

Siri Krokedal

Forinjeksjon med strenge krav til tetthet

Undersøkelser av injeksjonsmaterialer og oppnådd injeksjonsresultat på Fornefubanen ved bruk av kolloidal silika

Masteroppgave i Tekniske Geofag

Veileder: Karl Gunnar Holter

Juni 2022



Siri Krokedal

Forinjeksjon med strenge krav til tetthet

Undersøkelser av injeksjonsmaterialer og oppnådd injeksjonsresultat på Fornebu-banen ved bruk av kolloidal silika

Masteroppgave i Tekniske Geofag
Veileder: Karl Gunnar Holter
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Tetting av berg er nødvendig for å hindre skader på omgivelsene ved driving av tunnel. I urbane områder stilles det strenge krav til tetthet som følge av faren for senket grunnvannsstand og setningsskader. Tetting gjennomføres i hovedsak ved forinjeksjon. Injeksjon i urbane tunneler dekker en stor andel av totalkostnadene til et prosjekt og optimalisering av prosessen vil derfor kunne tjene prosjektet – og samfunnet – store summer. Injeksjonsfaget er erfaringsbasert, og flere undersøkelser må gjennomføres for optimalisering.

Ved injisering med strenge krav til tetthet stilles det strenge krav til materialegenskapene til injeksjonsmaterialet. Materialet bør ha en kontrollert herdetid og gode flyteegenskaper. Laboratorieundersøkelser er gjennomført for å teste herdetid og flyteegenskapene til ulike sementblandinger og kolloidal silika-blandinger. Flere av sementblandingene hadde en svært lang herdetid som kan resultere i nedetid på prosjekter. Tilsetning av en herdeakselerator viste lovende resultater for redusert herdetid. Kolloidal silika hadde en kontrollert geltid som enkelt kunne justeres ved justering av akseleratormengde. Undersøkelsene viste videre at flytespenningen spiller en avgjørende rolle for inntrengningsevnen.

I Norge brukes i hovedsak sementbasert injeksjon til tetting av berg. Om det ikke oppnås tilstrekkelig tetthet ved driving av en tunnel i urbane strøk benyttes fullstøpt betong til tetting av berget. Dette er en svært kostbar metode som bør unngås. Fullskala forsøk ved Fornebubanen er gjennomført for å undersøke hvor tett resultat som kan oppnås med kolloidal silika. Kolloidal silika er benyttet som et tilleggs materiale til sementbasert injeksjon ved bruk av dobbel injeksjonsskjerm. Vanntapsmålinger gjennomført etter injisering med kolloidal silika viser til en hydraulisk konduktivitet i størrelsesorden 10^{-10} m/s. Resultatet viser at svært høy tetthet kan oppnås med kolloidal silika.

Abstract

Water control is necessary to prevent damage on the surroundings during tunnel constructions. In urban areas, strict requirements are set due to the risk of groundwater lowering and damages caused by settlements. In Norway, water control is mainly carried out by pre-grouting. Grouting in urban tunnels covers a large part of the total costs of a tunnel project and an optimization of the process can potentially earn the project – and the society – large costs. Grouting in Norway is carried out based on experiences from previous projects and more investigations must be carried out for optimization.

Grouting with strict tightness requirements leads to strict requirements for the material parameters of the grouting material. The grout should have a controlled setting time and satisfactory rheological properties. Laboratory experiments have been carried out to test the setting time and the rheological properties of cement-based grout and colloidal silica. Several of the cement-based grout-mixes had a long setting time that can cause down time on a construction site. Use of an accelerator showed promising results by reducing the setting time. Colloidal silica had a controlled and easy adjustable setting time. The experiments showed that the yield stress had a significant influence on the penetrability.

In Norway cement-based grout is the material mainly used for rock grouting. If the result is not satisfactory according to the required tightness, concrete linings need to be installed. This is expensive and should be avoided. Grouting with colloidal silica at Fornebubanen has been carried out to investigate which results can be achieved with the material. Colloidal silica is used as an additional material to cement-based grout. Water loss measurements carried out after grouting with colloidal silica resulted in a hydraulic conductivity in the order of magnitude 10^{-10} m/s. The results indicates that a high level of tightness can be provided by colloidal silica.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en besvarelse på emne *TGB4945, Ingeniørgeologi, masteroppgave* og utgjør slutten på det 5-årige masterprogrammet Tekniske Geofag ved NTNU.

Oppgaven hadde ikke blitt til uten veiledning, hjelp og støtte fra en rekke personer. Jeg vil først takke Arne Neby og Johnny Berger for muligheten og viljen til å gjennomføre fullskala forsøk ved Fornebubanen. Feltarbeid og tilrettelegging på stuff ga meg lærerik erfaring jeg vil ta med videre. Videre vil jeg takke Martin Hovda Haugsand ved Fornebubanen for engasjement og teknisk bistand, i tillegg til kontrollingeniørene på Fornebu for veiledning på anlegget. Takk til tunnelarbeiderne hos Implenia for faglige diskusjoner og kunnskap om injeksjonsprosessen. Diskusjonene ga meg en økt forståelse for faget og utfordringene knyttet til injeksjon. Videre vil jeg takke Ola Skjølvold og Tobias Danner for utføring av laboratoriearbeid ved Sintef.

Jeg vil takke min tvillingsøster Linn og min mor Anne Marie for korrekturlesning og for konstant støtte i både opp- og nedturer. Takk til familie og venner som alltid stiller opp. Uten dere hadde ikke denne oppgaven vært mulig. Jeg vil videre takke mine medstudenter for 5 fantastiske år ved NTNU. Takk for alle de gode pausene, diskusjonene og deres motivasjon og oppmuntring underveis.

Til slutt vil jeg takke min veileder, førsteamanuensis Karl Gunnar Holter, for engasjement, veiledning og tilrettelegging av en innholdsrik og spennende oppgave.

Siri Krokedal

Trondheim, 10. juni 2022

Innhold

1.	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn for oppgaven	1
1.2	Formål.....	1
1.3	Begrensninger.....	2
2.	Teori.....	3
2.1	Tetting med injeksjon	3
2.1.1	Konsekvenser ved innlekkasje i urbane områder.....	3
2.1.2	Bergmassen hydrauliske egenskaper	6
2.1.3	Forinjeksjon	7
2.1.4	Injeksjonsmaterialer	11
2.1.5	Materialegenskaper.....	13
2.2	Prosjektbeskrivelse, Fornebubanen	16
2.2.1	Bergarter.....	16
2.2.2	Bergoverdekning og overliggende løsmasser.....	17
2.2.3	Registrert poretrykksdata.....	18
2.2.4	Tettestrategi	19
3.	Utført arbeid.....	23
3.1	Test av materialegenskaper	24
3.1.1	Herdetid.....	27
3.1.1.1	Kopptest	28
3.1.1.2	Temperaturutvikling.....	29
3.1.1.3	Kalorimeter.....	29
3.1.2	Flyteegenskaper	29
3.1.2.1	Marsh trakt	30
3.1.2.2	Utbredelsestest	31
3.1.2.3	Rheometerundersøkelser.....	32
3.2	Fullskala forsøk med forinjeksjon.....	34
3.2.1	Vanntapsmålinger	35
3.2.2	Poretrykksmålinger	36
3.2.3	Observert innlekkasje.....	37
4.	Resultater	39
4.1	Test av materialegenskaper	39
4.1.1	Herdetid.....	39
4.1.1.1	Kopptest	39
4.1.1.2	Temperaturutvikling.....	40

4.1.1.3	Kalorimeter	43
4.1.2	Flyteegenskaper	45
4.1.2.1	Marsh trakt	45
4.1.2.2	Utbredelsestest	47
4.1.2.3	Rheometerundersøkelser	47
4.2	Fullskala forsøk med forinjeksjon	51
4.2.1	Hovedløpet, pel. 9600	51
4.2.1.1	Vanntapsmålinger	51
4.2.1.2	Poretrykksmålinger	52
4.2.1.3	Observert lekkasje	53
4.2.2	Hovedløpet, pel. 9568	54
4.2.2.1	Vanntapsmålinger	54
4.2.2.2	Poretrykksmålinger	55
4.2.2.3	Observert lekkasje	56
4.2.3	Hovedløpet, pel. 9523	57
4.2.3.1	Poretrykksmålinger	57
5.	Diskusjon	59
5.1	Materialegenskaper	59
5.2	Fullskala forsøk med forinjeksjon	63
5.3	Feilkilder ved test av materialegenskaper	66
5.3.1	Herdetid	66
5.3.2	Flyteegenskaper	67
6.	Konklusjon og videre arbeid	69
	Referanser	70
	Vedlegg	75

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Driving av tunneler i urbane områder byr på store utfordringer. En av de største utfordringene er knyttet til tetting av tunnelkonturen, som kan utgjøre opptil 30% av de totale kostnadene (Rambæk, 2020). Ved driving av tunneler i urbane områder stilles det strenge krav til tetthet. Kravene har økt med årene som følge av økt fokus på skader og uheldige konsekvenser knyttet til tidligere tunneldrivinger (Funehag, 2012). Ved driving av Romeriksporten på 90-tallet oppstod det en betydelig senkning av grunnvannsnivået som førte til store naturskader og setningsskader på en rekke bolighus (Beitnes, 2001). Ødeleggelsene skapte en debatt som har ført til økt forskning og undersøkelser på hvordan tettearbeidet kan og bør optimaliseres for å unngå skader på omliggende miljø (Davik & Andersson, 2001).

Nyere prosjekter i Oslo-området har vist at det er oppnåelig å lykkes med strenge tetthetskrav (Holmøy et al., 2019). Optimalisering i dag fokuserer på hvordan man kan gjøre injeksjonsarbeidet mer forutsigbart og kostnadseffektivt. En optimalisering av injeksjonsprosedyren vil kunne tjene prosjekter og samfunnet store summer.

Et av prosjektene som drives i Oslo-området i dag er Fornebubanen. Fornebubanen er en 8 km lang t-banestrekning som i sin helhet skal bygges under bakken (Fornebubanen, u.å.). Langs strekningen møtes det på utfordringer som lav bergoverdekning, flere dyprenner med leire og overliggende, sårbar infrastruktur (PGF, 2020). Strengere krav til tetthet innebærer at mindre sprekkeåpninger må tettes for å hindre innlekkasje. For å lykkes med dette stilles det krav til materialene som benyttes. Ved svært tynne sprekker vil vanlig sementinjeksjon få en begrenset inntrengning. Et mindre benyttet materiale er det kjemiske alternativet kolloidal silika. Vellykket injeksjon med kolloidal silika vil som følge av den gode inntrengningsevnen til materialet potensielt kunne tette de minste sprekke og spare prosjektet for store kostnader relatert til tetting med fullstøpt betong (Funehag, 2012).

1.2 Formål

Injeksjonsarbeid i Norge styres i stor grad av erfaringsbasert kunnskap (Klüver & Kveen, 2004). Formålet med denne oppgaven er å øke erfaringsgrunnlaget rundt injeksjon i urbane områder. Et økt erfaringsgrunnlag er nødvendig for å videreutvikle fagområdet og optimalisere bruken av forinjeksjon. Oppgaven fokuserer på to områder: materialeegenskaper til injeksjonsmaterialer, og bruk av materialet kolloidal silika til tetting i urbane strøk.

Laboratorieundersøkelser er utført for å øke kunnskapen og forståelsen av materialene som benyttes til injeksjon. Mer kunnskap om materialene vil gi en økt forståelse for injeksjonsforløpet. Testene har som hensikt å sammenligne evnen til ulike sementtyper og superplastiserende stoffer, samt vurdere evnen til sementinjeksjon sammenlignet med kolloidal silika.

Oppgaven ønsker òg å undersøke om kolloidal silika kan møte de strenge kravene til tetthet som er satt ved Fornebubanen. Kolloidal silika er i Norge fortsatt et lite brukt materiale til injeksjon i urbane områder og flere forsøk må gjennomføres for å vurdere om materialet er egnet. Fullskala forsøk ved Fornebubanen er gjennomført med bruk av kolloidal silika som et tilleggsmateriale til sement. Det er i forbindelse med oppgaven gjennomført et omfattende feltarbeid på Fornebu. Oppgaven har som hensikt å finne ut hvor tett resultat som kan oppnås med kolloidal silika.

1.3 Begrensninger

Oppgavens varighet på 5 måneder har satt en naturlig begrensning på oppgavens omfang. Et begrenset antall laboratedager og mengde materiale ga mulighet for testing av totalt 10 sementblandinger og 2 kolloidal silika-blandinger. Begrensningene ga et noe ufullstendig forsøksoppsett for sammenligning mellom blandningene.

De fullskala undersøkelsene er kun gjennomført i et begrenset område på Fornebu. Injeksjon er avhengig av lokal geologi og oppgavens resultater må derfor ses i sammenheng med geologien i området. Undersøkelsene som er gjennomført ved Fornebubanen ble styrt etter de gjeldende geologiske forholdene i løpet av våren 2022. Under denne perioden ble det drevet gjennom god og tett bergmasse. Målingene som er tatt baserer seg derfor kun på bergmasse med lav hydraulisk konduktivitet.

2. Teori

2.1 Tetting med injeksjon

Ved driving av tunneler i undergrunnen er det nødvendig å tette berget for å ha kontroll på vanninnlekkasje. Tetting av berget kan gjennomføres på to ulike måter: med injeksjon eller med fullt utstøpt betong. Tetting med injeksjon innebærer å fylle vannførende sprekker i berget med injeksjonsmasse slik at vann i mindre grad har muligheten til å nå tunnelkonturen. Ved injeksjon ønsker man å danne en sone rundt tunnelen med redusert permeabilitet. Ved å redusere permeabiliteten hindrer man i tillegg det hydrostatiske trykket og bygge seg opp rundt tunnelen. Konseptet kalles for drenert tunnel (Grøv & Woldmo, 2012).

Fullstøpt betong påvirker ikke bergmassens egenskaper, men lager en fysisk sperre som hindrer vann å nå tunnelen. Vannet vil dermed fortsatt være til stede i den omliggende bergmassen og vil potensielt gi et høyt hydrostatisk trykk (NFF, 2008). For at konstruksjonen skal tåle det hydrostatiske trykket må den fullstøpte betongen være solid. Denne løsningen er svært kostbar og bør unngås så langt det er mulig.

2.1.1 Konsekvenser ved innlekkasje i urbane områder

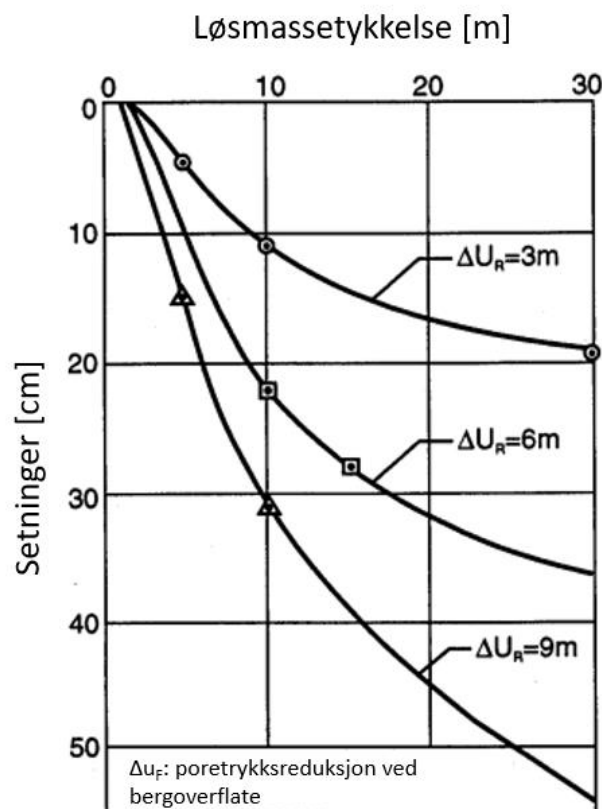
Før en tunnel drives må innlekkasjekrav fastsettes. Innlekkasjekravene oppgis ofte i Limit Residual Inflow Rate (LRIR) og indikerer antall liter innlekkasje per minutt for en 100 meter lang strekning [l/min/100m] (Woldmo & Grøv, 2013). Tetting av tunnel er kostbart og kravet til tetthet styres derfor av konsekvensene knyttet til innlekkasje i tunnelen. Konsekvensene knyttet til innlekkasje kan deles inn i 3 kategorier (Hognestad et al., 2010):

- (1) Konsekvenser for omgivelsene
- (2) Konsekvenser for anleggsdriften
- (3) Langtidskonsekvenser for anlegget

For tunneler i urbane områder er det konsekvenser for omgivelser som vil være styrende for tetthetskravet. En direkte konsekvens av vanninntrengning i tunnel er setninger. Setninger er en vertikal sammenpressing av løsmasser og forekommer som en følge av poretrykksreduksjon (Statens vegvesen, 2014). Når vann er til stedet i en løsmasse vil vannet sørge for et trykk som presser partiklene i løsmassen fra hverandre. Dette trykket omtales som poretrykket. Ved en reduksjon av poretrykket vil partiklene pakkes sammen og det oppstår en deformasjon av materialet. Denne deformasjonen omtales som konsolidering (Baardvik et al., 2016).

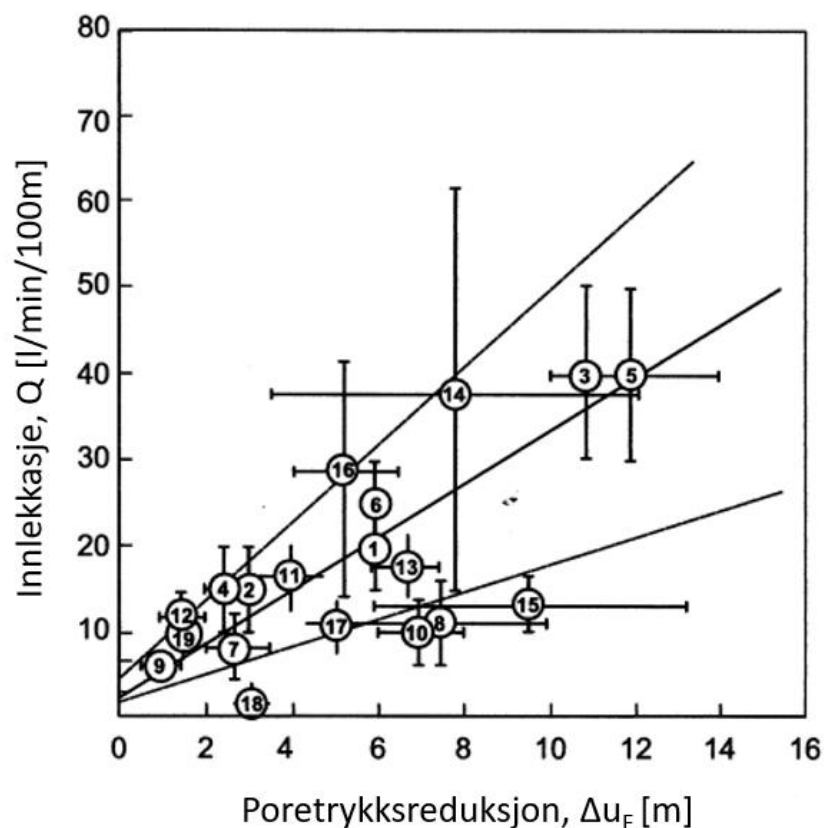
På grunn av leirens impermeable egenskaper tar det lang tid for vann å bevege seg gjennom leiren. Dette gjør at poretrykket gradvis reduseres og at konsekvensene av poretryksreduksjonen først kan oppstå flere år etter innlekkasjen i tunnelen har funnet sted (Baardvik et al., 2016). Setningspotensialet til leiren er avhengig av konsolideringsgraden. Konsolideringsgraden er et mål på hvor store spenninger leiren har vært utsatt for tidligere og dermed hvor godt sammenpakket partiklene i leiren er. Konsolideringsgraden bør undersøkes ved hjelp av ødometer (Karlsruud, 2001).

Hva som er akseptabel poretryksreduksjon avgjøres ved en sårbarhetsvurdering (Grepstad, 2001). Infrastruktur fundamentert over dyprenner fylt med leire er ekstra sårbart for poretryksreduksjoner. Årsaken til dette skyldes tykkelsen på løsmasselaget. Jo tykkere laget med løsmasser er, jo mer materiale har potensiale til å konsolideres. Figur 2.1 viser forventede setninger i leire for poretryksreduksjoner på henholdsvis 3, 6 og 9 meter gitt tykkelse på leirelaget. Poretryksreduksjonene er gitt ved overgangen mellom fjell og løsmasser. Grafen viser hvordan tykkelsen på laget har stor betydning for de totale setningene. Beregningene er basert på normalkonsolidert leire i Oslo-området og lokale variasjoner kan gi avvik fra modellen. Hvis leiren er overkonsolidert vil forventede setninger bli mindre (Karlsruud, 2001).



Figur 2.1: Hvor store setninger som oppstår ved en gitt poretryksreduksjon er avhengig av tykkelsen på løsmasselaget. Figuren viser hvor store setninger som forventes ved poretryksreduksjon på henholdsvis 3, 6 og 9 meter for leire i Oslo-området. Hentet fra Karlsruud (2001).

I urbane områder er det som nevnt akseptabel poretryksreduksjon som er styrende for hvor tett tunnelen må bli, og det er derfor ønskelig å finne en sammenheng mellom innlekkasje og poretryksreduksjoner. Figur 2.2 viser sammenheng mellom innlekkasje og poretrykkreduksjoner for en rekke tunneler i Oslo-området. Grafen viser en tydelig korrelasjon, med noe spredning. Spredningen skyldes lokale variasjoner, samt begrensninger/usikkerheter i målingene (Karlsruud, 2001). Trendlinjer i grafen viser i tillegg at et innlekkasjekrav på 2-5 l/min/100 meter er nødvendig for å unngå poretryksreduksjon. Innlekkasjekrav kan være veiledende som tetthetskrav, men bør ikke fungere alene. Selv små innlekkasjer kan gi betydelige poretryksreduksjoner (Holmøy et al., 2019).



Figur 2.2: Sammenheng mellom innlekkasje i tunnel, Q, og poretrykksreduksjon, Δu_F for tunneler drevet i Oslo-området. Hentet fra Karlsruud (2001).

Mengde vanninntrengning styres av flere faktorer som må kartlegges før driving (Woldmo & Grøv, 2013):

- Størrelsen på vannkilden
- Grunnvannstanden over tunnelen
- Horisontal avstand mellom vannkilden og tunnelen
- Vannbalanse i området
- Bergmassens hydrauliske egenskaper

2.1.2 Bergmassen hydrauliske egenskaper

Bergmassens evne til å føre vann eller andre væsker omtales som permeabiliteten til bergmassen og er avgjørende for hvor mye innlekkasje som kan oppstå i en tunnel. Permeabiliteten til en intakt, norsk bergart er svært lav som følge av lav porøsitet (Nilsen, 2016). Problemer relatert til vann i berg er derfor knyttet til sprekker som fungerer som vannførende kanaler i bergmassen. Hvor mye vann som lekker inn i tunnelen vil følgende være avhengig av bergmassens oppsprekkingsgrad og sprekkekarakter (Gustafson, 2012).

Bergartstype har betydning for forventet oppsprekkingsgrad og sprekkekarakter. Klüver og Kveen (2004) har delt bergartstyper inn i fire kategorier basert på forventet sprekkeoppptreden:

- (1) Bergartstype A: Sprø bergarter med høy permeabilitet. Sprekkene er åpne og har lite sprekkebelegg. Typiske bergarter: granitter og sandsteiner.
- (2) Bergartstype B: Bergarter med sprekkefyll og middels høy permeabilitet. Bergartene har gjerne gjennomgått noe metamorfose og leirbelegg er blitt dannet. Noe sprekkebelegg er med på å hindre gjennomstrømning. Typiske bergarter: prekambriske gneiser.
- (3) Bergartstype C: Folierte bergarter. Disse bergartene har gjerne lav permeabilitet som følge av foldninger og sprekkebelegg. Typiske bergarter: Skifer og fyllitt.
- (4) Bergartstype D: Bergarter med karstdannelse eller andre store hulrom. Typiske bergarter: kalkstein. Ved karstdannelse kan permeabiliteten bli svært høy.

Selv om kunnskap om bergartstype kan gi en indikasjon på forholdene vil det potensielt være store variasjoner innenfor samme bergart. Oppsprekkingsgrad påvirkes i tillegg av svakhetssoner og spenningstilstand. En svakhetszone er en sone, som på grunn av tektonisk aktivitet, er mer oppsprukket enn den omkringliggende bergmassen (Nilsen, 2016). Permeabiliteten i svakhetssonen vil variere avhengig av oppsprekkingsgrad. En grovfragmentert svakhetszone i en massiv bergart vil ha en høy permeabilitet, mens en leirrik, finfragmentert svakhetszone i en skifrig bergart vil ha en lavere permeabilitet (Braathen & Gabrielsen, 2000).

Nær overflaten er spenningsforholdene lave. Lav innspenning bidrar til åpne sprekker som er gunstig for gjennomstrømning. Bergmassen i nærheten av overflaten er i tillegg påvirket av forvitring og frostsprengning som har bidratt til en mer oppsprukken bergmasse. Permeabiliteten er derfor høyere nær bergoverflaten (Nilsen, 2016).

Strømning i berg vil påvirkes av væskens flyteegenskaper. Hydraulisk konduktivitet er et mål på hvordan en væske med en gitt viskositet og tetthet vil kunne flyte gjennom en bergmasse. Størrelsen er definert som hvor mye væske [m^3] som kan strømme gjennom et tverrsnitt av bergmassen [m^2] per sekund [s] og oppgis i [m/s]. En mer viskøs væske (f.eks. sementinjeksjon) vil ha en lavere hydraulisk konduktivitet enn en væske som er mindre viskøs (f.eks. vann) i den samme bergmassen (Gustafson, 2012).

2.1.3 Forinjeksjon

Injeksjonsarbeider kan deles inn i to typer, forinjeksjon og etterinjeksjon. Ved forinjeksjon injiseres det foran stuff før de påfølgende salvene sprenges. Hvis injiseringen er vellykket, unngår man da uønskede innlekkasjer fra start. Ved etterinjeksjon gjennomføres injiseringen etter tunnelen er sprengt ut. Dette kan bli nødvendig om man ikke har oppnådd tilstrekkelig tetthet med forinjeksjon. I hovedsak er det tetting med forinjeksjon som er ønskelig. Etterinjeksjon er vesentlig vanskeligere og kostnadene høyere. Dette skyldes at når man skal injisere et område med lekkasje i en ferdig sprengt tunnel er det enkelt for injeksjonsmaterialet å finne veien tilbake til tunneloverflaten gjennom sprekkesystemer, istedenfor å trenge lengre inn i bergmassen som er hensikten. Man vil dermed i praksis kun ende opp med å flytte lekkasjen (Grøv, 2001).

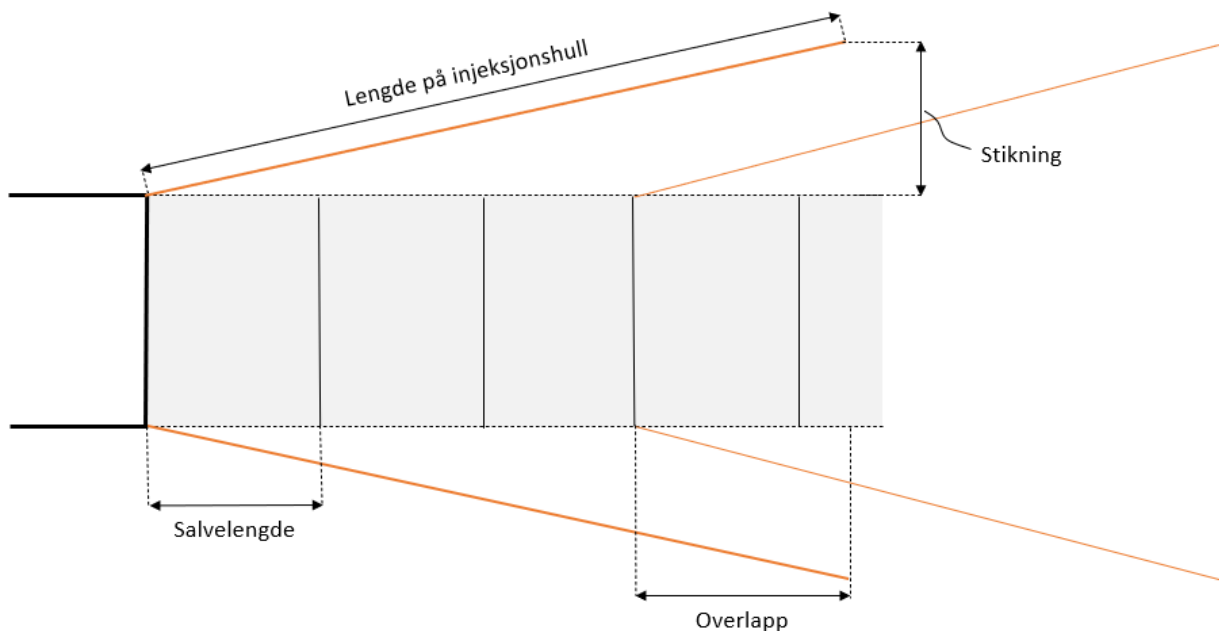
Forinjeksjon kan enten gjennomføres systematisk eller behovsprøvd. Ved behovsprøvd forinjeksjon avgjøres det underveis om det er behov for injisering ved å sondebore. I urbane tunneler med strenge krav til tetthet utføres det i hovedsak systematisk forinjeksjon. Ved systematisk forinjeksjon injiseres det kontinuerlig gjennom hele tunneltraseen, uavhengig av vannforholdene. Omfanget av injiseringen avgjøres av forholdene (Grøv & Woldmo, 2012).

Utførelse av forinjeksjon kan deles inn i følgende tre steg (Holter & Hognestad, 2012):

- (1) Utforming og boring av injeksjonsskjerm
- (2) Injisering til et gitt stoppkriterium er nådd
- (3) Kontroll av oppnådd tetthet

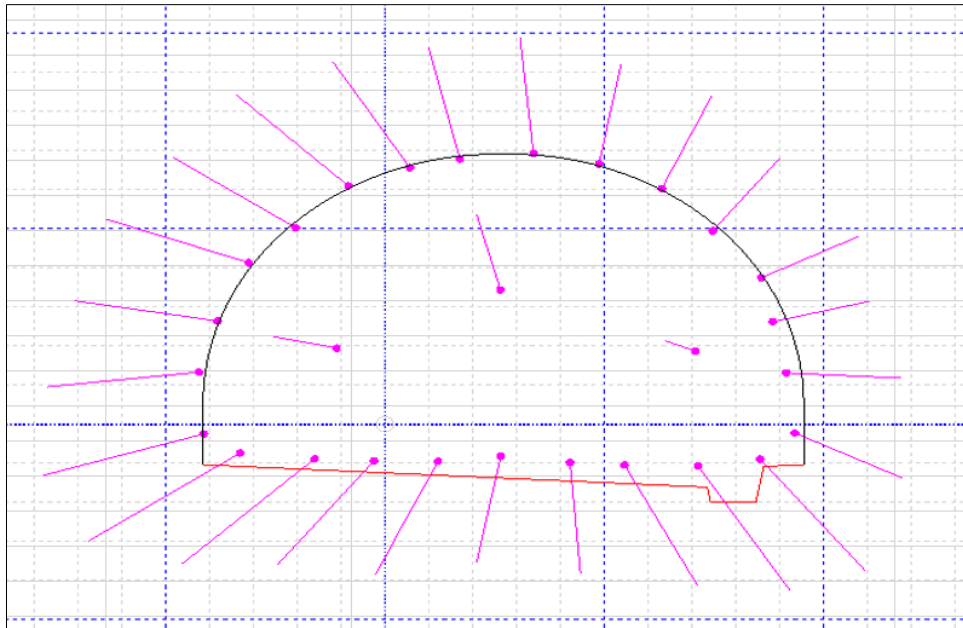
Utformingen av injeksjonsskjermer styres av sprekkegeometri, krav til tetthet, injeksjonsmassens inntrengningsevne og bergoverdekning. Figur 2.3 viser en illustrasjon av systematisk forinjeksjon med

én injeksjonsskjerm per tredje salve. Typisk lengde på en injeksjonsskjerm er 18-24 meter. Lav overdekning eller ugunstige sprekkeorienteringer som kan gi større boravvik kan kreve en redusert skjerm lengde. Med tre salver per injeksjonsskjerm og salvelengder på 5 meter gir det en overlapp på 3-9 meter mellom hver injeksjonsskjerm. Overlapp mellom injeksjonsskjermene er viktig for å sikre en kontinuerlig tett sone og hindre vanninntrengning mellom skjermene. Kravet til overlapp vil styres av tunnelbredde og krav til tetthet (Hognestad et al., 2010).



Figur 2.3: Systematisk forinjeksjon med én injeksjonsskjerm per tredje salve. Systematisk forinjeksjon krever overlapp mellom injeksjonsskjermene og en stikning på injeksjonshullene. Modifisert etter Grøv og Woldmo (2012).

Figur 2.4 viser et eksempel på en borplan. Borplanen angir antall injeksjonshull for en injeksjonsskjerm og avstand mellom injeksjonshullene. Avstand mellom injeksjonshullene avhenger av bergmassens sprekkesystem, injeksjonsmassens inntrengningsevne, tetthetskrav og overdekning (Hognestad et al., 2010). Strenge tetthetskrav og bergmasse med lav konduktivitet gir behov for økt antall injeksjonshull og mindre hullavstand. En lav overdekning vil sette krav til injeksjonstrykket, som igjen vil få påvirkning på inntrengningen til injeksjonsmassen. Injeksjon med industrisement vil typisk kreve kortere hullavstand og flere injeksjonshull enn injeksjon med mikrosegment på grunn av dårligere inntrengningsevne. Siden det er vanskelig å avgjøre hvordan injeksjonsmassen vil trenge inn i bergmassen bør man starte konservativt med mange hull. Hvis injeksjonen er vellykket og det ikke oppstår for store vanninntrengninger, kan man gradvis redusere antall borhull (Klüver & Kveen, 2004).



Figur 2.4: Borplan for en injeksjonsskjerm. Lilla streker indikerer plassering på injeksjonshullene.

For å avgjøre når tilstrekkelig injisering er oppnådd fastsettes det ett eller flere stoppkriterier. I Norge er det vanlig å benytte et angitt mottrykk og en angitt mengde injeksjonsmateriale som stoppkriterium. Angitt mottrykk avhenger av bergoverdekning og bergkvalitet og kan variere fra et par bar opp til rundt 100 bar (Hognestad et al., 2010).

I tilfeller hvor ønsket mottrykk ikke oppnås, avsluttes injiseringen i et hull når maksimal mengde er benyttet. Maksimal mengde som tillates varierer avhengig av blant annet sprekkenes karakter. Det vil være forventet å bruke mer injeksjonsmasse om bergmassen har store, åpne sprekker enn om bergmassen har tynne sprekker. Om maksimal mengde oppnås før ønsket mottrykk oppnås, vil bytte til et mer viskøst injeksjonsmateriale eller bruk av akselerator være nødvendig.

For å sikre at ønsket tetthet er oppnådd må det gjennomføres kontroll av bergmassens permeabilitet. Kontroll av oppnådd tetthet kan gjennomføres på flere måter (Hognestad et al., 2010):

- (1) Måling av innlekkasje fra kontrollhull
- (2) Vanntapsmålinger før og etter injeksjon
- (3) Poretrykksmålere

Måling av innlekkasje fra kontrollhull gjennomføres ved å benytte en stav og en bøtte. Staven plasseres inn i borhullet og festes med en åpen pakke slik at vannet kan renne ut gjennom staven. Innlekkasje måles ved å registrere hvor mye vann som samles opp per minutt (Hognestad et al., 2010). Hvis innlekkasje skal benyttes som kontroll av oppnådd tetthet er det nødvendig å vite hvor stor effekt

innlekkasje har på grunnvannstanden. Effekten vil være avhengig av influenssonen rundt tunnelen. Influenssonen til en tunnel defineres som det området rundt tunnelen hvor grunnvannet påvirkes (NFF, 2002).

Vanntapsmålinger benyttes til å estimere den hydrauliske konduktiviteten til berget. Testen gjennomføres ved å pumpe vann med 10 bar overtrykk inn i et borhull og registrere hvor mye vann som går inn. Vannet pumpes gjennom en injeksjonsstav som er festet med en pakker. Et flowmeter og et manometer kobles til injeksjonsstaven for å måle henholdsvis strømming og trykk. Strømningen måles over 5 minutter etter strømmingen har stabilisert seg (NFF, 2002). Ved hjelp av testen fastsettes en Lugeon-verdi. Størrelsen er definert som l/min per meter borhull ved et overtrykk på 10 bar. Tabell 2.1 viser klassifisering av hydraulisk konduktivitet basert på Lugeon-verdi (Quinones-Rozo, 2010). Ved å gjennomføre vanntapsmålinger før og etter injisering kan effekten av injeksjonen kontrolleres.

Tabell 2.1: Sammenheng mellom Lugeon-verdi og hydraulisk konduktivitet (Quinones-Rozo, 2010).

Lugeon-verdi	Klassifisering	Hydraulisk konduktivitet [m/s]	Sprekkekarakter
<1	Meget lav	$< 1 \cdot 10^{-7}$	Meget tette
1-5	Lav	$1 \cdot 10^{-7} - 6 \cdot 10^{-7}$	Tette
5-15	Moderat	$6 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-6}$	Noen delvis åpne
15-50	Middels	$2 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$	Noen åpne
50-100	Høy	$6 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	Mange åpne
>100	Meget høy	$> 1 \cdot 10^{-3}$	Tett mønster av åpne

Svakheten ved vanntapsmålinger er at målingene gjennomføres i et begrenset området rundt borhullet. Resultatene vil være avhengig av størrelsen og karakteren på sprekkene som krysser borhullet. Siden bergmassen ikke er homogen vil dette variere og kunne gi utslag på resultatet (Quinones-Rozo, 2010).

Piezometere brukes til å måle poretrykket i grunnen. I prosjekter med sårbart terreng bør det installeres piezometre langs tunneltraseen for å ha kontroll over poretrykksendringer. Plassering av piezometrene er viktig og vil være avgjørende for om målingene blir representative. Piezometrene bør om mulig installeres i et permeabelt lag i overgangen mellom berg og løsmasser slik at måleren får utslag kort tid etter sprengning og injisering. Om piezometeret er installert i et lite permeabelt lag som leire vil utslagene først bli synlig i lang tid etter gjeldende aktivitet, avhengig av hvor i leiren piezometeret er plassert. Da kan skaden allerede være skjedd og man får ikke muligheten til å gjennomføre nødvendige tiltak for å hindre setningene (Baardvik et al., 2016).

2.1.4 Injeksjonsmaterialer

Blant injeksjonsmaterialer skilles det mellom sementinjeksjon og kjemisk injeksjon. I Norge brukes det hovedsakelig sementinjeksjon. Kjemisk injeksjon blir benyttet ved etterinjeksjon eller i områder med strenge krav til tetthet (Hognestad et al., 2010).

Sementinjeksjon

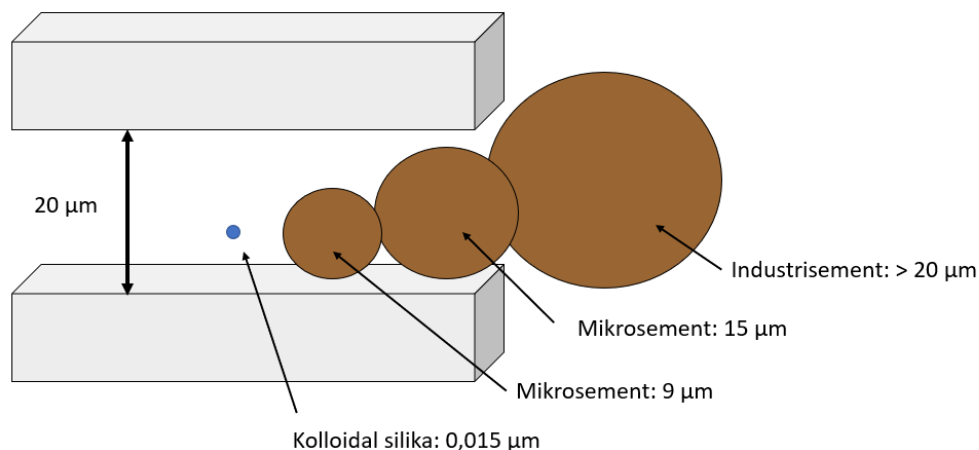
Innenfor sementinjeksjon er industrisement, mikrosegment og ultrafin sement de vanligste typene. Sementtypene er definert av Statens Vegvesen ut ifra partikkelstørrelse, vist i Tabell 2.2. d95 er et mye brukt mål på partikkelstørrelsene til en sement og er definert ut ifra den størrelsen som 95 % av partiklene er mindre enn (Statens vegvesen, 2012).

Tabell 2.2: Injeksjonssement definert etter partikkelstørrelse (Statens vegvesen, 2012).

Sementtype	Partikkelstørrelse
Industrisement	d95 > 20 µm
Mikrosegment	d95 < 20 µm
Ultrafin sement	d95 < 10 µm

Figur 2.5 illustrerer partikkelstørrelsene til de forskjellige injeksjonsmaterialene i en 20 µm bred sprekke (Grøv, 2021). Partikkelstørrelsen til sementen har betydning for sementens inntrengningsevne. Store partikler vil hindre inntrengning i små sprekker. Valg av injeksjonsmateriale avhenger derfor blant annet av sprekkesystemet til berget som skal tettes. Industrisement er egnet for tetting av større, åpne sprekker, mens finere materiale må til for å tette sprekker med liten åpning.

Valg av injeksjonsmateriale avhenger av kravene til tetthet. Om det ikke er strenge krav til tetthet vil det i mange tilfeller være nok å tette de største, mest vannførende sprekke. Industrisement er det billigste alternativet og benyttes derfor i stor grad. Er det derimot strengere krav til tetthet vil det i tillegg være behov for å tette små sprekker som kan gi noe vanninnlekkasje. I disse tilfellene vil mikrosegment være bedre egnet (Kirkeby, 2015).



Figur 2.5: Partikkelstørrelse har betydning for inntrengningsevnen til et materiale. Figuren viser en sprekk med sprekkåpning lik 20 μm , og partikkelstørrelser representative for ulike injeksjonsmaterialer. Modifisert etter (Grøv, 2021).

Sementbaserte injeksjonsmaterialer er satt sammen av tørr sement, vann og tilsetningsstoffer. Tilsetningsstoffer benyttes for å tilpasse sementens egenskaper. Blant de mest brukte tilsetningsstoffene er superplastiserende stoffer, akseleratorer og stabiliserende stoffer (Hognestad et al., 2010).

Superplastiserende stoffer tilsettes sementen ved blanding for å hindre at sementen klumper seg. Ved å hindre klumping sørger stoffet for at massen får en bedre inntrengningsevne. Normal dosering av superplastiserende stoffer er 1-2% av sementvekten avhengig av produkt og ønsket effekt. Ulike superplastiserende stoffer kan ha ulike effekter og det er derfor viktig å kjenne stoffet man benytter og tilsette mengde deretter (Hognestad et al., 2010).

Akseleratorer tilsettes sementblandingen for å redusere herdetiden. Det finnes ulike akseleratorer på markedet avhengig av hvilken effekt som er ønsket. Herdetiden kan ved hjelp av en egnet akselerator reduseres fra noen timer til et par minutter (Hognestad et al., 2010).

Stabiliserende stoffer tilsettes sementen for å unngå uønskede hendelser som vannutskillelse. Vannutskillelse innebærer at vannet i sementen skiller seg ut og sementen synker til bunn under herdingsprosessen. Hvis vannutskillelse forekommer når sementen er injisert inn i en horisontal sprekk, vil fritt vann bli liggende som et lag på toppen og gi mulighet for vanninntrengning som følge av at sprekkene ikke er blitt tettete fullstendig. Dosering av stabiliserende stoffer avhenger av sementen som benyttes. Økt partikkelstørrelse og økt v/c-forhold gir typisk mer vannutskillelse. Det forventes dermed mer vannutskillelse ved injisering av industrisement enn ved injisering av mikrosegment som følge av høyere partikkelstørrelser i industrisement. Silikaslurry er det mest benyttede stabiliserende stoffet i Norge og benyttet dosering ligger på 5-10% av sementvekten (Hognestad et al., 2010).

Kolloidal silika

Bruk av kjemisk injeksjon som kolloidal silika har økt gradvis de siste årene som følge av utvikling i markedet og strengere krav til tetthet. Kolloidal silika er en flytende vannsuspensjon bestående av silikapartikler med partikkelstørrelse på ca. 0,015 µm. Materialet har flyteegenskaper som ligner vann med en viskositet på rundt 5mPa*s (Garshol, 2011; MasterBuilders Solutions, 2020). Den lave viskositeten gjør at materialet har evnen til å trenge inn i alle sprekker som potensielt kan gi vanninntrengning (Grøv & Woldmo, 2012). Dette gir en unik mulighet til å imøtekomme strenge tetthetskrav i urbane områder. Kolloidal silika har en betydelig høyere mengdepris enn sementbaserte injeksjonsmaterialer og nytten må derfor vurderes for hvert prosjekt.

Kolloidal silika består av to flytende komponenter, komponent A og komponent B. Komponent A inneholder negativt ladde silikapartikler i nanometriske kornstørrelser og utgjør hovedbestanddelen i blandingen. Komponent B er en saltvannsblanding og fungerer som en katalysator. Når komponentene blandes omgjøres de negativt ladde silikapartiklene om til positivt ladde partikler og silikaen omgjøres gradvis til en gel (Hognestad et al., 2010). Tiden det tar før materialet begynner å gele omtales som åpentiden til blandingen og avhenger av mengdeforholdet mellom komponent A og komponent B. Vanlig dosering av komponent B er 15-20 vektprosent av komponent A. Geltiden kan variere mellom 10 minutter og 2 timer ut ifra hva som er ønskelig på prosjektet (Holter & Hognestad, 2012).

Injeksjon med kolloidal silika kan gjennomføres med samme type utstyr som ved utførelse av sementinjeksjon. Dette gjør det mulig å tilpasse injiseringen underveis uten for store omrokeringer (Holter & Hognestad, 2012). Materialet er lett å arbeide med og den lave fastheten gjør materialet lett å vaske bort. Kolloidal silika har også fordelen av at det verken er skadelig for dyr eller miljø (Butrón et al., 2009).

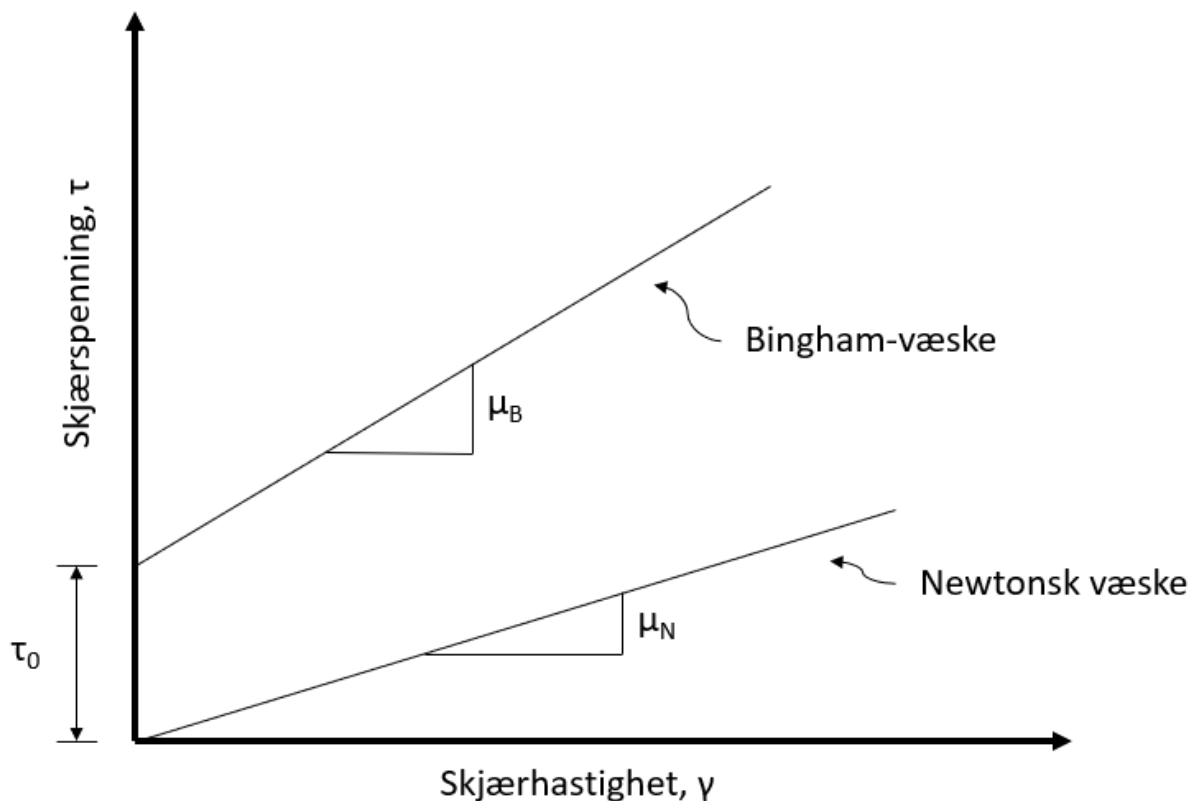
2.1.5 Materialeegenskaper

Viktige materialeegenskaper som vil påvirke sluttresultatet er flyteegenskapene og herde-/geltiden til injeksjonsmaterialet. Et injeksjonsmateriale bør ha en kontrollert herde-/geltid som ikke forårsaker hindring i fremdriften på anlegget og et materiale som kan flyte inn i sprekkesystemer og fylle nødvendige sprekker.

Reologiske egenskaper

Reologi er læren om væskers flyteegenskaper (Håkansson et al., 1992). Kunnskap om de reologiske egenskapene til injeksjonsmaterialer er nødvendig for å forstå hvordan materialet beveger seg i sprekkesystemer.

Flyteegenskapene til sementinjeksjon blir normal beskrevet av bingham-modellen. Bingham-modellen er en forenklet fremstilling av en væske med konstant viskositet som må bli utsatt for en skjærspenning før væsken begynner å flyte. Den nødvendige skjærspenningen omtales som flytespenningen, τ_0 , til materialet (Håkansson et al., 1992). En bingham-væske skiller seg fra en newtonsk væske, som vil flyte med en gang væsken blir utsatt for en skjærspenning. Vann er et eksempel på en newtonsk væske, mens honning er et eksempel på en bingham-væske. Hvor raskt massen flyter, skjærhastigheten, når flytespenningen er nådd, avhenger av viskositeten til sementen og skjærspenningen massen blir utsatt for. En væske med høy viskositet vil bevege seg langsommere enn en væske med lav viskositet som blir påvirket av den samme kraften. Figur 2.6 viser en sammenligning av en bingham-væske og en newtonsk væske, hvor skjærhastighet, γ , er plottet mot skjærspenning, τ . Stigningstallet til grafene representerer viskositetene, μ_B og μ_N (Funehag, 2012).



Figur 2.6: Modell av Bingham-væske og newtonsk væske. Modifisert etter Grøv et al. (2020).

Flyteegenskapene til sementinjeksjon avhenger av flere forhold, hvor v/c -forholdet og det spesifikke overflatearealet har størst betydning. Et høyt v/c -forhold gjør sementinjeksjonen mindre viskøs og reduserer flytespenningen. Økt overflateareal gjør sementinjeksjonen mer viskøs og gir økt flytespenning (Stille, 2015). Det spesifikke overflatearealet avhenger av sementtype og tilhørende partikkelstørrelse. Små partikler har stor spesifikk overflate. Sementtype, blandetid og temperatur vil i tillegg ha betydning for flyteegenskapene til sementinjeksjonen (Håkansson et al., 1992).

Kolloidal silika beveger seg i hovedsak som en newtonsk væske. En newtonsk væske vil som nevnt flyte så fort materialet blir påvirket av en skjærspenning og defineres kun av viskositeten. Når gelingen starter vil flyteegenskapene endres og ligne mer på en bingham-væske med en nødvendig flytespenning. Gelingen fører i tillegg til en betraktelig økning av viskositeten (Funehag, 2012).

Flyteegenskapene til kolloidal silika er avhengig av partikkelstørrelsene. Disse er i utgangspunktet så små at massen omtrent flyter som vann. Når gelingen settes i gang danner partiklene større nettverk som vil gi en dårligere flyteevne (Funehag, 2012).

Herdetid/geltid

Herdetiden til sementbaserte injeksjonsblandinger avhenger av faktorer som v/c-forholdet, det spesifikke overflatearealet, sementtype, blandetid og temperatur. Høyt v/c-forhold gir normalt en lengre herdetid som følge av at blandingen er tynnere. Økt spesifikt overflateareal gir en økt evne til å binde vann og effektiviserer dermed herdeprosessen. Ved blanding tilføres det energi til sementinjeksjonen. Mengden energi avhenger av tiden og hastigheten materialet blir utsatt for. Økt blandetid vil tilføre materialet mer energi som igjen gjør at herdingen vil settes i gang tidligere. Høy temperatur gir raskere herding som følge av raskere hydratisering (Stille, 2015). Geltiden til kolloidal silika er direkte avhengig av mengde katalysator i blandingen og temperaturen (Funehag, 2012).

2.2 Prosjektbeskrivelse, Fornebubanen

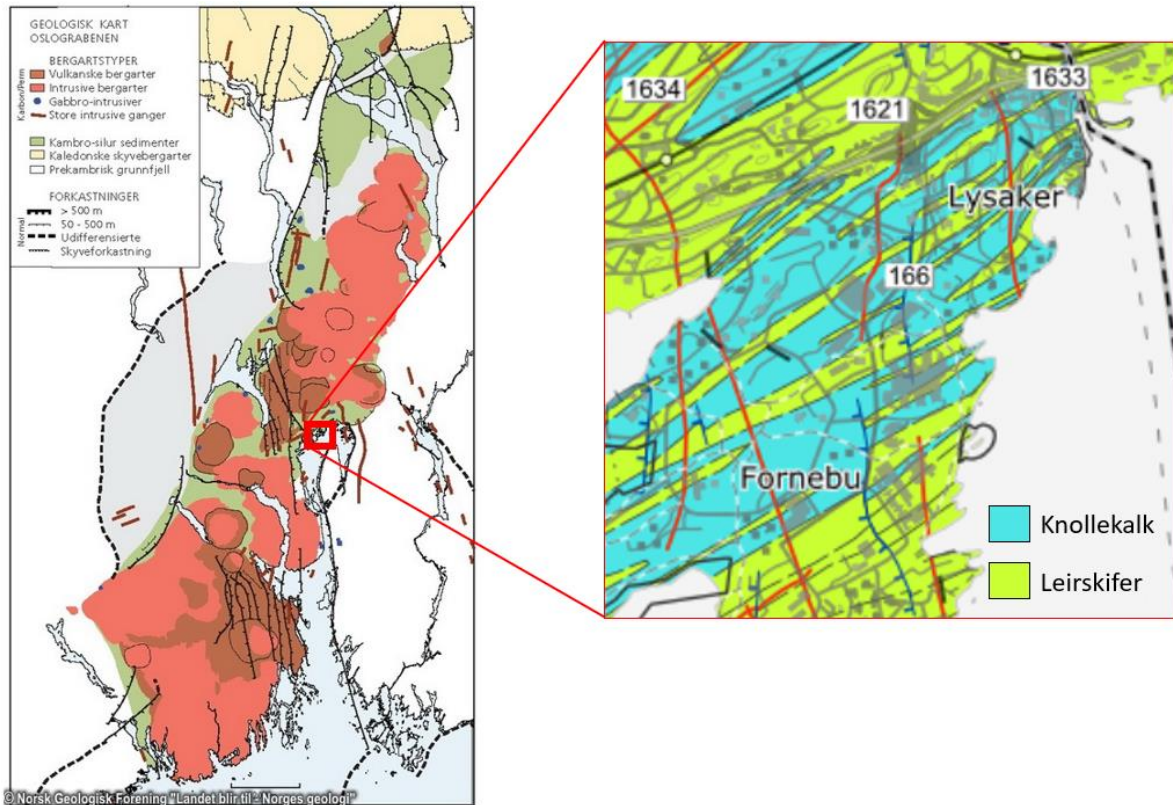
Fornebubanen er en ny t-banestrekning under utbygging i Oslo og Bærum kommune. T-banestrekningen blir 8 km lang og vil inkludere 6 stasjonshaller. Utbyggingen skjer i områder med lav overdekning over sensitive områder og fokuset på å oppnå tilstrekkelig tetthet er derfor høyt. Oppgaven vil fokusere på entreprisen mellom Fornebu S og Lysaker, K2A, med Implenia som entreprenør. Oslo kommune er byggherre. Videre vil relevant bakgrunnsinformasjon for injisering av strekningen bli presentert. Informasjonen er basert på utført ingeniørgeologisk rapport for prosjektets konkurransegrunnlag, PGF (2020), om ikke annet er referert til.

2.2.1 Bergarter

Bergartene langs Fornebubanen er en del av det geologiske området Oslofeltet, vist på Figur 2.7. Oslofeltet strekker seg fra Langesund i sør til Mjøsområdet i nord og er omringet av det prekambriske grunnfjellet. Bergartene i Oslofeltet kan inndeles i to grupper ut ifra karakter og når de er dannet: sedimentære bergarter fra perioden mellom kambrium og silur, og magmatiske bergarter fra perioden perm (Nystuen, 2013).

De kambrosilurske bergartene ble dannet i et tropisk miljø hvor havet lå over land. Dette ga grunnlaget for sedimentære lagrekker. De sedimentære bergartene ble senere utsatt for den kaledonske fjellkjedefoldningen som resulterte i foldning av lagrekken (Nakrem & Worsley, 2013). Langs Fornebubanen finner man blant annet knollekalk og leirskifer som er en del av denne lagrekken. Bergartene er generelt svake sammenlignet med andre bergarter i området og har varierende oppsprekking. Knollekalken er generelt mindre oppsprukket enn leirskiferen. Figur 2.7 viser et utklipp av NGU sitt berggrunnskart. Det er knollekalk og leirskifer som dominerer i området.

I perioden perm, etter den kaledonske fjellkjedefoldningen, oppstod det riftdannelse av feltet. Riftdannelsen førte til at magma strømmet oppover og dannet vulkansk aktivitet og intrusiver (Larsen et al., 2013). Ved Fornebubanen er det kartlagt syenitt. Syenitt er en dypbergart som har bakgrunn fra riftdannelsen i perm. Bergarten opptrer på strekningen som permiske ganger gjennom den sedimentære lagrekken. Tykkelsen på gangene varierer mellom noen dm og 20 meter, hvor de fleste har en tykkelse på mellom 2 og 6 meter. Syenitt er en hard bergart og sprekkekarakteren vil være annerledes enn for de sedimentære bergartene. Syenitten er typisk mer oppsprukket enn sideberget. Bergarten er sterkere oppsprukket i områder rundt forkastninger.



Figur 2.7: Berggrunnskart over Oslofeltet til venstre og Fornebu til høyre. Kart over Oslofeltet er hentet fra Larsen et al. (2013). Kartet over Fornebu til høyre er hentet fra NGU sitt berggrunnskart.

Kartlegging av blotninger gjennomført ved prosjektstart viser til 3 sprekesett pluss sporadiske sprekker for store deler av området. Sprekkene har kalkbelegg og i noen sprekker er det observert leirfylling.

2.2.2 Bergoverdekning og overliggende løsmasser

Langs traseen er det gjort en vurdering av sårbare soner hvor kravet til injeksjon vil være ekstra stort. Sårbarheten til et område er vurdert ut ifra følgende fire kriterier (PGF, 2019):

- Overliggende infrastruktur som kan bli skadet av setninger
- Løsmassemektighet
- Bergoverdekning
- Svakhetssoner og intrusivganger

Hvor store setninger som kan forekomme er direkte avhengig av løsmassemektighet og materialeegenskapene til løsmassene. Løsmassemektighet langs Fornebubanen varierer fra 0 til over 20 meter. De tykkeste løsmassemektighetene forekommer i dyprenner fylt med leire og vises i grønt på Figur 2.8. I områdene med tykke leiravsetninger er det spesielt viktig å hindre innlekkasje, slik at grunnvannstanden og poretrykket ikke endres.

Fornebubanen bygges grunt under overflaten og bergoverdekningen er dermed lav. Figur 2.8 viser bergoverdekningen langs strekningen, som på det minste er under 10 meter. Bergoverdekningen er spesielt lav ved påhugget fra Fornebu S, hvor det vil stilles ekstra krav til tetting og utførelse.



Figur 2.8: Bergoverdekningen og løsmassemektighet langs Fornebubanen. Rød boks markerer området hvor fullskala forsøk er gjennomført. Hentet fra PGF (2020).

2.2.3 Registrert poretryksdata

Det er installert 21 piezometere og 17 bergbrønner langs traseen. Registreringene ble startet før anleggsstart for å ha et godt referansegrunnlag ved vurdering av poretrykksendringer under anleggsfasen. Piezometrene skal være plassert like over bergoverflaten. I Oslo ligger det et utbredt lag med glasifluviale avsetninger mellom bergmassen og leiren. Glasifluviale avsetninger er svært

permeable og gjør det mulig å registrere poretrykksendringer kort tid etter poretrykksendringene har oppstått i berget. Ved å følge med på disse poretrykksendringene kan man forhindre permanente poretrykksendringer i den overliggende leiren. Dette er ønskelig da poretrykksendringer i leiren over tid kan gi setningsskader. Poretrykket blir logget 4 ganger i døgnet med et tidsintervall på 6 timer.

2.2.4 Tettestrategi

På Fornebubanen er det satt et generelt innlekkasjemål på 4l/min/100m. Målet er basert på erfaringer fra andre tunnelprosjekter som er drevet i Oslo og anses som nødvendig for å hindre betydelige poretrykksreduksjoner. Kravet har som mål å unngå skader på bebyggelse og natur. Som en grunnleggende basis for tettingen skal det gjennomføres systematisk forinjeksjon. Omfanget av forinjeksjonen vil avhenge av innlekkasjemål, avstand til løsmassene, overdekning, bergartstype, oppsprekkingsforhold og forventet vanntrykk.

Det ble i forkant av prosjektet gjort en grov vurdering av hele strekningen for nødvendige tiltaksklasser. Det er delt inn i fire tiltaksklasser, hvor tiltaksklasse 1 (grønn) gjelder for områdene hvor det kreves minst tetting, mens tiltaksklasse 4 (rød) gjelder for områdene hvor det kreves mest omfattende tetting. Tabell 2.3 viser en oversikt over tiltakene. Figur 2.9 viser omfanget av tiltaksklassene mellom Lysaker og Fornebu (PGF, 2019).

Tabell 2.3: Tiltaksklasser for Fornebubanen. Hentet fra PGF (2019).

Tiltak	Tiltaksklasse
Systematisk forinjeksjon med industrisement og mikrosegment	1
Systematisk forinjeksjon med mikrosegment, 1-2 injeksjonsrunder pr sted	2
Meget omfattende forinjisering, minst 2 injeksjonsrunder pr sted, med mikrosegment i første runde og mikrosegment eller kolloidal silika i påfølgende runde	3
Meget omfattende forinjisering, minst 2 injeksjonsrunder pr sted med mikrosegment første runde og mikrosegment eller kolloidal silika i påfølgende runde, etterfulgt av vanntett støp hvis nødvendig	4



Figur 2.9: Strekningen mellom Fornebu og Lysaker er inndelt i tiltaksklassene 1-4. Hentet fra PGF (2019).

Videre ble det laget 3 injeksjonsprogrammer tilpasset overdekning. Injeksjonsprogrammene ble laget før anleggsstart og justeringer og optimaliseringer er forventet.

Tabell 2.4: Injeksjonsprogrammer for Fornebubanen. Hentet fra PGF (2019).

Programtype	Type 1: Grovtetting > 30m bergoverdekning	Type 2: Fintetting, < 30m bergoverdekning	Type 3: Høyrisiko-områder, < 10-20m bergoverdekning
Antall skjermer	1+	1+	2
Injeksjonsmiddel	Industrisement + mikrosegment	Mikrosegment	Mikrosegment + kolloidal silika
Lengde injeksjonshull	18-24 m	21-24m	15-21m
Hullavstand ved ferdig injisert skjerm, ikke pr. injeksjonsrunde	c/c = 0,7m	c/c = 0,7-1,0 m	c/c = 0,5 m
Maks injeksjonstrykk	30-50 bar	20-30 bar	10-20 bar
Overlapp i tunnel	Minimum en tunnelbredde	Minimum en tunnelbredde	Minimum en tunnelbredde
Kontrollhull	Ja	Ja	Ja

Injeksjonstrykket som er satt er generelt lavt og varierer mellom 10-50 bar. Det lave injeksjonstrykket skyldes den lave bergoverdekning, hvor mindre bergoverdekning setter strengere krav til injeksjonstrykk. I områdene med minst overdekning er injeksjonstrykket satt til 10-20 bar. Det benyttes høyere trykk i sålen enn i henget.

Det er lagt opp til bruk av både sementinjeksjon og kolloidal silika langs strekningen. Det skal i hovedsak benyttes mikrosement. I områder med behov for ekstra tetting skal kolloidal silika vurderes som et tilleggsmateriale til sement. Kolloidal silika presenteres også som et alternativ til vanntett støp i områder med behov for ekstra tetting (PGF, 2019).

Trykk og mengde benyttes som stoppkriterium. Hvis ikke måltrykket oppnås i et hull før en gitt mengde er injisert, blir injiseringen stoppet og det skiftes til en mer viskøs blanding. Ved injisering av sementinjeksjon blir det byttet til en blanding med lavere v/c-tall. Injiseringen starter så opp igjen med mål om å nå måltrykket.

Injeksjonsprosedyre benyttet ved Hovedløpet

Tabell 2.5 viser injeksjonsprosedyre benyttet ved hovedløpet ved Fornebu S for injisering med mikrosement. Mikrosementen som benyttes er Norcem Micro. Hvis ikke ønsket trykk er oppnådd før maksimal mengde er benyttet for en resept, skiftes det til ny resept med lavere v/c-tall før injiseringen starter på nytt. Sluttrykket benyttet i deler av hovedløpet er vist i Tabell 2.6, men vil variere ut ifra overdekningen.

Tabell 2.5: Injeksjonsprosedyre benyttet i Hovedløpet ved Fornebu S.

Resept	v/c-tall	Stoppkriterium
1	0,9	Masseinngang inntil 400l og/eller trykk er oppnådd. Ved manglende trykkoppbygning inntil 200l byttes til v/c = 0,6.
2	0,6	Masseinngang inntil 500l og eller trykk er oppnådd. Ved manglende trykkoppbygning inntil 300l settes hullet på vent. Ved gjenopptagelse pumping og fortsatt manglende trykkoppbygning tilsettes f.eks. muring inntil 200l. Ved manglende trykkoppbygning byttes til v/c = 0,5.
3	0,5	Hullet avsluttes med så tykk masse som mulig. Masseinngang inntil 200l og eller trykk er oppnådd.

Tabell 2.6: Injeksjonstrykk benyttet ved Hovedløpet ved Fornebu S.

Område	Injeksjonstrykk
Såle	25 bar
Vegger	20 bar
Heng	15 bar

3. Utført arbeid

Dette kapittelet presenterer arbeid utført i forbindelse med oppgaven. Egenskaper til injeksjonsmaterialer er testet ut ved Sintef sitt laboratorium for testing i Trondheim. Tabell 3.1 gir en oversikt over testene som ble utført. Arbeidet ble utført av Ola Skjølvold ved Sintef, Tobias Danner ved Sintef, veileder Karl Gunnar Holter og undertegnede. Det ble tatt ut prøver av sementene som er testet i laboratoriet. Disse ble sendt til Norcem sitt spesiallaboratorium, for måling av kornfordeling. Bearbeiding og analyser av alle resultater er utført av undertegnede. Arbeidet vil bli nærmere beskrevet i delkapittel 3.1.

Tabell 3.1: Oversikt over tester gjennomført av undertegnede ved Sintef sitt laboratorium i Trondheim.

Test	Resultat	Kommentar	Utført av
Kopptest	Herde-/geltid		Siri Krokedal
Temperaturutvikling	Temperaturutvikling		Ola Skjølvold og Siri Krokedal
Kalorimeter	Varmeutvikling		Tobias Danner
Marsh-trakt	Konsistens	Standard: NS-EN 445	Siri Krokedal og Karl Gunnar Holter
Utbredelsestest	Konsistens	Standard: NS-EN 445	Siri Krokedal
Rheometer	Viskositet og flytespenning	Apparat: Physica MCR 300	Tobias Danner og Siri Krokedal

Fullskala forsøk med kolloidal silika ble gjennomført ved Fornebubanen. I den forbindelse ble det gjennomført langvarig feltarbeid for oppfølging og tilrettelegging av oppgaven. Tabell 3.2 gir en oversikt over arbeidet som ble registrert. Vanntapsmålingene ble satt i gang av Eivind Stein ved NGI, før kontrollingeniørene ved Fornebubanen tok over ansvaret. Scanningen av tunnelkonturen for observert lekkasje er gjennomført av Martin Hovda Haugsand ved Fornebubanen og undertegnede. Bearbeiding og analyser av resultater er utført av undertegnede. Arbeidet vil bli nærmere beskrevet i delkapittel 3.2.

Tabell 3.2: Oversikt over arbeid gjennomført ved Fornebubanen.

Arbeid	Utført av
Vanntapsmålinger	Eivind Stein ved NGI og kontrollingeniører ved Fornebubanen
Observert innlekkasje	Scanning utført av Martin Hovda Haugsand ved Fornebubanen og undertegnede.
Poretrykksmålere	Oslo kommune, Fornebubanen

3.1 Test av materialeegenskaper

Det ble gjennomført tester på totalt 10 sementblandinger og 2 kolloidal silika-blandinger. Det ble gjennomført tester av herde/gel-tid og flyteegenskaper. For å teste herde/gel-tid ble det benyttet kopptest, temperaturutvikling og kalorimeter. For å teste flyteegenskaper ble det benyttet Marsh trakt (Marsh cone), utbredelsestest og rheometer. På grunn av omfattende arbeid ble testene fordelt på to omganger.

Det ble gjennomført tester på to kolloidal silika-blandinger, vist i Tabell 3.3. Produktnavnet til kolloidal silikaen som ble brukt er MasterRoc MP 320. Blandingene hadde en akseleratormengde på henholdsvis 20 og 17 vektprosent av hovedkomponenten.

Tabell 3.3: Oversikt over kolloidal silika-blandinger testet ved Sintef.

Blanding	Kolloidal silika	Mengde akselerator
1 KS20	MasterRoc MP 320	20% akselerator
2 KS17	MasterRoc MP 320	17% akselerator

Tabell 3.4 viser en oversikt over sementblandingene som ble testet i lab. Det ble benyttet tre forskjellige sementtyper:

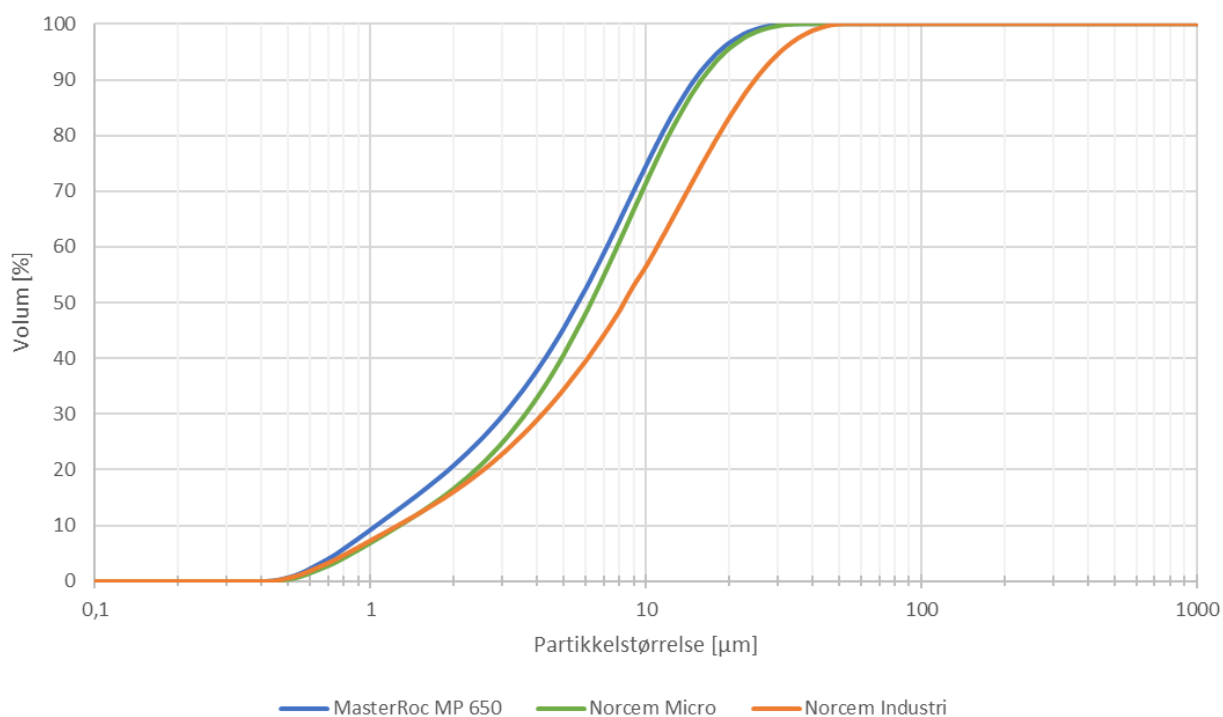
- MasterRoc MP 650 (MR)
- Norcem Micro (NM)
- Norcem Industri (NI)

Det ble testet to typer mikrosement fra to ulike produsenter, Norcem Micro og MasterRock MP 650. Norcem Micro er sementtypen som benyttes ved Fornebubanen. MasterRock MP 650 ble valgt ut for sammenligning og for å undersøke mulig optimalisering. Det er gjennomført analyse av de tre sementtypene. Figur 3.1 viser målte kornfordelingskurver til sementene. Tabell 3.5 viser sementtypene med tilhørende spesifikt overflateareal og d95-verdi. Verdiene representerer gjennomsnittet av tre prøver testet per sement. Detaljerte kornfordelingskurver er vist i Vedlegg A.1.

V/c-forholdet ble satt til 0,9 og 0,6 på bakgrunn av benyttet praksis ved Fornebubanen.

Tabell 3.4 Oversikt over undersøkte sementblandinger. Tekniske datablad for undersøkte materialer er vist i Vedlegg B.1.

	Blanding	Sement	v/c	Tilsetning
1	MR-0,9-2000PF	MasterRoc MP 650	0,9	MasterRheobuild 2000PF
2	MR-0,6-2000PF	MasterRoc MP 650	0,6	MasterRheobuild 2000PF
3	NM-0,6-GT	Norcem Micro	0,6	Grout Tech System W
4	NM-0,6-MG	Norcem Micro	0,6	MasterGlenium 151C
5	NM-0,6-2000PF	Norcem Micro	0,6	MasterRheobuild 2000PF
6	NM-0,9-GT	Norcem Micro	0,9	Grout Tech System W
7	NM-0,6-GT + X	Norcem Micro	0,6	Grout Tech System W + Master X-Seed
8	NI-0,6-GT	Norcem Industri	0,6	Grout Tech System W
9	NI-0,6-GT + X	Norcem Industri	0,6	Grout Tech System W + Master X-Seed
10	NI-0,6-2000PF + X	Norcem Industri	0,6	MasterRheobuild 2000PF + Master X-Seed



Figur 3.1: Målte kornfordelingskurver til sementene.

Tabell 3.5: Målte materialparametere til sementene.

Sement	Spesifikt overflateareal [m^2/g]	d95 [μm]
MasterRoc MP 650	2,11	18,18
Norcem Micro	1,85	19,39
Norcem Industri	1,69	30,76

Videre ble det testet ut tre forskjellige superplastiserende stoffer:

- Grout Tech System W (GT) – Mapei
- MasterGlenium 151C (MG) – MasterBuilders Solutions
- MasterRheobuild 2000PF (2000PF) – MasterBuilders Solutions

Det er testet ut to størkningsakseleratorer i herdetestene:

- MasterRoc SA 166
- MapeiQuick AF2000

Størkningsakseleratorene er utviklet til bruk i sprøytebetong hvor man ønsker en umiddelbar effekt (Hognestad et al., 2010). Disse akseleratorene ble tilsatt etter miksing i kolloidalblanderen, for å unngå herding i utstyret, i åtte av sementblandingene. Det ble benyttet 3% akselerator basert på sementvekten.

På Fornebubanen har det vært et ønske om å få ned herdetiden på sementen som benyttes. Det er derfor gjort forsøk med en herdeakselerator:

- Master X-Seed

Herdeakseleratoren er utviklet for utstøpt betong og virker langsommere enn størkningsakseleratorene. Hensikten med herdeakseleratoren er å akselerere betongherdingen, men ikke med en umiddelbar effekt slik som størkningsakseleratorene (MasterBuilders Solutions, 2021). Master X-Seed ble tilsatt før miksing i tre av blandingene. Det ble benyttet 2% herdeakselerator basert på sementvekten. Tekniske datablad for alle undersøkte materialer er lagt ved i Vedlegg B.1.

Injeksjonsmaterialets egenskaper er svært avhengig av blandeforhold og temperatur. For å sørge for mest mulig representative resultater for injeksjonsmaterialers egenskaper ved injisering i tunnel ble det gjort flere tilpasninger. Alle blandingene ble mikset med en kolloidalmikser av merket Häny, vist på Figur 3.2. Kolloidalmikseren består av en tank hvor materialet samles opp. Under tanken ligger en slisse hvor materialet blir ført og rotert, før materialet igjen kommer tilbake til tanken. For å unngå innblanding av luft ble det benyttet rundt 40 liter materiale for hver blanding. Alle blandingene ble mikset i 3 minutter.



Figur 3.2: Kolloidalmikser benyttet til å blande injeksjonsmaterialer før testing. Merke: Häny HCM.

For å simulere temperaturen i tunnel på en realistisk måte ble alt av materiale plassert på et kjølerom i god tid før blanding. Kjølerommet hadde en temperatur på 5-10 grader. Materialet ble tatt ut like før blanding og plassert rett tilbake etter blanding. Forsøkene ble gjennomført i februar og mars med utetemperaturer på rundt 10 grader. Kolloidalmikseren ble derfor plassert ut før testing, og i tillegg kjølt ned ved hjelp av kaldt vann. Temperatur ble registrert for hver blanding like etter miksing.

3.1.1 Herdetid

For å vurdere herdetiden til injeksjonsmaterialene er det benyttet tre tester: kopptest, mål av temperaturutvikling og kalorimeter. Tabell 3.6 viser en oversikt over blandingene som er testet. Det er ikke testet ut temperaturutvikling og varmeutvikling ved kalorimeter for kolloidal silika-blandingene, da kolloidal silika ikke utvikler varme under geling.

Tabell 3.6: Gjennomførte tester av herdetid.

	Blanding	Kopptest	Temperaturutvikling	Kalorimeter
1	KS20	✓		
2	KS17	✓		
1	MR-0,9-2000PF	✓	✓	✓
2	MR-0,6-2000PF	✓	✓	✓
3	NM-0,6-GT	✓	✓	✓
4	NM-0,6-MG	✓	✓	✓
5	NM-0,6-2000PF	✓	✓	✓
6	NM-0,9-GT	✓	✓	✓
7	NM-0,6-GT + X	✓	✓	✓
8	NI-0,6-GT	✓	✓	✓
9	NI-0,6-GT + X	✓	✓	✓
10	NI-0,6-2000PF + X	✓	✓	✓

3.1.1.1 Kopptest

For alle blandinger ble det gjennomført kopptester. Det ble gjennomført tester med og uten størkningsakseleratorene. En kopptest innebærer å fylle en kopp med injeksjonsmateriale og følge med på hvor lang tid det tar før materialet i koppen er herdet/gelet nok til at koppen forsiktig kan vendes på hodet uten at materialet renner ut. Testen ble gjennomført på kjølerommet og det ble benyttet isoporkopper for å holde på temperaturen i størst mulig grad. Testen er mye brukt i felt, da den er enkel å gjennomføre og gir god informasjon om herdetiden til materialet man arbeider med der og da. Testen er avhengig av oppfølging underveis for å registrere når materialet er herdet. Det ble gjort hyppig oppfølging like etter miksing med gradvis større mellomrom. Usikkerheten på testene med lang herdetid er rundt 1 time.



Figur 3.3: Kopptester av sementblandinger, med og uten størkningsakseleratorer.

3.1.1.2 Temperaturutvikling

Det ble målt temperaturutvikling i sementblandingene. Temperatur ble målt med og uten størkningsakseleratorene. Når herdingen settes i gang i en sementblanding vil det oppstå en temperaturutvikling. Ved å registrere temperaturutviklingen kan man følge med på herdeprosessen. Registreringen ble utført i isoporbokser plassert på kjølerom.

3.1.1.3 Kalorimeter

Kalorimetri er en test som benyttes for å studere varmeutviklingen til en sement. Ved hydratisering utvikler det seg varme og et kalorimeter kan derfor gi et mål på herdingen. En sement som har rask varmeutvikling herder raskere. Testen blir gjennomført i et lukket system for å utelukke temperaturendringer utenfra. Man har dermed en konstant lufttemperatur og måler temperaturendringen i sementen. Varmeutviklingen blir beregnet som en funksjon av varmekapasiteten til materialet, C , og tid, t (Bohloli et al., 2019).

$$q = C * \Delta t$$

Resultatene fra kalorimeteret oppgis i watt per gram sement. Dette gjør det enklere å sammenligne resultatene fra blandingene, sammenlignet med temperaturmåling hvor mengde materiale ikke tas hensyn til. Varmeutvikling ble testet i alle sementblandingene, med og uten størkningsakseleratorer.

3.1.2 Flyteegenskaper

For å vurdere flyteegenskapene til injeksjonsmaterialene er det benyttet tre tester: Marsh trakt, utbredelsestest og rheometer. Tabell 3.7 viser en oversikt over blandingene som er testet.

På grunn av de gode flyteegenskapene til kolloidal silika er utbredelsestesten og det tilhørende utstyret lite egnet for disse blandingene. Det ble dermed ikke gjennomført utbredelsestest for kolloidal silika-blandingene.

Tabell 3.7: Gjennomførte tester av flyteeegenskaper.

	Blanding	Marsh trakt	Utbredelsestest	Rheometer
1	KS20	✓		✓
2	KS17	✓		✓
1	MR-0,9-2000PF	✓	✓	✓
2	MR-0,6-2000PF	✓	✓	✓
3	NM-0,6-GT	✓	✓	✓
4	NM-0,6-MG	✓	✓	✓
5	NM-0,6-2000PF	✓	✓	✓
6	NM-0,9-GT	✓	✓	✓
7	NM-0,6-GT + X	✓	✓	✓
8	NI-0,6-GT	✓	✓	✓
9	NI-0,6-GT + X	✓	✓	✓
10	NI-0,6-2000PF + X	✓	✓	✓

3.1.2.1 Marsh trakt

Marsh trakt-test er en enkelt felttest som brukes til å undersøke flyteevnen til materialet. Testen er kvalitativ og gir ikke verdier på materialparameterne. Metoden er likevel godt egnet til å undersøke tilstanden til materialet relativt. Til testen benyttes en trakt med spesifikke verdier gitt i NS-EN 445 og et sylindreformet målebeger (Standard Norge, 2008), vist på Figur 3.4. Trakten har en åpning i bunnen på 4,3 mm i diameter. Testen utføres ved å fylle opp trakten med injeksjonsmasse. Videre brukes det en stoppeklokke til å måle hvor lang tid det tar før 1 L av massen har rent gjennom trakten. Tiden registreres som resultatet for testen.

Det ble gjennomført Marsh trakt-test på alle sementblandingene like etter blanding, samt 30 minutter etter blanding. For kolloidal silika-blandingene ble testen gjennomført like etter miksing. Blandingen med 17% akselerator ble i tillegg testet med jevne mellomrom fram til geling for å studere utviklingen av flyteeegenskapene.



Figur 3.4: Marsh trakt-test utført på kolloidal silika.

3.1.2.2 Utbredelsestest

En utbredelsestest gjennomføres ved hjelp av en liten sylinder og en plate, vist i Figur 3.5. Sylindren blir plassert på platen og fylt opp med injeksjonsmateriale. Når sylindren er fylt opp, løftes den opp og injeksjonsmaterialet brer seg utover. Diameteren på utbredelsen måles og registreres som resultatet på testen. Sylindren har en høyde på 60 mm og en diameter på 39 mm. Størrelsen på sylindren er fastsatt i standarden NS-EN 445 (Standard Norge, 2008). Testen ble gjennomført for alle sementblandingene.



Figur 3.5: Utbredelsestest utført på en sementblanding.

3.1.2.3 Rheometerundersøkelser

Rheometerundersøkelser er nyttige for å kvantifisere flyteeegenskapene til et materiale. Med et parallellplateviskometer kan man finne viskositeten og flytespenningen ved hjelp av regresjon. Forsøket ble gjennomført med rheometeret Physica MCR 300, vist i Figur 3.6. Rheometeret består av to sirkulære plater med en diameter på 50mm. Avstanden mellom platene er 1mm. Testen utføres ved at injeksjonsmateriale blir plassert mellom platene. Den øverste platen begynner gradvis å rotere raskere, mens den nederste platen blir liggende i ro. Underveis registreres skjærspenning mot skjærhastigheten. Når skjærhastigheten har nådd 150 s^{-1} , begynner rotasjonen å gradvis reduseres samtidig som registreringene fortsetter. Registreringene som blir gjort ved nedgangen i skjærhastighet benyttes til å plote skjærhastighet mot skjærstyrke. Lineær regresjon benyttes for å lese av viskositet og flytespenning i henhold til Bingham-modellen. Samme prosedyre blir gjennomført i 5-6 sykluser. Testen ble gjennomført for alle blandingene. Kjølevæske bidro til at materialet kunne holde en stabil temperatur på rundt 10 grader.



Figur 3.6: Rheometeret Physica MCR 300.

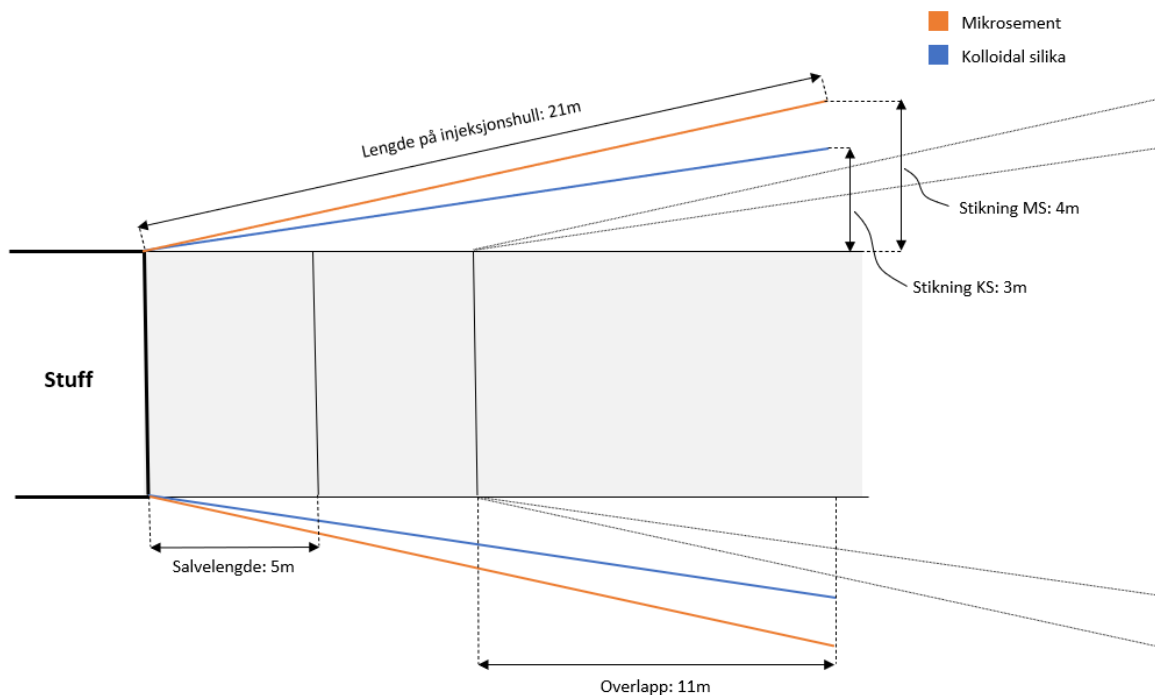
3.2 Fullskala forsøk med forinjeksjon

For å optimalisere injeksjonsprosessen er det gjennomført fullskala forsøk med forinjeksjon. Formålet med forsøkene har vært å tilpasse injeksjonsstrategien slik at man sparer ressurser samtidig som man oppnår godt nok resultat. Mengde innlekkasje og behov for injisering vil variere underveis i traseen som følge av variasjoner i berget og det er derfor ønskelig med en injeksjonsstrategi som kan tilpasse seg forholdene underveis. Forsøkene har fokusert på bruk av kolloidal silika til tetting i urbane strøk.

Forsøkene er gjennomført ved Hovedløpet, Fornebu S. Tabell 3.8 viser en oversikt over de undersøkte injeksjonsskjermene. Når kolloidal silika er benyttet, er det benyttet i tillegg til mikrosegment. Det er gjennomført en 2-trinns injisering med mikrosegment i første skjerm og kolloidal silika i andre skjerm. Figur 3.7 viser en illustrasjon av oppsettet og den doble skjermen. På grunn av lav overdekning ble det injisert for hver andre salve. Lengden på injeksjonshullene var 21 meter. Mikrosegmenthullene hadde en stikning på 4 meter, mens kolloidal silika-hullene hadde en stikning på 3 meter. Salvelengder på 5 meter ga en overlapp på ca. 11 meter.

Tabell 3.8: Oversikt over undersøkte injeksjonsskjermer.

Skjerm	Vanntapsmålinger	Scanning av observert innlekkasje	Poretrykksmålinger
Hovedløpet, pel. 9600	✓	✓	✓
Hovedløpet, pel. 9568	✓	✓	✓
Hovedløpet, pel. 9523			✓



Figur 3.7: Injeksjonsprosedyre benyttet ved Forneububanen.

På strekningen er det ikke forventet spesielt vanskelige vannforhold og det er gitt tetttiltaksklasse 1-2 av 4. Bergoverdekningen er stort sett under 10 meter. Kombinasjonen av den lave bergoverdekningen og en effektiv tunnelbredde på 12 meter gjør at det kreves ekstra stor overlapp. Det drives derfor kun 2 salver på rundt 5 meter hver mellom hver injeksjonsskjerm.

Den første skjermen med kolloidal silika ble utført i et område med lite innlekkasje. Formålet med å bruke kolloidal silika er å tette finriss der det er nødvendig for å oppnå tett nok resultat. På grunn av den lave hydrauliske konduktiviteten i det ikke-injiserte berget, ble det bestemt noen kriterier for når kolloidal silika videre skulle tas i bruk.

For hver injeksjonsskjerm ble først 5 av hullene boret opp. Hullene som ble boret opp var spredt fra hverandre. Dobbelt skjerm med kolloidal silika skulle gjennomføres dersom minst ett av de 2 følgende kriteriene ble oppfylt:

- (1) Innlekkasje fra ett hull $> 2\text{ l/min}$.
- (2) Total innlekkasje fra de 5 hullene $> 5\text{ l/min}$.

Om ett av kriteriene ble nådd skulle det i tillegg gjennomføres vanntapsmålinger i 3 omganger: før mikroskjerm, mellom mikroskjerm og kolloidal silika-skjerm og etter kolloidal silika-skjerm.

3.2.1 Vanntapsmålinger

Vanntapsmålinger ble utført for å måle effekten av 2-trinns injisering på skjermene ved pel. 9600 og pel. 9568. Det ble utført målinger i tre omganger per doble skjerm: før mikroskjerm, mellom mikroskjerm og kolloidal silika-skjerm og etter kolloidal silika-skjerm.

Per omgang ble det utført målinger i 4-5 injeksjonshull. Avstanden mellom hullene var lang nok slik at kontakt mellom hullene ikke ble oppnådd. Målingene ble utført ved å koble et flowmeter og et manometer til vannledningen på injeksjonsriggen. Koblingen med flowmeteret og manometeret som ble brukt er vist i Figur 3.8. Det ble benyttet et overtrykk på 10 bar, og strømmingen ble registrert i et tidsintervall på 5 minutter etter trykket hadde stabilisert seg. Målingene ble gjennomført for hele hullets lengde.



Figur 3.8: Kobling med flowmeter og manometer benyttet til vanntapsmålinger. Foto: Eivind Stein

Fra vanntapsmålingene ble det beregnet en hydraulisk konduktivitet basert på Lugeon-verdien. 1 Lugeon tilsvarer en hydraulisk konduktivitet på $1,3 \cdot 10^{-7}$ m/s for en homogen og isotropisk bergmasse (Quinones-Rozo, 2010). Den hydrauliske konduktiviteten ble omregnet ved å anta en lineær sammenheng mellom den hydrauliske konduktiviteten og Lugeon-verdien.

3.2.2 Poretrykksmålinger

Ved hjelp av poretrykksmålere er det undersøkt hvordan injiseringen påvirker poretrykket. Det er benyttet målinger fra to målere: PZ1-7 og PZ1-9. Lokasjon for poretrykksmålerne og pelnumrene hvor det er gjort undersøkelser er vist i Figur 3.9.



Figur 3.9: Plassering av poretrykksmålere og pelnummer for undersøkte injeksjonsskjermer. Den svarte stiplede linjen markerer traséen.

3.2.3 Observert innlekkasje

Det ble utført lidar-scanning av to partier tettet med både kolloidal silika og mikrosegment. Hensikten med scanningen var å kunne følge med på lekkasje i konturen. Ved strenge krav til tetthet kan observasjon av fukt i konturen være en enkel måte å vurdere tetteresultatet. Etter konturen til tunnelen er sprøytet med sprøytebetong vil tilstedeværelse av vann synes ved at sprøytebetongen blir mørk.

4. Resultater

I dette kapittelet vil resultater fra laboratorieundersøkelsene ved Sintef og fullskala forsøk ved Fornebubanen bli presentert.

4.1 Test av materialelegenskaper

Tabell 4.1 viser temperaturer målt i sementblandingene like etter miksing. Blandingene har en variasjon i temperatur på 7 grader. Det ble ikke registrert temperatur i kolloidal silika-blandingene.

Tabell 4.1: Målt temperatur i sementblandingene like etter miksing.

	Blanding	Temperatur [°C]
1	MR-0,9-2000PF	10
2	MR-0,6-2000PF	11
3	NM-0,6-GT	14
4	NM-0,6-MG	17
5	NM-0,6-2000PF	17
6	NM-0,9-GT	13
7	NM-0,6-GT+X	14
8	NI-0,6-GT	12
9	NI-0,6-GT+X	11
10	NI-0,6-2000PF+X	11

4.1.1 Herdetid

Resultatene fra kopptest, temperaturutvikling og kalorimeter er presentert i de neste delkapitlene.

4.1.1.1 Kopptest

Tabell 4.2 viser målt geltid fra kopptest for blandingene med kolloidal silika. Materialet var gelet etter kort tid.

Tabell 4.2: Målte geltider fra kopptester for kolloidal silika-blandingene.

Blanding	20% akselerator	17% akselerator
Geltid	25 min	55 min

Tabell 4.3 og Tabell 4.4 viser resultatene fra kopptestene for de ti sementblandingene, med og uten størkningsakseleratorene MasterRoc SA 166 (A) og MapeiQuick AF2000 (B). Blandingene med sementen MasterRoc MP 650 fikk en betydelig effekt av akseleratorene. Blant blandingene med sementen Norcem Micro og Norcem Industri gir akseleratorene varierende effekt.

Herdeakseleratoren Master X-Seed (X) ser ut til å ha en god effekt på herdetiden og reduserte herdetiden fra 9 til 2 timer for blanding NM0,6-GT og fra 9 til 5 timer for blanding NI0,6-GT. Blandingene med Master X-Seed fikk i tillegg ekstra effekt av størkningsakseleratorene, hvor akseleratoren MapeiQuick AF2000 (B) ga sterkest effekt.

Tabell 4.3: Målte settingtider fra kopptester - blanding 1-5. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

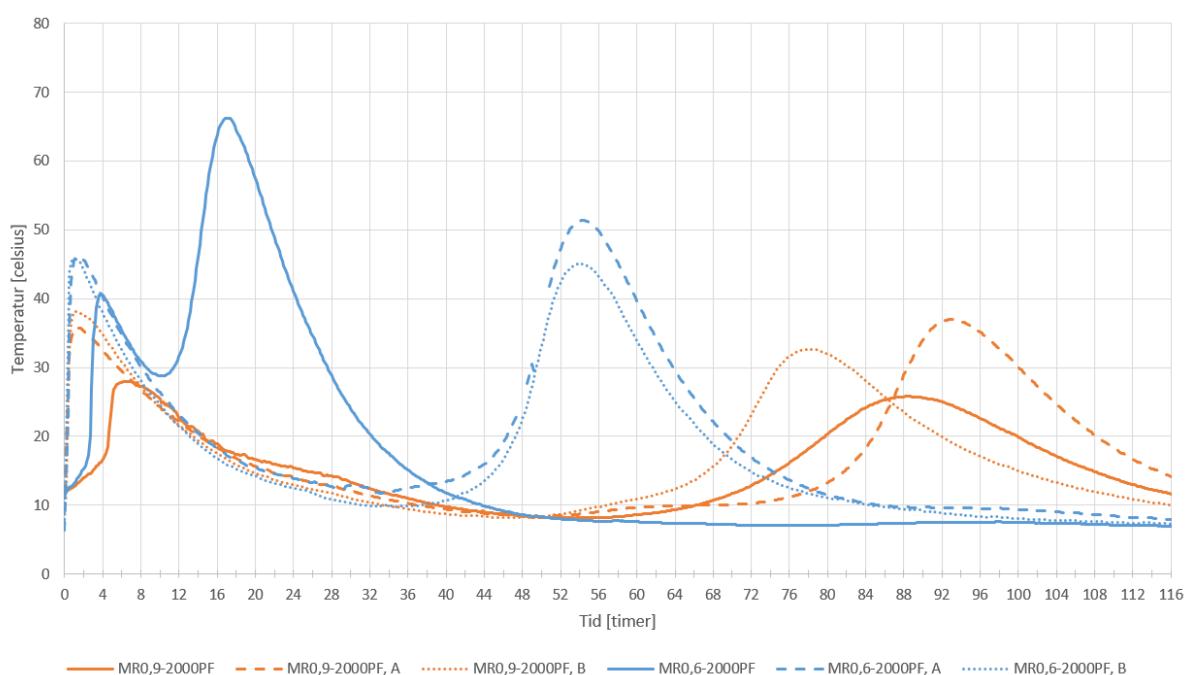
Blanding	MR-0,9-2000PF	MR-0,6-2000PF	NM-0,6-GT	NM-0,6-MG	NM-0,6-2000PF
u/akselerator	>6 timer	4,5 timer	9 timer	6 timer	1 time
m/akselerator A	10 min	15 min	9 timer	8 timer	5 min
m/akselerator B	7-13 min	10 min	10 timer	8 timer	1 min

Tabell 4.4: Målte settingtider fra kopptester - blanding 6-10. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

Blanding	NM-0,9-GT	NM-0,6-GT+X	NI-0,6-GT	NI-0,6-GT+X	NI-0,6-2000PF+X
u/akselerator	9 timer	2 timer	9 timer	5 timer	3 timer
m/akselerator A	-	30 min	-	4 timer	10 min
m/akselerator B	-	20 min	-	1 time	5 min

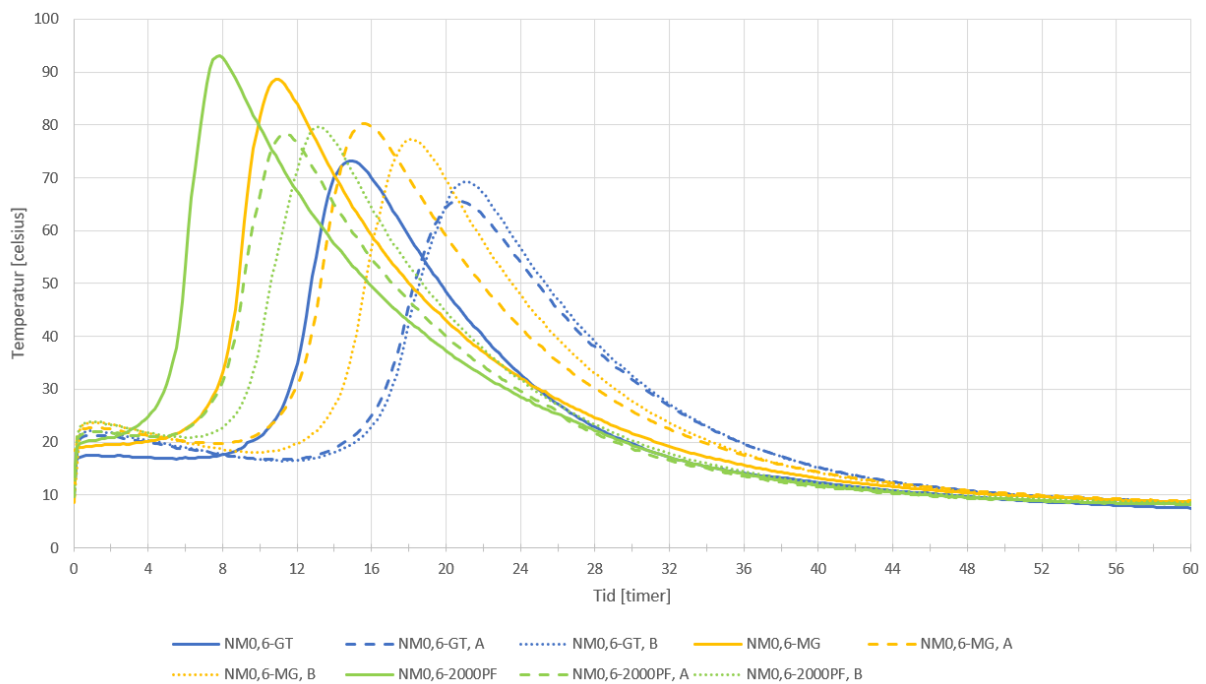
4.1.1.2 Temperaturutvikling

Figur 4.1 viser temperaturutvikling for blandingene med sementen MasterRoc MP 650, sementblanding 1-2. Blandingene med akselerator fikk en tidligere temperaturutvikling enn blandingene uten og reagerte nærmest umiddelbart. Blandingen med v/c-tall 0,9 fikk en senere temperaturutvikling enn blandingen med v/c-tall 0,6. Alle blandingene opplevde en temperaturøkning i to omganger.



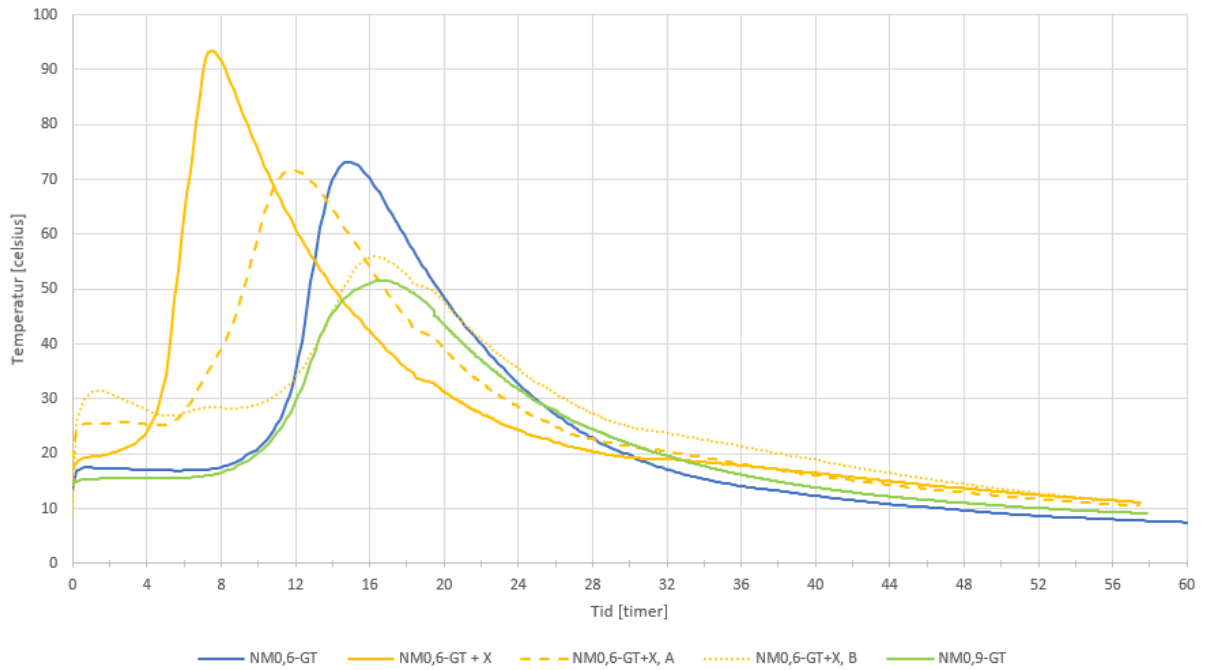
Figur 4.1: Temperaturutvikling for sementblanding 1-2. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

Figur 4.2 viser temperaturutvikling for sementblandingene med sementen Norcem Micro og v/c-tall 0,6. Grafene illustrerer effekten av de tre benyttede superplastiserende stoffene. Fra grafene kan man se at blandingene uten akseleratorer fikk temperaturutvikling raskere enn blandingene med tilsatt akselerator. Akseleratoren ser dermed ut til å virke mot sin hensikt. Dette gjelder i kombinasjon med alle de superplastiserende stoffene. Blandingen med det superplastiserende stoffet MasterRheobuild 2000PF hadde raskest temperaturutvikling, med en peak etter ca. 7,5 timer. Blandingen med MasterGlenium var den nest raskeste av Norcem micro-blandingene med en peak etter ca. 11 timer. Blandingen med Mapei Grout Tech System W fikk en peak etter ca. 15 timer.



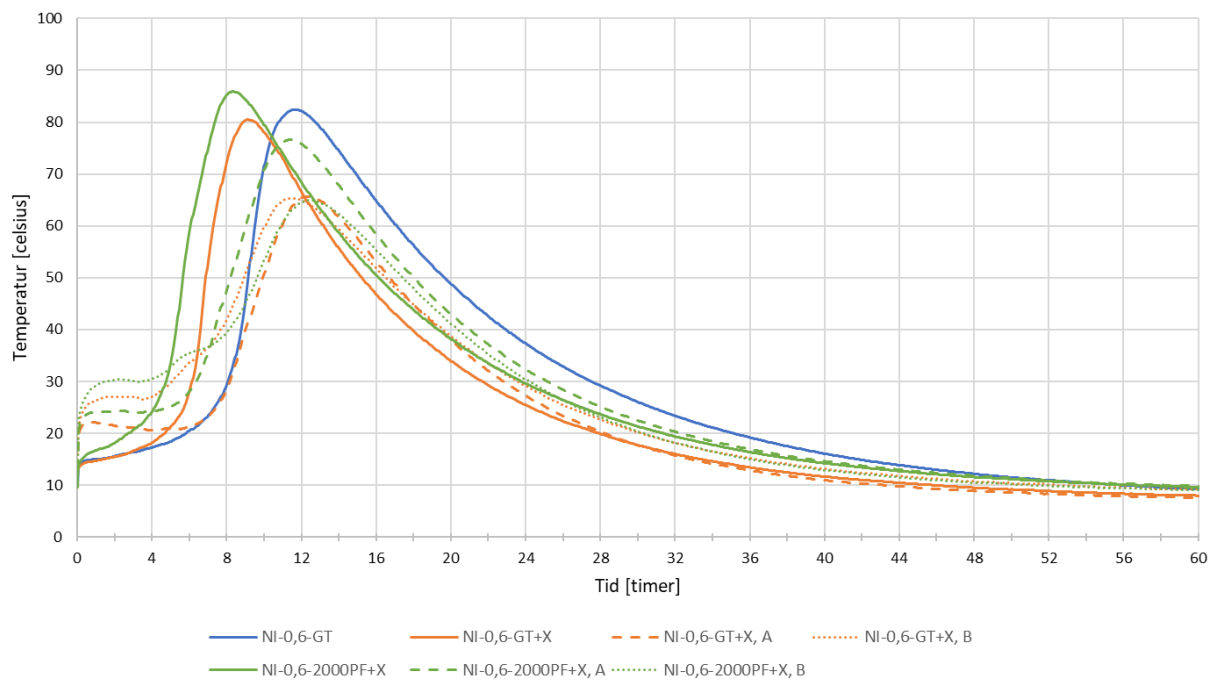
Figur 4.2: Temperaturutvikling for sementblanding 3-5. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

Figur 4.3 viser temperaturutvikling for sementblandingene 3, 6 og 7. Alle blandingene har sementen Norcem Micro og det superplastiserende middelet Grout Tech System W. Fra grafene kan man se at blandingen med herdeakseleratoren Master X-Seed (NM0,6-GT+X) ga raskere temperaturutvikling enn tilsvarende blandingen uten Master X-Seed (NM0,6-GT). Blandingene med størkningsakseleratorene fikk en rask, men liten temperaturøkning først før en større temperaturøkning kom noen timer senere. Blandingene NM-0,6-GT og NM-0,9-GT fikk temperaturutvikling på samme tid, men v/c-tall 0,9 ga noe mindre temperaturutvikling enn v/c-tall 0,6 gir.



Figur 4.3: Temperaturutvikling for sementblanding 3, 6 og 7. Akseleator A: MasterRoc SA 166. Akseleator B: MapeiQuick AF2000.

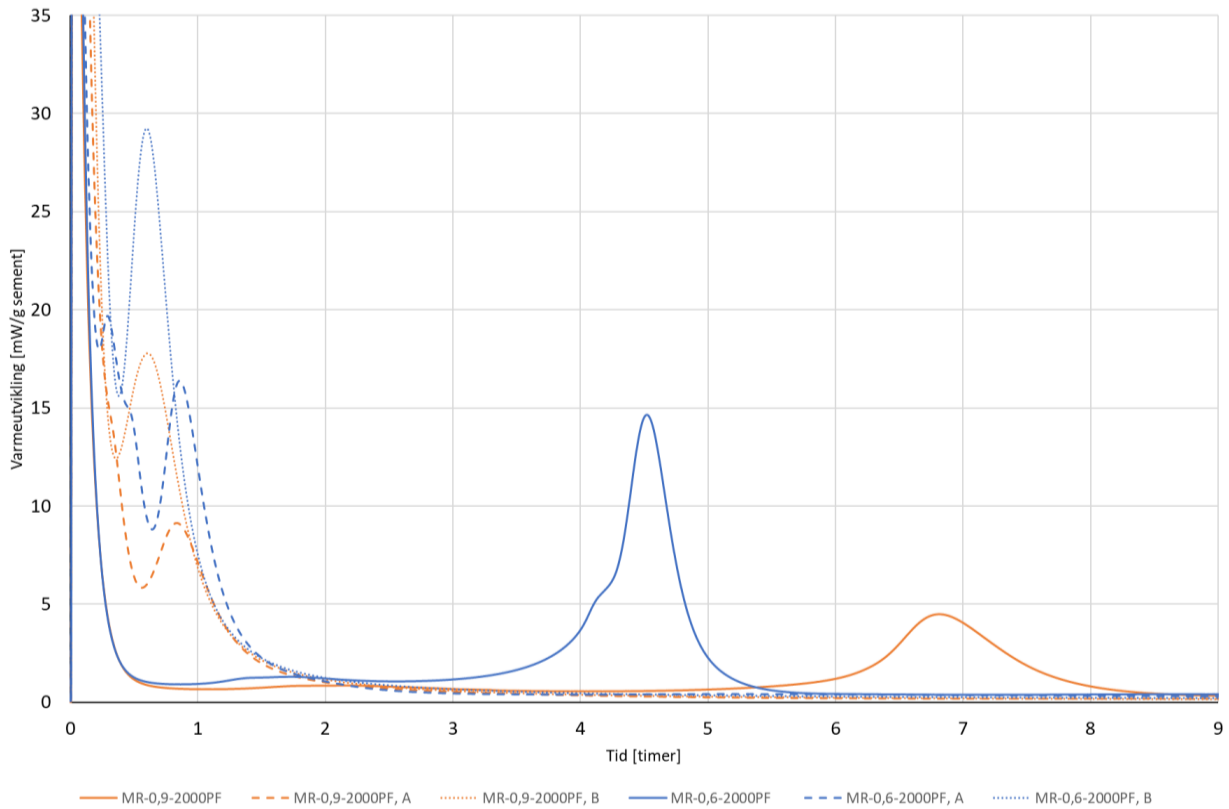
Figur 4.4 viser temperaturutvikling for sementblandingene 8-10. Alle blandningene har sementen Norcem Industri. Sammenligning av blå og oransje graf viser effekten av Master X-Seed. Blandingen med Master X-Seed har en tidligere temperaturutvikling enn blandingen uten.



Figur 4.4: Temperaturutvikling for sementblanding 8-10. Akseleator A: MasterRoc SA 166. Akseleator B: MapeiQuick AF2000.

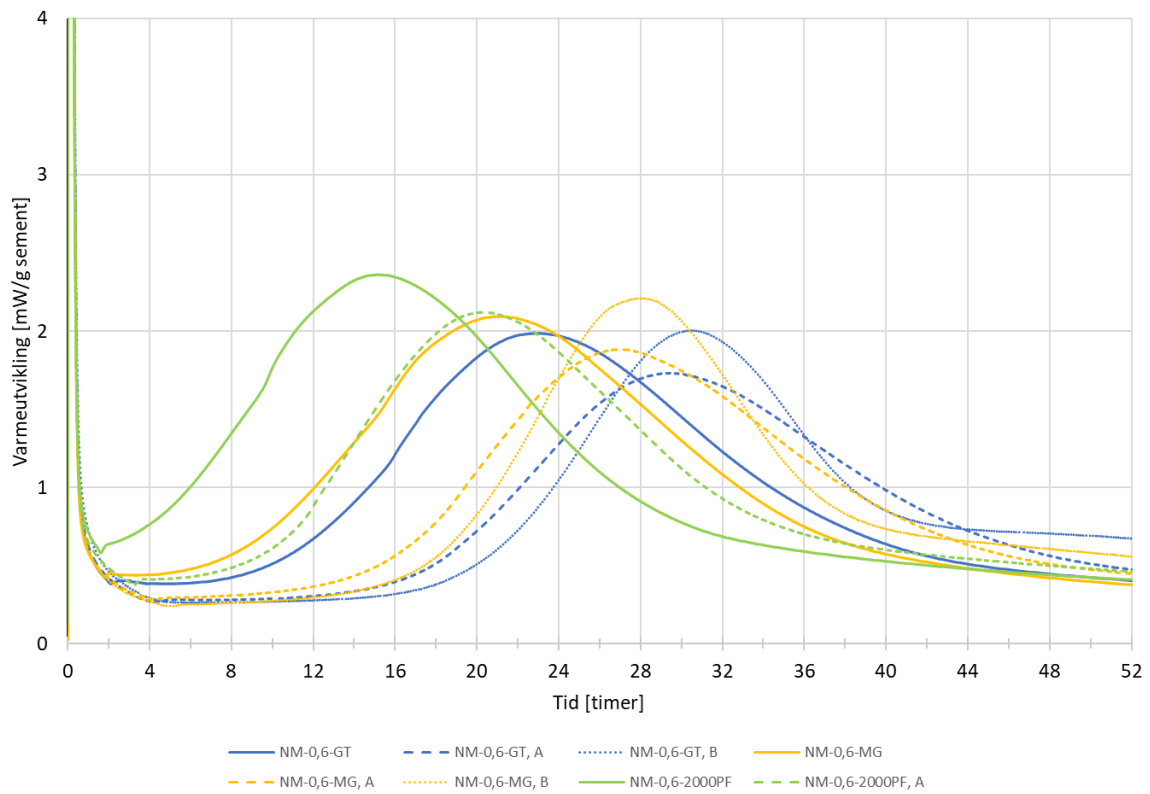
4.1.1.3 Kalorimeter

Figur 4.5 viser varmeutvikling for sementblandingen 1 og 2, med og uten størkningsakseleratorene MasterRoc SA 166 (A) og MapeiQuick AF2000 (B). De høye start-verdiene skyldes kalibrering av kalorimeteret. Utslagene fra den initiale avtakingen i varmeutvikling er derfor målet på varmeutviklingen til sementblandingen. Varmeutviklingene viser de samme trendene som temperaturutviklingene.



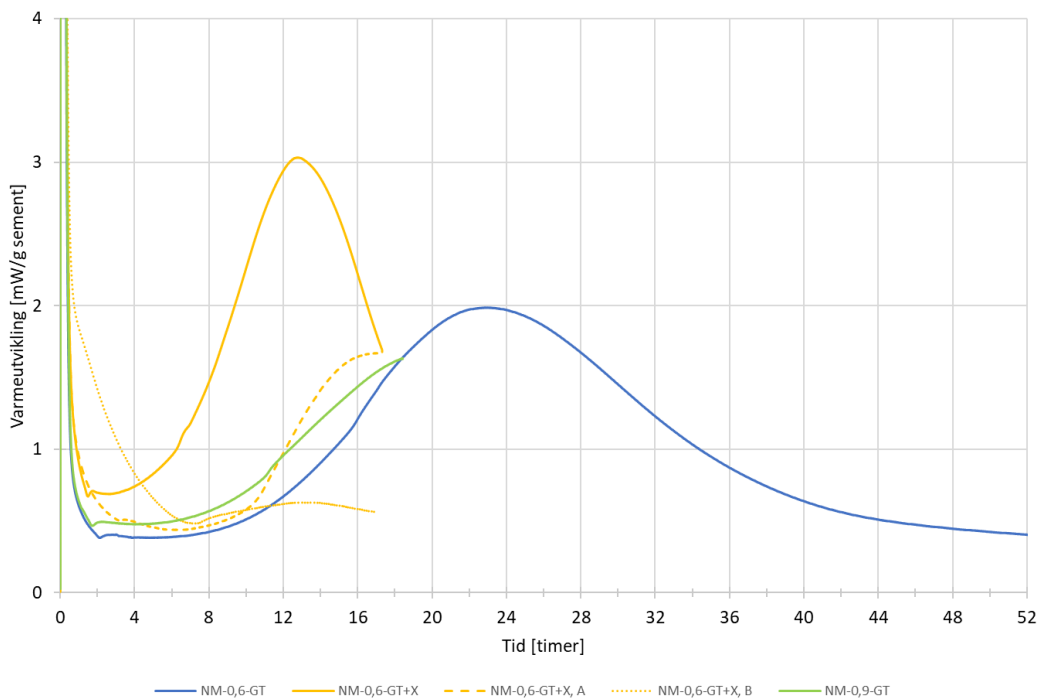
Figur 4.5: Varmeutvikling for sementblanding 1-2. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

Figur 4.6 viser varmeutvikling for blandingene 3-5, med og uten størkningsakseleratorene.



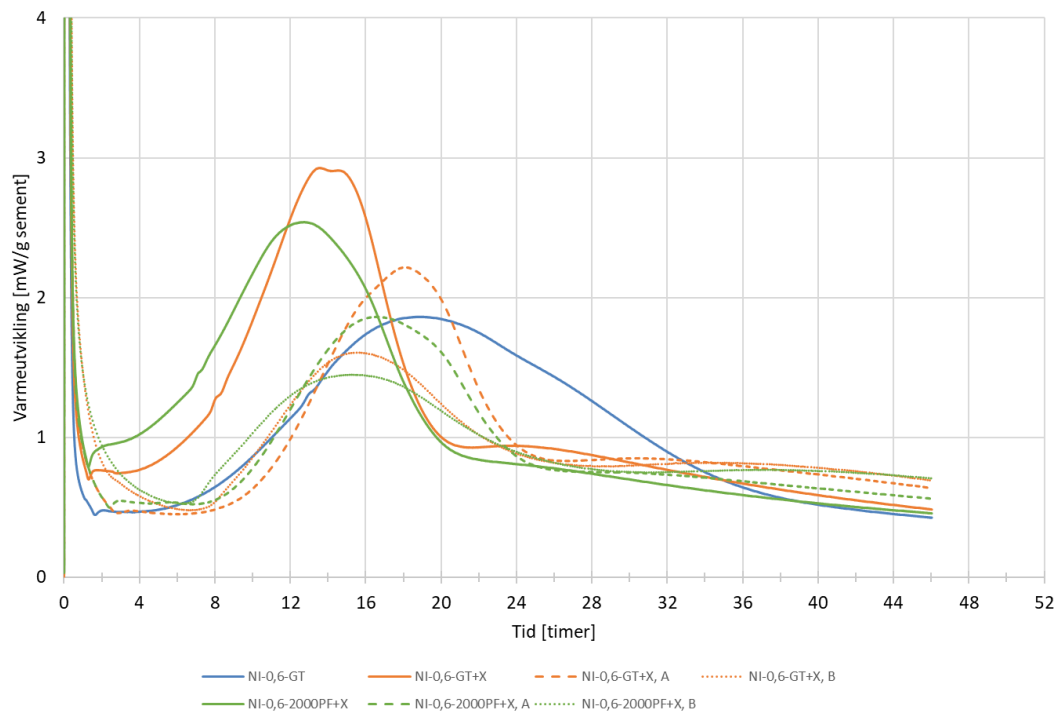
Figur 4.6: Varmeutvikling for sementblanding 3-5. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

Figur 4.7 viser varmeutvikling for sementblandningene 6-7 + 3. Kalorimeteret ble stoppet før varmeutviklingen var ferdig og grafen er derfor ufullstendig.



Figur 4.7: Varmeutvikling for sementblanding 3, 6 og 7. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

Figur 4.8 viser varmeutvikling for sementblandingene 8-10.



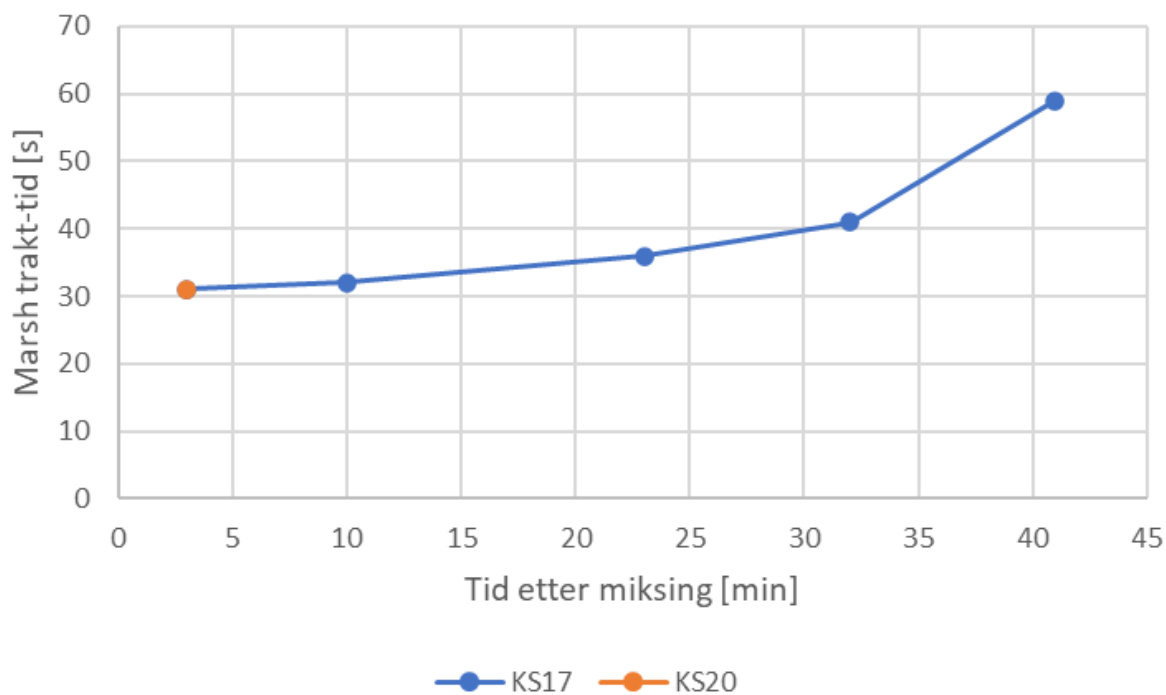
Figur 4.8: Varmeutvikling for sementblanding 8-10. Akselerator A: MasterRoc SA 166. Akselerator B: MapeiQuick AF2000.

4.1.2 Flyteegenskaper

Resultatene fra Marsh trekten, utbredelsestesten og rheometeret er presentert i de neste delkapitlene.

4.1.2.1 Marsh trakt

Figur 4.9 viser registrert Marsh trakt-tid for blandingene med kolloidal silika. Gjentatte forsøk gjennomført på blandingen med 17% akselerator viser at blandingen først fikk en langsom økning i viskositet i løpet av de første 20 minuttene, før det oppstod en raskere økning i viskositeten. Etter 55 minutter var blandingen gelet og materialet kunne ikke renne gjennom Marsh trekten. De to blandingene benyttet like lang tid gjennom trekten like etter miksing.



Figur 4.9: Registrert Marsh trakt-tid for kolloidal silika, med 17 og 20% katalysator.

Tabell 4.5 og Tabell 4.6 viser resultatene fra Marsh trakt-testene for de ti sementblandingene. «Ingen resultat» skyldes at materialet er blitt for tyktflytende til å renne gjennom trakten.

Tabell 4.5: Registrert Marsh trakt-tid for sementblanding 1-5.

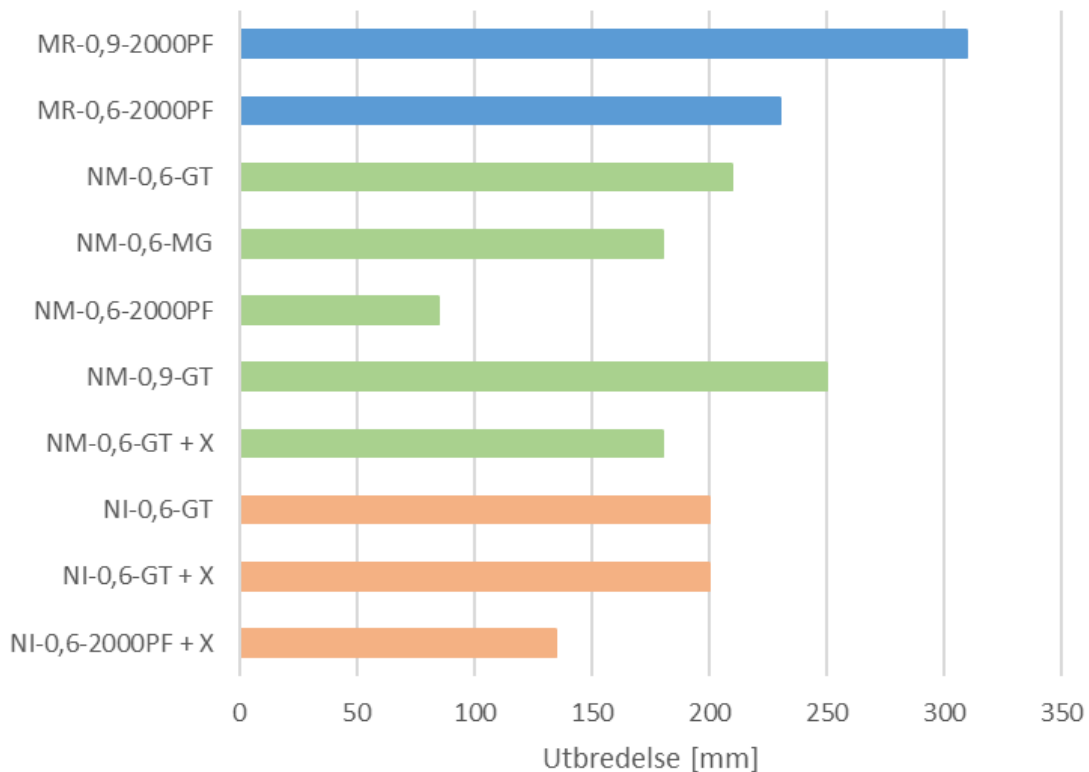
Tid etter blanding	MR-0,9-2000PF	MP-0,6-2000PF	NM-0,6-GT	NM-0,6-MG	NM-0,6-2000PF
0 min [sek]	32 s	40 s	49 s	55 s	Ingen resultat
30 min [sek]	33 s	55 s	62 s	Ikke gjennomført	Ingen resultat

Tabell 4.6: Registrert Marsh trakt-tid for sementblanding 6-10.

Tid etter blanding	NM-0,9-GT	NM-0,6-GT+X	NI-0,6-GT	NI-0,6-GT+X	NI-0,6-2000PF+X
0 min [sek]	37 s	58 s	48 s	46 s	51 s
30 min [sek]	36 s	77 s	46 s	48 s	Ingen resultat

4.1.2.2 Utbredelsestest

Figur 4.10 viser resultater fra utbredelsestestene. Sementblanding 1 (MR-0,9-2000PF) har størst utbredelse. Basert på blandningene med Norcem micro og v/c-tall 0,6 er det det superplastiserende stoffet Grout Tech System W som tilsynelatende gir størst utbredelse, mens MasterRheobuild 2000PF gir minst. Tilsetning av Master X-Seed gir mindre utflytelse for blanding med Norcem micro, v/c-tall 0,6 og superplastiserende stoff Grout Tech System W, mens tilsetningen ikke gir effekt for blanding med Norcem Industri, v/c-tall 0,6 og superplastiserende stoff Grout Tech System W.

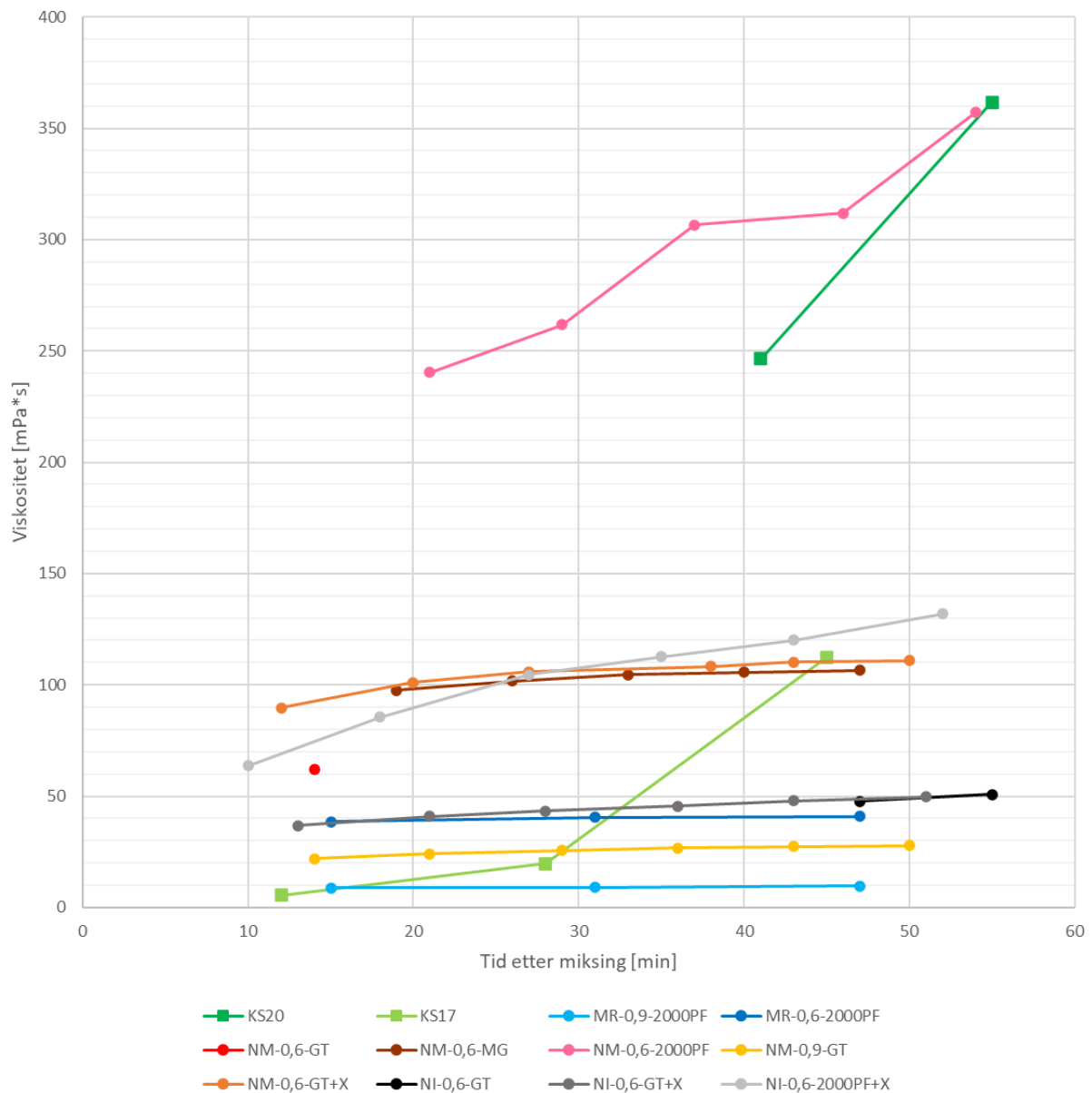


Figur 4.10: Målt utbredelse for sementblandningene.

4.1.2.3 Rheometerundersøkelser

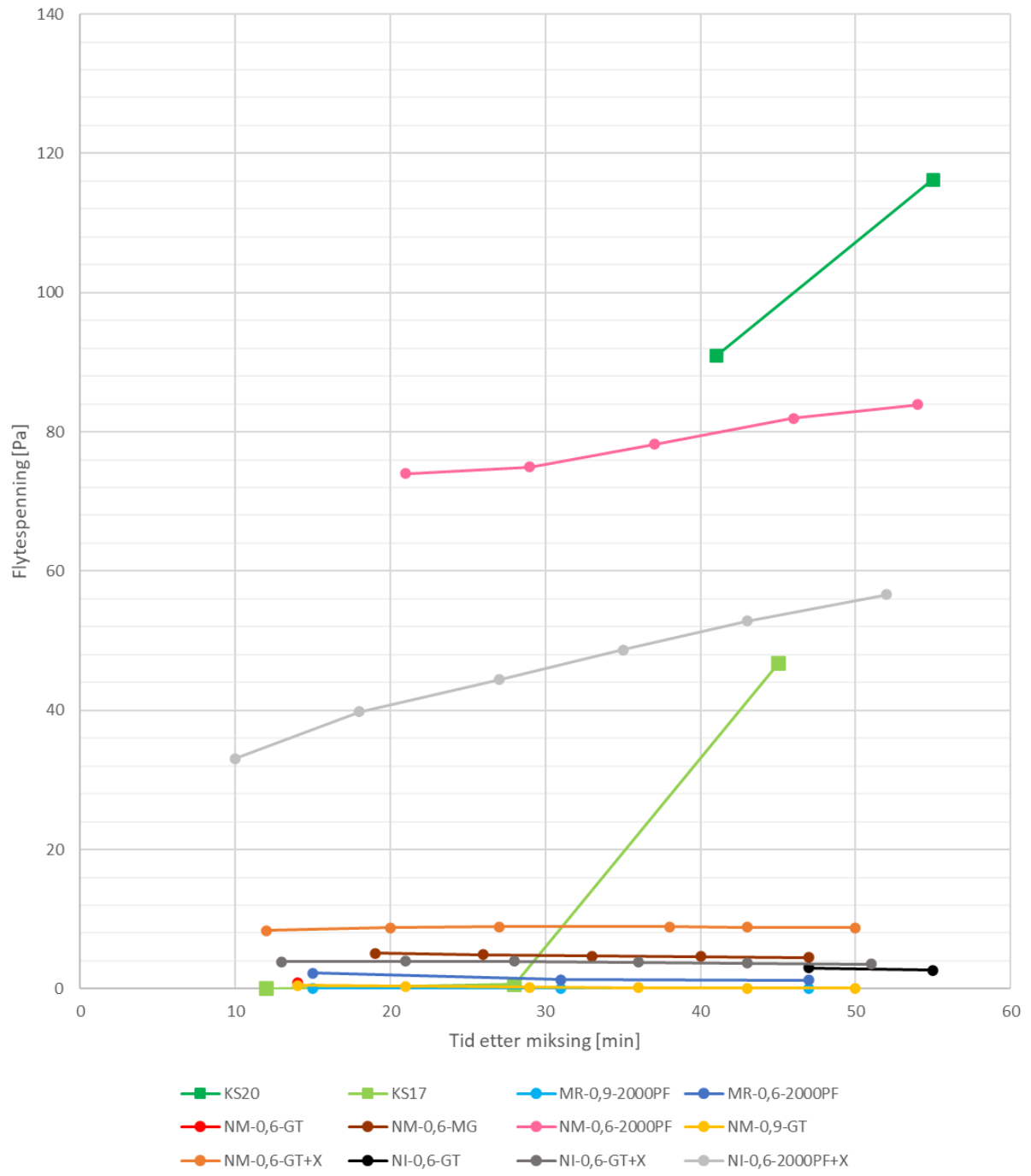
Figur 4.11 viser bingham-viskositeten til alle blandningene, målt i rheometeret. Tabeller med alle målingene er lagt ved i Vedlegg A.2. Blandingen med kolloidal silika med 20% akselerator fikk ugyldige målinger etter 20 min og den første gyldige registreringen er derfor etter 41 min. Den ugyldige målingen skyldes trolig geling og det er dermed oppnådd en svært høy viskositet ved 41 min. For den andre blandingen med kolloidal silika og 17% akselerator kan man se en svært lav viskositet til å begynne med, før viskositeten øker betraktelig.

Sementblandingene har generelt lite utvikling i viskositet i løpet av den første timen. Unntaket er sementblanding 5 (NM-0,6-2000PF) og sementblanding 10 (NI-0,6-2000PF+X). Sementblanding 10 har en svært høy viskositet og den kom ikke gjennom Marsh trakten like etter blanding på grunn av for tyktflytende oppførsel. Sementblanding 1 (MR-0,9-2000PF) er blandingen med lavest viskositet.



Figur 4.11: Utvikling av viskositet målt i rheometeret. Punkter viser målingene som er registrert.

Figur 4.12 viser flytespenningen for blandingene målt i rheometeret. Målte verdier etter første syklus er vist i Tabell 4.7. Målingene viser de samme trendene som utvikling av viskositeten. Blandingene med kolloidal silika og 20% akselerator (KS20) har en stabil flytespenning før det oppstår en betydelig økning i tidsrommet mellom 28 og 45 minutter etter miksing. I likhet med viskositeten har sementblandingen en nokså stabil flytespenning den første timen etter miksing, med unntak av sementblandingen 5 og 10 (NM-0,6-2000PF og NI-0,6-2000PF+X).



Figur 4.12: Utvikling av flytespenning målt i rheometeret. Punkter viser målingene som er registrert.

Tabell 4.7: Målte flytespenninger etter første syklus.

Blanding	Tid etter miksing [min]	Målt flytespenning [Pa]
KS20	-	Ugyldig måling
KS17	12	0,03
MR-0,9-2000PF	15	0,08
MR-0,6-2000PF	15	2,23
NM-0,6-GT	14	0,86
NM-0,6-MG	19	5,11
NM-0,6-2000PF	21	74,02
NM-0,9-GT	14	0,48
NM-0,6-GT+X	12	8,35
NI-0,6-GT	47	3,02
NI-0,6-GT+X	13	3,86
NI-0,6-2000PF+X	10	33,1

4.2 Fullskala forsøk med forinjeksjon

Tabell 4.8 viser en oversikt over undersøkte skjermene og mengden som er benyttet ved injisering. Alle de undersøkte skjermene er injisert med dobbel skjerm: først en skjerm med mikrosegment, før en skjerm med kolloidal silika.

Tabell 4.8: Oversikt over undersøkte skjermene og medgått mengde injeksjonsmateriale.

Skjerm	Sement	Kolloidal silika
Hovedløpet, pel. 9600	23 880 kg	3913 kg
Hovedløpet, pel. 9568	7285 kg	4365 kg
Hovedløpet, pel. 9523		

4.2.1 Hovedløpet, pel. 9600

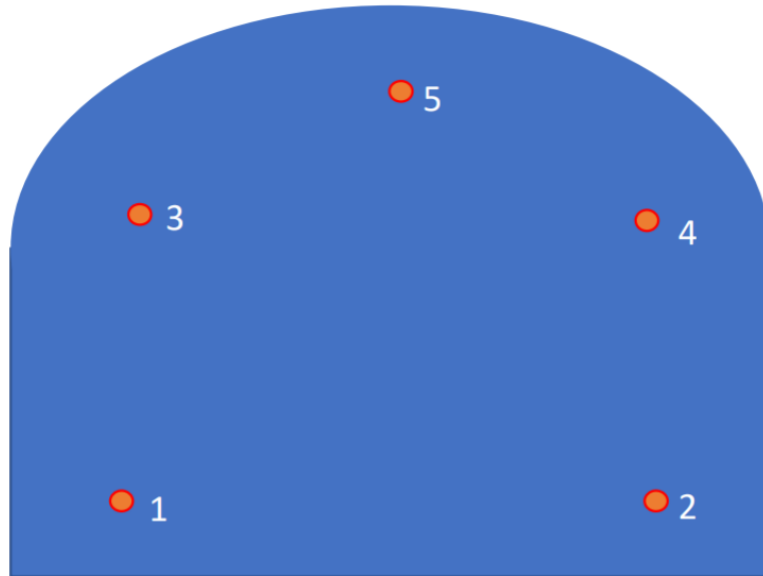
I første skjerm ble det injisert med 23,9 tonn mikrosegment. I andre skjerm ble det injisert med 3913 kg kolloidal silika. Det ble benyttet 18% akselerator. Injiseringen av kolloidal silika tok 5,5 time. Et av hullene ble injisert til maksimal mengde på 500 L. Dette hullet befant seg i henget. Flere hull har kun oppnådd hullfyll.

4.2.1.1 Vanntapsmålinger

Resultater fra vanntapsmålingene ved pel. 9600 er vist i Tabell 4.9. Figur 4.13 viser plasseringen til hullene hvor vanntapsmålingene ble utført. Tabell 4.10 viser gjennomsnittlige verdier, samt en beregnet hydraulisk konduktivitet.

Tabell 4.9: Vanntapsmålinger, hovedløpet pel. 9600

	Hull 1		Hull 2		Hull 3		Hull 4		Hull 5	
	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon
Før MS	0	0	1,3	0,07	3,3	0,18	0	0	4,3	0,24
Før KS	0	0	2,4	0,13	0	0	0	0	3,1	0,17
Etter KS	0	0	0	0	0	0	0,4	0,03	0	0



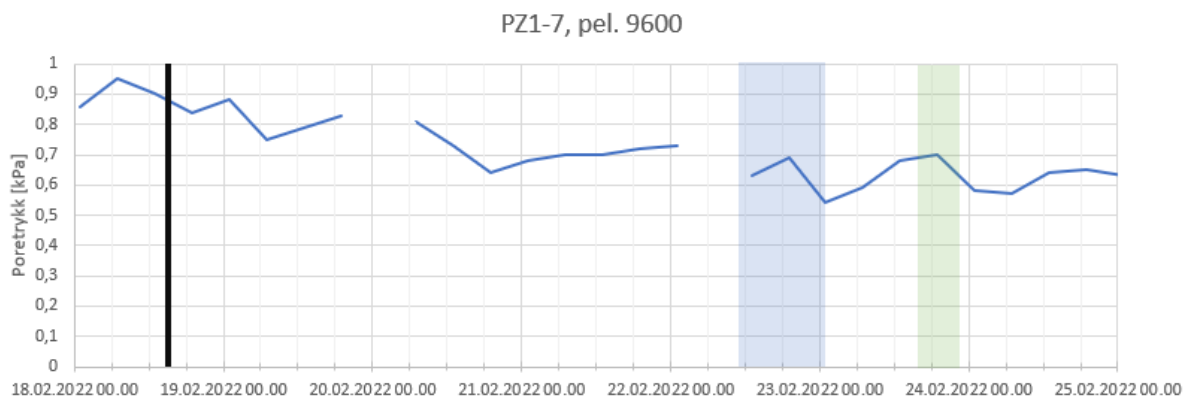
Figur 4.13: Oversikt over plassering på vanntapsmålinger, pel. 9600.

Tabell 4.10: Hydraulisk konduktivitet, pel. 9600.

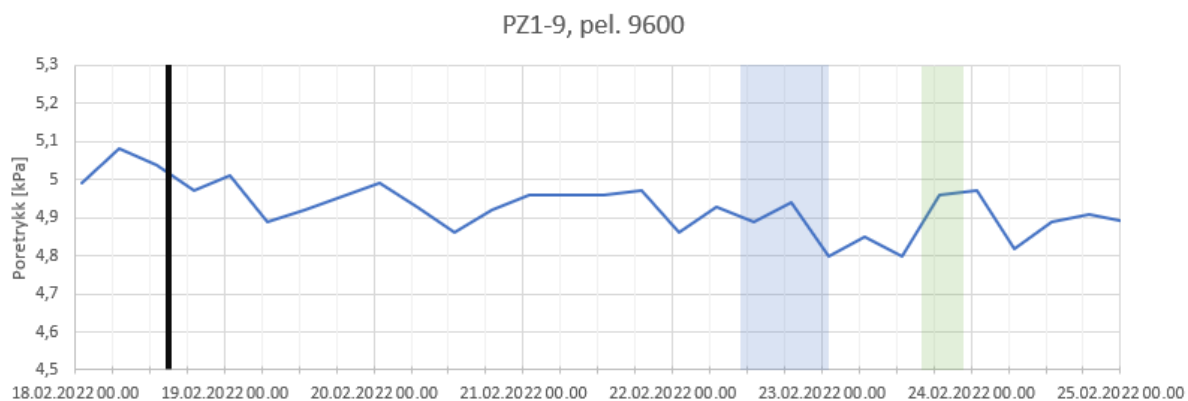
	Gjennomsnitt vanntap	Lugeon	Hydraulisk konduktivitet, k
Før MS	1,78 l/min	0,10	$1,29 \cdot 10^{-8}$ m/s
Før KS	1,1 l/min	0,06	$7,94 \cdot 10^{-9}$ m/s
Etter KS	0,08 l/min	0,01	$6,93 \cdot 10^{-10}$ m/s

4.2.1.2 Poretrykksmålinger

Figur 4.14 og Figur 4.15 viser registrert poretrykk i målerne PZ1-7 og PZ1-9 i injeksjonsperioden. Den svarte streken markerer når salven før injiseringen ble skutt. Blått felt markerer når det ble injisert med mikrosegment, mens grønt felt markerer når det ble injisert med kolloidal silika. Grafene viser til små endringer i poretrykket.



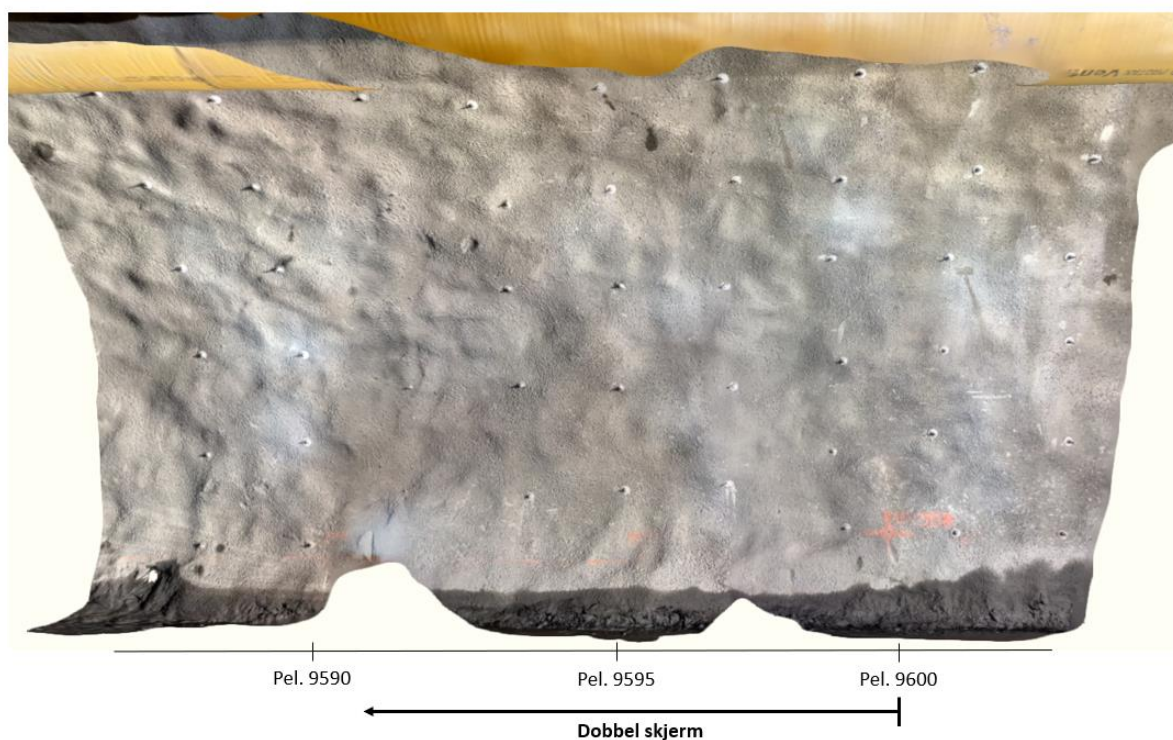
Figur 4.14: Poretrykksmålinger, PZ1-7, pel. 9600.



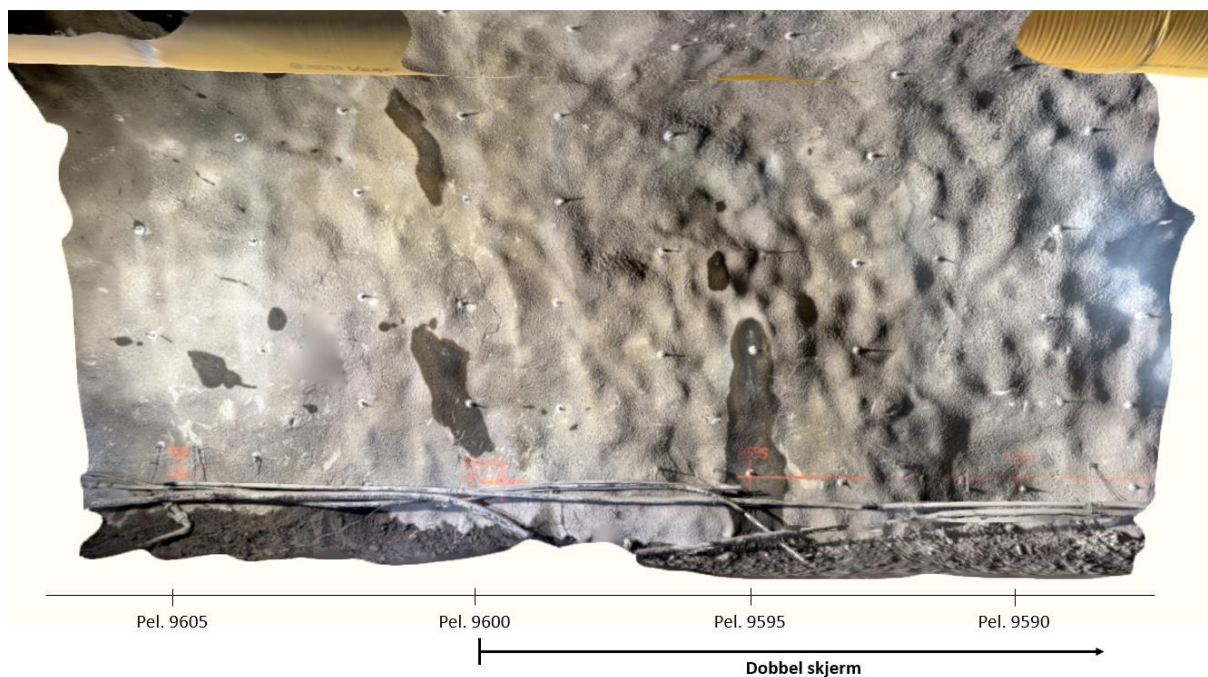
Figur 4.15: Poretrykksmålinger, PZ1-9, pel. 9600.

4.2.1.3 Observert lekkasje

Figur 4.16 og Figur 4.17 viser scannet overflate av området injisert med dobbel skjerm. Den ene siden av tunnelen er tilsynelatende helt tørr, mens den andre siden har noe fukt. Fukten som har oppstått under den doble skjermen, hvor det er injisert med kolloidal silika, ser ut til å komme fra et bolthull.



Figur 4.16: Observert lekkasje, pel. 9600, høyre side.



Figur 4.17: Observert lekkasje, pel. 9600, venstre side.

4.2.2 Hovedløpet, pel. 9568

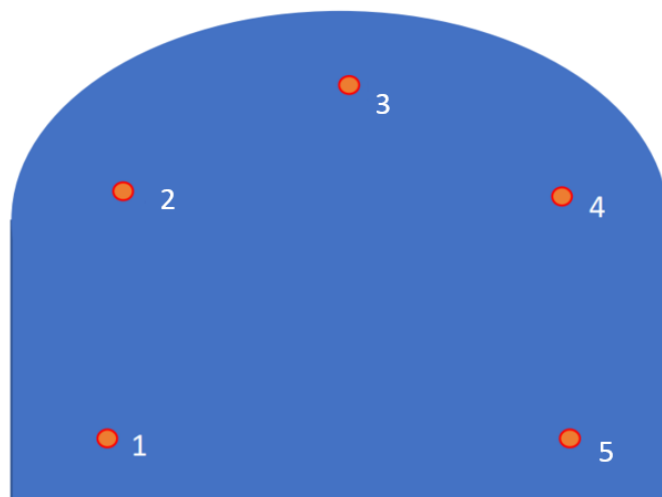
I første skjerm ble det injisert med 7 tonn mikrosement. I andre skjerm ble det injisert med 4365 kg kolloidal silika. Det ble benyttet 18% akselerator. Injiseringen av kolloidal silika tok i underkant av 4 timer.

4.2.2.1 Vanntapsmålinger

Resultater fra vanntapsmålingene ved pel. 9568 er vist i Tabell 4.11. Figur 4.18 viser plasseringen til hullene hvor vanntapsmålingene ble utført. Tabell 4.12 viser gjennomsnittlige verdier, samt en beregnet hydraulisk konduktivitet.

Tabell 4.11: Vanntapsmålinger, pel. 9568.

	Hull 1		Hull 2		Hull 3		Hull 4		Hull 5	
	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon	l/min	Lugeon
Før MS	0	0	0	0	0	0	10,2	0,57	2,2	0,12
Før KS	0	0	0	0	-	-	7,2	0,40	2,8	0,16
Etter KS	0	0	-	-	0	0	0	0	0,42	0,02



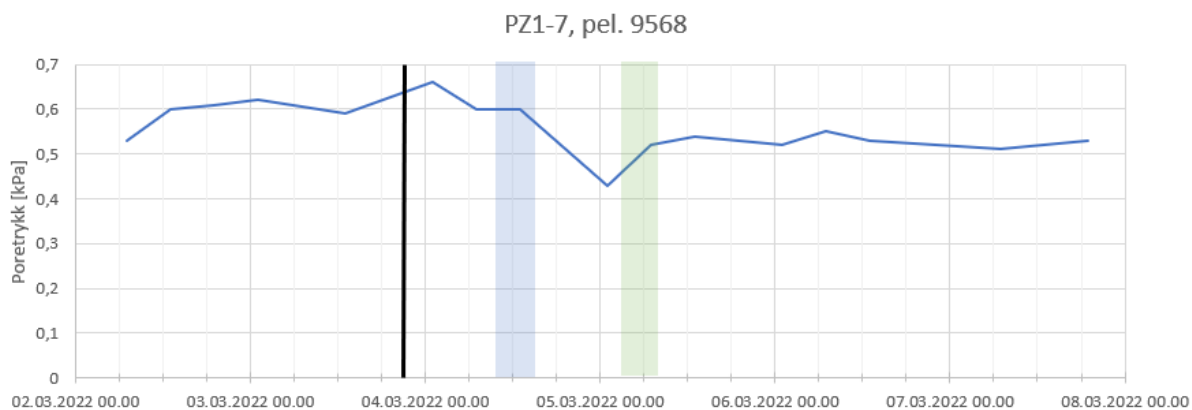
Figur 4.18: Oversikt over plassering på vanntapsmålinger, pel. 9568.

Tabell 4.12: Hydraulisk konduktivitet, pel. 9568.

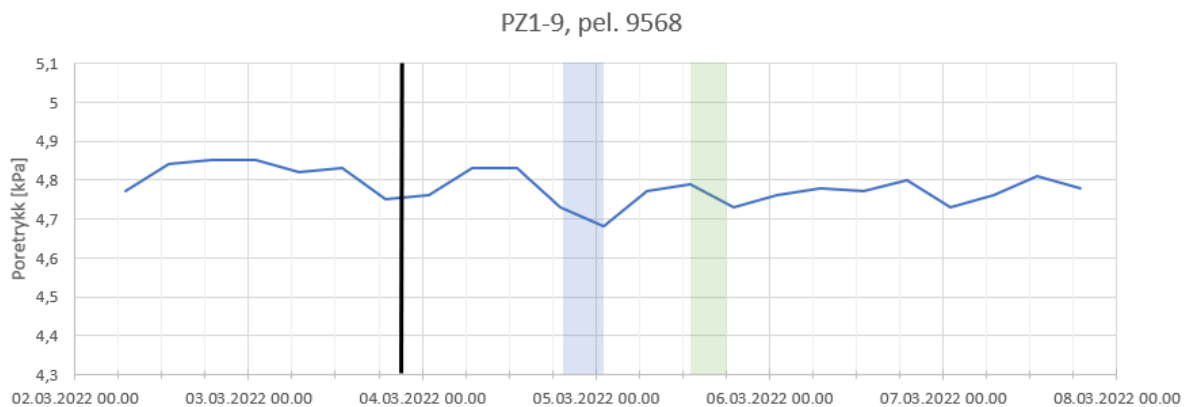
	Gjennomsnitt vanntap	Lugeon	Hydraulisk konduktivitet, k
Før MS	2,48 l/min	0,14	$1,79 \cdot 10^{-8}$ m/s
Før KS	2,00 l/min	0,11	$1,44 \cdot 10^{-8}$ m/s
Etter KS	0,08 l/min	0,01	$7,28 \cdot 10^{-10}$ m/s

4.2.2.2 Poretrykksmålinger

Figur 4.19 og Figur 4.20 viser registrert poretrykk i målerne PZ1-7 og PZ1-9 i injeksjonsperioden. Den svarte streken markerer når salven før injiseringen ble skutt. Blått felt markerer når det ble injisert med mikrosegment, mens grønt felt markerer når det ble injisert med kolloidal silika. Grafene viser til små endringer i poretrykket. Like variasjoner blant målingene tyder på at det er hydraulisk kontakt mellom målerne.



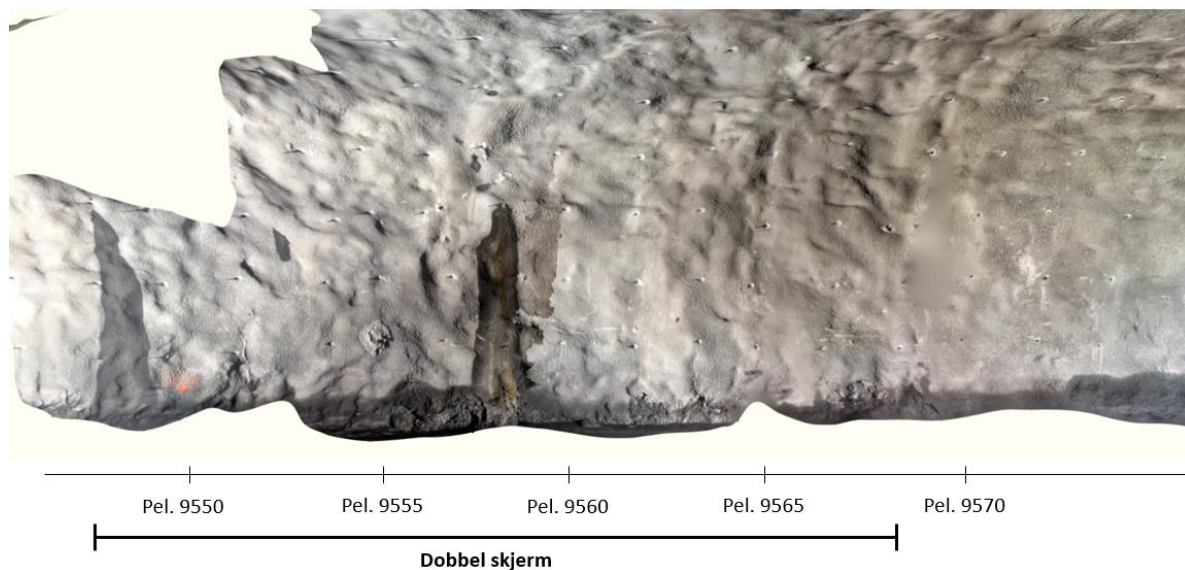
Figur 4.19: Poretrykksmålinger, PZ1-7, pel. 9568.



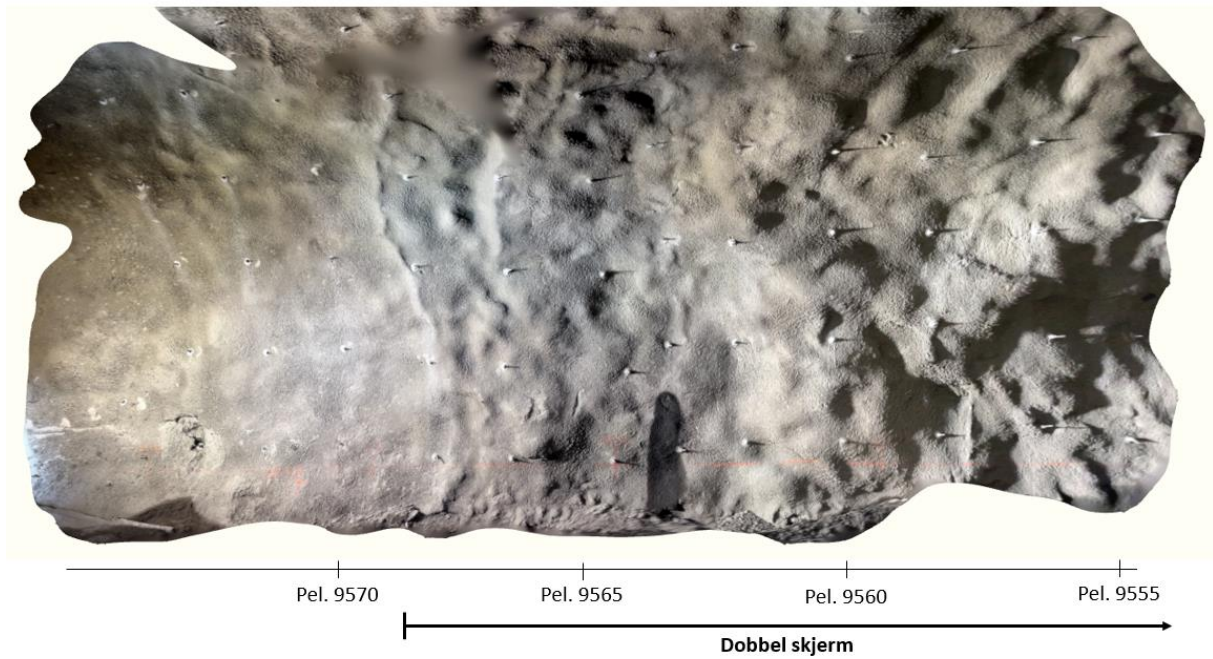
Figur 4.20: Poretrykksmålinger, PZ1-9, pel. 9568.

4.2.2.3 Observert lekkasje

Figur 4.21 og Figur 4.22 viser scannet overflate av området injisert med dobbel skjerm, på henholdsvis høyre og venstre side. På høyre side oppstod det en lekkasje med drypp fra et bolthull ved pel 9558. Etterinjeksjon ble tatt i bruk for å stoppe innlekkasjen.



Figur 4.21: Observert lekkasje, pel. 9568, høyre side.

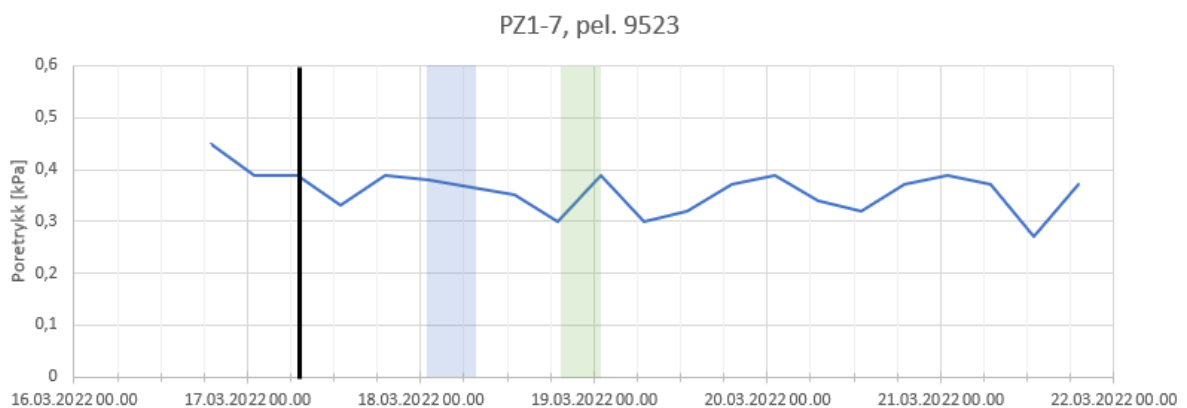


Figur 4.22: Observert lekkasje, pel. 9568, venstre side.

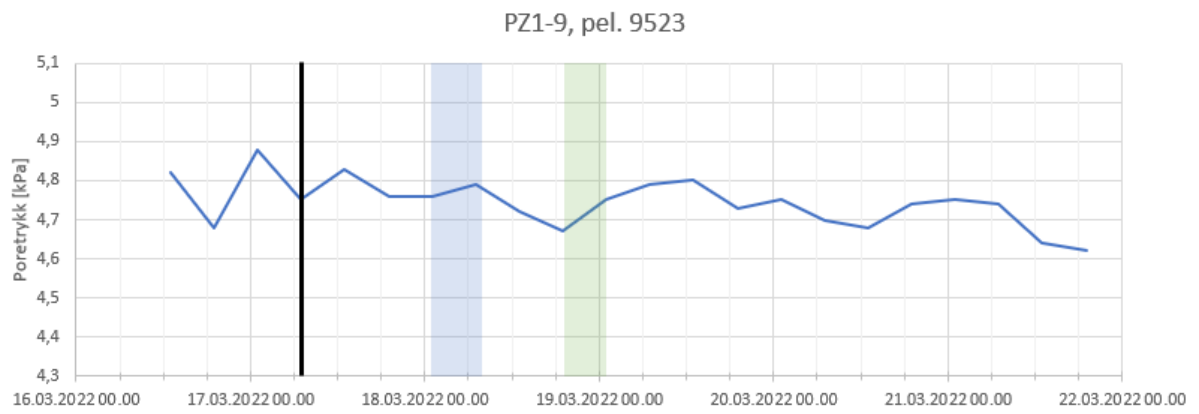
4.2.3 Hovedløpet, pel. 9523

4.2.3.1 Poretrykksmålinger

Figur 4.23 og Figur 4.24 viser registrert poretrykk i målerne PZ1-7 og PZ1-9 i injeksjonsperioden. Den svarte streken markerer når salven før injiseringen ble skutt. Blått felt markerer når det ble injisert med mikrosegment, mens grønt felt markerer når det ble injisert med kolloidal silika. Grafene viser til små endringer i poretrykket. Like variasjoner blant målingene tyder på at det er hydraulisk kontakt mellom målerne.



Figur 4.23: Poretrykksmålinger, PZ1-7, pel. 9523.



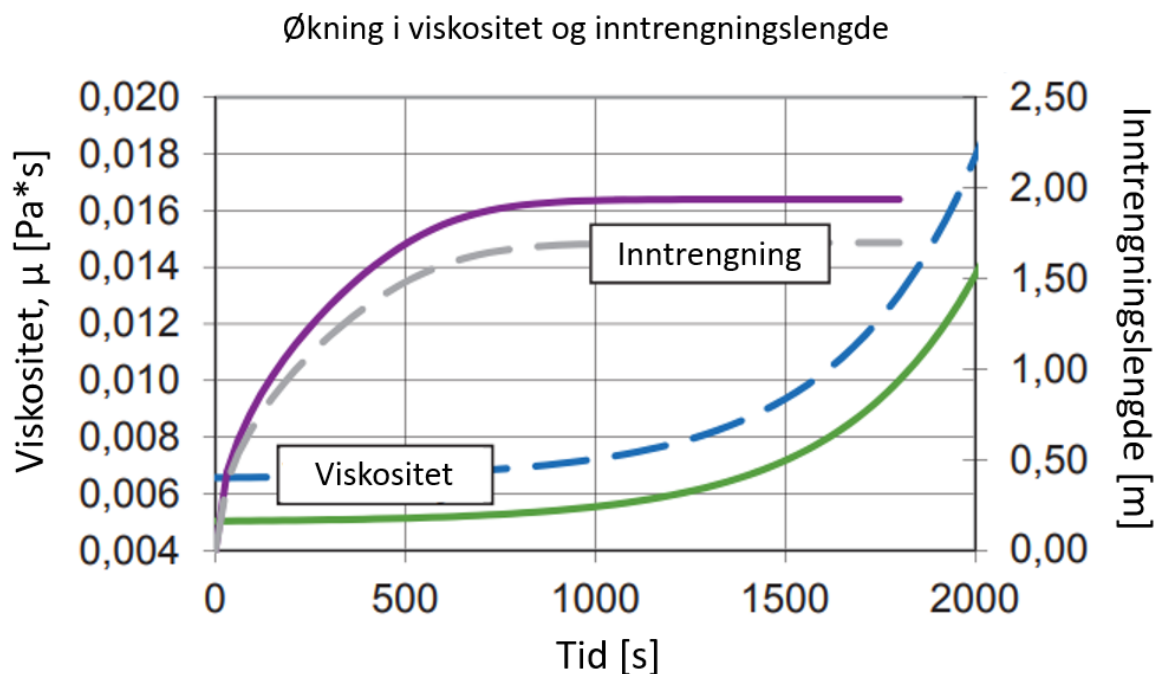
Figur 4.24: Poretrykksmålinger, PZ1-9, pel. 9523.

5. Diskusjon

5.1 Materialelegenskaper

Målt geltid fra kopptestene viser til kort geltid for kolloidal silika. Den korte geltiden reduserer faren for nedetid på tunnelprosjekter og er dermed gunstig. Resultatene viser i tillegg at en liten endring i dosering har stor effekt på geltiden. En endring av akseleratorandel fra 17 til 20 prosent ga en halvering i geltid. Nøyaktig dosering er dermed viktig for å oppnå ønsket geltid. Materialet har fordelen at man lett kan kontrollere og justere geltiden etter behov.

Figur 5.1 viser hvordan geling påvirker inntrengningsevnen og flyteeegenskapene til kolloidal silika (Funehag, 2012). I henhold til grafen stopper inntrengningen opp før gelingen har startet og før halve geltiden er nådd. Kolloidal silika med 17% akselerator fikk i kopptesten en registrert geltid på 55 minutter. Basert på grafen tilsvarer en geltid på 55 minutter at inntrengningen har stoppet opp etter omtrent 20 minutter. Den samme blandingen fikk i henhold til rheometer-målingene en plutselig økning i viskositet og flytespenning i perioden mellom 29 og 45 minutter etter miksing. I dette tidsrommet har gelingen startet. Siden modellen antyder at inntrengningen stopper opp før gelingen starter bør geltiden være tilstrekkelig lang. Akseleratormengden bør ut ifra resultatene ikke overstige 17%.



Figur 5.1: Økning i viskositet og inntrengningslengde for kolloidal silika etter miksing. Hentet fra Funehag (2012).

Målte herdetider fra kopptestene på sementblandingene uten tilsetning av størkningsakselerator varierer mellom 1 time og 9 timer. Et optimalt injeksjonsmateriale har kort nok herdetid slik at forsinkelser på prosjektet unngås. Forsinkelser vil oppstå om det blir nødvendig å vente med å bore ny salve etter injiseringen er ferdig. Sementblandinger med herdetid på 9 timer er dermed uønsket. Et optimalt sementbasert injeksjonsmateriale bør i tillegg kunne styres av en størkningsakselerator ved behov. Behovet kan oppstå hvis ikke ønsket mottrykk oppnås etter injisering av store mengder materiale. Tilsetning av en akselerator vil sette i gang herdeprosessen til materialet og danne en propp, slik at trykket bygger seg opp. Blandingene som tilfredsstiller behovene, er blandingene som er tilsatt herdeakseleratoren Master X-Seed, og blandingene basert på sementen MasterRoc MP 650. Blandingene hadde en herdetid på 2-5 timer uten størkningsakselerator og ned mot 5 minutter for blandingene med tilsatt størkningsakselerator.

Blant blandingene med Norcem Micro er det kun blandingen NM-0,6-2000PF som tilsynelatende fikk en effekt av størkningsakseleratorene, uten tilsetning av herdeakseleratoren Master X-Seed. Denne blandingen var veldig viskøs, og de viskøse egenskapene kan være årsaken til at blandingen etter kort tid kunne snus på hodet uten at materialet rant ut i kopptesten. Resultatet av størkningsakseleratorene var uforventet, og årsaken er uvisst. En mulig årsak er at sementen Norcem Micro ikke inneholder nødvendige mineraler som trengs for at størkningsakseleratorene aktiveres. Dette må undersøkes videre for å finne nødvendige svar og mulig optimalisering.

For sementblandingene som får effekt av størkningsakseleratorene er det akseleratoren MapeiQuick AF2000 (B) som gir størst effekt. Det er likevel små forskjeller mellom akseleratorene MasterRoc SA 166 (A) og Mapeiquick AF2000 (B) og justering av dosering vil trolig kunne jevne ut forskjellen.

I kombinasjon med sementen Norcem Micro er det det superplastiserende middelet MasterRheobuild 2000 PF som gir tidligst temperaturutvikling. Dette stemmer godt overens med herdetidene registrert i kopptestene. I motsetning til blandingene med de andre superplastiserende stoffene får blandingen med MasterRheobuild 2000PF likevel temperaturutvikling senere enn kopptesten tilsier. Dette skyldes trolig at de viskøse egenskapene til blandingen bidro til en kortere registrert herdetid i kopptesten.

I likhet med kopptestene viser temperaturutviklingen lovende resultater for herdeakseleratoren Master X-Seed. For blandingen med sementen Norcem Micro, v/c-tall 0,6 og det superplastiserende middelet Grout Tech System W blir tidspunktet for start av temperaturutvikling redusert fra ca. 9 timer til ca. 2 timer. En slik reduksjon i herdetid vil kunne tjene et prosjekt store summer knyttet til ventetid. Tilsetning av herdeakseleratoren bidrar i tillegg til umiddelbar temperaturutvikling ved tilsetning av størkningsakseleratorene.

Blandingene med sementen MasterRoc MP 650 skiller seg ut fra de andre sementblandinger med to markante temperatur-topper. Den første temperaturøkningen samsvarer godt med herdetiden registrert i kopptestene, med en nesten umiddelbar reaksjon for blandingene med tilsatt akselerator. Den andre temperaturutviklingen forekommer først et par dager etter blanding og skyldes videre hydratisering av sementen (Hu et al., 2014). Blandingen med v/c-tall 0,6 utvikler høyere temperaturer enn blandingen med v/c-tall 0,9. Dette skyldes at det er en høyere konsentrasjon av sement i blandingen med v/c-tall 0,6 og at blandingen dermed er mer aktiv. Temperaturnivå har tilsynelatende ingen betydning for herdetiden.

MasterRoc MP 650 hadde betydelige høyere overflateareal per gram sement enn Norcem Micro, på tross av liten differanse i d95-verdi (Tabell 3.5). Større overflateareal gjør sementen mer reaktiv og kan forklare hvorfor denne sementen herder raskere. Hvis det er overflatearealet som er avgjørende for en kortere herdetid bør det stilles krav til leverandør deretter.

På grunn av leveranseproblemer er det vanskelig å få tilgang på sementen MasterRoc MP 650. Norcem Micro benyttes derfor ved Fornebubanen. Sementen hadde i kombinasjon med det superplastiserende middelet Grout Tech System W en herdetid på 9 timer. For å få ned herdetiden til et akseptabelt nivå anbefales det, basert på testene, å tilsette akseleratoren Master X-Seed.

Blandingene med sementene Norcem Micro og Norcem Industri i kombinasjon med det superplastiserende middelet MasterRheobuild 2000PF kom ikke gjennom Marsh trakten etter 30 minutter på grunn av at massen var for tykflytende. Resultatene fra rheometeret viser at disse blandingene, i motsetning til de andre sementblandinger, fikk en betydelig økning av viskositet i løpet av den første timen etter miksing. De to blandingene hadde også flytespenninger i en høyere størrelsesorden enn resten av blandingene. Resultatene tyder på at det er flytespenningen som er avgjørende for at blandingene ikke har kommet gjennom Marsh trakten da viskositeten til blandingen NI-0,6-2000PF+X er tilsvarende flere av de andre sementblandinger. Dette stemmer godt overens med etablert teori om flytespenningens avgjørende rolle for inntrengning. Likning (1) viser et uttrykk for maksimal inntrengning, L , av en sement gjennom et rør (Håkansson et al., 1992). Inntrengningen avhenger av trykkdifferansen mellom de to endene på røret, ΔP , radiusen til røret, r , og flytespenningen, τ_0 . En dobling i flytespenning vil i henhold til formelen gi en halvering i maksimal inntrengning.

$$L = \frac{\Delta P * r}{2 * \tau_0} \quad (1)$$

Tilsetning av herdeakseleratoren Master X-Seed gir en liten økning i flytespenning og viskositet, men ser ikke ut til å påvirke de reologiske egenskapene til blandingene i nevneverdig grad i løpet av den første timen etter blanding. Tilsetning av herdeakseleratoren ser dermed ikke ut til å påvirke inntrengningsevnen til sementene.

Tabell 5.1 viser blandingene med lavest viskositet og flytespenning målt per materiale. Materialet som oppnådde lavest viskositet og flytespenning var kolloidal silika. Viskositeten stemmer godt overens med viskositeten oppgitt i produktdatabladet til materialet. MasterRoc MP 650 oppnådde best resultater av sementene, mens Norcem Micro hadde en større viskositet og flytespenning. De gode flyteegenskapene til MasterRoc MP 650 gir materialet en god forventet inntrengningsevne.

Tabell 5.1: Blandingene med lavest viskositet og flytespenning per materiale.

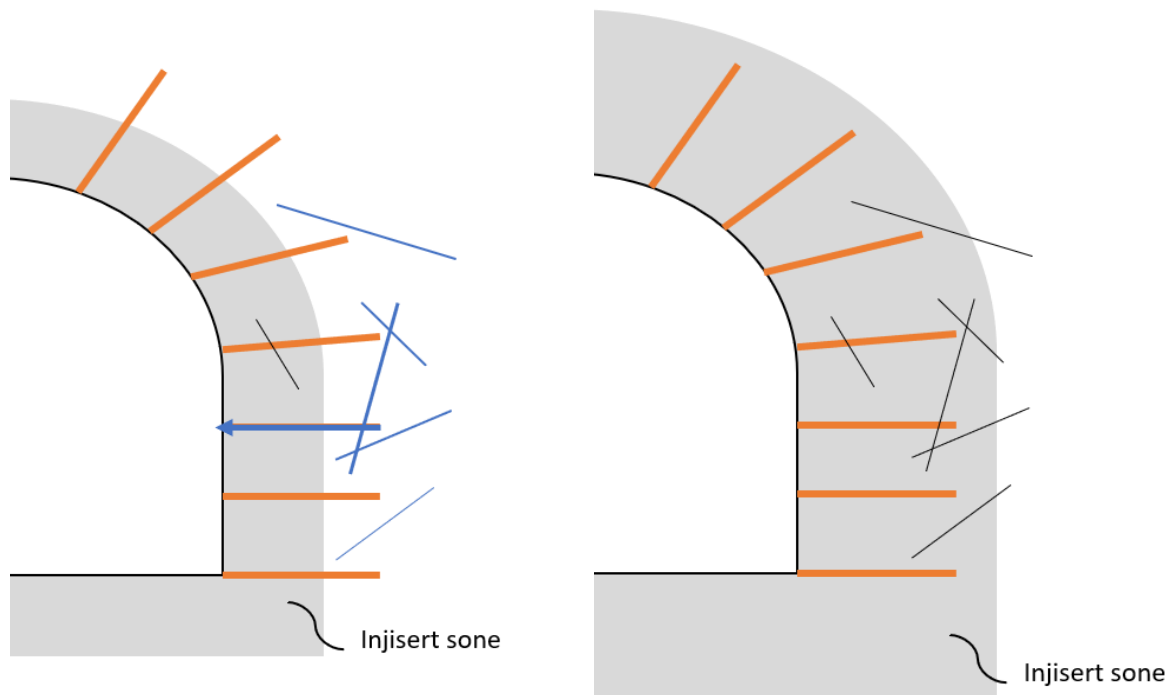
Materiale	Blanding	Viskositet [mPa*s]	Flytespenning [Pa]
Kolloidal silika	KS17	5,4	0,03
MasterRoc MP 650	MR-0,9-2000PF	8,7	0,08
Norcem Micro	NM-0,9-GT	22	0,48

5.2 Fullskala forsøk med forinjeksjon

De gjennomførte vanntapsmålingene viser til svært tette resultater. I henhold til klassifiseringen presentert i kapittel 2.1.3, Tabell 2.1, indikerer selv målingene gjennomført før injisering meget tette sprekker. Målingene som ble gjennomført ved pel. 9600 viser til en redusert hydraulisk konduktivitet på 40% ved injisering av mikrosegment før en ytterligere 90% reduksjon ved injisering av kolloidal silika. Målingen som ble gjennomført ved pel. 9568 viser til en redusert hydraulisk konduktivitet på 20% ved injisering av mikrosegment før en ytterligere 95% reduksjon ved injisering av kolloidal silika. Resultatene tyder på at kolloidal silika har en bedre evne til å trenge inn i de finere sprekkeene enn mikrosegmenten. Kolloidal silika gir en større effekt på den hydrauliske konduktiviteten på tross av at de største sprekkeene allerede er injisert med mikrosegment.

Variasjonene i poretrykkmålerne under injisering er svært små, og det er vanskelig å se en klar effekt. Poretrykkmålerne ved pel. 9600 har en variasjon på 0,3-0,4 kPa. 0,4 kPa tilsvarer en vannsøyle på 0,04m. En slik endring i vannsøyle vil ikke resultere i setningsskader. De små variasjonene kan ha tre betydninger: (1) det er ikke hydraulisk kontakt mellom måler og stoff, (2) registreringsintervallet er for langt og utslag blir ikke fanget opp, eller (3) i utgangspunktet tett berg og/eller omfattende injiseringen sørger for at poretrykket ikke påvirkes. De undersøkte poretrykkmålerne PZ1-7 og PZ1-9 har korresponderende variasjoner. Dette tyder på at det er kontakt mellom målerne. Siden stoffen befinner seg i området mellom målerne er det lite sannsynlig at det ikke er kontakt til stoff. Registreringsintervallet på målerne er 6 timer. Et så langt intervall gjør at dropp i poretrykket potensielt ikke fanges opp. Et grundigere studiet av poretrykket over tid viser derimot at poretrykket ikke endres i nevneverdig grad. Den lille variasjonen i poretrykkmålerne tyder derfor på at berget er tett nok og at drivingen av tunnelen ikke påvirker poretrykket.

I de scannede partiene kan man se lekkasjer fra konturen i området hvor det er injisert med dobbel skjerm. Lekkasjene kan tyde på at injiseringen ikke har lyktes med å tette alle de vannførende sprekkeene. De to største lekkasjene kommer ut fra boltehull med retning normalt på tunnelkonturen. Et boltehull kan fungere som en vannførende kanal fra boltehullets ende og ut til tunnelkonturen. Om den injiserte sonen ikke når forbi boltehullets ende vil vann fra den ikke-injiserte sonen kunne strømme inn i tunnelen via boltehullet. Figur 5.2 viser to forenklete scenarier hvor (1) den injiserte sonen ikke dekker boltehullets lengde og (2) den injiserte sonen går forbi boltehullets lengde. For å lykkes med forinjeksjon er det nødvendig med stor nok stikning på injeksjonshullene og stort nok overlapp mellom injeksjonsskjermene slik at den injiserte sonen går forbi boltehullets lengde.



Figur 5.2: Lekkasje via bolthull kan oppstå om den injiserte sonen ikke er stor nok. For å oppnå en stor nok injisert sone er det nødvendig med stor stikning og godt nok overlapp.

En stor utfordring knyttet til injisering er å avgjøre hva som er tett nok. På grunn av høye kostnader er det nødvendig å unngå overforbruk av materialer og tid. Grøv (2017) mener den største utfordringen innenfor injisering er å få det «tett nok innenfor en fornuftig pris og tidsbruk». Med kolloidal silika ble det oppnådd en hydraulisk konduktivitet i størrelsesorden 10^{-10} m/s basert på vanntapsmålingene. Dette viser til et svært tett resultat. Den hydrauliske konduktiviteten ble redusert med en faktor på 10 mellom injisering av mikrosegment og kolloidal silika, noe som tyder på at mindre sprekker som ikke har blitt tettet av mikrosegment ble tettet av kolloidal silika. Behovet for å tette disse sprekke er uvisst. Poretrykksmålingene viser til ubetydelige variasjoner i poretrykket mellom sprengning og injisering. Man ser dermed ingen effekt av at det injiseres og at trykket bygger seg opp igjen. Behovet for bruk av kolloidal silika kan basert på disse målingene virke unødvendig i området hvor det er utført forsøk.

Et av formålene med de fullskala forsøkene med kolloidal silika har vært å undersøke om kolloidal silika kan benyttes som et tiltak når man møter på større utfordringer relatert til innlekkasje og mindre kompetent berg. De mest sårbare områdene for vanninnlekkasje er i overgangen til svakhetssoner og ved bergartsgrenser (Holmøy & Nilsen, 2014). Bergmassen i de undersøkte områdene har vist seg å være svært kompetent med en lav hydraulisk konduktivitet. Resultatene som er samlet inn er dermed ikke representative for injisering av de mest sårbare områdene, og videre undersøkelser må

gjennomføres for å vurdere om kolloidal silika er egnet til bruk her. Resultatene viser vel og merke lovende resultater for injisering av kolloidal silika i disse områdene. Svakhetssoner kjennetegnes av høyere oppsprekkingsgrad med varierende størrelse på sprekkeåpningene. En runde med sementinjeksjon vil være nødvendig for å tette de mest vannførende sprekke som er til stede rundt svakhetssoner. Om bruk av kolloidal silika i 2. injeksjonsrunde lykkes med å tette de minste sprekke i de sårbare områdene, vil behovet for tetting med fullstøpt betong reduseres betydelig.

På Fornebubanen er det prosjektert for bruk av fullstøpt betong om det ikke oppnås tett nok resultat med forinjeksjon. Som tidligere nevnt er fullstøpt betong svært kostbart. Vellykket resultat med kolloidal silika vil være kostnadseffektivt på tross av høy materialkostnad, og ekstra tid knyttet til injisering av dobbel skjerm, om man på denne måten forhindrer bruk av fullstøpt betong.

For å unngå unødvendige kostnader forbundet med tetting vil det i tillegg lønne seg å benytte en injeksjonsprosedyre som justerer seg etter de stedlige forholdene. Geologien kan endre seg på korte avstander og en prosedyre som virker nødvendig i et område, kan virke svært konservativt i et annet område. På Fornebubanen ble det tatt i bruk innlekkasjekriterier for når det skulle injiseres med kolloidal silika. Tilsvarende kriterier kan og bør benyttes til å justere injeksjonsprosessen under andre forhold.

5.3 Feilkilder ved test av materialeegenskaper

Sementmateriale er ferskvare og ytelsen til sementen vil avgjøres av alderen. Eldre sement får en langsommere herdeprosess og faren for vannutskillelse øker (NFF, 2011). Ved forsøkene utført i lab ble det kontrollert at sementen ikke var for gammel. Sementen MasterRoc MP 650 hadde utløpsdato 01.06.2022, mens sementen Norcem mikro ble hentet direkte fra injeksjonsriggen på Fornebubanen. Fornebubanen benytter store mengder mikrosement og har hyppig leveranse og utbytting.

Blandemetode har betydning for sementens egenskaper. Det ble benyttet en kolloidalmikser tilsvarende mikseren som benyttes på stuff for å eliminere usikkerhetene knyttet til blandeforholdene. Kolloidalmikseren krever om lag 50 liter blanding for at blandingen ikke skal bli forstyrret. For lite materialet vil tillate luft å sirkulere inn i blandingen som igjen vil kunne påvirke blandingens egenskaper. Det oppsto i enkelte omganger noen sirklelyder som kunne indikere for lite materiale i mikseren. Det er likevel ikke antatt at dette fikk betydelig påvirkning på de endelige egenskapene til materialet.

Kolloidalmikseren ble plassert utendørs for nedkjøling før forsøkene ble satt i gang. Utetemperaturen på forsøksdagene var omtrent 10 grader og mikseren ble plassert i skyggen. Etter blandingen var fullført ble materialet tatt med på et kjølerom innstilt på 10 grader. Her ble nødvendige tester utført. Prøvene til kalorimeteret og rheometeret ble plassert i isoporbeholdere og raskt transportert til testrom. Temperaturmålingene gjennomført like etter miksing viste temperaturforskjeller på 7 grader mellom kaldeste og varmeste blanding. Blandingene med temperatur på 17 grader indikerer at kolloidalmikseren ikke var nedkjølt godt nok eller at blandingen ble mikset for lenge og dermed tilført mer energi. Når vann blandes med tørr sement oppstår det en eksoterm reaksjon som produserer varme (Bohloli et al., 2019). En varm blanding består av mer energi enn en kald blanding og kan på denne måten bidra til en tidligere reaksjon. Blandingene med temperatur på 17 grader hadde lang herdetid og temperaturforskjellen har dermed ikke gitt en innvirkning som har fått betydning for oppfattelsen av materialet.

5.3.1 Herdetid

Skjærspenninger påvirker flyteegenskapene til sementmaterialet og gjør materialet mindre viskøst. En kopptest skal under testen stå helt i ro uten påvirkning fra skjærspenninger. Underveis i kopptesten ble det sjekket om materialet hadde herdet ved å forsiktig vende litt på koppen. Ved å vende på koppen ble materialet utsatt for skjærspenninger og bevegelsen kan på denne måten ha påvirket den registrert herdetiden noe.

Temperatur- og varmeutvikling benyttes til å beskrive når sementbasert injeksjon herdner. Testene tar utgangspunkt i at alle sementbaserte injeksjonsmaterialer utvikler varme ved den initiale herdeprosessen. God korrelasjon mellom registrert herdetid i kopptesten og begynnende temperaturøkning ved temperaturmålingene verifiserer dette utgangspunktet. Den gode korrelasjonen indikerer i tillegg at skjærspenningene som kopptestene ble utsatt for ikke har påvirket resultatene i nevneverdig grad.

5.3.2 Flyteegenskaper

Ved injisering på stuff blir injeksjonsmaterialet etter miksing ført inn i en agitator hvor materialet langsomt blir omrørt. Omrøringen benyttes for å unngå at materialet starter herdingen i utstyret. Ved test med Marsh trakt etter 30 min hadde sementblandingen nr. 1-5 stått i ro før testen. Siden testen hadde som hensikt å vurdere flyteegenskapene til materialene ved injisering etter 30 minutter er resultatene ikke fullstendig representative for forholdene på stuff. Før test av sementblandingen 6-10 ble det benyttet en mørtelblander på medium styrke i ett minutt. Hensikten var å utsette materialet for skjærspenninger tilsvarende agitatorens på stuff. Resultatene viser påvirkningen av mørtelblanderens. For blandingene 6-10 er det lite skiller mellom Marsh trakt-tiden registrert like etter miksing og tiden registrert 30 minutter etter miksing, sammenlignet med blandingene 1-5 hvor flere av blandingene har fått en økt Marsh trakt-tid. For å simulere de faktiske forholdene på stuff bør undersøkelser gjennomføres med en agitator tilsvarende den som benyttes i felt.

Under rheometerundersøkelsene oppstod det uregelmessige målinger på to av sementblandingen og på én av kolloidal silika-blandingene. Testen benytter bingham-modellen til å sette verdier for viskositet og flytespenning og krever derfor en oppførsel som tilsvarer modellen for å gi representative verdier. Oppførselen til den ene kolloidal silika-blanding fikk en måling som avvike fra modellen. Årsaken til dette skyldes trolig at gelingen hadde satt i gang. To av sementblandingen fikk målinger med avvikende oppførsel fra bingham-modellen. Det er uvisst hva disse avvikene kan skyldes, men en mulig årsak er at det har oppstått vannutskillelse. Nevnte målinger er definert som ugyldige og utelatt fra resultatene i oppgaven. Alle registrerte målinger er lagt ved i Vedlegg A.2.

6. Konklusjon og videre arbeid

Resultatene fra laboratorieundersøkelsene viser at kolloidal silika har en raskere og mer kontrollert geltid sammenlignet med sementblandingenenes herdetid. Flere av sementblandingenene som ble undersøkt hadde en herdetid som kan forårsake nedetid på tunnelanlegg. Tilsetning av en herdeakselerator kan redusere herdetiden til et akseptabelt nivå. Flyteegenskapene til materialene har betydning for materialets inntrengningsevne. Materialene som ga lavest viskositet og flytespenning var kolloidal silika og mikrosegmenten MasterRoc MP 650.

Tetting med kolloidal silika som et tilleggsmateriale til sementbasertinjeksjon oppnådde en hydraulisk konduktivitet i størrelsesorden 10^{-10} m/s ved Fornebubanen. Poretrykksmålinger og scanning av tunneloverflaten indikerte et tett resultat. Det ble observert lekkasjer i de scannede partiene som er antatt å skyldes for liten stikning på injeksjonshullene. Forsøkene ble gjennomført i bergmasse med lav hydraulisk konduktivitet og flere forsøk må gjennomføres for å undersøke om materialet er egnet til tetting i områder rundt svakhetssoner.

Videre undersøkelser må gjennomføres for å undersøke egnetheten til bruk av kolloidal silika og dobbel skjerm. Injeksjonsresultatet vil alltid være avhengig av den stedlige geologien og en prosedyre som tilsynelatende fungerer ett sted, kan skape problemer et annet sted. Tilpasninger vil derfor kreves og en injeksjonsprosedyre som er åpen for justeringer vil være nødvendig for å optimalisere injeksjonsprosessen med tanke på oppnådd resultat og kostnader.

Referanser

- Beitnes, A. (2001). Lessons to be learned from long railway tunnels. I *Publication No. 12, Water control*. NFF. <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-12.pdf>
- Bohloli, B., Skjølsvold, O., Justnes, H., Olsson, R., Grøv, E. & Aarset, A. (2019). Cements for tunnel grouting - Rheology and flow properties tested at different temperatures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103011>
- Braathen, A. & Gabrielsen, R. H. (2000). *Gråsteinen 7: Bruddsoner i fjell - oppbygging og definisjoner* (A. Birkeland & R. Dahl, Red.). NGU. <https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Grasteinen/graastein7.pdf>
- Butrón, C., Axelsson, M. & Gustafson, G. (2009). Silica sol for rock grouting: Laboratory testing of strength, fracture behaviour and hydraulic conductivity. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24(6), 603-607. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tust.2009.04.003>
- Baardvik, G., Engen, A., Kalsnes, B., Karlsrud, K., Lande, E. J., Langford, J., Simonsen, A., Tvedt, G. & Veslegard, G. (2016). *Begrensning av skader som følge av grunnarbeider - sluttrapport*. BegrensSkade. <https://www.ngi.no/content/download/4424/434516/file/2016-03-14%20Begrensskade%20SLUTTRAPPORT.pdf>
- Davik, K. I. & Andersson, H. (2001). Urban road tunnels - A subsurface solution to a surface problem. I *Publication No. 12, Water control*. NFF. <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-12.pdf>
- Fornebubanen. (u.å.). *Fornebubanen*. Hentet 30.05.22 fra <https://www.oslo.kommune.no/slik-bygger-vi-oslo/fornebubanen/#gref>
- Funehag, J. (2012). *Guide to grouting with silica sol - for sealing in hard rock* (118). BeFo. https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/275/BeFo_Rapport_118_skyddad.PDF
- Garshol, K. F. (2011). *Pre-Excavation Grouting in Tunneling* (4. utg.). BASF. https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Institute/IAG/Files/11_Pre_Exc_Grouting_BASF.pdf
- Grepstad, G. (2001). The water balance - definition and monitoring. I *Publication No. 12, Water control*. NFF. <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-12.pdf>
- Grøv, E. (2001). Introduction to water control in norwegian tunnelling. I *Publication No. 12, Water control*. NFF. <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-12.pdf>
- Grøv, E. (2017). Tett nok. Hentet 01.06.22, fra <https://www.samferdselinfra.no/tett-nok/>
- Grøv, E. (2021). Rock mass grouting. *TGB4190 Ingeniørgeologi - Berg, videregående kurs*. <https://ntnu.blackboard.com>

- Grøv, E., Strømsvik, H. & Haugsand, M. H. (2020). *Sementbasert berginjeksjon, Sluttrapport for prosjektet TIGHT*. Sintef.
https://www.sintefbok.no/book/index/1251/semntbasert_berginjeksjon_sluttrapport_fra_prosjektet_tight
- Grøv, E. & Woldmo, O. (2012). *Modern Pre-Grouting Technology in Norway*. Grouting and Deep Mixing 2012, New Orleans.
- Gustafson, G. (2012). *Hydrogeology for Rock Engineers*. BeFo.
- Hognestad, H. O., Fagermo, J., Kveen, A., Backer, L., Grøv, E., Frogner, E. & Aarset, A. (2010). *Håndbok nr. 6: Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg*. NFF. https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Haandbok_06.pdf
- Holmøy, K. H., Langford, J., Hansen, F. H., Holter, K. G. & Karlsrud, K. (2019). *Utfordringer med vann i undergrunnsprosjekter i urbane områder*. Fjellsprengningsdagen 2019, <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Fjellsprengningsdagen-2019.pdf>
- Holmøy, K. H. & Nilsen, B. (2014). Significance of Geological Parameters for Predicting Water Inflow in Hard Rock Tunnels. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(3), 853-868.
<https://doi.org/10.1007/s00603-013-0384-9>
- Holter, K. G. & Hognestad, H. O. (2012). Modern pre-injection in underground construction with rapid-setting microcements and colloidal silica – applications in conventional and TBM-tunnelling. *Geomechanics and Tunnelling*, 5(1), 49-56.
<https://doi.org/10.1002/geot.201200001>
- Hu, J., Ge, Z. & Wang, K. (2014). Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times. *Construction and Building Materials*, 50, 657-663.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.011>
- Håkansson, U., Hässler, L. & Stille, H. (1992). Rheological properties of microfine cement grouts. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 7(4), 453-458. [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(92\)90076-T](https://doi.org/10.1016/0886-7798(92)90076-T)
- Karlsrud, K. (2001). Water control when tunneling under urban areas in the Oslo region. I *Publication No. 12, Water control*. NFF. <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-12.pdf>
- Kirkeby, T. (2015, 12.05.15). *Mikrosement vs. industrisement på Ringveg Vest Bergen*. Vårslippet NBG 2015, Oslo. <https://bergmekanikk.no/wp-content/uploads/2013/10/T.-Kirkeby-2015.pdf>
- Klüver, B. H. & Kveen, A. (2004). *Berginjeksjon i praksis*. Statens vegvesen.
https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190480/publikasjon_104.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Larsen, B. T., Olaussen, S., Sundvoll, B. & Heeremans, M. (2013). Vulkaner, forkastninger og ørkenklima. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt & K. Rangnes (Red.), *Landet blir til - Norges geologi* (2. utg., s. 288-331). Norsk Geologisk Forening.
- MasterBuilders Solutions. (2020). MasterRoc MP 320. <https://assets.master-builders-solutions.com/nn-no/mbs-masterroc-mp-320-db.pdf>
- MasterBuilders Solutions. (2021). Master X-Seed - Løsninger for akselerert herding av betong. https://assets.master-builders-solutions.com/nn-no/mbs_broschuere_master_x_seed_no.pdf
- Nakrem, H. M. & Worsley, D. (2013). Havet oversvømmer landet. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt & K. Rangnes (Red.), *Landet blir til - Norges geologi* (2. utg., s. 148-179). Norges Geologiske Forening.
- NFF. (2002). *Håndbok nr. 1: Berginjeksjon*. NFF. https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Haandbok_01.pdf
- NFF. (2008). *Håndbok nr. 5: Tung bergsikring i undergrunnsanlegg*. NFF. https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Haandbok_05.pdf
- NFF. (2011). *Publication No. 20, Rock Mass Grouting in Norwegian Tunnelling*. NFF. <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-20.pdf>
- Nilsen, B. (2016). *Ingeniørgeologi-Berg, Grunnkurskompendium*. Akademika.
- Nystuen, J. P. (2013). Jorda skifter ansikt. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt & K. Rangnes (Red.), *Landet blir til - Norges geologi* (2. utg., s. 20-61). Norsk Geologisk Forening.
- PGF. (2019). *Tettestrategi*. Oslo kommune - Fornebubanen.
- PGF. (2020). *Ingeniørgeologi - Konkurransesgrunnlag Lysaker til Fornebu base og stasjon*. Oslo Kommune - Fornebubanen.
- Quinones-Rozo, C. (2010). *Lugeon test interpretation, revisited*. Collaborative Management of Integrated Watersheds.
- Rambæk, I. (2020). - Vi må endre måten vi tetter tunneler på. *Sintef*. Hentet 30.05.22, fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-vi-bor-endre-maten-vi-tetter-tunneler-pa/>
- Standard Norge. (2008). *Injeksjonsmasse til kabelkanaler for spennarmering - Prøvingsmetoder (NS-EN 445:2007)*. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=316961>
- Statens vegvesen. (2012). *Prosesskode 1: Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter*. Vegdirektoratet. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/189849>
- Statens vegvesen. (2014). *Håndbok V220: Geoteknikk i vegbygging*. Vegdirektoratet. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v220-2018.pdf>

Stille, H. (2015). *Rock Grouting - Theories and applications*. BeFo.

Woldmo, O. & Grøν, E. (2013). Planning for Water Inflow Control in Tunnels and Caverns. I *Advances in Underground Space Development*. Research Publishing Services.

Vedlegg

A.1: Kornfordeling

A.2: Rheometerdata

B.1: Tekniske datablad

Vedlegg A.1

Kornfordelingsanalyse

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0009 - Average

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Cement

Measured by:
labuser

Result Source:

Measured:
5. april 2022 12:21:30

Analysed:
5. april 2022 12:21:32

Particle Name:
Cement

Particle RI:
1.680

Accessory Name:
Hydro 2000SM (A)

Absorption:
0.1

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.100 to 1000.000 μm

Weighted Residual:
1.494 %

Sensitivity:
Enhanced

Obscuration:
16.67 %

Result Emulation:
Off

Percentage below 24.00 μm : 89.20%

Percentage below 30.00 μm :

Percentage above 64.00 μm : 0.00%

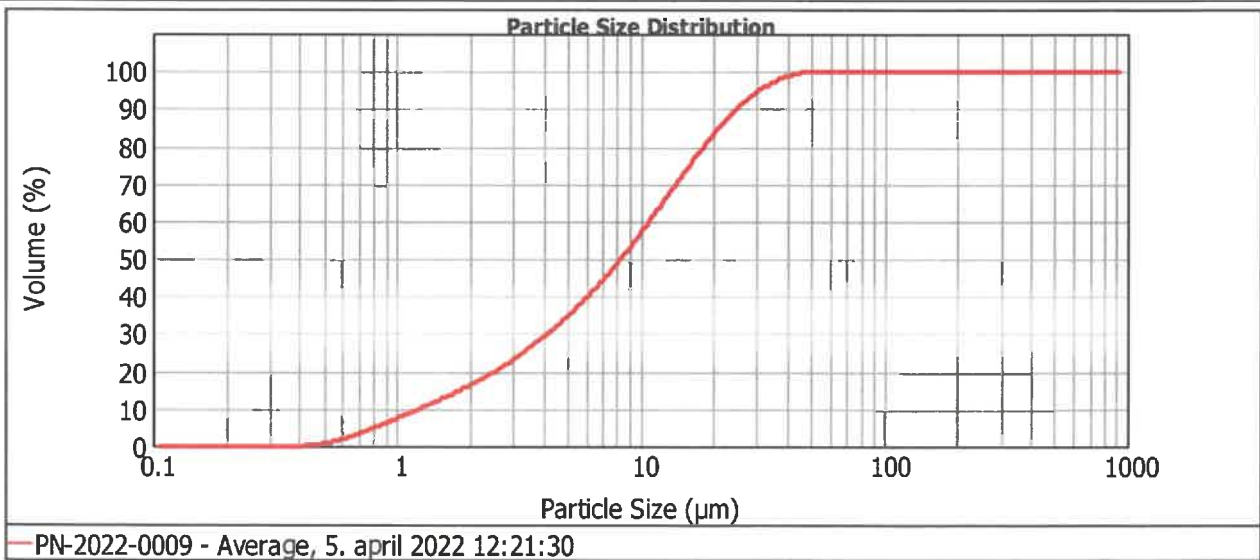
Percentage above 90.00 μm : 0.00%

Specific Surface Area:
1.71 m^2/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:
3.517 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
10.949 μm D(0.95) : 30.60 μm

d(0.1): 1.244 μm **d(0.2):** 2.536 μm **d(0.5):** 8.280 μm **d(0.9):** 24.696 μm



Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	7.37	5.000	34.58	19.000	81.67	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	7.40	5.024	34.71	20.000	83.46	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	8.78	6.000	39.65	22.440	87.21	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	10.17	6.325	41.22	24.000	89.20	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	11.59	7.096	44.81	25.000	90.33	80.000	100.00	355.666	100.00
0.040	0.00	1.500	12.31	7.962	48.64	25.179	90.52	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	14.59	8.000	48.81	26.000	91.36	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	16.22	8.934	52.70	27.000	92.30	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	17.98	10.000	56.87	28.251	93.35	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	19.87	11.247	61.39	30.000	94.61	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	21.92	12.000	63.93	32.000	95.81	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.12	3.000	23.04	12.619	65.92	35.566	97.42	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.61	3.170	24.12	14.159	70.49	39.905	98.68	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.35	3.557	26.49	15.000	72.76	40.000	98.70	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	3.44	3.991	29.04	16.000	75.27	45.000	99.51	158.866	100.00		
0.796	4.70	4.000	29.09	17.825	79.35	48.000	99.80	178.250	100.00		
0.893	6.03	4.477	31.77	18.000	79.71	50.238	99.94	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0010 - Average

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Cement

Measured by:
labuser

Result Source:

Measured:
5. april 2022 12:24:45

Analysed:
5. april 2022 12:24:46

Particle Name:
Cement

Particle Rf:
1.680

Percentage below 24.00 µm : 89.06%

Accessory Name:
Hydro 2000SM (A)

Absorption:
0.1

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.100 to 1000.000 µm

Weighted Residual:
1.132 %

Sensitivity:
Enhanced

Obscuration:
15.18 %

Result Emulation:
Off

Percentage below 30.00 µm : 94.58%

Percentage above 64.00 µm : 0.00%

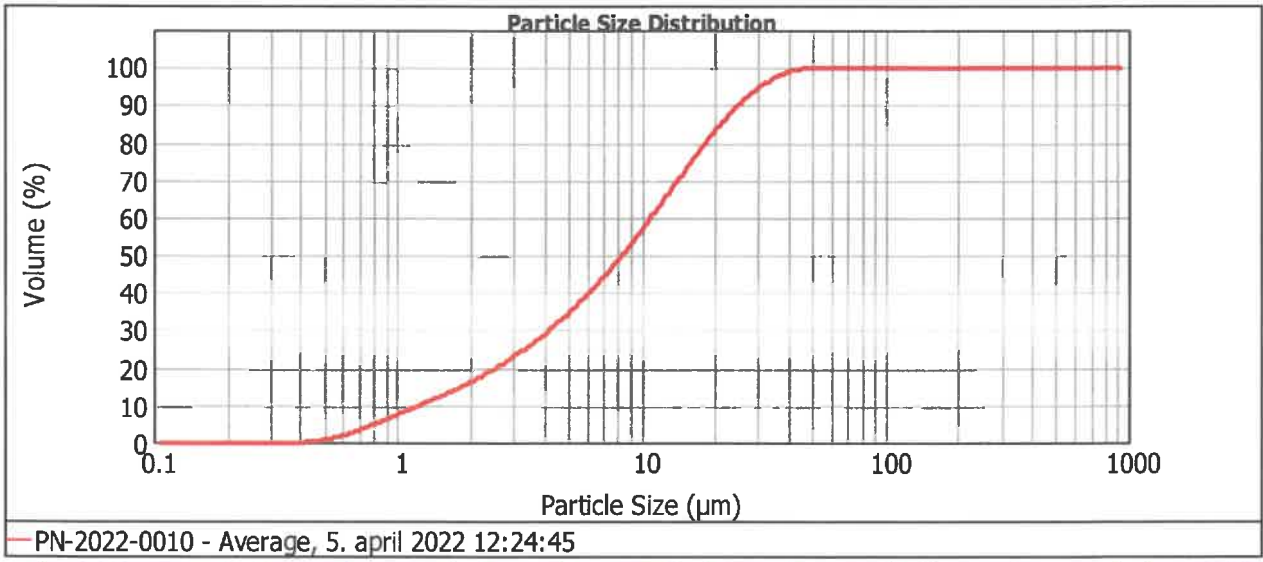
Percentage above 90.00 µm : 0.00%

Specific Surface Area:
1.7 m²/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:
3.531 µm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
10.990 µm D(0.95) : 30.64 µm

d(0.1): 1.248 µm **d(0.2):** 2.559 µm **d(0.5):** 8.332 µm **d(0.9):** 24.804 µm



Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	7.36	5.000	34.38	19.000	81.46	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	7.39	5.024	34.51	20.000	83.26	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	8.76	6.000	39.44	22.440	87.05	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	10.14	6.325	41.01	24.000	89.06	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	11.53	7.096	44.60	25.000	90.21	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	12.25	7.962	48.43	25.179	90.41	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	14.50	8.000	48.59	26.000	91.26	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	16.11	8.934	52.48	27.000	92.22	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	17.85	10.000	56.64	28.251	93.29	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	19.73	11.247	61.15	30.000	94.58	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	21.75	12.000	63.69	32.000	95.81	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.12	3.000	22.88	12.619	65.68	35.566	97.46	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.61	3.170	23.95	14.159	70.24	39.905	98.75	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.34	3.557	26.31	15.000	72.52	40.000	98.78	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	3.44	3.991	28.85	16.000	75.04	45.000	99.59	158.866	100.00		
0.796	4.69	4.000	28.90	17.825	79.13	48.000	99.85	178.250	100.00		
0.893	6.02	4.477	31.57	18.000	79.49	50.238	99.95	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0011 - Average

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Cement

Measured by:
labuser

Result Source:

Measured:
5. april 2022 12:28:18

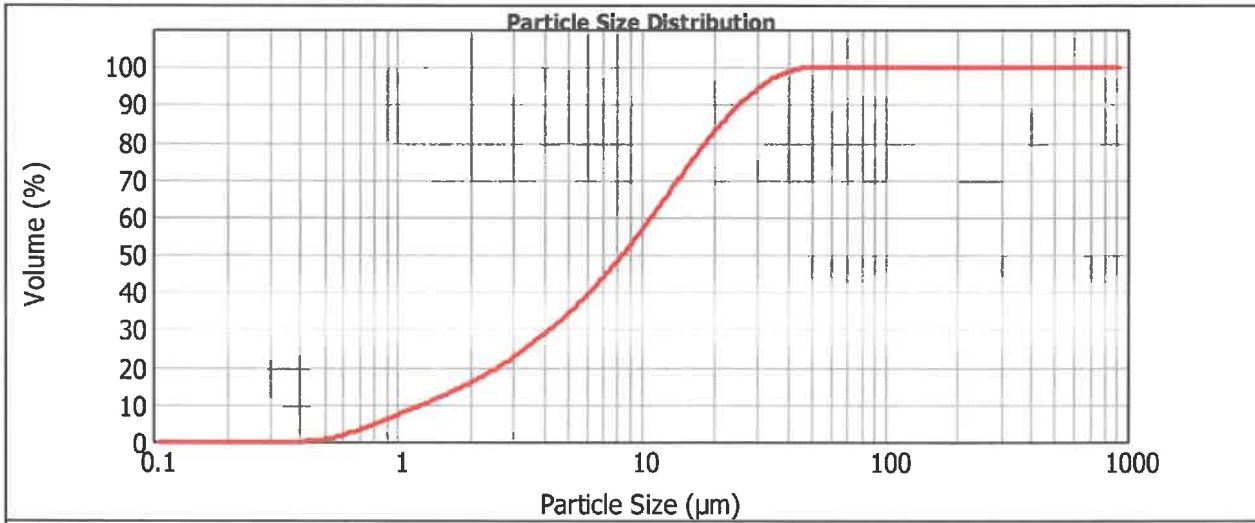
Analysed:
5. april 2022 12:28:19

Particle Name: Cement	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.680	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 μm	Obscuration: 12.01 %
Percentage below 24.00 μm : 88.68%		Weighted Residual: 1.185 %	Result Emulation: Off

Percentage below 30.00 μm : 94.31% Percentage above 64.00 μm : 0.00% Percentage above 90.00 μm : 0.00%

Specific Surface Area: 1.66 m^2/g **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 3.606 μm **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 11.148 μm **D(0.95) :** 31.03 μm

d(0.1): 1.285 μm **d(0.2):** 2.618 μm **d(0.5):** 8.464 μm **d(0.9):** 25.133 μm



PN-2022-0011 - Average, 5. april 2022 12:28:18

Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	7.05	5.000	33.82	19.000	80.98	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	7.08	5.024	34.04	20.000	82.80	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	8.43	6.000	38.95	22.440	86.64	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	9.79	6.325	40.51	24.000	88.68	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	11.17	7.096	44.08	25.000	89.85	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	11.88	7.962	47.88	25.179	90.05	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	14.11	8.000	48.04	26.000	90.92	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	15.72	8.934	51.92	27.000	91.89	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	17.46	10.000	56.07	28.251	92.99	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	19.34	11.247	60.58	30.000	94.31	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	21.36	12.000	63.13	32.000	95.58	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.10	3.000	22.48	12.619	65.12	35.566	97.28	125.000	100.00	795.214	100.00
0.502	0.53	3.170	23.54	14.159	69.70	39.905	98.64	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.22	3.557	25.89	15.000	71.99	40.000	98.66	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	3.23	3.991	28.42	16.000	74.52	45.000	99.52	158.885	100.00		
0.796	4.45	4.000	28.47	17.825	78.64	48.000	99.82	178.250	100.00		
0.893	5.74	4.477	31.13	18.000	79.00	50.238	99.94	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0012 - Average

SOP Name:
Cement

Measured:
5. april 2022 12:33:14

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Measured by:
labuser

Analysed:
5. april 2022 12:33:15

Sample bulk lot ref:

Result Source:

Particle Name:
Cement

Accessory Name:
Hydro 2000SM (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.680

Absorption:
0.1

Size range:
0.100 to 1000.000 um

Obscuration:
13.49 %

Percentage below 24.00 µm : 98.02%

Weighted Residual:
1.097 %

Result Emulation:
Off

Percentage below 30.00 µm : 99.57%

Percentage above 64.00 µm : 0.00%

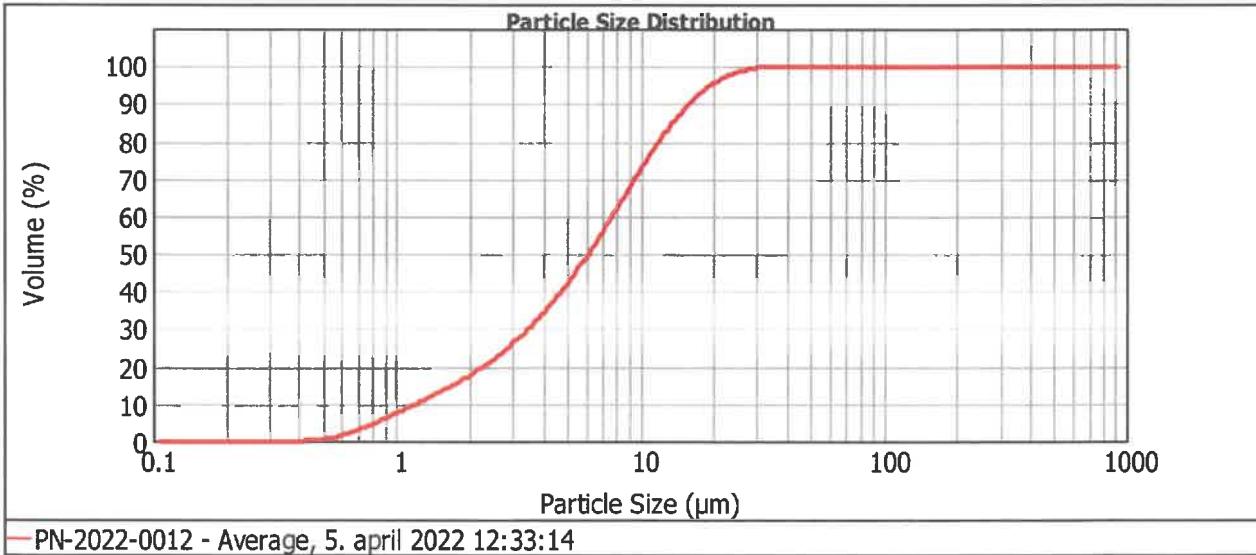
Percentage above 90.00 µm : 0.00%

Specific Surface Area:
1.89 m²/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:
3.178 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
7.554 um D(0.95) : 19.52 µm

d(0.1): 1.213 um d(0.2): 2.282 um d(0.5): 6.118 um d(0.9): 15.855 um



Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	7.41	5.000	41.89	19.000	94.47	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	7.44	5.024	42.07	20.000	95.46	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	8.98	6.000	49.18	22.440	97.24	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	10.54	6.325	51.43	24.000	98.02	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	12.14	7.096	56.52	25.000	98.42	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	12.97	7.962	61.80	25.179	98.48	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	15.62	8.000	62.02	26.000	98.75	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	17.55	8.934	67.14	27.000	99.01	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	19.67	10.000	72.31	28.251	99.29	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	22.01	11.247	77.48	30.000	99.57	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	24.58	12.000	80.18	32.000	99.79	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.07	3.000	26.03	12.619	82.18	35.566	99.94	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.42	3.170	27.43	14.159	86.41	39.905	100.00	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.08	3.557	30.58	15.000	88.32	40.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	3.18	3.991	34.07	16.000	90.26	45.000	100.00	158.866	100.00		
0.796	4.50	4.000	34.14	17.825	93.08	48.000	100.00	178.250	100.00		
0.893	5.94	4.477	37.88	18.000	93.30	50.238	100.00	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0013 - Average

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Cement

Measured by:
labuser

Result Source:

Measured:
6. april 2022 08:02:59

Analysed:
6. april 2022 08:03:00

Particle Name:
Cement

Particle RI:
1.680

Percentage below 24.00 µm : 98.14%

Accessory Name:
Hydro 2000SM (A)

Absorption:
0.1

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.100 to 1000.000 µm

Weighted Residual:
1.267 %

Sensitivity:
Enhanced

Obscuration:
15.45 %

Result Emulation:
Off

Percentage below 30.00 µm : 99.62%

Percentage above 64.00 µm : 0.00%

Percentage above 90.00 µm : 0.00%

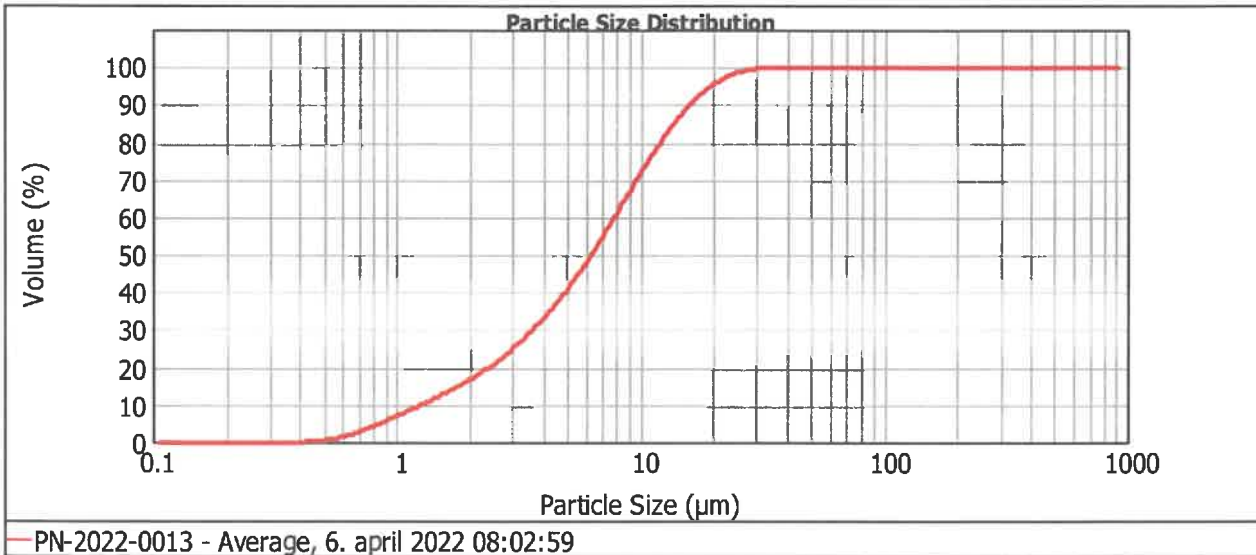
Specific Surface Area:
1.83 m²/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:
3.281 µm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
7.647 µm

D(0.95) : 19.39 µm

d(0.1): 1.268 µm d(0.2): 2.399 µm d(0.5): 6.291 µm d(0.9): 15.850 µm



Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	6.96	5.000	40.61	19.000	94.59	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	6.98	5.024	40.79	20.000	95.58	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	8.45	6.000	47.95	22.440	97.37	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	9.94	6.325	50.24	24.000	98.14	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	11.47	7.096	55.43	25.000	98.53	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	12.27	7.962	60.84	25.179	98.59	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	14.81	8.000	61.06	26.000	98.84	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	16.67	8.934	66.34	27.000	99.10	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	18.72	10.000	71.69	28.251	99.36	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	20.98	11.247	77.04	30.000	99.62	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	23.49	12.000	79.85	32.000	99.82	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.06	3.000	24.91	12.619	81.92	35.566	99.95	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.38	3.170	26.28	14.159	86.30	39.905	100.00	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	0.98	3.557	29.37	15.000	88.27	40.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	2.94	3.991	32.81	16.000	90.28	45.000	100.00	158.866	100.00		
0.796	4.19	4.000	32.88	17.825	93.17	48.000	100.00	178.250	100.00		
0.893	5.55	4.477	36.60	18.000	93.40	50.238	100.00	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0014 - Average

SOP Name:
Cement

Measured:
6. april 2022 08:06:16

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Measured by:
labuser

Analysed:
6. april 2022 08:06:18

Sample bulk lot ref:

Result Source:

Particle Name:
Cement

Accessory Name:
Hydro 2000SM (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.680

Absorption:
0.1

Size range:
0.100 to 1000.000 μm

Obscuration:
13.66 %

Percentage below 24.00 μm : 98.20%

Weighted Residual:
1.167 %

Result Emulation:
Off

Percentage below 30.00 μm : 99.65%

Percentage above 64.00 μm : 0.00%

Percentage above 90.00 μm : 0.00%

Specific Surface Area:

1.83 m^2/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:

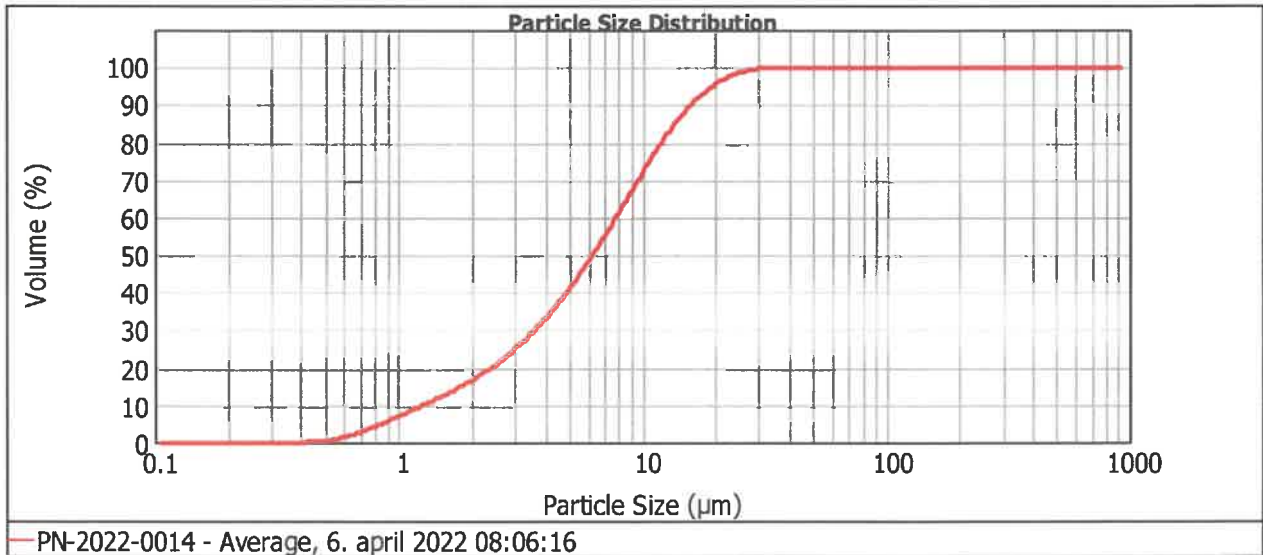
3.279 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:

7.598 μm

D(0.95) : 19.27 μm

d(0.1): 1.273 μm d(0.2): 2.406 μm d(0.5): 6.243 μm d(0.9): 15.741 μm



Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	6.94	5.000	40.84	19.000	94.72	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	6.96	5.024	41.03	20.000	95.70	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	8.42	6.000	48.27	22.440	97.45	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	9.89	6.325	50.57	24.000	98.20	70.563	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	11.41	7.096	55.80	25.000	98.58	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	12.19	7.962	61.22	25.179	98.64	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	14.72	8.000	61.45	26.000	98.89	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	16.59	8.934	66.72	27.000	99.14	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	18.65	10.000	72.05	28.251	99.39	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	20.93	11.247	77.38	30.000	99.65	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	23.47	12.000	80.16	32.000	99.84	112.488	100.00	709.627	100.00
0.448	0.06	3.000	24.91	12.619	82.22	35.566	99.96	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.37	3.170	26.30	14.159	86.55	39.905	100.00	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	0.98	3.567	29.45	15.000	88.50	40.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	2.94	3.991	32.94	16.000	90.48	45.000	100.00	158.666	100.00		
0.796	4.19	4.000	33.01	17.825	93.32	48.000	100.00	178.250	100.00		
0.893	5.54	4.477	36.79	18.000	93.55	50.238	100.00	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0015 - Average

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Cement

Measured by:
labuser

Result Source:

Measured:
6. april 2022 08:09:13

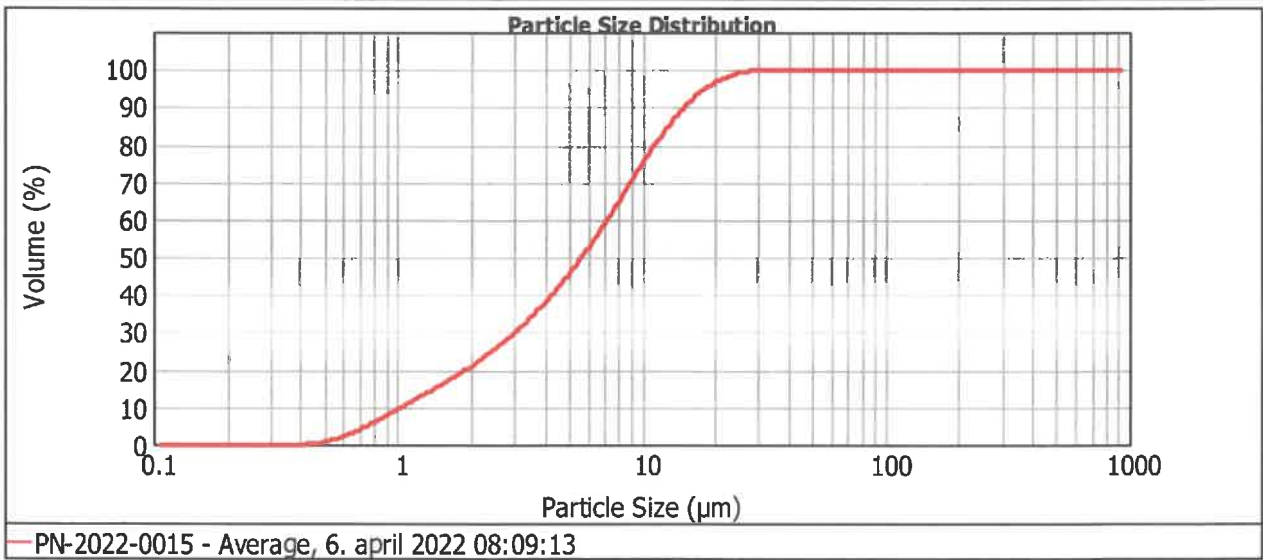
Analysed:
6. april 2022 08:09:14

Particle Name: Cement	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.680	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 18.06 %
Percentage below 24.00 µm : 98.78%			Result Emulation: Off
		Weighted Residual: 1.126 %	

Percentage below 30.00 µm : 99.85% Percentage above 64.00 µm : 0.00% Percentage above 90.00 µm : 0.00%

Specific Surface Area: 2.12 m²/g **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 2.831 um **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 6.982 um **D(0.95) :** 18.17 µm

d(0.1): 1.041 um **d(0.2):** 1.906 um **d(0.5):** 5.636 um **d(0.9):** 14.863 um



Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	9.36	5.000	45.45	19.000	95.84	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	9.39	5.024	45.62	20.000	96.69	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	11.22	6.000	52.52	22.440	98.16	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	13.04	6.325	54.70	24.000	98.78	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	14.89	7.096	59.64	25.000	99.07	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	15.83	7.962	64.76	25.179	99.12	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	18.79	8.000	64.98	26.000	99.31	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	20.91	8.934	69.96	27.000	99.50	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	23.18	10.000	74.97	28.251	99.68	99.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	25.64	11.247	79.97	30.000	99.85	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	28.31	12.000	82.57	32.000	99.97	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.14	3.000	29.79	12.619	84.49	35.566	100.00	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.71	3.170	31.21	14.159	88.49	39.905	100.00	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.59	3.557	34.37	15.000	90.28	40.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	4.23	3.991	37.81	16.000	92.07	45.000	100.00	158.866	100.00		
0.796	5.85	4.000	37.88	17.825	94.62	48.000	100.00	178.250	100.00		
0.893	7.59	4.477	41.55	18.000	94.81	50.238	100.00	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0016 - Average

SOP Name:
Cement

Measured:
6. april 2022 08:12:45

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Measured by:
labuser

Analysed:
6. april 2022 08:12:46

Sample bulk lot ref:

Result Source:

Particle Name:
Cement

Accessory Name:
Hydro 2000SM (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.680

Absorption:
0.1

Size range:
0.100 to 1000.000 μm

Obscuration:
17.73 %

Percentage below 24.00 μm : 98.73%

Weighted Residual:
1.057 %

Result Emulation:
Off

Percentage below 30.00 μm : 99.84%

Percentage above 64.00 μm : 0.00%

Percentage above 90.00 μm : 0.00%

Specific Surface Area:

Surface Weighted Mean D[3,2]:

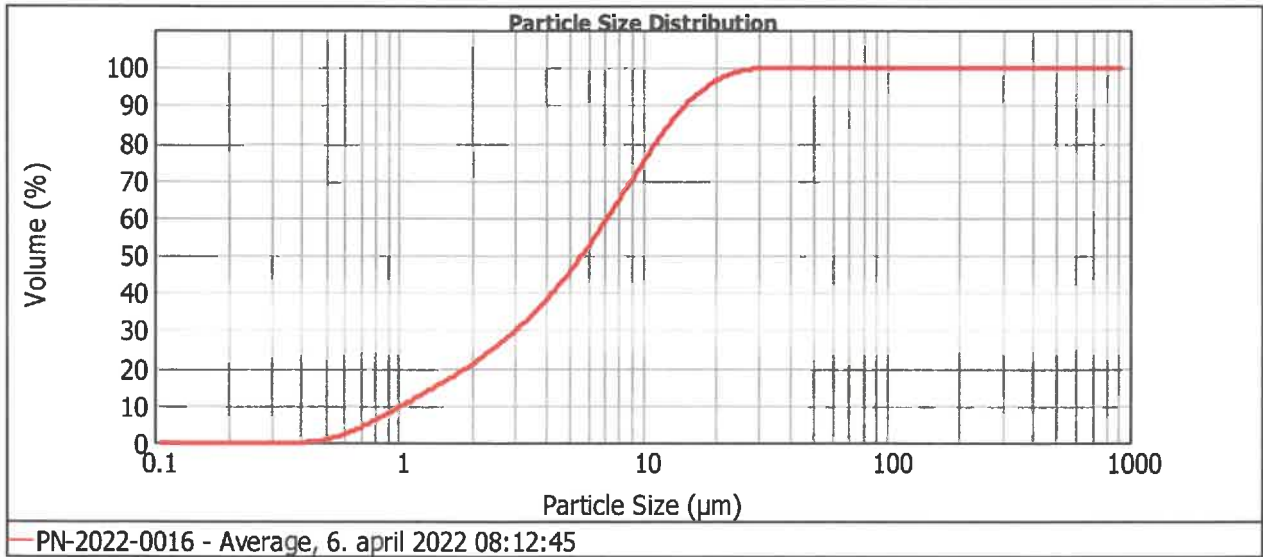
Vol. Weighted Mean D[4,3]:

2.11 m^2/g

2.840 μm

7.017 μm D(0.95) : 18.28 μm

d(0.1): 1.045 μm d(0.2): 1.915 μm d(0.5): 5.657 μm d(0.9): 14.950 μm



Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	9.31	5.000	45.32	19.000	95.73	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	9.34	5.024	45.49	20.000	96.59	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	11.16	6.000	52.36	22.440	98.10	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	12.97	6.325	54.53	24.000	98.73	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	14.81	7.096	59.45	25.000	99.03	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	15.75	7.962	64.56	25.179	99.08	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	18.70	8.000	64.77	26.000	99.28	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	20.81	8.934	69.74	27.000	99.47	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	23.09	10.000	74.75	28.251	99.66	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	25.54	11.247	79.75	30.000	99.84	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	28.21	12.000	82.36	32.000	99.97	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.14	3.000	29.69	12.619	84.28	35.566	100.00	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.70	3.170	31.11	14.159	88.30	39.905	100.00	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.58	3.557	34.26	15.000	90.10	40.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	4.21	3.991	37.70	16.000	91.91	45.000	100.00	158.866	100.00		
0.796	5.82	4.000	37.77	17.825	94.49	48.000	100.00	178.250	100.00		
0.893	7.55	4.477	41.43	18.000	94.69	50.238	100.00	200.000	100.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
PN-2022-0017 - Average

Sample Source & type:
Factory = Brevik

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Cement

Measured by:
labuser

Result Source:

Measured:
6. april 2022 08:50:53

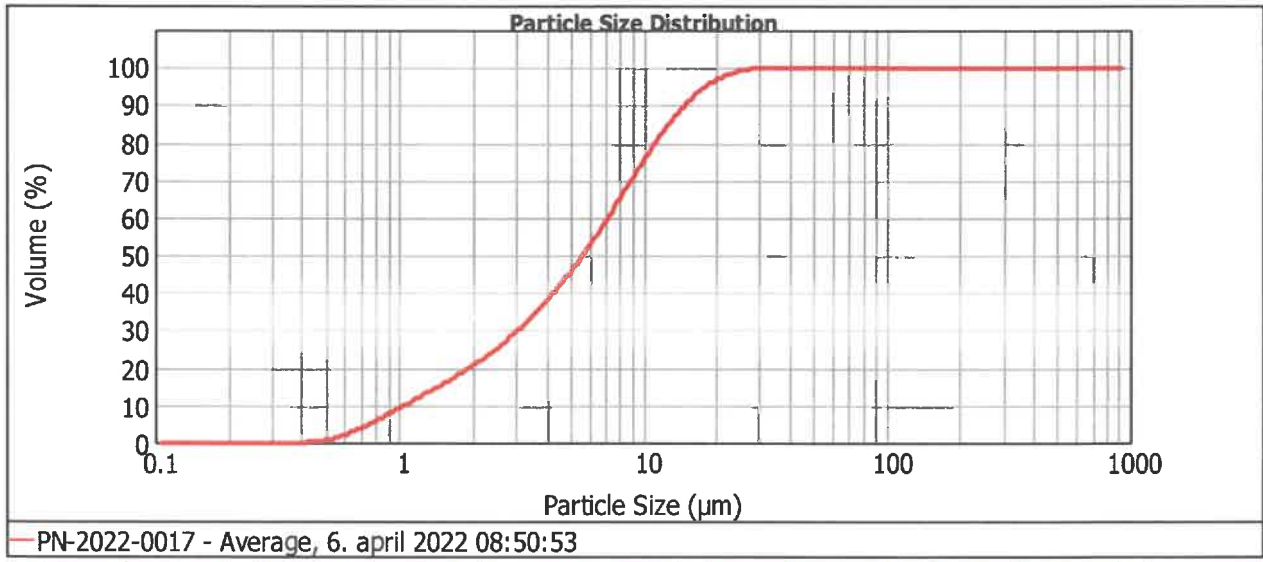
Analysed:
6. april 2022 08:50:54

Particle Name: Cement	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.680	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 13.08 %
Percentage below 24.00 µm : 98.80%		Weighted Residual: 1.554 %	Result Emulation: Off

Percentage below 30.00 µm : 99.86% Percentage above 64.00 µm : 0.00% Percentage above 90.00 µm : 0.00%

Specific Surface Area: 2.1 m²/g **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 2.858 um **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 6.969 um **D(0.95) :** 18.09 µm

d(0.1): 1.055 um **d(0.2):** 1.939 m **d(0.5):** 5.626 um **d(0.9):** 14.800 um



Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.022	0.00	1.000	9.16	5.000	45.45	19.000	95.91	56.368	100.00	224.404	100.00
0.025	0.00	1.002	9.20	5.024	45.63	20.000	96.75	63.000	100.00	250.000	100.00
0.028	0.00	1.125	11.00	6.000	52.61	22.440	98.20	64.000	100.00	282.508	100.00
0.032	0.00	1.262	12.80	6.325	54.82	24.000	98.80	70.963	100.00	316.979	100.00
0.036	0.00	1.416	14.62	7.096	59.79	25.000	99.09	80.000	100.00	355.656	100.00
0.040	0.00	1.500	15.55	7.962	64.94	25.179	99.14	89.337	100.00	399.052	100.00
0.050	0.00	1.783	18.48	8.000	65.16	26.000	99.32	90.000	100.00	447.744	100.00
0.100	0.00	2.000	20.58	8.934	70.14	27.000	99.51	95.000	100.00	500.000	100.00
0.200	0.00	2.244	22.86	10.000	75.16	28.251	99.68	96.000	100.00	563.677	100.00
0.224	0.00	2.518	25.33	11.247	80.15	30.000	99.86	100.000	100.00	632.456	100.00
0.399	0.00	2.825	28.02	12.000	82.74	32.000	99.97	112.468	100.00	709.627	100.00
0.448	0.12	3.000	29.52	12.619	84.65	35.566	100.00	125.000	100.00	796.214	100.00
0.502	0.62	3.170	30.96	14.159	88.63	39.505	100.00	128.000	100.00	893.367	100.00
0.564	1.47	3.557	34.17	15.000	90.40	40.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.710	4.07	3.991	37.68	16.000	92.18	45.000	100.00	158.866	100.00		
0.796	5.68	4.000	37.75	17.825	94.70	48.000	100.00	178.250	100.00		
0.893	7.41	4.477	41.49	18.000	94.90	50.238	100.00	200.000	100.00		

Operator notes:

Vedlegg A.2

Rheometerdata

Rheometerdata

	Blanding	Akseratormengde
1	KS20	20%
2	KS17	17%

	Blanding	Sement	v/c	Tilsetning
1	MR-0,9-2000PF	MasterRoc MP 650	0,9	MasterRheobuild 2000PF
2	MR-0,6-2000PF	MasterRoc MP 650	0,6	MasterRheobuild 2000PF
3	NM-0,6-GT	Norcem Micro	0,6	Grout Tech System W
4	NM-0,6-MG	Norcem Micro	0,6	MasterGlenium 151C
5	NM-0,6-2000PF	Norcem Micro	0,6	MasterRheobuild 2000PF
6	NM-0,9-GT	Norcem Micro	0,9	Grout Tech System W
7	NM-0,6-GT + X	Norcem Micro	0,6	Grout Tech System W + Master X-Seed
8	NI-0,6-GT	Norcem Industri	0,6	Grout Tech System W
9	NI-0,6-GT + X	Norcem Industri	0,6	Grout Tech System W + Master X-Seed
10	NI-0,6-2000PF + X	Norcem Industri	0,6	MasterRheobuild 2000PF + Master X-Seed

Blanding: KS20

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	20	-	-
Syklus 2	41	246,5	91
Syklus 3	55	361,7	116,3

Blanding: KS17

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	12	5,4	0,03
Syklus 2	28	19,7	0,64
Syklus 3	45	112,4	46,7

Blanding: MR-0,9-2000PF

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	15	8,7	0,08
Syklus 2	31	8,9	0,12
Syklus 3	47	9,7	0,09

Blanding: MR-0,6-2000PF

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	15	38,6	2,23
Syklus 2	31	40,7	1,33
Syklus 3	47	40,9	1,22

Blanding: NM-0,6-GT

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	14	62,0	0,86
Syklus 2	21	88,4	7,99
Syklus 3	28	56,0	9,06
Syklus 4	35	70,5	8,04
Syklus 5	42	82,8	6,69

* Røde tall markerer ugyldige resultater.

Blanding: NM-0,6-MG

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	19	97,5	5,11
Syklus 2	26	101,7	4,9
Syklus 3	33	104,5	4,7
Syklus 4	40	105,6	4,63
Syklus 5	47	106,6	4,53

Blanding: NM-0,6-2000PF

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	21	240,3	74,02
Syklus 2	29	261,9	74,92
Syklus 3	37	306,7	78,24
Syklus 4	46	311,9	81,95
Syklus 5	54	357,1	83,92

Blanding: NM-0,9-GT

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	14	22	0,48
Syklus 2	21	24,1	0,35
Syklus 3	29	25,6	0,26
Syklus 4	36	26,7	0,16
Syklus 5	43	27,3	0,12
Syklus 6	50	27,8	0,08

Blanding: NM-0,6-GT+X

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	12	89,6	8,35
Syklus 2	20	101	8,81
Syklus 3	27	105,8	8,93
Syklus 4	38	108,3	8,91
Syklus 5	43	110,2	8,83
Syklus 6	50	110,9	8,76

Blanding: NI-0,6-GT

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	14	8,8	10,54
Syklus 2	21	30,4	7,56
Syklus 3	29	48,4	6,73
Syklus 4	37	75,9	4,80
Syklus 5	44	47,6	3,02
Syklus 6	52	48,4	2,91

* Røde tall markerer ugyldige resultater.

Blanding: NI-0,6-GT+X

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	13	36,7	3,86
Syklus 2	21	40,9	3,95
Syklus 3	28	43,4	3,94
Syklus 4	36	45,5	3,83
Syklus 5	43	48,0	3,71
Syklus 6	51	49,7	3,58

Blanding: NI-0,6-2000PF+X

	Tid [min]	Viskositet [mPs*s]	Flytespenning [Pa]
Syklus 1	10	63,6	33,1
Syklus 2	18	85,5	39,8
Syklus 3	27	104,6	44,4
Syklus 4	35	112,7	48,7
Syklus 5	43	120,2	52,8
Syklus 6	52	132,0	56,6

Vedlegg B.1

Tekniske datablad

MasterRoc MP 650

Okt. 2020 erst. sep. 2013

Hutigstørknende, mikrofin Portlandsement for injeksjon i fjell og løsmasser.

Tekniske Data	
Kornstørrelse (Blaine)	> 625 m ² /kg
Kornfordeling:	
< 40 mikron	100 %
< 30 mikron	98 %
< 20 mikron	97 %
< 15 mikron	94 %
< 10 mikron	77 %
< 5 mikron	44 %
< 2 mikron	16 %

BESKRIVELSE AV PRODUKTET

MasterRoc MP 650 er en svært finkornet sement som er malt ned fra ren Portlandsementklinker med Blaine 650 m²/kg.

På grunn av den lille partikkelstørrelsen trenger den ekstremt godt inn i små sprekker, riss og poreåpninger og gir god tetting av fjell- eller løsmasser.

MasterRoc MP 650 oppnår raskere avbinding og herding enn standard mikrosementer. Dette øker produktiviteten i injeksjonsarbeidet i en tunnel. Den korte åpentiden på 1 til 1½ time og den svært korte avbindingstiden på 2½ time (ved rundt 20°C) reduserer ventetiden for oppstart av neste aktivitet til et minimum.

BRUKSOMRÅDER

- Forinjeksjon i alle undergrunnskonstruksjoner
- Også egnet til etterinjeksjon
- Reduksjon av vanninntrengning
- Stabilisering av grunnen
- Kontaktinjeksjon

PRODUKTEGENSKAPER

- Trenger effektivt inn i små sprekker, riss og poreåpninger
- Rask avbinding
- God holdbarhet
- Bedre arbeidsmiljø – ingen giftige komponenter
- Økonomisk løsning
- Vanlig utstyr til sementinjeksjon kan brukes

EMBALLASJE

MasterRoc MP 650 leveres i 20 kg sekker og 1000 kg sekker.

AVBINDINGSTIDER

Avbindingstider, ved 1 : 1 v/c-tall (etter vekt) og ved 20° C er som følger:

Avbinding start: 60 – 120 min (målt med Vicat-nål)
Avbinding slutt: 120 – 150 min (1 mm inntrengning med Vicat-nål) De tekniske data som her er oppgitt viser til en blanding som inneholder 1,5 % MasterGlenium 151C:

Vann/sement-tall: 1,0

Mud balance: 1,48 – 1,50 kg/l

Flow cone: 32 – 34 s

Bleeding maks.: 2 %

BEARBEIDING

MasterRoc MP 650 skal alltid brukes sammen med MasterGlenium 151C vannreducerende tilsetningsstoff (1,0 – 2,0 % av sementvekt). V/c-tallet (etter vekt) skal normalt ligge mellom 0,5 og 1,0.

BLANDING

- Fyll blanderen med vann
- Tilsett MasterGlenium 151C
- Tilsett sement og bland i 2 minutter
- Pumpes til agitator (omrørekar)

Det er svært viktig å bruke en effektiv blander. Kolloidblandere gir best resultat. Minimum omdreining for kolloidblandere er 1500 omdr./min.

NB: Ikke bland for lenge. For lang blandetid kan føre til temperaturstigning i mørtelen og rask størkning i pumpe og slanger.

POTLIFE

Blandingen skal holdes i stadig bevegelse før injeksjon. Ikke ha blandingen i agitatoren lenger enn 30 – 40 minutter.

MasterRoc MP 650

Okt. 2020 erst. sep. 2013

Hutigstørknende, mikrofin Portlandsement for injeksjon i fjell og løsmasser.

INJEKSJON

Vanligvis brukes høytrykks-stempelpumper for å pumpe suspensjonen inn i fjellet. For å sikre at sementsuspensjonen fortsetter å trenge inn i sprekke i fjellet bør ikke miksen brukes mer enn 30 – 40 minutter etter blanding. Ønskes det lengre åpentid, kan dette oppnås ved bruk av MasterRoc HCA 10 som regulerer sementhydratiseringen.

Dersom det ønskes enda lengre åpentid, er MasterRoc MP 650 SR et alternativ. Produktet leveres på forespørsel.

HERDING

MasterRoc MP 650 er hard nok til å starte kontrollboring eller boring av spreng hull etter 2 – 2 ½ time.

OPPBEVARING

Ved lagring i lukket originalbeholder i ventilerte omgivelser har MasterRoc MP 650 en holdbarhet på 9 måneder.

SIKKERHETSTILTAK

All fysisk kontakt med produktet (f.eks. hud og øyne) skal unngås fordi produktet virker irriterende på huden.

Ved en slik fysisk kontakt skal det aktuelle området vaskes med rikelig med rent vann. Får man produktet i øynene, skal man straks oppsøke lege.

Se sikkerhetsdatablad for mer informasjon.

Master Builders Solutions Norway AS

Gullfotdalen 4

NO-2120 Sagstua

T +47 62 97 00 20

F +47 62 97 18 85

www.master-builders-solutions.com

Teknisk informasjon og arbeidsanvisning er overlevert av Master Builders Solutions Norway AS med det formål å hjelpe brukeren til å få det best mulige og mest økonomiske resultatet. Våre anvisninger er basert på mange års erfaring og på våre nåværende kunnskaper. Fordi arbeidsforholdene hos brukeren ligger utenfor vår kontroll, kan vi ikke påta oss ansvar for resultatene som en bruker oppnår ved bruk av dette produktet. Det påligger alltid brukeren å ta de nødvendige forholdsregler i det aktuelle tilfellet for å overholde gjeldende regler. Hvis det oppstår tvil om produktets egenskaper eller bruk, skal Master Builders Solutions Norway AS kontaktes umiddelbart.

NB Fordi alle våre datablader oppdateres løpende, er det brukerens ansvar å skaffe seg siste versjon.

NORCEM MICRO

Desember 2018

Sementen tillages ved finmaling av Norcem Industrisement som tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portlandsement CEM I 52,5R. Norcem Micro tilfredsstiller i tillegg Statens vegvesens krav i Prosesskode 1-R761 angående PSD $d_{95} < 25 \mu\text{m}$

Egenskap	Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m^2/kg)	720	
Spesifikk vekt (kg/dm^3)	3,13	
Volumbestandighet (mm)	1	≤ 10
Begynnende størkning (min)	100	≥ 45
Sulfatinnhold (% SO_3)	$\leq 4,0$	$\leq 4,0$
Klorid (% Cl^-)	$\leq 0,085$	$\leq 0,10$
Vannløselig krom (ppm Cr^{6+})	≤ 2	≤ 2 ¹⁾
Alkalier (% Na_2O ekv)	1,3	
Klinker (%)	96	95-100
Sekundære bestanddeler (%)	4	0-5

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

PRODUKTDATABLAD

INDUSTRISEMENT

CEM I 52,5 R

SIST REVIDERT MARS 2021

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

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		550	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,13	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnendestørkning (min)		110	≥ 45
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	33	
	2 døgn	41	≥ 30
	7 døgn	50	
	28 døgn	59	≥ 52,5
Sulfat (% SO ₃)		≤ 4,0	≤ 4,0
Klorid (% Cl ⁻)		≤ 0,085 (B) / ≤ 0,05 (K)	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤ 2	≤ 2 ¹
Alkalier (% Na ₂ O _{ekv})		1,3	
Klinker (%)		96	95-100
Sekundære bestanddeler (%)		4	0-5

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

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

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

MasterRoc MP 320

27 09 2013

Løsemiddelfritt, hydrofilt injeksjonsmiddel med lav viskositet for fjellinjeksjon og stabilisering av sand- og siltlag.

BESKRIVELSE AV PRODUKTET

MasterRoc MP 320 er et en-komponent injeksjonssystem basert på nanometrisk, kolloidal silikasuspensjon av primære, diskrete partikler. På grunn av produktets hydrofile egenskaper er det også god vedheft mot våte overflater. Produktet skummer ikke og inneholder verken løsemidler eller giftige komponenter.

BRUKSOMRÅDER

- Forinjeksjon i undergrunnen/tunellprosjekter
- Også egnet til etterinjeksjon
- Stabilisering av grunnen
- Reduksjon av vanninntrengning
- Stabilisering av skråninger.

PRODUKTEGENSKAPER

- Svært lav viskositet
- Siden produktet ikke er aggressivt, gir det forbedret driftssikkerhet
- Ingen miljøpåvirkning
- God vedheft til våte overflater
- Kontrollert gelid ved bruk av akselerator
- Enkelt blande- og pumpeutstyr. Utstyr som brukes til sementinjeksjon kan brukes.

EMBALLASJE

Komp. A:
210 liter fat og 1000 liter palletank
Akselerator for Komp. A:
210 liter fat og 1000 liter palletank

TEKNISKE DATA

MasterRoc MP 320 Komp. A	
Farge	Hvitaktig/transparent
Viskositet (20 °C, AP-014)	~10 mPa.s
Densitet (20 °C, AP-005)	1,3 kg/l
pH (20 °C, AP-009)	9,5 til 9,8
SiO ₂ -konsentrasjon	40 ± 1 %

Akselerator for MasterRoc MP 320-serien

Farge	Transparent
Viskositet (20 °C)	~1 mPa.s
Densitet (20 °C, AP-005)	1,07 kg/l
pH (20 °C, AP-009)	7

Blandet materiale

(oppgitte verdier er avhengig av blanding)

Farge	vitaktig/transparent
Viskositet (20 °C, AP-014)	~5 mPa.s
Densitet (20 °C, AP-005)	~1,25 kg/l
pH (20 °C, AP-009)	~9 avhengig av blandingsforhold

BEARBEIDING

Akseleratoren tilsettes komp. A i ønsket forhold. Sørg for at komp. A er blandet på forhånd og omrøres kontinuerlig under tilsetting av akseleratoren.

Blandingen av MasterRoc MP 320 og akselerator for MasterRoc MP 320 kan brukes mellom + 5 °C og + 40 °C. Den pumpes med en en-komponentpumpe, som f.eks. en injeksjonspumpe for sement, gjennom en injeksjonspakker inn i berget. For å oppnå langsom strøm inn i sand og grus kan en snekkepumpe også vurderes.

MasterRoc MP 325 og akselerator kan også injiseres ved hjelp av en to-komponentpumpe. I slike tilfeller er det nødvendig med en statisk in-line-blander for å oppnå en god blanding av de to komponentene.

For å oppnå kontrollert, målrettet injeksjon i sand og grus anbefales det å bruke doble pakkere i tube à manchette-injeksjonsrør (ofte kalt "TAM" eller "SPP") med perforeringer avhengig av løsmassenes korntørrelse og nødvendig grad av stabilisering.

MasterRoc MP 320

27 09 2013

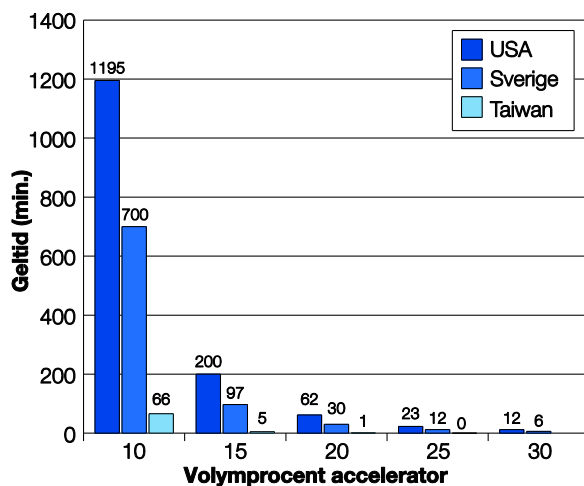
Løsemiddelfritt, hydrofilt injeksjonsmiddel med lav viskositet for fjellinjeksjon og stabilisering av sand- og siltlag.

GELTID

MasterRoc MP 320 produseres ved tre forskjellige anlegg rundt om i verden. Det er viktig å finne ut hvilket produkt du har fått levert slik at du kan velge riktig dosering av akselerator for en gitt geltid.

Geltiden kan justeres ved å endre mengden akselerator for MasterRoc MP 320 som tilsettes Komp. A.

Geltiden kan justeres mellom 10 minutter og flere timer som vist i fig. 1 For lengre geltid vil temperaturen ha stor betydning. Site-tester anbefales.



Figur 1: Justerbare geltider med varierende dosering av akselerator. Oppgitte verdier ved 8 °C.

Master Builders Solutions Norway AS

Gullfotdalen 4
NO-2120 Sagstua
T +47 62 97 00 20
F +47 62 97 18 85
www.master-builders-solutions.com

Teknisk informasjon og arbeidsanvisning er overlevert av Master Builders Solutions Norway AS med det formål å hjelpe brukeren til å få det best mulige og mest økonomiske resultatet. Våre anvisninger er basert på mange års erfaring og på våre nåværende kunnskaper. Fordi arbeidsforholdene hos brukeren ligger utenfor vår kontroll, kan vi ikke påta oss ansvar for resultatene som en bruker oppnår ved bruk av dette produktet. Det påligger alltid brukeren å ta de nødvendige forholdsregler i det aktuelle tilfellet for å overholde gjeldende regler. Hvis det oppstår tvil om produktets egenskaper eller bruk, skal Master Builders Solutions Norway AS kontaktes umiddelbart.

NB Fordi alle våre datablader oppdateres løpende, er det brukerens ansvar å skaffe seg siste versjon.

RENGJØRING AV INJEKSJONSUTSTYR

Alt utstyr kan rengjøres med vann.

OPPBEVARING

MasterRoc MP 320 kan lagres i opp til 18 måneder, hvis det oppbevares tørt og innenfor en temperatur på + 5 til + 35 °C i uåpnet originalbeholder. Beskyttes mot sol.

SIKKERHETSTILTAK

Kolloidal silika irriterer øyne og hud. Vanlige sikkerhetstiltak (vernebriller, hansker og kjeledress) skal brukes. MasterRoc MP 320 er fysiologisk uskadelig.

Se sikkerhetsdatablad for mer informasjon.

Informasjonen som er oppgitt her er korrekt, representerer vår beste kunnskap og er basert på både laboratoriearbeid og praktisk erfaring. Ettersom flere faktorer påvirker resultatene tilbyr vi denne informasjonen uten garanti og uten patentansvar. Kontakt din lokale representant for ytterligere informasjon eller spørsmål.

Grout Tech System W

Flytende superplastiserende tilsetningsstoff for sementbasert materialer

BRUKSOMRÅDER

Grout Tech System W er en flytende superplastiserende tilsetningsstoff for sementbasert materialer. Produkt gir en stabil, svært flytende sementblanding, også ved lave vann/semnt-forhold. **Grout Tech System W** er spesielt utviklet til å brukes sammen med **Grout Tech 5000** og kan brukes i kombinasjon med alle typer sement.

TEKNISKE EGENSKAPER

Grout Tech System W består av aktive polymerer, som påvirker de ulike mineralske komponentene i sement.

Grout Tech System W virker dispergerende slik at den løser opp sement klaser.

DOSERING

Grout Tech System W doseres normalt med 0,5 - 2,0 kg per 100 kg sement.

Doseringen avhenger av flere parametre:

- Vann/semnt forholdet;
- type sement (finhet, Blaine);
- forventet viskositet.

Andre doseringen kan anbefales i spesielle tilfeller i henhold til spesifikke krav. Ta kontakt med Mapei "Underground Technology

Team" for å vurdere blanderesept som kreves i det enkelte tilfellet.

Det anbefales å tilsette **Grout Tech System W** etter vann og eventuelle andre **Grout Tech** -produkter. Etter at alt sement er tilsatt, bland i 2 minutter. Vi anbefaler å bruke en kolloidblander.

EMBALLASJE

Grout Tech System W leveres i 25 l spann, 200 l fat, 1000 l IBC-containerer og tank.

LAGRING

Grout Tech System W er vannbasert og må oppbevares i temperaturer over frysepunktet. I lukket emballasje bevarer produktet sine egenskaper i minst 12 måneder.

SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

For instruksjon vedrørende sikker håndtering av våre produkter, vennligst se siste utgave av sikkerhetsdatablad på vår nettside www.mapei.no

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK.

TEKNISKE DATA (typiske verdier)

PRODUKTBESKRIVELSE

Konsistens:	væske
Farge:	gulbrun
Viskositet (mPa·s):	lettflytende; < 30
Tørrestoffinnhold (%):	17,0 ± 1,0
Densitet (g/cm ³):	1,05 ± 0,02
pH:	6,5 ± 1,0
Kloridinnhold (%):	< 0,05
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) (%):	< 2,0

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All overstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på www.mapei.no

JURIDISK MERKNAD

Innholdet i dette tekniske databladet kan kopieres til andre prosjekterrelaterte dokumenter, men det endelige dokumentet må ikke suppleres eller erstatte betingelsene i det tekniske datablad, som er gjeldende, når MAPEI-produktet benyttes. Det seneste oppdaterte datablad er tilgjengelig på vår hjemmeside www.mapei.no

ENHVER ENDRING AV ORDLYDEN ELLER BETINGELSER, SOM ER GITT ELLER AVLEDET FRA DETTE TEKNISKE DATABLADET, MEDFØRER AT MAPEI SITT ANSVAR OPPHØRER.

Alle relevante referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel og på www.mapei.no

Grout Tech System W



BUILDING THE FUTURE

101008008-2-2021 (NO)

Det er ikke tillatt å ta kopier av tekst eller bilder utgitt her.
Overtredelse kan føre til rettsforfølgelse.

1MasterGlenium 151 C

Feb. 2020 erst. nov. 2009

SUPERPLASTISERENDE TILSETNINGSSTOFF FOR BETONG.

Tekniske data			
Konsistens:	Viskøs væske	pH- verdi:	5,5 ± 1,0
Farge:	Gullig	Ekvivalent Na₂O:	< 2,0 %
Tørrstoff:	15,0 ± 1,5 %	Kloridinnhold:	< 0,01 %
Densitet:	1,03 ± 0,02kg/l		

PRODUKTBEKRIVELSE

MasterGlenium 151 C er basert på en kjede av modifiserte polykarboxylater. Produktet er primært utviklet til bruk ved produksjon av høyfast betong, men kan godt benyttes i ordinære betonger.

MasterGlenium 151 C har en elektrostatisk virkemåte som forbedrer effektiviteten av sementdispersjonen.

BRUKSOMRÅDER

Den gode dispergeringseffekten gjør MasterGlenium 151 C til det ideelle tilsetningsstoff der det ønskes stor vannreducerende evne.

EGENSKAPER

- God flyt med lave v/c-forhold.
- MasterGlenium 151 C forbedrer de fysiske egenskaper og derved betongens bestandighet.

ANDRE ANBEFALTE KOMBINASJONER

Kan kombineres med alle Glenium produkter, samt

- Luftinnførende.
- Plastiserende.
- Akselererende.
- Retarderende.
- Fiber.

DOSERING

Anbefalt doseringsmengde 0,2 - 2,0 % av sementmengden, avhengig av betongsammensetning og krav.

Andre doseringer kan være aktuelle i særlige tilfeller og under særlige utførelsesforhold.

Prøveblandinger anbefales.

BRUKSANVISNING

Den optimale effekten oppnås ved å tilsette MasterGlenium 151 C straks etter tilsetning av ca. 50 % av blandevannet. Unngå å tilsette MasterGlenium 151C til de tørre materialer.

MasterGlenium 151 C kan tilsettes på bilen på byggeplass. For å få full utnyttelse av stoffet bør betongen blandes godt, 1-2min pr m³.

FORPAKNING

- 1000 liters containere.
- Tank.

LAGRING

Oppbevares i tett lukket beholder ved temperatur, min. +5 °C, i 12 mnd.


SIKKERHETSTILTAK

Se produktets sikkerhetsdatablad.

1MasterGlenium 151 C

Feb. 2020 erst. nov. 2009

SUPERPLASTISERENDE TILSETNINGSSTOFF FOR BETONG.

	
09	
Master Builders Solutions Norway AS Gullfotdalen 4, NO-2120 Sagstua	
Ytelseserklæring MasterGlenium 151C NS-EN 934-2: 2009+A1:2012: T3.1/3.2 1111 Vannreducerende/superplastiserende tilsetningsstoff	
Maksimum kloridinnhold:	<0,01%
Maksimum alkalieinnhold:	<2,0%
Korrosjon	Inneholder kun komponenter fra EN 934-1:2008, Annex A.1.
Trykkfasthet:	Oppfylt
Vannreduktion	Oppfylt
Luftinnhold:	Oppfylt
Konsistens	Oppfylt
Helseskedelige bestanddeler:	Ingen
www.master-builders-solutions.com	

Master Builders Solutions Norway AS

Gullfotdalen 4

NO-2120 Sagstua

T +47 62 97 00 20

F +47 62 97 18 85

www.master-builders-solutions.com

NOTE:

Teknisk informasjon og arbeidsanvisning er overlevert av Master Builders Solutions Norway AS med det formål å hjelpe brukeren til å få det best mulige og mest økonomiske resultatet. Våre anvisninger er basert på mange års erfaring og på våre nåværende kunnskaper. Fordi arbeidsforholdene hos brukeren ligger utenfor vår kontroll, kan vi ikke påta oss ansvar for resultatene som en bruker oppnår ved bruk av dette produktet. Det påligger alltid brukeren å ta de nødvendige forholdsregler i det aktuelle tilfellet for å overholde gjeldende regler. Hvis det oppstår tvil om produktets egenskaper eller bruk, skal Master Builders Solutions Norway AS kontaktes umiddelbart.

NB Fordi alle våre datablader oppdateres løpende, er det brukerens ansvar å skaffe seg siste versjon.

MasterRheobuild 2000PF

Superplasticizer for high performance concrete and a dispersing agent for MasterRoc[®] micro-cements for ground injection

DESCRIPTION

MasterRheobuild 2000PF is an admixture containing multi-functional, water soluble sulphonated polymers of various chemical composition, specifically affecting the different mineralogical components of cement.

When MasterRheobuild 2000PF is added to concrete, the molecules of the polymer, having a negative charge, absorb onto the surface of the cement grains. This causes an electrostatic repulsion to occur amongst the cement grains, making their dispersion in water easier and consequently the mix more flowable. The action of MasterRheobuild 2000PF occurs even when Portland cement clinker is mixed with other materials (e.g. pozzolans, fly ash, slags and microsilica) in the production of blended cements.

FIELDS OF APPLICATION

MasterRheobuild 2000PF is designed for use in the manufacture of high quality concrete, such as:

- Pre-cast concrete tunnel linings, trackbed concrete, segment and structural members cured at normal and elevated temperatures
- Cast in-situ concrete tunnel linings
- Pre-stressed and post tensioned concrete
- Annulus grouts for backfill grouting in tunnels
- Sprayed Concrete
- High early strength, high workability concrete
- To disperse MasterRoc micro-cements for injection applications
- Underwater concrete
- Structural concrete

FEATURES AND BENEFITS

- Provides high early and ultimate strengths
- Allows the improvement of all hardened concrete properties such as permeability, bond to steel, dimensional stability and durability
- Chloride free (zero added chloride)

CEMENT INJECTION

MasterRheobuild 2000PF has been found to be particularly beneficial in dispersing the MasterRoc[®] micro-cements to allow enhanced penetration properties. In these applications MasterRheobuild 2000PF should be dosed at 1.5 – 2% on cement weight, with a water/cement ratio of 1. This will provide a stable mixture able to penetrate the finest groundmass cracks.

DOSAGE

MasterRheobuild 2000PF is generally dosed at 1.5 – 2.0 litres per 100 kg of cement.

The dosage rates given above are for typical usages, they are not meant as absolute limits, as other dosages may be utilised in special cases according to specific job conditions. If required consult Master Builders Solutions Technical Services Department for advice. Trial mixes should be carried out to ensure optimum dosage and effect.

MIXING

- Fill the mixer with water.
- Add MasterRheobuild 2000PF.
- Add cement. Mix for 2 minutes.
- Transfer to agitator.

COMPATIBILITY

MasterRheobuild 2000PF is compatible with all types of Portland, Pozzolanic and Slag cements. As a general rule, MasterRheobuild 2000PF is compatible with all admixtures complying with ASTM and UNI standards. Other admixtures should be dispensed separately into the concrete and not combined with MasterRheobuild 2000PF before addition.

Do not use MasterRheobuild 2000PF with the MasterRoc[®] Total Consistency Control system without consulting your local representative.

PACKAGING

MasterRheobuild 2000PF is supplied in 1000-litre IBC's and 25-litre containers.

MasterRheobuild 2000PF

Superplasticizer for high performance concrete and a dispersing agent for MasterRoc[®] micro-cements for ground injection

CONTACT DETAILS

Master Builders Solutions Hong Kong Limited

Unit 2, 20/F, EW International Tower,
 120-124 Texaco Road, Tsuen Wan,
 Hong Kong
 Tel: +852 2408 4400
 Fax +852 2408 4401
www.master-builders-solutions.com/en-hk

Product Data	
Appearance:	Brown liquid
Specific gravity @ 20°C:	1.24 ± 0.01 g/cm ³
pH-value:	8.0 ± 1
Solubility in water:	Total
Physiological effect	No- irritant
Logistics	
Shelf life:	12 months if stored according to manufacturer's instructions in unopened container.
Storage conditions:	Store in original sealed containers and at temperatures between 5°C and 30°C. Store under cover, out of direct sunlight and protect from extremes of temperature. Failure to comply with the recommended storage conditions may result in premature deterioration of the product or packaging.
Handling and transportation:	Refer to MasterRheobuild 2000PF Safety Data Sheet
Disposal:	Refer to MasterRheobuild 2000PF Safety Data Sheet

MasterRheobuild 2000PF

Superplasticizer for high performance concrete and a dispersing agent for MasterRoc® micro-cements for ground injection

Health and Safety

*For full information on Health and Safety matters regarding this product the relevant Health and Safety Data Sheet should be consulted.

The following general comments apply to all products.

As with all chemical products, care should be taken during use and storage to avoid contact with eyes, mouth, skin and foodstuffs, (which may also be tainted with vapour until the product is fully cured and dried). Treat splashes to eyes and skin immediately. If accidentally ingested, seek medical attention. Keep away from children and animals. Reseal containers after use.

Spillage

Chemical products can cause damage; clean spillage immediately.

DISCLAIMER

"Master Builders Solutions" (the Company) endeavours to ensure that advice and information given in Product Data Sheets, Method Statements and Material Safety Data Sheets (all known as Product Literature) is accurate and correct. However, the Company has no control over the selection of its products for particular applications. It is important that any prospective customer, user or specifier, satisfies him/her-self that the product is suitable for the specific application. In this process, due regard should be taken of the nature and composition of the background/base and the ambient conditions both at the time of laying/applying/installing the material and when the completed work is to be brought into use.

Accordingly, no liability will be accepted by the Company for the selection, by others, of a product, which is inappropriate to a particular application.

Products are sold subject to the Company's standard conditions of sale and all customers, users and specifiers, should ensure that they examine the Company's latest Product Literature.

MasterRoc SA 166

Aug. 2021 erst. Juni 2018

Alkalifri, flytende akselerator for sprøytebetong med ekstremt høy tidligfasthet

BESKRIVELSE AV PRODUKTET

MasterRoc SA 166 er en alkalifri, høyeffektiv akselerator for sprøytebetong. Doseringen kan justeres til ønsket avbindings- og herdetid.

BRUKSOMRÅDER

- Midlertidig og permanent fjellsikring i tunneler og gruver
- Stabilisering av skråninger
- Kan også brukes til å akselerere sementbaserte mørtler, som benyttes for eksempel ved bakfylling i TBM-tunneler, sementinjeksjon i bakken og skumbetong.

PRODUKTENS KAPASITETER

MasterRoc SA 166 er spesielt godt egnet til våtsprøyting av betong ved fjellsikring:

- Raskere avbinding gir raskere fremdrift og mulighet til å lage tykkere konstruksjoner gjennom lagvis oppbygning i én arbeidsgang.
- Den unike formuleringen gir rask avbinding, kontinuerlig økning av tidligfastheten, god bestandighet og sluttfasthet.
- Lav støvproduksjon under bruk gir godt arbeidsmiljø.
- Muliggjør påføring med mindre prelltap ved korrekt avstand og vinkel på munnstykket.
- Ikke-aggressive egenskaper gir forbedret arbeids-sikkerhet, redusert miljøpåvirkning og lavere håndteringskostnader.

Tekniske Data	
Form	Løsning
Farge	Klar, gyllen
Relativ densitet (g/ml, + 20 °C)	1,33±0,03
pH-verdi (oppløst i vann 1:1)	3,0 ± 0,5
Viskositet (mPas, +20 °C,	Ca. 55
Termisk stabilitet	+5°C til +35°C
Kloridinnhold (%)	< 0,1
Ekvivalent alkaliinnhold (%) (Na ₂ O, EN 480/12)	< 1,0

BEARBEIDING

Underlaget skal være rent og fritt for løse partikler og helst være fritt for fukt.

Det anbefales å bruke kun fersk sement fordi alderen på sementen kan påvirke blandingens bindingsegenskaper.

MasterRoc SA 166 er lite påvirket av sementtypen. Ved enkelte typer sement kan det imidlertid være nødvendig med høyere dosering for å få en rask avbinding. Vi anbefaler bruk av portlandsement (PC/HPC), som ofte gir raskere avbinding enn blandings- eller sulfatresistente sementtyper. MasterRoc SA 166 virker imidlertid også bra med komposittsementer (blandingssementer, flyveaske/slagg). Under alle omstendigheter er forberedende tester sterkt å anbefale for å kontrollere avbindingstid og fasthet etter 24 timer hos sementtypene som skal brukes i et prosjekt.

Avbindingstid og fasthet etter 24 timer bør testes ut i en mørtel i henhold til EFNARC Europeisk spesifikasjon for sprøytebetong (European Specification for Sprayed Concrete) (1996), Vedlegg 1, punkt 6.3.

Følgende resultater er kun veiledende:

Avbinding start	Avbinding Slutt	24 t. fasthet	Ytelse
< 2 min.	6 min.	< 15 N/mm ²	God
2-5 min.	8-13 min.	10-15 N/mm ²	OK
> 5 min.	> 15 min.	< 10 N/mm ²	Dårlig

BETONBLANDING

Når MasterRoc SA 166 brukes til våtsprøyting, skal v/c+b-tallet ligge under 0,5 og helst under 0,45. Når målet er ekstremt høy tidligfasthet, anbefales det å ligge på 0,40 eller lavere. Lavere tall gir raskere avbinding, høyere tidligfasthet, forbedret bestandighet, lavere dosering av akseleratoren og tykkere lag kan legges «over hodet».

For å maksimere effekten (og dermed også ytelsen) tilsettes alkaliefrie akseleratorer (AFA) i den våte betongstrømmen i munnstykket ved hjelp av doble trykkluft-/AFA-rør til sprøytemunnstykket.

MasterRoc SA 166

Aug. 2021 erst. Juni 2018

Alkalifri, flytende akselerator for sprøytebetong med ekstremt høy tidligfasthet

DOSERINGSYSTEM

MasterRoc SA 166 tilsettes i munnstykket For å sikre en konstant og nøyaktig dosering av akseleratoren til betongstrømmen og få en høykvalitetsbetong, er det avgjørende å følge retningslinjene for pumper under:

Fungerer godt med:

- Monopumper (stator- og rotorpumper)
- Slangepumper (Bredel)

Bør ikke brukes med:

- Stempelpumper
- Alle pumper med kuleventiler
- Trykktanker
- Tannhjulspumper

Bruk ikke filter i sugeslangen siden dette forårsaker tilstoppinger. Helst skal materialet suges opp fra bunnen av fatet/beholderen.

KOMPATIBILITET MED ANDRE AKSELERATORER

MasterRoc SA 166 kan byttes ut med de fleste av Master Builders Solutions alkalifrie akseleratorer. Kontakt din lokale Master Builders Solutions-representant for rådgivning.

MasterRoc SA 166 skal ikke blandes med andre typer alkaliefrie akseleratorer. Dette kan føre til umiddelbar tilstopping av doseringspumper og slanger.

DOSERINGSYSTEM

Forbruket av MasterRoc SA 166 avhenger også av v/c-tallet, temperaturforhold (betong og omgivelser), sementens reaktivitet og kravene til tykkelse på lagene, avbindingstid og tidligfasthet. Forbruket av MasterRoc SA 166 ligger normalt innenfor intervallet 3 til 8 % av binde-middelsvekten.

Overdosering (> 10 %) kan resultere i redusert sluttfasthet.

Master Builders Solutions Norway AS

Gullfotdalen 4
NO-2120 Sagstua
T +47 62 97 00 20
www.master-builders-solutions.no

Teknisk informasjon og arbeidsanvisning er overlevert av Master Builders Solutions Norway AS med det formål å hjelpe brukeren til å få det best mulige og mest økonomiske resultatet. Våre anvisninger er basert på mange års erfaring og på våre nåværende kunnskaper. Fordi arbeidsforholdene hos brukeren ligger utenfor vår kontroll, kan vi ikke påta oss ansvar for resultatene som en bruker oppnår ved bruk av dette produktet. Det påligger alltid brukeren å ta de nødvendige forholdsregler i det aktuelle tilfellet for å overholde gjeldende regler. Hvis det oppstår tvil om produktets egenskaper eller bruk, skal Master Builders Solutions Norway AS kontaktes umiddelbart.

NB Fordi alle våre datablader oppdateres løpende, er det brukerens ansvar å skaffe seg siste versjon.

RENGJØRING AV DOSERINGSUTSTYRET

Etter bruk av MasterRoc SA 166 må doseringspumpen og andre deler av doseringssystemet rengjøres grundig med store mengder vann. Manglende rengjøring gjør at doseringssystemet blir tett til neste gangs bruk. Sørg for at alle operatører som er involvert i testing og bruk er grundig informert om dette.

EMBALALSJE

MasterRoc SA 166 leveres i 200 liters fat, 1000 liters palletank eller bulk.

LAGRING

- Oppbevares ved min. +5 °C og maks. + 35 °C (optimal temperatur for lagring og ytelse er +20 °C).
- Oppbevares i lukkede beholdere av plast, glassfiber eller rustfritt stål.
- Skal ikke lagres i vanlige stålbeholdere.
- Oppbevaring i bulkbeholdere krever bruk av omrørings- og/eller sirkulasjonssystemer.
- Etter langvarig lagring anbefaler vi fullstendig omrøring, enten mekanisk eller med sirkulasjonspumpe.
- Dersom produktet oppbevares i tett lukkede beholdere under forhold som anbefalt over, kan det lagres i opp til 6 måneder. Regelmessig omrøring kan forlenge holdbarheten ytterligere.
- Kontakt din lokale Master Builders Solutions-representant før bruk av et produkt som har vært utsatt for frost.
- Etter langvarig lagring bør produktet testes før bruk.

SIKKERHETSTILTAK

De samme sikkerhetstiltak gjelder som ved håndtering og bruk av sementholdige produkter.

Unngå kontakt med øyne og hud og bruk gummihansker og vernebriller. Ved eventuell kontakt, vask med rikelig med vann. Får man produktet i øynene, oppsøk lege.

For ytterligere informasjon se sikkerhetsdatabladet eller kontakt din lokale Master Builders Solutions-representant.

Mapequick AF-2000

Akselerator for sprøytebetong



PRODUKTBESKRIVELSE

Mapequick AF-2000 er en alkalifri lettflytende akselerator for sprøytebetong.

Mapequick AF-2000 gir hurtig størkning i mørtel og betong. Benyttes i sprøytebetong i forbindelse med tette- og sikringsarbeider.

Mapequick AF-2000 benyttes der man ønsker høy tidligfasthet, høy sluttfasthet og hvor fare for alkalireaksjoner skal reduseres.

BRUKSOMRÅDE

Mapequick AF-2000 tilsettes uforynnet i munnstykket.

Doseringsutstyr og pumper må være i syrefast materiale. Ved lengre stopp i arbeidet anbefales det at utstyret rengjøres med vann.

EGENSKAPER

Mapequick AF-2000 har følgende egenskaper ved fjellsikring:

- Rask fasthetsutvikling gir god arbeidssikring og økt fremdrift.
- Gir ikke redusert sluttfasthet.
- Akseleratoren er meget godt egnet ved sprøyting på fjelloverflater med vannlekkasjer. Vannlekkasjen vil normalt dreneres gjennom en kanal og ikke resultere i utfall eller redusert betongkvalitet rundt lekkasjepunktet.

- Mulig å sprøyte tykke påslag.
- Redusert prelltap og støv.
- Fester (bygger) ikke på armering ved sprøyting av flere lag i armerte konstruksjoner.

ANBEFALING

Mapequick AF-2000 kan ikke blandes med alkaliske sprøyteakseleratorer. Ved skifte fra en akseleratortype til en annen, må hele doseringsutstyret rengjøres godt med vann.

Ved krav til høy tidligfasthet skal akseleratoren ha en temperatur på over +20°C. Betongtemperaturen bør også være over +20°C.

DOSERING

Mapequick AF-2000 tilsettes uforynnet i munnstykket. Normal dosering vil være 5 - 10% av sementvekt.

EMBALLASJE

Mapequick AF-2000 leveres i 200 liters plastfat, 1000 liters IBC-container og tank.

LAGRING

Lagret frostfritt og i uåpnet original-emballasje, forandres ikke bruksverdien de første 3 månedene.

TEKNISKE DATA (typiske verdier)	
PRODUKTBESKRIVELSE	
Form:	væske
Farge:	grå transparent
Viskositet (cP):	60 ± 5
Tyngdetetthet, kg/m ³ :	1400 ± 35
pH (ISO 4316):	1,5 - 3,0
Klorid løselig i vann iht. (EN 480-10) (%):	0,05
Alkalieinnhold (tilsvarende Na ₂ O) iht. EN480-12 (%):	≤ 1,0

SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

For instruksjon vedrørende sikker håndtering av våre produkter, vennligst se siste utgave av sikkerhetsdatablad på vår nettside www.mapei.no

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK.

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktet. All ovenstående informasjon må likevel bli betraktet som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt, eller ved feilaktig utførelse.

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på www.mapei.no

JURIDISK MERKNAD

Innholdet i dette tekniske databladet kan kopieres til andre prosjektrelaterte dokumenter, men det endelige dokumentet må ikke suppleres eller erstatte betingelsene i det tekniske datablad, som er gjeldende, når MAPEI-produktet benyttes. Det seneste oppdaterte datablad er tilgjengelig på hjemmesiden www.mapei.no ENHVER ENDRING AV ORDLYDEN ELLER BETINGELSER, SOM ER GITT ELLER AVLEDET FRA DETTE TEKNISKE DATABLADET, MEDFØRER AT MAPEI SITT ANSVAR OPPHØRER.

Alle referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel og på vår hjemmeside www.mapei.no



BUILDING THE FUTURE

Master X-Seed 100

Feb. 2022 erst. okt. 2019

Brukes som herdningsakselerator der det er behov for høy tidligfasthet

BRUK

MasterX-Seed 100 er et bruksklart, flytende tilsetningsstoff som tilsettes betongen under blandedeprosessen. For å sikre homogen dispersjon skal man bruke tilstrekkelig blandetid.

PRODUKTBESKRIVELSE

Master X-Seed 100 er en nyutviklet suspensjon av aktive nanopartikler designet til å fremme hydratiseringsprosessen i tidlig fase (6-12 timer).

Konseptet er basert på en enestående og innovativ krystaldannelsesteknologi, som gir kraftig akselerert dannelse av kalsiumsilikathydrater.

Master X-Seed 100 fremmer betongherdingen ved både lave og høye herdingstemperaturer. I motsetning til tradisjonelle akselereringsmetoder og ved hjelp av en unik reaksjonsprosess - en virtuell, barrierefri krystaldannelse mellom sementkornene - akselereres den tidlige styrkeutviklingen samtidig med at den endelige mikrostrukturen oppnår tilsvarende eller forbedrede egenskaper.

CRYSTAL-SPEED HARDENING

MasterX-Seed 100 er den helt avgjørende komponenten i Master Builders Solutions konsept Crystal Speed Hardening.

Konseptet med Crystal Speed Hardening representerer den verdikning som tilbys i Master X-Seed's enestående krystaldannelsesteknologi:

- Effektive produksjonsprosesser
- Energireduksjon
- Materialoptimering
- Høye kvalitetskrav

Konseptet imøtekommer nøkkelkrav i byggebransjen og har styrke til å overgå alle andre nåværende løsninger. Konseptet er spesielt utviklet for å bidra til å imøtekomme byggebransjens krav til bærekraft.

BRUKSOMRÅDER:

Master X-Seed 100 kan brukes til alle typer betong og er særdeles velegnet til produksjon av betongelementer, der høy tidlig styrkeutvikling er det avgjørende

suksesskriteriet. Master X-Seed 100 er et anvendelig alternativ til varmeharding, og den kraftige akselereringen av hydratiseringen understøtter bruk av mindre rene sementtyper som bindemiddel.

Master X-Seed 100 kan brukes til alle typer betong og er meget velegnet til produksjon av ferdigbetong og betongelementer.

FORDELER OG EGENSKAPER:

Master X-SEED 100 tilbyr følgende fordeler:

- Tidlig styrkeutvikling ved lave, høye og stabile herdingstemperaturer
- Fleksibel tilpasning av produksjonskapasiteten
- Økt antall produksjonszykluser pr. dag (dobbel eller tredobbel rotasjon)
- Bedre utnyttelse av former ved tidligere avforming
- Reduksjon/eliminering av varmeharding
- Muliggjør reduksjon av sementinnholdet
- Optimering av bindemiddel gjennom bruk av mindre rene sementtyper eller økt bruk av supplerende sementlignende materialer (kalkstein, flygeaske, slagge, osv.)
- Lav risiko for forsinket ettringittdannelse
- Redusert vannabsorbering
- Forbedrede holdbarhetsegenskaper for betong
- Miljømessige forbedringer ved produksjon og av ferdige produkter gjennom reduserte CO₂-utslipp

DOSERING

Den anbefalte doseringsmengden er 2-4 % i forhold til sementmengden. Under spesielle forhold kan andre doseringsmengder brukes. Kontakt våre tekniske konsulenter for rådgivning.

Tekniske data	
Chloridinnhold:	< 0,01 %
Ækvivalent Na ₂ O	<4,0%
Ph-værdi	11,0±1,0
Tørrstoff:	22,0 ±1,1%
Densitet:	1,14±0,03 kg/ltr.
Farge	Hvid

Master X-Seed 100

Brukes som herdningsakselerator der det er behov for høy tidligfasthet

KOMPATIBILITET

Master X-Seed 100 er kompatibel med alle Master Builders Solutions-teknologier som f.eks. ZERO ENERGY SYSTEM™ OG SMART DYNAMIC CONCRETE™:

- MasterGlenium – høytstående superplastifiseringsmidler til reodynamisk teknologi
- MasterMatrix viskositetsmodifiserende middel for robust, selvkompakterende betong
- MasterAir luftinnblandingsmiddel for forbedret frostbestandighet
- MasterFinish formoljer for enkel avforming og estetisk overflatefinish.

LEVERING

210 liter fat tank.

OPBEVARING

Master X-Seed 100 skal oppbevares ved minimum +5 °C. Ved oppbevaring i lukket emballasje i den foreskrevne temperaturen, er holdbarheten 9 måneder. Produktet krever omrøring. Må beskyttes mot frost! Hvis produktet har vært frosset, skal det varmes opp og røres opp igjen før bruk.


HÅNDTERING OG TRANSPORT:

Det er ingen spesielle krav som skal overholdes ved bruk av produktet. Det anbefales å bruke beskyttelseshansker og -briller. Unngå røyking og inntak av mat og drikkevarer når produktet brukes.

Master X-Seed 100 er giftfri og verken lokalirriterende eller brennbar, og det er ingen spesielle krav til transport.

ARBEIDSMILJØ

Se særskilt sikkerhetsdatablad/bruksanvisning.

	
10	
Master Builders Solutions Norway AS Gullfotdalen 4, NO-2120 Sagstua	
Ytelseserklæring Master X-Seed 100	
NS-EN 934-2: 2009+A1:2012: T7	
1111	
Herdningsaksellererende tilsetningsstoff	
Maksimum kloridinnhold:	<0,01%
Maksimum alkalieinnhold:	<4,0%
Korrosjon	Inneholder kun komponenter fra EN 934-1:2008, Annex A.1.
Trykkfasthet:	Oppfylt
Luftinnhold:	Oppfylt
Helseskadelige bestanddeler:	Ingen
www.master-builders-solutions.com	

Master X-Seed 100

Brukes som herdningsakselerator der det er behov for høy tidligfasthet



Tildelt EFCA EQ miljøkvalitetsmärke.

Master Builders Solutions Norway AS

Gullfotdalen 4

NO-2120 Sagstua

T +47 62 97 00 20

www.master-builders-solutions.com

NOTE: Teknisk informasjon og arbeidsanvisning er overlevert av Master Builders Solutions Norway AS med det formål å hjelpe brukeren til å få det best mulige og mest økonomiske resultatet. Våre anvisninger er basert på mange års erfaring og på våre nåværende kunnskaper. Fordi arbeidsforholdene hos brukeren ligger utenfor vår kontroll, kan vi ikke påta oss ansvar for resultatene som en bruker oppnår ved bruk av dette produktet. Det påligger alltid brukeren å ta de nødvendige forholdsregler i det aktuelle tilfellet for å overholde gjeldende regler. Hvis det oppstår tvil om produktets NB Fordi alle våre datablader oppdateres løpende, er det brukerens ansvar å skaffe seg siste versjon. egenskaper eller bruk, skal Master Builders Solutions Norway AS kontaktes umiddelbart.

