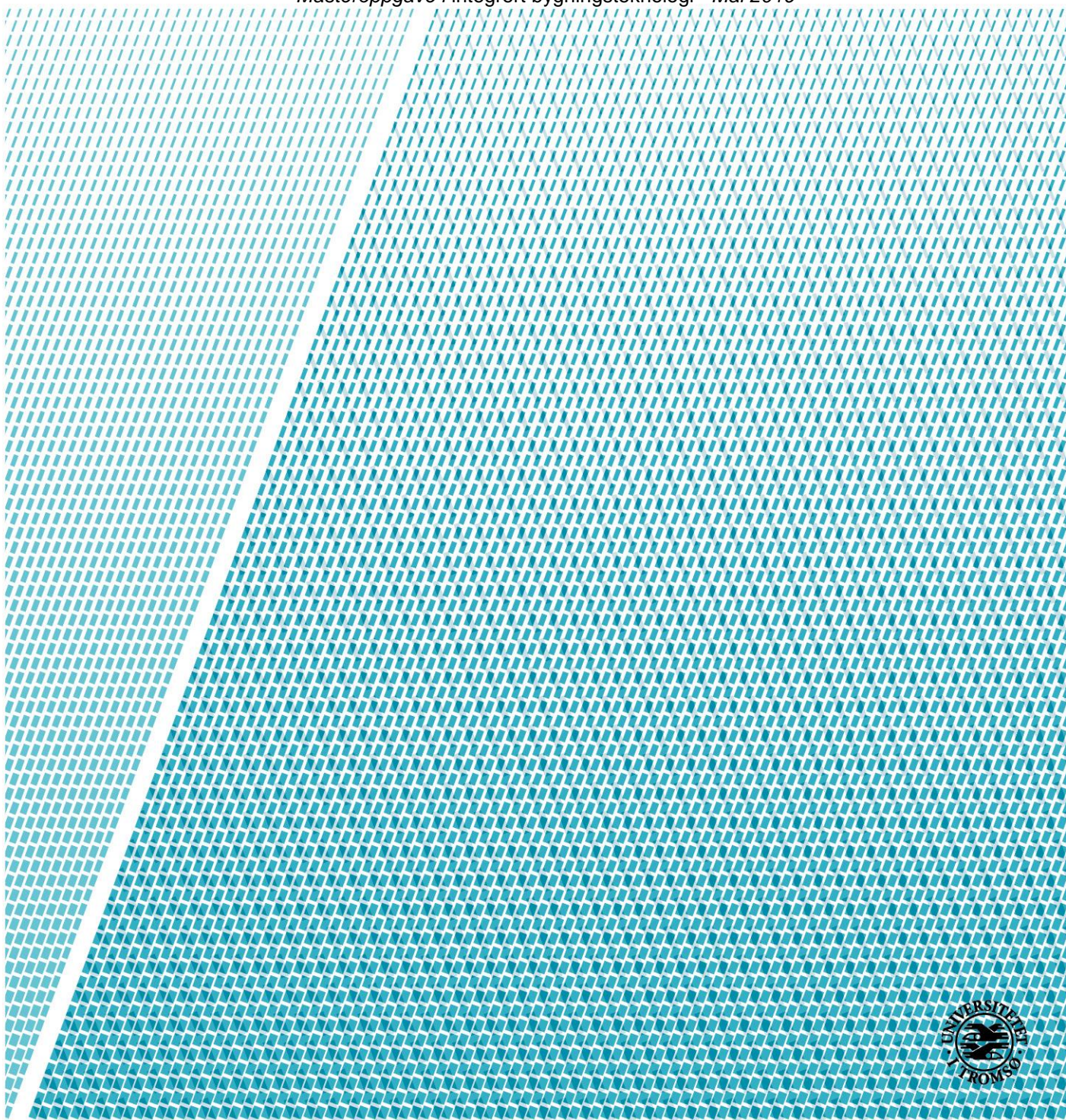


Effekt av Idrocrete KR 1000 på betongenporestruktur og permeabilitet

Effect of Idrocrete WP 1000 on concrete pore structure and permeability

Elvis Onyango Orony

Masteroppgave i integrert bygningsteknologi Mai 2019



MASTEROPPGAVE

for

Elvis Onyango

(Studentnummer 530381)

Vår 2019

Effekt av Idrocrete WP på betongporestruktur og permeabilitet

(Effect of Idrocrete WP 1000 on concrete permeability)

Bakgrunn

Betong er en av de mest brukte bygningsmaterialene i Norge og i verden. Betong er et komplisert materialet. 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 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 vært mye forskningsarbeid med hensikt å redusere poreandelen i betong, eller å blokkere porestruktur slik at permeabiliteten holdes lav. Idrocrete WP 1000 er et 'nytt' tilsetningsmateriale som har den egenskapen at det blokkerer porene i betong.

Begrensning av oppgaven

Permeabilitet er en viktig parameter i betong materialet. For å avgjøre om Idrocrete WP 1000 har en gunstig effekt på betongens permeabilitet eller ikke må det gjøres omfattende lab-arbeid: det må måles hvordan betongen suger til seg fuktighet, for eks. kapillær oppsug., eller/og måle fukt transport. I tillegg trenger vi en del fysiske modeller for å forutsi kapillar vannopsug (vannsopptatt) til betongen.

I denne oppgaven fokuserer vi på effekten av Idrocrete WP 1000 på permeabilitet, derfor begrenser vi bruk av andre del-materialer til betong. For eks. vi bruker ikke tilsetningsstoffer og/eller andre bindemidler (pozzolan – materialer). Vi fokuserer mest på eksperimentelt arbeide, så dette medføre at vi arbeider med kvadrat-rot-modell (Denne modell bygge på vann transport i et rør, og kapillær kreft er eneste driv kraften).

Arbeidet skal omfatte (men nødvendigvis ikke begrenses til)

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Teori rundt effekt av Idrocrete WP på betong permeabilitet, (spes. kaldt klima).
3. Teoretisk- Kvadrat-rot-modell
4. Lab-arbeid test kapillær-oppsug
5. lab-arbeid test fukt-transport i luftporer
6. Sammenligne teori og lab resultater.
7. Se om resultatene av teori er samstemme med lab data (støpe betong med/og uten Idrocrete).
8. Det skal utarbeides en vitenskapelig artikkel/Paper basert på besvarelsen, maks 6 sider. (Artikkelen kan sees på som er kortversjon av hele besvarelsen.)

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 arbeidsoppgavenes 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 Wiseflow.

Utleveringsdato:	07.01.2019
Innleveringsfrist:	16.05.2019, kl 1200
Kontaktperson bedrift:	
Veileder UiT - IVT:	1. am. Hung Thanh Nguyen Telefon: 76 96 62 49 E-post: hung.thanh.nguyen@uit.no

Hung Thanh Nguyen
Faglig ansvarlig/veileder

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Hensikt med oppgaven	1
1.2	Arbeidsomfanget:	1
1.3	Gjennomføring.....	1
1.4	Materialer.....	1
1.5	Aktualitet	2
2	Introduksjon	3
2.1	Tilsetningsstoffer	3
2.2	Trykkfasthet.....	4
2.3	Permeabilitet.....	4
2.3.1	Poretyper og Porestruktur.....	5
3	Teori	7
4	Laboratorie-arbeid.....	10
4.1	Trykkfasthet.....	10
4.1.1	Lab prosedyren.....	10
4.1.2	Resept.....	10
4.1.3	Utstyr.....	11
4.1.4	Tilslag.....	11
4.1.5	Blandeprosedyre.....	11
4.1.6	Synk test	11
4.1.7	Densitet.....	13

4.1.8	Test av trykkfashet	13
4.2	Kapillærsug.....	14
4.2.1	Lab prosedyren	14
4.2.2	Resept	14
4.2.3	Utstyr.....	14
4.2.4	Synktest	14
4.2.5	Densitet.....	14
4.2.6	Test av kapillærsug.....	15
4.3	Vanninntrenging	17
4.3.1	Lab prosedyren	17
4.3.2	Resept	17
4.3.3	Utstyr.....	17
4.3.4	Synktest	17
4.3.5	Densitet.....	17
5	Resultater og Analyse.....	18
5.1	Trykkfasthet.....	18
5.2	Kapillærsug.....	24
5.3	Vanninntrenging	31
6	Konklusjon	34
7	Fremtidarbeid	35
8	Referanser.....	36
9	Vedlegg	37

Tabellister

Tabell a. Resept.	10
Tabell b. Synkmål	12
Tabell c. Sammenligning av fasthetsutvikling.	18
Tabell d. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 7 dager.	19
Tabell e. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 7 dager.	20
Tabell f. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 14 dager.	20
Tabell g. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 14 dager.	21
Tabell h. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 28 dager.	21
Tabell i. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 28 dager.	22
Tabell j. Gjennomsnitt porøsitet av Ref.B35 prøven.	25
Tabell k. Gjennomsnitt porøsitet av prøven med tilsatt idrocrete.	25
Tabell l. Resultater for vanninntrengning.	33

Figurligste

Figur 1. fordeling av delmaterialer i betong.	3
Figur 2. . Fullstendig hydratisert blanding av vann og sement, forhold mellom v/c og porefordeling.	5
Figur 3. Illustrasjon av porennettverket i betong.	6
Figur 4. Sammenheng mellom v/c-tall, porevolum og trykkfasthet når luftporer ikke er tatt med.	6
Figur 5. Kapillærsug i en pore.	7
Figur 6. Idrocrete KR 1000 produkt.	10
Figur 7. Synktest for blanding med tilsatt Idrocrete KR 1000	12
Figur 8. Synktest for blanding uten tilsetningsstoffer.	12
Figur 9. Volum test.	13
Figur 10. Trykkmaskin	14
Figur 11. Kapillærsugtest	15
Figur 12. Prøvene i tørr skapet	16
Figur 13. Sammenligning av fasthetsutvikling illustrert.	19
Figur 14. Sammenligne porøsitet mellom Ref.B35 og I-B35. prøven.	25
Figur 15. Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og I-B35. prøven.	26
Figur 16. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×20mm Ref. B35).	27

Figur 17. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×40mm Ref. B35).....	28
Figur 18. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×20mm med I-B35.).....	29
Figur 19. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×40mm I-B35.).....	30
Figur 20. Vanninntrengning maskin.....	31
Figur 21. Vanninntrengning prøver etter observasjon.	32
Figur 22. illustrasjon av vanninntrengningsdybde.	32

Forord

Betong er en mest brukt bygningsmaterialer i verden. Den benyttes i mange bygnings formål for eks, bruer, oljeplattformer, kai, tunneler osv.

På grunn av hardt ekstrem vær i Norge og lang vinter periode, effektiviseringen av økonomi stiller høye krav til betong. Betongen skal kunne tåler mye trykkfasthet og strekkfasthet og ha lang holdbarhet.

I den siste tiden har det kommet mange forskjellige tilsetningsstoffer som har gunstig effekt på betong.

Denne oppgaven er utarbeidet som en del av masterstudiet Integrert bygning teknikk ved Universitet i Tromsø – Norges arktiske universitet (UiT). Oppgaven er en del av en 5-åring mastergrad og er gjennomført våren 2019. Arbeidet er utført over en periode på 20 uker, og tilsvare til sammen 30 studiepoeng.

Da jeg skulle velge masteroppgave virket temaet om betong interessant, så tok jeg kontakt med overingeniør i betong lab Boy-Arne Buyle da han nevnte at de hadde fått et produkt fra Italia (Milano) de ønsket å avklare hvordan det påvirke egenskaper til betong.

Masteroppgaven er gjennomført ved UiT som oppdragiver. Fagligveileder for oppgaven er førsteamanuensis Hung T. Nguyen.

Det har vært en spennende og utfordrende oppgave. Det har vist seg at dette ikke var feil og oppgaven har bydd på mange utfordringer både med teori, laboratoriearbeid og beregninger. Jeg har lært og utviklet kunnskapen min om betongs herde og poresystem.

Jeg vil gjerne takke min kyndige veileder, Hung Thanh Nguyen, som har vært til storhjelp med sin kunnskap, oppfølging og gode diskusjoner. Videre vil jeg takke Boy-Arne Buyle, Eirik Gjerløw og Bernt Åke Øverås for deres assistanse og for å stille med utstyr, laboratorium og materiale i min disposisjon. Alle andre som har gitt meg hjelp og veiledning underveis, dere er ikke glemt, Tusen takk.

Elvis Orony

Narvik 16/05/2019

Sammendrag

Oppgaven tar for seg et litteraturstudium hvor fokuset er betong teorien og hvordan tilsetningsstoffer påvirker betongens holdbarhet. I tillegg blir det gjort en praktisk del hvor den største delen av oppgaven er hovedsakelig på betong laboratoriet. Det skal blandes 2 forskjellige blandinger. En referanse blanding (Ref.B35) og en til blanding med samme resept, men dette skal inneholde en tilsetningsstoffer fra Mapei (Idrocrete KR 1000). Primært er fokuset på betongens porer struktur, noe som påvirker permeabiliteten. Permeabilitet er ord som benyttes om et materials evne til å slippe igjennom et stoff.

Testing og måling av idrocrete KR 1000 og hvordan den påvirke betong viser seg å være nødvendig for å sammenligne og for å se om produsentens mening om produktet stemmer. Det er viktig at bygningsmaterialer tilfredstiller krav for både styrke og holdbarhet. Skade på betongkonstruksjon koster vannvittig mye penger årlig å reparere/bygge. Ved å introdusere riktig produkter i markedet som kan bidra til å redusere kostnader og miljø belastning kan være svært gunstig for samfunnet.

I oppgaven skal alle resultater ble sammenlignet med teorien som er beskrevet i litteratur delen, tekniske beskrivelse fra Mapei og samtale og informasjon gitt av Dan Arve Juvik (Betongindustri Norden og Baltikum).

Gjennom kapillærsugmåling er det avdekket en del fysiske karakteristiskker som gir et bedre grunnlag for å vudere de bestandighetsrelaterte egenskapene i betong. Her viste Idrocrete KR 1000 noe interesanter verdier. Når det gjelder trykkfasthet får vi uforventet resultater. Ut ifra resultatene så bidra ikke den positiv til fasthetutvikling. I følge betong teknologi skal betong med mindre pore har høyere fasthet enn betong med mer pore. Men i vår tilfelle stemmer det ikke helt. Grunnen til at betong virker slik er enda ikke klar.

I kapillærsugtest virker betong med tilsatt idrocrete KR 1000 til å ha mer lukket porestruktur. Det vil si vi får lav porøsitet. Ved sammenligning mellom kvadrat-rot-modell og lab-data ser vi at resultatene stemmer godt øverens.

Gjennom eksperiment viser det seg at Idrocrete KR1000 har evne til å redusere kapillærpore andel. Noe som medføre til mindre sugsevnen.

Abstrakt

This thesis includes a literature study where the focus is concrete theory and how additives affect the durability of the concrete. In addition, there will be a practical part where the largest part of the task will undergo mainly on the concrete laboratory. Two different mixtures will be mixed. A reference mixture (Ref.B35) and another mixture with the same recipe, but this will contain an additive from Mapei (Idrocrete KR 1000). Primarily, the focus is on the concrete's pore structure, which affects the permeability. Permeability can be defined as the ability of a material to pass through a substance.

Testing and measuring the idrocrete KR 1000, and how it affects concrete proves to be necessary to compare and to see if the manufacturer's opinion about the product is correct. It is important that construction materials meet requirements for both strength and durability. Damage to concrete construction costs a lot of money annually to repair / build. Introducing the right products into the market that can help reduce costs and environmental impact can be very beneficial to the community.

In this thesis, all results are going to be compared with the theory described in the literature section, technical description from Mapei and conversation and information provided by Dan Arve Juvik (Concrete industry Nordic and Baltic).

Through capillary suction, some physical characteristics have been uncovered which provide a better basis for evaluating the resistance-related properties of concrete. Here Idrocrete KR 1000 showed some interesting values. When it comes to compressive strength, we get unexpected results. Based on the results, it does not contribute positively to solidarity development. According to concrete technology, concrete with fewer pores must have better compressive strength than concrete with more pore. But in our case the teori does not quite apply. The reason why the concrete tests give these results is not yet clear.

In capillary suction test, the concrete with Idrocrete KR 1000 added to it seems to have more closed porestructure. This means we get a low porosity concrete. When comparing the the teoretical and the practical data (lab), we see that we get the expected results which are positive to the concrete technology.

Through experiment, it turns out that Idrocrete KR1000 has the ability to reduce capillary pore proportion. Something that leads to less water/chloride suction.

1 Innledning

1.1 Hensikt med oppgaven

Permeabilitet/Vannoppsug evne og mekaniske egenskaper i en betong styres hovedsak av porer og porerstrukturer i betong. Dette kan reguleres ved bruk av tilsetningsstoffer. Ved riktig valg av tilsetningsstoffer vil en betongprodusent vanligvis kartlegge bruksområdet og økonomi i større grad. Ved å addere en rekke ulike tilsetningsstoffer er det mulig å oppnå ønsket egenskaper i betongen.

Hensikt med oppgaven er å identifisere effekten av Idrocrete KR 1000 på betongens permeabilitet og fasthetsutvikling. Ved tilsetning av Idrocrete KR 1000 vil ifølge Mapei kunne påvirke betong på en positiv måte og gi den en bedre holdbarhet.

1.2 Arbeidsomfanget:

- Litteraturstudium med avgrensinger og definisjoner.
- Teori rundt effekt av Idrocrete KR 1000 på betong permeabilitet.
- Teoretisk- kvadrat-rot-modell.
- Lab-arbeid testkapillær-oppsug.
- Lab-arbeid test fukt-transport i luft porene.
- Sammenligne teori og lab resultater.

For å nå målet skal det gjennomføres et litteraturstudium for å øke kunnskap rundt tilsetningsstoffer. I tillegg skal det blandes og støpes betong klosser/sylinder med Idrocrete KR 1000 og en til blanding uten Idrocrete KR 1000.

1.3 Gjennomføring

I denne masteroppgaven er det planlagt å teste ut Idrocrete KR 1000 tilsetningsstoff og se effekten på det i betong fasthetsutvikling og permeabilitet.

Oppgaven utføres ved UIT- Integrert bygningsteknologi i samarbeid med betonglaboratoriet – UIT. Gjennomføring av oppgaven skal tilpasses de ressursene som stilles til disposisjon.

Oppgaven er utlevert 07. januar 2019. Besvarelsen skal innleveres innen 16. Mai 2019.

1.4 Materialer

Største del av oppgaven omhandler laboratorium arbeid ved UIT-Narvik. Programmet i laboratorium omfatter 2 betong typer: en uten idrocrete KR 1000 tilsetningsstoffer og en med Idrocrete KR 1000 produsert av Mapei.

I forbindelse med oppgaven ble det levert Idrocrete KR 1000 fra Mapei.

Det skal benyttes en rekke materialer:

Sement
Norcem standard

Tilslag
Pukk 8-16 mm
grus 0.01-8 mm

Tilsetning materialer
silika

Tilsetningsstoffer
Idrocrete KR 1000
Dynamon SX 23

1.5 Aktualitet

Skade på betong koster det norske samfunnet mye penger, og det er derfor viktig at man forsøket å finne en løsning som kan redusere dette. Betongkonstruksjoner som har størst kostnadsbærere innenfor betongskader er kaianlegg og broer. Dette er fordi de er mest utsatt for et spesielt aggressivt miljø. Frøstsprenging og armeringskorrosjon er type skader som kan forekomme.

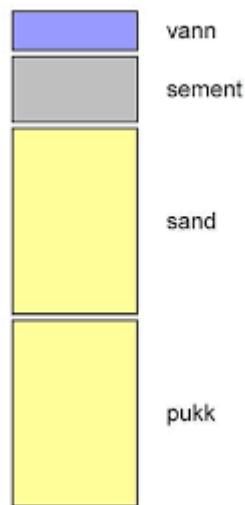
Største betongskader forekommer av korrosjon. Armeringskorrosjon fører til sprekkdannelser og avskaling av betongoverdekningen. Dette gjør at større deler av armeringen blottlegges og dermed svekkelse av bæreevne.

Dette gjør denne oppgaven spesielt aktuell fordi for å beholde betongkonstruksjon styrke og redusere armeringskorrosjon er det viktig å sørge for en mindre porøs betong som kan motstå det aggressive miljø de er utsatt for.

2 Introduksjon

Betong er i dag et av de viktigste byggemateriale vi har. Den har sine fordeler i blant annet formbarhet, styrke og pris. Det er derfor viktig at betongkonstruksjonen beholder sine holdbarhet gjennom flere år. Holdbarheten avhenger av flere forhold, men de to viktigste er betong sammensetning og hvordan miljøet konstruksjonen er eksponert i er.

Betong består blanding av tilslag som er samleord for (stein, sand og pukk) sement, vann og tilsetninger hvis ønskelig. [1] Dette er illustrert i figur 1.



Figur 1. fordeling av delmaterialer i betong.

I moderne tid betong er stadig i utvikling. Med stadig nye utforskningsområde har det medført strengere krav til betong.

2.1 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer for konstruksjons betong er stoffer som tilsettes i betongblanding i små doser som ikke overskrider 5% av sementmengden i betong for å forbedre egenskapene i betong. Det består av vannløselige organiske og uorganiske salter og forbindelser i flytende eller fastform. Tilsetningsstoffer er i dag en viktig bestanddel i enhver betongresept. [2]

Idrocrete tilsetningstoffer er i pulveform. I følge produsenten vil ved kontakt med vann vil idrocrete KR 1000 omdanner bi-komponentene fra sement hydratasjonen til krystaller som reduserer porer og micro riss i betongen. [3]

Idrocrete KR 1000 reduserer permeabiliteten til betongen. Laboratorietester har vist at ved å tilsette Idrocrete KR 1000 i betongen reduserer kapillær absorpsjon, og gjør betongen mer motstandsdyktig mot hydrostatisk trykk. Den revneoverbyggende effekten av Idrocrete KR 1000 gjør det mulig og lukke mikrorevner på opp til 0,4 mm. [3]

2.2 Trykkfasthet

Betongens trykkfasthet er den største trykkraft Pr. flateenhet som betongen kan tåle før det bryter sammen.

Fastheten angis i Mpa = N/mm²

Trykkfastheten bestemmes av følgende formel [4]

$$F_c = \frac{F}{A_c} \quad (1)$$

der:

f_c : er trykkfasthet i Mpa

F: er bruddlasten i N

A_c : er tverrsnittarealet på prøvestykket som trykkraften virker mot i mm².

2.3 Permeabilitet

Hvor gjennomtrengelig et materiale er kan defineres som permeabilitet. Betong permeabilitet er en viktig parameter i forbindelse med holdbarhet og motstandskraft mot kjemikalier. Både karbonatiseringsgraden, vanninntrenging og inntrengning av kjemiske stoffer øker ved økende permeabilitet.

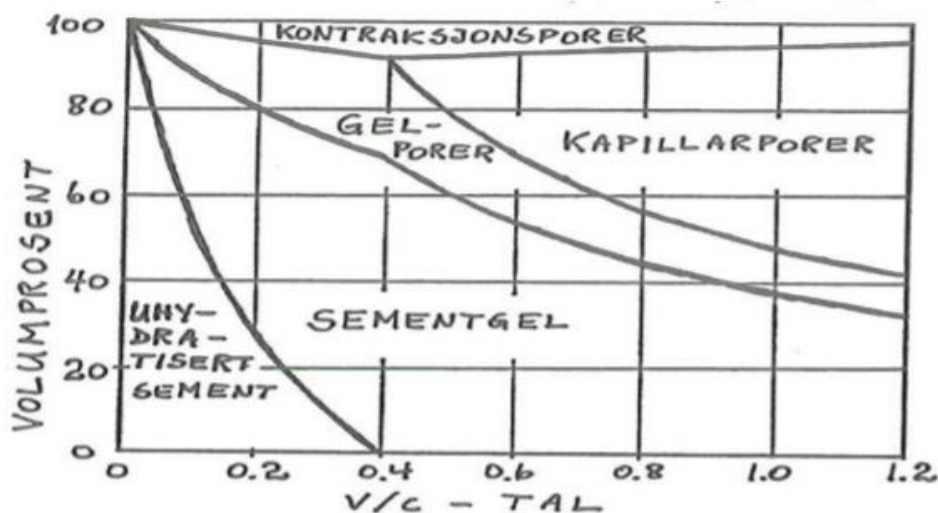
2.3.1 Poretyper og Porestruktur

Betong er et porøst materiale, og uavhengig av om betongen er av høy kvalitet vil det alltid være et porøst og inhomogent materialet.

Betong porer kan deles opp i tre grupper:

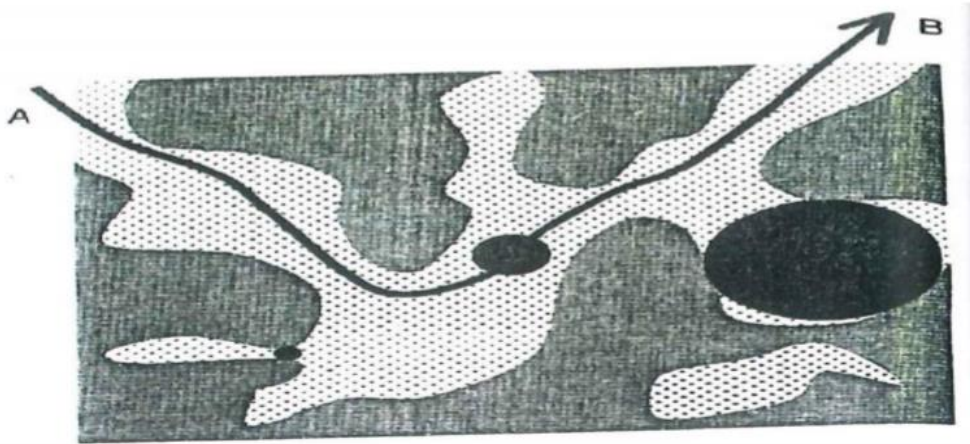
- Geleporer, ca 1-3 nm
- Kapillarporer, ca. 0.1 μm til 100 μm
- Kontraksjonsporer, ca. 50 μm -> 1mm

Porene blir dannet når sement og vann reagerer kjemisk. For at sementen skal gå over til sementlim trengs det 0,4 i v/c tall. Gelporer dannes dersom gelvann fordamper. Et vann/ment forhold som er høyere enn 0,4 betyr at det er mer vann i forhold til sement. Dette kan resultere i at kapillarporer dannes. Kontraksjonsporer som er relativt større enn kapillarporer kommer som et resultat av reaksjon mellom vann og sement får mindre volum enn summen av volum til sement og vann i starten. [5]



Figur 2. . Fullstendig hydratisert blanding av vann og sement, forhold mellom v/c og porefordeling.

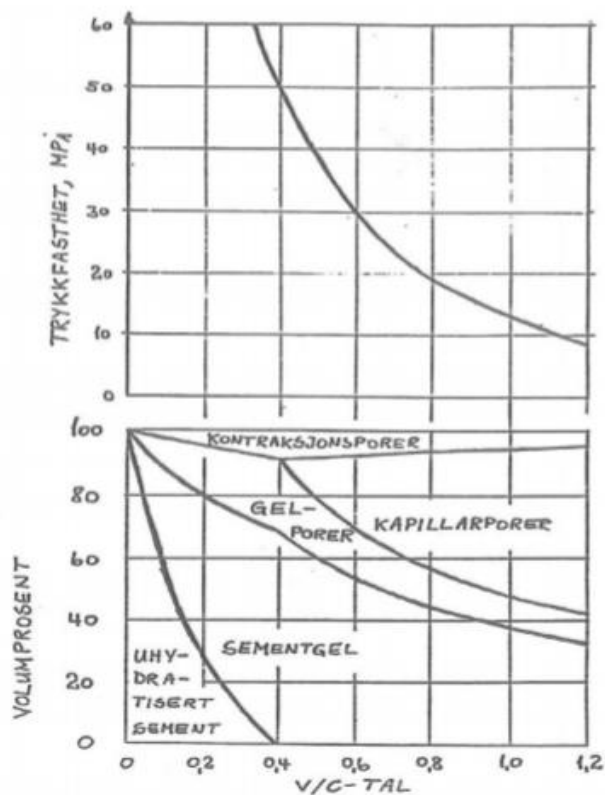
Luftporer er også en type porer som blir dannet, men disse porene kommer inn ved blanding av massen.



Figur 3. Illustrasjon av porenettverket i betong.

Betongens trykkfasthet og permeabilitet kan endre seg veldig ut i fra mengde porer, spesielt kapillærporer. Som visst i figur 4. høyt v/c – tall fører til større andel av porer og gir lavere trykkfasthet. Dårlig permeabilitet kan forekomme som et resultat av større poreandel som gir en mer åpen betong. [5]

Jo høyere v/c-tall desto jo større andel porer noe som kan fører til lav trykkfasthet.



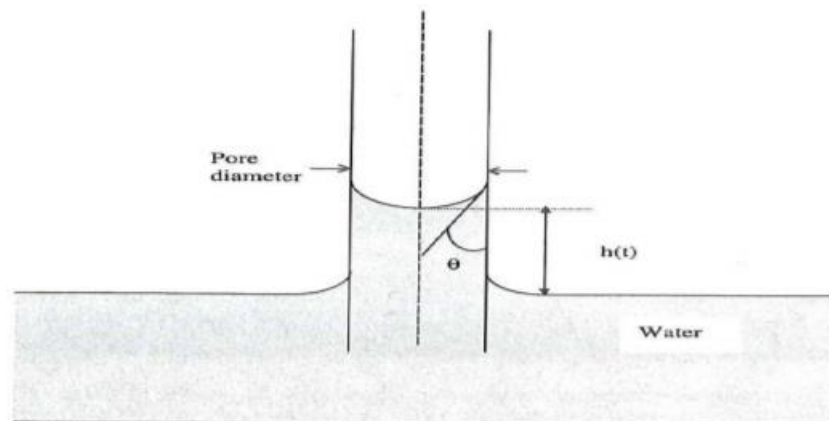
Figur 4. Sammenheng mellom v/c-tall, porevolum og trykkfasthet når luftporer ikke er tatt med.

3 Teori

I denne seksjon vi skal presentere kapillær vannoppsug modell. Mens, trykkfasthet gjennomføre vi teste gjennom lab arbeid for å teste effekten av idrocrete KR 1000.

Vann (eller klorid) absorpsjon in betong porestrukture er en komplisert prosess. Hvor det er mange fysikk paramters som pore type, porestrukture, vannets dynamiske viskositet, er alle involer i prosess. I tillegg, det er forskjellige transportformer i forskjellige pore type. For eks, kapillarsuging er den viktigste transportform som aktiv i de kapillaesporene. Mens, i de større porer som air pore hvor det er diffusjon transport formen do gjelder.

For å enklere problem, vi start med helt enklest form for transport fenomenal. Vi antar at betong har bare en pore med en radius r . Vi antar videre at kapillar kreften (eller overflaten spenning) som er eneste kraft som drive/trekk vannsøyle opp i pore. Figur illustre kapillær transport i et pore (et rørsugemodell)



Figur 5. Kapillærsug i en pore.

Maksimun vann stighøyde kan regne ut ved følgende likningen

$$h_{max} = \frac{2\sigma\cos(\alpha)}{\rho gr} \quad (2)$$

Hvor:

σ [N/m]: Kappillarskreft (overfltespenningen mellom luft og vann)

α : kontaktvinkelen mellom røraksen og retningen for overflatespenning mellom luft og vann (se Fig.)

ρ : vann densitet, (kg/m^3)

g : tyngde akselerasjon, (m/s^2)

r : rør radius, (m)

Likning (2) basert på kapillar kraft vil balanseres av tyngde av væskesøyle.

For bygg ingeniør vi er veldig interesert i vannstige høyde som er en funksjon av tid (En viktig fukt/vannstransport parameter $h(t)$, for å dimensjon overdekk for en maritim betongkonstriksjon). For å tiden inn i bildet må man gjøre en strømningsberegning, og en tilnærmet løsning for Poiseulle strømming i rør gir stighøyde som en funksjon av tid:

$$h(t) = \sqrt{\frac{r\sigma \cos(\theta)t}{2\mu}} \quad (3)$$

hvor:

$h(t)$: vann fronten i tidspunkt t , (m)

t : tid det trenger for at vannfront kommer til dype h , (s)

μ : Newton dynamisk vann viskositet (kg/ms) [6]

Likningen (3) , i betong teknologi, kaller vi kvadrat rot likning. Hvor alle transport Fysikk parameters som hastighet, stige høyde, vann oppsugg mengde er all sammen proporsjonal med kvadrat rot tid (rettlinjede absorpsjonskruver med \sqrt{t}).

Det har vanligvis interesse å kjenne oppsugd vannmengde. Vi minner om at likning er basert på kapillar i et rør. Ved å antar at i en tid hvor de kapillaporene som er fylles (hvor air pore er ikke med berengne). Kapillarporøsiten, dvs. volumet av pore hvor kapillære kraft virker på porevannet, kalles p_k . Det oppsugde (kapillar-) vannmengde kan utrykk ved følgende likningen

$$M(t) = \rho p_k h(t) A \quad (4)$$

Hvor:

$M(t)$: Vannoppsugg mengde, (kg)

A : materialet areal, (m^2)

Vi merker at rør-model som de likningen (2-4) basert på er ikke perfekt modell. Et rør model er ikke able til å beskrive en komplett porestruktur til betong. I praksis vist at, for relativ tynn prøver (noen få *cm* tykke), som tørkes ut ved $105^{\circ}C$, viser rettlinjede vannoppsugg mengde i respekt med kvadrat rot av tid. For tykkere prøver eller konstruksjonsdeler i kontakt med vann (eller havet) blir imidlertid vann opptatt er mye lavere enn det kvadrat rot model forutsi.

Det er naturligt å modifier rør modell slik at den 'nye' modell er beskriver mer presis av vannoppsugg i betong porestruktur enn den klasisk kvadratrot modell av tid. I section videre arbeid vi belyse dette videre/utvider av rør-modell.

4 Laboratorie-arbeid

4.1 Trykkfasthet

Vi velge å kaller referanse prøve for Ref.B35 og betong med tilsatt idrocrete for I-B35.

4.1.1 Lab prosedyren

Formålet med lab-arbeid er å undersøke effekten av Idrocrete KR 1000 på betongens fasthet utvikling, porestruktur og permeabilitet.

Dosering av tilsetningsstoffer er angitt i NS-EN 206-1 med følgende krav:

Den totale mengden av tilsetningsstoffer skal ikke overstige den største dosering anbefalt av produsenten av tilsetningsstoffet, og ikke være større enn 50g tilsetningsstoff (slik det er levert) per kg sement. Ved større doseringer skal virkningen på betongens egenskaper og bestandighet klarlegges. [2]



Figur 6. Idrocrete KR 1000 produkt.

4.1.2 Resept

Et betongproposjoneringsark i Excel ble brukt i oppgaven for å beregne sammensetning av betongens delmaterialer.

	Ref. B35	I-B35.
Materialer (per 30 liter)	kg	kg
Pukk 8-22 Rombak	27,9	27,9
Sand 1 0-8 Beisfjord	27,9	27,9
Silika	0,48	0,48
Standard FA	11,1	11,1
Vann kald	5,01	5,01
SP: Sika ViscoCrete RMC-420M	0,09	0,09
Idocrete KR 1000		0,222

Tabell a. Resept.

4.1.3 Utstyr

-Former (terning og sylinder) i hht. 14.626	-Formolje
-Tusj	-Temperaturmåler, nøyaktighet ± 2 °C
-Plastfolie	-Bøtter
-Vekt	-Stålstang
-Blandemaskin	-Klokke
-Synk kjele	-Vannbad

4.1.4 Tilslag

For å sikre at tilslaget er mest mulig like, ble det brukt tilslaget som er hentet fra samme sted. Størrelsen av tilslaget som ble brukt er 8-16mm, sand (0-8mm).

Tilslaget ble oppbevart tørt under takket.

4.1.5 Blandeprosedyre

Etter utarbeidelse av resept, ble materialene veid og gjort klar til blanding.

Blandingsprosedyren er som følger:

- Start blanderen (sørg for at blanderen er ren)
- Fyll blanderen med grus, sand, vann og tilslutt sement (tørr masse).
- Mens blanderen fortsatte å blander: Tilsetter 2% idrocrete KR 1000 av sement vekt.

Det tok 9 minutter fra betongblanderen startet til blandeprosedyren var gjennomført.

4.1.6 Synk test

Prøvemethoden er gitt i NS-EN 12350-2. Synk metoden ble brukt for å finne betongens konsistensen. [7]

Oppnådde resultater for synk test vises i Tabell b.

I-B35.blandingen hadde imidlertid lavere synkmål enn referanse blanding.



Figur 7. Synktest for blanding med tilsatt Idrocrete KR 1000



Figur 8. Synktest for blanding uten tilsetningsstoffer.

Synkmål:		
Ref. B35	17	cm
I- B35.	5	cm

Tabell b. Synkmål

4.1.7 Densitet

Gjennomføres i henhold NS-EN 12350-6:2009, densitet kan bestemmes ved følgende likning

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (5)$$

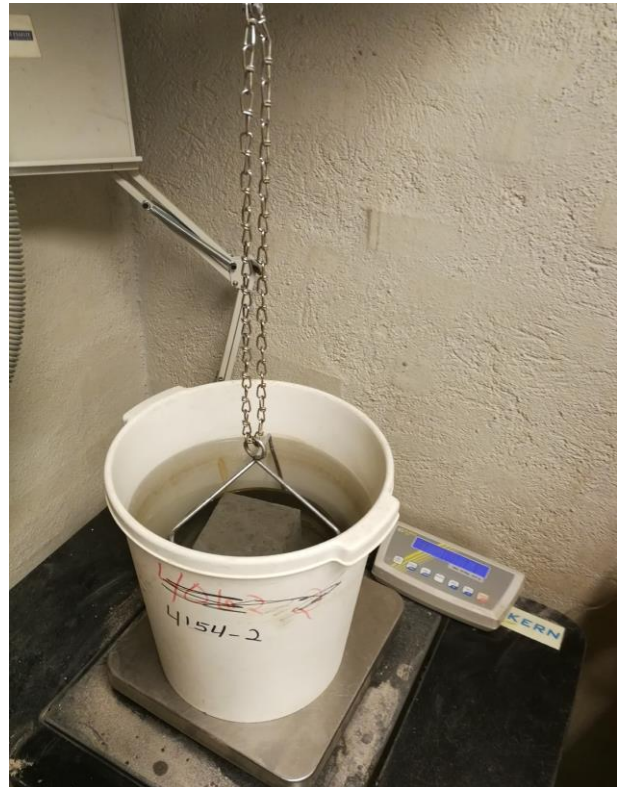
Der:

D = densitet [kg/m³]

m₁ = beholderens masse [kg]

m₂ = beholderens masse med innhold [kg]

V = beholderens volum [m³]



Figur 9. Volum test.

4.1.8 Test av trykkfasthet

Utføres i henhold til Statens vegvesens håndbok 14.621 [4], basert på metode i NS3420.

Trykkfasthet til prøvestykkene ble gjennomført etter 7, 14 og 28 dager. Samlende resultater for trykkfasthet vises i vedlegg 1. Kvaliteten for herdet betong angis med dens trykkfasthet i N/mm. To terninger av 100mm*100mm ble benyttet for å gjennomføre testen for både Ref.B35 og I-B35. prøven.



Figur 10. Trykkmaskin

4.2 Kapillærsug

4.2.1 Lab prosedyren

Når betongene skal testes for permeabilitet er det viktig å få resultater som er mest mulig sammenlignbare. Det er derfor vesentlig at blandingene har samme resept.

Forfatteren sto selv for både blanding og testing av prøvene. Dette for å sikre minst mulig feilkilder under laboratoriearbeidet

4.2.2 Resept

Gitt i tabell 3.

4.2.3 Utstyr

Gitt i punkt 4.1.3

4.2.4 Synktest

Gitt i punkt 4.1.6

4.2.5 Densitet

Gitt i punkt 4.1.7

4.2.6 Test av kapillærsug

Utføres i henhold til Statens vegvesens håndbok 14.637 [8], basert på metode i NS3420.

Det ble brukt 18 prøvestykker støpt i sylindrer former. Sylinderne har en dimensjon på 100×20 mm, $100 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ og 100×100 mm.

Prøving gjennomføres som følger: [8]

- måling av skivetykkelse ved bruk av skyvelære
- eventuell maling av sideflatene med epoksy- eller lateksmaling (kun ved diameter < 90 mm)
- tørking i ventilert tørkeskap ved $105 \text{ }^\circ\text{C}$ inntil vekttapet er mindre enn $0,01 \%$ pr. time (eventuelt i 7 døgn dersom konstant tørketid er mer hensiktsmessig), og deretter minimum 2 timer avkjøling i luft ved romtemperatur, tildekket med plastfolie, veiing (vekt g)
- 4 døgns suging fra vannspeil (hele sugeflaten skal være i kontakt med vann uten at vannspeilet står mer enn 1-2 mm opp på sideflaten, kassen skal være tildekket med foret lokk som hindrer drypp av kondensert vann).



Figur 11. Kapillærsugtest

Veiing etter:

- 10 og 30 minutter

- 1, 2, 3, 4 og 6 timer

- 1, 2, 3 og 4 døgn (vekt etter 4 døgn, g5)

Resultater er gitt i tabeller i vedlegg 2 og 3

4.2.6.1 Porøsitet

Utføres i henhold til Statens vegvesens håndbok 14.637 [8], basert på metode-procedure i NS3420.

Prøving av porøsitet etter PF-metoden, ble utført på støpte sylindere. 3 av hver type sylindere ble brukt Ref.B35 og I-B35. Hver sylindere ble delt i forskjellige dimensjoner, $100 \times 20\text{mm}$, $100\text{mm} \times 40\text{mm}$ og $100\text{mm} \times 100\text{mm}$. Til sammen utgjorde de 18 prøve stykker.



Figur 12. Prøvene i tørr skapet

4.3 Vanninntrenging

Vanninntrengningforsøkene ble hovedsak utført i henhold til 14.633 statens vegvesen laboratorieundersøkelser.

4.3.1 Lab prosedyren

Alle prøvene er stopt, herdert og komprimert i henhold til standard.

Det ble brukt 4 betong sylindere. To referanse sylindere og to I-B35. sylindere.

4.3.2 Resept

Gitt i tabell 3.

4.3.3 Utstyr

Gitt i punkt 4.1.3

4.3.4 Synktest

Prøvemethoden er gitt i NS-EN 12350-2.

4.3.5 Densitet

Gjennomføres i henhold NS-EN 12350-6:2009

5 Resultater og Diskusjon

5.1 Trykkfasthet

Resultater av lab-data for alle trykkprøvene er presenterte i følger:

Vedlegg 1. Prøving av herdet betong

Tabell c. Sammenligning av fasthetsutvikling.

Figur 13. Illustrasjon av sammenligning av fasthetsutvikling.

Tabell d. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 7 dager

Tabell e. Trykkfasthet av I-B35.prøven etter 7 dager.

Tabell f. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 14 dager.

Tabell g. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 14 dager.

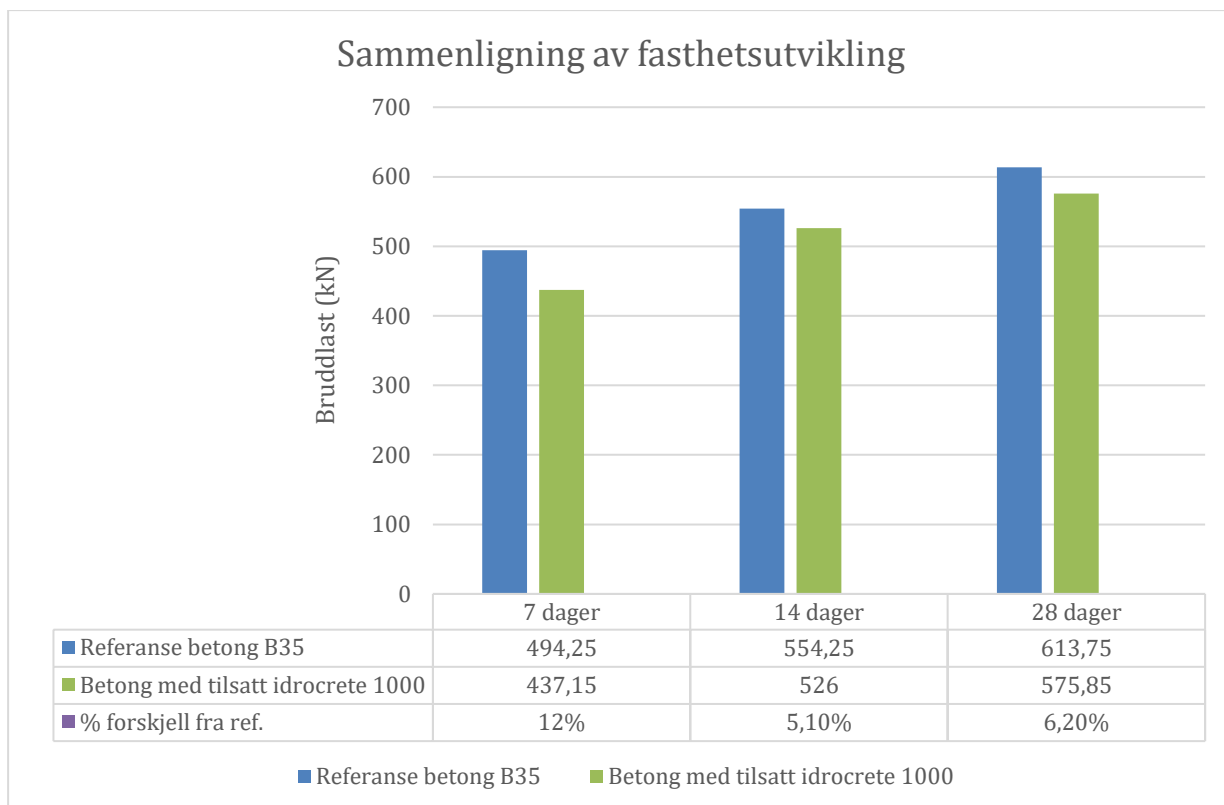
Tabell h. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 28 dager.

Tabell i. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 28 dager

Tabell c. sammen med figur 13 viser utvikling av styrke for Ref. B35 betong og I-B35. betong over en periode på 28 dager. Vi ser progresjon av styrke for både prøvene i løpet av 28 dager herdeperioden.

Sammenligning av fasthetsutvikling			
Antall døgn	7 dager	14 dager	28 dager
Ref.B35 betong	494,25	554,25	613,75
I-B35. betong	437,15	526	575,85
% forskjell fra ref.	12 %	5,10 %	6,20 %
Antall døgn	7	14	28

Tabell c. Sammenligning av fasthetsutvikling.



Figur 13. Sammenligning av fasthetsutvikling illustrert.

		Ref. B35			
		13.02.2019		20.02.2019	
Vårt navn					
Støpedato		7			
alder døgnet					
Trykkedato					
Støpested		Betonglaboratoriet		Betonglaboratoriet	
Batch					
Lengde terning, L	[mm]	100	100	100	100
Bredde terning, D	[mm]	100	100	100	100
Høyde terning H		100	100	100	100
Masse, M	[g]	2 406	2 415		
Volum, V	w	978	991		
Romdensitet	[kg/m ³]	2 459	2 437	#DIV/0!	#DIV/0!
Høyde-/Lengdeforhold	H/D	1,00	1,00	1,00	1,00
Bruddlast	[N]	494 700	493 800		
Trykkflate (areal)	[mm ²]	10 000	10 000	10 000	10 000
Trykkfasthet	[N/mm ²]	49	49		

Tabell d. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 7 dager.

		I-B35.			
Vårt navn					
Støpedato		13.02.2019			
alder døgn		7			
Trykkedato		20.02.2019			
Støpested		Betonglaboratoriet	Betonglaboratoriet		
Batch					
Lengde terning, L	[mm]	100	100	100	100
Bredde terning, D	[mm]	100	100	100	100
Høyde terning H		100	100	100	100
Masse, M	[g]	2 373	2 432		
Volum, V	w	973	1 001		
Romdensitet	[kg/m ³]	2 438	2 430	#DIV/0!	#DIV/0!
Høyde-/Lengdeforhold	H/D	1,00	1,00	1,00	1,00
Bruddlast	[N]	424 900	449 400		
Trykkflate (areal)	[mm ²]	10 000	10 000	10 000	10 000
Trykkfasthet	[N/mm ²]	42	45		

Tabell e. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 7 dager.

		Ref. B35			
Vårt navn					
Støpedato		13.02.2019			
alder døgn		14			
Trykkedato		27.02.2019			
Støpested		Betonglaboratoriet	Betonglaboratoriet		
Batch					
Lengde terning, L	[mm]	100	100	100	100
Bredde terning, D	[mm]	100	100	100	100
Høyde terning H		100	100	100	100
Masse, M	[g]	2 414	2 435		
Volum, V	w	978	991		
Romdensitet	[kg/m ³]	2 469	2 458	#DIV/0!	#DIV/0!
Høyde-/Lengdeforhold	H/D	1,00	1,00	1,00	1,00
Bruddlast	[N]	556 000	552 500		
Trykkflate (areal)	[mm ²]	10 000	10 000	10 000	10 000
Trykkfasthet	[N/mm ²]	56	55		

Tabell f. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 14 dager.

		I-B35.			
Vårt navn					
Støpedato		13.02.2019			
alder døgn		14			
Trykkedato		27.02.2019			
Støpested		Betonglaboratoriet	Betonglaboratoriet		
Batch					
Lengde terning, L	[mm]	100	100	100	100
Bredde terning, D	[mm]	100	100	100	100
Høyde terning H		100	100	100	100
Masse, M	[g]	2 434	2 394		
Volum, V	w	997	979		
Romdensitet	[kg/m ³]	2 442	2 444	#DIV/0!	#DIV/0!
Høyde-/Lengdeforhold	H/D	1,00	1,00	1,00	1,00
Bruddlast	[N]	532 300	519 700		
Trykkflate (areal)	[mm ²]	10 000	10 000	10 000	10 000
Trykkfasthet	[N/mm ²]	53	52		

Tabell g. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 14 dager.

		Ref. B35			
Vårt navn					
Støpedato		13.02.2019			
alder døgn		28			
Trykkedato		13.03.2019			
Støpested		Betonglaboratoriet	Betonglaboratoriet		
Batch					
Lengde terning, L	[mm]	100	100	100	100
Bredde terning, D	[mm]	100	100	100	100
Høyde terning H		100	100	100	100
Masse, M	[g]	2 444	2 423		
Volum, V	w	996	988		
Romdensitet	[kg/m ³]	2 453	2 452	#DIV/0!	#DIV/0!
Høyde-/Lengdeforhold	H/D	1,00	1,00	1,00	1,00
Bruddlast	[N]	605 800	621 700		
Trykkflate (areal)	[mm ²]	10 000	10 000	10 000	10 000
Trykkfasthet	[N/mm ²]	61	62		

Tabell h. Trykkfasthet av Ref.B35 etter 28 dager.

		I-B35.			
Vårt navn		13.02.2019			
Støpedato		28			
alder døgn		13.03.2019			
Trykkedato		Betonglaboratoriet		Betonglaboratoriet	
Støpested					
Batch					
Lengde terning, L	[mm]	100	100	100	100
Bredde terning, D	[mm]	100	100	100	100
Høyde terning H		100	100	100	100
Masse, M	[g]	2 384	2 426		
Volum, V	w	980	989		
Romdensitet	[kg/m ³]	2 434	2 454	#DIV/0!	#DIV/0!
Høyde-/Lengdeforhold	H/D	1,00	1,00	1,00	1,00
Bruddlast	[N]	575 400	576 300		
Trykkflate (areal)	[mm ²]	10 000	10 000	10 000	10 000
Trykkfasthet	[N/mm ²]	58	58		

Tabell i. Trykkfasthet av I-B35. prøven etter 28 dager.

Vi observerer mye interessante resultater.

Figur 13. viser tydelighet, etter 7 dager hydratisering, så I-B35. prøven er svakere enn referanse prøven.

Etter 7 dager har referanse prøven Ref. B35, 494,25kN mens, prøven med tilsatt idrocrete har 437,15kN.

Etter 28 dager har referanse betong Ref. B35, 613,75kN, mens prøven med tilsatt idrocrete har 575,85kN.

Basert på resultater i figur 13. ser vi at betong ikke blir sterkere med tilsatt idrocrete. Det kan være interessant for betong teknologi å spørre hvorfor har idrocrete gunstig effekt på betong fasthet?

Betong fasthet er et komplisert tema fordi fasthet til betong i general er avhenging av mange parameter, for eks. v/c- tall, sementtyper, tilslag osv. Betong er sterkere hvis den har ``liten

pore andel`. Med andre ord, si vi betong er åpen (mye pore andel) medføre at fasthet reduseres. Og hvis betong er tettere så vil fastheten øke.

I vårt tilfelle, så tror vi idrocrete KR 1000 gjør betong mer åpen enn betong uten, derfor vil betong med idrocrete tåle mindre fasthet enn betong uten.

Mens, i generell, sier vi at grunnen til at betong med idrocrete har mye pore andel er ikke klar. I betong forskning i senere tid har det vist at det er ikke bare poreandell (porøsitet) som påvirker fasthet i betong. Porestrukture (hvordan porestype er fordelt i network) påvirker også sterkt betong fasthet. I dette forsøket ser vi at porositet til betong med idrocrete tilsetningstoff er mindre enn betong uten idrocrete. I detalj, ser vi at porøsitet til betong med idrocrete 100mm har porøsitet på 7,3%, mens den uten idrocrete har 9,3%. Dette vil si selv om betong med idrocrete-stoff har mindre porøsitet enn betong uten idrocrete, så vil trykkfasthet til betong med idrocrete-stoff være mindre enn betong uten idrocrete. En forklaring for dette kan være at porestrukture til betong med idrocrete er forskjellig fra betong uten idrocrete.

En annen grunn kan være for eksempel dårlig blanding, brukes ikke riktig utstyr, mens vi støpe betong prøvene, eller/og rett og slett menneskelig svikt ved å støpe av betong prøver. Dessuten , vi har for få prøver for å komme til en endelig konklusjon om effekten av idrocrete tilsetningstoff på betong fasthet. Så vi avslutte dette avsnitt å si følgende. Idrocrete har stor effekt på betong fasthet. (Men er det gunstig eller ugunstig effekt, svar på dette spørsmål trenger vi mer omfatte eksperiment med mange prøver til, for. eks 1000 stykke).

5.2 Kapillærsug

Resultater av lab-data for alle kapillærsug er presenterte i følger:

Tabell j. Gjennomsnitt porøsitet av Ref.B35 prøven.

Tabell k. Gjennomsnitt porøsitet av I-B35. prøven.

Figur 14. Sammenligne porøsitet mellom Ref.B35 og I-B35. prøven.

Vedlegg 4. Registrerte vekt for porøsitet (Ref.B35)

Vedlegg 6. Kapillær sug hastighet og porøsitet, PF for I-B35. prøver.

Vedlegg 11. Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og I-B35. prøven.

Vedlegg 16. Beregnet effektiv radius $r(t)$ for Ref.B35 prøven.

Vedlegg 17. Beregnet effektiv radius $r(t)$ for I-B35.

Vedlegg 18. Beregnet teoretisk stigning vannfront, $H(t)$, og vektøkning $m(t)$ for Ref. B35 prøven.

Figur 16. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×20mm Ref. B35).

Figur 18. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×20mm I-B35. prøver).

Figur 19. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×40mm I-B35.prøver).

Resultater fra PF-forsøkene er vist i tabeller i vedlegg 5 og 9.

Utreget resultater vises i vedlegg 15 og 17.

Gjennomsnitt Ref.B35 Porøsitet

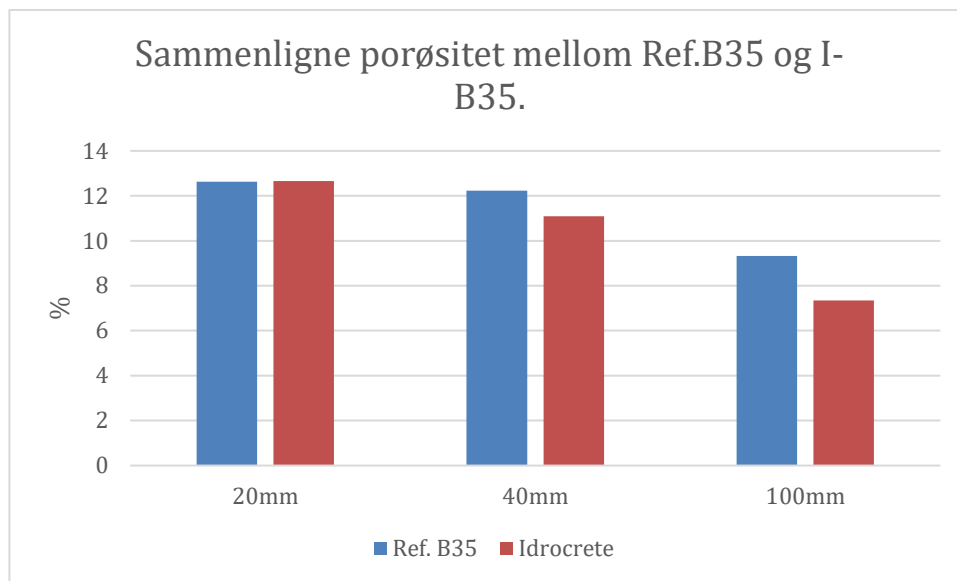
12,6293488	12,2232004	9,321776608
------------	------------	-------------

Tabell j. Gjennomsnitt porøsitet av Ref.B35 prøven.

Gjennomsnitt I-B35. Porøsitet

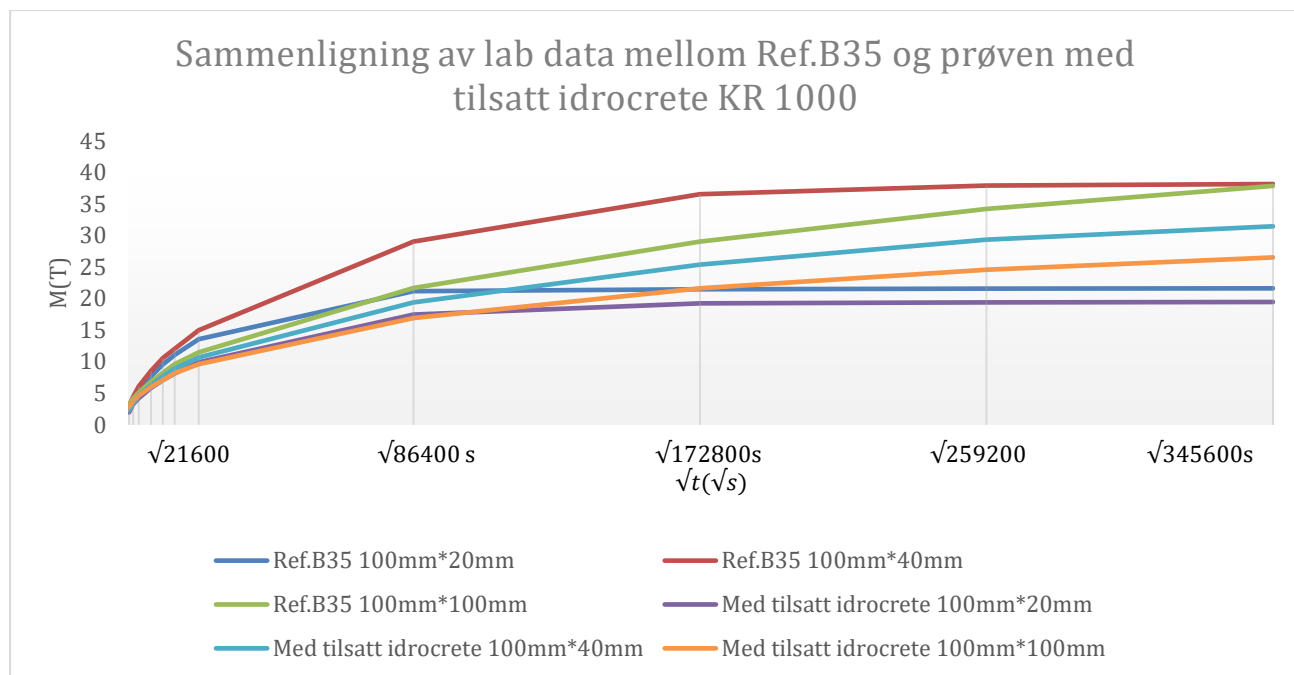
12,65237829	11,0876588	7,34329635
-------------	------------	------------

Tabell k. Gjennomsnitt porøsitet av prøven med tilsatt idrocrete.



Figur 14. Sammenligne porøsitet mellom Ref.B35 og I-B35. prøven.

Figur 14. viser tydelig at I-B35. betong har mindre porøsitet enn tilsvarende Ref. B35 betong. For eks, I-B35. betong som har dimensjoner 100mm*40mm har 11% mens, Ref.B35 prøven har 12%. Dette trend gjelder for betong som er tykkere enn 40mm også. For eks, 100mm*100mm har 7%, mens Ref. B35 betong har 9%.



Figur 15. Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og I-B35. prøven..

Vann oppsug data er vist i vedlegg 3 og 7. Tabellene illustrer vektøkning i forhold til prøvestykkenes overflateareal. Vannmettingen går raskere jo mindre prøven er.

Figur 15. viser tydelig at I-B35. betong suger vann mindre enn Ref .B35 betong for hele forsøker periode.

I detal ser vi: 20mm prøve med oppsug tid på $\sqrt{86400}$ s har absorbert 16,9g, mens Ref. B35 har absorbert 17,2g.

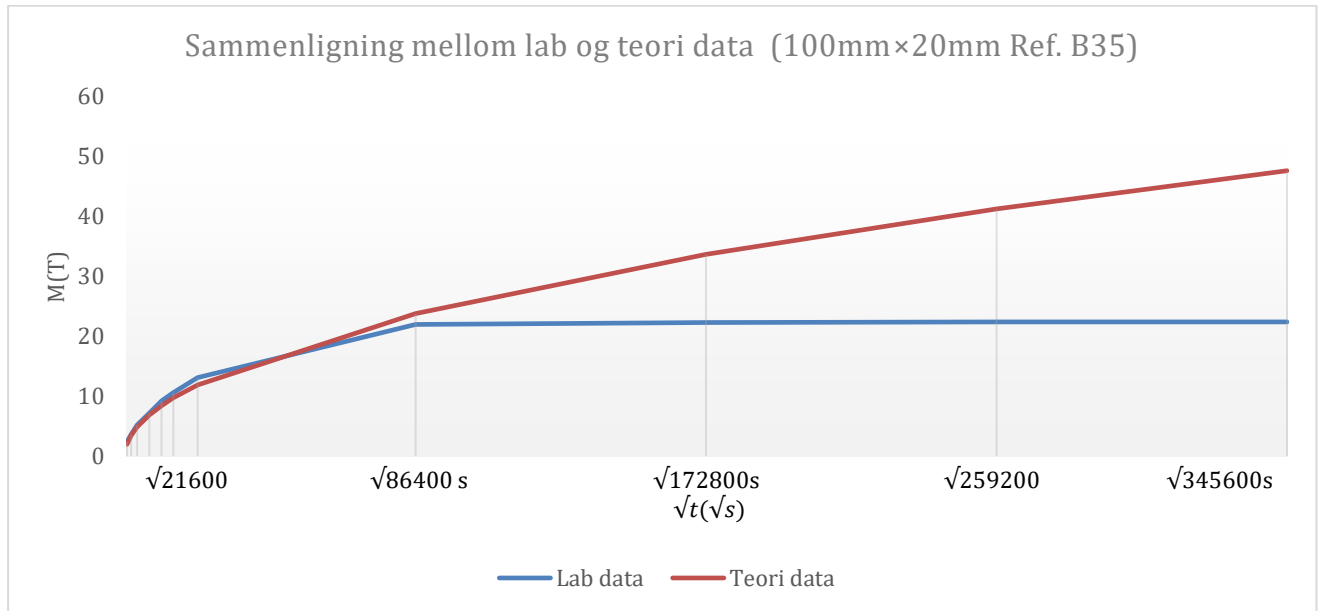
For tykkelse 40mm med oppsugg tid på $\sqrt{86400}$ s har den absorbert 19,4g i forhold til Ref. B35 som har 29g i samme tidspunkt.

Vann oppsug profil til disse prøvene er også veldig interessant:

I-B35. Prøver har samme forløp med Ref. B35 prøver, men de I-B35. prøvene oppsug -kurve ligger lavere enn Ref. B35 prøver for alltid.

Start tid , for eks (10min-6timer), prøver til I-B35. betong suger vann relativ rask men er likevel saktere i forhold til Ref. B35 prøven.

Ut i fra Figur 15, ser vi at idrocrete tilsetningstoff har en gunstig effekt på både vannoppsug mengde og forløp .

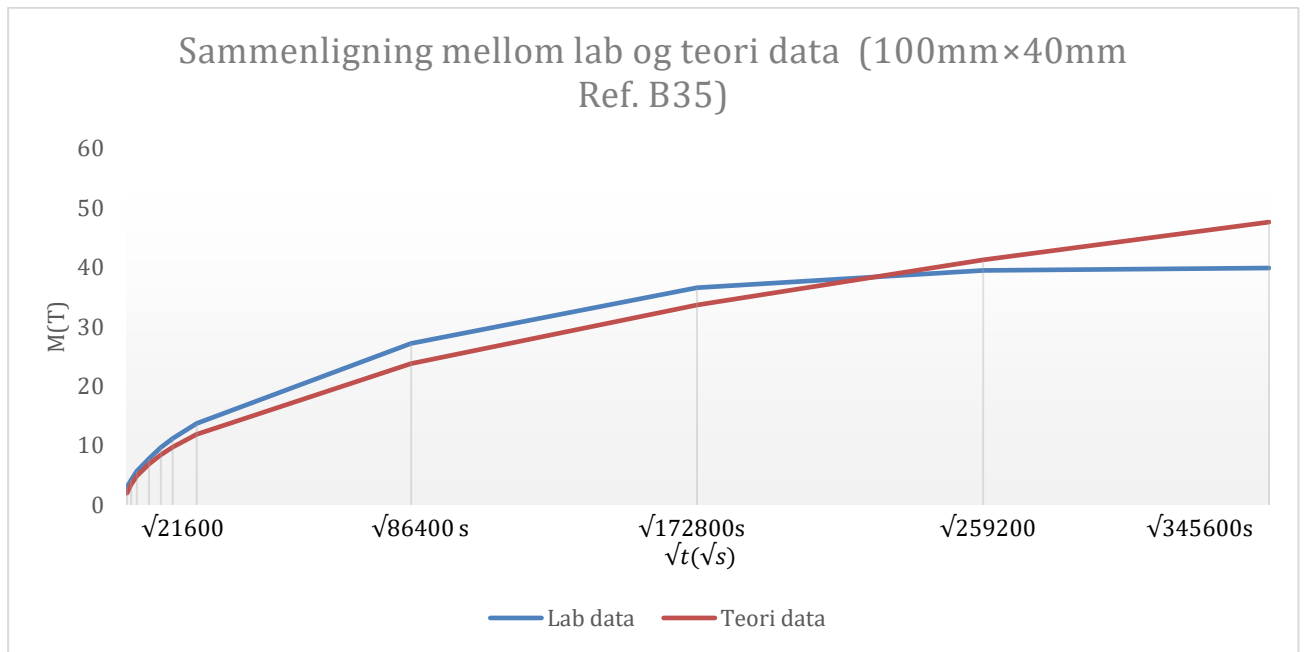


Figur 16. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×20mm Ref. B35).

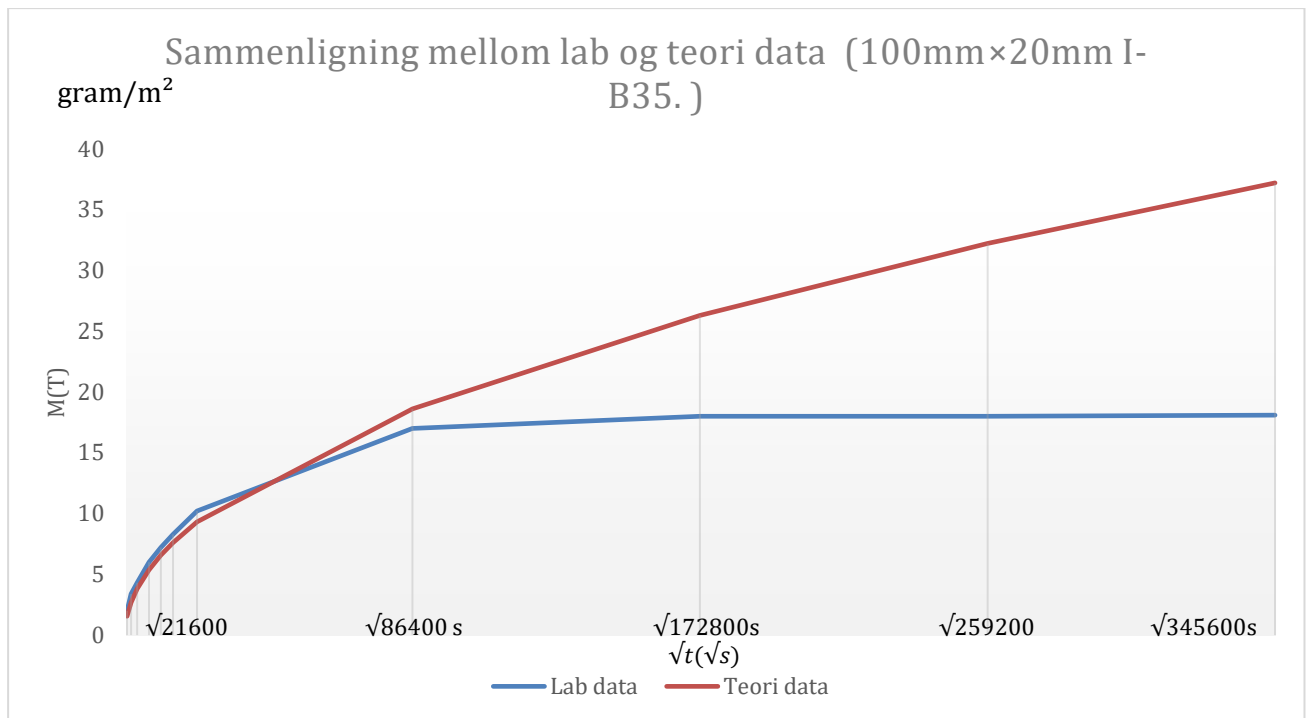
Figur 16. resultater av kvadrat-rot-modell er ganske samstemmer med lab data for Ref. B35 prøver med tykkelse 20mm. Det er velkjent betong teknologi kunnskap at betongsprøve med relativt tynne prøver (noe få *cm* tykke) som tørkes ut ved $105^{\circ}C$ vise rettlinjede absorpsjonskurver. Med dette tilfellet kvadrat-rot-modell forutsi vektøkning ganske riktig i forhold til labdata.

Når til $\sqrt{86400s}$ så nesten alle kapillærporene er fylt (se figur 16) så deretter er det luft-porer som gjenstår og skal fylles. Der er det diffusjon transport mekanisme som aktiv der. Hastighet av diffusjon transport mekanisme er veldig langsom til kapillær transport mekanisme. Derfor rate av vann oppsug ikke stige lenger, det stopp opp (se figur 16), fra for eks. $t = \sqrt{86400s}$.

Men, kvadrat-rot-model ta ikke hensyn til de kapillær porer er delvis/eller fullt fylt og luftporer skal fylles med diffusjon transport mekanismn, derfor i følge den model, vann oppsugg bare vokse med tid.



Figur 17. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×40mm Ref. B35).

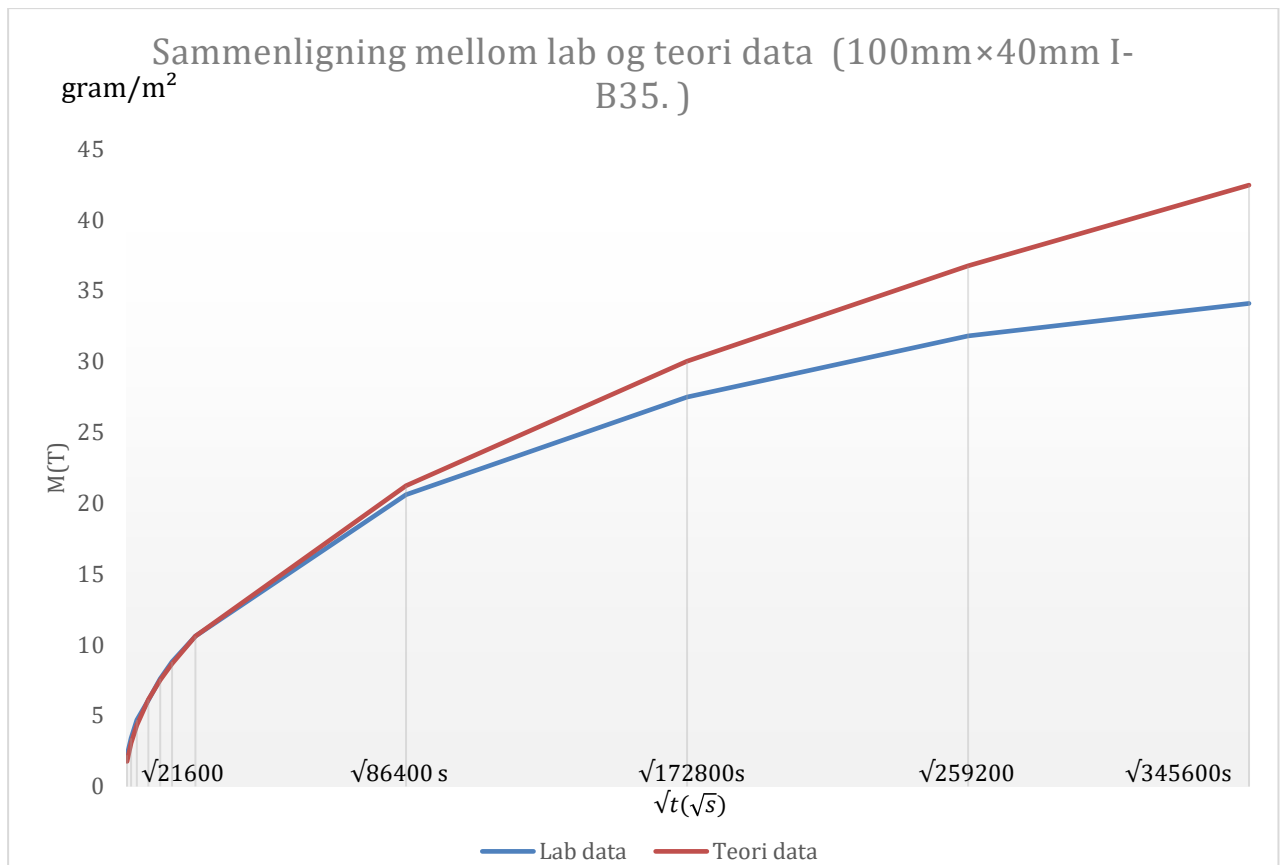


Figur 18. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×20mm med I-B35.).

Figur 18. viser at kvadrat-rot-modell. Vannoppsuger mengde er nesten samstemme med lab-data for heleforsøk tid perioder, helt til neste alle kapillær porene har oppfylt (knekt punktet i labdata kurvet).

I start av oppsuge tid ($10, \sqrt{t} = \sqrt{40,000s}$) vannoppsuge mengde er nesten det samme for lab-data og kvadrat-rot-modell. Deretter kvadrat-rot-oppsuger siger raskere enn labdata.

Det er ganske vel kjent resultater i betong teknologi for betong med tykkelse 20mm, der er kvadrat-rot-modell forutsett ganske riktig vannoppsug mengde i forhold med labdata. Men avvik vannoppsug mengde mellom modell og labdata begynner etter en stund oppsug tid start. For eks, i vårt tilfelle $\sqrt{t} = \sqrt{40,000s}$. Men for de betong med tykkelse mer enn 20mm, så avvik vannoppsug mellom kvadrat-rot-modell og lab data enda mer tydelig.



Figur 19. Sammenligning mellom lab og teori data (100mm×40mm I-B35.).

Vi ser i figur 19 oppsugning tendens er samme. Vi ser en ganske raskt oppsugning av vann i det første fase 0 til $\sqrt{86400}$, deretter ser vi en derivasjon i stigningen. Stigningsraten stanse etter hvert når prøvene er vannmettet (alle kapillar porene er fylt). Har ser vi tydelig at derivasjon i vannoppsug mellom kvadrat-rot-modell og lab data enda mer tydelig.

I start fasen er kapillærporene tørre og åpent, dermed skjer en oppsuging raskere. Vannoppsug raten minsker da etter hvert som kapillar porene delvis/hel oppfylt.

Gjennom eksperiment viser det seg at I-B35. prøven med tilsatt idrocrete KR 1000 har evne til å redusere kapillærpore andel. Noe som medføre til mindre sugeevnen. Dette er illustrert tydelig i vedlegg 14 og 15.

5.3 Vanninntrenging

Fra testen får vi en indikasjon at det er vann inntrengning i alle prøvene etter 72 timer.

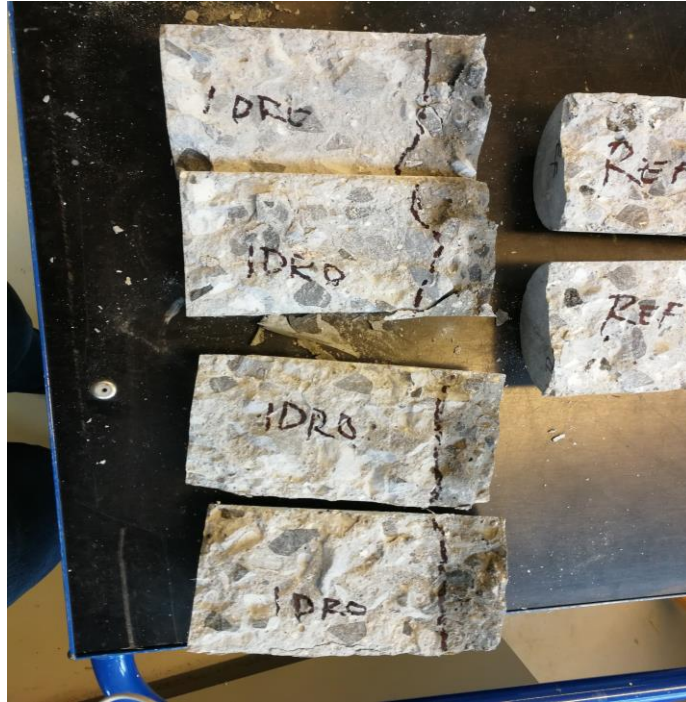


Figur 20. Vanninntrengning maskin.

Det er forventet før gjennomføring av prøven at prøvene med tilsatt idrocrete trekke i seg mindre vann enn referanse prøven.

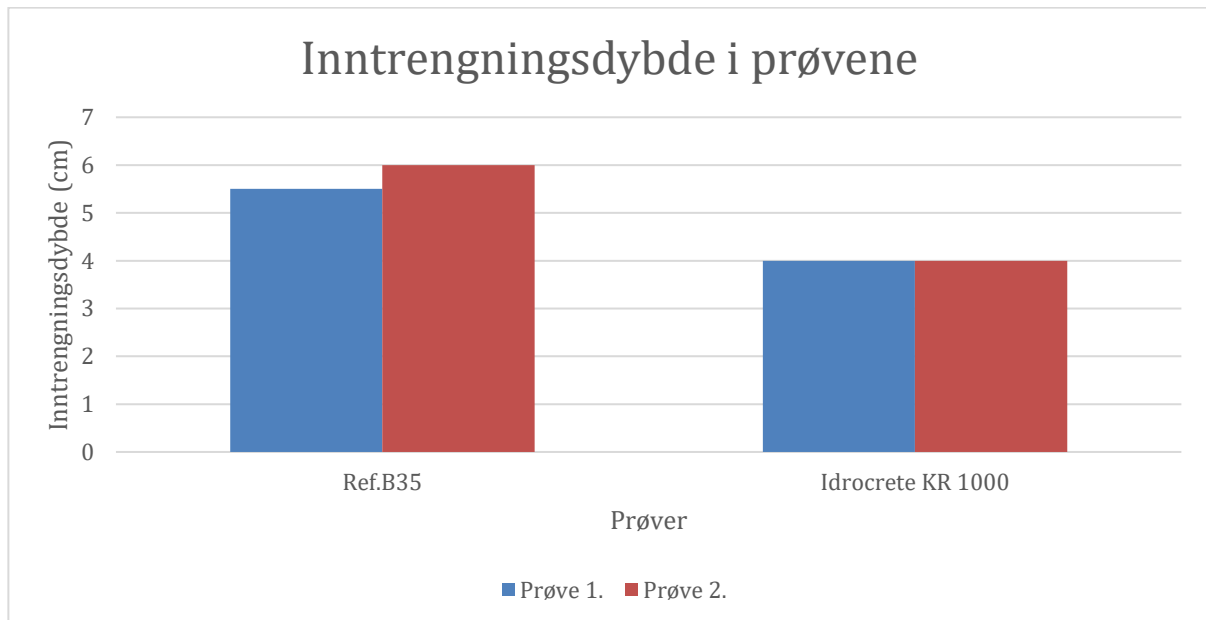
I henhold til NS-EN 3420 Kap.L5 betong er vanntett dersom midlere vanninntrengning er mindre enn 25mm for prøveserie med minst 3 prøvestykker. [9]

I vår eksperiment har vi brukt 2 prøvestykker for hver type. På grunn av dette er det litt vanskelig å gi en konkret konklusjon. Vi velge å fremdeles bruke midlere inntrengningsbybde for de to prøvene.



Figur 21. Vanninntrengning prøver etter observasjon.

Figur 21. viser illustrere tydelig merket nivået til vann gjennomtrengning etter 72 timer.



Figur 22. illustrasjon av vanninntrengningsdybde.

Fra resultater i figur 21. ser vi I-B35. prøvene har lavere inntrengningsfront, som forventet. Dette er også vist i tabell 1.

Produktet har gjort betongen motstandsdyktighet mot vanninntrengning ved høyere vanntrykk. Effekten av idrocrete KR 1000 gjør at inntrengning av vann bli sperret på en viss grense og dette fremhever betongens bestandighet.

Resultater viser tydelig at idrocrete KR 1000 tilsetningsstoffer forbedrer betongens permeabilitet, som også er forventet.

	Ref.B35	Idrocrete KR 1000	% forskjell fra ref.
Prøve 1.	5,5	4	27 %
Prøve 2.	6	4	33 %

Tabell 1. Resultater for vanninntrengning.

6 Konklusjon

I denne oppgaver studere vi effekt av tilsetningstoffet idrocrete KR 1000 på betong trykkfasthet og kapillær vannoppsugg evne. Fra labdata om trykkfasthet, dra vi følgende konklusjon:

- Trykkfasthet i 28 dager herderstid er mye større enn tilsvarende 7-dager herderstid
- Trykk fasthet til betong prøve uten idrocrete KR 1000 er større enn de prøver med idrocrete KR 1000 (dette gjelder for herderstid 7 og 28 døgn)
- Kapillær porøsitet til betong prøve uten idrocrete KR 1000 er større enn de prøver med idrocrete KR 1000 (dette gjelder for herderstid 7 og 28 døgn)

For kapillær oppsugningsevne, basert på labdata kan vi dra følgende konklusjon:

- Vannoppsugg mengde til betong prøve uten idrocrete KR 1000 er større enn de prøver med idrocrete KR 1000, for hele kapillær oppsug forsøksstid (det gjelder for betong med tykkelsen 20, 40, 0g 100 mm)
- Hastighet (rate) av vannoppsugg til betong prøve uten idrocrete KR 1000 er raskere enn de prøver med idrocrete KR 1000, for hele kapillær oppsug forsøksstid (det gjelder for betong med tykkelsen 20, 40, 0g 100 mm)
- For betong uten idrocrete KR 1000 med tykkelse 20 mm, Vannoppugg vokser linear med respekt med kvadrat rot av tid i en stund, etter avviker de fra rettlinjede 'rørsugmodell' kvadratrot modell.
- For betong med idrocrete KR 1000 med tykkelse 20 mm, Vannoppugg vokser linear med respekt med kvadrat rot av tid i en stund, etter avviker de fra en slik rettlinjede 'rørsugmodell' kvadratrot modell.
- For betong uten idrocrete KR 1000 med tykkelse 20 -100 mm, vannoppsugg mengde vokser mye lavere enn slik rettlinjede 'rørsugmodell' kvadratrot modell.
- For betong med idrocrete KR 1000 med tykkelse 20 -100 mm, vannoppsugg mengde vokser mye lavere enn slik rettlinjede 'rørsugmodell' kvadratrot modell.

7 Fremtidarbeid

Under arbeidet med oppgave har det dukket opp nye spørsmål og ideer som kunne vært interessant å jobbe videre med. På grunn av arbeidsmengden i forhold til tidsrommet har noen av de spørsmålene blitt lagt til siden. Følgende er noen av de forslag som kan jobbes videre med:

1. Sammenligne ved å dosere forskjellige mengde idrocrete KR 1000 i blandingen for å avklare hvilke mengde er optimalt for å oppnå det beste resultatet.
2. Trenger mer omfattende eksperiment for å se effekt av idrocrete KR 1000 på betongens trykkfasthet og strekksfasthet.
3. Trenger flere kapillær tester med klorid, slik at vi kan verifisere effekt av idrocrete KR 1000 på klorid oppsugg evne (Permeabilitet).
4. Trenger flere tester for å se effekt av idrocrete KR 1000 på porestrukture til betong (micro /macro skale til porestrukture).
5. Forbedring av kvadratrot modell, ved å utvide en rørsugmodell til et rør med varierende radius.

8 Referanser

- [1] H. Magerøy, *Betong ABC*, Brumunddal: Norcem A.S., Juni 1989.
- [2] Sintef (byggforsk), «572.207 Tilsetningsstoffer for betong,» Byggforsk, September 2010.
- [3] Mapei, *Idrocrete KR 1000*, Milano: Teknisk data, 2017.
- [4] S. Vegvessen, «421 Trykkfasthet, terning og sylinder,» Laboratorieundersøkelser, 2015.
- [5] M. MAAGE, *Betong. Regelverk, teknologi og utførelse*, Oslo: Byggenæringens Forlag AS, Mai 2015.
- [6] H. T. N. J. Frank Melansø, «Capillary suction in concrete with analytical pipe model-part 1 : Expansion - contraction- and random sized section compared with experiments,» Nordic concrete federation, 2010.
- [7] S. vegvesen, «14.622 Konsistens; synkmål, vebetall og utbredningsmål,» Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser.
- [8] S. vegvesen, «14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet,» Laboratorieundersøkelser.
- [9] Staten vegvesen, «14.633 Vanninntrengning,» Laboratorieundersøkelser, 1997.

9 Vedlegg

Vedlegg 1 - Prøving av herdet betong

Vedlegg 2 - Kapillær sug hastighet og porøsitet, PF (Ref. B35)

Vedlegg 3 – Mengde absorberte vann i gram (Ref.B35)

Vedlegg 4 – Registrerte vekt for porøsitet (Ref.B35)

Vedlegg 5 – Beregnet resultater for Ref.B35 prøve.

- Porøsitet
- Prøvestykkenes volum
- Tørr densitet
- Sug mettet densitet
- Sug porøsitet
- Vannmetting (luft)
- Vannmetting (vann) g3:
- Trykkmetting (luft) g4: (Ikke tatt med i beregning)

Vedlegg 6 - Kapillær sug hastighet og porøsitet, PF (I-B35.)

Vedlegg 7 - Mengde absorberte vann i gram (I-B35.)

Vedlegg 8 - Registrerte vekt for porøsitet (Registrerte vekt for porøsitet (Ref.B35))

Vedlegg 9 – Formler

Vedlegg 10 – Beregnet resultater for Beregnet resultater for I-B35. prøven.

- Porøsitet
- Prøvestykkenes volum
- Tørr densitet
- Sug mettet densitet

- Sug porøsitet
- Vannmetting (luft)
- Vannmetting (vann) g3:
- Trykkmetting (luft) g4: (Ikke tatt med i beregning)

Vedlegg 11 - Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og I-B35. prøven.

Vedlegg 12 - Praktisk (lab-data) illustrasjon av vannoppsugging i graf for prøven uten tilsatt Idrocrete 1000 (Ref.B35).

Vedlegg 13 - Praktisk (lab-data) illustrasjon av vannoppsugging i graf for prøven med tilsatt Idrocrete 1000.

Vedlegg 14 - Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og prøven med tilsatt idrocrete KR 1000

Vedlegg 15 - Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og I-B35. prøven

Vedlegg 16 - Beregnet effektiv radius $r(t)$ for Ref.B35 prøven.

Vedlegg 17 - Beregnet effektiv radius $r(t)$ for I-B35. prøven.

Vedlegg 18 - Beregnet teoretisk stigning vannfront, $H(t)$, og vektøkning $m(t)$ for Ref. B35 prøven.

Vedlegg 19 - Teoretisk illustrasjon av vannoppsugging i graf for Ref.B35 prøven.

Vedlegg 20 - Beregnet teoretisk stigning vannfront, $H(t)$, og vektøkning $m(t)$ for I-B35. prøver.

Vedlegg 21 - Teoretisk illustrasjon av vannoppsugging i graf for I-B35.

Vedlegg 22 - Sammenligning mellom lab og teori data av Ref.B35 prøven.

Vedlegg 23 - Sammenligning mellom lab og teori data av Ref.B35

Vedlegg 24 - Sammenligning mellom lab og teori data av Ref.B35 prøven

Vedlegg 25 - Sammenligning mellom lab og teori data av I-B35. prøven.

Vedlegg 26 - Sammenligning mellom lab og teori data av I-B35. prøven.

Vedlegg 27 - Sammenligning mellom lab og teori data av I-B35. prøven.

Vedlegg 28 – Idrocrete KR 1000.

Vedlegg 29 – Vanninntrenging maskin.

Vedlegg 30 – Betongprøvene delt for observasjon.

Vedlegg 1 - Prøving av herdet betong

Støpt	Merking	Lengde*Høyde	Vekt (g)	Volum	Bruddlast (kN)	Trykkdato
13.02.2019	Ref. B35	100*100	2405,8	978,2	494,7	20.02.2019
13.02.2019	Ref. B35	100*100	2415,2	991	493,8	20.02.2019
13.02.2019	Idrocrete	100*100	2372,6	973,3	424,9	20.02.2019
13.02.2019	Idrocrete	100*100	2432,6	1001,3	449,4	20.02.2019
13.02.2019	Ref. B35	100*100	2413,9	977,8	556	27.02.2019
13.02.2019	Ref. B35	100*100	2435,2	990,9	552,5	27.02.2019
13.02.2019	Idrocrete	100*100	2433,9	996,8	532,3	27.02.2019
13.02.2019	Idrocrete	100*100	2393,8	979,4	519,7	27.02.2019
13.02.2019	Ref. B35	100*100	2443,9	996,2	605,8	13.03.2019
13.02.2019	Ref. B35	100*100	2422,5	988	621,7	13.03.2019
13.02.2019	Idrocrete	100*100	2384,4	979,8	575,4	13.03.2019
13.02.2019	Idrocrete	100*100	2426,1	988,7	576,3	13.03.2019

Vedlegg 2 - Kapillær sughastighet og porøsitet, PF (Ref. B35)

Dato	Kl	Vekt (g) etter	Prøvestykke merket								
			Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35
		Tørking (g1)	346,3	402	436,3	703,8	764,8	725	1835	1825,9	1872
		Start suging									
16.04.2019	14:10	10 min. suging	349,1	404,4	438,9	707,2	767,8	727,6	1838,8	1828,4	1875,3
16.04.2019	14:30	30 min. suging	350,2	405,6	440,2	708,8	769	729,1	1840	1829,3	1876,1
16.04.2019	15:00	1 time suging	352	407,2	441,7	710,7	770,5	730,8	1841,2	1829,9	1877,3
16.04.2019	16:00	2 time suging	354,4	409,2	444	713,5	772,6	733,2	1843,3	1831	1879,1
16.04.2019	17:00	3 time suging	356,3	411,2	445,8	715,8	774,5	735,1	1844,9	1832,3	1880,4
16.04.2019	18:00	4 time suging	357,9	412,6	447,4	717,7	776	736	1846,5	1833,6	1881,6
16.04.2019	20:00	6 time suging	360,2	415,1	450	720,9	778,5	739,2	1848,6	1835,2	1883,6
17.04.2019	14:00	1 døgn suging	364,8	424	459,3	736,8	792	751,9	1859,5	1845,2	1893,2
18.04.2019	14:00	2 døgn suging	365	424,3	459,8	741,7	801,4	760,1	1867,1	1853,1	1899,8
19.04.2019	14:00	3 døgn suging	365,1	424,4	459,9	742	804,3	761,1	1872,3	1859	1904,2
20.04.2019	14:00	4 døgn suging	365,2	424,4	459,9	742,1	804,7	761,3	1875,9	1863,3	1907,3
		Vannmetting (luft) g2	365,5	424,8	460	742,5	805,1	761,6	1907	1905,4	1939,5
		Vannmetting (vann) g3	157,1	175,3	187,2	303,9	328,2	314	778,2	780,8	791,2
		Trykkmetting (luft) g4									
Mål	Diameter (mm)		100mm			100mm			100mm		
	Høyde (mm)		20mm			40mm			100mm		

Vedlegg 3 - Mengde absorberte vann i gram (Ref.B35)

Dato	Kl	Vekt (g) etter	Prøvestykke merket								
			Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35
		Tørking (g1)	346,3	402	436,3	703,8	764,8	725	1835	1825,9	1872
		Start suging									
16.04.2019	14:10	10 min. suging	2,8	2,4	2,6	3,4	3	2,6	3,8	2,5	3,3
16.04.2019	14:30	30 min. suging	3,9	3,6	3,9	5	4,2	4,1	5	3,4	4,1
16.04.2019	15:00	1 time suging	5,7	5,2	5,4	6,9	5,7	5,8	6,2	4	5,3
16.04.2019	16:00	2 time suging	8,1	7,2	7,7	9,7	7,8	8,2	8,3	5,1	7,1
16.04.2019	17:00	3 time suging	10	9,2	9,5	12	9,7	10,1	9,9	6,4	8,4
16.04.2019	18:00	4 time suging	11,6	10,6	11,1	13,9	11,2	11	11,5	7,7	9,6
16.04.2019	20:00	6 time suging	13,9	13,1	13,7	17,1	13,7	14,2	13,6	9,3	11,6
17.04.2019	14:00	1 døgn suging	18,5	22	23	33	27,2	26,9	24,5	19,3	21,2
18.04.2019	14:00	2 døgn suging	18,7	22,3	23,5	37,9	36,6	35,1	32,1	27,2	27,8
19.04.2019	14:00	3 døgn suging	18,8	22,4	23,6	38,2	39,5	36,1	37,3	33,1	32,2
20.04.2019	14:00	4 døgn suging	18,9	22,4	23,6	38,3	39,9	36,3	40,9	37,4	35,3
		Vannmetting (luft) g2	365,5	424,8	460	742,5	805,1	761,6	1907	1905,4	1939,5
		Vannmetting (vann) g3	157,1	175,3	187,2	303,9	328,2	314	778,2	780,8	791,2
		Trykkmetting (luft) g4									
Mål	Diameter (mm)		100mm			100mm			100mm		
	Høyde (mm)		20mm			40mm			100mm		

Vedlegg 4 - Registrerte vekt for porøsitet (Ref.B35)

Bestemmelse avporøsitet etter PF-metoden

Dato	Kl	Vekt (g) etter	1	2	3	1	2	3	1	2	3
			Prøvestykke merket								
			Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35
		Tørrking (g1)	346,3	402	436,3	703,8	764,8	725	1835	1825,9	1872
		Vannmetting (luft) g2	365,5	424,8	460	742,5	805,1	761,6	1907	1905,4	1939,5
		Vannmetting (luft) g3	157,1	175,3	187,2	303,9	328,2	314	778,2	780,8	791,2
		Trykkmetting (luft) g4									
Mål	Diameter (mm)		100mm			100mm			100mm		
	Høyde (mm)		20mm			40mm			100mm		

Vedlegg 5 - Beregnet resultater for Ref.B35 prøve.

Resultater

Vekt (g) etter	Prøvestykke merket									
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	Ref. B35	
Tørrking (g1)	346,3	402	436,3	703,8	764,8	725	1835	1825,9	1872	
Porøsitet:	12,22151496	13,00627496	12,66025641	12,73445212	12,27909811	11,65605096	9,252120278	10,18186475	8,531344793	%
Prøvestykkenes volum:	0,2084	0,2495	0,2728	0,4386	0,4769	0,4476	1,1288	1,1246	1,1483	m ³
Tørr densitet:	1661,708253	1611,222445	1599,340176	1604,651163	1603,690501	1619,749777	1625,620128	1623,599502	1630,236001	Kg/m ³
Sugmettet densitet:	1753,838772	1702,60521	1686,217009	1692,886457	1688,19459	1701,519214	1689,404678	1694,291304	1689,018549	Kg/m ³
Sugporøsitet:	0,092130518	0,091382766	0,086876833	0,088235294	0,084504089	0,081769437	0,06378455	0,070691802	0,058782548	
Vannmetting (luft) g2:	365,5	424,8	460	742,5	805,1	761,6	1907	1905,4	1939,5	
Vannmetting (vann) g3:	157,1	175,3	187,2	303,9	328,2	314	778,2	780,8	791,2	
Trykkmetting (luft) g4:										
Diameter (mm)	100mm			100mm			100mm			
Høyde (mm)	20mm			40mm			100mm			

Vedlegg 6 - Kapillær sug hastighet og porøsitet, PF (Med tilsatt Idrocrete KR 1000)

Dato	Kl	Vekt (g) etter	1	2	3	1	2	3	1	2	3
			Prøvestykke merket								
			Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete
		Tørking (g1)	368,4	338,7	390,4	758,3	718,3	723,9	1884,2	1826	1881,8
		Start suging									
16.04.2019	14:10	10 min. suging	370,2	340,7	392,5	761	720,5	726	1886,9	1829	1884,5
16.04.2019	14:30	30 min. suging	371,3	342,1	393,9	762	721,7	726,9	1888,1	1830	1885,3
16.04.2019	15:00	1 time suging	372,4	343	394,8	763,5	723	728	1888,8	1830,8	1886,3
16.04.2019	16:00	2 time suging	373,9	344,7	396,4	765,2	724,4	729,7	1890,1	1832	1888
16.04.2019	17:00	3 time suging	375,2	345,9	397,6	766,6	725,9	731	1891	1833,3	1889
16.04.2019	18:00	4 time suging	376,1	347	398,8	767,8	727,1	732,3	1892	1834,3	1890,3
16.04.2019	20:00	6 time suging	377,8	348,9	400,5	769,5	728,9	734,1	1893,1	1835,8	1891,9
17.04.2019	14:00	1 døgn suging	386,1	355,7	408,2	777,4	738,9	742,4	1898,7	1844,5	1899,5
18.04.2019	14:00	2 døgn suging	388,1	356,7	410,5	782,5	745,8	748,4	1902,3	1850,6	1904
19.04.2019	14:00	3 døgn suging	388,2	356,7	410,8	786,1	750,1	752,3	1904,4	1854,5	1906,8
20.04.2019	14:00	4 døgn suging	388,2	356,8	410,9	788,3	752,4	754,2	1905,9	1857,1	1908,6
		Vannmetting (luft) g2	388,7	792,9	1931,4	357,2	756,1	1937,5	411,5	756,8	1895,9
		Vannmetting (vann) g3	159	326,1	791,1	146,3	311,5	780,6	168,2	312,8	792,3
		Trykkmetting (luft) g4									
Mål	Diameter (mm)		100mm			100mm			100mm		
	Høyde (mm)		20mm			40mm			100mm		

Vedlegg 7 - Mengde absorberte vann i gram (Med tilsatt Idrocrete KR 1000)

Dato	KI	Vekt (g) etter	Prøvestykke merket								
			Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete
		Tørking (g1)	368,4	338,7	390,4	758,3	718,3	723,9	1884,2	1826	1881,8
		Start suging									
16.04.2019	14:10	10 min. suging	1,8	2	2,1	2,7	2,2	2,1	2,7	3	2,7
16.04.2019	14:30	30 min. suging	2,9	3,4	3,5	3,7	3,4	3	3,9	4	3,5
16.04.2019	15:00	1 time suging	4	4,3	4,4	5,2	4,7	4,1	4,6	4,8	4,5
16.04.2019	16:00	2 time suging	5,5	6	6	6,9	6,1	5,8	5,9	6	6,2
16.04.2019	17:00	3 time suging	6,8	7,2	7,2	8,3	7,6	7,1	6,8	7,3	7,2
16.04.2019	18:00	4 time suging	7,7	8,3	8,4	9,5	8,8	8,4	7,8	8,3	8,5
16.04.2019	20:00	6 time suging	9,4	10,2	10,1	11,2	10,6	10,2	8,9	9,8	10,1
17.04.2019	14:00	1 døgn suging	17,7	17	17,8	19,1	20,6	18,5	14,5	18,5	17,7
18.04.2019	14:00	2 døgn suging	19,7	18	20,1	24,2	27,5	24,5	18,1	24,6	22,2
19.04.2019	14:00	3 døgn suging	19,8	18	20,4	27,8	31,8	28,4	20,2	28,5	25
20.04.2019	14:00	4 døgn suging	19,8	18,1	20,5	30	34,1	30,3	21,7	31,1	26,8
		Vannmetting (luft) g2	388,7	357,2	411,5	792,9	756,1	756,8	1931,4	1937,5	1895,9
		Vannmetting (vann) g3	159	146,3	168,2	326,1	311,5	312,8	791,1	780,6	792,3
		Trykkmetting (luft) g4									
Mål	Diameter (mm)		100mm			100mm			100mm		
	Høyde (mm)		20mm			40mm			100mm		

Vedlegg 8 - Registrerte vekt for porøsitet (Registrerte vekt for porøsitet (Ref.B35))

Bestemmelse avporøsitet
etter PF-metoden

Dato Kl Vekt (g) etter			Prøvestykke merket								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
			Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete
		Tørrking (g1)	368,4	338,7	390,4	758,3	718,3	723,9	1884,2	1826	1881,8
		Vannmetting (luft) g2	388,7	357,2	411,5	792,9	756,1	756,8	1931,4	1937,5	1895,9
		Vannmetting (luft) g3	159	146,3	168,2	326,1	311,5	312,8	791,1	780,6	792,3
		Trykkmetting (luft) g4									
Mål	Diameter (mm)		100mm			100mm			100mm		
	Høyde (mm)		20mm			40mm			100mm		

Vedlegg 9 – Formler

- **Prøvestykkets volum:** $V = \frac{g^2 - g^3}{\rho_{\text{vann}}} \quad (\text{m}^3)$
- **Tørrdensitet:** $\rho_t = \frac{g^1}{V}$
- **Faststoffdensitet:** $\rho_{\text{fs}} = \frac{g^1}{V - (g^4 - g^1)/\rho_w} \quad (\text{kg/m}^3)$
- **Sug mettet densitet:** $\rho_s = \frac{g^2}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$
- **Sug porøsitet:** $p_s = \frac{g^2 - g^1}{V \times \rho_w}$
- **Makroporøsitet:** $p_m = \frac{g^4 - g^2}{V \times \rho_w}$
- **Totalporøsitet:** $p_t = p_s + p_m$
- **PF-verdi:** $PF = p_m/p_t$
- **M(t) = $\rho_{\text{vann}} \times A \times h(t) \times P\%$**
- $H(t) = \frac{M(t)}{\rho_{\text{vann}} \times A \times P\%}$
- $H(t) = \sqrt{\frac{r \times \gamma \times \cos \alpha \times t}{2\mu}}$
- $h^2(t) = \frac{r \times \gamma \times \cos \alpha \times t}{2\mu}$

- $r = \frac{h^2(t) \times 2\mu}{\gamma \times \cos \alpha \times t}$

Hvor:

- **Overflate spenning, $\gamma = 0,073$**
- **Viskositet, $\mu = 0,001\text{N/m}$**
- **T = tid (sek)**
- **Radius, $r = 0,05\text{m}$**
- **Areal, $A = 0,00785\text{m}^2$**
- **Vann densitet, $\rho = 1000\text{kg/m}^3$**
- **$\alpha = \epsilon [0,90]$ $\cos \alpha \in [0,1]$**
- **Mass, $M(t) = \text{gram(g)}$**

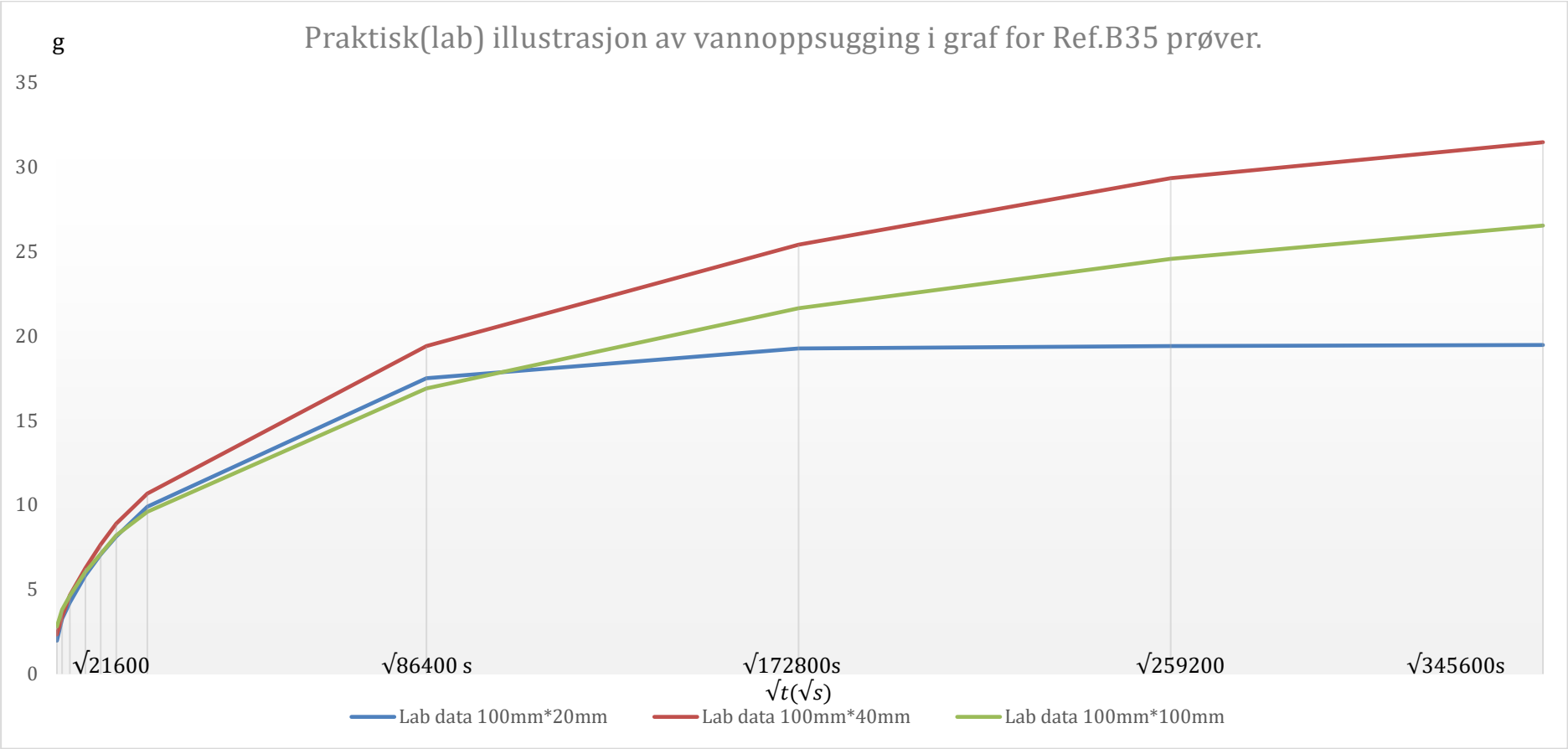
Vedlegg 10 - Beregnet resultater for prøven med tilsatt idrocrete KR1000.

Vekt (g) etter	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	
	Prøvestykke merket									
	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	Med Idrocrete	
Tørrking (g1)	368,4	338,7	390,4	758,3	718,3	723,9	1884,2	1826	1881,8	
Porøsitet:	12,7672956	12,64524949	12,54458977	10,61024226	12,13483146	10,51790281	5,966375932	14,28388419	1,779628928	%
Prøvestykkenes volum:	0,2297	0,2109	0,2433	0,4668	0,4446	0,444	1,1403	1,1569	1,1036	m ³
Tørr densitet:	1603,831084	1605,974395	1604,60337	1624,464439	1615,609537	1630,405405	1652,372183	1578,355951	1705,146792	Kg/m ³
Sugmettet densitet:	1692,207227	1693,693694	1691,327579	1698,586118	1700,62978	1704,504505	1693,764799	1674,734203	1717,923161	Kg/m ³
Sugporøsitet:	0,088376143	0,087719298	0,086724209	0,07412168	0,085020243	0,074099099	0,041392616	0,096378252	0,012776368	
Vannmetting (luft) g2:	388,7	357,2	411,5	792,9	756,1	756,8	1931,4	1937,5	1895,9	
Vannmetting (vann) g3:	159	146,3	168,2	326,1	311,5	312,8	791,1	780,6	792,3	
Trykkmetting (luft) g4:										
Diameter (mm)	100mm			100mm			100mm			
Høyde (mm)	20mm			40mm			100mm			

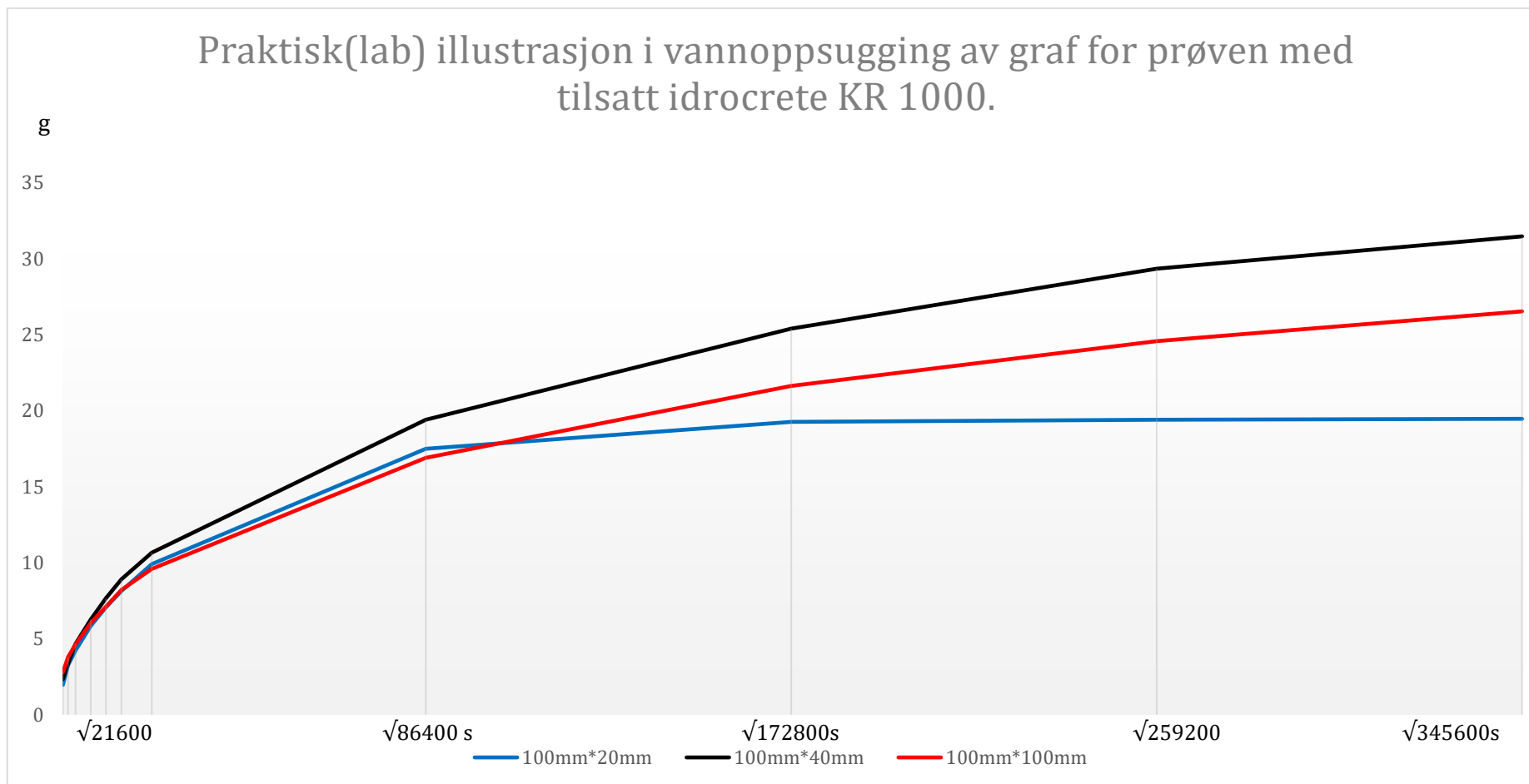
Vedlegg 11 - Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og prøven med tilsatt idrocrete KR 1000

t(min)	\sqrt{t}	Ref.B35			Med tilsatt idrocrete		
		100mm*20mm	100mm*40mm	100mm*100mm	100mm*20mm	100mm*40mm	100mm*100mm
10	3,162278	2,6	3	3,2	1,966666667	2,333333333	2,8
30	5,477226	3,8	4,433333333	4,166666667	3,266666667	3,366666667	3,8
60	7,745967	5,433333333	6,133333333	5,166666667	4,233333333	4,666666667	4,633333333
120	10,95445	7,666666667	8,566666667	6,833333333	5,833333333	6,266666667	6,033333333
180	13,41641	9,566666667	10,6	8,233333333	7,066666667	7,666666667	7,1
240	15,49193	11,1	12,03333333	9,6	8,133333333	8,9	8,2
360	18,97367	13,56666667	15	11,5	9,9	10,66666667	9,6
1440	37,94733	21,16666667	29,03333333	21,66666667	17,5	19,4	16,9
2880	53,66563	21,5	36,53333333	29,03333333	19,26666667	25,4	21,63333333
4320	65,72671	21,6	37,93333333	34,2	19,4	29,33333333	24,56666667
5760	75,89466	21,63333333	38,16666667	37,86666667	19,46666667	31,46666667	26,53333333

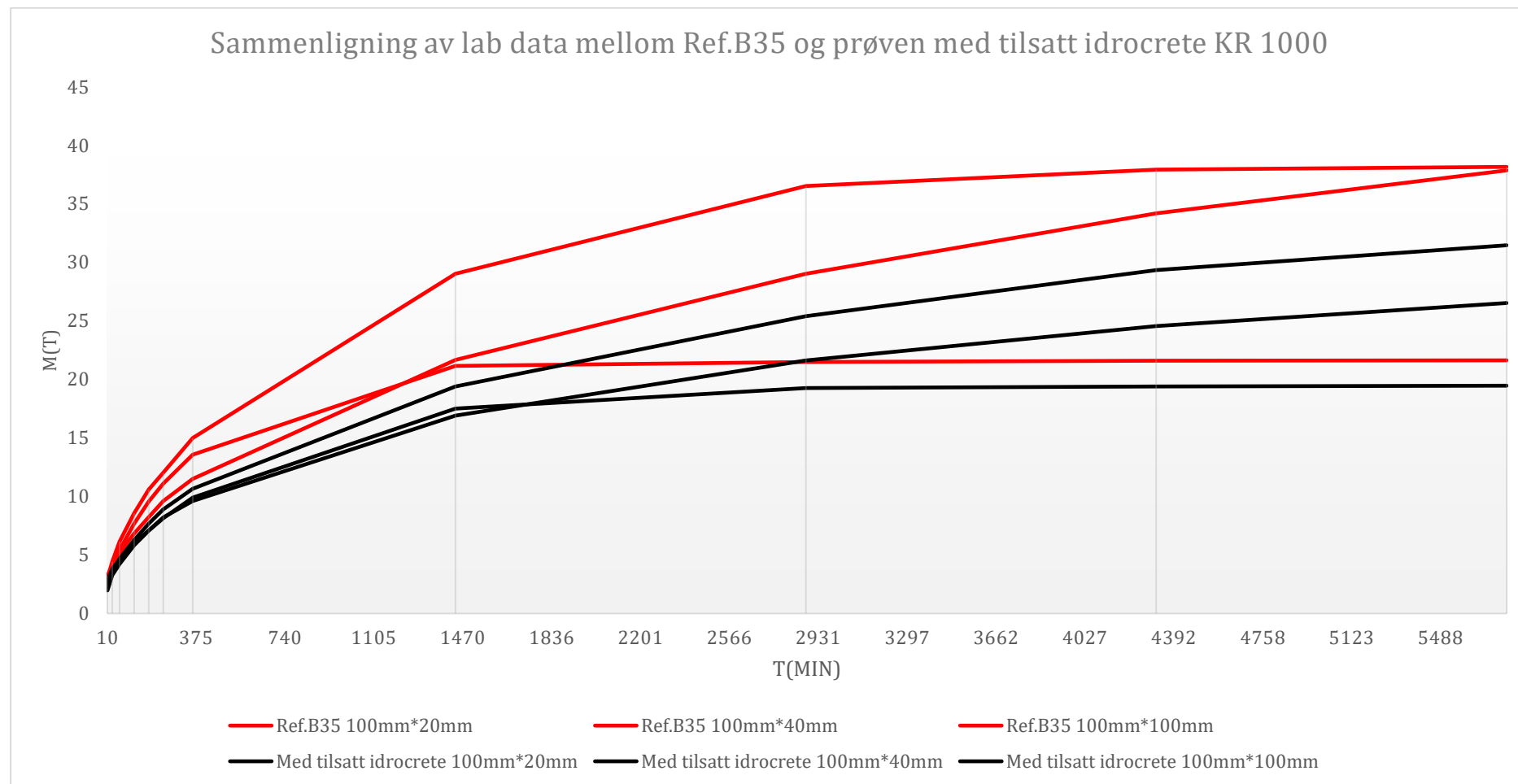
Vedlegg 12 – Praktisk (lab-data) illustrasjon av vannoppsugging i graf for prøven uten tilsatt Idrocrete 1000 (Ref.B35).



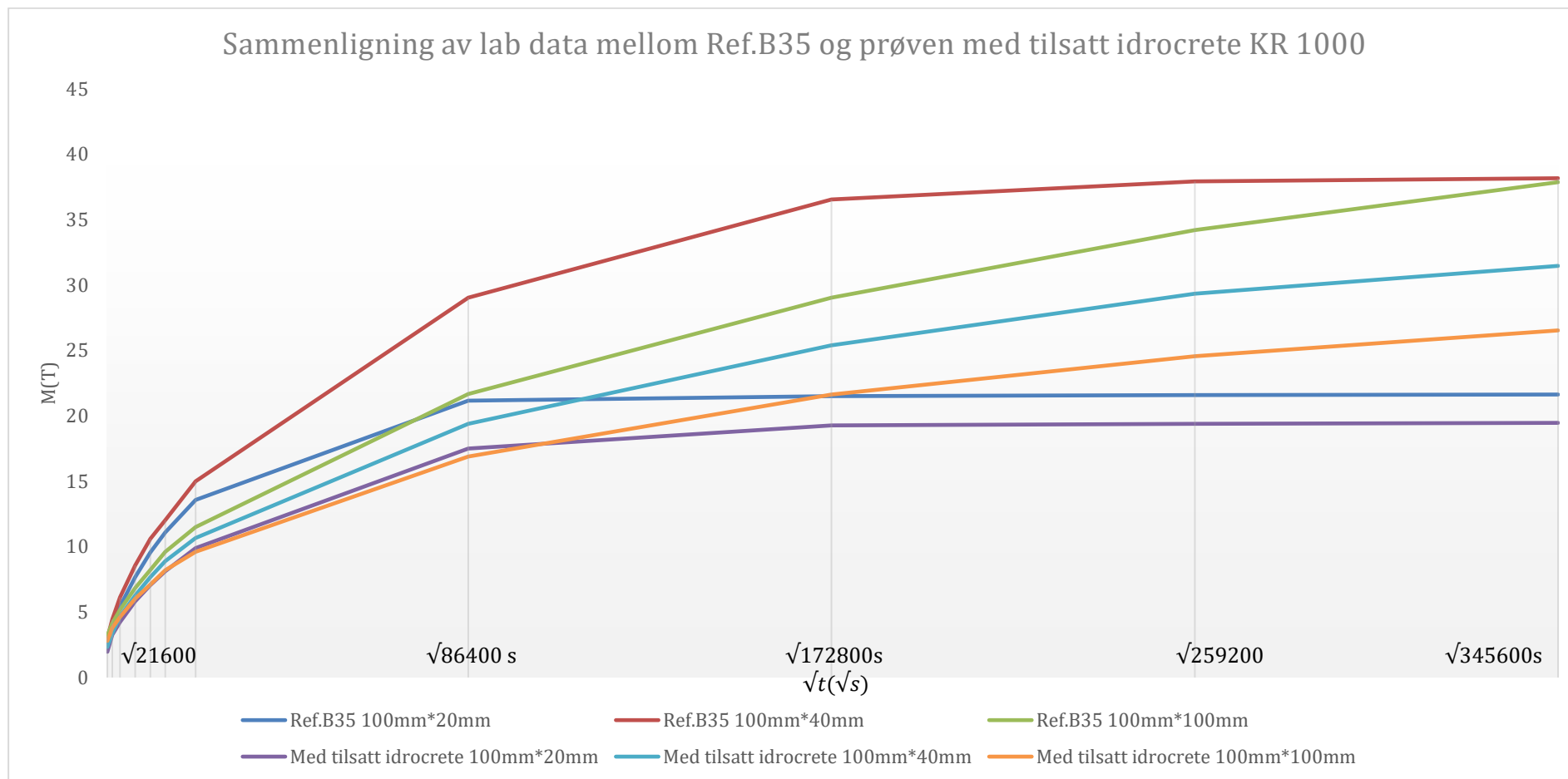
Vedlegg 13 – Praktisk (lab-data) illustrasjon av vannoppsugging i graf for prøven med tilsatt Idrocrete 1000.



Vedlegg 14 - Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og prøven med tilsatt idrocrete KR 1000



Vedlegg 15 - Sammenligning av lab data mellom Ref.B35 og prøven med tilsatt idrocrete KR 1000



Vedlegg 16 - Beregnet effektiv radius $r(t)$ for Ref.B35 prøven.

Ref. B35										
		M(t)	H(t)	r(t)	M(t)	H(t)	r(t)	M(t)	H(t)	r(t)
10 min. suging	10	2,6	0,002622544	6,28104E-10	3	0,003126559	8,92728E-10	3,2	0,004373022	1,74642E-09
30 min. suging	30	3,8	0,003832948	4,4723E-10	4,4333	0,004620325	6,49845E-10	4,1666	0,005693948	9,86942E-10
1 time suging	60	5,433	0,005480108	4,57102E-10	6,1333	0,006392042	6,2189E-10	5,1666	0,007060517	7,58766E-10
2 time suging	120	7,6666	0,007733074	4,55102E-10	8,5666	0,008927994	6,06614E-10	6,8333	0,009338178	6,63634E-10
3 time suging	180	9,5666	0,009649549	4,72419E-10	10,6	0,011047176	6,19179E-10	8,2333	0,011251375	6,4228E-10
4 time suging	240	11,1	0,011196244	4,77001E-10	12,033	0,012540629	5,9843E-10	9,6	0,013119065	6,54908E-10
6 time suging	360	13,5666	0,013684231	4,75033E-10	15	0,015632796	6,1995E-10	11,5	0,015715547	6,26531E-10
1 døgn suging	1440	21,1666	0,021350128	2,89084E-10	29,033	0,030257798	5,80628E-10	21,6666	0,02960891	5,55992E-10
2 døgn suging	2880	21,5	0,021686419	1,49131E-10	36,533	0,038074197	4,59679E-10	29,0333	0,039676016	4,99171E-10
3 døgn suging	4320	21,6	0,021787286	1,00348E-10	37,9333	0,03953357	3,30396E-10	34,2	0,046736669	4,61761E-10
4 døgn suging	5760	21,633	0,021820572	7,54911E-11	38,1666	0,039776712	2,50854E-10	37,866	0,051746512	4,24547E-10
				3,66004E-10			5,66381E-10			7,29178E-10

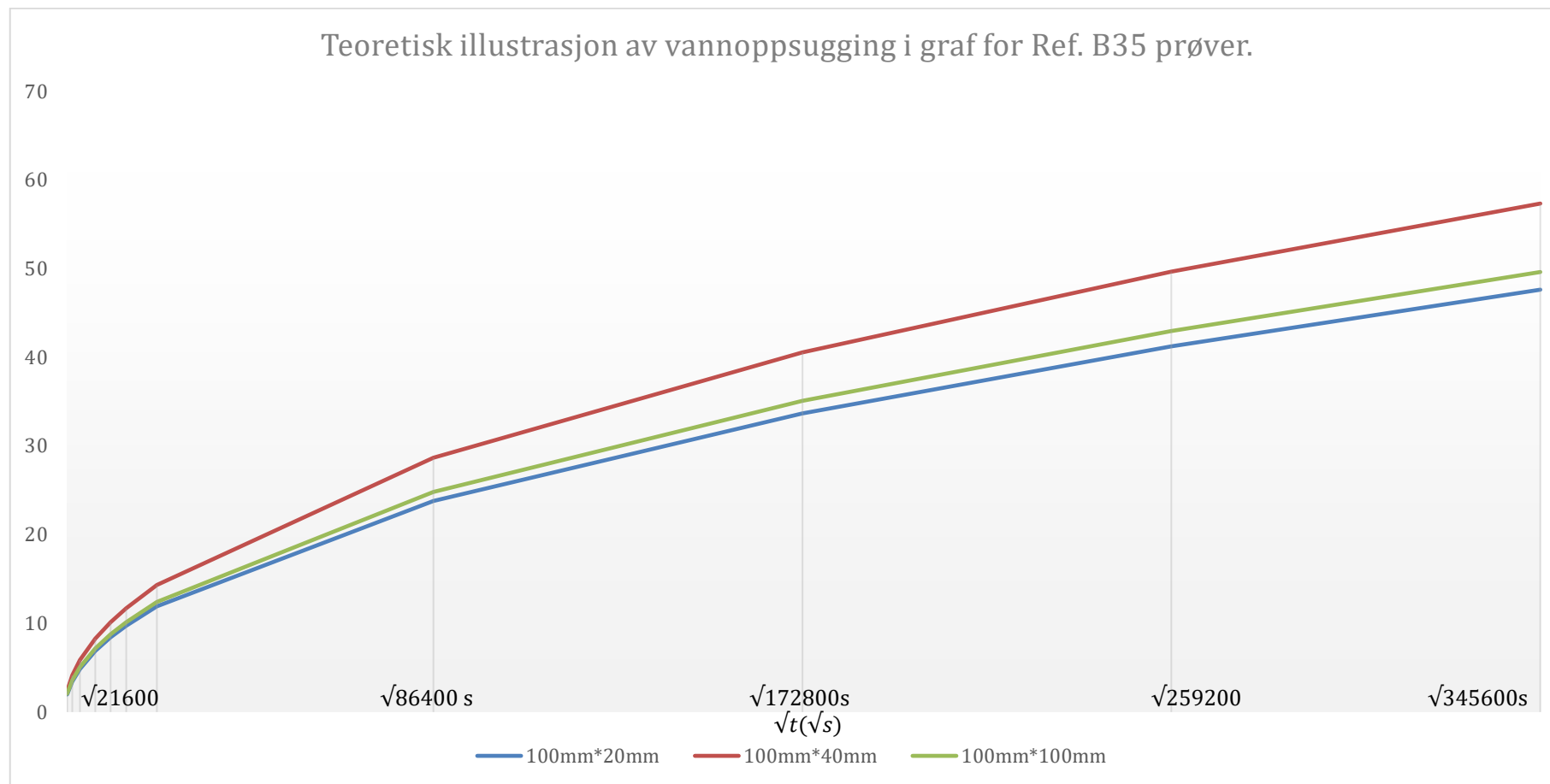
Vedlegg 17 - Beregnet effektiv radius $r(t)$ for prøven med tilsatt Idrocrete KR 1000.

	t(s)	M(t)	H(t)	r(t)	M(t)	H(t)	r(t)	M(t)	H(t)	r(t)
10 min. suging	10	1,9666	0,001980041	3,58042E-10	2,3333	0,002680779	6,56308E-10	2,8	0,004857327	2,15467E-09
30 min. suging	30	3,2666	0,003288926	3,29286E-10	3,3666	0,00386796	4,55437E-10	3,8	0,006592086	1,32285E-09
1 time suging	60	4,2333	0,004262233	2,76509E-10	4,6666	0,005361559	4,37539E-10	4,6333	0,008037661	9,83318E-10
2 time suging	120	5,8333	0,005873169	2,62512E-10	6,2666	0,007199834	3,94502E-10	6,0333	0,010466325	8,33668E-10
3 time suging	180	7,0666	0,007114898	2,56833E-10	7,6666	0,008808324	3,93641E-10	7,1	0,012316793	7,69677E-10
4 time suging	240	8,1333	0,008188889	2,55167E-10	8,9	0,010225404	3,97865E-10	8,2	0,014225028	7,69983E-10
6 time suging	360	9,9	0,009967664	2,5204E-10	10,6666	0,01225509	3,80992E-10	9,6	0,016653692	7,03565E-10
1 døgn suging	1440	17,5	0,017619607	1,96886E-10	19,4	0,022289084	3,15071E-10	16,9	0,029317436	5,45099E-10
2 døgn suging	2880	19,2666	0,019398281	1,19322E-10	25,4	0,029182615	2,70049E-10	21,6333	0,037528574	4,46599E-10
3 døgn suging	4320	19,4	0,019532593	8,06533E-11	29,3333	0,033701669	2,40107E-10	24,5666	0,042617144	3,83947E-10
4 døgn suging	5760	19,4666	0,019599648	6,0906E-11	31,4666	0,036152664	2,07226E-10	26,5333	0,046028896	3,35911E-10
				2,2256E-10			3,77158E-10			8,40844E-10

Vedlegg 18 - Beregnet teoretisk stigning vannfront, $H(t)$, og vektøkning $m(t)$ for Ref. B35 prøven.

Ref. B35						
	h(t)	m(t)	h(t)	m(t)	h(t)	m(t)
10	0,002001935	1,984726506	0,002490356	2,389549627	0,002825685	2,067721627
30	0,003467454	3,437647148	0,004313423	4,138821362	0,00489423	3,581398913
60	0,00490372	4,861567219	0,006100102	5,853177302	0,006921486	5,064862915
120	0,006934908	6,875294295	0,008626847	8,277642724	0,009788459	7,162797827
180	0,008493493	8,420481427	0,010565686	10,13800047	0,011988365	8,772599903
240	0,00980744	9,723134438	0,012200204	11,7063546	0,013842972	10,12972583
360	0,012011612	11,90835904	0,014942137	14,33729776	0,016954109	12,40632976
1440	0,024023225	23,81671807	0,029884274	28,67459553	0,033908218	24,81265952
2880	0,03397397	33,68192571	0,042262746	40,55200189	0,047953462	35,09039961
4320	0,041609446	41,25176577	0,051761081	49,66585634	0,058730757	42,97678696
5760	0,048046449	47,63343615	0,059768548	57,34919106	0,067816436	49,62531904

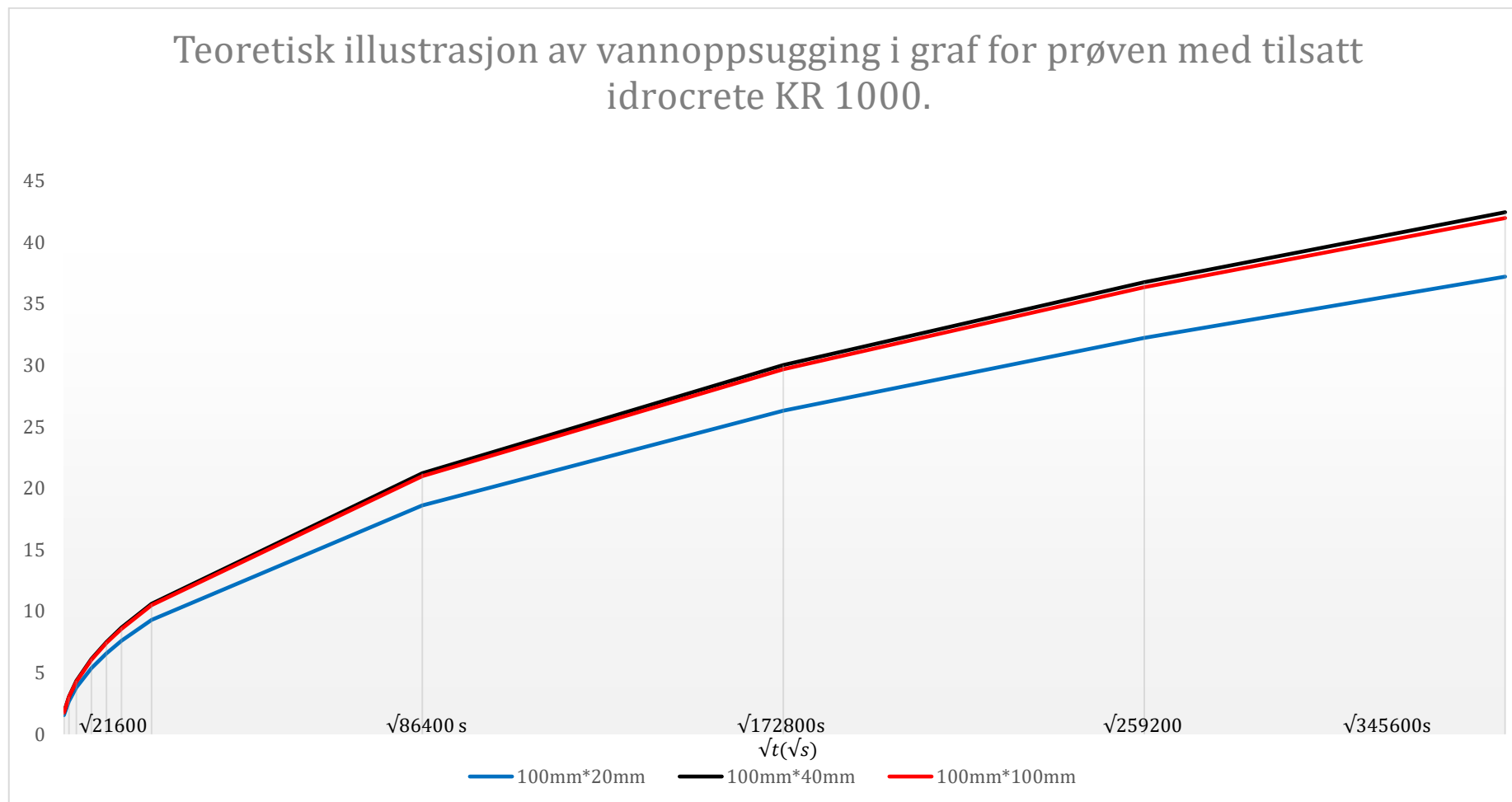
Vedlegg 19 - Teoretisk illustrasjon av vannoppsugging i graf for Ref.B35 prøven.



Vedlegg 20 - Beregnet teoretisk stigning vannfront, $H(t)$, og vektøkning $m(t)$ prøven med tilsatt Idrocrete KR 1000.

Med Idrocrete						
	h(t)	m(t)	h(t)	m(t)	h(t)	m(t)
10	0,001561099	1,550501451	0,00203221	1,768797812	0,003034344	1,749143768
30	0,002703902	2,685547291	0,003519892	3,063647678	0,005255638	3,029605875
60	0,003823895	3,797937401	0,004977879	4,332652096	0,007432594	4,284509717
120	0,005407804	5,371094582	0,007039784	6,127295356	0,010511275	6,05921175
180	0,006623181	6,578220543	0,008621939	7,504373563	0,012873631	7,420988516
240	0,00764779	7,595874803	0,009955757	8,665304193	0,014865188	8,569019435
360	0,009366592	9,303008709	0,012193263	10,61278687	0,018206063	10,49486261
1440	0,018733184	18,60601742	0,024386525	21,22557374	0,036412126	20,98972521
2880	0,026492723	26,31288217	0,034487755	30,01749425	0,051494523	29,68395406
4320	0,032446826	32,22656749	0,042238701	36,76377213	0,063067653	36,3552705
5760	0,037466368	37,21203483	0,048773051	42,45114748	0,072824253	41,97945042

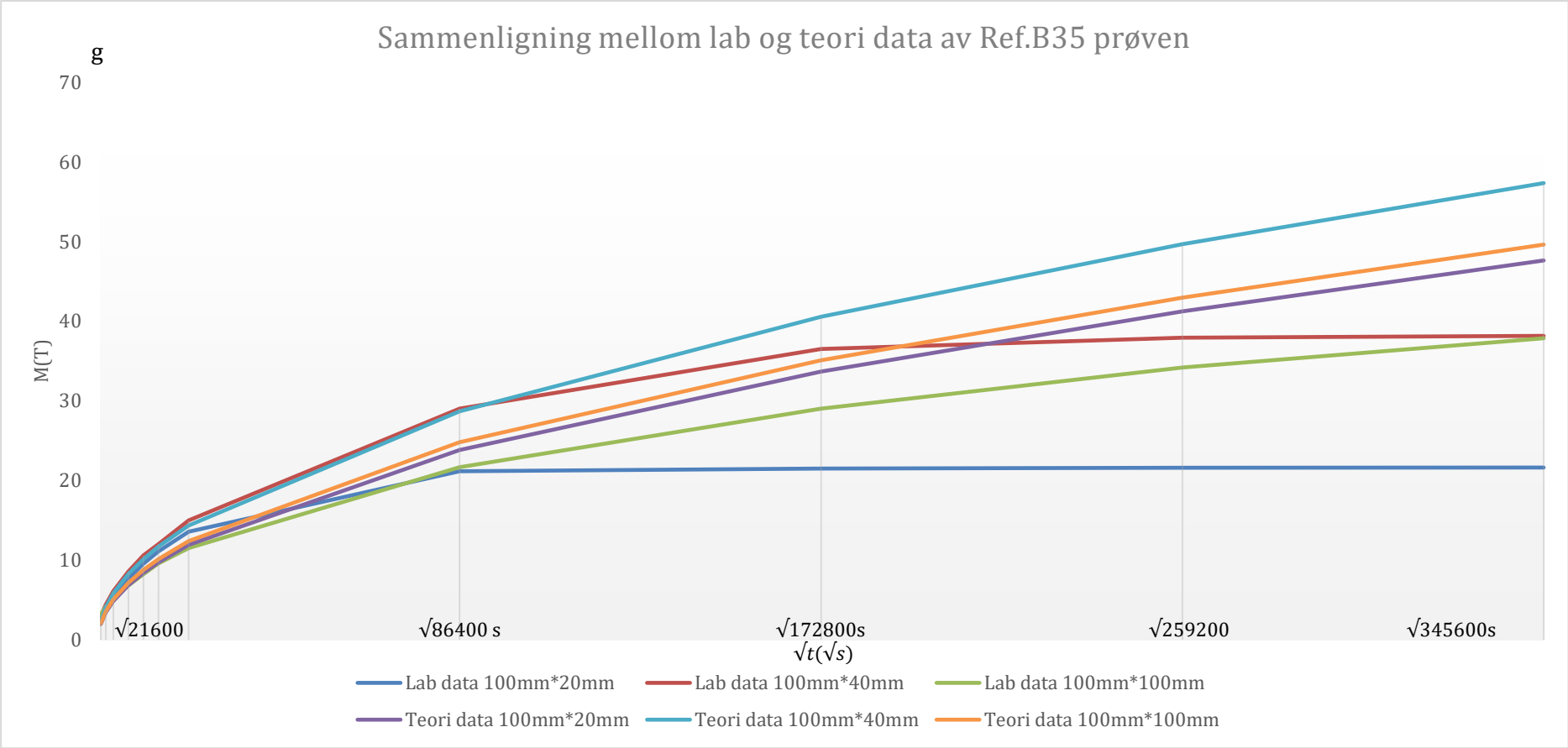
Vedlegg 21 - Teoretisk illustrasjon av vannoppsugging i graf for prøven med tilsatt Idrocrete KR 1000.



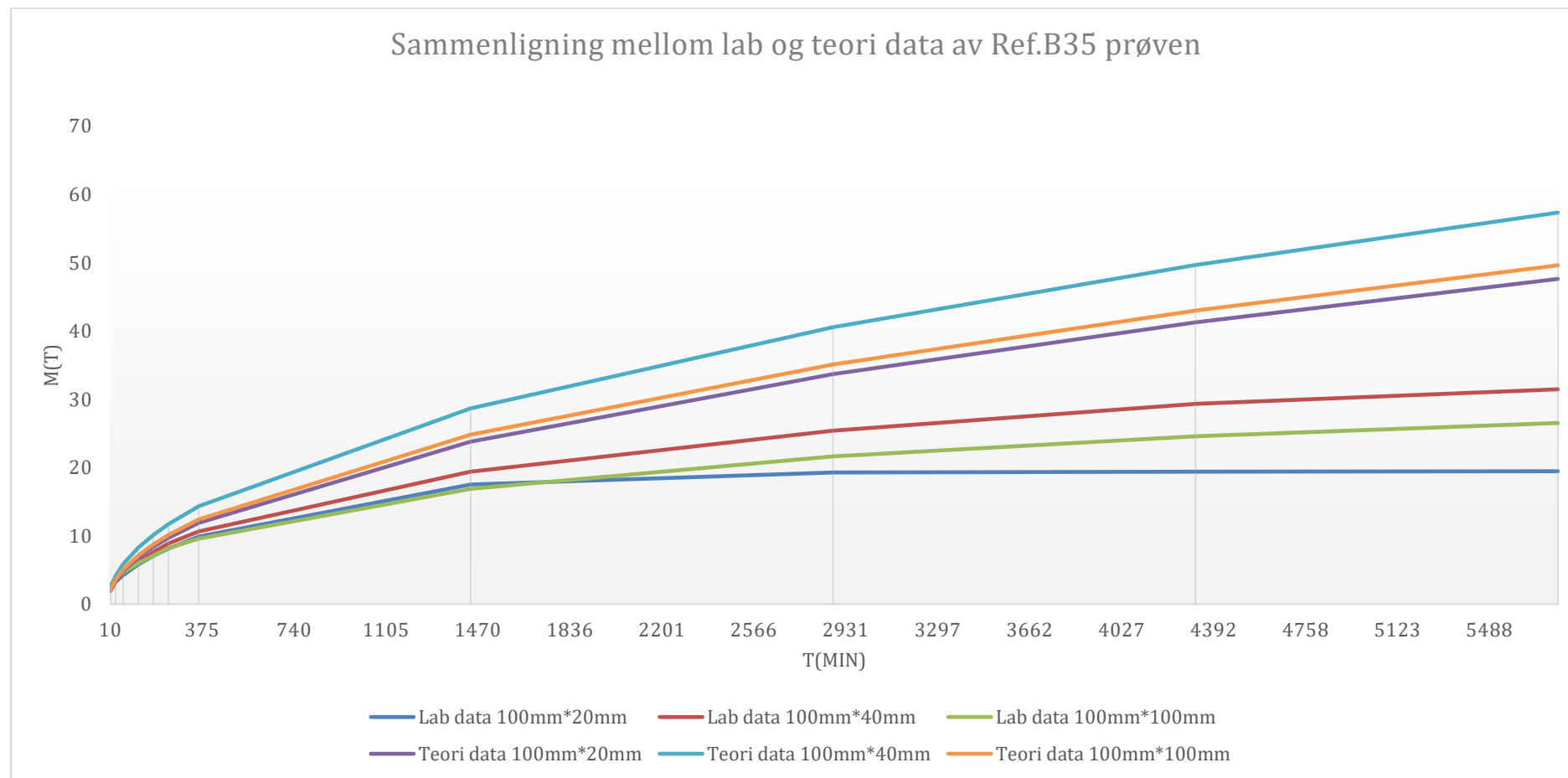
Vedlegg 22 - Sammenligning mellom lab og teori data av Ref.B35 prøven.

		Ref.B35					
		Lab data			Teori data		
t(min)	\sqrt{t}	100mm*20mm	100mm*40mm	100mm*100mm	100mm*20mm	100mm*40mm	100mm*100mm
10	3,162278	2,6	3	3,2	1,984726506	2,389549627	2,06772163
30	5,477226	3,8	4,433333333	4,166666667	3,437647148	4,138821362	3,58139891
60	7,745967	5,433333333	6,133333333	5,166666667	4,861567219	5,853177302	5,06486292
120	10,95445	7,666666667	8,566666667	6,833333333	6,875294295	8,277642724	7,16279783
180	13,41641	9,566666667	10,6	8,233333333	8,420481427	10,13800047	8,7725999
240	15,49193	11,1	12,03333333	9,6	9,723134438	11,7063546	10,1297258
360	18,97367	13,56666667	15	11,5	11,90835904	14,33729776	12,4063298
1440	37,94733	21,16666667	29,03333333	21,66666667	23,81671807	28,67459553	24,8126595
2880	53,66563	21,5	36,53333333	29,03333333	33,68192571	40,55200189	35,0903996
4320	65,72671	21,6	37,93333333	34,2	41,25176577	49,66585634	42,976787
5760	75,89466	21,63333333	38,16666667	37,86666667	47,63343615	57,34919106	49,625319

Vedlegg 23 - Sammenligning mellom lab og teori data av Ref.B35



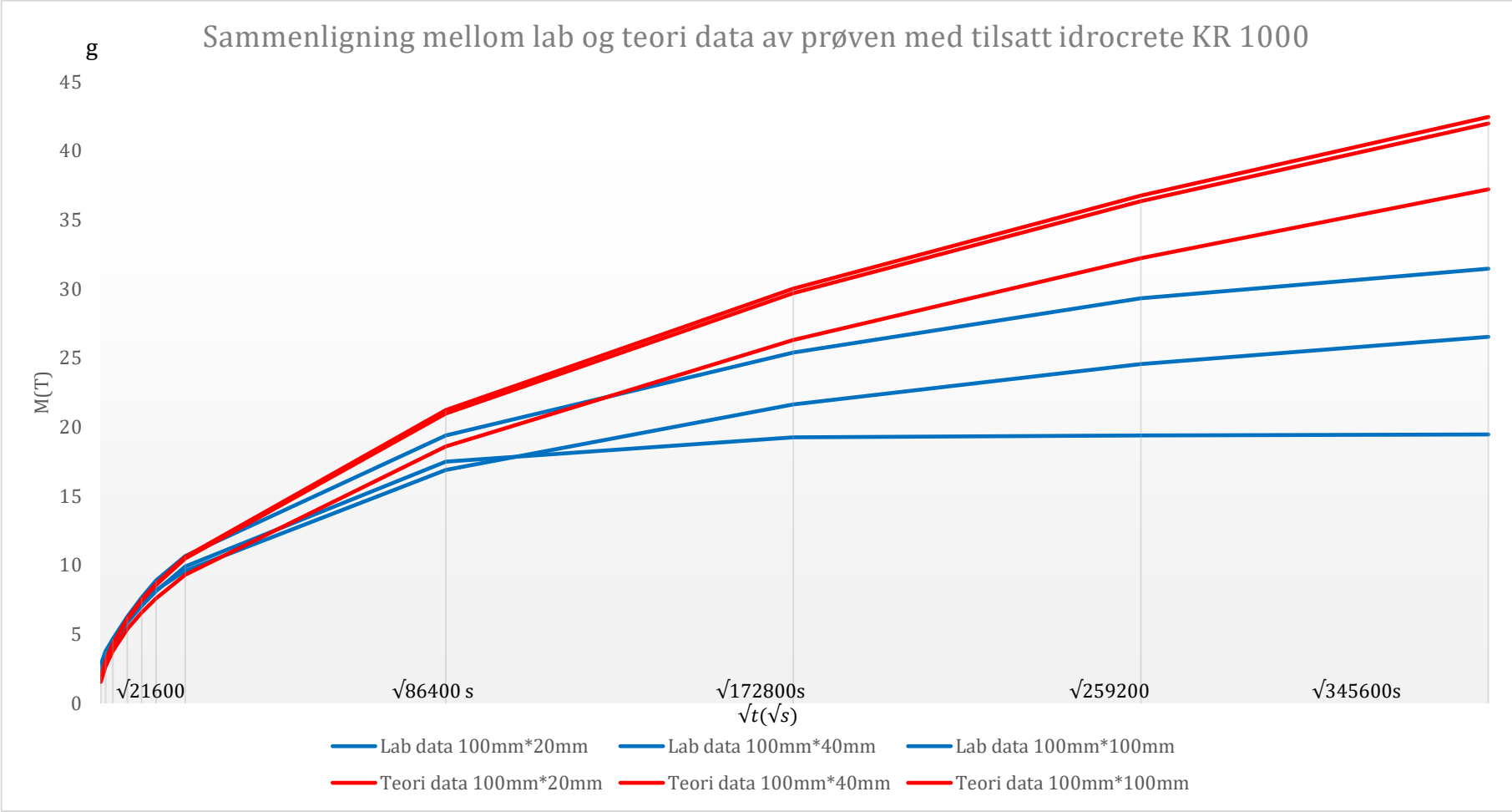
Vedlegg 24 - Sammenligning mellom lab og teori data av Ref.B35 prøven



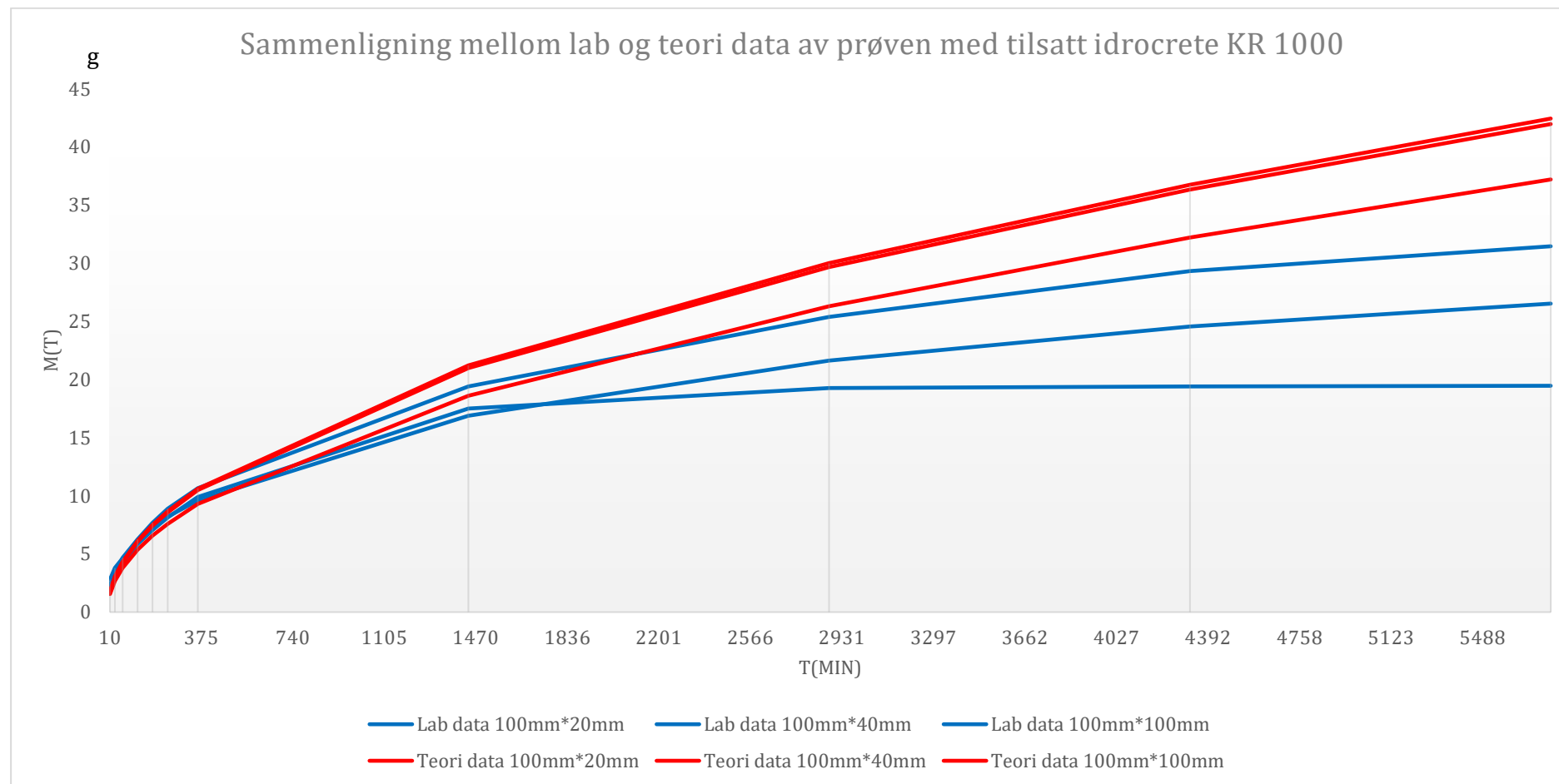
Vedlegg 25 - Sammenligning mellom lab og teori data av prøven med tilsatt idrocrete.

		Med tilsatt idrocrete KR1000					
		Lab data			Teori data		
t(min)	\sqrt{t}	100mm*20mm	100mm*40mm	100mm*100mm	100mm*20mm	100mm*40mm	100mm*100mm
10	3,162278	1,966666667	2,333333333	2,8	1,550501451	1,768797812	1,74914377
30	5,477226	3,266666667	3,366666667	3,8	2,685547291	3,063647678	3,02960588
60	7,745967	4,233333333	4,666666667	4,633333333	3,797937401	4,332652096	4,28450972
120	10,95445	5,833333333	6,266666667	6,033333333	5,371094582	6,127295356	6,05921175
180	13,41641	7,066666667	7,666666667	7,1	6,578220543	7,504373563	7,42098852
240	15,49193	8,133333333	8,9	8,2	7,595874803	8,665304193	8,56901943
360	18,97367	9,9	10,66666667	9,6	9,303008709	10,61278687	10,4948626
1440	37,94733	17,5	19,4	16,9	18,60601742	21,22557374	20,9897252
2880	53,66563	19,26666667	25,4	21,63333333	26,31288217	30,01749425	29,6839541
4320	65,72671	19,4	29,33333333	24,56666667	32,22656749	36,76377213	36,3552705
5760	75,89466	19,46666667	31,46666667	26,53333333	37,21203483	42,45114748	41,9794504

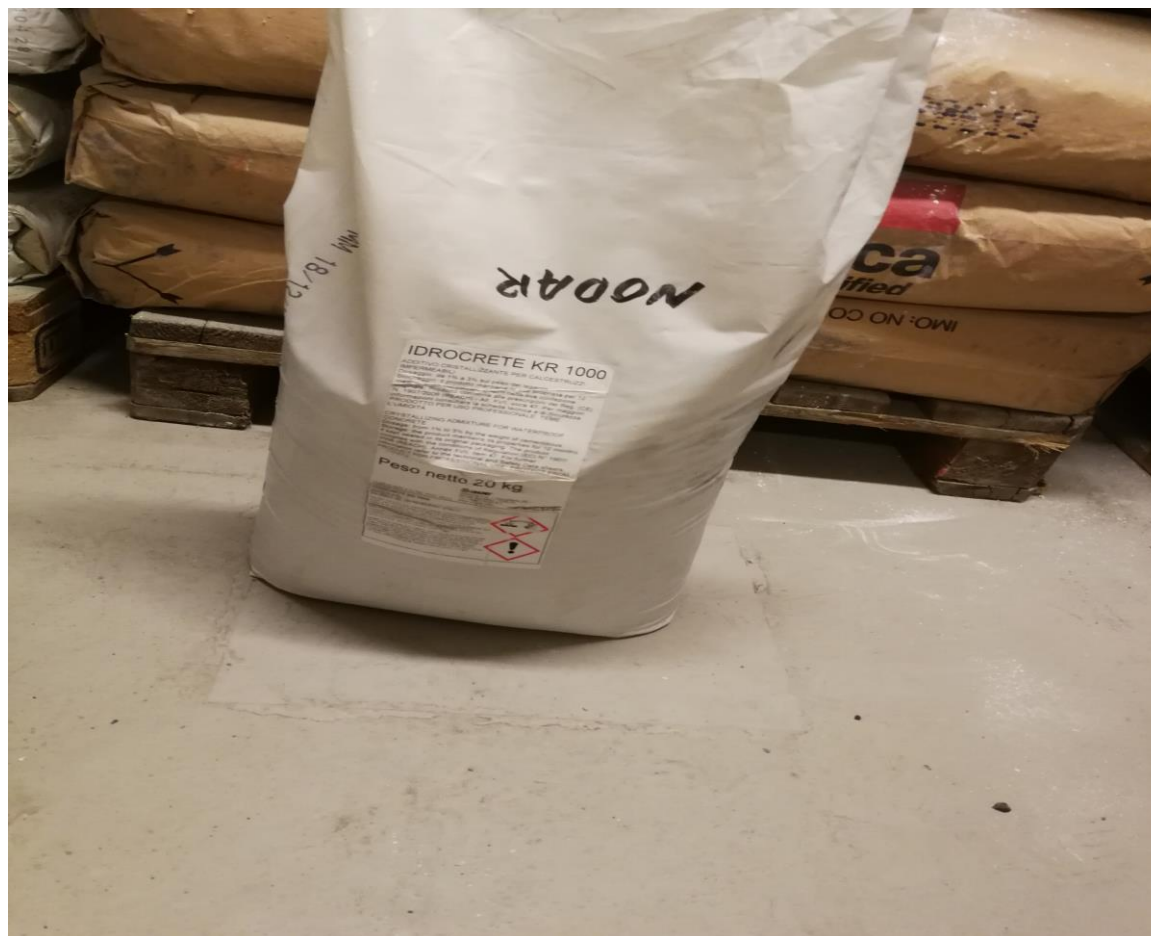
Vedlegg 26 - Sammenligning mellom lab og teori data av prøven med tilsatt idrocrete KR 1000.



Vedlegg 27 - Sammenligning mellom lab og teori data av prøven med tilsatt idrocrete Kr 1000.



Veddlegg 28 – Idrocrete KR 1000



Vedlegg 29 – Vanninntrenging maskin



Vedlegg 30 – Betongprøvene delt for observasjon

