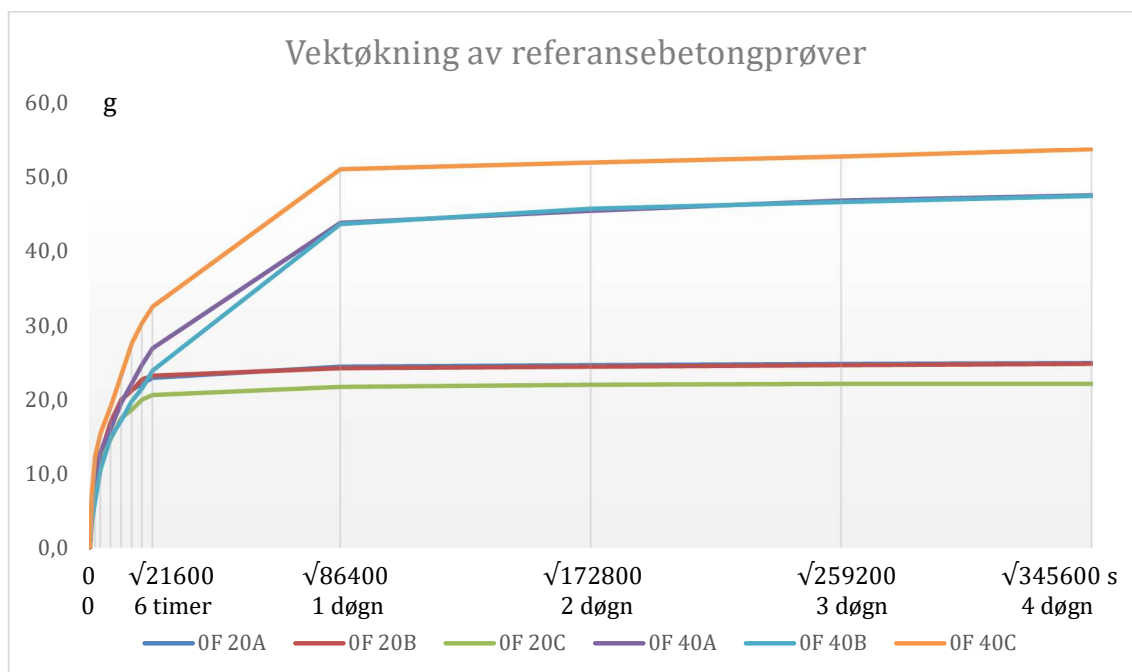
Vekt (g)		Prøvestykke merket					
		1F 20mm A	1F 20mm B	1F 20mm C	1F 40mm A	1F 40mm B	1F 40mm C
Tørking (g1)		265,3	302,6	287,2	654,2	673,2	596,0
Kapillærsugingsvekt etter	Start	266,0	303,5	288,1	655,8	674,8	597,8
	10 min	270,8	308,5	294,9	660,2	677,7	603,2
	30 min	274,2	312,0	298,5	663,7	680,2	606,8
	1 time	276,1	315,2	301,6	666,7	682,5	610,2
	2 timer	279,3	318,8	304,7	670,2	685,2	614,2
	3 timer	281,2	321,5	306,9	673,1	687,6	617,6
	4 timer	283,0	323,0	308,1	675,4	689,5	620,3
	5 timer	284,1	323,8	308,6	677,4	691,1	622,7
	6 timer	284,9	324,1	309,0	679,6	692,9	625,1
	1 døgn	285,5	324,6	309,7	697,5	713,5	645,0
	2 døgn	285,9	324,9	310,1	698,8	715,6	646,5
	3 døgn	286,1	325,0	310,2	700,2	717,4	647,6
	4 døgn	286,1	325,1	310,2	701,1	718,9	648,5
Vannmetting (g2)		286,7	325,6	310,5	703,9	720,1	651,2
Volum (cm3)		122,8	134,3	129,4	281,2	289,6	287,8
Kapillærporøsitet %		17,43	17,13	18,01	17,67	16,19	19,18



## Vedlegg C

Lab-data: vektøkning av referansebetongprøver

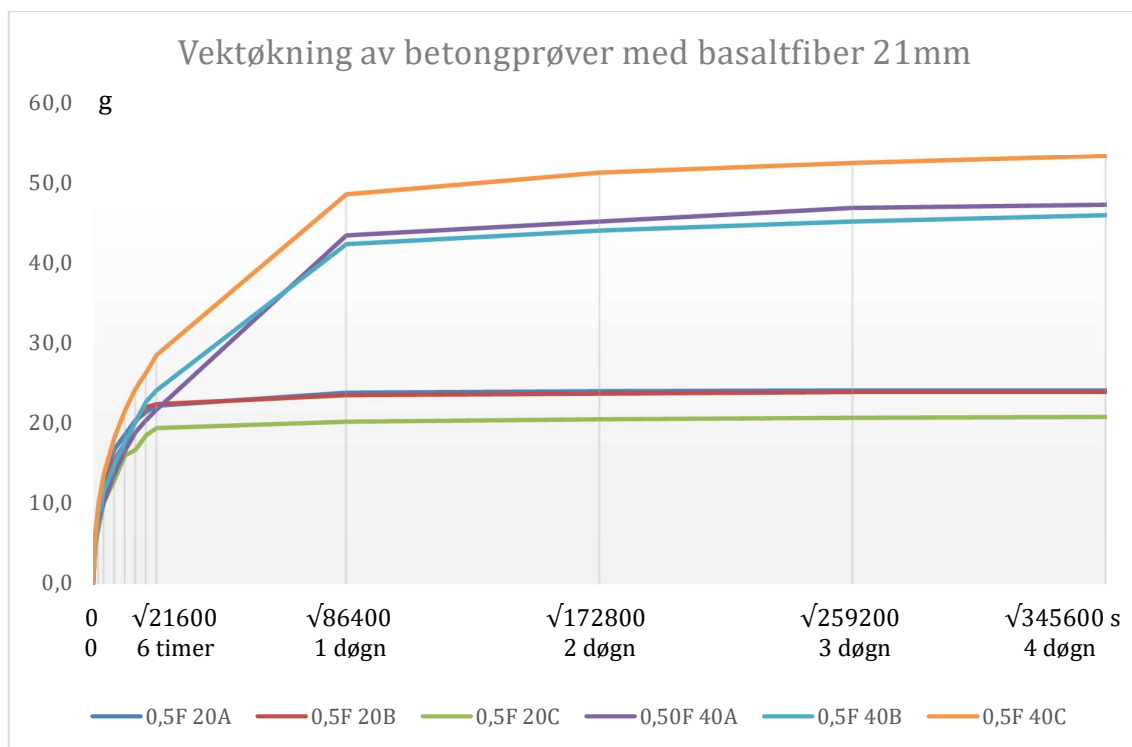
Vekt (g)		Prøvestykke merket					
		OF 20mm A	OF 20mm B	OF 20mm C	OF 40mm A	OF 40mm B	OF 40mm C
Vektøkning, M(t) etter	Start	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	10 min	5,3	5,8	5,9	5,1	3,4	7,3
	30 min	9,4	9,7	8,4	9,3	6,4	12,4
	1 time	12,3	12,7	11,9	13,0	10,6	15,5
	2 timer	16,5	17,0	14,7	16,1	14,9	19,1
	3 timer	19,9	20,0	17,5	19,6	17,2	23,3
	4 timer	21,3	21,2	18,6	22,2	19,8	27,6
	5 timer	22,1	22,7	20,0	24,7	21,5	30,3
	6 timer	22,9	23,2	20,6	26,9	23,9	32,5
	1 døgn	24,4	24,2	21,7	43,8	43,6	51,0
	2 døgn	24,6	24,4	22,0	45,4	45,7	51,9
	3 døgn	24,8	24,6	22,1	46,8	46,6	52,7
	4 døgn	24,9	24,8	22,1	47,5	47,4	53,7



Lab-data: vektøkning av referansebetongprøver

Lab-data: vektøkning av betongprøver med basaltfiber 21mm

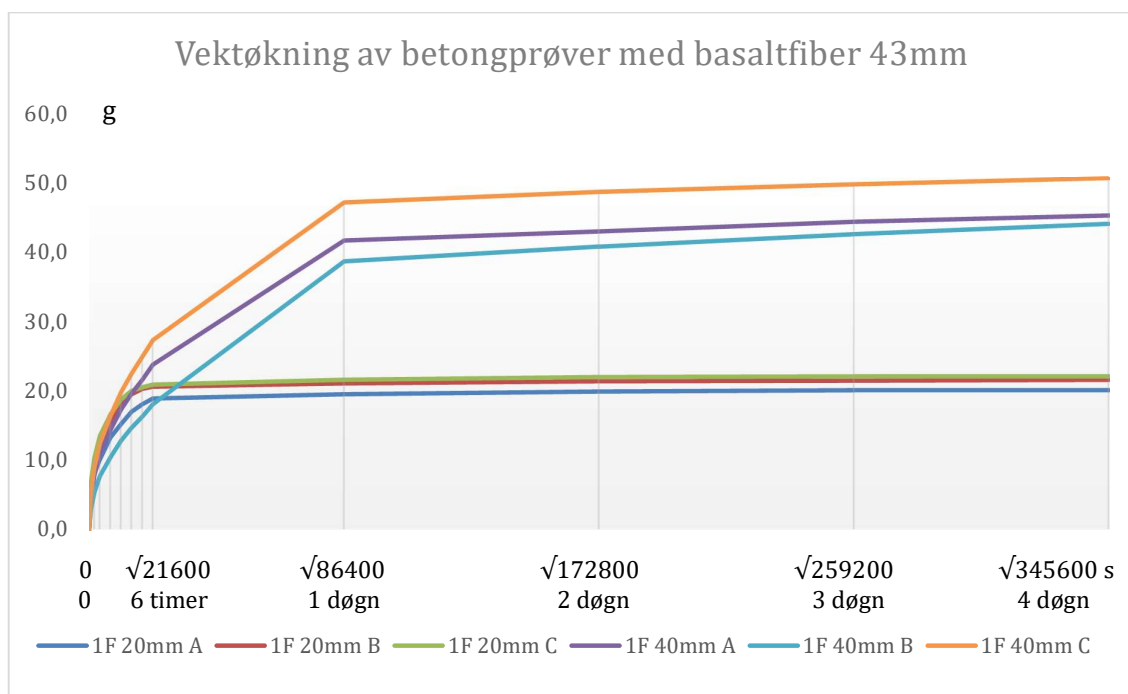
Vekt (g)		Prøvestykke merket					
		0,5F 20mm A	0,5F 20mm B	0,5F 20mm C	0,50F 40mm A	0,5F 40mm B	0,5F 40mm C
Vektøkning, M(t) etter	Start	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	10 min	5,5	5,7	4,6	4,4	4,0	5,5
	30 min	9,8	8,6	6,9	7,8	8,6	10,0
	1 time	12,6	12,2	10,2	10,2	11,6	13,7
	2 timer	16,8	15,4	12,9	13,7	14,9	18,2
	3 timer	18,6	17,6	16,0	16,6	17,7	21,6
	4 timer	20,4	20,2	16,7	18,9	20,2	24,3
	5 timer	21,4	22,0	18,5	20,4	22,7	26,3
	6 timer	22,2	22,4	19,4	21,7	24,1	28,5
	1 døgn	23,8	23,5	20,2	43,4	42,3	48,5
	2 døgn	24,0	23,7	20,5	45,1	44,0	51,2
	3 døgn	24,1	23,9	20,7	46,8	45,1	52,4
	4 døgn	24,1	23,9	20,8	47,2	45,9	53,3



Lab-data: Vektøkning av betongprøver med basaltfiber 21mm

Lab-data: vektøkning av betongprøver med basaltfiber 43mm

Vekt (g)		Prøvestykke merket					
		0,5F 20mm A	0,5F 20mm B	0,5F 20mm C	0,50F 40mm A	0,5F 40mm B	0,5F 40mm C
Vektøkning, M(t) etter	Start	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	10 min	4,8	5,0	6,8	4,4	2,9	5,4
	30 min	8,2	8,5	10,4	7,9	5,4	9,0
	1 time	10,1	11,7	13,5	10,9	7,7	12,4
	2 timer	13,3	15,3	16,6	14,4	10,4	16,4
	3 timer	15,2	18,0	18,8	17,3	12,8	19,8
	4 timer	17,0	19,5	20,0	19,6	14,7	22,5
	5 timer	18,1	20,3	20,5	21,6	16,3	24,9
	6 timer	18,9	20,6	20,9	23,8	18,1	27,3
	1 døgn	19,5	21,1	21,6	41,7	38,7	47,2
	2 døgn	19,9	21,4	22,0	43,0	40,8	48,7
	3 døgn	20,1	21,5	22,1	44,4	42,6	49,8
	4 døgn	20,1	21,6	22,1	45,3	44,1	50,7



Lab-data: Vektøkning av betongprøver med basaltfiber 43mm

## Vedlegg D

### Effektiv radius av 20mm-betongprøver

Tid	OF 20mm			0,5F 20mm			1F 20mm		
	M(t) [g]	H(t) [m]	r(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	r(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	r(t) [m]
10 min	5,7	0,0038	9,20E-10	5,3	0,0035	8,18E-10	5,5	0,0040	1,06E-09
30 min	9,2	0,0061	8,03E-10	8,4	0,0057	7,00E-10	9,0	0,0066	9,38E-10
1 time	12,3	0,0082	7,22E-10	11,7	0,0078	6,69E-10	11,8	0,0086	7,96E-10
2 timer	16,1	0,0106	6,16E-10	15,0	0,0101	5,56E-10	15,1	0,0110	6,52E-10
3 timer	19,1	0,0127	5,83E-10	17,4	0,0117	4,96E-10	17,3	0,0126	5,76E-10
4 timer	20,4	0,0135	4,95E-10	19,1	0,0128	4,49E-10	18,8	0,0137	5,10E-10
5 timer	21,6	0,0143	4,46E-10	20,6	0,0139	4,19E-10	19,6	0,0143	4,43E-10
6 timer	22,2	0,0147	3,93E-10	21,3	0,0143	3,73E-10	20,1	0,0146	3,88E-10
1 døgn	23,4	0,0155	1,09E-10	22,5	0,0151	1,04E-10	20,7	0,0151	1,03E-10
2 døgn	23,7	0,0157	5,57E-11	22,7	0,0153	5,29E-11	21,1	0,0153	5,33E-11
3 døgn	23,8	0,0158	3,77E-11	22,9	0,0154	3,58E-11	21,2	0,0154	3,60E-11
4 døgn	23,9	0,0159	2,85E-11	22,9	0,0154	2,69E-11	21,3	0,0155	2,71E-11
	Effektiv radius:		<b>4,34E-10</b>	Effektiv radius:		<b>3,92E-10</b>	Effektiv radius:		<b>4,65E-10</b>

### Effektiv radius av 40mm-betongprøver

Tid	OF 40mm			0,5F 40mm			1F 40mm		
	M(t) [g]	H(t) [m]	r(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	r(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	r(t) [m]
10 min	5,3	0,0036	8,23E-10	4,6	0,0032	6,81E-10	4,2	0,0030	6,07E-10
30 min	9,4	0,0063	8,68E-10	8,8	0,0061	8,19E-10	7,4	0,0054	6,24E-10
1 time	13,0	0,0088	8,40E-10	11,8	0,0083	7,40E-10	10,3	0,0074	6,02E-10
2 timer	16,7	0,0113	6,90E-10	15,6	0,0109	6,43E-10	13,7	0,0099	5,32E-10
3 timer	20,0	0,0135	6,62E-10	18,6	0,0130	6,12E-10	16,6	0,0120	5,20E-10
4 timer	23,2	0,0156	6,65E-10	21,1	0,0147	5,90E-10	18,9	0,0136	5,06E-10
5 timer	25,5	0,0172	6,43E-10	23,1	0,0161	5,66E-10	20,9	0,0151	4,94E-10
6 timer	27,8	0,0187	6,35E-10	24,8	0,0173	5,41E-10	23,1	0,0166	5,00E-10
1 døgn	46,1	0,0311	4,39E-10	44,7	0,0312	4,41E-10	42,5	0,0306	4,25E-10
2 døgn	47,7	0,0321	2,34E-10	46,8	0,0326	2,41E-10	44,2	0,0318	2,29E-10
3 døgn	48,7	0,0328	1,63E-10	48,1	0,0335	1,70E-10	45,6	0,0329	1,63E-10
4 døgn	49,5	0,0334	1,26E-10	48,8	0,0340	1,31E-10	46,7	0,0336	1,28E-10
	Effektiv radius:		<b>5,66E-10</b>	Effektiv radius:		<b>5,15E-10</b>	Effektiv radius:		<b>4,44E-10</b>

## Vedlegg E

*Teori-data: vektøkning av betongprøver 20mm*

Tid	OF 20mm		0,5F 20mm		1F 20mm	
	H(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	M(t) [g]
10 min	0,0026	3,89	0,0025	3,64	0,0027	3,97
30 min	0,0045	6,74	0,0042	6,31	0,0046	6,87
1 time	0,0063	9,53	0,0060	8,92	0,0065	9,72
2 timer	0,0089	13,48	0,0085	12,62	0,0092	13,75
3 timer	0,0109	16,51	0,0104	15,46	0,0113	16,84
4 timer	0,0126	19,07	0,0120	17,85	0,0131	19,45
5 timer	0,0141	21,32	0,0134	19,95	0,0146	21,74
6 timer	0,0155	23,36	0,0147	21,86	0,0160	23,82
1 døgn	0,0310	46,71	0,0294	43,72	0,0320	47,63
2 døgn	0,0438	66,06	0,0416	61,82	0,0453	67,36
3 døgn	0,0536	80,90	0,0509	75,72	0,0555	82,50
4 døgn	0,0619	93,42	0,0588	87,43	0,0641	95,26

*Teori-data: vektøkning av betongprøver 40mm*

Tid	OF 40mm		0,5F 40mm		1F 40mm	
	H(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	M(t) [g]	H(t) [m]	M(t) [g]
10 min	0,0029	4,38	0,0028	4,18	0,0026	3,88
30 min	0,0051	7,58	0,0049	7,23	0,0045	6,72
1 time	0,0072	10,72	0,0069	10,23	0,0064	9,50
2 timer	0,0102	15,17	0,0097	14,47	0,0090	13,44
3 timer	0,0125	18,58	0,0119	17,72	0,0111	16,46
4 timer	0,0144	21,45	0,0138	20,46	0,0128	19,01
5 timer	0,0161	23,98	0,0154	22,87	0,0143	21,25
6 timer	0,0177	26,27	0,0169	25,06	0,0157	23,28
1 døgn	0,0353	52,54	0,0337	50,12	0,0313	46,56
2 døgn	0,0500	74,30	0,0477	70,87	0,0443	65,85
3 døgn	0,0612	91,00	0,0584	86,80	0,0542	80,65
4 døgn	0,0707	105,08	0,0674	100,23	0,0626	93,13