

Nedbryting av sprøytebetong i E39 Hopstunnelen og Nesttuntunnelen

Arnhild Fjose

Master i veg og jernbane

Innlevert: mars 2015

Hovedveileder: Mette Rica Geiker, KT

Medveileder: Per Hagelia, Statens vegvesen vegdirektoratet

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk

Innhald

Føreord	5
Samandrag	7
Summary	9
1 Innleiing.	11
1.1 Bakgrunn for oppgåva	11
1.2 Føremål og omfang.....	14
1.3 Framgangsmåte.....	14
1.4 Avgrensingar	15
2 Kva er sprøytebetong for bergsikring og kva er problemet?.....	17
2.1 Kva er sprøytebetong for bergsikring?	17
2.2 Problemstilling med sprøytebetong	18
3 Nedbrytingsmekanismar i sprøytebetong.....	21
3.1 Nedbrytingsmekanismar	21
3.2 Karbonatisering	22
3.3 Sulfatangrep/ syreangrep	23
3.4 Biologisk aktivitet.....	24
4 Klassifisering og referansedata	27
4.1 Klassifisering av tunnelar	27
4.1.1 Handbok N500 Vegtunneler.....	27
4.1.2 NS-EN 206:2013 + NA:2014 Betong. Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar.....	28
4.1.3 NS-EN 14487-1:2005 +NA:2012 Sprøytebetong. Del 1: Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar.....	33
4.1.4 Handbok R761 – prosesskode 1.....	33
4.1.5 Norsk betongforening: Publikasjon nr. 7. Sprøytebetong for bergsikring, 2011. 33	
4.2 Referansedata.....	34
4.2.1 Geologi	35
4.2.2 Vasskjemi og pH-verdi.....	36
4.2.3 Relativ luftfuktigheit	37
4.2.4 Trykkstyrke	37
4.2.5 Karbonatisering	40
4.2.6 Fibertelling	41
4.2.7 PF- avgrensa metode og strukturanalyse med fluorescencemikroskopi	42
5 Undersøkingismetodar.....	45

5.1	Feltundersøking	45
5.1.1	Ikkje destruktive metodar.....	45
5.1.2	Destruktiv metode	46
5.2	Laboratorieundersøking.....	46
5.2.1	Vassprøve	46
5.2.2	Røntgendiffraksjon (XRD).....	46
5.2.3	Scanning Elektron mikroskopiering (SEM).....	46
5.2.4	Testing av trykkstyrke	47
5.2.5	Karbonatisering	47
5.2.6	Fibertelling	47
5.2.7	PF-avgrensa metode	48
5.2.8	Tynnslip.....	49
5.2.9	Strukturanalyse med fluoresencemikroskopi	49
5.3	Undersøkingssomfang	50
6	Resultat.....	53
6.1	Geologi i Nesttun- og Hopstunnelen	54
6.2	Lokalitet i Nesttuntunnelen, N-170	55
6.3	Lokalitetane i Hopstunnelen, H-207 og H-620	56
6.3.1	Lokalitet H-207	57
6.3.2	Lokalitet H-620	59
6.4	Vassprøvar	60
6.5	pH	62
6.6	Relativ luftfuktigheit og lufttemperatur.....	63
6.7	Røntgendiffraksjon (XRD).....	63
6.8	Scanning Elektron mikroskopiering (SEM)	64
6.8.1	Resultat frå overflatematerialet	64
6.8.2	Resultat frå mikroskopiering av tynnslip.	67
6.9	Trykkstyrke.....	72
6.10	Karbonatisering.....	73
6.11	Fibertelling	74
6.12	PF- avgrensa metode.....	75
6.13	Strukturanalyse med fluoresencemikroskopi.....	76
7	Diskusjon.....	77
8	Konklusjon	83
8.1	Konklusjon Nesttuntunnelen	83
8.2	Konklusjon Hopstunnelen	83
9	Tiltak framover.....	85

10	Referanseliste	87
11	Vedlegg	91

Føreord

Denne masteroppgåva er utført ved NTNU, hausten 2014/våren 2015.

Oppgåva er gjennomført i samhandling med Statens vegvesen, med Per Hagelia frå Vegdirektoratet som lokal vegleiar. Per Hagelia har vore til stor inspirasjon og hjelp spesielt ved gjennomføring av røntgenanalysar og mikroskopering, samt ved analysar av vasskjemi. Han har ausa av sin kunnskap, opna dører, tilrettelagt og gitt tilbakemeldingar – tusen takk!

Takk til hovudvegleiar ved NTNU, Mette Geiker for gode og konkrete råd, konstruktive innspel og ryddige tilbakemeldingar.

Vidare må Momodou Jobarteh og Tor Drevsjø takkast for netter med prøveuttaking og tilrettelegging frå laboratoriet i region vest. De er to underhaldande og greie karar. Takk også til gjengen på sentrallaboratoriet i region aust – Bente Mc Gonnell, Trond Lorentzen og Knut Bernt Kjuul – minnerike og lærerike dagar der.

Ingunn Hindenes Thorseth fortener ein takk for at ho tok i mot meg, hjelpte ved SEM-mikroskoperinga på Universitetet i Bergen og tilrettela for lån av polarisasjonsmikroskop samt for ein enorm velvilje. Eg tek gjerne kontakt igjen og mikroskoperar vidare.

Takk til firmaet Eurofins, som var velvillige til å låne ut prøveutstyr. Takk til Arne Snemyr som engasjert har leita og leita etter reseptar og delt av sin kunnskap og sitt minne. Takk til entreprenørfirmaet Mesta ved Ivar Magne Haugo som tok i mot meg i tunnelane og viste at alt er mogleg.

Takk til kollegaane på E39 Svevatjørn – Rådal, som tolmodig har svart på spørsmål og hatt ein student/kollega i gangen som har vandra fritt! Takk til Statens vegvesen for oppretting av studiet og tilrettelegging. No startar kvardagen og spenninga med nytt anlegg.

Til slutt takk til familien, som tolmodig har venta på at mor skal bli ferdig. Dette har vart uendeleg lenge i ein 3åring og 7 åring sine liv. Endeleg.

Bergen, 27.03.2015

Arnhild Fjose

Omslagsfoto: Foto av overgangssona i tynnslipet frå Hopstunnelen.

Samandrag

Hopstunnelen og Nesttunnelen på E39 like sør for Bergen sentrum, er 2 tunnelar som opna for trafikk i 2002. Tunnelane er landtunnelar med to-vegs trafikk i 1 løp. Dei går gjennom berg av gneis og skifer og er kledd med vass- og frostsikring av brannsikra PE-skum i hengen og veggelement av betong. Berget er sikra med boltar og gjennomsnittleg 5-6cm sprøytebetong.

Sprøytebetongen nytta som bergsikring er undersøkt for eventuell nedbryting. Tradisjonelle betongtestar som testing av trykkstyrke, fibertelling, karbonatisering og porøsitet er føretatt. I tillegg er mikroskopering både av overflatematerialet og tynnslip, samt røntgen av overflatematerialet utført. Det er også gjennomført ikkje-destruktive metodar som uttak av vassprøvar, pH-testing og måling av relativ luftfuktigheit i og ved lokalitetane.

Resultata frå Nesttunnelen og Hopstunnelen er samanlikna med resultat av tilstandskartlegging frå andre rapportar og doktorgrad, utført på oppdrag for Statens vegvesen.

Det er også gjort vurderingar i forhold til gjeldande standardar og handbøker med tanke på sprøytebetong. Her er påpeika manglande «regelverk» i høve til betong som vert påverka av rennande vatn samt påverknad ved fordamping og kondensering av vatn.

Resultatet av prøvane viser at sprøytebetongen generelt er i god stand i tunnelane. I lokaliteten i Nesttunnelen er betongen utsett for karbonatisering. Dette går i størrelsesorden 0,2-3mm inn i sprøytebetongen. Dette er ikkje vurdert som kritisk for levetida og det ventast at 100 års levetid kan nåast.

I Hopstunnelen er det undersøkt to lokalitetar. Det er funne mikroorganismar i eine lokaliteten og mistanke om at det også kan finnast i den andre. Ut frå detektering og bileter frå scanning elektron mikroskop er det truleg snakk om *Leptothrix Ochracea*, ein autotrof bakterie som lever på jern frå betongen og karbon frå lufta. Bakterien produserar syre som kan påverke betongen. Konsentrasjonen av syre i vassprøven frå lokaliteten er så låg at påverknaden på betongen er liten. Mikroskopering av tynnslip syner at påverknaden går ca. 1 mm inn i betongen. Dette tyder på at betongen mest truleg vil kunne oppnå ei levetid på 100 år. Dette er dog noko usikkert, utfrå usikkerheita med kva som vil skje vidare med bakteriane.

Det er også føreteke nokre vurderingar om det er tiltak som kunne vore gjort i byggefasen for å hindre nedbrytingsmekanismane som er til stades. Resultatet er kontroll med akseleratordosering for å lage ein minst mogleg porøs betong. Vurderingar rundt forlenging av levetid er kome fram til at det mest truleg ikkje er nødvendig å gjere noko meir enn å fylgje med på utviklinga i tunnelane.

Summary

The Hops-tunnel and Nesttun-tunnel on E39 south of Bergen city center opened to traffic in 2002. The tunnels are rock-tunnels above sea-level with two-way traffic in one tube. The geology of the tunnels is gneiss and schist. The tunnels are covered with linings made of fire-assured PE-foam and concrete-elements. For rock-support is used bolts and 5-6 cm sprayed concrete.

Sprayed concrete used for rock support is examined for any deterioration. Traditional concrete testes as compressive strength, fiber-counting, carbonation and porosity is carried out. Microscopy of both surface material and thin-sections, X-ray of surface material has also been carried out. Some non-destructive test like water sampling, pH-testing and measurement of relative humidity in and by the locations has been carried out.

The results from the Nesttun-tunnel and the Hops-tunnel are also compared to other results from reports about sprayed concrete conditions, commissioned by the Norwegian Public Road Administration (NPRA).

It is also made an assessment of standards and NPRA's handbooks in relation to sprayed concrete for rock support. Lack of "rules" in relation to water flowing on the sprayed concrete and concrete under influence by evaporation and condensation is also discussed.

Results have shown that the sprayed concrete is generally in good condition. Carbonation is the main influence in the Nesttun-tunnel and this range 0,2 – 3 mm into the sprayed concrete. The carbonation is not considered as critical and it is expected that the lifetime of 100 years may be reached.

Two locations have been examined in the Hops-tunnel. In one of the locations there have been found bacteria and in the other location it is suspected there might be. From detection and image from scanning electron microscope, the bacteria are probably *Leptothrix Ochracea*, an autotroph bacteria living of iron from the concrete and carbon from the air. The bacteria are suspected to produce acids that can affect the concrete. The acid-concentration in the water-sample from the location is so low, that there might be slightly influence on the concrete. Microscoping thin-section shows that the influenced area ranges about 1 mm into the concrete. This shows that the concrete probably will be able to reach a lifetime of 100 years, but there are some uncertainties, in what will happen further. Will other bacteria come and provide more acids?

Some thoughts have been made about what could have been done during construction and what can be done further. During the construction control of accelerator dosage is relevant. Prolonging lifespan is probably not necessary except for monitoring the trends in the tunnels.

1 Innleiing.

1.1 Bakgrunn for oppgåva

Ved bygging av tunnel er det fleire lover, føreskrifter, retningslinjer og handbøker som må takast omsyn til. Likevel har ein fått avisoppslag som Foto 1.1 viser. Kvifor?



Foto 1.1: Utklipp frå media etter nedfall i tunnelar.

Statens vegvesen si handbok N500 Vegtunneler (Statens vegvesen, 2010) gjev føringar for planlegging og driving av vegtunnelar. Handboka seier «Bygging av tunnelar medfører et langsiktig vedlikeholdsansvar. Det er derfor nødvendig at valg av løsninger og teknisk utstyr blir gjort på bakgrunn av levetidsbetraktninger der også drift og vedlikeholdskostnader er vurdert».

I Statens vegvesen pågår det eit forskings- og utviklingsprogram kalla Varige konstruksjonar. Programmet har som hovudmål å legge til rette for at riktige materialar og produkt brukast på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjonar. Føremålet er å oppnå ynskt kvalitet, forutsigbart vedlikehald og definert levetid for ulike konstruksjonsløyser, i fyrste rekkje for bruer og tunnelar. Etatsprogrammet er delt i fleire prosjekt, der tilstandsutvikling i tunnelar er eit av dei. Innan dette prosjektet vil ein søkje kunnskap om tilstand og nedbrytingsmekanismer i tunnelar (Statens vegvesen, 2014a). Som eit ledd i dette arbeidet inngjekk Statens vegvesen kontrakt med eit konsultentselskap for å gjere tilstandsvurdering av sprøytebetongen som bergsikring i nokre utvalde tunnelar i Noreg (Statens vegvesen, 2014b).

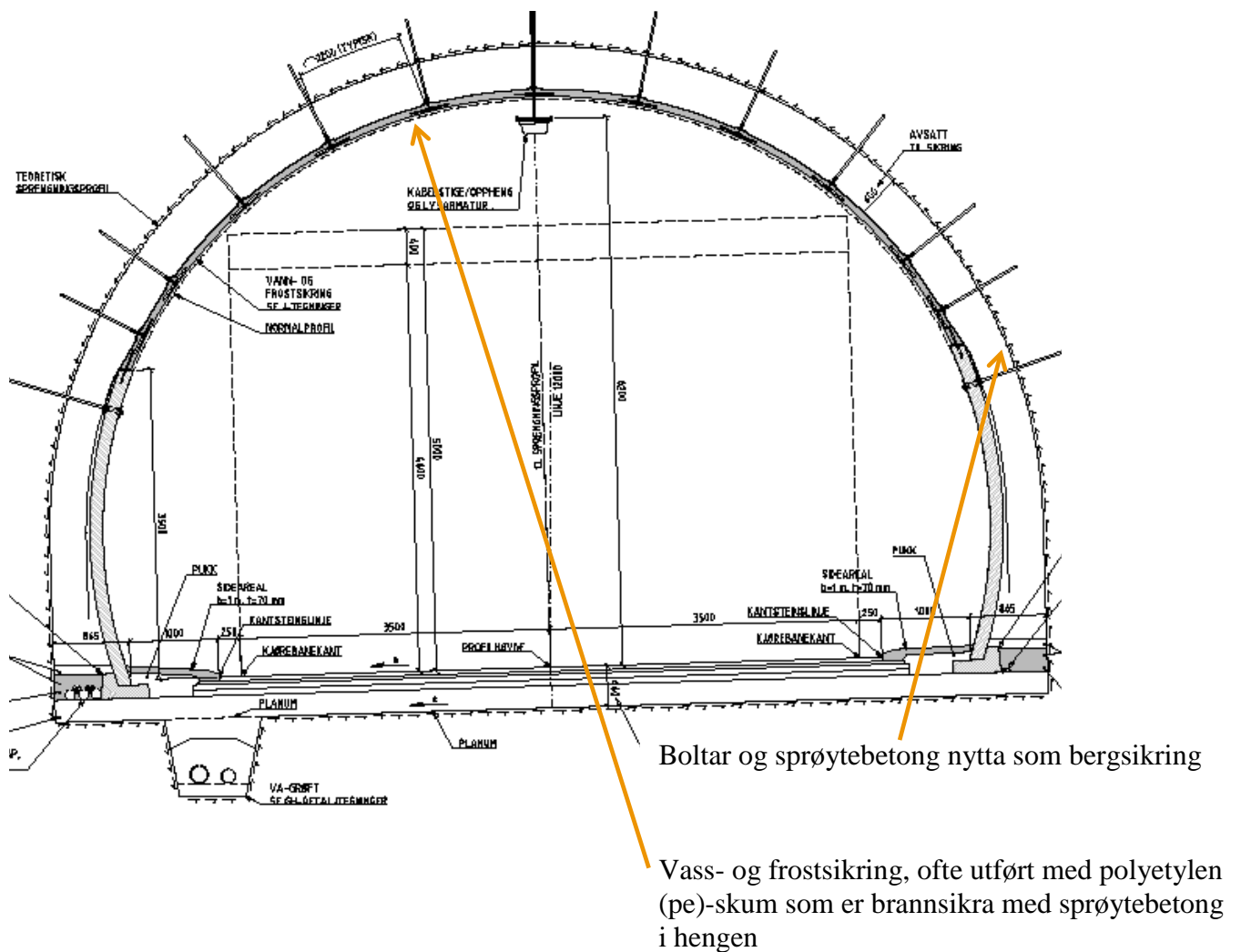
Jamfør kontrakta for Varige konstruksjonar, skulle konsulenten inn i Hopstunnelen på E39 i Bergen, men dette vart endra tidleg i kontraktsfasen. Tilfeldigvis viste det seg at Hopstunnelen og Nesttuntunnelen skulle nattestengast ein lengre periode hausten 2014, på grunn av oppgradering av det elektriske anlegget, slik kunne studenten få unik tilgang til tunnelane.

Eit tidlegare etatsprogram «Moderne vegtunnelar» sette som strategi at vegtunnelar i Noreg skulle byggast med 100års levetid for sjølve tunnelen og bergsikringskonstruksjonen (Statens vegvesen, 2012). Dette kom frå krav i NS-EN 1990:2002+NA:2008 Grunnlag for prosjektering av konstruksjonar ved at den definerar ei brukstid på 100 år, men kravet ligg pr.

dags dato ikkje inne i Statens vegvesen sine handbøker. Kravet skal likevel vere forankra i eit etatsleiar møte hjå Statens vegvesen. (Kveen, A., 2014).

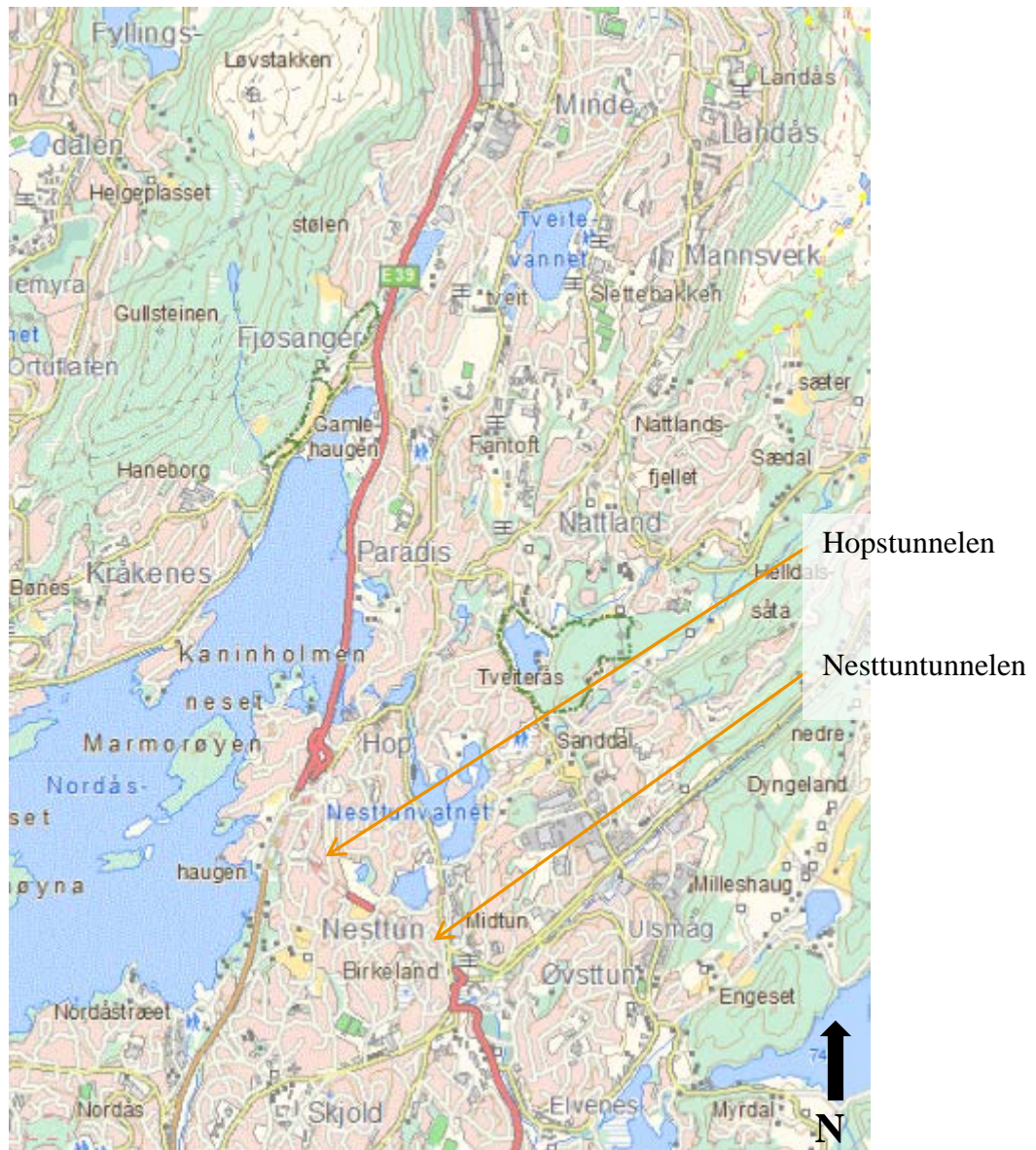
Oppgåva tek føre seg nedbryting av sprøytebetong nytta som bergsikring i tunnelar, sjå Figur 1.1. Utgangspunktet er arbeidsomfanget i konsulentoppdraget til Varige konstruksjonar, men sidan tunnelane var nattestengt over ein lengre periode, kunne synfaring utførast i fleire omgangar. Lokaltetar og prøvingsmetodar kunne også definerast etter fleire synfaringar.

Figur 1.1 Normalprofil av tunnelprofil T9,5



Hopstunnelen og Nesttuntunnelen ligg på E39 like sør for Bergen sentrum, sjå Figur 1.2. Hopstunnelen er 760m og Nesttuntunnelen er 670m og blei opna for trafikk i 2002. Tunnelane er 1 løps tunnelar med to-vegs trafikk. Trafikkmengda i opningsåret var 13.990 køyretøy med ein tungtrafikkandel på 8%. Trafikkmengda i 2014 er 19.720 og med ein tungtrafikkandel på 9,4 % (Statens vegvesen, 2014c).

Figur 1.2 Kartutsnitt over E 39 sør for Bergen sentrum, med Hops- og Nesttuntunnelen innteikna.



Det utsprengte tunnelprofil er eit såkalla T10 profil, det vil seie det er 10m breidde i køyrebanenivå. Sprengingstverrsnittet er 66m^2 . (Statens vegvesen, 2000a).

1.2 Føremål og omfang

Føremålet med oppgåva er og sjå på kva type nedbryting som skjer i ein «standard» landtunnel på Vestland og korleis tilstanden på sprøytebetongen er. Oppgåva tek spesifikt føre seg Hopstunnelen og Nesttuntunnelen på E39 i Bergen kommune.

Omfanget for oppgåva er å:

- Kartlegge tilstanden på sprøytebetong nytta som bergsikring i Hopstunnelen og Nesttuntunnelen.
- Velje ut gode lokalitetar for detaljert undersøking og diagnostisering av eventuell pågåande nedbryting. Kva har det gjort med sprøytebetongen til no, er den sterkt forringa eller er det kun kosmetisk?
- Vurdere om ein i drivefasen kunne gjennomført prøvar for å avdekke at denne mekanismen kunne oppstå? Kunne eller burde ein gjort tiltak og evt. kva tiltak?
- Vurdere tilstanden på sprøytebetongen i Hopstunnelen og Nesttuntunnelen og samanlikne tilstanden med andre norske tunnelar.
- Sjå om ein kan seie noko om forventa levetid på sprøytebetongen og tilfredsstillar det forventningane?
- Vurdere om noko kan gjerast for å forlenge levetida på den eventuelt nedbrotne sprøytebetongen?
- Reflektere over regelverket som ligg i Norske standardar, handbøker og publikasjonar, når det gjeld sprøytebetong for bergsikring.

Levetida er her definert som den tida tunnelane med sprøytebetongen for bergsikringa oppfyller den forutsette funksjonen. I oppgåva er det forutsett at levetida definerast til 60% av betongtjukkelsen er nedbroten leir-aktig.

1.3 Framgangsmåte

Oppgåva tok utgangspunkt i arbeidsteksten til konsulentoppdraget som etatsprogrammet Varige konstruksjonar har lyst ut. Dette oppdraget går ut på og føreta ei tilstandsvurdering på sprøytebetong for bergsikring i nokre utvalde tunnelar. Med dette som utgangspunkt var det føreteke synfaring i Hopstunnelen og Nesttuntunnelen og lokalitetar bestemt.

På lokalitetane pågår det ei ukjent nedbryting. For å sikre ei best mogleg karakterisering av nedbrytingsmekanismen er det viktig at ikkje lokalitetane skadast eller øydeleggast, ergo det er viktig å planlegge samt å ta ut prøvemateriale i riktig rekkefølge. Starta difor med å samle overflatebelegg samt vassprøve og gjennomførte testar av dette. Prøveprogram vart utarbeida med grunnlag i funna frå overflatematerialet. Testar vart gjennomført ved forskjellige laboratorium.

Samstundes som prøveuttak har vorte gjennomført har det vorte søkt etter dokumentasjon frå byggefasen. Det har vist seg at strukturert som-bygget-dokumentasjon eksisterar ikkje. Statens vegvesen, region Vest, har ikkje teke vare på nokon dokumentasjon formelt, så det

vesle som er funne, er tilfeldig tatt vare på av personar som arbeidde på prosjektet. I tillegg er det gjort nokre funn etter telefonsamtalar med folk som arbeidde i tunnelane. Hopstunnelen og Nesttuntunnelen er bygd av Statens vegvesen sin eigen produksjonsavdeling. Tunnelane var nokre av dei siste produksjonsavdelinga bygde og det var i denne tida ikkje vanleg å lage som-bygget-dokumentasjon.

Resultata frå dei gjennomførte testane og funna i dokumentasjon av tunnelane, samanliknast med andre utførte tilstandsvurderingar, for å søke fastslå aggressivitet og evt. gjenstående levetid. Samt om tunnelane er gjennomsnittlege eller om det pågår noko spesiell form for nedbryting.

1.4 Avgrensingar

Oppgåva tek kun føre seg sprøytebetong nytta som bergsikring og ikkje sprøytebetong nytta som brannsikring.

Under driving av Hopstunnelen og Nesttuntunnelen pågjekk det revisjon av Statens vegvesen sine handbøker og Norsk betongforening sin publikasjon nr. 7. Sidan tunnelen var driven av eigen produksjonsavdeling er det ikkje utenkjeleg at resultat og konklusjonar frå revisjonsarbeidet tilstrøymde prosjektet og medførte endring av materialkrav undervegs, før ny handbok/publikasjon var publisert. Dette kunne vore undersøkt i oppgåva, men sidan informasjonen er usikker og det ikkje fins noko «som-bygget»-dokumentasjon, er ikkje dette utført. Det er også truleg at tunnelen er bygd med 50år som forventta levetid for sprøytebetongen nytta for bergsikring. I oppgåva er det velt å fokusere på 100 års levetid, fordi dette er dagens krav

SEM-analyser (Scanning elektron mikroskopi-analyse) viser at det er forskjelleg tilslag i dei to betongane som er funne i Nesttun- og Hopstunnelen. Type tilslag utover elvetilslag og knust tilslag er ikkje vurdert.

Levetidsbegrepet kan vurderast på mange vis eventuelt som livssyklus-kostnad, dette er ikkje gjort i oppgåva. Det er heller ikkje vurdert om delar av sprøytebetongen kan skiftast ut. Ordet levetid er heller ikkje vurdert statistisk, eksempelvis oppnå levetid med minst 90% sannsyn.

2 Kva er sprøytebetong for bergsikring og kva er problemet?

2.1 Kva er sprøytebetong for bergsikring?

Vanleg støypebetong og sprøytebetong er til ei viss grad like. Det som skil betongtypane er at sprøytebetong ikkje inneheld stein og difor eigentleg er ein mørtel, største nominelle kornstorleik er vanlegvis $D < 8\text{mm}$. For å tilfredsstille krav til v/c-forholdet må sementmengda aukast, vanlegvis $450\text{-}500\text{ kg/m}^3$. Kompakteringsprosessen er heilt annleis, sidan sprøytebetongen påførast ved at den sprøytast i finfordelt form mot ei flate. I tillegg nyttast tilsetningsstoff kalla akselerator, den får sprøytebetongen til å feste seg til flata den sprøytast mot umiddelbart (Norsk betongforening, 2013). Akselerator nyttast også for å få betongen til å herde raskt. Akselerator er kjemikaliar det kan nyttast Na-Silikat (også kalla vassglas) eller alkalifri akselerator (Norsk betongforening, 2011). Akseleratormengde påverkar slutfastheita og porositeten i betongen. (Rescon Mapei, 2014).

Sement er laga av råmaterialer som hovudsakleg er basert på kalkstein som er tilsett korreksjonsmaterialar (kvarts, gips, glimmer, feltspat osv.) og malt til råmjøl. Råmjølet vert så varma opp til 1450°C før det blir bråavkjølt. Råmjølet har då forma seg til kuler som kallast klinker. Klinkeren sendast vidare til ny oppmaling, her tilsettast gips, som er med på å regulere størkinga på sementen (NTNU TKT 4215, 2009). Denne sementen utan tilsetning av flygeaske, silika eller slagge kallast portland sement eller CEM I jf. NS-EN 197-1.

I fylgje NS-EN 197-1 skal Portlandsementen bestå av: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 og mindre mengder andre materialar. Desse stoffa dannar i hovudsak fire fasar i Portland-klinkeren, sjå Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Hovudfasar i Portlandklinker.

Hovudfasar	Mineralnamn	Kjemisk sementnamn	Forkorta kjemisk sementnamn	%-vis innhald i Portlandklinkeren
Trikalsiumsilikat	Alitt	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	50-70 %
Dikalsiumsilikat	Belitt	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	15-30 %
Trikalsiumaluminat	Aluminat	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	5-10 %
Tetrakalsiumaluminoferrit	Ferritt	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5-15 %

Desse hovudfasane bidreg på forskjellige måtar i betongen. Når sement og vatn blandast skjer ein kjemisk reaksjon, kalsium-silikat-hydrat (kalla CSH) og andre sementhydratar dannast. CSH er hovudgrunnen til betongen sin trykkstyrke og permeabilitet (NTNU TKT 4215, 2009).

Oversikt over kva som skjer i hovudfasane og kva dei bidreg med:

- Trikalsiumsilikat inneheld mest kalsium og reagerar relativt raskt med vatn. Den er hovudårsaka til størking og tidlegfastheit til betongen, men den bidreg også til styrken seinare. Trikalsiumsilikat bidreg til varmeutvikling med 500kJ/kg ved full hydratisering (100 % reaksjon mellom klinker og vatn).

- Dikalsiumsilikat inneheld mindre kalk enn trikalsiumsilikat og reaksjonen med vatn går mykje seinare. Dikalsiumsilikat bidreg lite til tidlegfastheita, men er den fasen som bidreg med mest CSH pr. del reagert materiale og bidreg difor vesentleg til langtidsfastheita. Varmeutviklingen går mykje tregare enn trikalsiumsilikaten og ved full hydratisering bidreg den med 260kJ/kg.
- Trikalsiumaluminat reagerar veldig raskt med vatn. For å kontrollere at denne reaksjonen ikkje går for raskt er Portlandklinker tilsett kalsiumsulfat (gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)). Sulfatet inngår i reaksjonen mellom aluminat og vatn og danner kalsiumsulfataluminat-hydrat også kalla ettringitt ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Varmeutviklinga er kraftig 870kJ/kg. Trikalsiumaluminat er ikkje motstandsdyktig mot sulfat-løysingar og det er denne delen av sementen som har vore minimalisert for å få sulfatresistent sement.
- Tetrakalsiumaluminoferrit lagar liknande produkt som aluminaten, men reaksjonen er vesentleg tregare og den bidreg mindre til varmeutvikling, 420kJ/kg. Fargen på betongen kan justerast ved å justere forholdet mellom Al_2O_3 og Fe_2O_3 . Tetrakalsiumaluminoferrit bidreg lite til betongfastheita (NTNU TKT 4215, 2009).

Som omtalt i førre avsnitt tilsetast gips til klinkeren. Gips utset reaksjonen mellom trikalsiumaluminat og vatn, dvs. gipsen løyses opp i vatn og reagerar med trikalsiumaluminat og danner ettringitt (primær). Ettringitten legg seg på overflata av trikalsiumaluminat-korna og seinkar reaksjonshastigheita mellom vatn og trikalsiumaluminaten. Ettringitt er kun stabilt så lenge det er oppløyst gips tilstades. Dersom gipsen brukast opp konverterar ettringitten til monosulfat ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS} \cdot \text{H}_{12}$) ved at den reagerar med C_3A . Dersom betongen blir utsett for sulfat-løysing på eit seinare tidspunkt kan ettringitt formast på ny. Danning av sekundær ettringitt kan medføre intern svelletrykk i betong og dermed avskaling av overflater (NTNU TKT 4215, 2009).

2.2 Problemstilling med sprøytebetong

Dette kapittelet tek føre seg kva som er problematikken med sprøytebetong som bergsikring, kva er det som påverkar den i drivefasen og kva påverkar den i levetida.

Ved driving av tunnel er det viktig at stoffen (drivepunktet av tunnelen) får arbeida mest mogleg upåverka for å halde framdrifta. Under drivinga vurderer ein injisering av berget for å hindre at vatn lek inn i tunnelen før ein sprenger profilet. Vidare dokumenterar ein bergkvaliteten og sikrar det. Dette er ein jobb som går kontinuerleg til ein får gjennomslag av tunnelen og den er tidskritisk for framdrifta. Jf. handbok N500 Vegtunnelar føregår sikringa ved at ein vurderar bergkvaliteten og ut frå det bestemmer boltemønster og sprøytebetongtjukkelse.

Figur 1.1 viser eit normalprofil i ein tunnel. Innanfor bergsikringa monterast vass-sikring og evt. veggelement, dette avgjerast etter trafikkmengde og tunnallengde jf. hb N500. Mellom det teoretiske sprengingsprofilet og vass- og frostsikringa er det eit avgrensa rom for å kunne inspisere sprøytebetongen. I tidlegare utgåver av handboka N500, var det ikkje krav til eit inspeksjonsrom eller inspeksjonsluker.

Dei viktigaste eigenskapane til sprøytebetong som bergsikring er i fylgje Norsk betongforening (2013): Trykkfastheit, heftfastheit, bøyestrekfastheit, seigheit, haldbarheit (bestandighet) og tidlegfastheit. Når ein ser på haldbarheit av sprøytebetong bør ein skilje mellom sikringskonstruksjonen si haldbarheit og materialet si haldbarheit. Eksempelvis kan konstruksjonen bli sprengt laus frå berget eller heft til berget er dårleg pga. bergkvaliteten, mens materialet sine andre parametarar likevel kan vere intakte. Materialet si haldbarheit er i hovudsak avhengig av permeabiliteten til materialet og tjukkeleiken.

Sprøytebetongen har ei ru overflate. Ved høg akseleratordosering kan den bli porøs og føre til at vatn i berget trengjer gjennom betongen (Norsk betongforening, 2011). Sprøytebetongen har mange angrepspunkt for forskjellige typar nedbryting, det vere seg både frå framsida og baksida av betongen (Hagelia, P., 2011).

I 1974 utarbeida Norges Geotekniske Institutt (NGI) Q-systemet, som er eit klassifikasjonssystem med tanke på stabilitetssikring av bergmassar i tunnelar og bergrom. Systemet har sidan vorte oppdatert fleire gongar. Systemet bestemmer sikringsmengda ut frå bergkvaliteten (Q-verdien), spennvidde i berget og krav til sikkerheita på anlegget. (NGI,2015). I 2010 implementerte Statens vegvesen Q-verdien i handbok N500 Vegtunneler, samtidig vart sikringsmengde og sprøytebetongtjukkelsen i norske tunnelar auka. (Statens vegvesen, 2010).

Visjonen er ein sprøytebetong med levetid 100 år. Levetida på sprøytebetongen vil likevel truleg variere sidan det er forskjellig tilgang på vatn, variasjonar i bergkvalitet, aggressiviteten i grunnvatnet samt kvaliteten på sprøytebetongen.

Sprøytebetong saman med boltar er den mest nytta bergsikringsmetoden i Noreg. Ut frå krav til levetid samt samvirke mellom berg og boltar er 8 cm gjennomsnittleg minimums-tjukkelse sett som eit krav (Statens vegvesen, 2010). Tidlegare undersøkingar, rapportert i «Riktig bruk av sprøytebetong», har funne kraftig forringing av sprøytebetongen utført med tynnare lag (Statens vegvesen, 1997a). I «Riktig bruk av sprøytebetong» vart det gjennomført ei stor tilstandsvurdering av sprøytebetong. Denne antyda at tilstanden er betre enn det synsinntrykket tilsa. Etter dette har det likevel ramla ned berg og betong i trafikkrommet, kvifor? Gjer me testane riktig og gjer me dei riktige testane? Kunne me systematisert tunnelane på ein annan måte og slik fanga opp problema – eksempelvis etter tunnelklasse, marin grense, fall, ventilasjon, skjult/synleg bergsikring, bergkvalitet eller sprøytebetongtjukkelse? Klarar me ikkje målrette inspeksjonane? Gjennomførast inspeksjonane og vert inspeksjonane kvalitetssikra?

3 Nedbrytingsmekanismer i sprøytebetong

3.1 Nedbrytingsmekanismer

Nedbryting av sprøytebetong kan skje på forskjellige måtar, her fylgjer ein liten oversikt:

Armeringskorrosjon

- Kloridinntrenging: Saltar trengjer inn i betongen og inn til armering, slik at armeringa rustar (Norsk betongforening 2004).
- Karbonatisering: Karbondioksid reagerar med betongen og pH i betongen synk, kalla karbonatiseringsfronten. Karbonatiseringsfronten trengjer lengre og lengre inn i betongen og kan medføre rust av armering og avskaling av betong (Norsk Betongforening 2004).

Betongnedbryting

- Alkalireaksjon: Delar av sementen reagerar med mineralar i tilslaget eller tilsette alkaliar. I sprøytebetong kan alkaliar tilsettast i form av akselerator. Dersom det er for mykje alkali i ein betong, kan betongen sprekkje opp og smuldre (Norsk betongforening, 2013).
- Syreangrep: Syra reagerar med den basiske sementpastaen. Angrepet pågår oftast frå overflata og innover og er avhengig av betongen sin porøsitet, syrekonsentrasjon, kor vassløyseleg syra er samt syra si kontakt med betongen, (Herholdt, A.D. mfl., 1985).
- Sulfatangrep: Sulfat reagerar med sementpastaen og dannar bindingar som bind vatn og sveller, noko som kan medføre at betongen sprekkje og smuldrar opp. (Norsk betongforening 2004). Nedbryting med sulfatangrep vert omtala i eige kapittel.
- Utvasking/ utluting: Kalsiumhydroksid løyses opp i vatn og dannar eit kvitt utslag på betongoverflata, er normalt ikkje eit problem for betongen (Norsk betongforening 2004).
- Frost: Det oppstår trykk i dei vassfylte kapillærporene som medfører strekkspenning i betongen. Desse kan over tid og repetisjonar føre til oppsprekking og avskaling av betongen. (Norsk betongforening 2004).
- Mekanisk nedbryting: Betongen utsettast for laster, eksempelvis at berget set seg etter at sprøytebetong er utført (Norsk betongforening, 2013).
- Mikroorganismar: Dersom det fins vatn på betongen kan mikroorganismar oppstå og leve på betongen. Nokre bakteriar kan bryte ned betongen anten ved å ta næring frå den eller ved å produsere syrer (Hagelia, P., 2011). Nedbrytingsmekanismer med mikroorganismar blir omtalt i eige kapittel.

Alle desse nedbrytingsmekanismane er her omtala enkeltvis. Det blir straks meir komplisert når nedbrytinga av sprøytebetongen skjer i kombinasjon av desse forskjellige mekanismane.

3.2 Karbonatisering

Karbonatisering er ein kjemisk prosess der kalsiumhydroksid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, i betongen reagerar med karbondioksid (CO_2) frå lufta. Kalsiumhydroksid og karbondioksid reagerar og danner kalsitt (kalsiumkarbonat, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$). Reaksjonen skjer ved at karbondioksid diffunderar inn i betongen og reagerar. pH på ny intakt betong er venta å ligge på 12-13. Reaksjonen blir at pH'en vert redusert til ca. 9,5 og karbonatiseringa kan framstå som ein front som trengjer lengre og lengre innover i betongen. (Norsk betongforening, 2004).

Kalsitten som vert danna ved karbonatisering har eit litt mindre volum enn kalsiumhydroksiden, noko som kan medføre at mikroriss oppstår. For vanlege konstruksjonar med overdekning og armeringsjern, kan dette medføre korrosjon på armering når karbonatiseringsfronten når armeringsjernet (Norsk betongforening, 2004).

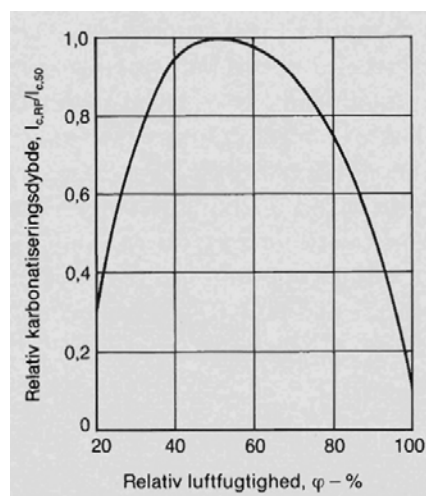
Karbonatiseringsfarten er avhengig av fuktinnhaldet i betongen, dette fordi CO_2 løyses opp i vatn og danner kolsyre H_2CO_3 . Karbonatiseringsprosessen går raskast når den relative luftfuktigheita ligg mellom 40 og 70 %, jf. Figur 3.3. Karbonatiseringsfarten aukar med temperaturen, 10 grader temperaturløysing kan gje ei dobling av farten. (Herholdt, A.D. mfl., 1985).

Karbonatiseringshastigheita kan vurderast som ein funksjon

$$y_d = \gamma_{cb} \alpha_d \sqrt{t}$$

Der y_d = karbonatiseringsdjupna, γ_{cd} = sikkerheitsfaktor, α_d = designa karbonatiseringsfart og t = tid. (JSCE, 2007).

Figur 3.3 viser samanheng mellom den relative karbonatiseringsdjupna og den relative luftfuktigheita. (Herholdt, A.D. mfl., 1985).



3.3 Sulfatangrep/ syreangrep

Osloområdet har eit område med berggrunn av typen alunskifer. Dette er berggrunn som ved lufttilgang dannar svovelsyre. Svovelsyra angrip betong og metallar (spesielt stål) og medfører volumutviding og svelling (Aschehoug, 1995).

Ut frå dette problemet vart det i 1947 danna ein «Alunskifer-komité» som skulle søke løyse utfordringane med alunskiferen. Dei oppretta i 1952 eit testområde, Blindtarmen, med alunskiferpåverka vatn. Her vart prøvestykker av forskjellig reseptar lagt ned, nokre i «skvulpesona» og nokre har truleg låge heilt neddykka i vatnet. Prøvestykkka låg der frå 1952 til 1982. I 2009 publiserte P. Hagelia mfl. funn i betongprøvestykkka ut frå petrografisk undersøking. Funna viser thaumasitt ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$). Thaumasitt består av Ca, Si, karbonat, sulfat og vatn. Når sulfat og karbonat er tilstades kan det føre til angrep på CSH i betongen og danne thaumasitt, ved at thaumasitt erstattar sementlimet. Fyrste funn av thaumasitt i Noreg var gjort ved Åkebergveien i Oslo i år 2000 av Hagelia og Grønhaug (Hagelia, P., 2011).

Ut frå dei petrografiske undersøkingane fann dei at nedbrytinga i Blindtarmen truleg har føregått i fleire omgangar. Funna i prøvestykkka vart systematisert i fleire stadiar, avhengig av ulike pH'ar. Innerst fann dei relativt intakt betong med høg pH, medan ein utover hadde synkande pH. Stadiane vart inndelt i fylgjande steg:

Steg 1: Begynnande thaumasittformasjon i nokre riss og luftporer. Somme stadar kunne ein og finne begynnande skadelege thaumasitt angrep.

Steg 2: Steget starta med utvasking/ lekkasje av Ca frå CSH. Ca laga avleiringar kalla «popcorn calcitt deposition» (PCD) og medfører ei svekking av sementlimet. Samtidig vart tidlegare forma thaumasitt omdanna til PCD samt at noko gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vart funne. Sulfat var dermed frigjort for vidare angrep av betongen.

Steg 3: Viste eit nytt thaumasittangrep der kalsiumutvaska CSH og PCD vert erstatta av andre-generasjons thaumasitt.

Steg 4: Thaumasitt frå steg 1 og 3 er nok ein gong omforma til PCD. Gipsavsetningar er kun på overflata, noko som truleg tyder på at sulfat frå thaumasittoppløysinga har løyst seg opp i vatn.

Steg 5: Prøvane viser ein synleg kant med kalsitt.

Steg 6: Den ytterste overflata av prøven er dekkja med ei tynn Fe-farga avleiring saman med kalsitt (CaCO_3 , truleg frå tidlegare Ca-avleiringar). Sementpasta-matriksen like innanfor er viser tydelege Ca-utvasking og er porøs. Her var pastaen tydeleg jernfarga, ein effekt som minka innover i betongen. (Hagelia, P. og Sibbick, R.G., 2009)

Desse stega av nedbryting har truleg føregått ved at prøvestykkka i utgangspunktet hadde ein høg pH. CSH er stabil ved $\text{pH} \geq 12,5$. Då prøvestykkka blei lagt ned i vatn med låg pH starta Ca å leke. Ca (portlanditt ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)) søkte og skape likevekt med pH, men vart i staden ein buffer mellom syreangrepet på utsida og den intakte betongen. Ved pH på ca. 12,4 begynner portlanditten å bli tæra på. For vidare og søke oppnå pH-likevekt vil Ca halde fram med å leke

ut. Restane etter utvaskinga er truleg Si-gel i ein amorf fase (Hagelia, P. og Sibbick, R.G., 2009).

Kalsitt er stabil ved $\text{pH} \geq 7$. Thaumassitt vert truleg danna ved $\text{pH} \geq 10,5$, men er ustabil så lenge pH er < 12 . CO_2 er ekstra vass-løyselig ved låge temperaturar og er truleg hovudgrunnen til at thaumasittangrep utviklar seg ved $5-10^\circ \text{C}$. Grunnen til at thaumasitt kan vere laga i fleire omgangar kan eksempelvis vere at pH 'en har auka lokalt på grunn av tilgang på intakt porevatn (altså porevatn med høg pH) (Hagelia, P. og Sibbick, R.G., 2009).

Jernutfellinga var undersøkt av alunskifer-komiteen og konkluderte med at jernsulfidar frå grunnvatnet ville påverke betongen til å løyse meir jernsulfidar som vidare reagerte med vatn og oksygen og danna jernhydroksidar og svovelsyre. Denne reaksjonen skjer ved $\text{pH} > 4-5$, altså den låge pH 'en på overflata av betongen (Hagelia, P. og Sibbick, R.G., 2009).

3.4 Biologisk aktivitet

Det fins mange typar biologisk aktivitet som kan bryte ned betongen, eksempelvis bakteriar (autotrofe og heterotrofe), cyanobakteriar, sopp og alger. Fellesnemnaren for alle desse er at dei må ha tilgang på vatn, for å kunne leve. Livsgrunnlaget er og avhengig av materialet dei lever på, det vere seg forholda på overflata, samansettinga av materialet dei lever på, permabiliteten, porøsiteten, lys samt det generelle miljø der dei lever. (Gaylarde, C. mfl., 2003).

Som nemnt fins det forskjellige typar mikroorganismar. Men dei som er mest vanlege innan nedbryting av betong, er autotrofe bakteriar, heterotrofe bakteriar, cyanobakteriar, sopp og alger. Cyanobakteriar og alger er avhengig av sollys som energikjelder. Heterotrofe bakteriar er avhengig organiske karbon mens autotrofe bakteriar får energi frå karbon i lufta, CO_2 . Bakteriane medfører ei endring i overflata på betongen, der det dannar seg ei svart skorpe, samt at ein får ein svart-brun-overflatefarge. Den svarte skorpa er avhengig av det den blir eksponert for, men ein reknar med at den er laga gjennom reaksjonar mellom gassar (SO_2 , NO_x , CO_2), organiske komponentar, jernoksidar og hydroksidar. Støv, sot, metallpartiklar og gummipartiklar kan også påverke skorpa. (Gaylarde, C. mfl., 2003).

Problemet med denne den biologiske aktiviteten er at eksempelvis bakteriar kan ved deira livsaktivitet danne syrer eller sulfatar som bryt ned betongen (Herholdt, A.D. mfl., 1985)

Bakteriar eller mikroorganismar er levande organismar som er for små til og sjå utan mikroskop. Organismane kan bryte ned betongen på forskjellige måtar enten ved at organismen nyttar betongen som næringsstoff eller ved at dei produserar syrer som bryt ned betongen. Eventuelt at dei gjer begge delar. Å forstå kva som skjer med betongen er viktig for å vite korleis ein kan unngå denne forma for nedbryting eller korleis ein kan reparere skadar den alt har årsaka (Gaylarde, C. mfl., 2003).

Organismene kan også organisere seg i biofilmer, som blir heldt saman av avfallsstoffa dei utskiller. Dette gjer dei meir motstandsdyktige mot endringar eller variasjonar i miljøet. (Bertron, A., 2014).

Eksempel på autotrof bakterie som oksiderar jern er *Leptothrix Ochracea*. Dette er ein hul hylsebakterie ein antek oksiderar Fe^{2+} -ion til Fe^{3+} -ion. Hylsebakterien er gjennom forsøk funne å vere oppbygd av jern, silisium og fosfor i forholdet 80/15/5, når ein ser bort frå oksygen. Jern, silisium og fosfor er jevnt fordelt utover veggen i hylsebakterien. (H. Hashimoto mfl., 2006)

Det fins også mikroorganismar som kan ha positiv effekt. Organismene kan då nyttast til å forsvare eller reparere betongkonstruksjonar, ved at dei tettast mikroriss i betongen og dermed aukar haldbarheita til konstruksjonen. Overflater kan også behandlast med slike organismar for å forlenge levetida, ved at betongoverflata får påført eit biologisk avfall (Bertron, A., 2014)

4 Klassifisering og referansedata

4.1 Klassifisering av tunnelar

Dette kapitlet tek føre seg klassifisering av norske tunnelar, kva bestemmer kva type utrusting som skal inn i tunnelane og kva bestemmer bergsikringsmetodikk. Vidare omtalar kapitlet klassifisering av sprøytebetong og dei krava dette medfører. Kapitlet tek også føre seg nokre av forskjellane/ grensene mellom handbøker, norsk standard og publikasjon.

4.1.1 Handbok N500 Vegtunnelar

Handbok N500 Vegtunnelar klassifiserar tunnelar etter lengde og forventa trafikkmengde 20 år etter ferdigstilling. Ut frå dette utløysast krav til tverrsnitt, antal løp, rømmingsvegar, utrustning (eksempelvis veggelement) osv.

Handboka viser samanhengen mellom bergklassifiseringa (Q-verdi) og sikringsklasse. Sikringsklassen gjev krav til boltar og betongen, både fastheitsklasse, energiabsorpsjonsklasse og tjukkelse, sjå Tabell 4.2. Handboka har krav om at minimum gjennomsnittstjukkelsen på sprøytebetong som bergsikring, skal utførast med minst 80 mm, betongkvalitet B35 og energiabsorpsjonsklasse E700.

Tabell 4.2 Samanheng mellom bergmasseklassar (Q-verdi) og sikringsklassar – permanent sikring. (Tabell 7.1 i HB N500, SVV, 2010).

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi ⁽¹⁾	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 10 – 100	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700 tykkelse 80 mm, ned til 2 m over såle
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m. Q = 4 – 10	Sikringsklasse II - Systematisk bolting (c/c 2 m), endeforankrete, forspente, gyste - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm, sprøytes ned til såle
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 1 – 4	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm eller mer. - Systematisk bolting (c/c 1,5 m), endeforankrete, endeforankrete som gyses i ettertid, eller gyste
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 0,1 – 1	Sikringsklasse IV - Forbolting ved Q < 0,2, ø25 mm, maks. c/c 300 mm - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer ved Q < 0,2, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c 2 – 3 m, buene boltes systematisk, c. 1,5 m, lengde 3 – 4 m. ⁽²⁾ - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,01 – 0,1	Sikringsklasse V - Forbolting, c/c 200 – 300 mm, ø32 mm eller stag (selvborende). - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 – 250 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m, gyste. - Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c 1,5 – 2 m, buene boltes systematisk, c. 1,0 m, lengde 3 – 6 m. ⁽²⁾ - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden.
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.

4.1.2 NS-EN 206:2013 + NA:2014 Betong. Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar. Standarden tek føre seg betong, både val av betongtype, betongproduksjon og kontroll av kvaliteten.

NS-EN 206:2013 + NA:2014 Betong klassifiserar eksponeringsklassar, sjå oversikt i Tabell 4.3. I klassen for kjemiske angrep har standarden definerte grenseverdier for sulfatar, ammonium, magnesium og pH. Desse grenseverdiane er gjevne i eigen tabell i standarden, sjå Tabell 4.4 som gjeld både for jord og grunnvatn, med ei vasshastigheit som er tilstrekkeleg låg til å vere tilnerma lik statistisk.

Samanhengen mellom eksponeringsklasse og bestandighetsklasse, er gjevne i Tabell 4.5. Bestandighetsklasse gjev krav til maksimalt vatn/bindemiddel-forhold (v/b-forhold) i betongen samt eventuelle krav til luftinnhald i betong. Standarden seier også at dersom

miljøet er karakterisert av fleire eksponeringsklassar skal det veljast den betongsamansettinga som gjev det strengaste kravet.

Vidare har standarden avgrensingar i høve til innhald av kloridar i betongen. Denne tek utgangspunkt i armering eller innstøyping av metall og set krav til kloridinnhaldet i høve til sementmengda. Etter NS-EN 206:2013+NA:2014 (NS-EN 206) er det naturleg å legge sprøytebetong for bergsikring i kloridinnhaldsklasse Cl 0,20 eller Cl 0,40, dvs. maksimal tillate kloridinnhald i høve til sementmasse er 0,20 eller 0,40 %.

Tabell 4.3: tabell NA 1 i NS-EN 206:2013+NA:2014, norske eksponeringsklassar.

Klasse- betegnelse	Beskrivelse av miljø	Eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme (informativt)
1 Ingen risiko for korrosjon eller nedbrytning		
X0	For betong uten armering eller innstøpt metall: Alle miljøer, unntatt der det er frysing/tining, slitasje eller kjemisk angrep For betong med armering eller innstøpt metall: Meget tørt	Betong inne i bygninger med meget lav luftfuktighet
2 Korrosjon framkalt av karbonatisering		
Der betong som inneholder armering eller annet innstøpt metall, utsettes for luft og fuktighet, skal miljøeksponeringen klassifiseres som angitt nedenfor: MERKNAD Fuktforholdet viser til fuktigheten i overdekningen av betong over armeringen eller annet innstøpt metall. I mange tilfeller kan imidlertid forhold i omgivelsene anses representative for forholdene i betongoverdekningen. I slike tilfeller kan en klassifisering av omgivelsene være tilstrekkelig. Dette trenger ikke være tilfellet dersom det finnes en sperre mellom betongen og omgivelsene.		
XC1	Tørt eller permanent vått	Betong inne i bygninger med lav luftfuktighet Betong som permanent er neddykket i vann
XC2	Vått, sjelden tørt	Betongoverflater i kontakt med vann over lengre tid Fundamenter
XC3	Moderat fuktighet	Betong inne i bygninger med moderat eller høy luftfuktighet Utvendig betong som er beskyttet mot regn
XC4	Vekselvis vått og tørt	Betongoverflater i kontakt med vann, som ikke er i eksponeringsklasse XC2
3 Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann		
Der betong som inneholder armering eller annet innstøpt metall, er i kontakt med vann som inneholder klorider, herunder avisingssalter, fra andre kilder enn sjøvann, skal miljøeksponeringen klassifiseres som angitt nedenfor: MERKNAD For fuktige omgivelser, se også gruppe 2 i denne tabellen.		
XD1	Moderat fuktighet	Betongoverflater utsatt for luftbårne klorider
XD2	Vått, sjelden tørt	Betong utsatt for industrivann som inneholder klorider Svømmebasseng
XD3	Vekselvis vått og tørt	Brudeler utsatt for sprut som inneholder klorider Vegdekker Deler av parkeringsanlegg i kontakt med klorider
4 Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann		
Der betong som inneholder armering eller annet innstøpt metall, er i kontakt med klorider fra sjøvann eller luftbåret salt fra sjøvann, skal miljøeksponeringen klassifiseres som angitt nedenfor:		
XS1	Utsatt for luftbårne klorider, men ikke i direkte kontakt med sjøvann	Konstruksjoner nær eller på kysten
XS2	Permanent neddykket	Deler av marine konstruksjoner
XS3	Tidevannssoner, skvalpesoner og sprutsoner	Deler av marine konstruksjoner

Tabell 4.3 Framhald.

Klasse- betegnelse	Beskrivelse av miljø	Eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme (informativt)
5 Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel		
Der fuktig betong utsettes for betydelig angrep fra vekselvis frysing og tining, skal miljøeksponeringen klassifiseres som angitt nedenfor:		
XF1	Moderat vannmetning, uten avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater utsatt for regn og frost
XF2	Moderat vannmetning, med avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater i vegkonstruksjoner utsatt for frost og luftbårne avisingsmidler
XF3	Høy vannmetning, uten avisingsmiddel	Horisontale betongoverflater utsatt for regn og frost
XF4	Høy vannmetning, med avisingsmiddel eller sjøvann	Veg- og brudekker utsatt for avisingsmidler Betongoverflater utsatt for frost og direkte sprut som inneholder avisingsmidler Skvalpesonen i marine konstruksjoner utsatt for frost
6 Kjemisk angrep		
Der betongen utsettes for kjemisk angrep fra naturlig jord og grunnvann, som angitt i tabell 2, skal miljøeksponeringen klassifiseres som angitt nedenfor. Klassifiseringen av sjøvann avhenger av den geografiske plasseringen. Klassifiseringen som gjelder på betongens brukssted, skal derfor brukes.		
XA1	Lite kjemisk aggressivt miljø i henhold til tabell 2 (NS-EN 206)	De konsentrasjoner som er gitt i tabell 2, kan ikke benyttes for valg av bestandighetsklasse for andre situasjoner enn eksponering i naturlig jord og grunnvann. Slike situasjoner vurderes særskilt
XA2	Moderat kjemisk aggressivt miljø i henhold til tabell 2 (NS-EN 206)	
XA3	Meget kjemisk aggressivt miljø i henhold til tabell 2 (NS-EN 206)	
7 Kjemisk angrep fra husdyrgjødsel		
Der betongen utsettes for kjemisk angrep fra husdyrgjødsel		
XA4	Konstruksjoner i kontakt med husdyrgjødsel. Eksponeringsklassen gjelder for situasjoner som angitt i 4.1(2).	Klassen omfatter blant annet konstruksjoner som spalteplank, gjødselkjellere osv.
8 Særlig aggressivt miljø		
XSA	Eksponeringsklassen gjelder for situasjoner som angitt i 4.1.(2). Konstruksjoner utsatt for sterkt kjemisk angrep som ikke er dekket av de andre eksponeringsklassene, og som gjør særskilte beskyttelsestiltak påkrevd. Dette kan kreve spesialkomponert betong, membraner eller lignende	Klassen omfatter blant annet konstruksjoner som er i kontakt med væsker med høyt sulfatinnhold og lav pH, eksempelvis alunskifer, førsiloer osv.

Tabell 4.4 Tabell 2 frå NS-EN 206 med grenseverdier for eksponeringsklassar for kjemisk angrep frå naturleg jord og grunnvatn.

Kjemisk aggressiv	Prøvingsmetode	XA1	XA2	XA3
Grunnvann				
SO ₄ ²⁻ mg/l	NS-EN 196-2	≥ 200 og ≤ 600	> 600 og ≤ 3 000	> 3 000 og ≤ 6 000
pH-verdi	ISO 4316	≤ 6,5 og ≥ 5,5	< 5,5 og ≥ 4,5	< 4,5 og ≥ 4,0
CO ₂ mg/l aggressiv	NS-EN 13577	≥ 15 og ≤ 40	> 40 og ≤ 100	> 100 opp til metning
NH ₄ ⁺ mg/l	NS-EN 7150-1	≥ 15 og ≤ 30	> 30 og ≤ 60	> 60 og ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	NS-EN ISO 7980	≥ 300 og ≤ 1 000	> 1 000 og ≤ 3 000	> 3 000 opp til metning
Jord				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^a totalt	NS-EN 196-2 ^b	≥ 2 000 og ≤ 3 000 ^c	> 3 000 ^c og ≤ 12 000	> 12 000 og ≤ 24 000
Surhet etter Baumann Gully ml/kg	NS-EN 16502	> 200	Ikke aktuelt i praksis	
^a Leirjord med en permeabilitet under 10 ⁻⁵ m/s kan settes i en lavere klasse. ^b Prøvingsmetoden foreskriver ekstraksjon av SO ₄ ²⁻ ved hjelp av saltsyre. Alternativt kan ekstraksjon med vann brukes hvis det finnes erfaring med det på betongens brukssted. ^c Grensen på 3 000 mg/kg skal reduseres til 2 000 mg/kg hvis det er fare for akkumulering av sulfationer i betongen på grunn av vekselvis tørking og fukting eller kapillærsug.				

Tabell 4.5: Tabell NA.15 i NS-EN 206-1 gjev samanhengen mellom bestandighetsklasse og eksponeringsklasse:

Eksponeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XD1, XS1, XA1, XA2 ^a , XA4 ^b			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^a					X	X
XSA ^a	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstillende kravene til M40.					
^a Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn nedre grenseverdi for XA2, skal det i betongspesifikasjonen være angitt at det skal anvendes sulfatbestandig bindemiddel (SuR1 eller SuR2). Se også tabell NA.13. ^b For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i betongspesifikasjonen være angitt at det skal anvendes minst 4 % silikastøv.						

4.1.3 NS-EN 14487-1:2005 +NA:2012 Sprøytebetong. Del 1: Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar.

Norsk standard NS-EN 14487-1:2005+ NA2012 har eit eige kapittel 4 med klassifisering av sprøytebetongen som bergsikring.

Kapittel 4, samt det nasjonale tillegget i standarden, fastset krav til forskjellige delar av sprøytebetongen. For vurdering av konsistens, trykkfastheit og eksponeringsklasse med unntak av sementinnhald og luftinnhald gjeld NS-EN 206. Klassifisering av tidleg fastheiter, restfastheitsklassar og energiabsorpsjonsklassar utførast etter NS-EN 14487-1:2005 + NA:2012, med visning til andre standardar for utføring av sjølve testen.

4.1.4 Handbok R761 – prosesskode 1.

Prosesskoden er handboka som nyttast når Statens vegvesen skal lage konkurransegrunnlag for utbygging av tunnelar.

Prosesskoden klassifiserar tunnelar i korrosivt og ikkje korrosivt miljø. Det gjev føringar for når ein kan nytte stålfiber og når det skal nyttast syntetisk fiber. Dersom lekkasjematnet er saltvatn eller aggressivt av andre grunnar skal det nyttast fastheitsklasse B35 og bestandigheitsklasse M40. Handboka seier vidare at dersom lekkasjematnet er ferskvatn skal det nyttast fastheitsklasse B35 og bestandigheitsklasse M45 (Statens vegvesen, 2014d).

Handbok R761 prosesskode 1 gjev føringar til entreprenøren for korleis byggherren ynskjer arbeidet utført og med kva kvalitet. Handboka viser til Norsk betongforening sin publikasjon nr. 7 når det gjeld prøving og kontroll samt krav til materialar.

4.1.5 Norsk betongforening: Publikasjon nr. 7. Sprøytebetong for bergsikring, 2011.

Statens vegvesen sine handbøker viser til Norsk betongforening sin publikasjon nr. 7 ved beskriving av materialkvalitetar, kvalitetskontroll og prøvingsmetodar.

Publikasjon nr. 7 klassifiserar ikkje utover Norsk standard eller handbøkene, men den set egne krav dersom dette ikkje er gjort i konkurransegrunnlaget. Dette er krav til kloridinnhald og alkalireaktivitet (jf. Norsk betongforening publikasjon nr. 21). Det er interessant å merke seg at publikasjonen set strengare krav til kloridklasse enn NS-EN 206. Dersom sprøytebetongen inneheld stålfiber, skal nyttast til innstøyping av ståldelar eller den kan bli utsett for frysing/tining – då skal kloridklasse Cl 0,10 i NS-EN 206 tilfredsstillast.

Utover standard og handbøker beskriv den også korleis heft til underlaget skal sikrast og kontrollerast.

Publikasjonen stiller også krav om kva som må spesifiserast ved eigenskapsdefinert betong. Sprøytebetong for bergsikring definerast som ein eigenskapsdefinert betong jf. NS-EN 206 og NS-EN 14487-1. Det som skal definerast er fastheitsklasse, bestandigheitsklasse, seigheitseigenskapar, utførelsesklasse og tjukkeleik.

Publikasjonen beskriv også kva prøvar som bør takast, korleis dei bør gjennomførast og konsistensen av prøvane. Dette for å sikre at den betongen som blir levert held dei krava den eigenskapsdefinerte betongen er forutsett å halde.

4.2 Referansedata

Som referansedata er nytta rapportar som har gjennomført tilstandsvurdering på sprøytebetong som bergsikring i norske tunnelar. Rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» frå 1997 gjekk inn i fleire norske tunnelar og gjennomførte tilstandsvurdering på sprøytebetongen nytta som bergsikring. Sluttrapporten konkluderte med at kravet til sprøytebetongtjukkelse i tunnelar burde aukast frå 5-6 cm, noko som også skjedde.

P. Hagelia si doktorgrad «Deterioration Mechanisms and Durability of Sprayed Concrete for Rock Support in Tunnels» frå 2011 har tatt føre seg den fysiske og kjemiske nedbrytinga av sprøytebetongen, bygd på betongpetrografi samt ved vasskjemi og mikrobiologi.

Den siste rapporten som er nytta som referanse, «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunnelar», Statens vegvesen, 2015, er utarbeida av konsulent for etatsprogrammet «Varige konstruksjonar», 2012-2015. Denne rapporten er under utarbeiding, men skal kartlegge tilstanden i nokre utvalde tunnelar, ved registrering, prøvetaking, laboratorieprøving ved tradisjonelle betong-testar, samt strukturanalyse ved plan- og tynnslip.

Dei neste kapitla vil presentere data frå desse rapportane. Dataane vil nyttast som referansedata for å kunne samanlikne funna frå Hopstunnelen og Nesttuntunnelen.

4.2.1 Geologi

For å finne samanlikningsgrunnlag er det nytta tunnelar frå fleire rapportar. Ein del av tunnelane er undersjøiske tunnelar. Under fyl ei kort oppsummering av geologien i tunnelane:

- Kvalsund: undersjøisk tunnel opna i 1988. Geologien er lys migmatittisk gneis med låg oppsprekking.
- Godøy: undersjøisk tunnel opna i 1989. Geologien er massive gneisartar samt noko middelskorna gabbro.
- Hvaler: undersjøisk tunnel opna i 1989. Geologien er øyegneiss, granitt og pegmatitt, med moderat oppsprekkingsgrad
- Flekkerøy: undersjøisk tunnel opna i 1989. Geologien er band og amfibolitisk gneis med lite til moderat oppsprekkingsgrad på fastlandssida, men vesentleg meir oppsprekking på Flekkerøysida.
- Nappstraumen: undersjøisk tunnel opna i 1990. Geologien på Flakstadøy-sida er det gabbro med innhald av magmatisk laging. På Flæsa-sida er det middels til grovkorna monzonittisk gneis, mangeritt. Stor oppsprekkingsgrad.
- Maursund: undersjøisk tunnel opna i 1991. Geologien er amfibolitt i sør samt gneisar og kvartsittar i nord. Oppsprekking er moderat til stor.
- Fannefjord: undersjøisk tunnel opna i 1991. Geologien er grovkorna gneisbergartar i nord, kviltorpgneis, og i sør er det hornblendegneis-/skifer. Berget er moderat oppsprukke utanom svakheitssonene som er tett oppsprukke og til dels oppknust berg.
- Freifjord: undersjøisk tunnel opna i 1992. Geologien båndagneis, amfibolitt/amfibolitisk gneis, båndamørk biolittgneis. Utanom svakheitssonene er berget moderat til lite oppsprukke. Svakhheitssonene er i hovudsak av to typar raudfeltspatttype og kloritt-kalkspatttype.
- Byfjord: undersjøisk tunnel opna i 1992. Geologien er amfibolitisk gneis i 535m og fyllitt i 5300m lengde.
- Mastrafjord: undersjøisk tunnel opna i 1992. Geologien er amfibolitisk gneis i 3570m og fyllitt i 820m lengde. Berget er generelt lite oppsprukke.
- Frøyatunnelen: undersjøisk tunnel opna i 2000. Geologien består av kambriske eller prekambriske høgmetamorfe gneisbergartar.
- Grua: landtunnel opna i 1992. Geologien varierar i tunnelen med granitt i sør til kalkstein og hornfels i nord. Granitten framstår som noko mindre oppsprukke enn kalksteinen og hornfelsen.
- Sløverfjord: undersjøisk tunnel opna i 1998. Geologien er grov til middelskorna mangeritt med nokre gabbrogangar.
- Svartdal: landtunnel opna 2000. Geologien består lengst vest av sterkt oppsprukke kalkhaldig leirskifer og deretter alunskifer av ekstra dårleg karakter for så å gå over i gneis av relativt god karakter.
- Ekeberg tunnelen: landtunnel som truleg går i mykje same som Svartdal, men geologien er førebels ikkje omtala i «Bestandighet av sprøytebetong».
- Baneheiatunnelen: landtunnel som skulle vore inkludert i resultatata, men rapport frå varige konstruksjonar sin konsulent føreligg ikkje pr. 2. mars 2015

4.2.2 Vasskjemi og pH-verdi

Den kjemiske samansettinga av vatnet i tunnelar kan seie noko om miljøet i tunnelane samt kor aggressivt det er. pH-verdi er ein viktig parameter for å bestemme eksponeringsmiljø og kan gje indikasjon på om nedbryting føregår.

Tabell 4.6 viser eit utval av resultata presentert i rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» (Statens vegvesen, 1997a) og frå «Deterioration Mechanisms and Durability of Sprayed Concrete for Rock Support in Tunnels» (Hagelia, P., 2011). Det presentererte utvalet er gjort med bakgrunn i vurderingar om betongkvalitet og fortrinnsvis innlekkasje av ferskvatn i tunnelar, synleggjort med fotnotar til tabellen. Vidare er utvalet frå P. Hagelia, 2011 velt for å få nærmast mogleg profilnummer til prøvelokalitetane frå «Riktig bruk av sprøytebetong». Kvalsund og Hvaler er presentert i tabellen, fordi dei blir inkludert i andre resultat, men resultatet for desse to tunnelane er ikkje presentert i referanserapporten.

Tabell 4.6 Eit utval av resultat frå tidlegare analysar av vassprøvar i utvalde tunnelar. Prøvene var ikkje analysert for silisium (Si), fosfor (P), mangan (Mn) eller svovel (S). Alle tal er i mg/l (bortsett frå pH). IA= ikkje analysert.

Kjemisk innhald											
Tunnelnamn	Sulfat – SO ₄ ²⁻	Nitrat – NO ₃ ⁻	Ammonium – NH ₄ ⁺	Klor - Cl	Magnesium – Mg ²⁺	Jern – Fe	Kalium – K	Natrium – Na	Kalsium - Ca	pH	
Frå rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» (Statens vegvesen 1997a)	Kvalsund ¹	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	
	Godøy -profil 3670 ²	197	IA	IA	1010	23,1		IA	IA	44	8,44
	Hvaler ¹	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	
	Flekkerøy ³ -profil 2140	2300	IA	IA	17300	1045	IA	IA	IA	2027	7,12
	Nappstraumen ² -profil 9055	9,6	IA	IA	32,8	5,7	0,031	IA	IA	18	7,9
	Maurusund ^{1,4} -profil 2623	1100	IA	IA	8000	480	0,092	IA	IA	765	7,62
	Fannefjord ² -profil 790	135	IA	IA	51	1,1	0,063	IA	IA	2,6	8,95
	Freifjord ² -profil 3155	124	IA	IA	26	0,9	0,012	IA	IA	2,5	9,16
	Byfjord ² -profil 4330	200	IA	IA	1000	59	0,953	IA	IA	50	8,15
	Mastrafjord ³ -profil 10910	2500	IA	IA	18500	1278	0,746	IA	IA	707	7,65
Frå P. Hagelia, 2011	Byfjord -profil 3650	3300	25400	0,119	25400	1790	0,018	483	14500	596	7,75
	Freifjord -profil 4890	424	IA	IA	5110	237	<0,003	14	1680	1340	6,00
	Flekkerøy -profil 1240	2300	0,056	2490	17500	1010	<0,003	193	8500	1920	7,81

¹ Har betongkvalitet B35 i saltvannsdelen og B25 i ferskvannsdelen (sylinderfastheit).

² Anteke i rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» til å vere ferskvatn.

³ Anteke i rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» til å vere saltvant.

⁴ Anteke i rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» til å vere brakkvatn.

4.2.3 Relativ luftfuktigheit

Den relative fuktigheita i norske tunnelar ligg vanlegvis mellom 50 og 70% (Hagelia, P., 2011 samt Statens vegvesen, interne dokument).

Relativ fuktigheit er aktuelt å vurdere saman med karbonatisering.

4.2.4 Trykkstyrke

Trykkstyrke er ein test som kan indikere om levert betong tilfredsstillar krav til bestilt betong. I tillegg kan trykkstyrke gje ein indikasjon på om det pågår nedbryting og evt. kor langt denne er kome.

Tabell 4.7 og Tabell 4.8 viser resultat frå andre rapportar som har gjennomført tilstandskartlegging av sprøytebetong i tunnelar. Resultata frå undersøkingane i Tabell 4.7, er for dei tunnelane med krav til fastheitskrav B35 (sylinderfastheit). I rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» omtalast resultat som terningfastheit, medan kravet er sett for sylinderfastheit. Det kan difor synast som her er ein feil i rapporten. Rapporten inkluderar ikkje standardavvik på prøveresultat samt det er også ekskludert nokre resultat utan grunngjeving. Dette medfører noko usikkerheit rundt resultat. Resultata i Tabell 4.8 syner at det er 1 undermålar i Frøyatunnelen profil 4795.

Tabell 4.7 Resultat av trykkfastheit frå rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong». Resultata som er oppgjeve i rapporten er snitt av fleire profil. Ia = ikkje analysert.

Tunnelnamn	Trykkfastheit	Krav (Mpa)
Kvalsund:*		
snitt av 3 profil (saltvatn)	65,6	28,8
profil 3684 (ferskvatn)	72,3	22,4
ukjend profil (ferskvatn)	40,7	
Godøy:		
profil 2250 (saltvatn)	45,2	
profil 4000 (ferskvatn)	31,6	28,8
snitt av 4 saltvannsprøfil	42,4	
profil 3950 (ferskvatn)	45,6	
Hvaler:*		
snitt av 16 saltvannsprøfil	49,22	
ukjend profil (saltvatn)	51	28,8
snitt av 6 saltvannsprøfil	43,85	
snitt av 10 ferskvannsprøfil	48,27	22,4
snitt av 2 ferskvannsprøfil	31,45	
Flekkerøy:		
snitt av 3 saltvannsprøfil	36,36	28,8
profil 2800 (ferskvatn)	26,9	
Nappstraumen:		
snitt av 3 saltvannsprøfil	43,2	28,8
snitt av 3 saltvannsprøfil	38,4	
Maurusund:*		
snitt av 3 saltvannsprøfil	43,2	28,8
Fannefjord:		
snitt av 3 saltvannsprøfil	48,5	
profil 670 (ferskvatn)	53,75	28,8
snitt av 4 saltvannsprøfil	52,1	
Freifjord:		
ukjend profil	23,98	28,8
snitt av 4 profil	40	
Byfjord:		
snitt av 3 saltvannsprøfil	33,96	28,8
Mastrafjord:		
snitt av 4 profil	37,4	28,8
* tunnelar med B25 i ferskvannsdelen og B35 i saltvannsdelen (sylinderfastheit)		

Tabell 4.8 Resultat rapportert i «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunneler», Statens vegvesen, 2015. Trykkfastheita er rapportert som sylindrefastheit med h/d-forhold 2:1.

Tunnelnamn	Trykkfastheit	Std-avvik, profilvis	Totalt std-avvik	Krav (Mpa)
Ekebergtunnelen				
profil 1705	36,6			
profil 1705	40,1	3,8		
profil 1705	30,8			
Frøya				
profil 4795	37,2	▼		
profil 4795	23,4		6,4	
profil 4795	29,4			
profil 4795	39,5			
profil 6660	47,2	▼	7,4	truleg 28
profil 6660	37,2			
profil 6660	42,6			
Grua				
profil 650	36,3			
profil 650	34,1	2,9		truleg 28
profil 650	29,3			
Sløverfjord				
profil 1800	42,9	▼		
profil 1800	36,9		5,3	
profil 1800	30,0			
profil 2500	53,4	▼	8,0	truleg 28
profil 2500	49,3			
profil 2500	48,3			
Svartdal				
profil 385	54,2	▼		
profil 385	40,5		5,8	
profil 385	44,1			
profil 370	40,7	▼	4,8	28
profil 370	42,7			
profil 370	40,8		0,9	
Flekkerøy	data manglar førebels			28
Baneheia	data manglar førebels			usikkert

4.2.5 Karbonatisering

Tabell 4.9 og Tabell 4.10 syner målte karboniseringsdjupner samt ca. alder på sprøytebetongen ved gjennomført test.

Tabell 4.9 Målt karboniseringsdjupne rapportert i «Riktig bruk av sprøytebetong», Statens vegvesen 1997. IA= ikkje analysert.

Tunnelnamn	Målt karbonatisering mot tunnelrommet, saltvannsdeler (mm)	Målt karbonatisering mot tunnelrommet, ferskvannsdeler (mm)	Målt karbonatisering mot berget, saltvannsdeler (mm)	Målt karbonatisering mot berget, ferskvannsdeler (mm)
Kvalsund, mellom 2 og 6 år gamal sprøytebetong	2,5	IA	0,5	0
Godøy, mellom 1 og 7 år gamal sprøytebetong	6,5	0-1,5	3	1
Hvaler, mellom 2 og 7 år gamal sprøytebetong	0-5		IA	IA
Flekkerøy, 7 år gamal sprøytebetong	2-10	5	0	0
Nappstraumen, 6 år gamal sprøytebetong	< 2	0-1	IA	IA
Maurusund, 5 år gamal sprøytebetong	< 2	IA	0	IA
Fannefjord, 5 år gamal sprøytebetong	< 3		0	
Freifjord, 4 år gamal sprøytebetong	Gj. Snitt 5-7, maks 15			0
Byfjord, 4 år gamal sprøytebetong	0-6		0	
Mastrafjord, 4 år gamal sprøytebetong	1-3		0	

Tabell 4.10 Målt karboniseringsdjupne rapportert i «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunneler», Statens vegvesen, 2015. IA= ikkje analysert.

Tunnelnamn	Profilnr	Målt karbonisering mot berg	Målt karbonisering mot tunnelrom
Ekeberg tunnelen, 20 år gammel sprøytebetong		IA	IA
Frøyatunnelen, 15 år gammel sprøytebetong	4795	0	0-5mm, gjennomsnittleg 2mm
	6660	0	0-2,5mm, gjennomsnittleg 1mm
Grua, 23 år gammel sprøytebetong		IA	IA
Sløverfjordtunnelen, 16 år gammel sprøytebetong	1800	0	2-2mm, gjennomsnittleg 2mm
	2500	0	0-5mm, gjennomsnittleg 2mm
Svardal, 15 år gammel sprøytebetong		IA	IA

4.2.6 Fibertelling

Fibertelling av betongprøver kan vise om betongen har store variasjonar i fiberinnhald. Store variasjonar i fibermengde er ikkje uvanleg, men kan indikere ein inhomogen betong.

Tabell 4.11 viser resultat både for ferskvannsdell og saltvannsdell. Der resultat ikkje er spesifikke er cellene slått saman. Tabell 4.12 viser kun gjennomsnittresultatet.

Tabell 4.11 Fiberinnhald rapportert i «Riktig bruk av sprøytebetong», Statens vegvesen 1997. IA= ikkje analysert.

Tunnelnamn	Fibermengde ferskvannsdell (kg/m ³)	Fibermengde saltvannsdell (kg/m ³)
Kvalsund	66 – 67,4	51 – 63,7
Godøy	69-70,7	75,4 - 98
Hvaler	Mellom 28,5 – 73,5	
Flekkerøy	45,85	45
Nappstraumen	IA	68,75
Maurusund	IA	42,35
Fannefjord	44,9	41,4 – 48,4
Freifjord	30,05 – 43,9	
Byfjord	43,8	
Mastrafjord	39	

Tabell 4.12 Fiberinnhald rapportert i «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunneler», Statens vegvesen, 2015. IA= ikkje analysert.

Tunnelnamn	Fibermengde (kg/m ³)
Ekeberg	46,6
Frøya – profil 4795	32,3
Frøya – profil 6660	40,1
Grua	7,4 (plastfiber)
Sløverfjord – profil 1800	51,9
Sløverfjord - profil 2500	40,3
Svartdal – profil 385	20,7
Svartdal - profil 370	35,2
Flekkerøy	IA
Baneheia	IA

4.2.7 PF- avgrensa metode og strukturanalyse med fluorescencemikroskopi

PF-metoden, avgrensa metode, er ein metode for å bestemme porøsitet og densitetsverdiar i herda betong. Dette kan seie noko om kor permeabel og porøs betongen er.

Tabell 4.13 syner resultatet frå tidlegare utført PF-undersøking av sprøytebetong. Prøven er utført etter Sintef si internprosedyre, KS 70110 frå 1997 som er tilsvarande prosedyre i Statens vegvesen si hb R210 Laboratorieundersøking. Ved berekning av v/b-forholdet er bindemiddelmengda antekke og vere 540kg/m³ sement og 5 % silika for B35 betongen(sylinderfastheit). Hydratasjonsgrada for sprøytebetongen er anteken vere 0,6. Resultatet syner at snittet på sugporøsitet ligg på 21,1 %.

Tabell 4.14 syner resultat rapportert i «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunneler», Statens vegvesen, 2015. Denne er utført etter hb R210 metode 14.637. Resultatet viser at snittet av sugporøsiteten ligg på 19,6 %. V/b-berekning er utført med fluorescencemikroskop, ikkje PF-metoden.

Tabell 4.13 Resultat frå rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong», Statens vegvesen 1997. Ia= ikkje analysert.

Tunnelnamn	Densitet faststoff	Sugporøsitet (%)	Makroporøsitet (%)	v/b-forhold
Kvalsund**				
snitt av 3 profil (saltvatn)	2430 / 2070	12,6 / 27,5	2,4 / 3	ia
profil 3684 (ferskvatn)	2100	26,6	4,2	ia
Godøy:				
profil 3950 (ferskvatn)	2090	20,5	3,8	0,43
Hvaler**	ia	ia	ia	ia
Flekkerøy				
profil 2800 (ferskvatn)	1827	22,8	5,0	0,47
Nappstraumen				
profil 9002 (ferskvatn)	1955	22,4	2,5	0,47
Maurusund**				
snitt av 3 saltvannprofil	2051	19,2	2,7	0,41
Fannefjord				
profil 720 (ferskvatn)	1943	21,4	3,8	0,45
Freifjord				
snitt av 4 saltvannprofil	2023	20,0	2,8	0,42
Byfjord				
profil 770 (ferskvatn)	2023	18,7	3,0	0,41
Mastrafjord				
profil 12860 (ferskvatn)	1962*	20,2	3,5	0,43
* snitt av både ferskvatn og saltvatns-prøver				
** tunnelar med B25 i ferskvannsdelen og B35 i saltvannsdelen (sylinderfastheit)				

Tabell 4.14 Resultat rapportert i «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunnelar», Statens vegvesen, 2015. IA= ikkje analysert.

Tunnel	Profil	Densitet faststoff	Sugporøsitet (%)	Makroporøsitet (%)	v/b-forhold
Ekeberg	1705	2690	20,7	3,74	IA
Frøya	4795	2714	21,7	3,11	IA
	6660	2715	20,6	2,83	IA
Grua	650	2664	20,3	3,31	IA
Sløverfjord	1800	2713	17,1	3,78	<0,45-0,6
	2500	2708	17,7	3,53	0,45-0,55
Svartdal	370 sør	2696	21,2	2,48	
	385 sør	2665	17,8	3,11	
Flekkerøy		IA	IA	IA	IA
Baneheia		IA	IA	IA	IA

5 Undersøkningsmetodar

Dette kapittelet vil ta føre seg metodane nytta for å karakterisere tilstanden på sprøytebetongen i tunnelen generelt og for lokalitetane spesielt.

5.1 Feltundersøking

Uttak av prøvar har vorte gjort i fleire omgangar. For at ikkje lokalitetane skal bli øydelagde er det viktig å ta prøvane i riktig rekkefylgje, det betyr gjerne å starte med dei ikkje-destruktive testane. Etter at lokalitetane var velt, vart overflatemateriale på betongen samla og analysert. Etter analyse av dette har vidare uttak av prøvar vorte bestemt. Dokumentasjon frå synfaring i tunnelane, før prøveuttak, er lagt ved som vedlegg 17.

5.1.1 Ikkje destruktive metodar.

- Vassprøve:

Dersom det er vatn på lokaliteten eller like ved lokaliteten er det interessant å samle prøvar som kan analyserast på laboratorium. Vassprøvar kan samlast anten frå rennande vatn eller stillestående vatn. Det kan i tillegg vere greitt å merke seg om vatnet renn på betongen eller om det er lite kontakt mellom vatn og betong.

- Overflatemateriale:

Overflatematerialet på lokaliteten kan nyttast for å danne seg kunnskap om kva som fins på lokaliteten. Overflatematerialet kan analyserast for innhald av krystalliserte stoff eller for kjemisk innhald.

- pH:

pH vart målt med indikatorpapir i lokaliteten og ved sida av lokaliteten. Nøyaktigheita på målinga med indikatorpapiret varierar med type papir, men ligg i storleik +/- 0,2 til +/- 0,5 og det vurderast ved skjønn. For dokumentasjon av dei forskjellige nøyaktigheitene på papira, sjå vedlegg 18. Fordelen med indikatorpapir er at pH kan målast der det er veldig lite vatn til stades, gjerne kun 1 dråpe. pH kan vere med og indikere kor langt reaksjonar har kome, samt sannsynleggjere kva reaksjonar som pågår.

- Relativ luftfuktigheit og temperatur:

Luftfuktigheit og temperatur vart målt med eit privat måleapparat, type Invite. Apparatet har ukjend nøyaktigheit og brukar veldig lang tid på å justere seg, Relativ fuktigheit kan, saman med andre resultat, seie kor gunstige forholda ved lokaliteten er.

5.1.2 Destruktiv metode

- Uttak av kjerneprøver:

For å kunne gjennomføre ein del testar i laboratorium er det nødvendig å bore ut kjerneprøver frå lokalitetane. Utgangspunkt for dimensjon og antal prøvar er tatt i Statens vegvesen si handbok R210 Laboratorieundersøkelse (Statens vegvesen, 2005) og R211 Feltundersøkelse (Statens vegvesen, 1997b)

Dersom sprøytebetongen har ujamn tjukkelse er det viktig å søke eit område med «god» tjukkelse når borkjerner skal borast ut. For sprøytebetong er det difor ekstra viktig å berekne nokre ekstra kjerner, slik at ein sikrar seg eit statistisk materiale å arbeide ut frå.

5.2 Laboratorieundersøking

5.2.1 Vassprøve

Oppsamling av vassprøver i prøveflasker kan analyserast for pH, innhald av metallar og ionar i laboratorium. Vassprøver som inneheld partiklar kan filtrerast og analyserast for metallar. Dette for å kunne avgjere kor aggressivt vatnet og partiklane er.

5.2.2 Røntgendiffraksjon (XRD)

Røntgendiffraksjon, forkorta XRD, er ein analysemetode for å bestemme ulike krystalliseringar i prøvematerialet. Materialet som skal analyserast må knusast i ein morter og blandast med etanol før det tørkast litt og leggst på ein prøveholder. Alle diffraktogramma er køyrt mellom 2° og 70° på ein 2-theta skala i 20 minuttar. Diffraktogramma vart samanlikna med ein database frå International Centre for Diffraction Data.

5.2.3 Scanning Elektron mikroskopering (SEM)

Scanning elektron mikroskopi (SEM) er ein mikroskopiteknikk for å studere objekt ved stor forstørring. Prøven plasserast i eit vakuumkammer for deretter å bli «strålt» med elektronar. Elektrondeteksjon kan anten gjennomførast med sekundær elektron (SE) for å sjå topografisk kontrast eller tilbakespredt elektron (backscatter, BSE) for å vise atomnummerkontrast. Begge delar er nytta i oppgåva. I tillegg har maskinene påmontert røntgendeteksjonssystem som nyttast for å analysere sporelement og grunnstoff (NGU, 2005). SEM vart utført både på avskrapa overflatemateriale og på tynnslip.

Avskrapa overflatemateriale vart montert på karbontape utan vidare forbehandling.

Før analyse vart alle tynnslip reinsa med sprit i ultralydbad og deretter dekkja med eit tynt karbonskikt.

5.2.4 Testing av trykkstyrke

Før prøvane kan trykkprøvast må dei sagast og slipast for at trykkflatene skal bli plane. For å få eit samanliknbart og truverdig resultat er det krav til høgd og diameter-forholdet på prøven. Dette forholdet må ikkje vere mindre enn 0,75, altså høgda på prøven må minst vere 75% av diameteren. For prøvar med diameter på 60mm vil dette seie at dei må ha ei høgde på minst 45mm. Før trykktesting må prøvane vasslagrast i 3 døgn. For full prøvepreparering sjå metode 14.631 i Handbok R210 Laboratorieundersøkelse (Statens vegvesen, 2005).

Kravet til trykkstyrke av sprøytebetong i tunnelar er B35 (Statens vegvesen, 2010). Det vil seie minste karakteristiske sylindrefastheit på 35MPa (for terningfastheit er det minste karakteristiske fastheit på 45MPa). For utbora kjernar er kravet til fastheit minst 80% av karakteristisk fastheit – dvs. 80% av 35MPa, som er 28MPa (Statens vegvesen, 2005).

Testen indikerar homogeniteten i betongen på lokaliteten samt om betongen tilfredsstillar det forventa kravet til kvalitet.

5.2.5 Karbonatisering

Alle prøver som blei trykktesta vart også testa for karbonatisering. På dei ferske bruddflatene vart fenolftalein spraya på. Flater som er karbonatisert vil ikkje få den karakteristiske rosa fargen. (Statens vegvesen, 2005).

Karbonatisering kan og finnast ved mikroskopering. Ved å legge tynnslip i mikroskop med polarisert lys kan ein sjå karbonatisering og måle kor djupt karbonatiseringa går.

5.2.6 Fibertelling

Fibertelling utførast ved at prøvestykket med kjend dimensjon knusas ned og fibera blir så samla med magnet (stålfiber). Alle fibrane vart deretter vegd og fibermengde utrekna. (Statens vegvesen, 2005).

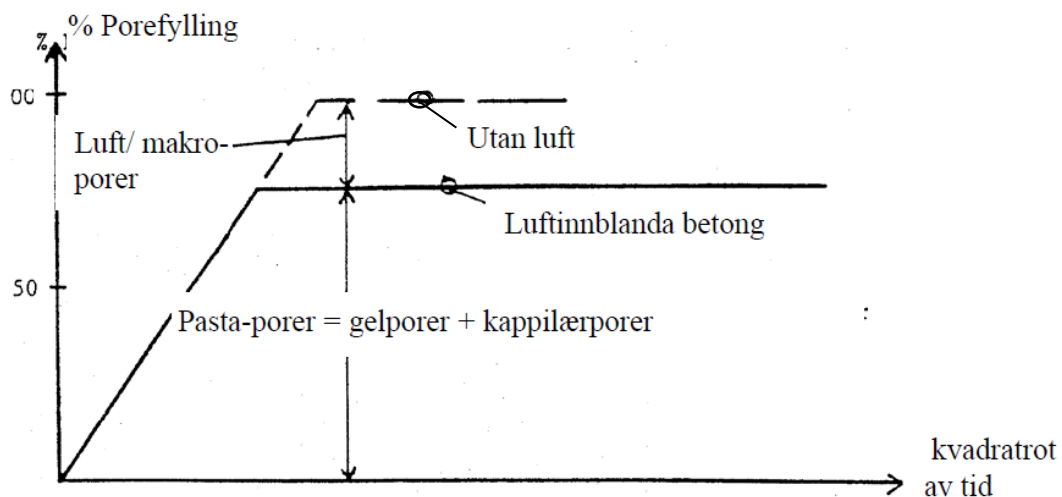
Testen viser kor godt fiberet har spredt seg ved påsprøyting av sprøytebetongen, evt. kan det vise at fiberet har «balla» seg og vore eit problem ved sprøyteutføringa, også kalla homogeniteten i sprøytebetongen.

5.2.7 PF-avgrensa metode

PF-metoden, avgrensa metode, er ein metode for å bestemme porøsitet og densitetar i herda betong. Metoden gjer det mogleg å estimere masseforholdet i betongen, ut frå porøsiteten. Handbok R 210 Laboratorieundersøkingar metode 14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF beskriv utføringsmetoden og utrekningsmetode for sugporøsitet, makroporøsitet og totalporøsitet.

For å rekne ut v/b-forholdet i PF-metoden er det antekke at betongen ikkje er tilsett luftinnførande stoff, altså at sugporøsitet = totalporøsitet, sjå Figur 5.4. Det må også gjerast vurderingar om pastamengde og hydratasjonsgrad, dersom betongresept ikkje er kjent. Ved kjent betongresept kan ein rekne ut den venta sugporøsiteten og samanlikne med resultatet frå prøvestykket.

Figur 5.4 Einsidig vass-sug (kapillærsug) i betong (NTNU TKT 4215, 2009).



For å reke ut totalporøsitet i pasta nyttast Formel 5.1. Ved kjent pozzolan-tilsetting i pastaen kan Formel 5.2 nyttast.

Formel 5.1 Formel for totalporøsitet i sementpasta (NTNU TKT 4215, 2009):

$$\varepsilon_{tot} = \frac{w/c - (1 - 0.254)w_n}{1/3.12 + w/c} = \frac{w/c - 0.172\alpha}{0.321 + w/c}$$

Formel 5.2 Formel for totalporøsitet i sementpasta med kjent silikamengde (NTNU TKT 4215, 2009):

$$\varepsilon_{tot} = \frac{w/c - 0.172\alpha + s/c \cdot 0.116\alpha_s}{0.321 + w/c + 1/2.2 \cdot s/c}$$

Teiknforklaring til Formel 5.1 og Formel 5.2	
w	Vassmengde
c	Sementmengde
s	Silikamengde
α	Hydratiseringsgrad for sement
α_s	Hydratiseringsgrad for silika

5.2.8 Tynnslip

Frå betongkjerne vart det laga tynnslip. Dette er interessante å lage for begge endar av betongkjernen, for å sjå om det skjer ei påverknad i overgang berg/sprøytebetong eller om det skjer ei påverknad i overgang luft/sprøytebetong.

Tynnslipa vart montert på glas med fluoriserande epoxy utan dekkglas. Tynnslipa vart polert for analyse på SEM

5.2.9 Strukturanalyse med fluorescencemikroskopi

Strukturanalyse med fluorescencemikroskopi kan utførast for å søke fastslå v/b-forhold.

Metoden utførast ved at tynnslipet med fluoriserande epoxy analyserast i eit mikroskop, som lysast opp under ultrafiolett lys. Intensiteten av fluoriserande materiale er avhengig av kapillærporøsiteten, samt kapillærporøsiteten er ein funksjon av v/b-forholdet og hydratasjonsgrada. V/b-forholdet kan då estimerast ved og samanlikne tynnslipet med referansetynnslip av betong som er laga med ulike v/b-forhold (Nordtest, 1999).

Nøyaktigheita på metoden er usikker. Dersom ein hadde samanliknbare prøvar (same alder, same sementtype, same resept osv.) med kjent v/b-forhold, ville nøyaktigheita vore sikrare. (Statens vegvesen, 2015).

5.3 Undersøkningsomfang

For å kunne seie noko om tilstanden på sprøytebetongen må den synfarast. Det betyr at ein gjerne må bak veggelement og søke, sjå, lukte og føle så godt det let seg gjere. Området mellom veggelement og berget kan vere trengt og uframkomeleg og i hengen er det ofte ikkje tilrettelagt for inspeksjon. Inspeksjon der kan difor kun gjerast frå bakken. Prøvetaking i hengen er ikkje mogleg utan å gjere store inngrep.

For å karakterisere tilstand og nedbrytingsmekanisme som er i Hopstunnelen og Nesttuntunnelen har det vorte gjennomført fleire synfaringa samt uttak av prøvar i fleire omgangar. Tabell 5.15 syner oversikt over testar som er gjennomført, føremålet med testen samt antal og type prøvemateriale det er gjennomført på.

Tabell 5.16 og Tabell 5.17 syner oversikt over prøvenummerering, prøvetype/ prøvedimensjon og kva type test som er gjennomført for dei forskjellige prøvane.

Tabell 5.15 Oversikt over utvelde testar, føremålet med testen samt antal og type prøve.

Type test:	Føremål med testen	Antal og type prøvar
1. Vassprøvar:	Kjemisk innhald i vatnet, ioneinnhald og pH.	1 prøve a 3 flasker frå kvar lokalitet
2. pH-verdi: måle med indikatorpapir.	pH-verdi er ein viktig parameter for å bestemme eksponeringsmiljø og kan gje indikasjon på om nedbryting føregår.	7 prøvar
3. Relativ luftfuktigheit og temperatur	Kan indikere kor gunstige forholda er for ulike typar nedbrytingar	1 måling på kvar lokalitet
4. Røntgendiffraksjon (XRD):	Finne mineralar/ krystallisering i overflata på lokaliteten.	5 Overflatematerial-prøvar
5. Scanning Electron Microscopy (SEM):	Finne kjemisk samansetting av prøvane samt strukturanalyse på slip. Kan og nyttast for å sjå eventuell bakteriell eksistens.	5 Overflatematerial-prøvar og 4 tynnslip
6. Trykkstyrke:	Styrken på betongen og om variasjon både i prøvelokaliteten og mellom prøvelokalitetane	12 kjerneprøvar
7. Karbonatisering:	Kan seie om overflata er påverka av karbon frå lufta	12 kjerneprøvar
8. Fibertelling:	Kan seie noko om variasjonen på sprøytebetongen samt venta strekkstyrke	12 kjerneprøvar
9. PF- avgrensa metode:	Bestemme porøsiteten i sprøytebetongen samt estimere masseforholdet.	1 prøve med to skiver frå kvar lokalitet
10. Tynnslip:	Kan supplere PF-metoden med tanke på porøsitet samt vise om det er skjedd ei utvasking av betongen	2 tynnslip frå 1 prøve i kvar lokalitet.

Tabell 5.16 Oversikt over uttekne prøvar i Nesttuntunnelen.

Prøvenummer	Prøvedimensjon/ prøvetype	Vassanalyse	XRD	SEM	pH	Trykkfastheit	Karbonatisering	Fibertelling	PF-metoden	Tynnslip
Nesttunt-149	3 flasker	X			X					
N-170	Dramsglas		X	X						
N-170	Indikatorpapir				X					
N-170-1-5	60mm, kjerne					X	X	X		
N-170-6	70mm, kjerne	Reserveprøve								
N-170-7-8	100mm, kjerne								X	X

Tabell 5.17 Oversikt over uttekne prøvar i Hopstunnelen.

Prøvenummer	Prøvedimensjon/ prøvetype	Vassanalyse	XRD	SEM	pH	Trykkfastheit	Karbonatisering	Fibertelling	PF-metoden	Tynnslip
H-207	3 flasker	X			X					
H-207 – filtrated particles	Filtrerte partiklar	X								
H-207-A, B, C	Dramsglas		X	X						
H-207-A, B, C, D og duk	Indikatorpapir				X					
H-207-1-4	60mm, kjerne					X	X	X		
H-207-5	70mm, kjerne	Reserve								
H-207-6-7	100mm, kjerne								X	X
H-207-8-10	60mm, kjerne					X	X	X		

Vassprøvene er analysert av Rambøll Analytics i Finland. XRD og SEM på overflatemateriale er gjennomført ved naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, under vegleing av Per Hagelia og Hans Jørgen Berg og Harald Folvik. XRD var køyrt i ei Siemens D 5005 Spectrometer. SEM vart analysert med Hitachi 3600 N med ein EDS-eining frå Thermon Electronic Corporation.

Testing av trykkstyrke, karbonatisering, fibertelling og PF-metoden er gjennomført ved Sentrallaboratoriet i region aust, Statens vegvesen, under vegleing av Knut Bernt Kjuul, Bente Mc Gonnell og Trond Lorentzen. Tynnslip vart laga ved institutt for energiteknikk på Kjeller ved Lars Kirksæther. Mikroskopering med polarisert lys er gjennomført i Vegdirektoratet under vegleing av Per Hagelia og på Universitetet i Bergen. Undersøking av

tynnslip med fluorescencemikroskop er utført av Sintef ved Marit Haugen. SEM av tynnslip er gjennomført ved Universitetet i Bergen, med støtte fra Ingunn Hindenes Thorseth. SEM-maskina ved universitetet i Bergen er av typen Zeiss Supra 55VP.

6 Resultat

I resultatkapittelet blir resultata for dei utvelde testane presentert frå Hopstunnelen og Nesttuntunnelen.

Hops- og Nesttuntunnelen er kledd med vass- og frostsikring utført med brannsikra PE-matter i hengen og veggelement med duk. Bergsikrings er utført med sprøytbetong i full lengde og med anbefalt minimumstjukkuleik på 5-6cm, (Statens vegvesen, 1998). Tilgang til baksida av veggelementa er via luker i veggelementet eller via luker i naudstasjonane. Rommet bak elementa varierar frå fleire meters breidde til at det er uframkomeleg for folk. Tunnelane blei bygd av Statens vegvesen sin eigen produksjonsavdeling og det var før inspeksjonsrom var eit tema.

Tunnelane vart opna for trafikk i 2002, før Statens vegvesen hadde krav om utarbeiding av sluttrapport eller som-bygget-dokumentasjon. Det er difor lite data å finne om tunnelane, kun 4 rapporter, alle rapportane er frå før bygging og ikkje oppdatert etter:

- ingeniørgeologiske forundersøking (Statens Vegvesen, 1998),
- vann frå tunnelanlegget (Statens vegvesen, 2000a),
- vann frå tunnelanlegg, søknad om utslipp i driftsfasen (Statens Vegvesen, 2001),
- rapport om grunnvannskontroll og tilstandsundersøking (Statens vegvesen, 2000b).

Det er altså ikkje funne nokon rapport eller resept på sprøytebetongen som er nytta i tunnelane. Telefonsamtalar med leiaren for firmaet som leverte sprøytebetongen, Arne Snemyr, gav ein resept slik han meinte og hugse den (Snemyr, A., 2014):

480 kg sement

20 kg silika

3,5 kg dynamo (plastiserande eller superplastiserande stoff)

1500 kg sand

1 kg SD-2000 (stoff som sikrar oppetid på ca. 4 timar og som blir drept av akseleratoren)

35 l AF-2000 (alkalifri akselerator)

vatn

Tilsette og 25kg stålfiber – Dramix

Blanda på v/c-tal 0,42 og tok då høgde for sprutveske. Notat frå samtalar med Snemyr er vedlagt som vedlegg 11.

6.1 Geologi i Nesttun- og Hopstunnelen

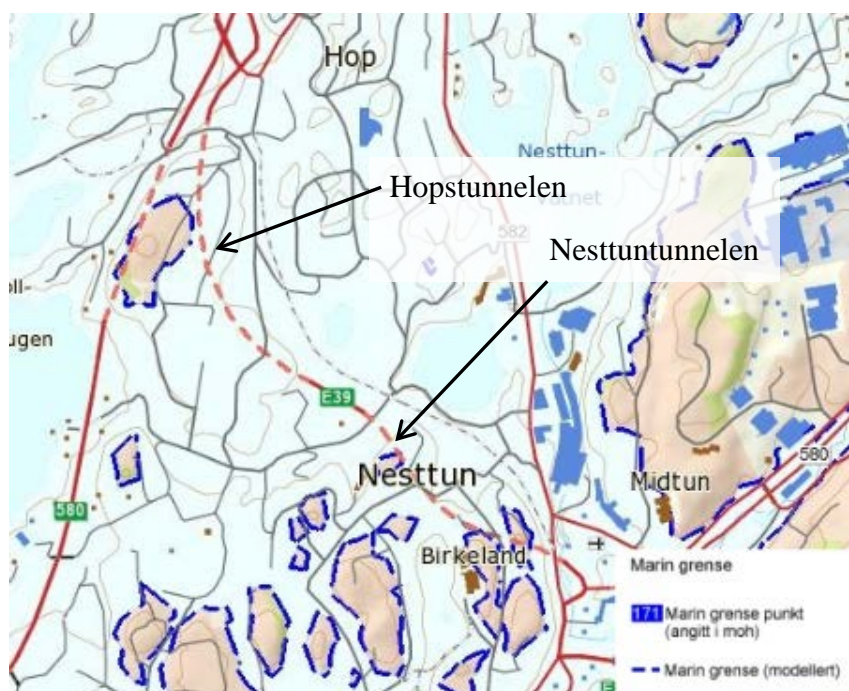
Nesttuntunnelen går gjennom eit berg som når opp i 50moh og tunnelsålen ligg mellom kote 23moh og kote 15moh med fall mot Hopstunnelen (nord). Tunnelen går i middels- til finkorna grå gneis. Eine påhogget (Nesttunsida) ligg i amfibol/glimmer skifer. Lokaliteten N170 ligg truleg i den diffuse overgangen mellom desse to bergartane. Det er få og små sprekker som treffer tunnelen (Statens vegvesen, 1998). Sjå vedlegg 1 Kart frå geologisk forundersøking

Hopstunnelen går gjennom Hopsåsen, som er ein bergrygg som når opp i 40-50moh. Påhogga til Hopstunnelen ligg mellom kote 11moh og kote 14,5moh med fall mot Hop (nord). Tunnelen går i middels- til finkorna grå gneis. Bergarten er anteke å ha granittisk eller syenittisk mineralsamansetting. Eine påhogget (Hop) + 100m inn i tunnelen går i finkorna mørk amfibol/glimmer/kloritt skifer. Lokalitet H-207 ligg i finkorna grå gneis og truleg ikkje så langt frå ei svakheitssone. Denne sona er i før-undersøkinga karakterisert som ei markant knusingssone med småblokking berg og noko grus/leire, mektigheita er anteke å vere 5-10m (Statens vegvesen, 1998).

I forundersøkingane er det ikkje registrert lausmassedjupner på over 3m over tunnelane (Statens vegvesen, 1998). Mellom tunnelane er det ei dagsone på ca. 150m, Kloppedalsmyra.

Tunnelane går også under marin grense i Bergen, sjå Figur 6.5.

Figur 6.5 kart over marin grense i Bergen og tunnelane avmerka (geo.ngu.no).



6.2 Lokalitet i Nesttuntunnelen, N-170

Sprøytebetongen i Nesttuntunnelen framstår og vere i generelt god tilstand. Det er nokre kalkutslag, dryppsteinar samt nokre mindre svarte flekkar og eit kvitt belegg nokre stadar på sprøytebetongen. Avgrensinga mellom det kvite belegget og betongen elles er veldig tydeleg, sjå Foto 6.2. Lokalitet N-170 ligg ca. 170m frå portalen på Nesttunsida (sør) og på venstre sida av tunnelen (sida mot sør).



Foto 6.2 Lokalitet N170 med det kvite belegget.

Lokaliteten N170 framstår som tørr. Betongen i området elles framstår som fuktig på overflata, mens det er knapt ein dråpe å oppdrive på lokaliteten. Lokaliteten er ca. 0,5m brei og går frå såle og ca. 3m opp. Den er ikkje spesifikk på knølane, men går både litt svingete og inn/ut over knølar. Det er fleire kvite parti i området og dei varierar mellom 0,5 – 2m². Rusta fiber er synsmessig jamt fordelt på veggane, altså både på våte og tørre parti av betongen. Det kvite laget er mindre enn 1mm tjukt og kan skrapast av med nagla. Det er ingen synlege riss og kan heller ikkje seiast at der er nokon synleg smitteeffekt mellom områder.

Uttak og nummerering av betongkjernar er utført slik Foto 6.3 syner. Preparering av alle kjernar er vist i vedlegg 2.



Foto 6.3: Navnsetting av prøver i lokalitet N-170

6.3 Lokaltetane i Hopstunnelen, H-207 og H-620

Sprøytebetongen i Hopstunnelen framstår i generelt god stand, den har dryppsteinar og kalkutslag og framstår kanskje som noko meir fuktig enn Nesttuntunnelen. I tillegg har den nokre svarte flekkar og nokre brunfarga utslag med ein leir-aktig masse hengande under, sjå Foto 6.4 og Foto 6.5. Ein stad er det også eit brunfarga utslag med kvite bobler over. I Hopstunnelen er det undersøkt to lokalitetar.

6.3.1 Lokalitet H-207

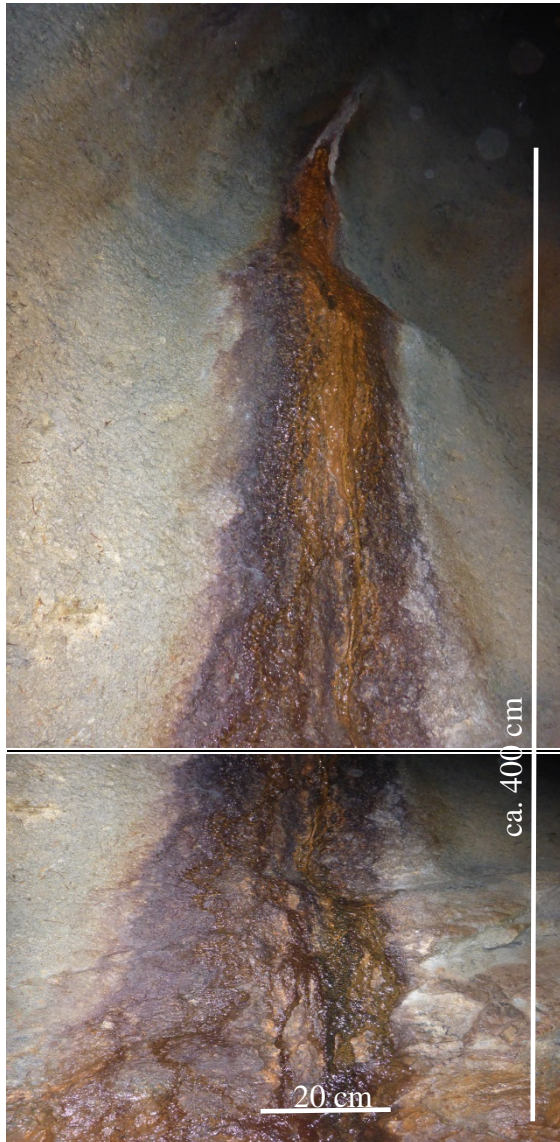


Foto 6.4:Lokalitet H-207.

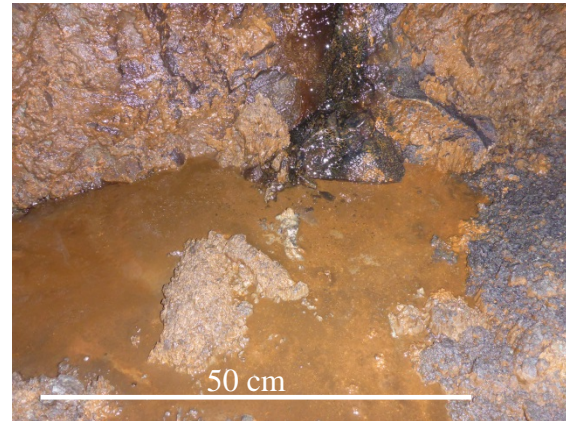


Foto 6.5:Vassdam på sålen under lokalitet H-207

Lokalitet H-207 ligg 207m inn i tunnelen frå Kloppedalssida, på venstre sida av tunnelen (sida mot sør/vest). Området lokaliteten ligg i framstår i store trekk som tørt, bortsett frå eit drypp frå hengen som treffer vass-sikringsduken og spreier dråpane utover. Lokaliteten H-207 er ca. 0,5m brei og går i ein spiss trekant oppover til ca. 4m over sålen. Sprøytebetongen er veldig tynn nederst mot sålen så blir den tjukkare oppover i lokaliteten. Det renn vatn frå toppen av lokaliteten, dette samlar seg i ein dam på sålen saman med ein leir-aktig masse. Vidare er det brun leir-aktig masse der vatnet renn, mens det i ytterkant av lokaliteten er svart og relativt tørt. Øvst på lokaliteten kan det sjå ut til at massen er kvit (kanskje kalsitt). Det øverste punktet startar i underkvant av ein knøl.

0,5m til venstre for lokaliteten ligg det eit mindre området som liknar på dette, tilsvarande gjer det og ca. 1m midt over desse to lokalitetane. Desse to andre områda er mykje mindre, knapt $0,5\text{m}^2$ kvar. I hengen kan eg sjå 3 liknande lokalitetar, men desse er og mykje mindre

og fleire ser ut til å kome frå boltehol. Sprøytebetongen har stålfiberarmering og denne ser ut til og vere rusta jevnt over i heile området.

Foto 6.6 syner oversikt over namnsettinga i lokalitet H-207, ved uttak av prøvar av overflatebelegg, Foto 6.7 syner uttekne prøvar av overflatemateriale med fargeforskjel og mengdeforskjellar. Foto 6.8 syner oversikt over namnsettinga av kjernepøvar i lokalitet H-207. Preparering av alle kjernar er vist i vedlegg 2.

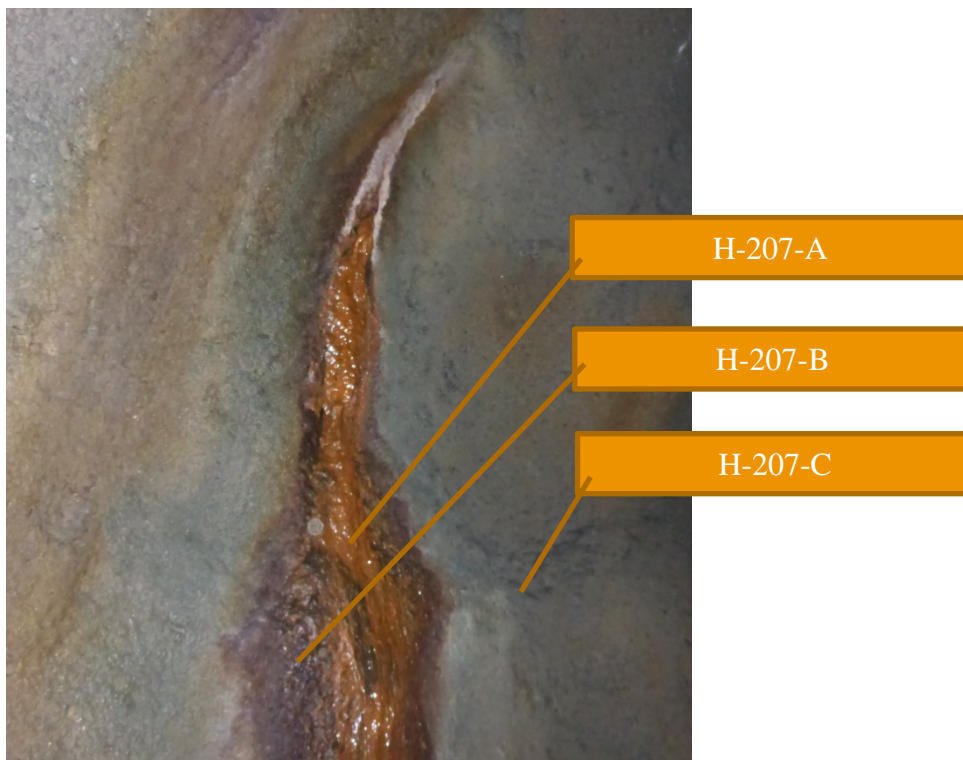


Foto 6.6: Oversikt over namnsetting i lokalitet H-207 av overflatebelegget.



Foto 6.7: Dramsglas med prøvemateriale frå overflatene på lokalitetane.

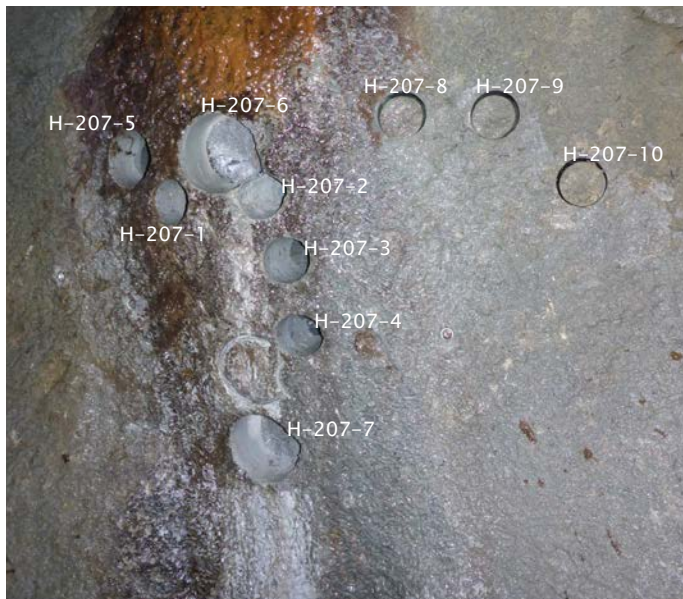


Foto 6.8: Navnsetting av kjerneprøver i lokalitet H207

6.3.2 Lokalitet H-620



Foto 6.9: Lokalitet H-620

Lokalitet H-620 ligg 620m inn i tunnelen frå Kloppedalssida. Lokaliteten er 0,1m brei og om lag 25cm høg, sjå Foto 6.9. Den er mellom 1,5m og 2m over sålen. På toppen av lokaliteten er det kvitt skum/ bobler og svart under. På det svarte er det som eit tynt lag med fin «spindelveg» utanpå. Synsintrykket gjev inntrykk av at det heng ein brun leirmasse utanpå sprøytebetongen, men pirkning med kniv viser at det ikkje er tilfelle. Lokalitet H-620 ligg så

tett inn mot veggelementa at ein ikkje kan bore ut kjerneprøvar herfrå. Sprøytebetongen har stålfiberarmering og denne ser ut til å vere rusta jevnt over heile området.

6.4 Vassprøvar

I tunnelar er det vanleg med lekkasjar med forskjellige vassmengder, det kan dreie seg om alt frå dråpar til nokre få liter i minuttet. Ut frå dei grunnundersøkingane og kontroll av grunnvasskvalitet som låg til grunn for søknad om utslepp i driftsfasen, var det ikkje venta at vatnet skulle vere aggressivt eller ha forhøga konsentrasjonar av miljøgifter. (Statens vegvesen, 2001). For Hop- og Nesttun-tunnelane er fylgjande klassar, jf. NS-EN 206, dermed aktuelle å vurdere:

2. Korrosjon framkalla av karbonatisering
 - XC3 Moderat fuktigheit
3. Korrosjon framkalla av klorider som ikkje stammer frå sjøvattn
 - XD1 Moderat fuktigheit
6. Kjemisk angrep
 - < XA1: det er ikkje venta aggressivt vatn eller forhøga konsentrasjonar av miljøgifter.

Vassprøvane var prøvetatt 11.09.2014 og analysert på laboratoriet 17.09.2014, sjå Foto 6.10 og Foto 6.11.



Foto 6.10 vassprøvar samla i Nesttuntunnelen, N-149

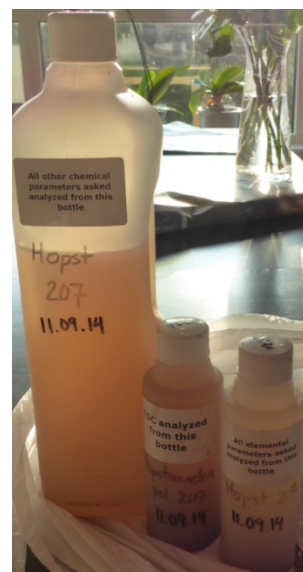


Foto 6.11 vassprøvar samla i Hopstunnelen, H-207

Det var tatt ut ein prøve ved kvar lokalitet. Prøve N-149 er samla frå dropar som dropla frå hengen, altså vatn som er anteke å ha lite kontakt med sprøytebetongen. Prøve H-207 er samla frå rennande vatn som rann på lokaliteten, dette er vatnet som er anteke å ha mykje kontakt med betongen det renn på.

Prøve H-207 inneheldt partiklar som kunne filtrerast og analyserast. Prøve N-149 inneheldt ikkje partiklar som kunne filtrerast. Sjå Tabell 6.18 for resultat av vassprøve og Tabell 6.19 for resultat av filtrerte partiklar. For fullstendige resultat av vassprøvene sjå vedlegg 3.

Tabell 6.18 resultat av vassprøvar og samanstilling med Tabell 4.4 grenseverdiane i NS-EN 206 (tabell 2 i NS-EN 206).

Kjemisk innhald	N-149 ⁵	NS-EN 206	H-207	NS-EN 206	Eining
Sulfat – SO ₄ ²⁻	10	<XA1	6,5	<XA1	mg/l
Oppløyst organisk karbon (DOC)	2,4		4,8		mg/l
Nitrat – NO ₃ ⁻	1,8		2,4		mg/l
Ammonium – NH ₄ ⁺	<0,0060	<XA1	<0,0060	<XA1	mg/l
Klor - Cl	35		15		mg/l
Magnesium - Mg ²⁺	1300	<XA1	5500	<XA1	µg/l
Jern – Fe	<10		<10		µg/l
Silisium – Si	4500		6100		µg/l
Fosfor – P	<100		<100		µg/l
Mangan – Mn	<1,0		<1,0		µg/l
Aluminium – Al	54		<10		µg/l
Kalium – K	12000		7400		µg/l
Natrium – Na	67000		9700		µg/l
Svovel - S	4600		3400		µg/l
Kalsium – Ca	8300		58000		µg/l
pH	8,1	<XA1	8,1	<XA1	

Tabell 6.19 resultat av filtrerte partiklar frå vassprøve i Hopstunnelen.

Kjemisk innhald	H-207 filtrerte partiklar	Eining
Magnesium - Mg ²⁺	3900	mg/kg
Jern – Fe	220000	mg/kg
Silisium – Si	49000	mg/kg
Fosfor – P	4000	mg/kg
Mangan – Mn	54000	mg/kg
Aluminium – Al	11000	mg/kg
Kalium – K	6800	mg/kg
Natrium – Na	3100	mg/kg
Svovel - S	1900	mg/kg
Kalsium - Ca	34000	mg/kg

Sulfatkonsentrasjon kan vurderast ut frå svovelkonsentrasjon, ved å vurdere om vatnet er reduserande eller oksiderande. Frå Tabell 6.18 kan det fastslåast at vatnet i Hopstunnelen er

⁵ Prøven var teken der det var mogleg å samle vatn, 21m frå lokalitet N-170.

okserande. Sulfatkonsentrasjonen SO_4^{2-} , frå Tabell 6.19, vert då 5700mg/kg, men det er då ikkje kjent kor mykje av dette som er løyseleg. Standarden set krav til ekstraksjon ved saltsyre eventuelt vatn, slik at å plassere sulfatinnhald i partiklane til klasse XA2, blir ikkje riktig, men gjev ein indikasjon.

6.5 pH

pH blei målt både i vassprøvar sendt til laboratorium og med indikatorpapir på lokalitet. pH i vassprøvene sendt til laboratoriet var 8,1 for begge prøvelokalitetane. For resultat internt i lokalitetane sjå Tabell 6.20.

Tabell 6.20 pH målt med indikatorpapir på lokaliteten.

Lokalitet	N-170	H-207-A	H-207-B	H-207-C	H-207-D	H-207-duk	H-620
pH	10-10,5	7,2-7,4	6,8	6,8	6,8-7,0	6,8	7,0

For Nesttuntunnelen var det vanskeleg å få nok vatn på papiret, sidan det måtte takast på enkeltdråpar som hang på betongen.



Foto 6.12 pH kontroll på H-207-B

For Hopstunnelen H-207 vart det gjennomført målingar fleire stadar i lokaliteten. H-207-A er midt i lokaliteten på vatnet som renn på massen. H-207-B er på sida av overflatematerialet, i det svarte området. Her var det vanskeleg å få nok vatn på indikatorpapiret, så måtte gni det litt inn i materialet, sjå Foto 6.12. H-207-C er målt på betongen som var på høgre sida av lokaliteten. Denne betongen såg i utgangspunktet intakt ut, men ved å stikke kniven inn i betongen viste det seg at den har eit laust lag ytterst. Dette laget er anslått til å vere mellom 1mm og 5mm tjukt. Fordi dette området kan vere påverka av dropling frå heng ned på tunnelduk og deretter sprut på lokaliteten, vart pH på vatnet som rann langs tunnelduken også

målt, prøven namnsett som H-207-duk. pH på vatnet i dammen på sålen vart også målt, prøven namnsett som H-207-D.

Lokaliteten H-620 i Hopstunnelen vart også pH-målt. Her vart pH målt i vatnet rett under dei kvite boblene, sjå Foto 6.9. For dokumentasjon av prøvetakinga samt nøyaktigheita på testane i dei forskjellige lokalitetane sjå vedlegg 18.

6.6 Relativ luftfuktigheit og lufttemperatur

Relativ luftfuktigheit blei målt, resultatane er presentert i Tabell 6.21

Tabell 6.21 Målt luftfuktigheit og lufttemperatur, ei tilfeldig natt i januar.

Lokalitet	Luftfuktigheit	Lufttemperatur
Hop – ute i dagen	57%	-3°C
N-170	60%	7,6°C
H-207	65%	4,8

Resultatet frå måling av relativ luftfuktigheit og lufttemperatur er veldig usikkert, fordi instrumentet som er nytta ikkje er kalibrert eller har ei kjend nøyaktigheit. Apparatet brukte også lang tid på å justere seg for kvar lokalitet, slik at målingane måtte avsluttast før apparatet hadde justert seg ferdig.

6.7 Røntgendiffraksjon (XRD)

I lokalitet N-170 var det vanskeleg å få skrappa av prøvemateriale, samt å sikre at det kun var det ytterste laget som blei skrappa av, og ikkje sprøytebetongen. Sjå Foto 6.7

Prøve merka H-207-A inneheld overflatematerialet som hang utanpå sprøytebetongen. Denne var våt og lett å samle.

Prøve merka H-207-B er frå det svarte feltet på sida, sjå Foto 6.6. Dette området er tørrare og vanskelegare å samle prøvemateriale frå.

H-207-C er frå betongen på høgre sida av lokaliteten, sjå Foto 6.6. Dette området vekslar mellom hard betong og lausare lag som pirkast laust med kniv.

I lokalitet H-620 var det venta at det skulle vere enkelt å ta ut prøvar av overflata. Det var det derimot ikkje. Dei kvite boblene, sjå Foto 6.9, samt litt overflatemateriale rundt dei vart samla. Resten av lokaliteten var berre brun med rennande vatn og inga avleiring.

Tabell 6.22 syner resultatet frå kvar lokalitet gjennom XRD-analysen. For H-207-C var det vanskeleg å fastlegge kva mineral som fans i prøven, biotitt som er ein type svart glimmer og halloysitt som er eit glimmerliknande mineral som kan swelle kan stemme med diffraktogrammet, men me har likevel ein kurve som me ikkje klarte fastslå.

Tabell 6.22 Resultat av prøvar ved XRD.

Prøve nr.	Innhald i prøven
N-170	Kalsitt $(Mg_{0.06}Ca_{0.94})(CO_3)$ (kalkspat) Albitt $(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$ (feltspat) Microline maximum $KAISi_3O_8$ (feltspat) Kvarts SiO_2
H-207-A	Amorf
H-207-B	Kalsitt $Ca(CO_3)$ (kalkspat) Kvarts SiO_2 Albitt $Na(AlSi_3O_8)$ (feltspat) Microline intermediate $K_{871}Na_{.120}Rb_{.008}Al_{10.94}Si_{3.06}O_8$ (feltspat) Buserite $Na_4Mn_{14}O_{27} \cdot 21H_2O$
H-207-C	Albitt $Na(AlSi_3O_8)$ (feltspat) Kalsitt $Ca(CO_3)$ (kalkspat) Kvarts SiO_2 Biotitt $K_2(Fe_{2.786}Mg_{2.321}Ti_{0.550})(Al_{2.413}Si_{5.587}O_{20})(OH)_4$ Halloysitt $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$
H-620	Kalsitt $Ca(CO_3)$ (kalkspat)

For fullstendig diffraktogram, sjå vedlegg 4.

6.8 Scanning Elektron mikroskopering (SEM)

6.8.1 Resultat frå overflatematerialet

Prøvematerialet preparerast ved å legge litt av prøvematerialet tynt utover ein karbontape, sjå Foto 6.13. Prøven blir så sett i vakumkammeret, sjå Foto 6.14.



Foto 6.13: Prøvematerialet preparert for SEM. Det raude merket er for å kunne orientere prøven inne i maskina.



Foto 6.14: Prøven plassert i SEM-maskina. Klar for å skyvast inn i vakumkammeret.

Spektrum:

Tabell 6.23 syner kjemisk innhald frå spektrummet på lokalitet H-207. På dei andre lokalitetane vart ikkje spektrummet lagra.

Tabell 6.23 Resultat ved SEM på overflatemateriale frå lokalitetane. Frå spektrum analysen:

Prøve nr.	Innhald i prøven
N-170	Sjå resultat frå mapping
H-207-A	C, Si, Ca, Fe, Mn, P
H-207-B	C, Si, Ca, Fe, Mn, Al, P, K, Mg, Na, S
H-207-C	C, Si, Ca, Fe, Al, K, Mg, Na, Ti
H-620	Sjå resultat frå mapping

Mapping:

N-170: det er lite jern, mangan og fosfor i prøven. Som XRD viser ser det ut til at karbon fyl kalsium, samt kalium, aluminium og silisium fyl kvarandre. Prøven har lite innhald av klor.

H-207-A: viser tydelege mikroorganismar i prøven. Mikroorganismen ser ut som hylsebakteriar. Prøven inneheld mangan, fosfor, svovel og kalsium som ligg relativt jevnt spredt utover. Karbon og oksygen har ei antydning til samanfall. Jern og silisium kan ha ei vag antydning til å fylge bakteriane

H-207-B: syner innhald av mikroorganismar, sjå Foto 6.15. Jernet fyl bakteriane, sjå Foto 6.16. Silisium kan ha ei svak antydning til ein forhøga konsentrasjon langs bakteriane, sjå Foto 6.17. Aluminium, Natrium og Kalium fyl steinane i prøven. Det er lite klor i prøven.

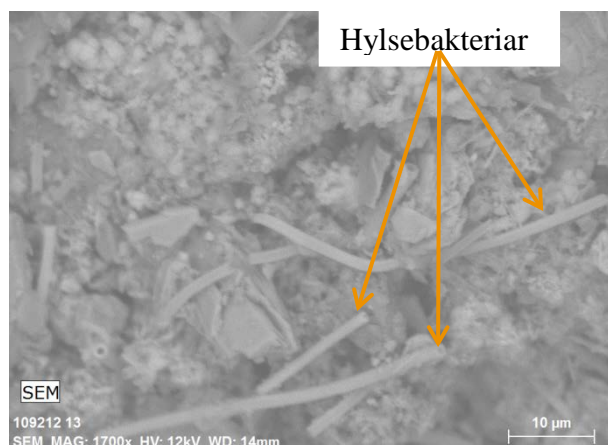


Foto 6.15 Foto frå SEM av hylsebakteriar funne i prøve H-207-B

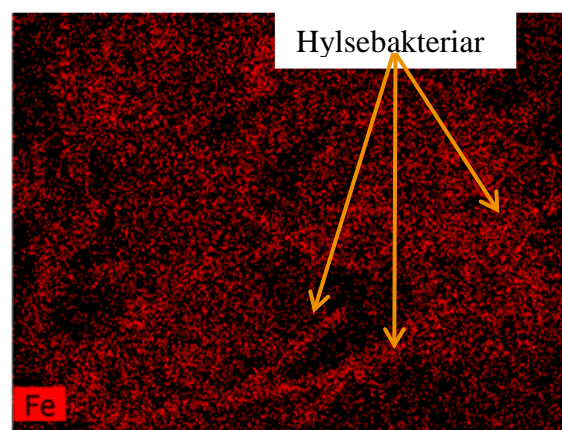


Foto 6.16 Jernet fyl hylsebakteriane vist i Foto 6.15

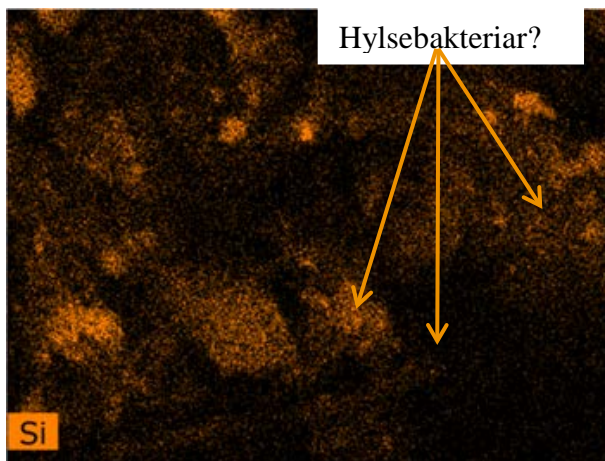


Foto 6.17 Antydning til at silisium kan fylgje bakteriane.

H-207-C: syner ikkje teikn til mikroorganismar bortsett frå at prøven inneheld noko fosfor. Prøven har nokre svarte områder, truleg pga. av at den er ujamn med relativt store søkk. Elles kan nemnast at prøven har lite jern, lite mangan og lite klor som alle er jevnt spreidd utover.

H-620: prøven kan innehalde mikroorganismar. Der er ei vertikal hylse som kan vere ein mikrobakterie, sjå Foto 6.18. Innhaldet av jern og fosfor i prøven kan også indikere dette. Der karbonet fyl kalsiumet kan det vere kalsiumkarbonat, men resten av karbonet kan vere organisk, dette også fordi oksygenet ser ut til å fylgje karbonet. For utfyllande resultat frå SEM på overflatematerialet vises det til vedlegg 5.

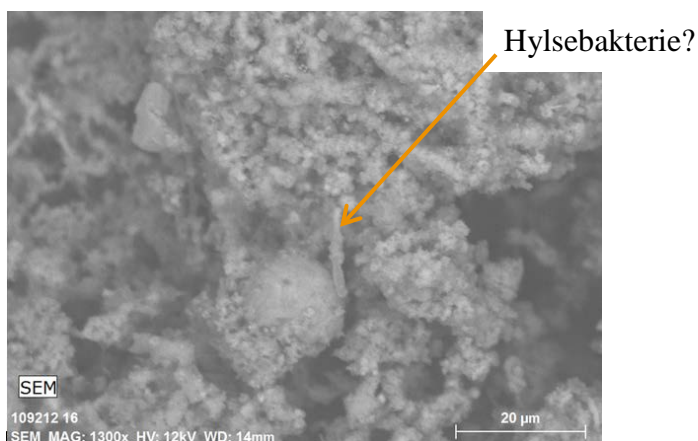


Foto 6.18 Foto frå prøve H-620 av mogleg hylsebakterie.

6.8.2 Resultat frå mikroskopering av tynnslip.

Frå lokalitet N-170 og H-207 er det laga to tynnslip frå 1 kjerneprøve. Tynnslipa er vist på Foto 6.19 og Foto 6.20. Tabell 6.24 viser oppsummerer resultatata frå betongkjernane med tynnslip.



Foto 6.19 Foto av ferdig preparerte tynnslip og betongprøve frå Nesttuntunnelen, prøve N-170-8.

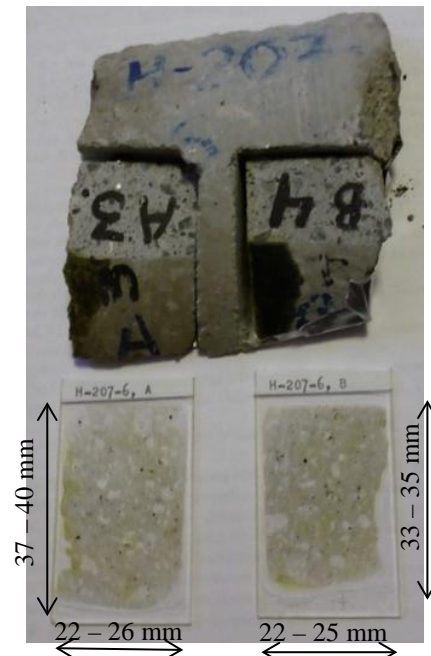


Foto 6.20 Foto av ferdig preparerte tynnslip og betongprøve frå Hopstunnelen, H-207-6.

Nesttuntunnelen:

Prøven frå Nesttuntunnelen viste at tilslaget består av knust tilslag og elvetilslag. Det er funne karbonatisering i overflata mellom 0,2 og 1mm inn i prøven, sjå kapittel 6.10 om karbonatisering.

Hopstunnelen:

Mikroskopering med SEM syner ei jernutfelling ytterst på prøve H-207-6-A, sjå Foto 6.21 for oversiktsbilete med overgangane frå utfellingane ytterst til frisk betong innerst, fotoet syner at grensa mellom mørk omvandla pasta og frisk pasta ligg om lag 1mm frå overflata. Foto 6.22 syner randutfelling ved større forstørring. Alle foto er backscatterbilder (SEM-BSE).

Utfyllande resultat frå mikroskopering av tynnslip er vedlagt i vedlegg 12, 13 og 14.

Kalsittutfelling, sjå Foto 6.26

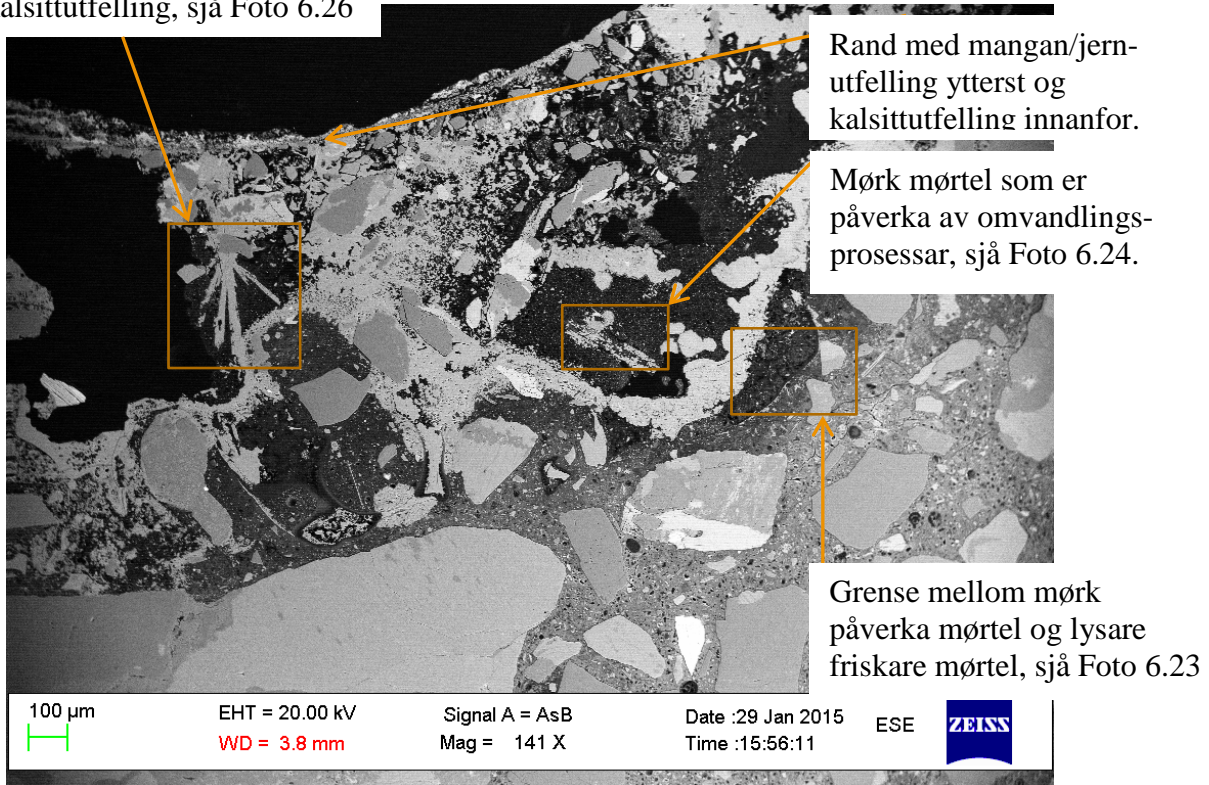


Foto 6.21 Oversiktsbilete med mangan- og jernutfellinga ytterst og grensa mot den friskare betongen innerst, frå prøve H-207-6-A

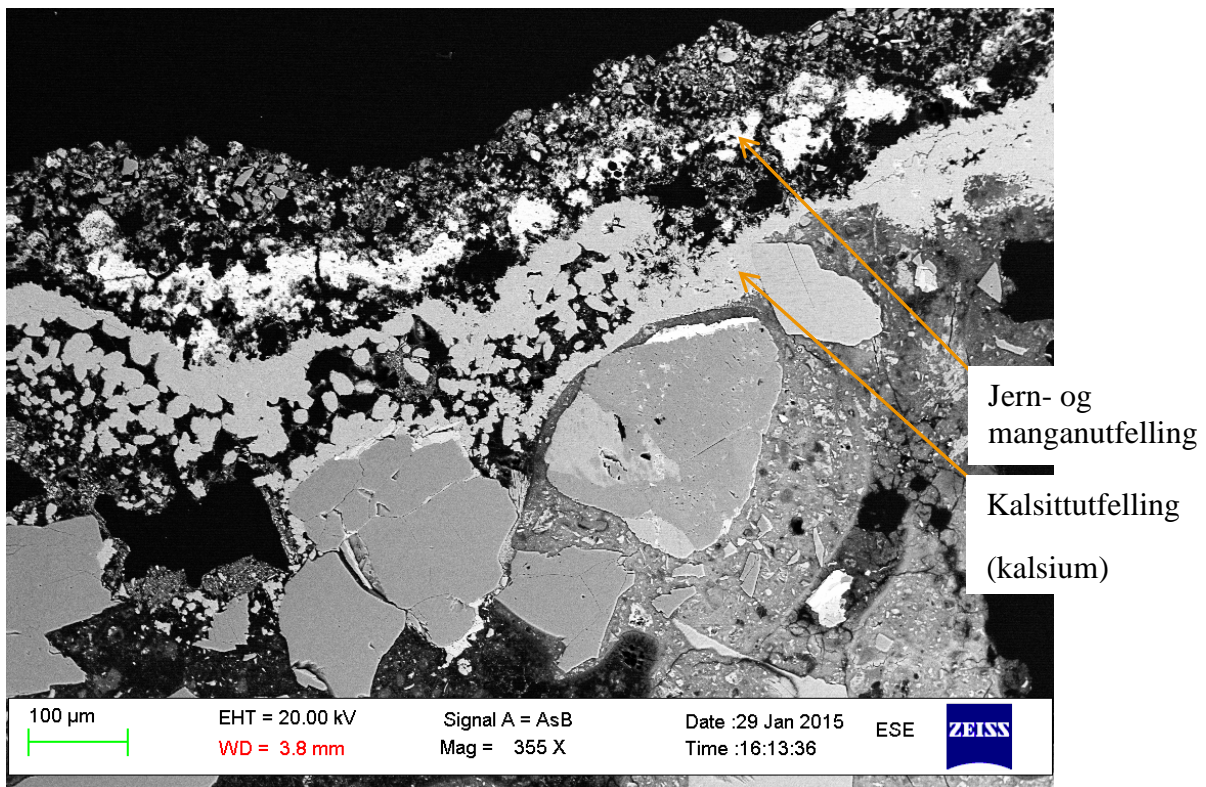


Foto 6.22 Rand med utfelling på overflata til prøve H-207-6-A.

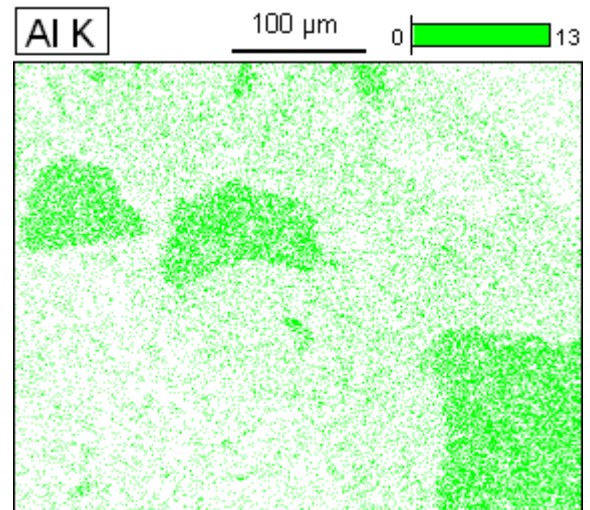
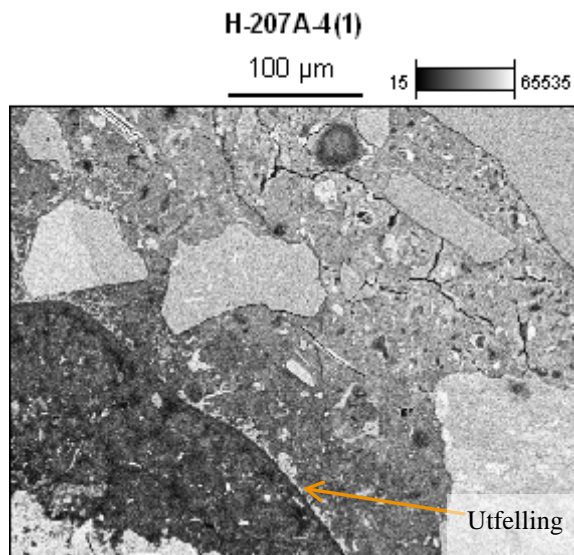
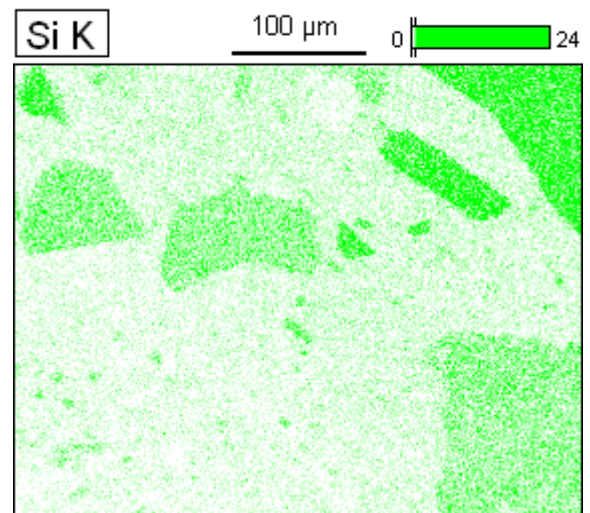
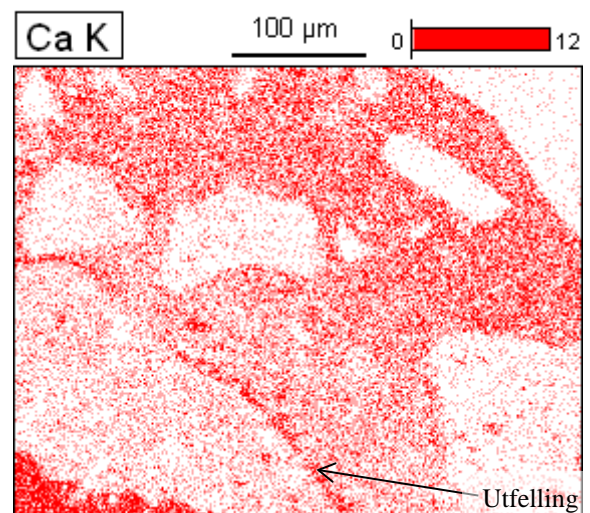
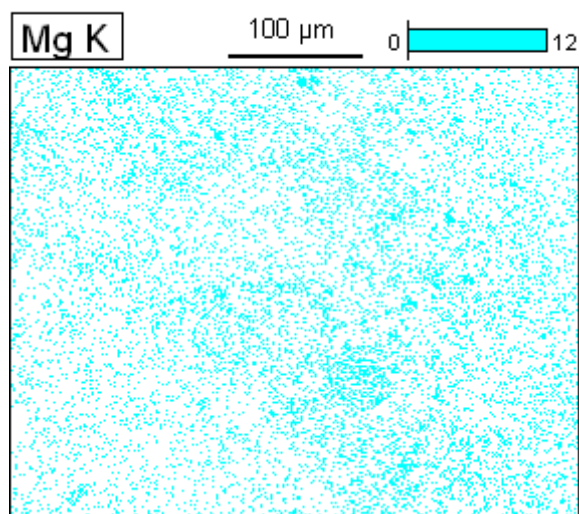


Foto 6.23 Utsnitt av område som er kartlagt for utlekking

Vedlagt er EDS for Mg, Al, Si og Ca. Disse kan vise ei antydning til at det skjer ei utlekking av desse stoffa. Foto 6.23 syner også ei rand med utfelling, som ein ser igjen i Ca, sjå piler.



EDS for S, Cl, K, MN og Fe viste ikkje teikn til utlekking, men er jevnt fordelt i heile området.



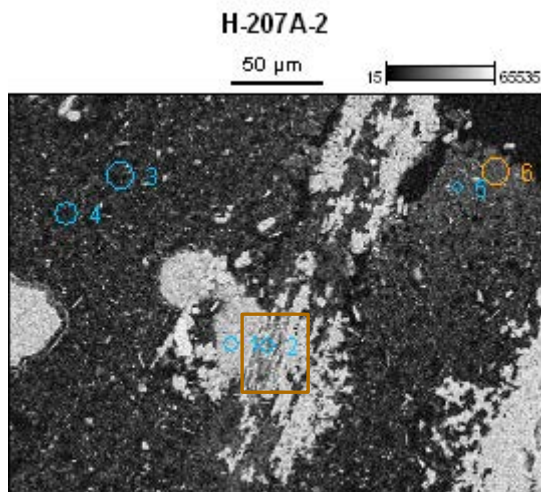


Foto 6.24 Mørk pasta som er kontrollert for omvandling. Innramma område er forstørret i Foto 6.25. (NB: fotoet er snudd ca. 90° i forhold til Foto 6.21).

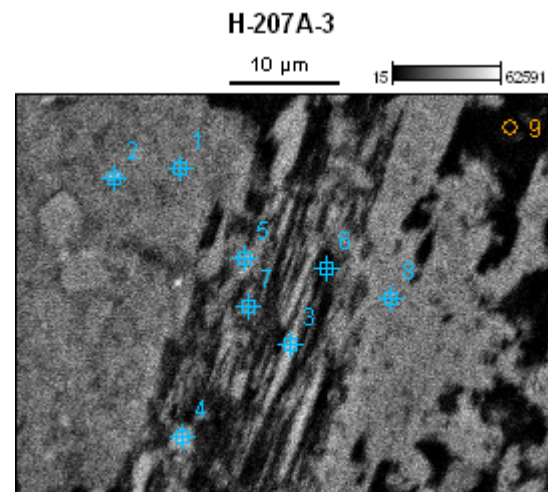


Foto 6.25 Utsnitt frå Foto 6.24, området er kontrollert for omvandling.

Foto 6.24: Område 1, som ligg like til venstre for det innramma området er kalsitt. Område 3 - 6 består i hovudsak av Mg, Al og Si.

Foto 6.25: Området 3-7, sentralt i fotoet, inneheld Mg, Al, Si, men alle punkta inneheld også Ca, til forskjell for punkt 9, som inneheld Mg, Al og Si, same som punkt 3-6 i førre foto.

Det blei ikkje funne teikn til svovel (S) i området.

Foto 6.26 Syner kalsittutfelling i ei pore, der kalsitten har fått utvide seg fritt. Foto 6.27 syner utfelling i ei irregulær pore. Utfellinga i pora ser ut innehalde Ca og S, truleg gips altså og tyder på at betongen har vore våt ein gong.

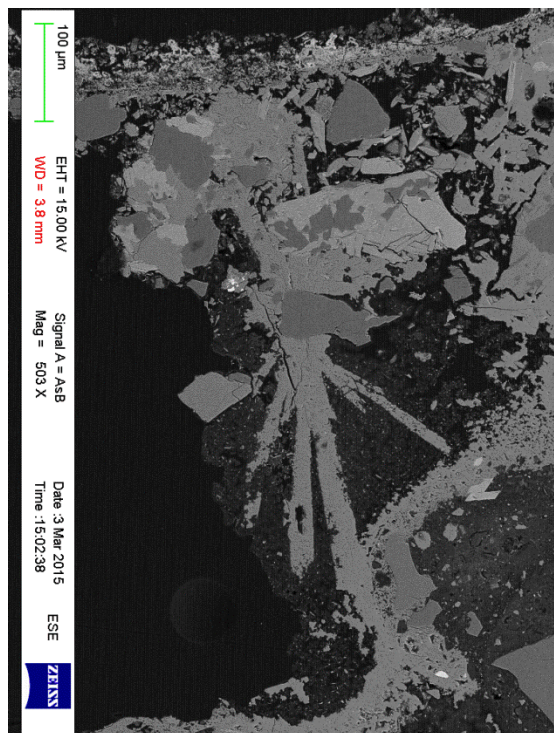


Foto 6.26 Kalsittutfelling i ei pore i overflata.

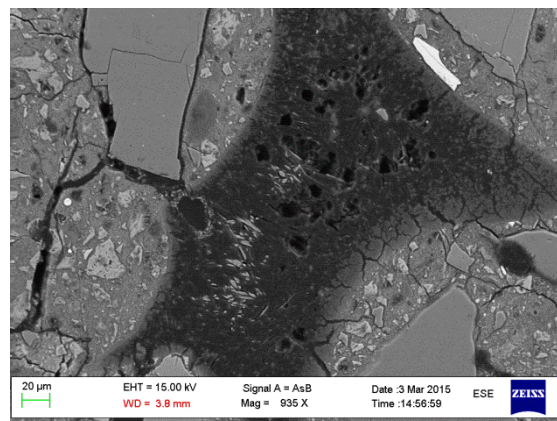


Foto 6.27 Syner utfelling i ei irregulær pore.

Tabell 6.24: Oppsummering av resultat for kjerneprøvar med tynnslip.

Lokalitet, kjernetype, total tjukkelse	Fukttilhøve på overflata	Utfellingar på overflata	Antal mm omvandling mot overflata	Antal mm god betong	Antal mm omvandling mot heftsona	Heftsona inkl. fuktforhold	Bergart
Nesttuntunnelen N-170-8, 100mm kjernediameter,	Relativt tørt, enkelt-dråpar som heng	Kvitt lag	0,2-3	90	0	Tørt med god heft til berget	Gneis med glimmerband
Hopstunnelen H-207-6, 100mm kjernediameter	Rennande vatn	Biomasse heng på betongen	1	64	0	Tørt med god heft til berget	Gneis

6.9 Trykkstyrke

For Nesttun og Hops-tunnelane er det truleg at kravet til trykkstyrken då dei var bygd var B35 (sylinderfastheit). Kravet til trykkstyrke på utbora kjernar vert difor 28MPa. For preparering av prøvane sjå vedlegg 2.

Resultat frå trykkprøving av kjernar frå Nesttun og Hops-tunnelane er gjeve i Tabell 6.25. Alle kjernar viste god vedheft til berget samt dei er observert å vere jevne utan laminering eller synlege teikn til lagdeling. Oversikt over fullstendig resultat frå trykkprøving er vist i vedlegg 6.

Tabell 6.25 Oversikt over densitetar og trykkfastheiter, presentert i sylinderfastheit i h/d-forhold 2:1.

Prøve nr.	Densitet kg/m ³	Trykkfasthet MPa	Gjennomsnitt trykkfasthet – sylinder MPa	Standardavvik
N-170-1	2210	42,1	44,9	3,2
N-170-2	2190	43,1		
N-170-3	2200	49,3		
H-207-1	2320	84,2	75,2	6,5
H-207-2	2290	68,8		
H-207-3	2310	72,6		
H-207-8	2300	74,1	70,0	2,9
H-207-9	2310	68,1		
H-207-10	2310	67,7		

6.10 Karbonatisering

Det blei ikkje funne noko karbonatisering på uttekne betongkjernar, ved fenolftaleintesting. Dette fordi området der karbonatisering kan finnast var kutta av i høve med prøvepreparering for trykktesting.

Ved mikroskopering med polarisasjonsmikroskop, fann ein karbonatisering i ytterkant av prøve N170-8-A frå Nesttuntunnelen, sjå Foto 6.28 og Foto 6.29, på sida mot tunnelrommet. Fotoa er tatt i mikroskop med krysspolarisert lys. Den karbonatisert sona strekker seg mellom 0,2 og 1mm, men det finns også mindre områder der karbonatiseringa har nådd 2-3mm inn i prøvestykket. For ytterlegare foto frå polarisasjonsmikroskop, sjå vedlegg 10. For vurdering av levetid i forhold til karbonatisering, sjå vedlegg 19.

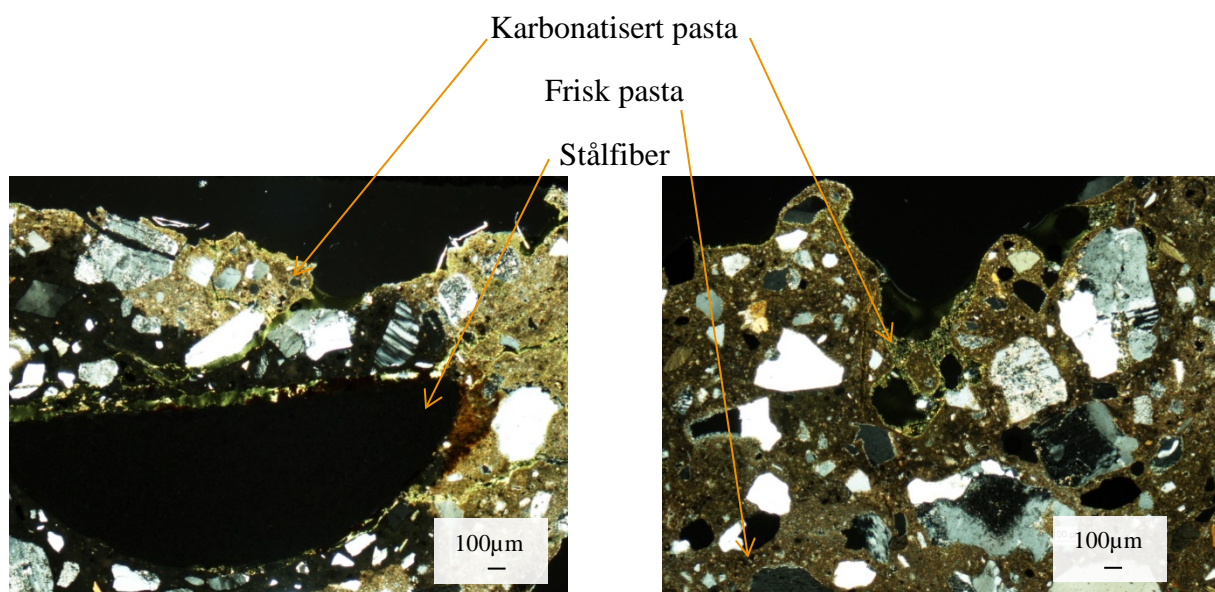


Foto 6.28 Foto av karbonatisering i Nesttuntunnelen N-170-8-A, inkludert eit stålfiber.

Foto 6.29 Foto av karbonatisert område i Nesttuntunnelen N-170-8-A.

Det blei ikkje funne karbonatisering i Hopstunnelen.

6.11 Fibertelling

Nedknusing av kjernane viste at det var nytta to typar fiber. I lokaliteten i Nesttunnelen er nytta Bekaert-fiber, medan det i Hopstunnelen er nytta Dramix-fiber. Resultatet frå fibertellinga er gjeve i Tabell 6.26. For fullstendige resultat vises det til vedlegg 7.

Fibrane i begge tunnelane er observert å vere rusta i overflata, men synte ingen teikn til rust innover i kjernen.

Tabell 6.26 Oversikt over utrekna fiberinnhald i sprøytebetongen.

Prøve nr.	Fiberinnhald kg/m ³	Gjennomsnitt kg/m ³	Standardavvik	Fibertype
N-170-1	36	26	7,1	Bekaert
N-170-2	23			
N-170-3	19			
H-207-1	41	42	3,8	Dramix
H-207-2	38			
H-207-3	47			
H-207-8	41	41	0,5	Dramix
H-207-9	40			
H-207-10	42			

6.12 PF- avgrensa metode

For fullstendig prøvepreparering sjå vedlegg 2.

Ein kjerne med diameter 100mm vart delt i to og porøsitet samt v/b-forholdet er undersøkt jf. metode 14.637 hb R210. Sjå Foto 6.30 og Foto 6.31 av prøvestykkene. Prøvestykkene nerast luft er namnsett A og nerast berg er merka B.



Foto 6.30 Prøvestykkene av N-170-8, A til venstre og B til høgre.



Foto 6.31 Prøvestykkene av H-207-6, B til venstre og A til høgre.

Resultatet i Tabell 6.27 er gjort med Powers sin modell, sjå vedlegg 8, for utrekning av porøsitetsresultat (NTNU TKT 4215, 2009/ Statens vegvesen, 2005).

Ut frå totalporøsiteten og Formel 5.3 kan ein estimere v/b-forhold ved forskjellige hydratasjonsgrader, sjå Tabell 6.28. Resultata viser v/b-forhold ved ukjend silikamengde. Ved kjend silikamengde kan Formel 5.2 nyttast, resultatet med og utan silikamengda vert ganske like for Hopstunnelen og Nesttuntunnelen, sjå vedlegg 8 for begge resultatene.

Tabell 6.27: Resultat frå PF-metoden.

	H-207-6A	H-207-6B	N-170-8A	N-170-8B
Prøvestykkets volum - V_3 (cm ³)	167,19	133,61	231,2	220,44
Densitet faststoff - ρ_s (kg/m ³)	2709	2710	2692	2701
Sug porøsitet - p_s (%)	21,76 %	19,32 %	22,28 %	19,10 %
Makro porøsitet - p_m (%)	2,93 %	2,56 %	4,39 %	4,46 %
Total porøsitet - p_t (%)	24,69 %	21,88 %	26,67 %	23,56 %

Snitt av sugporøsitet frå Tabell 6.27 er

Hopstunnelen	20,5 %
Nesttuntunnelen	20,7 %

Totalporøsiteten i pastaen kan då reknast ved:

$$p_{sug,pasta} = \frac{p_s}{V_p}, \text{ der } V_p \text{ er pastavolum i prosent av betongmengde}$$

Formel 5.3 der Formel 5.1 løyst ut for v/b-forholdet, for pasta utan kjend silikamengde:

$$\frac{v}{b} = \frac{0,321 p_{sug,pasta} + 0,172 \alpha}{1 - p_{sug,pasta}}$$

Tabell 6.28 Totalporøsitet og v/b-forhold utrekna frå PF-metoden ved forskjellige hydratasjonsgrader (α):

		H-207-6A	H-207-6B		N-170-8A	N-170-8B
Totalporøsitet ($p_{sug,pasta}$)		51,81 %	45,99 %		53,04 %	45,47 %
$\alpha =$	1	0,70	0,59		0,73	0,58
$\alpha =$	0,9	0,67	0,56		0,69	0,55
$\alpha =$	0,8	0,63	0,53		0,66	0,52
$\alpha =$	0,7	0,59	0,50		0,62	0,49

Snitt av totalporøsitet frå Tabell 6.28 er:

Hopstunnelen	48,9 %
Nesttuntunnelen	49,3 %

Snemyr, A., 2014 opplyste at resepten inneheldt 480 kg sement og 20 kg silika. Ein blanda på v/b-forholdet 0,42 (k-faktor = 2) og tilsette så 35 l akselerator. Dette betyr at pastamengda i betongen er 42 % og v/b-forholdet er 0,49, sjå vedlegg 9 for utrekning av resultat.

Ved bruk av Formel 5.1 og Formel 5.2 og utrekna frå Snemyr, A., 2014 sin resept vert totalporøsitet, hydratasjonsgrad = 1:

Formel	Totalporøsitet
Formel 5.1, utan silika	39,3%
Formel 5.2, med silika	38,9%

6.13 Strukturanalyse med fluorescencemikroskopi

Tynnslip H-207-6A og N-170-8-A vart sendt til strukturanalyse med fluorescencemikroskop hjå Sintef. Målet var å få eit v/b-tal som kunne samanliknast med resultatet frå PF-metoden.

Resultatet frå Sintef var derimot at prøvane var for inhomogene til å kunne fastslå v/b-talet i prøvane. Begge prøvane hadde veldig mørke områder, som syntes mørkare enn den lågaste v/b-tal-referansen på 0,35 samt lyse områder som tilsvarar v/b-tal = 0,5 (Haugen, M., 2015). E-post med resultat og foto av prøvestykka er vedlagt som vedlegg nr. 15 og 16.

7 Diskusjon

For å søke fastslå kva type nedbryting som pågår i Hopstunnelen og Nesttunnelen er det nytta nokre tradisjonelle betongtestar som trykkstyrke, karbonatisering, porøsitetstesting og fibertelling. I tillegg er det nytta røntgen samt mikroskopering av overflatebelegg og tynnslip. Det er også gjennomført ikkje-destruktive metodar som uttak av vassprøvar, pH-testing og måling av relativ luftfuktigheit i og ved lokalitetane.

Tilstandskartlegging og samanlikning med andre tilstandsrapportar:

Ved prøving av betongen med dei tradisjonelle metodane vart det ikkje funne tydelege teikn til nedbryting av sprøytebetongen. Kjerneprøvane viser at sprøytebetongen har ei god kvalitetsmessig utføring utan lamineringar. Karbonatisering vart funne ved polarisasjonsmikroskop og må karakteriserast som hovudproblemstilling for lokasjonen i Nesttunnelen. Karbonatisering av sprøytebetong er truleg ikkje så farleg så lenge det ikkje er innsprøyta samanhengande armeringsstenger som kan korrodere. Karbonatisering kan også ha positiv effekt ved at det dannast eit lag som hindrar vidare karbonatisering innover. Samanlikning mellom Nesttunnelen og andre tunnelar syner at påverknaden i Nesttunnelen ikkje er unormalt stor. Men på den andre sida, dei fleste av tunnelane det er samanlikna med er undersjøiske eller bygd i spesielt aggressive bergartar, noko som ikkje er tilfelle for Nesttunnelen.

Resultat frå testing av trykkstyrke syner at ingen av prøvestykkane er under kravet på 80% av karakteristisk trykkstyrke. Samanlikna med resultatane frå andre rapportar viser det at betongen har ein høg trykkstyrke og betongen synes lite påverka av nedbryting. Ved preparering av prøvane må mykje av den ru overflata kuttast vekk, det same gjeld for overgangen mellom berg og sprøytebetong. Det betyr at det mest påverka området vil vere fjerna før testinga. Tradisjonell trykktesting synes difor ikkje som ein god metode for å verifisere at levert betong innehar venta kvalitet.

PF-metoden er ein grei metode for å finne porøsitetar i betongen. Metoden for å rekne ut v/b-forholdet er derimot høgst usikker. Rapporten «Riktig bruk av sprøytebetong» rapporterar v/b-forhold mellom 0,4 og 0,47. Dette ser veldig fint ut, men er det sannsynleg at sprøytebetongen, for all B35-betong i rapporten, er laga med same bindemiddel- og silikamengde? I rapporten «Bestandighet av sprøytebetong» har ein velt å gå vekk frå denne metoden. Ein har i staden nytta fluorescencemikroskopi for å berekne v/b-forholdet. Resultatet frå Sløverfjorden er likevel veldig vidt, frå <0,45 – 0,6. I Nesttunnelen og Hopstunnelen er det funne sannsynleg at v/b-forholdet ligg mellom 0,49 og 0,7, ved PF-metoden. Resultatet frå PF-metoden, ved låg hydrasjonsgrad, passar med opplysningar frå A. Snemyr. Resultatet frå strukturanalysen med fluorescencemikroskop viser at prøvane er veldig hetrogene og hadde områder med v/b-forhold under 0,35 og andre områder som låg rundt 0,5. Dette betyr at v/b-forholdet er høgst usikkert, men at ei hydratiseringsgrad på 0,6 og v/b-forhold like under 0,50 er det mest trulege. Resultatet frå Sløverfjorden, Hopstunnelen og Nesttunnelen indikerer alle at v/b-forholdet har vore «i grenseland høg».

pH målt i vassprøvane var noko høgare enn pH målt i lokaliteten. Dette kan skuldast at det i vassprøven har kome med betongpartiklar som har gjort prøven meir basisk før den vart analysert. Lokalitet H-207 og lokalitet H-620 har ein pH rundt nøytral, målt med indikatorpapir. Dette tyder på at Portlandtitten er brukt opp i det ytterste laget, noko som understøttast av tynnslipet. Mikroskopering av tynnslipet syner at det i ytterkanten av betongen har føregått ei omvandling av pastaen i betongen, samt at det ligg eit lag av mangan/jern utanfor eit lag av kalsitt. Vidare innover er pastaen mørkegrå og den ber preg av å ha vorte omvandla. Heile omvandlinga strekker seg frå ytterkanten av tynnslipet og 1mm innover. Betongen i tynnslipet ber også preg av å ha vore våt, dette fordi det har vakse kalsitt inn i porer, samt i nokre porer fins det gipsførekomstar. I Nesttuntunnelen finn ein ikkje teikn til at betongen har vore slik våt som Hopstunnelen har vore.

Diagnostisering

Biologisk aktivitet kan vere negativt på sprøytebetong, men det kan og vere positivt. Den negative sida er dei organiske syrene som bakteriane produserar, mens den positive sida er funn av bakteriar som kan tette mikroriss. For Hopstunnelen er det ikkje teikn til at mikroriss er tetta, men sidan her ikkje er teikn til karbonatisering, kan det sjå ut til at bakteriebelegget vernar betongen mot CO₂-påverknad frå lufta. Vassprøven frå Hopstunnelen syner lite sulfatinnhald og at vatnet er generelt lite aggressivt, noko som dreg i retning av at vatn og mikroorganismar påverkar betongen lite. Området som synes påverka av den biologiske aktiviteten strekker seg 1mm inn i betongen, frå tunnelsida.

I Nesttuntunnelen er det synleg karbonatisering i ytterkanten, mens resten av betongen ser intakt ut, dette underbyggast både av XRD, SEM av overflatematerialet og SEM av tynnslipet. Karbonatiseringsdjupna er i hovudsak mellom 0,2 og 1mm tjukk, men enkelte stadar er den funne og vere opp i 2-3mm.

Kvifor er det forskjellig nedbryting i Hopstunnelen og Nesttuntunnelen?:

Av dei to lokalitetane som er analysert i oppgåva er det funne tydeleg forskjellig nedbryting. Det er likevel særst truleg at det ved prøvetaking andre stadar i både Hopstunnelen og Nesttuntunnelen kan finne områder med karbonatisering. Med den luftfuktigheita som er målt er forholda gunstige for karboniseringsprosessen. I Hopstunnelen er det truleg også funne andre lokalitetar med mikroorganismar, lokalitet H-620 kan i alle fall indikere dette. Det fins også andre mindre lokalitetar der det veks «brun leir-aktig masse» som mykje truleg er biomasse, i Hopstunnelen. I Nesttuntunnelen er det ikkje funne noko som tyder på biomasse, grunnen til dette er vanskeleg og seie sikkert, men det kan ligge i at geologien i dei to tunnelane er forskjellig og dermed er vasskjemien litt forskjellig. Hopstunnelen ligg noko lågare i terrenget og heile tunnelen ligg under den marine grensa. I tillegg er det to forskjellige betongar i tunnelane. I Hopstunnelen er det meir fiber og ein annan fibertype enn i Nesttuntunnelen. Fibertypen kan ha noko og seie for bakteriedanninga, saman med tilgangen på vatnet. SEM og XRD på overflatematerialet kan tyde på dette, der det er funne jern i overflatematerialet i Hopstunnelen (H-207-C på XRD og H-207-A, B og C på SEM), men ikkje i Nesttuntunnelen. SEM-foto syner også at det er ein forskjell i tilslaget, utan at dette er nermare analysert. Porøsiteten på dei to betongane er ikkje særleg forskjellig. Det er ein liten

dreining mot at porøsiteten på betongen i Nesttuntunnelen er høgare enn i Hopstunnelen. Samanlikning med resultat frå andre rapportar syner også at porøsiteten er ganske nær snittet av alle resultat.

Tiltak i forbindelse med drivefasen:

Eit av formåla i oppgåva er å søke og svare på om det er noko som kunne vore gjort annleis i drivefasen slik at ein kunne unngått denne nedbrytinga? Dette blir nesten irrelevant sidan dei nedbrytingsmekanismane som er funne, truleg ikkje har særleg innverknad på levetida til betongen. Kanskje kan det verte eit problem med biomasse dersom den «gror» ut i vegbanen i Hopstunnelen, men dette er ikkje påvist enno. Det generelt viktigaste er at betongen er minst mogleg porøs, dette betyr minst mogleg bruk og god kontroll på akselerator. Akseleratorbruk må vurderast opp mot antal rundar det må sprøytast for å få tjukt nok lag, samt framdrift og sikkerheit for arbeidarar. Det kunne også vore vurdert og gjort prøvetaking av innlekkasjevattnet, samt endring til plastfiber der vatn renn inn, men på den andre sida kan dette medføre komplikasjonar i drifta. Eit skifte frå stålfiber til plastfiber kan også medføre andre og større problemar enn vekst av mikroorganismar på betongen, eksempelvis ureining av ytre miljø. I drivefasen oppstår ofte lekkasjar som etter ei tid flyttar eller tettar seg. Dette vanskeleggjer vurdering av tiltak på sprøytebetongen i drivefasen.

Levetidsvurdering

Svaret på spørsmålet om sprøytebetongen i tunnelene vil kunne oppnå ei levetid på 100 år, er mest truleg ja. I Nesttuntunnelen er karbonatiseringa målt til å vere gjennomsnittleg 1mm, og med maks opp i 2-3mm. Dersom karboniseringsfarten vurderast som lineær vidare, kan ein tenkje seg at karboniseringsdjupna kan nå ca. 30mm når tunnelen er 100 år. Det er derimot vanleg å vurdere karboniseringshastigheita som ein funksjon med kvadratet av tida.

Resultatet vert då ca. 10mm på 100 år, sjå vedlegg 19 for utrekning.

Karboniseringsberekninga ved denne formelen er truleg utført ved vanleg støypebetong, slik at sprøytebetongen kan tenkjast å ha ein annan karboniseringshastigheit. På den andre sida så er det heller ikkje utenkjeleg at karbonatiseringa kan danne eit tett lag som gjer at CO₂ frå atmosfæren ikkje reagerar med betongen lenger innover og at karboniseringsfronten stoppar opp. Begge alternativa viser retning av at sprøytebetongen i Nesttuntunnelen kan vare i 100år, slik visjonen er og med den levetidsvurderinga som er lagt til grunn i oppgåva.

I tynnslipet frå Hopstunnelen er det spor etter omvandling av sementpastaen i 1mm djupne. Dersom ein antek denne nedbrytinga lineær vidare, vil omvandlinga kunne finnast i 10mm djupne når tunnelen er 100 år. Det er derimot ingen haldepunkt for at nedbrytinga vil fylgje nokon lineær kurve. Det er usikkert korleis utviklinga vil skje vidare:

- vil lekkasjen og tilgang på næringsstoff for bakteriane vere stabil vidare?
- kan bakteriane produsere så mykje biomasse at sprøytebetongen haldast kontinuerleg våt og såleis sikre kontinuerleg tilgang til jern?
- bakteriane som fins i dag, produserar organisk karbon. Kan dette danne grunnlag for at nye mikroorganismar (heterotrofe) vil kunne få gode vekstvilkår? Dersom nye mikroorganismar kjem kan meir organiske syrer verte produsert og miljøet kan bli meir aggressivt for betongen.

Alternativa er altså mange og ytterst usikre. Med erfaringar frå andre landtunnelar i Noreg er det likevel vanskeleg og sjå føre seg at miljøet plutsleg skal bli aggressivt, slik at ikkje sprøytebetongen skal kunne nå ei levetid på 100 år. Det er også slik at sprøytebetongen som er utsett for mikroorganismar, i Hopstunnelen, ikkje er utsett for karbonatisering slik prøvestykket i Nesttunnelen er. Slik sett kan kanskje mikroorganismane verne betongen mot karbonatisering.

Det er noko meir usikkert om forventa levetida på veggelementa vil kunne nåast. Etter kvart som biomassen bygger seg opp vil den kunne kome bort til veggelementa. Sjølv om det ikkje er kjent kor mykje av sulfatet som er løyseleg og at det vil ta noko tid før massen vil nå fram til veggelementet, vil dette truleg vere særst ugunstig for elementet. Dersom biomassen bygger seg opp bak veggelementet vil den kunne renne ut på framsida og verte ei estetiske nedbryting og eventuelt trafikksikkerheitssak. Forventa levetida på veggelementa er kanskje kortare enn levetida på sprøytebetongen for bergsikringa.

Kan noko gjerast for å forlenge levetida?:

I Nesttunnelen med karbonatisering, er det lite truleg det er nokon verdi i og setje inn tiltak i og med det ventast at sprøytebetongen vil kunne nå den venta levetida. I Hopstunnelen er det vanskeleg å vite kva som vil skje framover, så tiltak der kan vere å fylgje med på utviklinga samt å hindre at biomassen får vekse så mykje at den kjem inn til veggelementet. For å hindre dette kan det vere aktuelt å fjerne den ved å slamsuge.

Refleksjonar over regelverket:

Det er også interessant og sjå på standardane og handbøkene som skal sikre sprøytebetongen den kvaliteten ein ventar. NS-EN 206 med det nasjonale tillegget er den viktigaste betongstandarden for vanleg støypebetong, men sjølv om standarden også gjeld for sprøytebetong nemner den ikkje det.

Felles for lekkasjane er at det er rennande vatn og ikkje stillestående. NS-EN 206 tek kun føre seg relativt stillestående vatn. Ved stillestående vatn kan betongen og vatnet påverke kvarandre slik at det oppnåast ei likevekt. Dersom vatnet renn, om enn i liten mengde og med relativt låg fart, vil det stadig kome nye aggressivar som kan bryte ned betongen og såleis vil aldri «likevekt» kunne oppnåast. Betongstandarden NS-EN 206 eller ein av sprøytebetongstandardane burde omtalt dette. Forslag til forbetring av betongen i slike punkt er vanskeleg, men lågast mogleg porøsitet og permeabilitet er nøkkelord. Tiltak for å leie vekk vatnet bør og vurderast, men dette høyrer gjerne meir naturleg heime i Statens vegvesen sine handbøker.

Standard og handbøker tek heller ikkje føre seg forhold som vasstrykk eller fordamping. Vasstrykkproblematikk og problemar med sprøytebetong er truleg mest relatert til undersjøiske tunnelar, men bør også vurderast for landtunnelar. Landtunnelar er ofte meir utsett for variasjonar i vassmengde, jf. nedbøren utanfor, og kan risikere opptørking

innimellom og dermed auke konsentrasjonen av aggressivar på overflata. Ved fordamping, kan vatn med aggressivar fordampe og kondensere på betongoverflata og dermed, auke konsentrasjonen av aggressive stoff på betongoverflata/ i betongen. Det er truleg at vassdråpane på betongoverflata i Nesttunnelen er kondensert frå lufta.

8 Konklusjon

Norsk standard og handbøker bør ta inn vurderingar ved rennande vatn på betongoverflater.

8.1 Konklusjon Nesttunnelen

Tilstanden på sprøytebetongen nytta som bergsikring i Nesttunnelen vurderast som generelt god. Betongen har noko karbonatisering, men er generelt lite påverka av nedbryting. Porøsiteten i betongen ligg i området ein kan vente sprøytebetong i tunnelar skal ligge. Med ein karboniseringsfart på ca. 1mm på 10 år er ikkje det meir enn referansetunnelane og vurderast ikkje som kritisk for at sprøytebetongen på denne lokaliteten ikkje skal kunne nå levetid på 100 år. Levetida er difor anteken å tilfredsstillе forventninga.

I drivefasen er det lite ein kan gjere i forhold til karbonatiseringa. Det viktigaste er å nytte minst mogleg akselerator samt å søke lage ein betong som er minst mogleg porøs og permeabel.

Sidan sprøytebetongen er venta å tilfredsstillе forventa levetid, er det ikkje nokon grunn til og gjere spesielle tiltak for å forlenge levetida.

8.2 Konklusjon Hopstunnelen

Tilstanden på sprøytebetongen nytta som bergsikring i Hopstunnelen vurderast som generelt god. Betongen er lite forringa, det skjer omdanning av betongpastaen, men det pågår i den ytterste 1 mm av betongen.

Tiltak i drivefasen er generelt å nytte minst mogleg akselerator, men porøsiteten i Hopstunnelen syner at sprøytebetongen her er heilt som ein kan vente at sprøytebetong.

Ut frå funna i sprøytebetongen er det ingen grunn til å tru anna enn at levetid på 100 år truleg vil kunne nåast i lokaliteten. Biomassen på bakken under lokaliteten inneheld ein del sulfat, det kan difor vere gunstig om denne vert fjerna, for å sikre at ikkje denne vil innverke på levetida av til veggelementa i tunnelen.

Grunnen til at det er forskjellige nedbrytingsmekanismer i tunnelane kan vere fleire, her kan nemnast forskjellige reseptar, forskjellige fiber samt fibermengde. Det er samstundes særst truleg at det kan finnast lokalitetar i Hopstunnelen som er ramma av karbonatisering. Mikroorganismar i Nesttunnelen er derimot mindre truleg, men det er ikkje utenkjeleg at det kan finnast lokalitetar av mindre karakter som ikkje er observert til no.

9 Tiltak framover

Forslag til tiltak framover er at sprøytebetongresept må lagrast. Denne kunne vore inkludert i geologisk sluttrapport, som alle tunnelanlegg i Statens vegvesen er pålagde å lage, eller den bør inngå i anna som-bygget dokumentasjon.

Det er gjort forsøk, internasjonalt, på å lage database med oversikt over tunnelar med sprøytebetong. Forsøket ser ut til å ha stranda fordi det blir veldig omfattande å registrere alle variable parametarar. Det kunne vere interessant om ein kunne laga ein norsk databaseoversikt over norske tunnelar. Ein slik database kunne vore til hjelp i forhold til å strukturere tunnelane på ein ny måte, slik at ein kanskje kunne klare og målretta tunnelinspeksjonane betre.

Statens vegvesen har veldt å nytte større sikringsomfang, jf. hb N500, enn det q-verdimetoden eigentleg tilseier. I høve revisjonsarbeid med hb. R510 Vass- og frostsikring, vurderast det om tilkomst til baksida av vass- og frostsikring skal utgå. Dette kan synast ok i forhold til bergsikringa, men i høve til biologisk nedbryting synes dette ulogisk. Eksempelvis vil ein då ikkje kunne prøveta eller slamsuge baksida av vass- og frostsikringa, dersom det ligg biomasse der. I tillegg vil kontroll av baksida av veggelemetet verte vanskeleggjort. På den andre sida kan tilkomst til baksida innebere ein sikkerheitsrisiko når personar går inn der, samt det kan verke som ei sovepute dersom ein veit rommet er der og ein ikkje nyttar det. Evt. fjerning av rommet må vurderast grundig vidare.

10 Referanseliste

Aschehoug (1995). Aschehoug og Gyldendals Store Norske leksikon, 1995.

Bertron, A. (2014). Understanding interactions between cementitious materials and microorganisms: a key to sustainable and safe concrete structures in various contexts. Alexandra Bertron. *Materials and structure* (2014) 47:1787-1806, 2014.

Gaylarde, C. mfl. (2003). Microbial impact on building materials: an overview. C. Gaylarde, M. Ribas Silva og Th. Warscheid. *Materials and structure*, Vol. 36, pp 342-352, 2003.

Hagelia, P. og Sibbick, R.G. (2009). Thaumassite Sulfate Attack, Popconr Calcite Deposition and acid attack in concrete stored at the «Blindtarmen» test site Oslo, from 1952 to 1982. *Materials characterization* 60 (2009) 686-699. P Hagelia, R.G. Sibbick, januar 2009.

Hagelia, P. (2011). «Deterioration Mechanisms and Durability of Sprayed Concrete for Rock Support in Tunnels». Doktorgrad av Per Hagelia, 2011.

H. Hashimoto mfl. (2006). Characteristics of hollow microtubes consisting of amorphous iron oxide nanoparticles produced by iron oxidizing bacteria, *Lepthotrix ochracea*. H. Hashimoto, S. Yokoyama, H. Asaoka, Y. Kusano, Y. Ikeda, M. Seno, J. Takada, T. Fujii, M. Nakanishi, R. Murakami. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 310 (2007) 2405-2407, 2006.

Haugen, M. (2015). E-post med resultat frå strukturanalyse på tynnslip. Sintef v/ Marit Haugen, februar 2015.

Herholdt, A.D. mfl. (1985). *Beton-Bogen*, 2. utgave. A.D. Herholdt, C.F.P Justesen, P. Nepper-Christensen, A. Nielsen. 1985

JSCE (2007). Japan Society of Civil Engineers. Nyheitsbrev om haldbarheit på betong: www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter10/Chap_7.pdf. 2007

Kveen, A. (2014). E-post frå Alf Kveen vedrørende svar på spørsmål om levetida for tunnelar. Desember 2014.

NGI, 2015. Norges geotekniske institutt. Informasjon om Q-systemet henta frå: www.ngi.no/no/Innholdsbokser/Referansjeprojekter-LISTER-/Referanser/Q-systemet/. 2015.

NGU, 2005. Norges geologiske undersøkelse. Scanningelektronmikroskopi og røngemikroanalyse, SEM og EPMA. www.ngu.no. 2005.

NGU, 2014. Norges geologiske undersøkelse. Kart over marin grense i Bergen, henta frå: www.geo.ngu.no, oktober 2014.

Nordtest, 1999. Nordtest Method, NT BUILD 361, Edition 2, Approved 1999-11. Metode for berekning av v/b-forhold i herda betong. 1999.

Norsk betongforening (2004). Grunnleggende betongteknologi – Pål Gjerp, Morten Opsahl og Sverre Smeplass, 2004.

Norsk betongforening (2011). Publikasjon nr. 7. Sprøytebetong til bergsikring. 2011.

Norsk betongforening (2013). Kompendium nr. 3 Sprøytebetong til bergsikring. 2013.

NS (2002). Norsk standard – europeisk norm: NS-EN 1990:2002+NA:2008 Eurokode - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. 2002.

NS (2005). Norsk standard – europeisk norm: NS-EN 14487-1:2005+NA:2012 Sprøytebetong. Del 1: Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar. 2005.

NS (2011). Norsk standard – europeisk norm: NS-EN 197-1:2011. Sement Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper. 2011.

NS (2013). Norsk standard – europeisk norm: NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar. 2013.

NTNU TKT 4215, 2009. Lerebok i faget TKT 4215 Concrete technology 1. Stefan Jacobsen, juni 2009

Rescon Mapei, 2014. Akselerator, hvordan virker det. Foredrag på Norsk betongforening sitt sprøytebetongkurs, udatert. Thomas Beck. 2014.

Snemyr A., 2014. Notat frå samtalar desember14/ januar15 med Arne Snemyr, frå Snemyr og Limm. 2014.

Statens vegvesen (1997a). Rapporter i «Riktig bruk av sprøytebetong». 1997.

Statens vegvesen (1997b). Handbok R211 Feltundersøkelse. 1997.

Statens vegvesen (1998) Statens vegvesen Hordaland. E39/Rv 580 Hop- Midtun, Tunneler. Ingeniørgeologisk forundersøkelse. Rapport utarbeida av Noteby, datert 19. februar 1998

Statens vegvesen (2000a). Statens vegvesen Hordaland. Rv 580 Hop-Midtun, Bergen Vann fra tunnelanlegg. Melding om utslipp i anleggsfasen. Rapport utarbeida av Noteby AS, datert 27.oktober 2000.

Statens vegvesen (2000b). Statens vegvesen Hordaland. E39/Rv 580 Hop-Midtun. Tunneler. Tilstandsbesiktigelse. Grunnvannskontroll. Dokumentets dato: 13.06.2000.

Statens vegvesen (2001). Statens vegvesen Hordaland, Rv 580 Hop-Midtun, Bergen. Vann fra tunnelanlegg. Søknad om utslipp i driftsfasen. Dokumentets dato 29.06.2001

Statens vegvesen (2005). Handbok R210 Laboratorieundersøkelse. 2005.

Statens vegvesen (2010). Handbok N500 Vegtunneler. 2012.

Statens vegvesen (2012). Statens vegvesens rapporter Nr. 130 Etatsprogrammet Moderne vegtunneler. Strategi for bygging av nye vegtunneler. Grunnlagsdokument. Juni 2012.

Statens vegvesen (2014a).

<http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Forskning+og+utvikling/Varige+konstruksjoner>

Statens vegvesen (2014b). Konkurransgrunnlag Kjøp av konsulenttenester innen «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunneler». Dokumentets dato: 26.03.2014. Saksnummer 2014035026.

Statens vegvesen (2014c). E-post frå Mahmoud Ebrahimi 18. november 2014 med trafikktalet: E39 Nesttuntunnelen. 2014.

Statens vegvesen (2014d). Handbok R761 Prosesskode 1, Standard arbeidsbeskrivelse for vegkontrakter. 2014.

Statens vegvesen (2015). Førebelse rapportar i «Bestandighet av sprøytebetong i vegtunneler», varige konstruksjoner, per. februar 2015.

11 Vedlegg

1. Kart frå geologisk førundersøking – 5 sider
2. Prøvepreparering – kjerneprøvar – 14 sider
3. Vassprøveresultat – 4 sider
4. Utskrift av XRD - 5 sider
5. Utskrift av SEM-analysen av overflatematerialet – 8 sider
6. Resultat frå testing av trykkfastheit – 1 side
7. Resultat frå fibertelling – 2 sider
8. Resultat frå kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF, inklusiv utrekning av v/b-forhold med og utan silikainnhald – 3 sider
9. Estimering av porøsitet- Powers modell frå resept Snemyr, A., 2014 - 1 side.
10. Foto frå planpolarisasjonsmikroskop og utrekning av karbonatiseringshastighet – 2 sider
11. Notat frå samtalar desember14/ januar15 med Arne Snemyr, frå Snemyr og Limm – 1 side.
12. Foto frå SEM av tynnslip – 15 sider
13. Resultat frå mapping av områder i tynnslip – 18 sider
14. Resultat frå SEM-EDS – 11 sider
15. E-post frå Sintef v/ Haugen med resultat frå planpolarisasjonsmikroskop, 2015.02.09 – 3 sider
16. Foto frå fluorescencemikroskop – 1 side
17. Fotodokumentasjon frå fyste synfaring Hop og Nesttun, 2014.09.01-02 – 6 sider
18. Fotodokumentasjon av pH-testing – 2 sider
19. Kalkulering av karbonatiseringsdjupne – 1 side

1. Kart frå geologisk førundersøking – 5 sider



TEGNFORKLARING
P-BL §25 REGULERINGSFORMÅL

- 1. BYGGEOMRÅDER**
- BOLIGER
 - BOLIG/KONTOR
 - OFFENTLIGE BYGNINGER, KIRKE/GRAV- OG URNE/LUND
- 3. TRAFIKKOMRÅDER (OFFENTLIG)**
- KJØREVEG
 - FORTAU/GANG- OG SYKKELVEG
 - KJØRBAR GANG- OG SYKKELVEG
 - PARKERING
 - KOLLEKTIVFELT
 - ANNET VEIAREAL
- 4. FRIMRÅDER**
- FRIMRÅDER
- 6. SPESIALOMRÅDER**
- VASSORAG
 - FRISIKTSONE
 - PRIVAT VEG
 - VERN BEVARINGSVERDIGE BYGNINGER

- 7. FELLESONRÅDER**
- VERN BEVARINGSVERDIG BRU
 - VERN BEVARINGSVERDIG VASSORAG
 - FELLESONRÅDER
 - FELLESE VEG
- STREKSYMBOLER MV.**
- PLANGRENSE
 - FORMÅLSGRENSE
 - SENTERLINJE REGULERT VEG
 - BYGGEGRENSE
 - FRISIKTLINJE
 - STØTTEKJEM
 - STØTTEMUR
 - ØMRISSE AV EKSTISTERENDE BYGG SOM NÅ RIVES
 - DEL AV TILGJERDE REG. PLAN SOM OPPHEVET OG ENDRET TIL UREGULERT AREAL

- TEGNFORKLARING:**
- SVAKHETSSONE ANTATT MEKTIGHET < 5 m
 - SVAKHETSSONE ANTATT MEKTIGHET > 5 m
 - MIDDELS- TIL FINKORNIG GRA GNEIS
 - FINKORNIG MØRK GNEIS/SKIFER
 - FOLIASJON OG SPREKKER LANGS FOLIASJON STROK/FALL
 - SPREKESYSTEM STROK/FALL



REV.	REVISJONEN GJELDER	SIGN.	DATE
		MÅLESTOKK	1:1000
		UTGITT	16.02.98
		DRUKT FOR	
		TEKNIK NR.	1
		OPPLAG NR.	52094

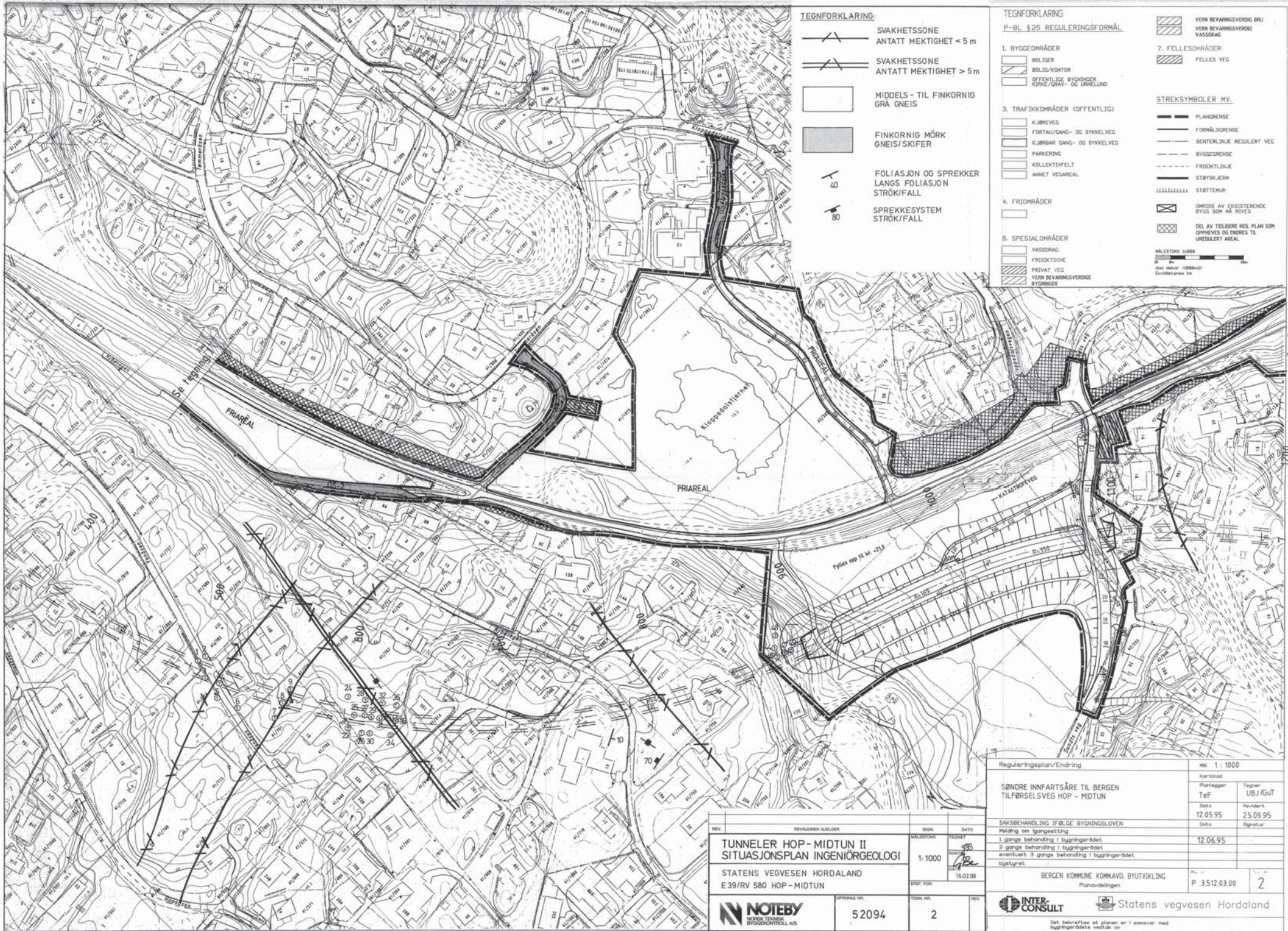
TUNNELER HOP - MIDTUN I SITUASJONSPLAN INGENIØRGEOL

STATENS VEGVESEN HORDALAND E39/RV 580 HOP - MIDTUN

NOTEBY
HORDALAND BYGGKONTROLLAS

Reguleringsplan/Endring		Ma. 1:1000
SØNDRE INNFARTSÅRE TIL BERGEN TILFØRSELSVEG HOP - MIDTUN		Kartblad UB/JGUT
SAKSBEHANDLING I TILFØRE BYGNINGSLOVEN		TeF
Heldag om lagsetning		Date: 12.05.95
1 gangs behandling i bygningsrådet		Utf.: 25.09.95
2 gangs behandling i bygningsrådet		Signatur
eventuelt 3 gangs behandling i bygningsrådet		
byttet		
BERGEN KOMMUNE KOMMVA. BUTYKTLING		12.06.95
Planavdelingen		P 3 512 03 00
1		

Det bekræftes at planen er i samsvar med bygningsrådets vedtak.



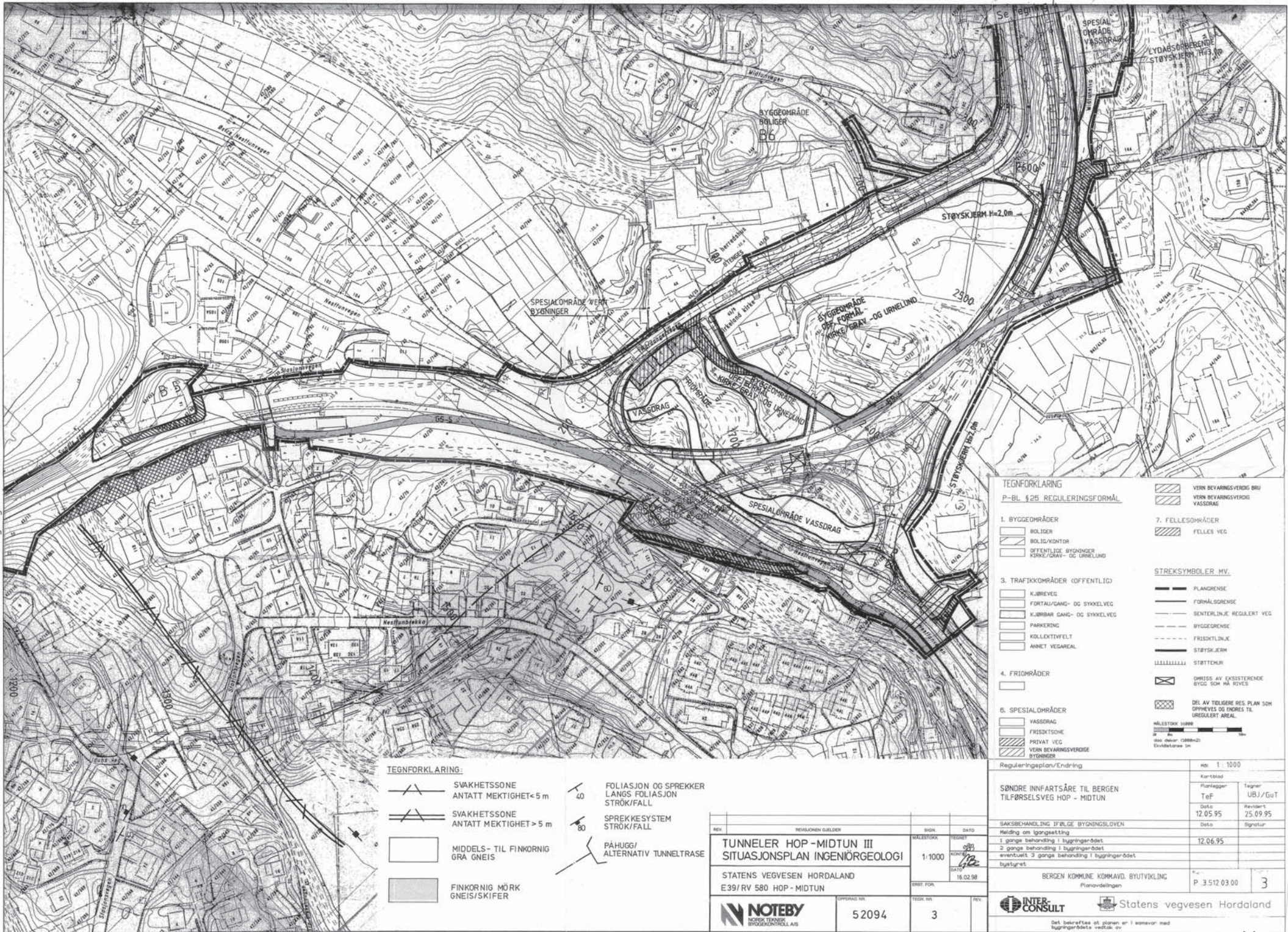
- TEGNFORKLARING:**
- SVAKHETSSONE ANTATT MEKTIGHET < 5 m
 - SVAKHETSSONE ANTATT MEKTIGHET > 5 m
 - MIDDELS- TIL FINKORNIG GRA GNEIS
 - FINKORNIG MØRK GNEIS/SKIFER
 - FOLIASJON OG SPREKKER LANGS FOLIASJON STRØK/FALL
 - SPREKESYSTEM STRØK/FALL

- TEGNFORKLARING**
P-BL §25 REGULERINGSFORMÅL
- BYGGEOMRÅDER**
 - BOLLIGER
 - BOLLIG/KONTOR
 - OFFENTLIGE BYGNINGER
 - KIRKE/GRAV- OG URNELLAND
 - 3. TRAFIKKOMRÅDER (OFFENTLIG)**
 - KJØREVEG
 - FORTALL/GANG- OG SYKKELVEG
 - KJØRBAR GANG- OG SYKKELVEG
 - PARKERING
 - KOLLEKTIVFELT
 - ANNET VEAREAL
 - 4. FRIOMRÅDER**
 - 5. SPESIALOMRÅDER**
 - VASSDRAG
 - FRISIKTSONE
 - PRIVAT VEG
 - VERN BEVARINGSVERDIGE BYGNINGER
 - 7. FELLESOMRÅDER**
 - VERN BEVARINGSVERDIG BRU
 - VERN BEVARINGSVERDIG VASSDRAG
 - FELLES VEG
- STREKSYMBOLER MV.**
- PLANRGRENSE
 - FORMÅLSGRNSE
 - SENTRALINJE REGULERT VEG
 - BYGGEGRENSE
 - FRISIKTLINJE
 - STØTTEKJERN
 - STØTTEKJERN
 - OMRIS AV EKISTERENDE BYGG SOM MÅ RYVES
 - DEL AV TIDLIGERE REG. PLAN SOM OPPHEVES OG ENDES TIL REGULERT AREAL
- MÅLSTOKK 1:1000
0 5 10 20 40 80 160 m

Reguleringsplan/Endring		Mål 1 : 1000
SØNDRE INNFAKTSÅRE TIL BERGEN TILFØRSELSVEG HOP - MIDTUN		Kartblad Planlegger Tegner UB / Gt
SAKSBEHANDLING I FØLGE BYGNINGSLOVEN		Date 12.05.95 25.09.95
Melding om igangsettning 1. gangs behandling i bygningrådet 2. gangs behandling i bygningrådet eventuelt 3. gangs behandling i bygningrådet bystyret		Date 12.06.95
BERGEN KOMMUNE KOMMAVD. BYUTVIKLING Planavdelingen		Rev. P. 3.512.03.00 2
Statens vegvesen Hordaland		

REVISJONSDIAGRAM	DRUKK	DATA
TEGNER	1:1000	15.02.98
TUNNELER HOP - MIDTUN II SITUASJONSPLAN INGENIØRGEOLGI		
STATENS VEGVESEN HORDALAND E39/RV 580 HOP - MIDTUN		
OPPDRAG NR.	TEK. NR.	REV.
52094	2	





TEGNFORKLARING:

- SVAKHETSSONE ANTATT MEKTIGHET < 5 m
- SVAKHETSSONE ANTATT MEKTIGHET > 5 m
- MIDLLES- TIL FINKORNIG GRA GNEIS
- FINKORNIG MØRK GNEIS/SKIFER
- FOLIASJON OG SPREKKER LANGS FOLIASJON STROK/FALL
- SPREKKE SYSTEM STROK/FALL
- PÅHUGG/ ALTERNATIV TUNNELTRASE

TEGNFORKLARING

P-BL §25 REGULERINGSFORMÅL

1. BYGGEOMRÅDER

- BOLLIGER
- BOLLIG/KONTOR
- OFFENTLIGE BYGNINGER
- KIRKE/GRAV- OG URNELUND

3. TRAFIKKOMRÅDER (OFFENTLIG)

- KJØREVEG
- FORTAU/GANG- OG SYKKELVEG
- KJØRBAR GANG- OG SYKKELVEG
- PARKERING
- KOLLEKTIVFELT
- ANNET VEGETAL

4. FRIZONRÅDER

- FRIZONRÅDE

6. SPECIALOMRÅDER

- VASSDRAG
- FRISIKTSONE
- PRIVAT VEG
- VERN BEVARINGSVERDIGE BYGNINGER

- VERN BEVARINGSVERDIG BRU
- VERN BEVARINGSVERDIG VASSDRAG
- FELLESOMRÅDER
- FELLES VEG

STREKSYMBOLER MV.

- PLANGRENSE
- FORHÅLSGRENSE
- SENTRILINJE REGULERT VEG
- BYGGEOMRÅDE
- FRISIKTSINJE
- STØYSKJERM
- STØTTEKOR
- ØRRIS AV EXISTERENDE BYGG SOM MÅ RIVES
- DEL AV TILGJENGELIG PLAN SOM OPPNEVES OG INDRØS TIL URREGULERT AREAL

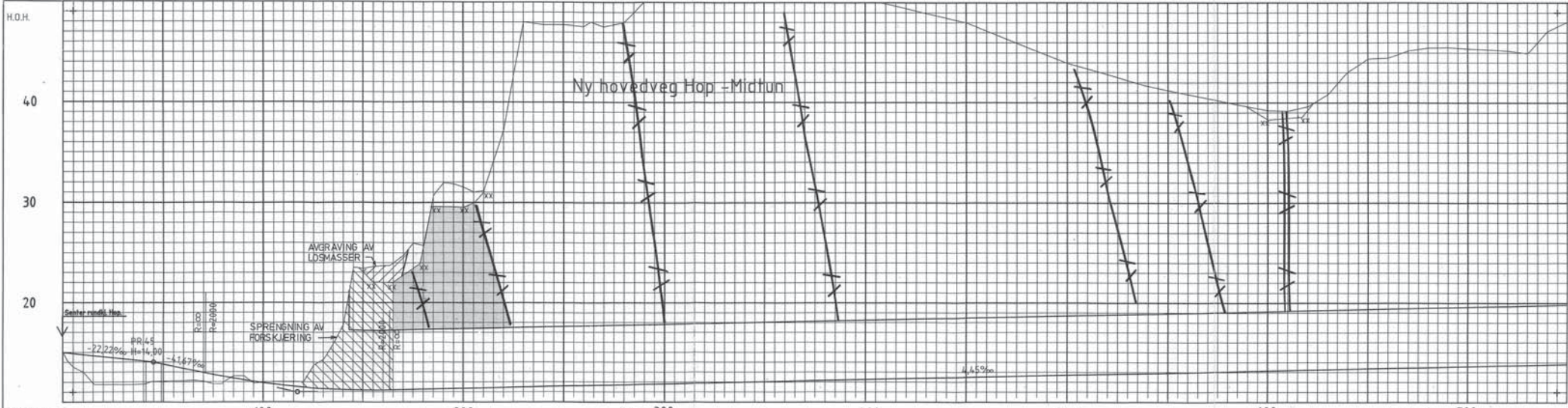
MÅLSTOKK 1:1000
 0m 5m 10m 20m 30m 40m 50m
 100m
 200m
 300m
 400m
 500m
 600m
 700m
 800m
 900m
 1000m

REV.	REVISJONEN GJELDER	SIK.	DATE
		MÅLSTOKK	TEGNET
		1:1000	16.02.98
		BRUK FOR	
		TEGNER NR.	REV.
		52094	3

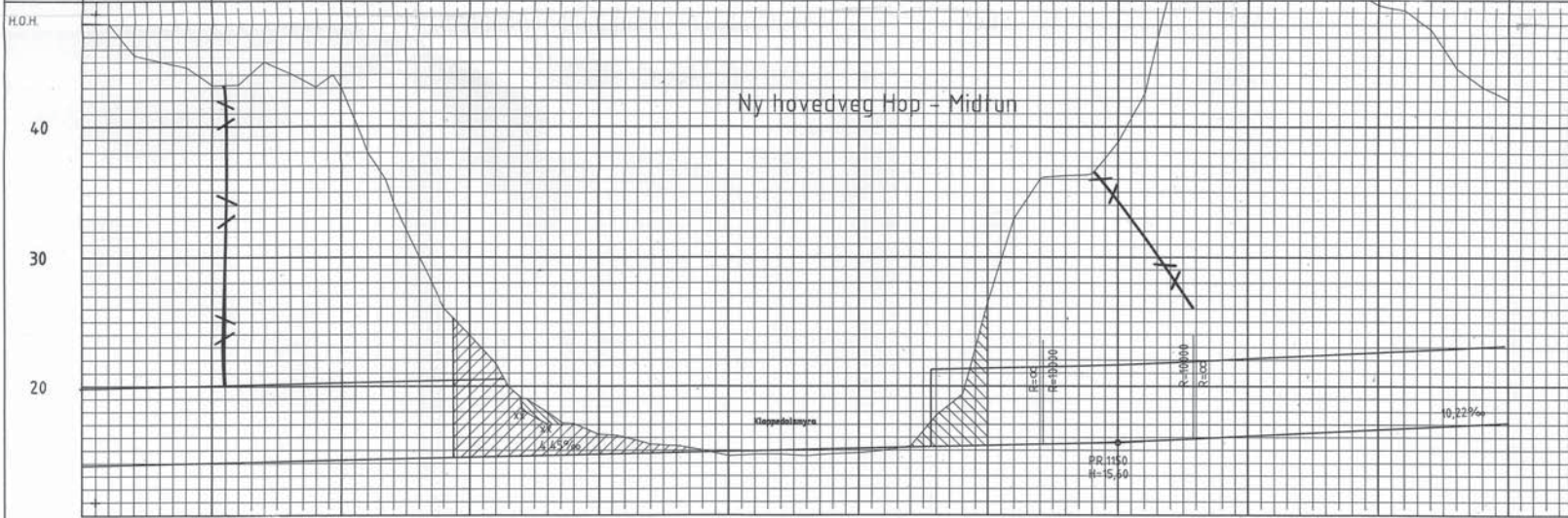
TUNNELER HOP - MIDTUN III
 SITUASJONSPLAN INGENIØR GEOLOGI

STATENS VEGVESEN HORDALAND
 E39/RV 580 HOP - MIDTUN

Reguleringsplan/Endring	Mål 1:1000
SØNDRER INNFAKTSÅRE TIL BERGEN TILFØRSELSVEG HOP - MIDTUN	Kartblad
	Planlagger
	Tegner
	UBJ/GuT
	TaF
	Dato
	12.05.95
	Rev. dato
	25.09.95
	Dato
	12.06.95
	Signaturet
SAKSBEHANDLING I FØLGE BYGNINGSLOVEN	
Melding om igangsettning	
1. gangs behandling i bygningsrådet	12.06.95
2. gangs behandling i bygningsrådet	
eventuelt 3. gangs behandling i bygningsrådet	
bystyre	
BERGEN KOMMUNE KOMMAVD. BYUTVIKLING Planavdelingen	P. 3.512.03.00
	3



PROFIL NR.	100		200		300		400		500		600		700	
HOR.KURV.	R=∞	A=100	R=105	A=100	R=1000		A=474				R=450		H-207	
BREDEUTV.			0.40m											
TVERRFALL (1% = 1.9mm)			3%		0%		5.9%				8%			
H.kj.b.k														
V.kj.b.k														
PROFIL H.	10.01	10.79	11.14	11.55	12.01	12.43	12.95	13.41	13.91	14.41	14.91	15.41	15.91	16.41
TERRENG H.	10.01	10.79	11.14	11.55	12.01	12.43	12.95	13.41	13.91	14.41	14.91	15.41	15.91	16.41



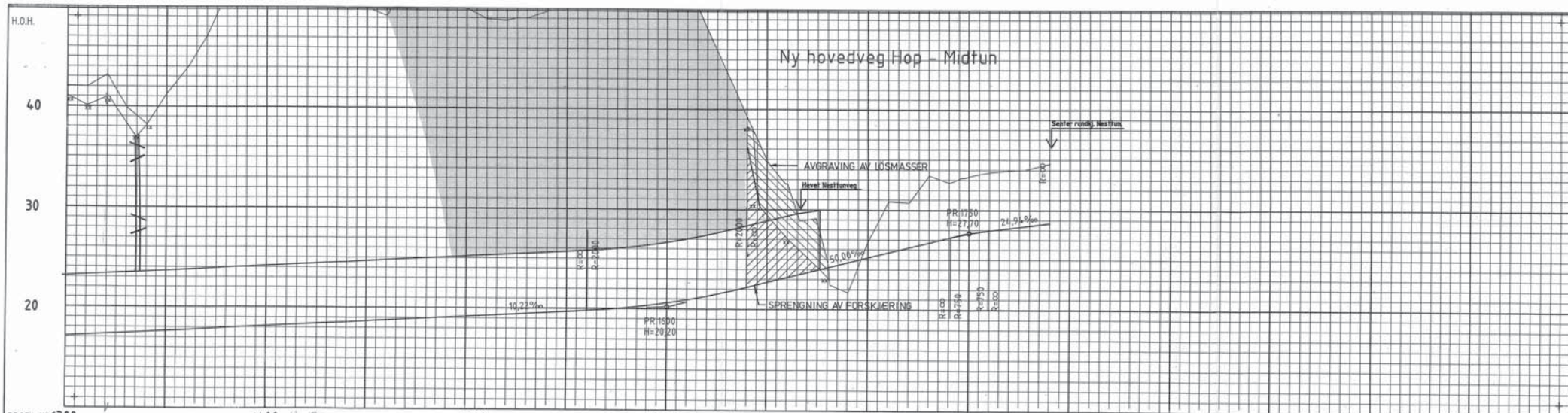
- TEGNFORKLARING:**
- SVAKHETSZONE ANTATT MEKTIGHET < 5 m
 - SVAKHETSZONE ANTATT MEKTIGHET > 5 m
 - MIDDELS- TIL FINKORNIØ GRÅ GNEIS
 - FINKORNIØ MØRK GNEIS/SKIFER

REV.	REVISJONEN GJELDER	SIGN.	DATE
		MALESTROK	TEGNET
TUNNELER HOP - MIDTUN IV		1:1000	16.02.98
LENGDEPROFIL INGENIØRGEOLGI		1:200	
STATENS VEGVESEN HORDALAND			
E 39/RV 580 HOP - MIDTUN			
NOTEBY		OPPGAV NR.	TEGN NR.
NORSK TUNNEL INGENIØRFORENING		52094	151

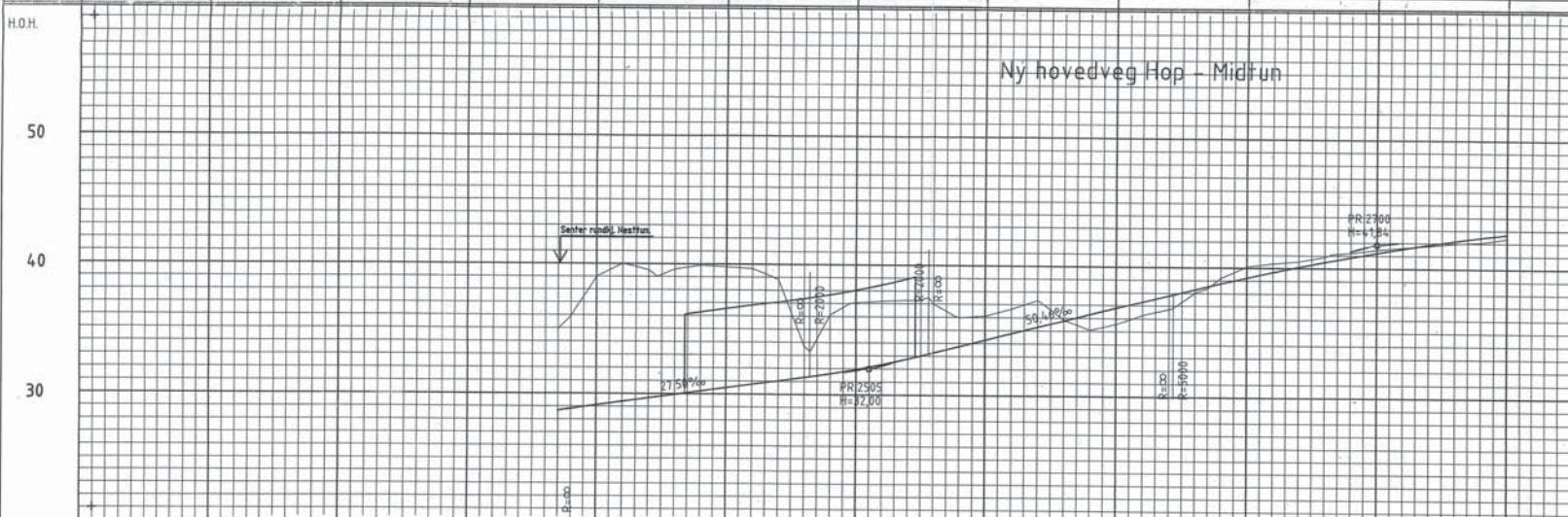
PROFIL NR.	800		900		1000		1100		1200		1300	
HOR.KURV.	R=450		A=200		A=169		R=350		A=165		A=165	
BREDEUTV.			0.20m				0.20m					
TVERRFALL (1% = 1.9mm)			0%		0%		0%		0%		0%	
H.kj.b.k												
V.kj.b.k												
PROFIL H.	18.00	18.04	18.07	18.09	18.11	18.12	18.13	18.14	18.15	18.16	18.17	18.18
TERRENG H.	18.00	18.04	18.07	18.09	18.11	18.12	18.13	18.14	18.15	18.16	18.17	18.18

Rev.	Endring	Date	Egenkontroll	Reg. leder	Stat. leder
Statens vegvesen Hordaland			Saksbehandler	SLU	
HOP - MIDTUN			Tegn.	TEF	
Illustrasjonsplan		Date	12.05.95		
Lengdeprofiler. Ny hovedveg.		Skala	1:1000/1:200		
INTERCONSULT		PROSJEKT	6201.0		
F.T.L. CV/62010/vev01.dwg		Egenkontroll	Reg. leder	Stat. leder	

D1



PROFIL NR.1300	1400	1500	1600	1700
HOR.KURV.	R=350	A=165	A=141	R=275
BREDDDEUTV.	0.75m 0.28m			
TVERRFALL (1‰=1.9mm)		0%	0%	
PROFIL H.				
TERRENG H.				
OVERBYGN T				



PROFIL NR.	2400	2500	2600	2700
HOR.KURV.	R=∞	A=100	R=180	A=100
BREDDDEUTV.				
TVERRFALL (1‰=1.9mm)		3%	3.9%	0%
PROFIL H.				
TERRENG H.				
OVERBYGN T				

- TEGNFORKLARING:
- SVAKHETSSONE ANTATT MEKTHIGHET < 5 m
 - SVAKHETSSONE ANTATT MEKTHIGHET > 5 m
 - MIDDELS- TIL FINKORNIØ GRÅ GNEIS
 - FINKORNIØ MØRK GNEIS/SKIFER

REV.	REVISJONEN GJELDER	SIKK.	DATO
		MALESTOR	TEGNET
		1:1000	16.02.98
		1:200	
		ERHJ. FOR	TEGN. NR.
		52094	152

Statens vegvesen Hordaland

HOP - MIDTUN

Illustrasjonsplan Lengdeprofiler. Ny hovedveg.

INTERCONSULT


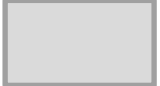



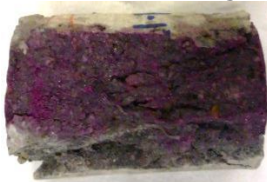

PROSJEKT 6201.0

118

D2

2. Prøvepreparering – kjerneprøver – 14 sider






Prøvepreparering betongkjerner:

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm 	Preparert prøvestykket 	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm 
N-170-1 	9,59–11,14	Til trykkprøving  Karbonatisering  Fibertelling 	5,47–7,87

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenofalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.






Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
N-170-2 	0-6,06 	Til trykkprøving  Karbonatisering 	16,97-81,65 

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenofalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.


Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
N-170-3 	0-9,63 	Til trykkprøving  Karbonatisering 	64,63-94,25 


Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenofalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.


Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
N-170-4 		72,54	

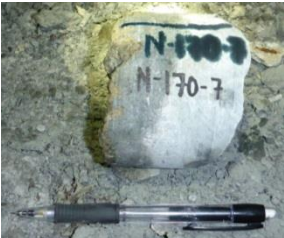
Prøven var for kort for trykkprøving.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
N-170-5 	0-13,87	34,19	95,96-96,7

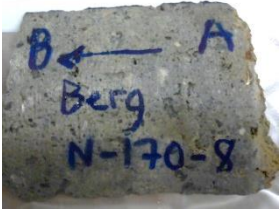


Prøven var for kort til trykkprøving.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
N-170-6 		63,08	

Prøve med diameter 70mm. Reserveprøve


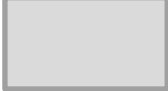





Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
N-170-7 		49,3-69,64	

Prøve med diameter 100mm til pf-testing. Reserveprøve

Prøvenamn	Preparert prøvestykket
<p>N-170-8</p> 	<p>Avkutting av skalk til tynnslip</p>  <p>Foto av tynnslip/ prøverestar</p>  <p>Deling av resterande del av kjernen til pf-test</p>  <p>Prøvane lagt i tørkeskap</p> 

Først var ein skalk av prøven saga av og merka med sida mot berg (B) og sida mot tunnel (A). Skalken vart sendt til Institutt for energiteknikk for tillaging av tynnslip. Tynnslip vart laga av ytterste delen av skalken


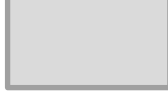




Resterande del av prøven vart så delt i to og lagt i tørkeskap etter prosedyre 14.637 i hb R210. Her var også prøven merka med A mot tunnelen (trafikkrommet) og B mot berget. Vidare gjennomføring av pf-test var gjennomført etter prosedyre 14.637 i hb 210.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm 	Preparert prøvestykket 	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm 
H-207-1 	0-7,09	Til trykkprøving  Karbonatisering  Fiber frå fibertelling 	44,05-66,68

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenofalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.







Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm 	Preparert prøvestykket 	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm 
H-207-2 	0-14,54	Til trykktesting  Karbonatisering 	43,82-71,28

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenofalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.


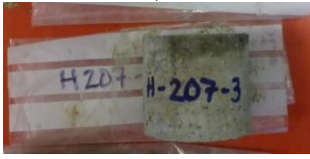
Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm 	Preparert prøvestykket 	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm 
H-207-3 	0-15,47	Til trykkprøving  Karbonatisering 	26,39-80,47


Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenoftalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.


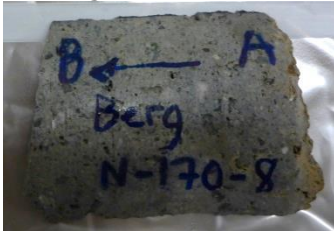
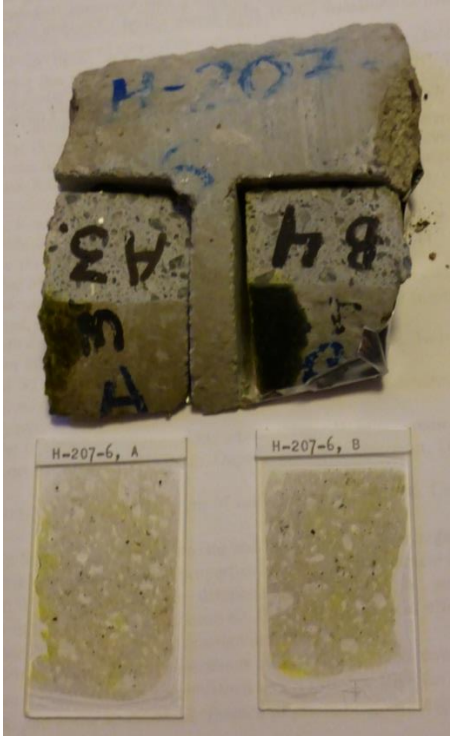

Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
H-207-4 	0-13,81	37,58 	13,94-14,37

Prøven blei for kort til trykktesting.

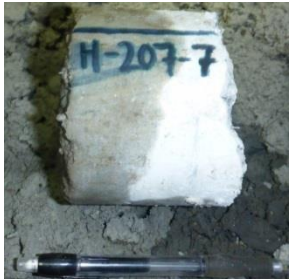
Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
H-207-5 		108,5	

70mm prøve til reserve.



Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
<p>H-207-6</p> 		<p>Avkutting av skalk til tynnslip</p>  <p>Foto av tynnslip/ prøverestar</p>  <p>Deling av resterande del av kjernen til pf-test</p> 	

Fyrst var ein skalk av prøven saga av og merka med sida mot berg (B) og sida mot tunnel (A). Skalken vart sendt til Institutt for energiteknikk for tillaging av tynnslip. Tynnslip vart laga av ytterste delane av skalken

Resterande del av prøven vart så delt i to og lagt i tørkeskap etter prosedyre 14.637 i hb R210. Her var også prøven merka med A mot tunnelen (trafikkrommet) og B mot berget. Vidare gjennomføring av pf-test var gjennomført etter prosedyre 14.637 i hb 210.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
H-207-7 		75,7	


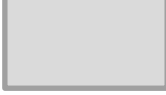




Reserveprøve.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm	Preparert prøvestykket	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm
			
H-207-8 	13,88-17,89	Til trykktesting  	87,40-89,12

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenoftalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.







Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm 	Preparert prøvestykket 	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm 
H-207-9 	0-10,73	Til trykktesting  Karbonatisering 	26,88-59,06

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenoftalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.

Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

Prøvenamn	Avkutta mot tunnelrommet (A) i mm 	Preparert prøvestykket 	Avkutta mot berget, inkl. berg (B) i mm 
H-207-10 	6,93-7,38	Til trykktesting  Karbonatisering 	67,3

Saga av begge endane av prøven og slipte trykkflatene. Prøven vart så trykktesta

Fenofalin vart påført den ferske bruddflata. Hadde då kontroll på kva side av prøven som vende inn i tunnelen og kva side som var mot berget, men sidan prøven var kutta i begge endar er nok den delen som kunne innehalde karbonatisering saga av.

Til slutt vart prøven knust ned og fiber samla med magnet.

3. Vassprøveresultat – 4 sider

Certificate

Project: 1510001389/34

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Sondre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information: Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjemiske analyser av kontaminert vegvann, sedimenter og
Date of sampling:
Date of arrival: 17.9.2014
Sampling by: Research started: 17.9.2014

Water analyce

			Unit	Method
Sampling point	Nesttunt 149	Hopst 207		
Sample ID	14SL 06516	14SL 06517		
ANALYSIS				
Pretreatment, filtration	ok	ok		
Turbidity	0,28	<0,20	NTU	RA2024*
pH	8,1	8,1		RA2000*
Alkalinity	2,6	3,5	mmol/l	RA2001*
Dissolved Organic Carbon (DOC)	2,4	4,8	mg/l	RA2007*
Chloride (Cl)	35	15	mg/l	RA2018*
Fluoride (F)	0,15	<0,10	mg/l	RA2050
Sulphate (SO ₄)	10	6,5	mg/l	RA2018*
Nitrate (NO ₃)	1,8	2,4	mg/l	RA2018*
Ammonium (NH ₄)	<0,0060	<0,0060	mg/l	RA2046*
Metals 1 diss	ok	ok		
Aluminium (Al), diss	54	<10	µg/l	RA3000*
Arsenic (As), diss	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000*
Barium (Ba), diss	8,1	48	µg/l	RA3000*
Boron (B), diss	48	30	µg/l	RA3000*
Mercury (Hg), diss	0,22	0,17	µg/l	RA3000*
Phosphorus (P), diss	<100	<100	µg/l	RA3000
Cadmium (Cd), diss	<0,030	<0,030	µg/l	RA3000*
Potassium (K), diss	12000	7400	µg/l	RA3000*
Calcium (Ca), diss	8300	58000	µg/l	RA3000*
Cobolt (Co), diss	<0,50	<0,50	µg/l	RA3000*
Chromium (Cr), diss	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000*
Copper (Cu), diss	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000*
Lead (Pb), diss	<0,50	<0,50	µg/l	RA3000*
Magnesium (Mg), diss	1300	5500	µg/l	RA3000*
Manganese (Mn), diss	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000*
Molybdenum (Mo), diss	1,9	<1,0	µg/l	RA3000*
Sodium (Na), diss	67000	9700	µg/l	RA3000*
Nickel (Ni), diss	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000*
Silicon (Si), diss	4500	6100	µg/l	RA3000
Iron (Fe), diss	<10	<10	µg/l	RA3000*
Sulfur (S), diss	4600	3400	µg/l	RA3000
Zinc (Zn), diss	<5,0	<5,0	µg/l	RA3000*

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

2/2

Project: 1510001389/34

	14SL 06516	14SL 06517	Unit	Method
Strontium (Sr), diss.	45	160	µg/l	RA3000
Thorium (Th), diss.	<0,20	<0,20	µg/l	RA3000
Uranium (U), diss	0,48	<0,10	µg/l	RA3000*
Vanadium (V), diss	8,5	<1,0	µg/l	RA3000*

* Method is accredited by the FINAS. Uncertainty of measurement is reported if requested.

Ramboll Analytics

Ilpo Lahdelma
M.Sc., Chemist, +358 40 074 5295

The certificate has been accepted electronically.

More infor Turbidity was analyzed after 0,45 µm filtration.

Delivery per.hagelia@vegvesen.no

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

Project: 1510001389/35

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Sondre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information: Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjemiske analyser av kontaminert vegvann, sedimenter og
Date of sampling:
Date of arrival: 17.9.2014
Sampling by: Research started:

Results

		Unit	Method
Sampling point	Hopst 207, filt- rated partic- les		
Sample ID	14SS 02037		
ANALYSIS			
Pretreatment, filtration	ok		
Pretreatment, microwave oven (HNO ₃ /HF)	ok		RA3009
Metals 1	ok		
Aluminium (Al)	11000	mg/kg dw	RA3000
Arsenic (As)	65	mg/kg dw	RA3000*
Barium (Ba)	2400	mg/kg dw	RA3000
Boron (B)	<20	mg/kg dw	RA3000
Mercury (Hg)	<0,10	mg/kg dw	RA3000*
Phosphorus (P)	4000	mg/kg dw	RA3000
Cadmium (Cd)	<0,20	mg/kg dw	RA3000*
Potassium (K)	6800	mg/kg dw	RA3000
Calcium (Ca)	34000	mg/kg dw	RA3000
Cobalt (Co)	4,4	mg/kg dw	RA3000*
Chromium (Cr)	12	mg/kg dw	RA3000*
Copper (Cu)	10	mg/kg dw	RA3000*
Lead (Pb)	5,6	mg/kg dw	RA3000*
Magnesium (Mg)	3900	mg/kg dw	RA3000
Manganese (Mn)	54000	mg/kg dw	RA3000*
Molybdenum (Mo)	<2,0	mg/kg dw	RA3000
Sodium (Na)	3100	mg/kg dw	RA3000
Nickel (Ni)	10	mg/kg dw	RA3000*
Silicon (Si)	49000	mg/kg dw	RA3000
Iron (Fe)	220000	mg/kg dw	RA3000*
Sulfur (S)	1900	mg/kg dw	RA3000
Zinc (Zn)	34	mg/kg dw	RA3000*
Strontium (Sr)	240	mg/kg dw	RA3000
Thorium (Th)	1,1	mg/kg dw	RA3000
Uranium (U)	<1,0	mg/kg dw	RA3000
Vanadium (V)	78	mg/kg dw	RA3000*

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

Project: 1510001389/35

* Method is accredited by the FINAS. Uncertainty of measurement is reported if requested.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahdelma
M.Sc., Chemist, +358 40 074 5295

The certificate has been accepted electronically.

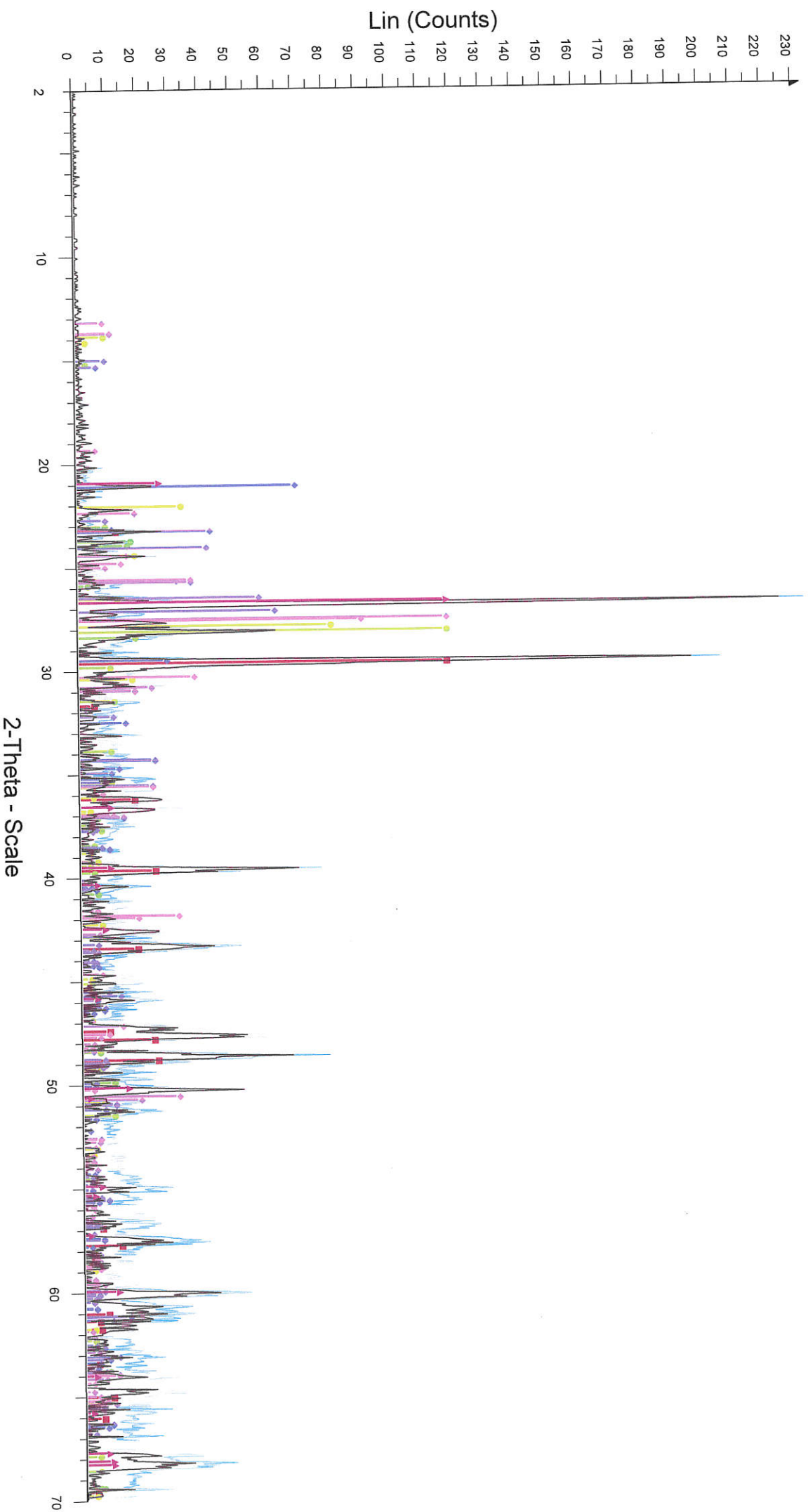
More infor 14SS02036: Nesttunt 149, filtrated particles -> amount of solid material too low for elemental analysis.

Delivery per.hagelia@vegvesen.no

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

4. Utskrift av XRD – 5 sider

nestun tunell leiremineral?



N=170

av 5

nestun tunell leiremineral? - File: 20140923 n170.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 4 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000

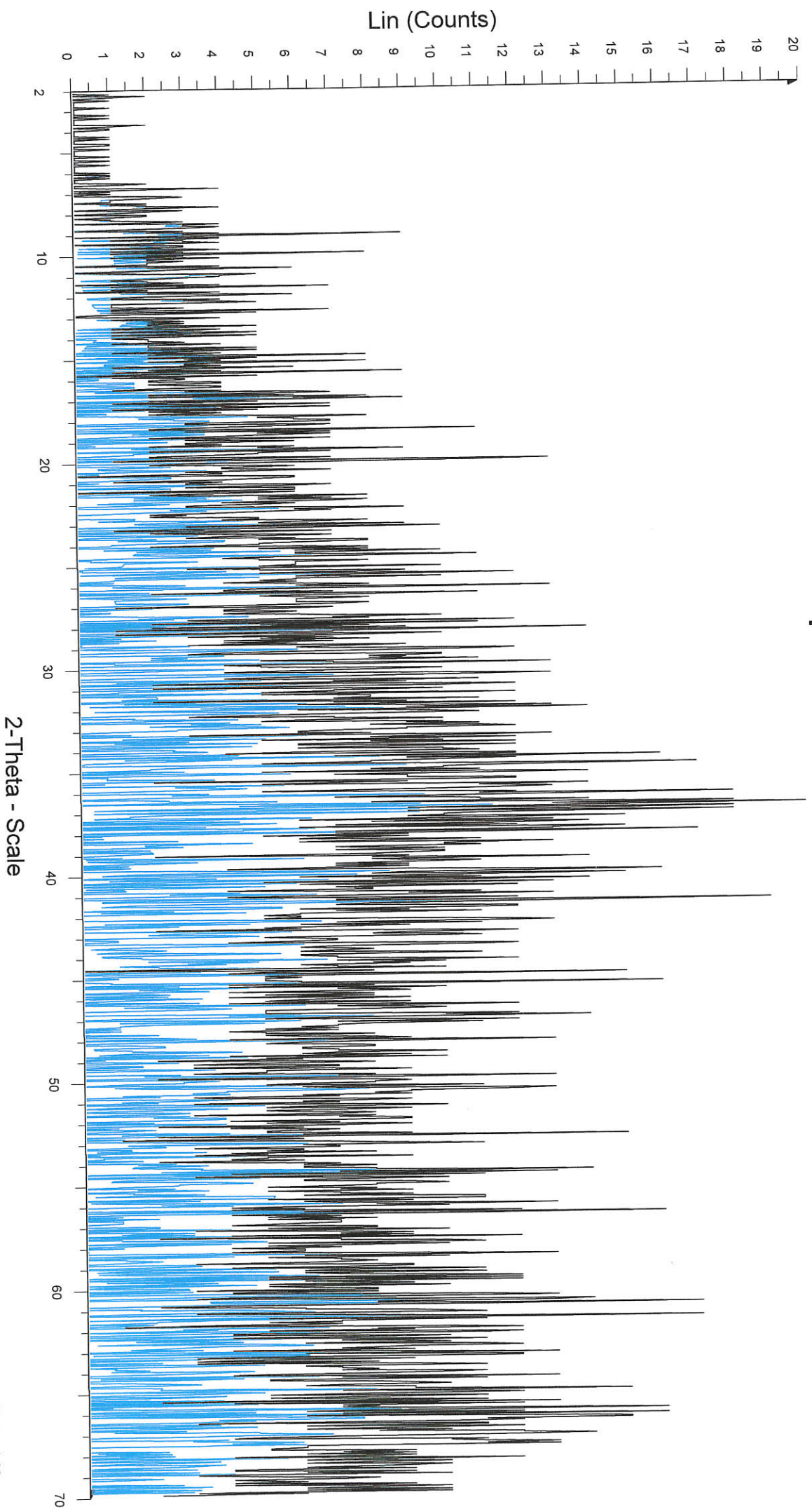
Operations: Import

nestun tunell leiremineral? - File: 20140923 n170.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 4 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000

- Operations: Backgroud 0.457, 1.000 | Import
- 01-089-1305 (N) - Calcite, magnesium, syn - (Mg0.06Ca0.94)(CO3) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.96300 - b 4.96300 - c 16.95700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive
- 00-041-1480 (I) - Albite, calcian, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)3O8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.16100 - b 12.85800 - c 7.11200 - alpha 93.680 - beta 116.420 - gamma 89.390 - Base-centered - C-
- 01-076-0918 (*) - Microcline maximum - KAlSi3O8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.57260 - b 12.96180 - c 7.21880 - alpha 90.570 - beta 115.920 - gamma 87.750 - Base-centered - C-1 (2) - 4 - 72
- 01-079-1910 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 113.052 - I/c P

H-207 A

h207 hopstunnel svart leire?



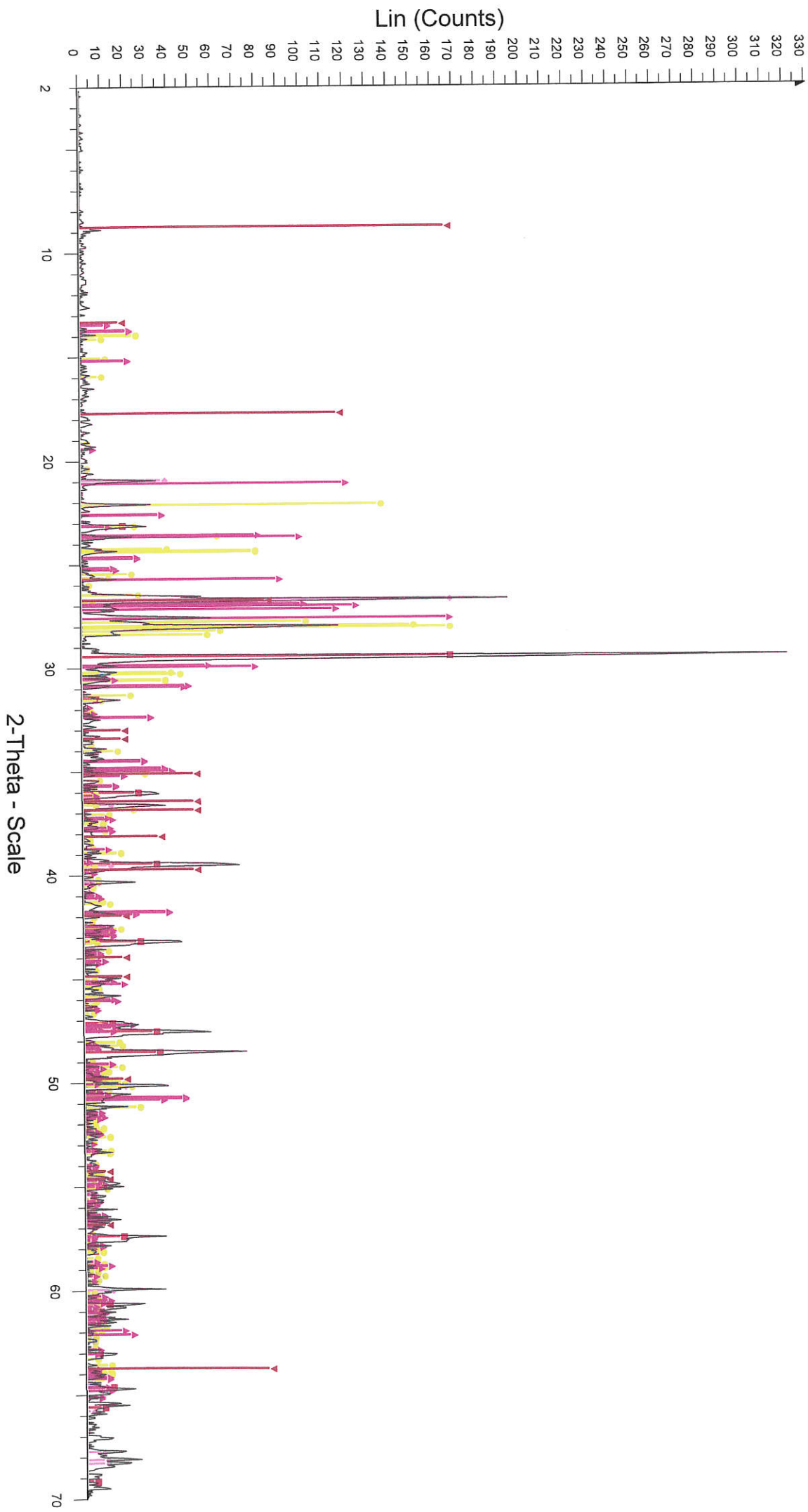
2 av 5

h207 hopstunnel svart leire? - File: 20140923 h207.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 5 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.00
Operations: Import

h207 hopstunnel svart leire? - File: 20140923 h207.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 5 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.00
Operations: Background 0.457, 1.000 | Import

#-207 B

hopstunell leirmineral ?



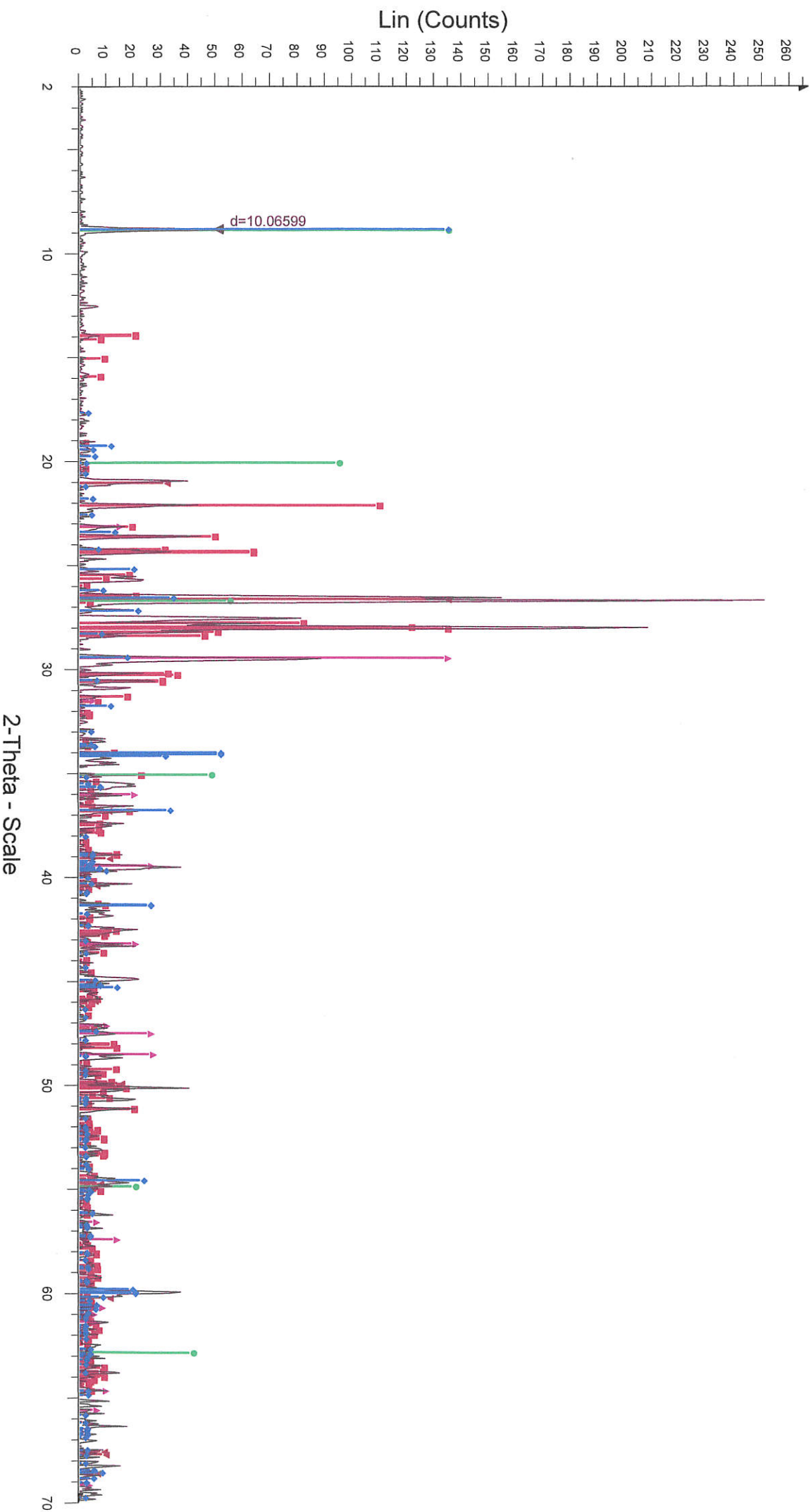
3 av 5

hopstunell leirmineral ? - File: 20140923h207b.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 6 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° -

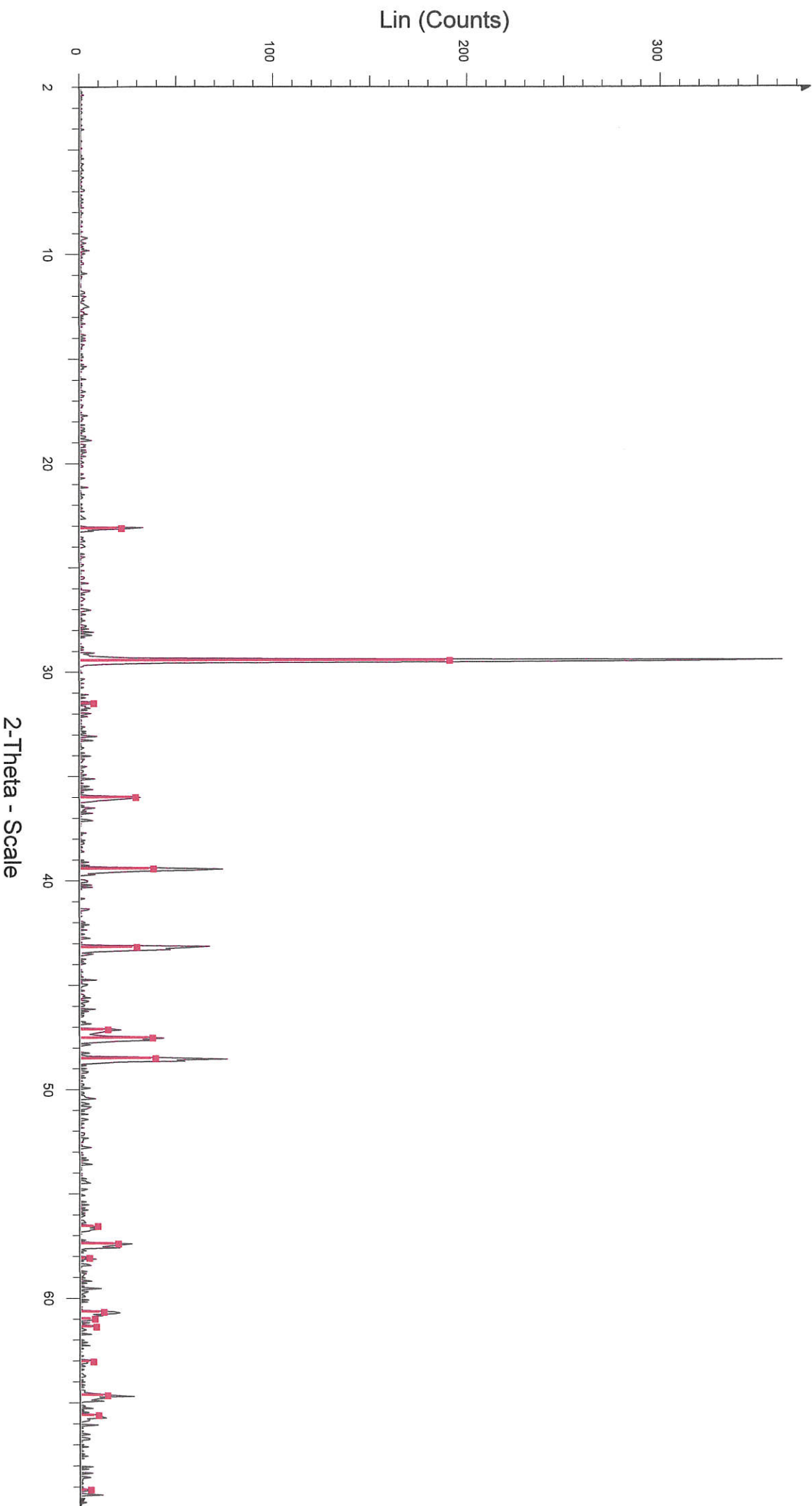
Operations: Background 0.457, 1.000 | Import

- 01-071-3699 (*) - Calcite, syn - Ca(CO₃) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99100 - b 4.99100 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 368.0
- 01-087-2096 (N) - Quartz low, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91270 - b 4.91270 - c 5.40450 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - F3221 (154) - 3 - 112.961 - I
- 01-089-6423 (*) - Albite - Na(AlSi₃O₈) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13300 - b 12.77300 - c 7.15900 - alpha 94.230 - beta 116.640 - gamma 87.720 - Base-centered - C-1 (2) - 4 - 662.918 - I/c P
- 01-076-0826 (*) - Microcline Intermediate - K₂Hf₂Na₂Si₂O₁₀ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.56700 - b 12.98000 - c 7.20000 - alpha 90.070 - beta 116.030 - gamma 89.750 - Bas
- 00-032-1128 (C) - Busenite, syn (NR) - Na₄Mn₁₄O₂₇·2H₂O - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 17.50000 - b 30.70000 - c 10.20000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 6 - 5479.95 - I

H-207 C



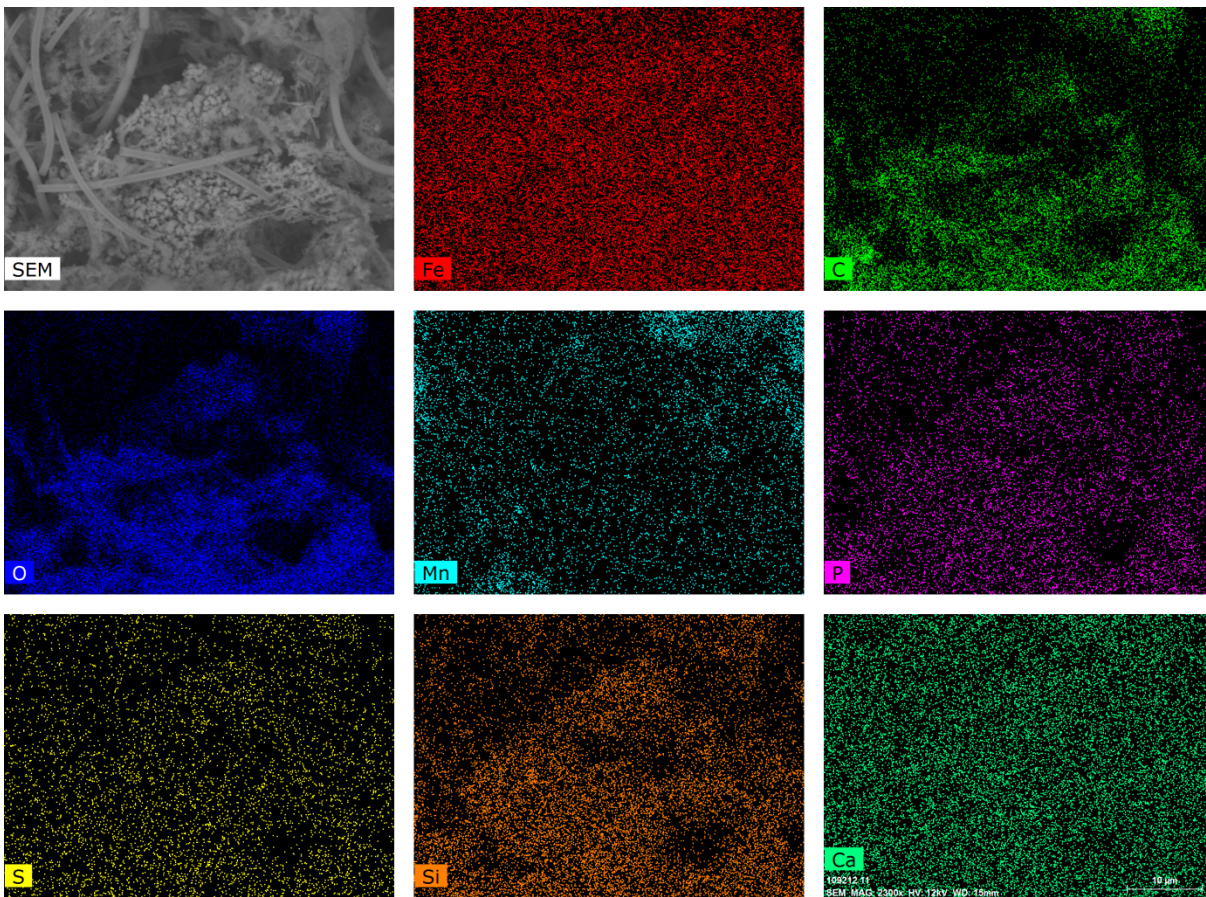
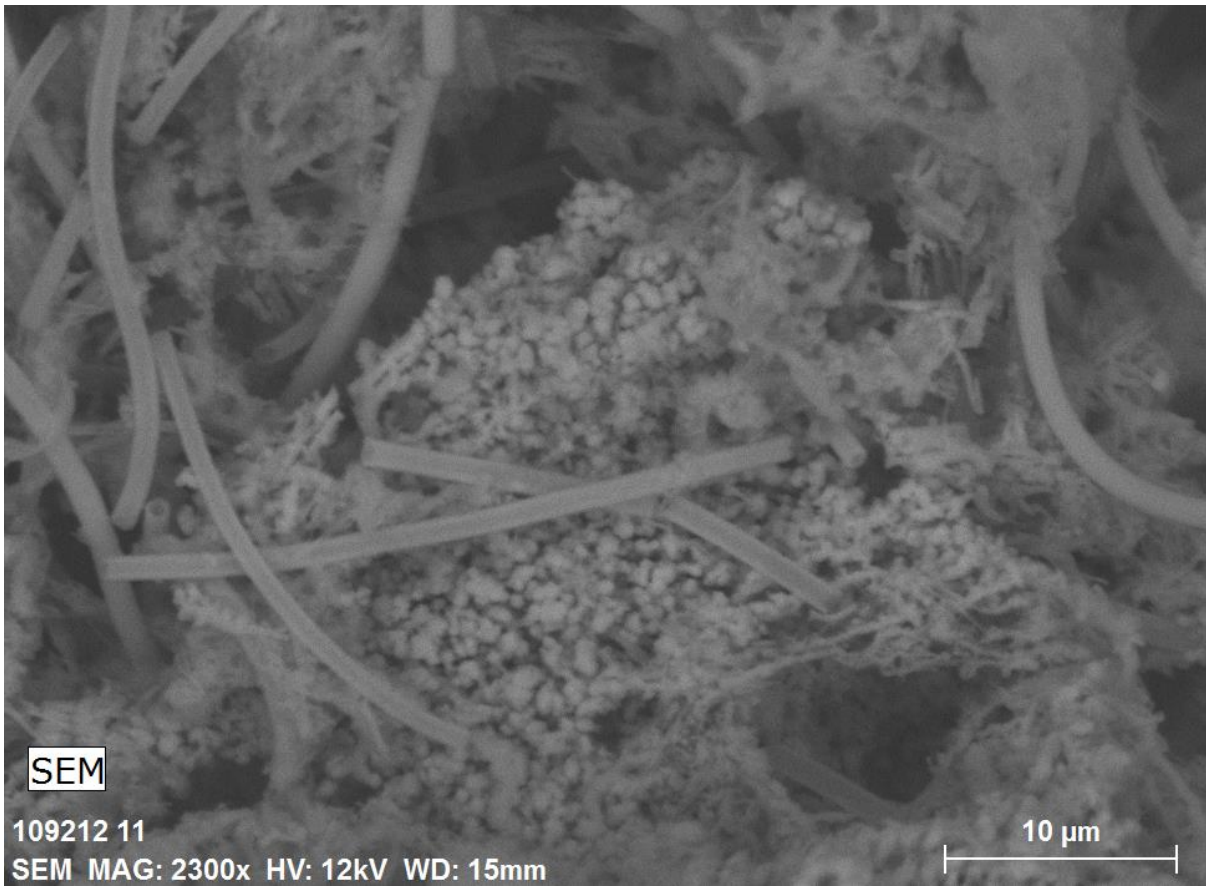
H-620 A



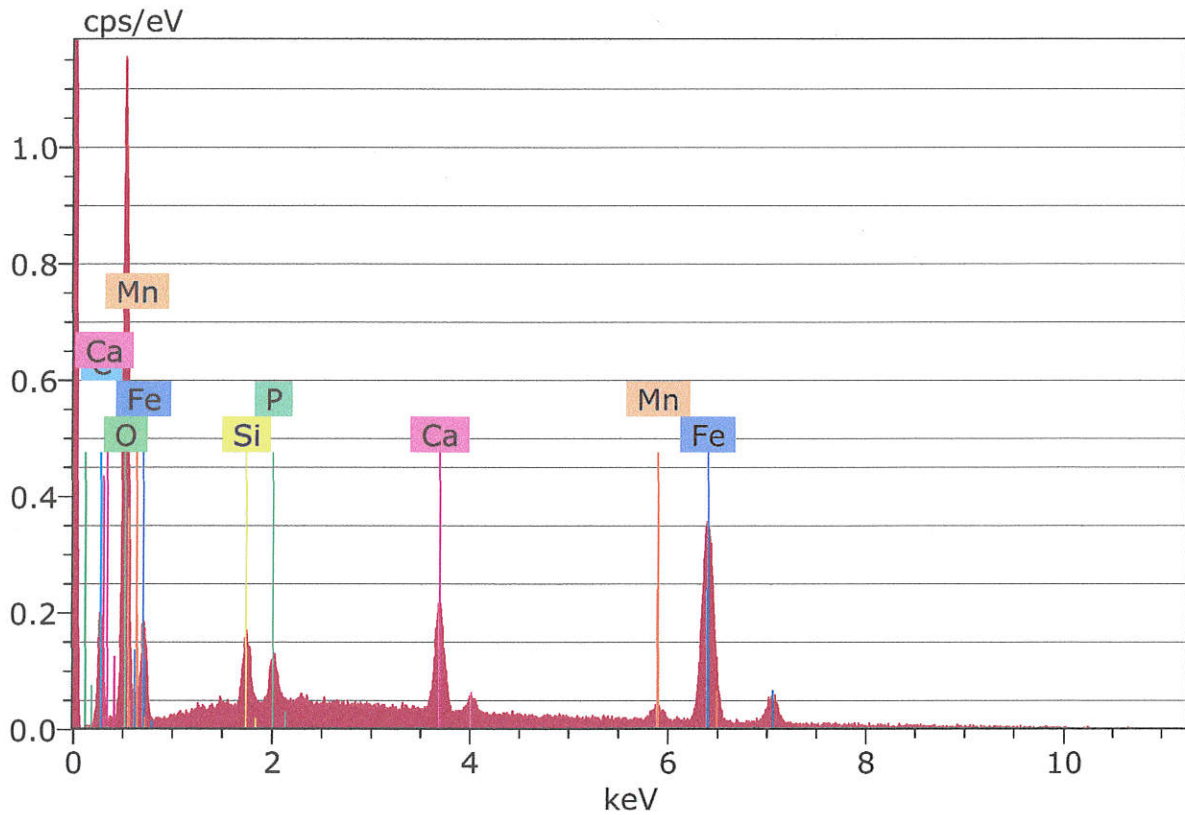
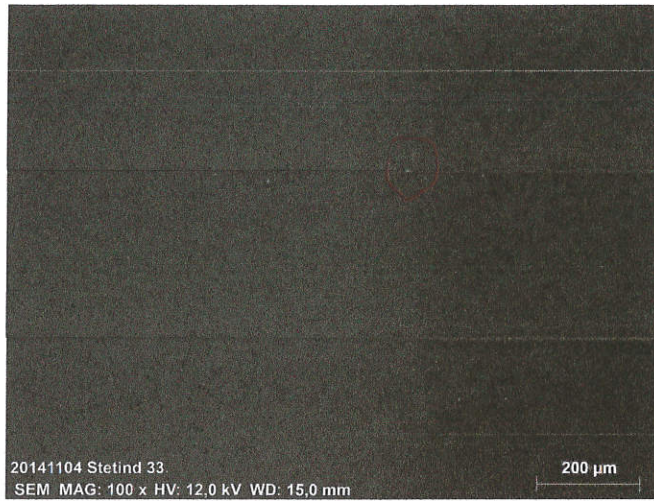
5 av 5

☒ H-620 A - File: 20141111 b.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 4 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Phi: 0.00 ° - Aux1:
Operations: Background 6.761,1.000 | Import
☐ 01-071-3699 (*) - Calcite, syn - Ca(CO₃) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99100 - b 4.99100 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 368.0

5. Utskrift av SEM-analysen av overflatematerialet – 8 sider

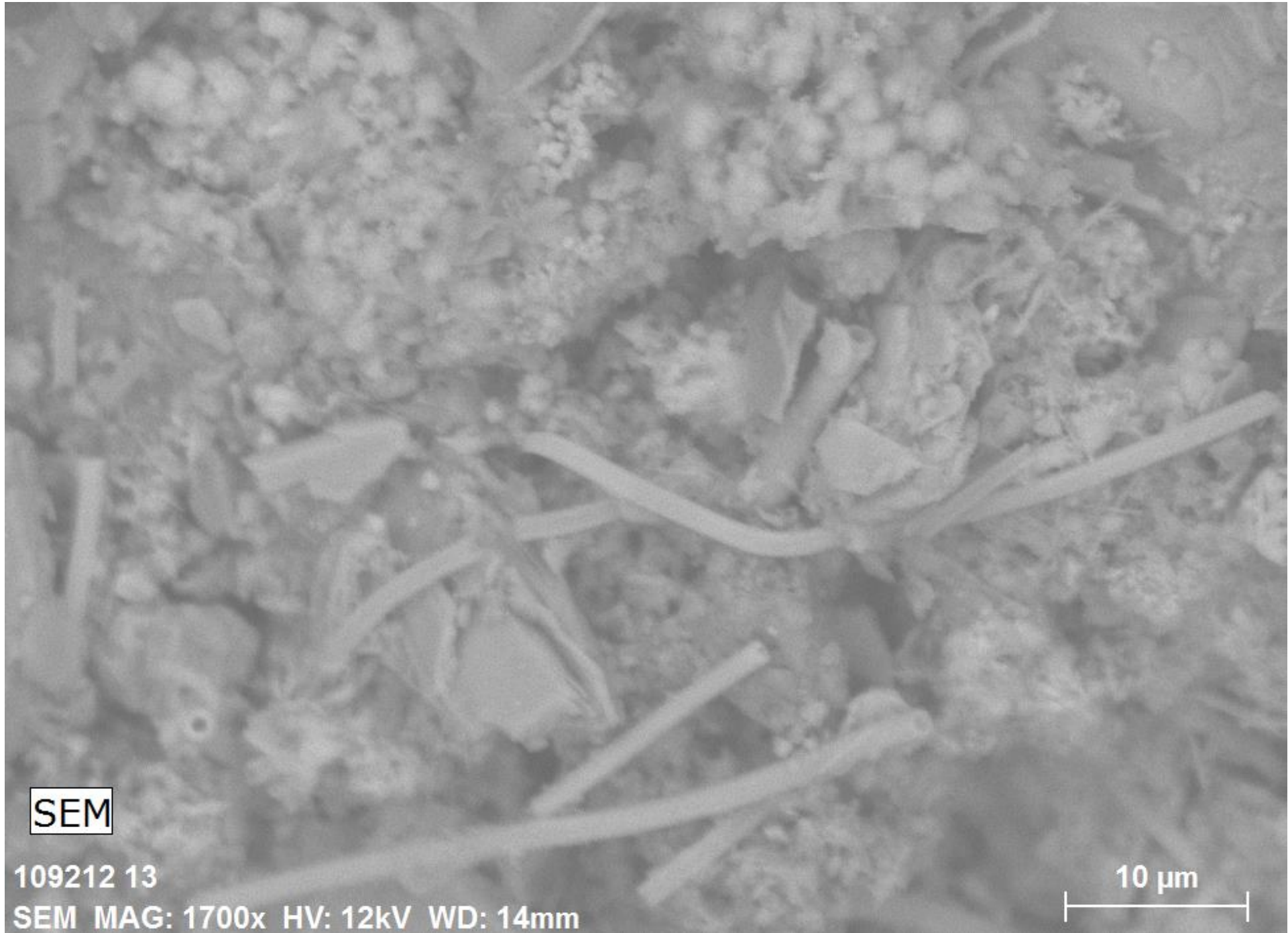


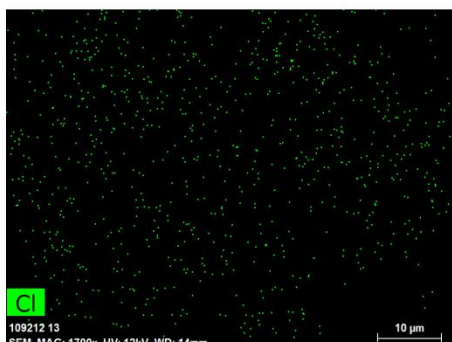
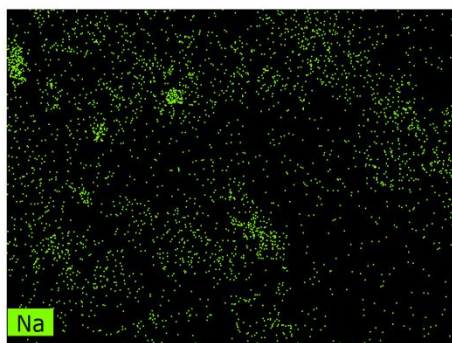
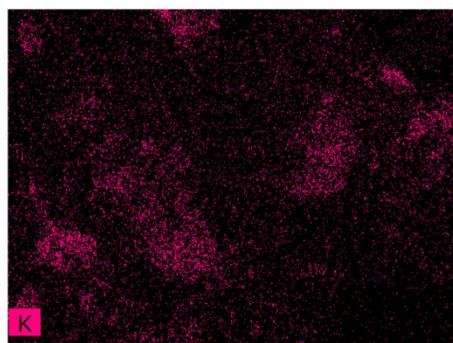
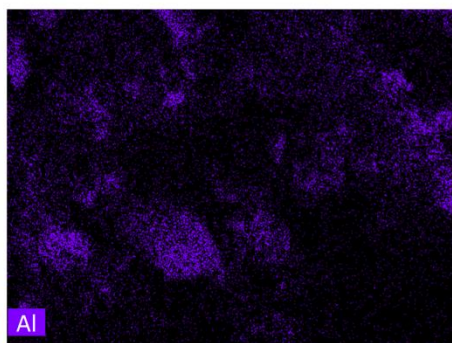
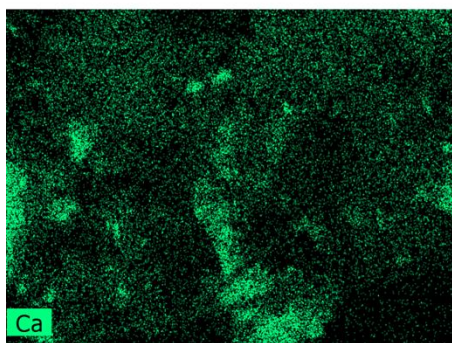
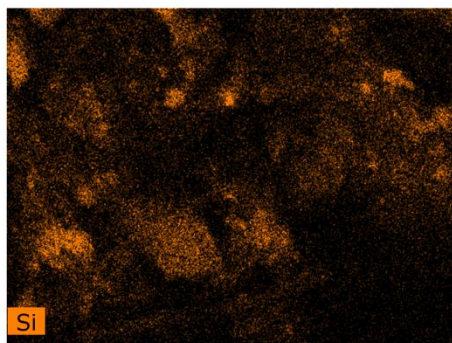
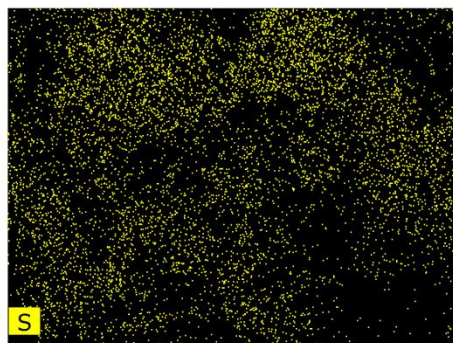
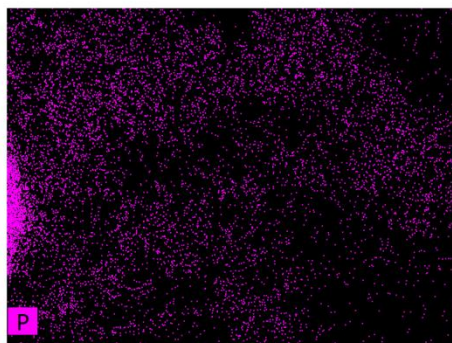
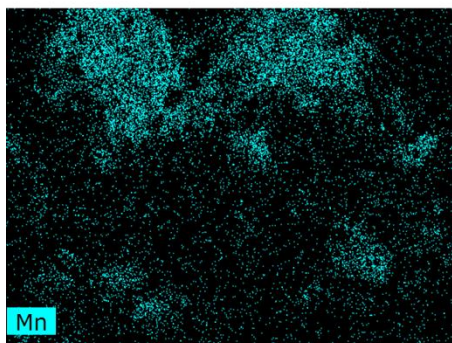
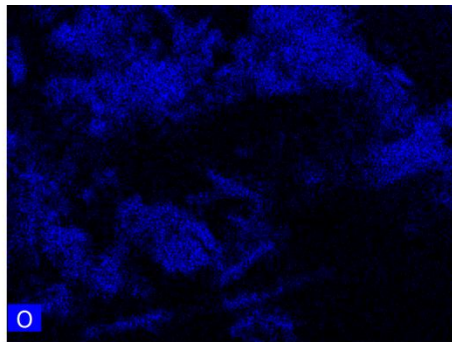
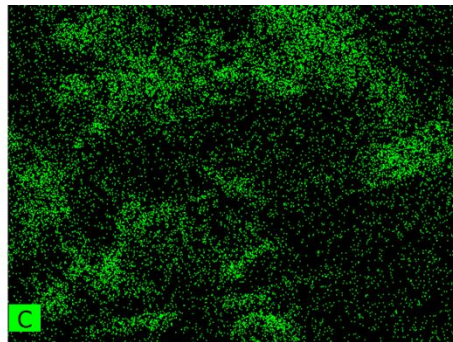
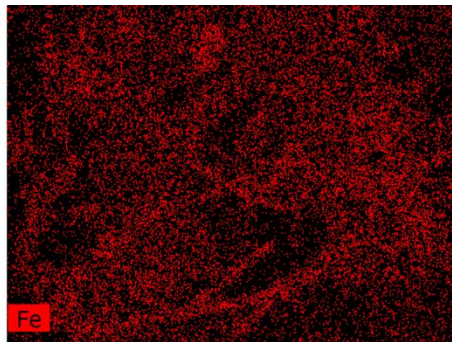
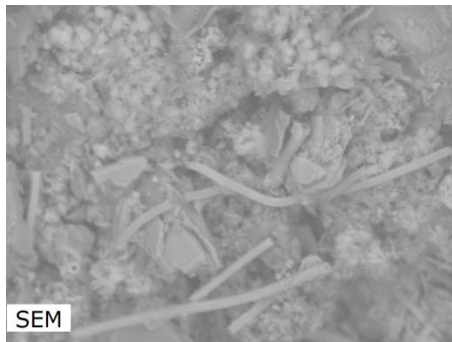
20141111 H207 A

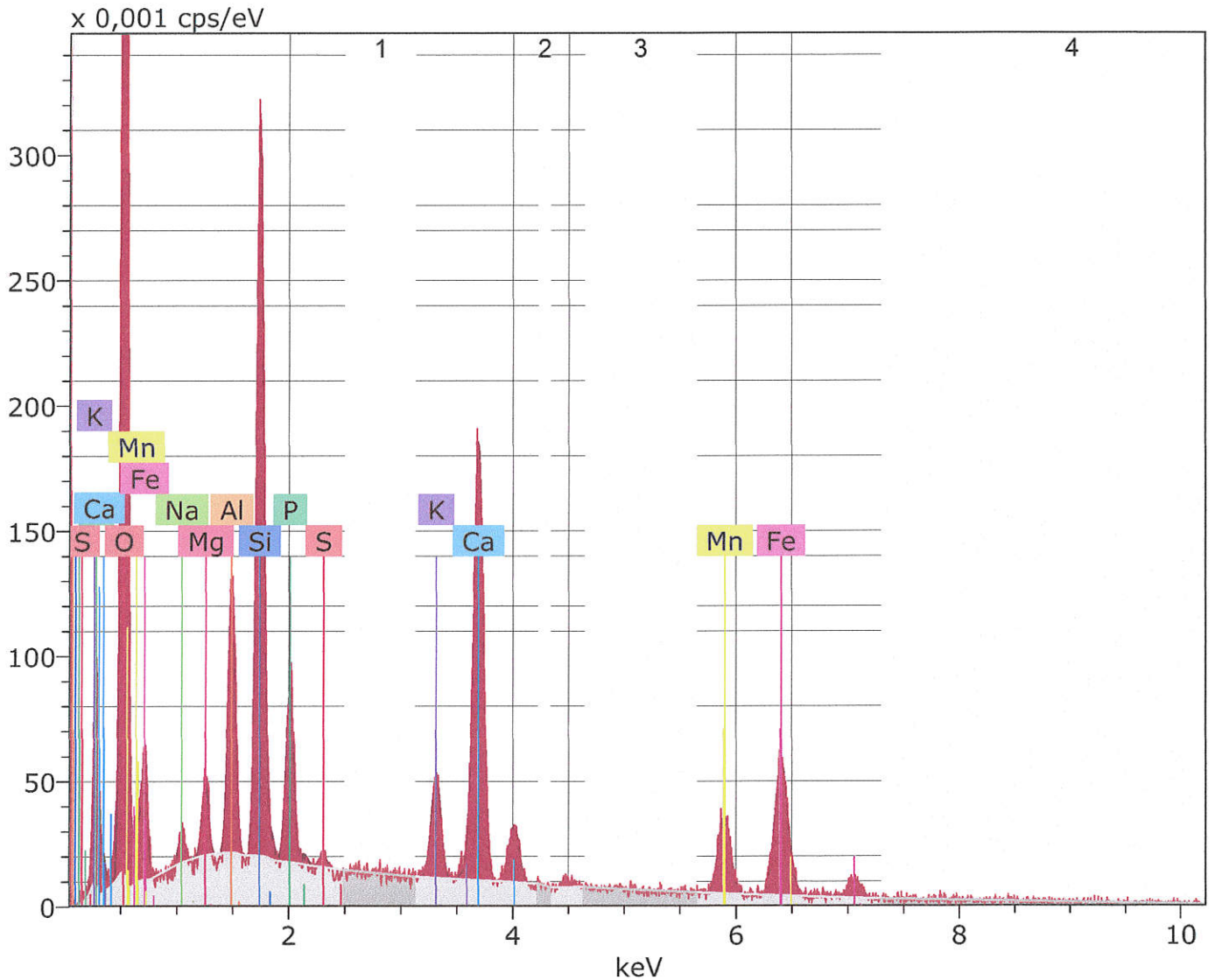


Spectrum: 20141111 H207A 15

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	Comp. C [wt.%]	norm. Comp. C [wt.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	30,72	33,01	56,81		0,00	0,00	3,91
Fe	26	K-series	47,87	51,45	25,37	FeO	66,19	61,59	1,72
C	6	K-series	3,85	4,14	9,49	CO2	15,17	14,11	0,69
Ca	20	K-series	4,94	5,31	3,65	CaO	7,43	6,91	0,19
Si	14	K-series	2,10	2,26	2,21	SiO2	4,82	4,49	0,12
P	15	K-series	1,34	1,44	1,28	P2O5	3,29	3,06	0,09
Mn	25	K-series	2,23	2,40	1,20	MnO	3,10	2,89	0,13
Total:			93,05	100,00	100,00				





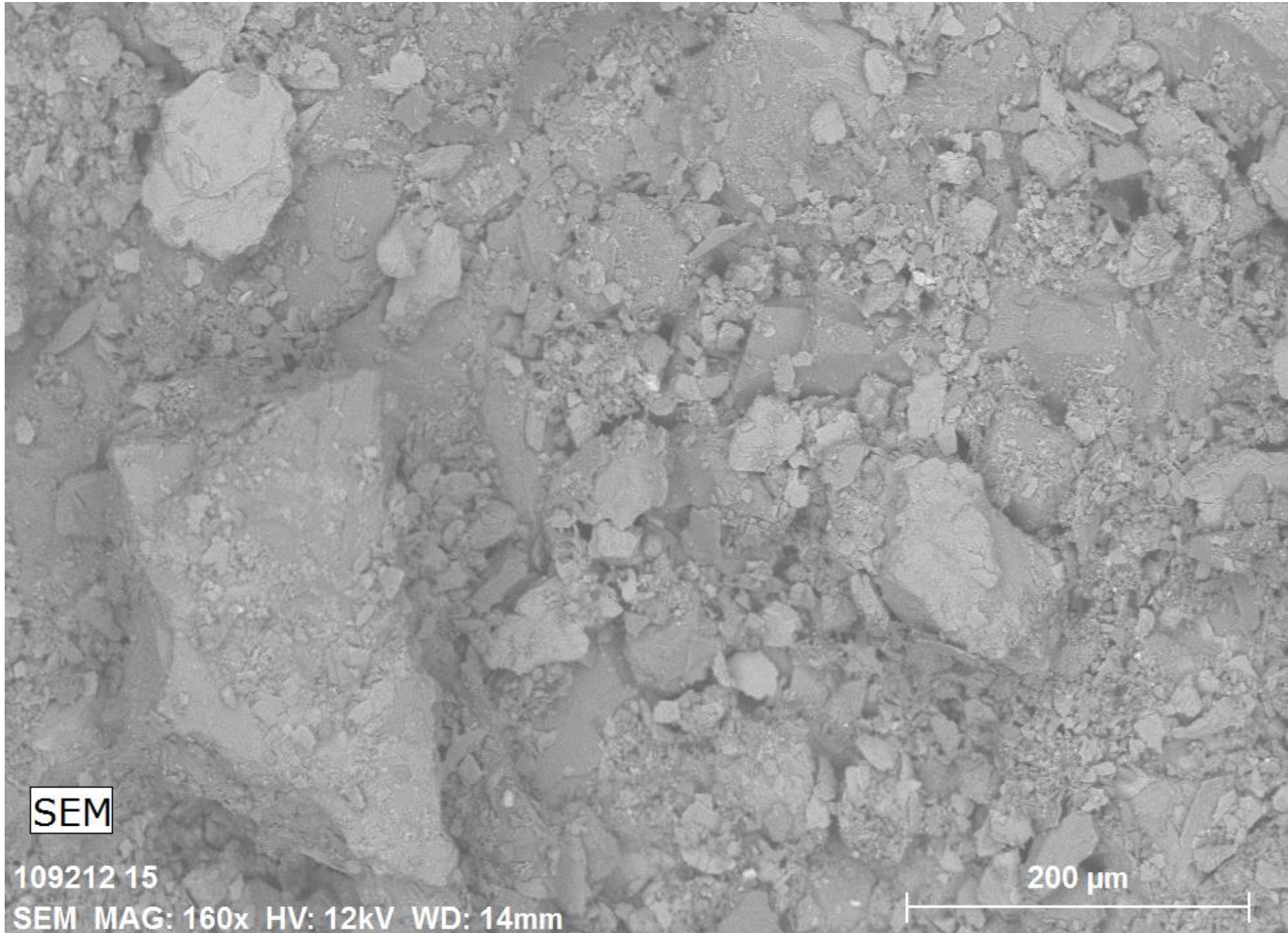


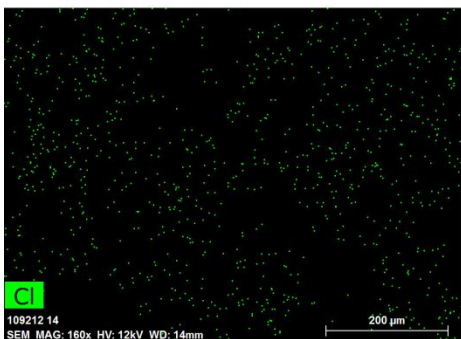
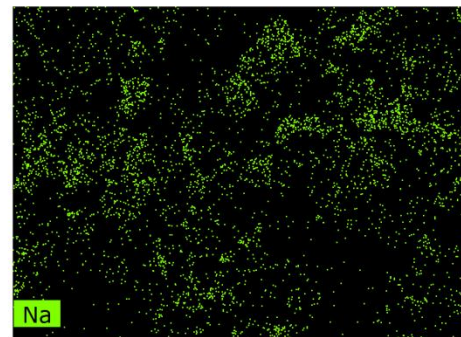
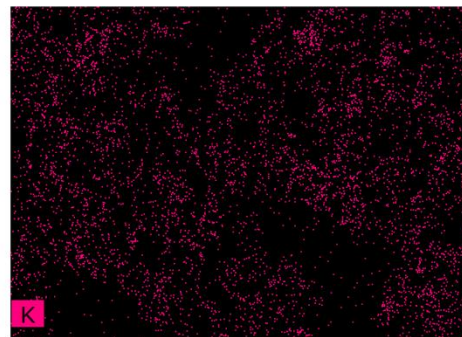
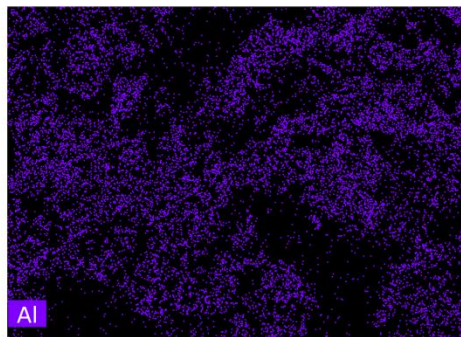
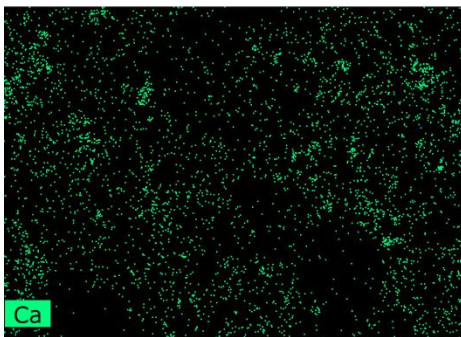
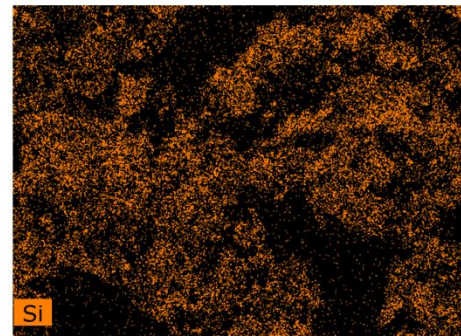
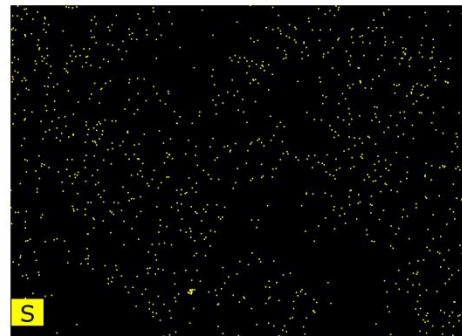
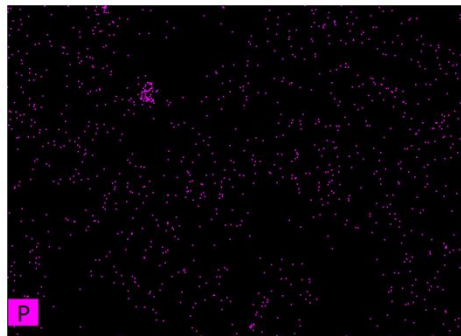
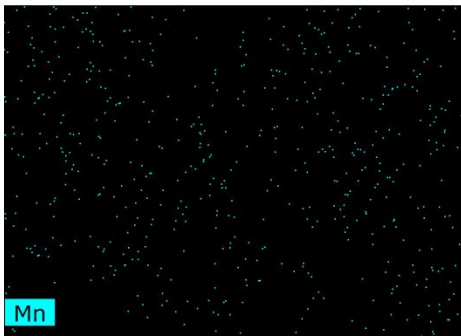
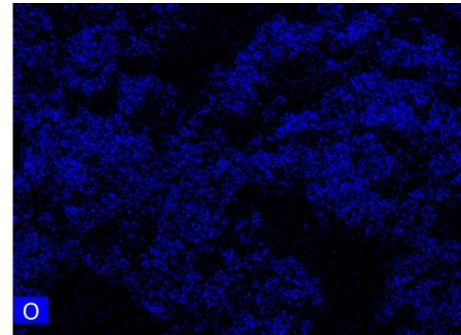
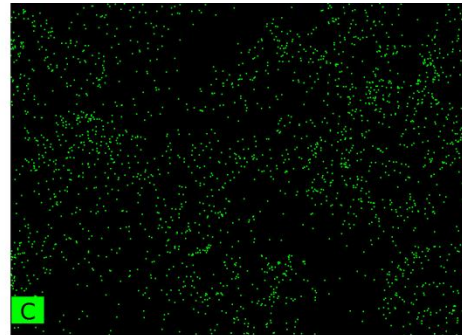
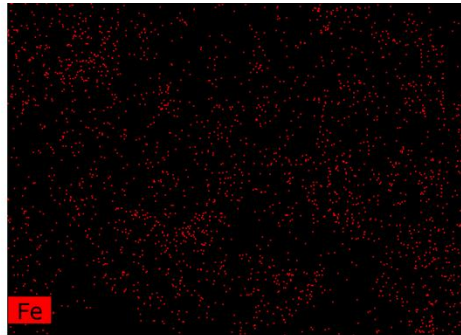
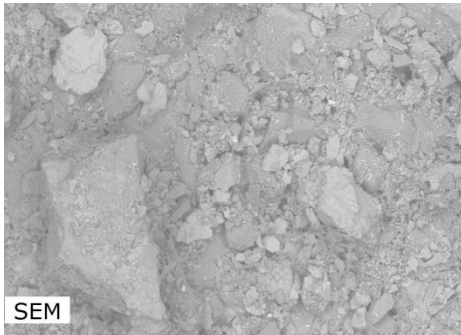
B

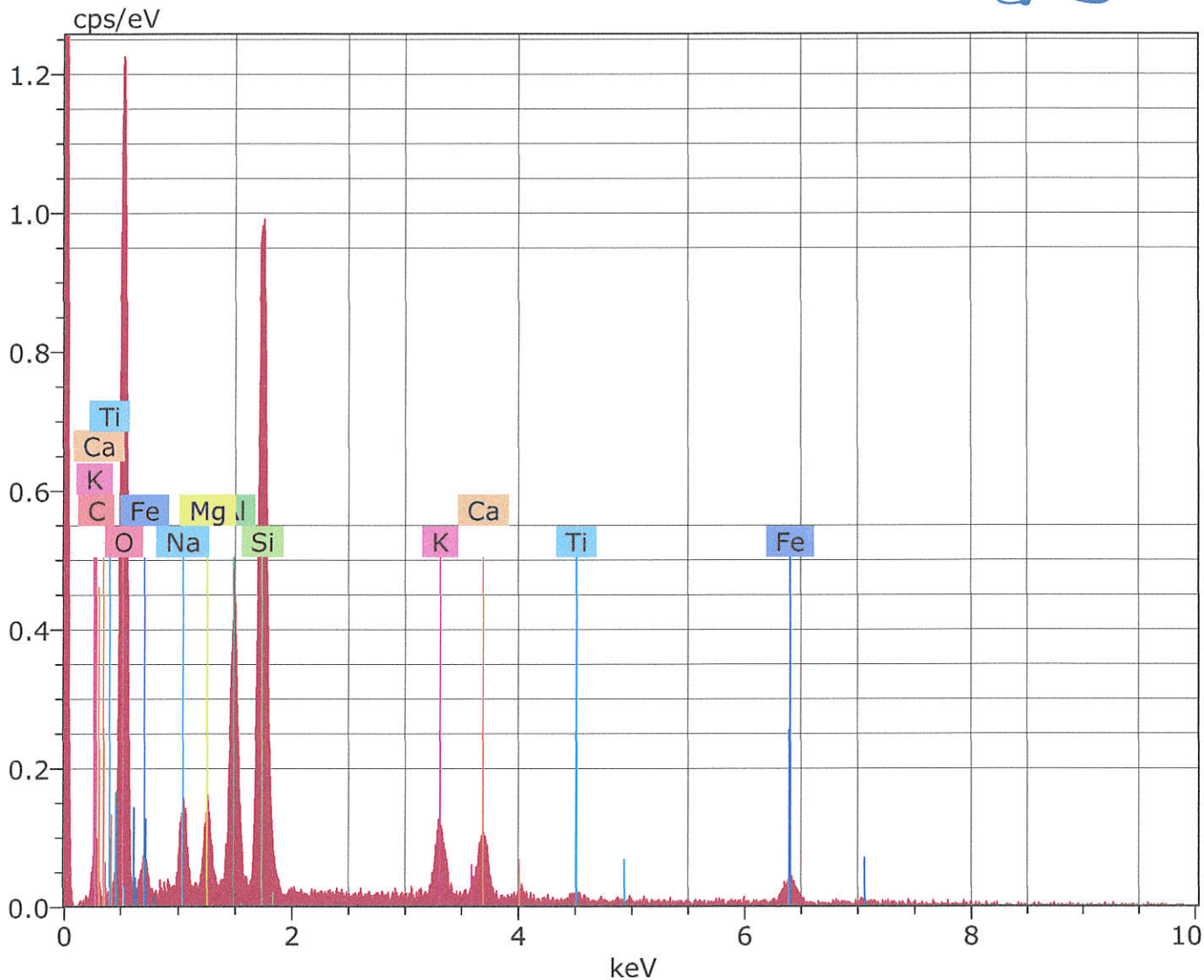
Spectrum: 20141111 H207A 17

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	norm. Comp. C [wt.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Oxygen	K-series	5,11	39,68	59,18		0,00	0,67
Carbon	K-series	0,45	3,52	7,00	CO2	12,91	0,15
Silicon	K-series	1,23	9,53	8,10	SiO2	20,40	0,08
Calcium	K-series	1,63	12,68	7,55	CaO	17,75	0,08
Iron	K-series	2,32	18,02	7,70	FeO	23,19	0,11
Manganese	K-series	0,98	7,59	3,30	MnO	9,80	0,06
Aluminium	K-series	0,39	3,02	2,67	Al2O3	5,71	0,04
Phosphorus	K-series	0,29	2,26	1,75	P2O5	5,19	0,04
Potassium	K-series	0,30	2,31	1,41	K2O	2,79	0,04
Magnesium	K-series	0,11	0,83	0,81	MgO	1,37	0,03
Sodium	K-series	0,05	0,39	0,41	Na2O	0,53	0,03
Sulfur	K-series	0,02	0,15	0,11	SO3	0,37	0,03
Total:		12,87	100,00	100,00			

H-207-C Mapping av overflatemateriale







Spectrum: 20141111 H207A 18

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	Comp. C [wt.%]	norm. Comp. C [wt.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	8,53	46,83	61,23		0,00	0,00	6,66
Si	14	K-series	3,98	21,88	16,30	SiO2	46,82	8,52	0,19
Al	13	K-series	1,33	7,31	5,67	Al2O3	13,81	2,51	0,09
C	6	K-series	0,54	2,95	5,14	CO2	10,82	1,97	0,26
Fe	26	K-series	1,25	6,87	2,57	FeO	8,84	1,61	0,09
Na	11	K-series	0,48	2,63	2,39	Na2O	3,54	0,64	0,06
Ca	20	K-series	0,77	4,24	2,21	CaO	5,93	1,08	0,06
K	19	K-series	0,74	4,08	2,19	K2O	4,92	0,90	0,06
Mg	12	K-series	0,38	2,11	1,81	MgO	3,50	0,64	0,05
Ti	22	K-series	0,20	1,09	0,48	TiO2	1,82	0,33	0,04
Total:			18,20	100,00	100,00				

6. Resultat frå testing av trykkfastheit - 1 side



14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. *Arnhild Fjose*Utført dato *02.12.2014*

Signatur

PROSJEKTNR.: <i>101975</i>	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: <i>Hop- og Nesttunneler</i>	STØPEDATO:
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse:

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm)a (mm)	Ø(mm)b (mm)				
<i>H-207-1</i>	<i>275,3</i>	<i>157,1</i>	<i>2320,3</i>	<i>53,9</i>	<i>X</i>	<i>52</i>	<i>192,0</i>	<i>84,15</i>	
<i>H-207-2</i>	<i>270,0</i>	<i>153,2</i>	<i>2288,8</i>	<i>53,9</i>	<i>X</i>	<i>51,7</i>	<i>157,0</i>	<i>68,81</i>	
<i>H-207-3</i>	<i>247,7</i>	<i>141,4</i>	<i>2306,1</i>	<i>54</i>	<i>X</i>	<i>46,9</i>	<i>166,3</i>	<i>72,61</i>	
<i>H-207-8</i>	<i>217,0</i>	<i>123,1</i>	<i>2302,7</i>	<i>53,9</i>	<i>X</i>	<i>41,3</i>	<i>169,0</i>	<i>74,08</i>	
<i>H-207-9</i>	<i>311,8</i>	<i>177,1</i>	<i>2309,1</i>	<i>53,8</i>	<i>X</i>	<i>59,4</i>	<i>154,9</i>	<i>68,14</i>	
<i>H-207-10</i>	<i>419,6</i>	<i>238,9</i>	<i>2313,1</i>	<i>53,9</i>	<i>X</i>	<i>79,5</i>	<i>154,4</i>	<i>67,67</i>	
					<i>X</i>				
<i>N-170-1</i>	<i>418,2</i>	<i>231,7</i>	<i>2208,0</i>	<i>54</i>	<i>X</i>	<i>82,7</i>	<i>96,5</i>	<i>42,14</i>	
<i>N-170-2</i>	<i>317,7</i>	<i>174,8</i>	<i>2191,5</i>	<i>54</i>	<i>X</i>	<i>63,3</i>	<i>98,7</i>	<i>43,10</i>	
<i>N-170-3</i>	<i>272,9</i>	<i>150,6</i>	<i>2202,9</i>	<i>54</i>	<i>X</i>	<i>54,1</i>	<i>112,9</i>	<i>49,30</i>	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

7. Resultat frå fibertelling – 2 sider



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyse

NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong

Oppdragsnr: Amhild Fjone

Dato: _____

Signatur: _____

Hops tønne

Prosjekt:

Resept:

Støpedato:

Type fiber:

Tilsiktet dosering:

Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
H-207-1	1	275,3	157,1	118,2		47,9	40,52
H-207-2	2	270,0	153,2	116,8		44,5	38,10
H-207-3	3	247,7	141,4	106,3		5,01	47,13
H-207-4	4	217,0	123,1	93,9		3,81	40,58
H-207-5	5	311,8	177,1	134,7		5,44	40,39
H-207-10	6	419,6	238,9	180,7		7,50	41,50

Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m³): _____

Merknader:

EE-fiber ca. 25
↳ Elemenfiber



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong

Oppdragsnr: _____ Dato: _____ Signatur: _____

Naturtunnelen

Prosjekt:

Resept:

Støpedato:

Type fiber:

Tilskiktet dosering:

Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
N-130-1	1	418,2	231,7	186,5		6,70	35,92
N-130-2	2	317,7	174,8	142,9		3,29	23,02
N-130-3	3	272,9	150,6	122,3		2,36	19,30
N-130-5	4						
	5						
	6						

Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m³): _____

Merknader:

8. Resultat frå kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF, inklusiv utrekning av v/b-forhold med og utan silikainnhald – 3 sider



Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF

Side 1 av 2

Oppdragsnr. Arnhild Fjose

Utført dato 01.12,08.12,15.12,17.12.2014

Signatur Benteg

Prosjekt: Hopstunnelen/Nesttunnelen

Prøve er merket:

Pr.A-Inn mot tunnelen, Pr.B-Ut mot berget

Prøvens alder:

Start trykkmetning-kl.14:25, 15.12.2014

Start forsøk: dato: 08.12.2014

tid (tt:mm): 13:35

Trykkmetning start-kl.12:05,17.12.2014

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket						
			H-207-6A	H-207-6B		N-170-8A	N-170-8B		
		Initiell vekt - g₀	341,10	282,84		456,47	455,20		
8.12.14	13:35	Vannlagring - g	377,48	308,65		507,97	497,30		
15.12.14	13:40	1 uke vannsug - g							
		2 uker vannsug - g							
		3 uker vannsug - g							
15.12.14	13:40	Vannmetning (luft) - g₄	377,48	308,65		507,97	497,30		
15.12.14	13:45	Vannmetning (vann) - g₅	210,51	175,22		277,12	277,25		
17.12.14	12:05	Trykkmetting (luft) - g₆	382,38	312,07		518,12	507,14		
17.12.14	12:10	Trykkmetting (vann) - g₇	215,19	178,46		286,92	286,70		
		Tørking - g₃	341,10	282,84		456,47	455,20		
Mål	sidekant a / diameter d (mm)								
	sidekant b (mm)								
	høyde (mm)								
For utregninger, se formler på side 2									
Prøvestykkets volum - V ₃ (cm ³)			167,19	133,61		231,2	220,44		
Densitet faststoff - ρ _{fs} (kg/m ³)			2709	2710		2692	2701		
Sug porøsitet - p _s (%)			21,76 %	19,32 %		22,28 %	19,10 %		
Makro porøsitet - p _m (%)			2,93 %	2,56 %		4,39 %	4,46 %		
Total porøsitet - p _t (%)			24,69 %	21,88 %		26,67 %	23,56 %		
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0		0,0	0,0		
Beregnet v/c etter Powers			1,33	0,95		1,44	0,93		

$$V_1 = \frac{g_1 - g_2}{1} \quad V_2 = \frac{g_4 - g_5}{1} \quad V_3 = \frac{g_6 - g_7}{1}$$

$$\rho_{fs} = 1000 \cdot \frac{g_3}{V_3 - \left(\frac{g_6 - g_3}{1}\right)}$$

Alle vekt-verdier (g-ene) settes inn som gram

Da blir enhetene som angitt nederst på side 1

$$\left. \begin{aligned} p_s &= \frac{g_4 - g_3}{V_3 \cdot 1} \\ p_m &= \frac{g_6 - g_4}{V_3 \cdot 1} \end{aligned} \right\} p_t = p_s + p_m$$

$$DS = 100 \cdot \frac{g_0 - g_3}{g_1 - g_3}$$

$$\frac{v}{b} = \frac{0,321 p_{sug,pasta} + 0,172 \alpha}{1 - p_{sug,pasta}}$$

		H-207-6A	H-207-6B		N-170-8A	N-170-8B
Totalporøsitet ($p_{sug,pasta}$)		51,81 %	45,99 %		53,04 %	45,47 %
$\alpha =$	1	0,70	0,59		0,73	0,58
$\alpha =$	0,9	0,67	0,56		0,69	0,55
$\alpha =$	0,8	0,63	0,53		0,66	0,52
$\alpha =$	0,7	0,59	0,50		0,62	0,49

$$\frac{v}{b} = \frac{0,321 p_{sug,pasta} + 0,172 \alpha + \frac{1}{2,2} * \frac{s}{c} * p_{sug,pasta} - \frac{s}{c} * 0,116as}{1 - p_{sug,pasta}}$$

		H-207-6A	H-207-6B		N-170-8A	N-170-8B
Totalporøsitet ($p_{sug,pasta}$)		51,81 %	45,99 %		53,04 %	45,47 %
$\alpha =$	1	0,71	0,60		0,74	0,59
$\alpha =$	0,9	0,68	0,57		0,70	0,56
$\alpha =$	0,8	0,64	0,54		0,67	0,53
$\alpha =$	0,7	0,61	0,50		0,63	0,50

9. Estimering av porøsitet- Powers modell frå resept Snemyr, 2014 – 1 side.

Estimering av porøsitet:

Resepten frå Snemyr, 2014:

$$480 \text{ kg sement} \quad \rho_{\text{sement}} = 3,12 \text{ kg/liter} \quad \Rightarrow \quad \frac{480}{3,12} = 153,8 \text{ l sement}$$

$$20 \text{ kg silika} \quad \rho_{\text{silika}} = 2,2 \text{ kg/liter} \quad \Rightarrow \quad \frac{20}{2,2} = 9,1 \text{ l silika}$$

Opplyst at blanda v/b = 0,42, vassmengde i pasta

$$V = 0,42 * (480 + 2*20) = 218,4 \text{ l vatn med k-faktor} = 2$$

Pastamengde

$$\begin{array}{rcl} 153,8 & \text{l} & \text{sement} \\ + 9,1 & \text{l} & \text{silika} \\ + 35 & \text{l} & \text{akselerator} \\ \hline = 416,3 & \text{l} & \text{pasta, dvs. 42\% pasta} \end{array}$$

V/b-forhold:

$$v/b = \frac{218,4 + 35}{480 + 2 * 20} = 0,49$$

Estimering av porøsitet – Powers modell

Porøsitet i pastaen:

Antek $\alpha=1$

$$\epsilon_{\text{tot}} = \frac{\frac{w}{c} - 0,172\alpha}{0,32 + \frac{w}{c}} = \frac{0,49 - 0,172*1}{0,32 + 0,49} = 0,393 = 39,3 \%$$

$$\epsilon_{\text{gel}} = \frac{0,185\alpha}{0,32 + \frac{w}{c}} = \frac{0,185*1}{0,32 + 0,49} = 0,228 = 22,8 \%$$

$$\epsilon_{\text{cap}} = \frac{\frac{w}{c} - 0,357\alpha}{0,32 + \frac{w}{c}} = \frac{0,49 - 0,357*1}{0,32 + 0,49} = 0,164 = 16,4 \%$$

Porøsitet inkl. pozzolaneffekt i pastaen:

$$\epsilon_{\text{tot}} = \frac{\frac{w}{c} - 0,172\alpha + \frac{s}{c} * 0,116\alpha s}{0,321 + \frac{w}{c} + \frac{1}{2,2} * \frac{s}{c}} = \frac{0,49 - 0,172*1 + \frac{20}{480} * 0,116*1}{0,321 + 0,49 * \frac{1}{2,2} * \frac{20}{480}} = 0,389 = 38,9 \%$$

10. Foto frå planpolarisasjonsmikroskop - 1 side

Foto frå polarisasjonsmikroskop. Fotoet er tatt med krysspolarisasjon.

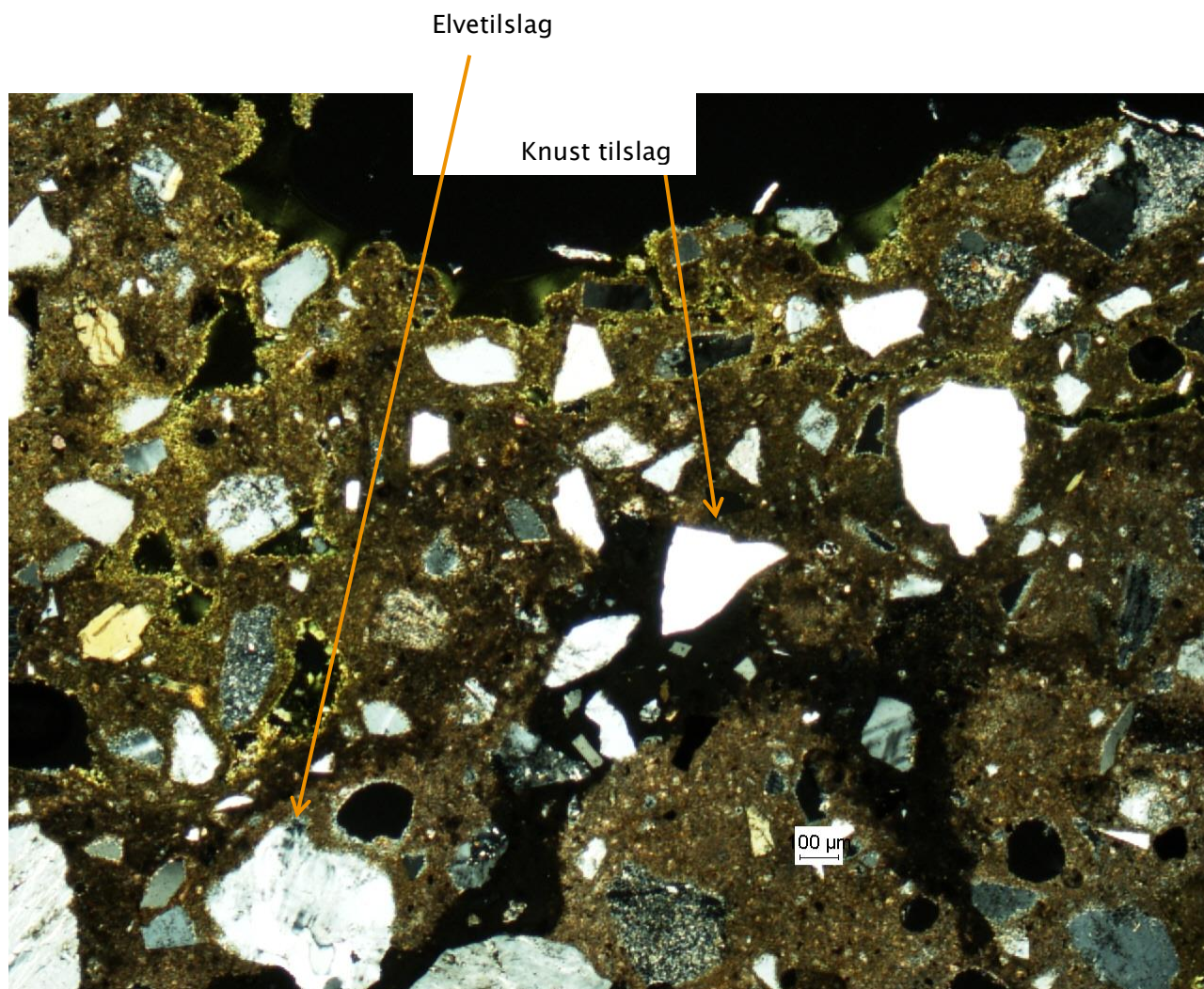


Foto 1 av overflata på N-170-8A. Fotoet viser at betongen inneheld både knust tilslag og elvetilslag. Overflata av betongen er karbonatisert.

11. Notat frå samtalar desember14/ januar15 med Arne Snemyr, frå Snemyr og Limm – 1 side.

Notat frå samtalar desember14/ januar15 med Arne Snemyr, frå Snemyr og Limm. 2014.

18.12.2014:

Telefonsamtale med Reidar Steinestø – anleggsleiar på Hop – og Nesttuntunnelane.

Hugsa ikkje noko spesielt om sprøytebetongen, men meinte det var Snemyr og Limm som leverte den.

Telefonsamtale med Arne Snemyr – 951 23 991:

Meinte å hugse at fiber vart underkjend pga. stålkvalitet og at dei dermed endra til bølgefiberet (truleg ein forløpar til Dramixfiber, levert av Bekaert, Belgia). Det fyrste fiberet som blei levert var truleg eit Dramix-fiber, men dette var før det var krav til stålet i fiberen og klassifisering av sprøytebetongen.

Betongen var fyrst levert av Bergen betong, men pga. at dei ikkje leverte dokumentasjon på betongkvaliteten endra dei til Norbetong. Antok at Bergen betong leverte kanskje den fyrste mnd. med drift? Snemyr og Limm blei trua med rettsak ved oppseiing av kontrakta med Bergen betong, men dette blei ingenting av sidan kvalitetsdokumentasjonen var klart manglande. Ringer Arne Snemyr på nytt når han har leita litt etter resept på betongen.

16.01.2015 Tlf. Arne Snemyr:

Har ikkje resepten lagra men fekk den etter slik han hugsar den:

B35-M45

400 kg sement

20 kg silika

3,5 kg dynamo (plastiserande eller superplastiserande stoff)

1500 kg sand

1 kg SD-2000 (stoff som sikrar oppetid på ca. 4 timar og som blir drept av akselleratoren)

35 l AF-2000 (alkaliefri akselerator)

vatn

Tilsette og 25kg stålfiber – Dramix

Blanda på v/c-tal 0,42 og tok då høgde for sprutveske.

12. Foto frå SEM av tynnslip -15 sider

Foto frå SEM av tynnslip:

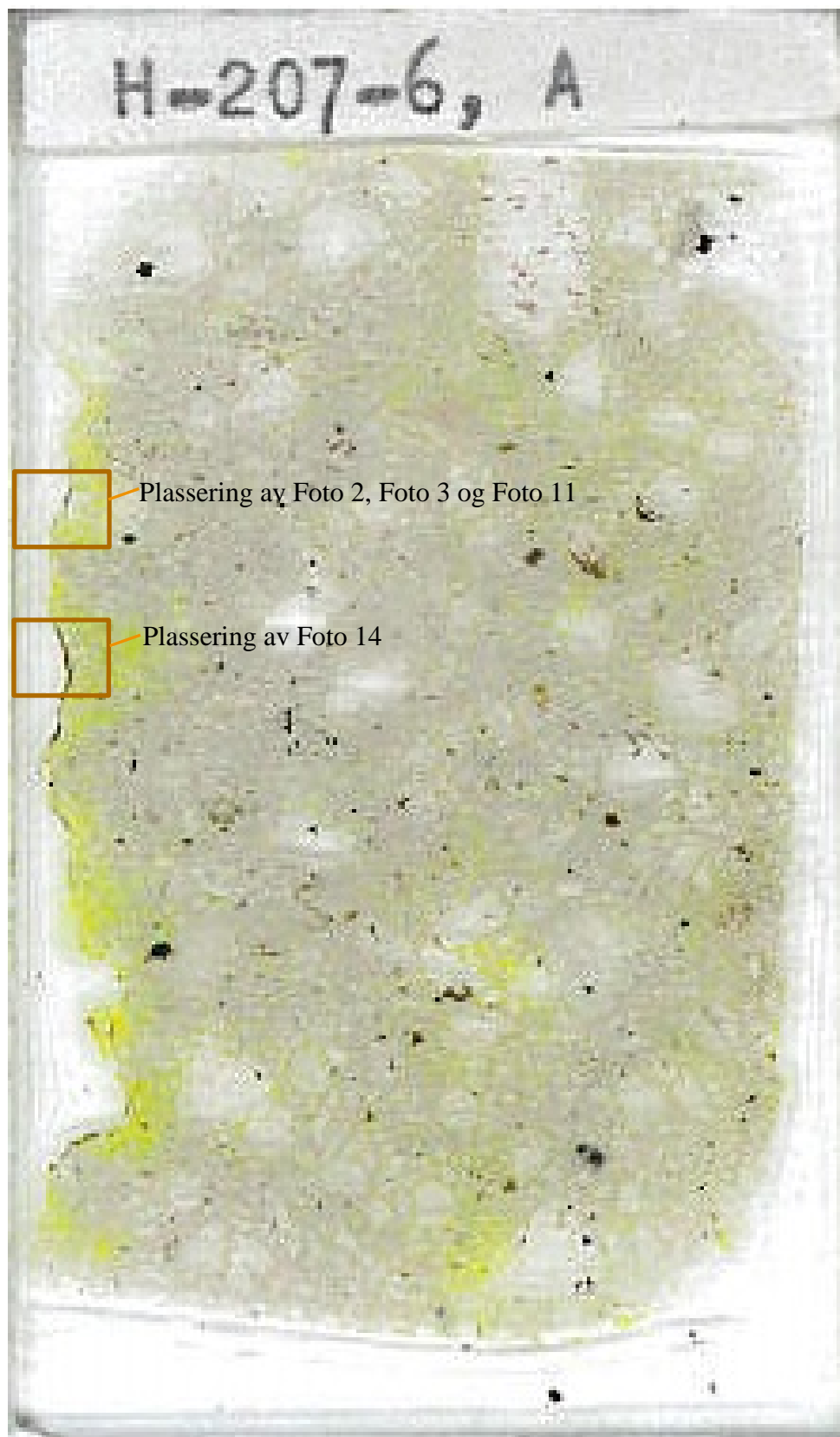


Foto 1 Tynnslip H-207-6-A, scanna.

Foto 11

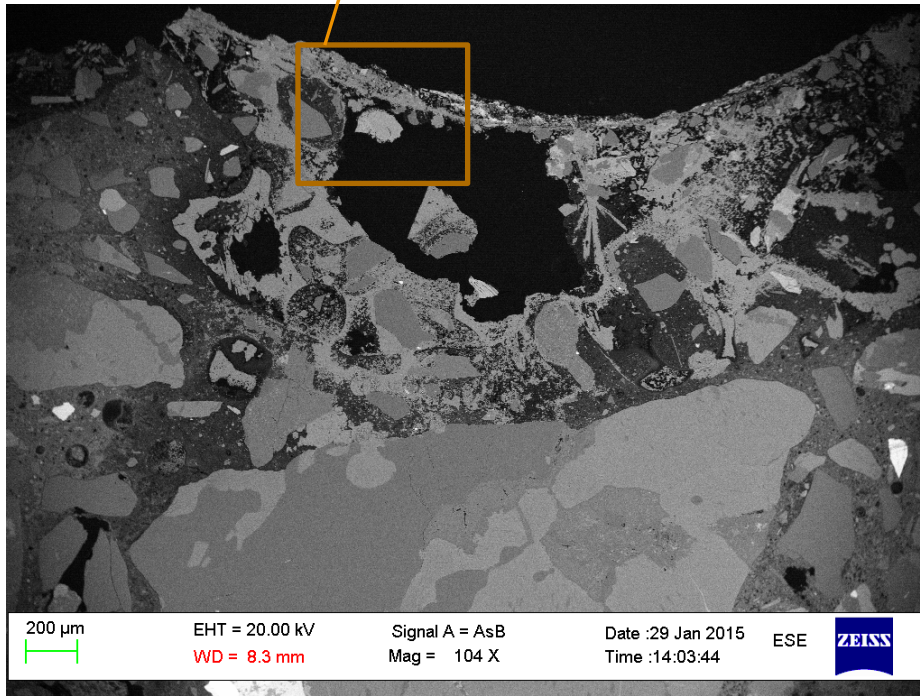


Foto 2 av overflata og overgangen frå utfelling ytterst til frisk betong innerst. Overflatefoto med kalsittformasjon i ei pore

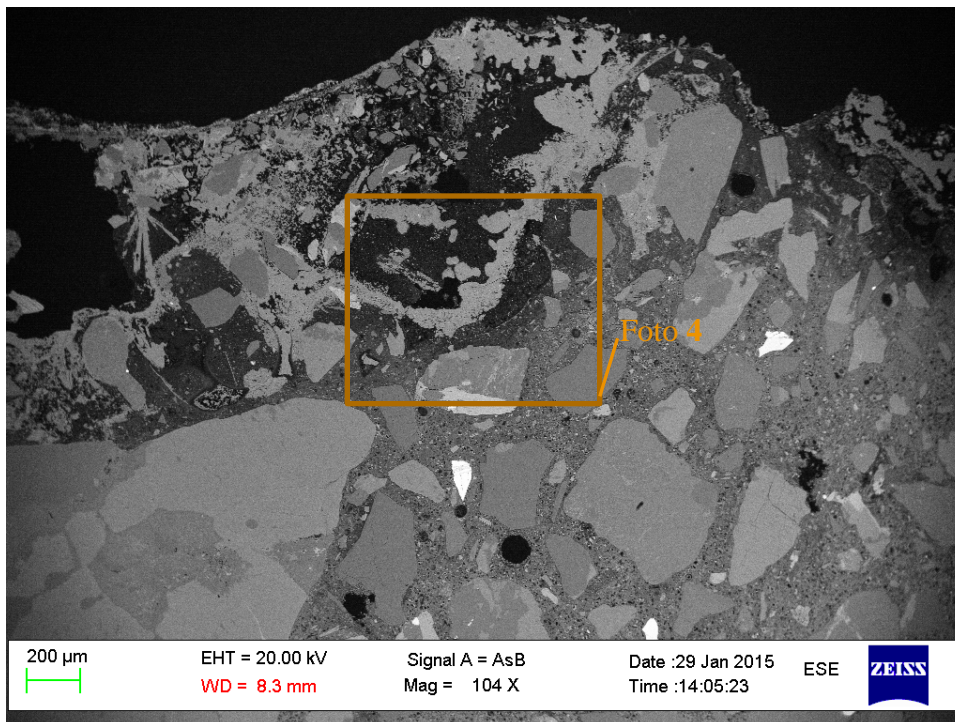


Foto 3 av overflata. Overlappar Foto 2

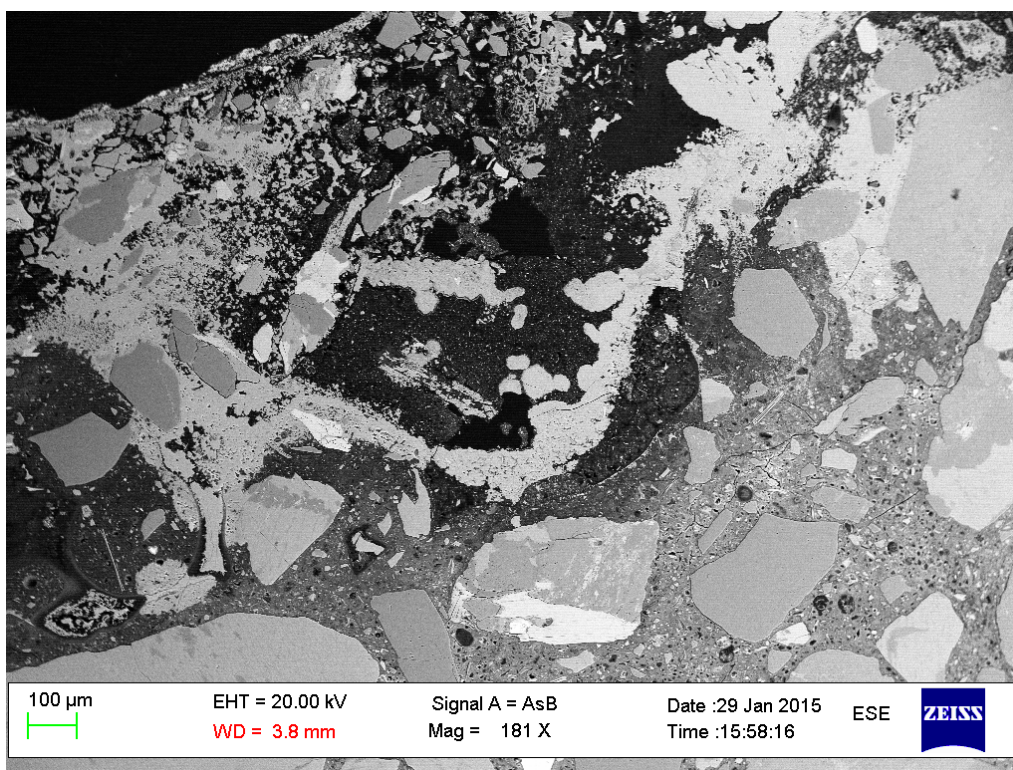


Foto 4 Område med omdanna pasta

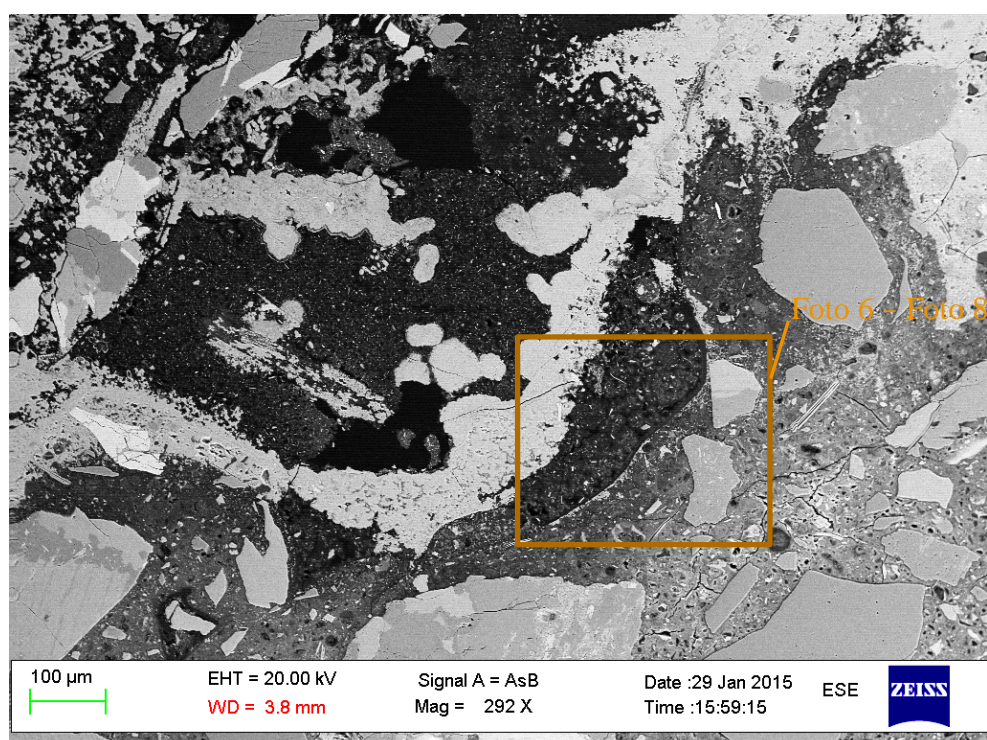


Foto 5 Forstørra område med omdanna paste, jf. Foto 4

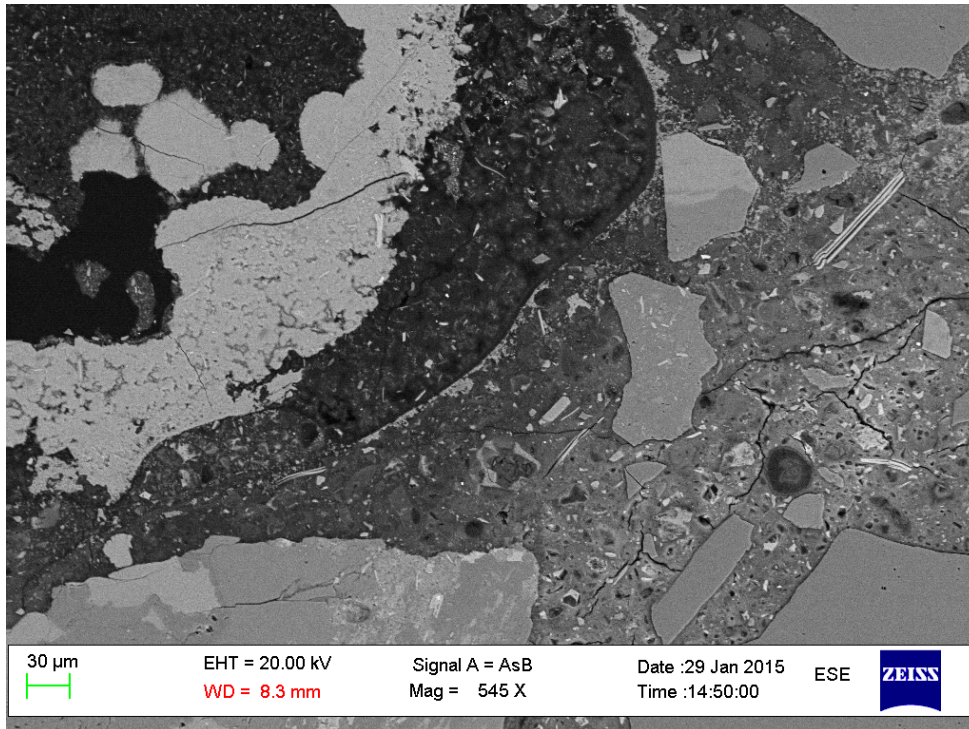


Foto 6 forstørra overgang frå kalsittutfelling til frisk sementpasta.

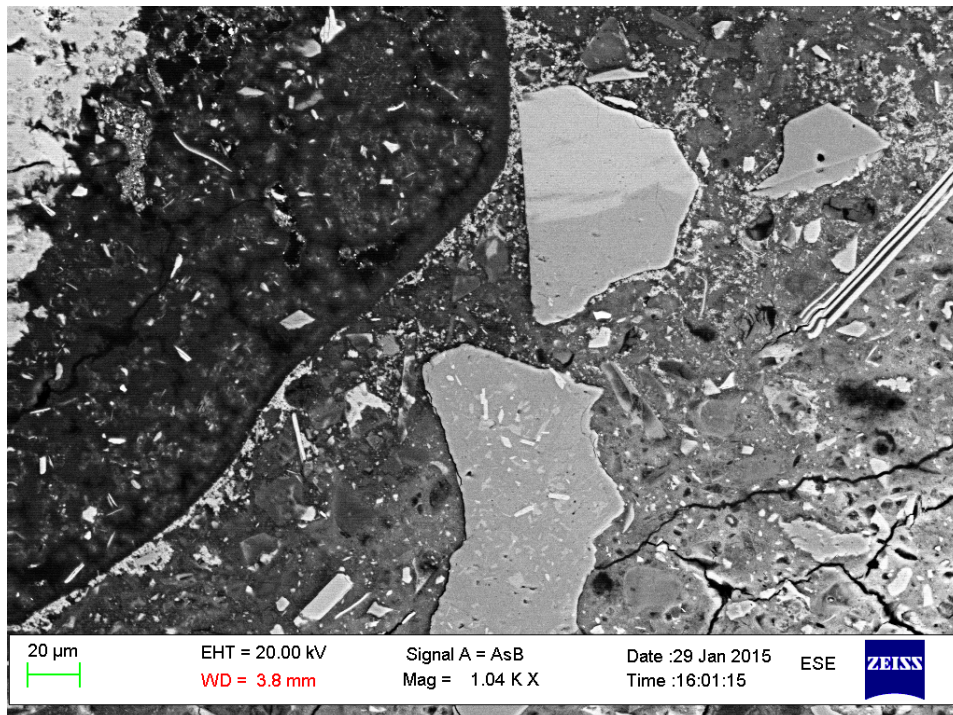


Foto 7 Forstørra overgang, utsnitt av Foto 6.

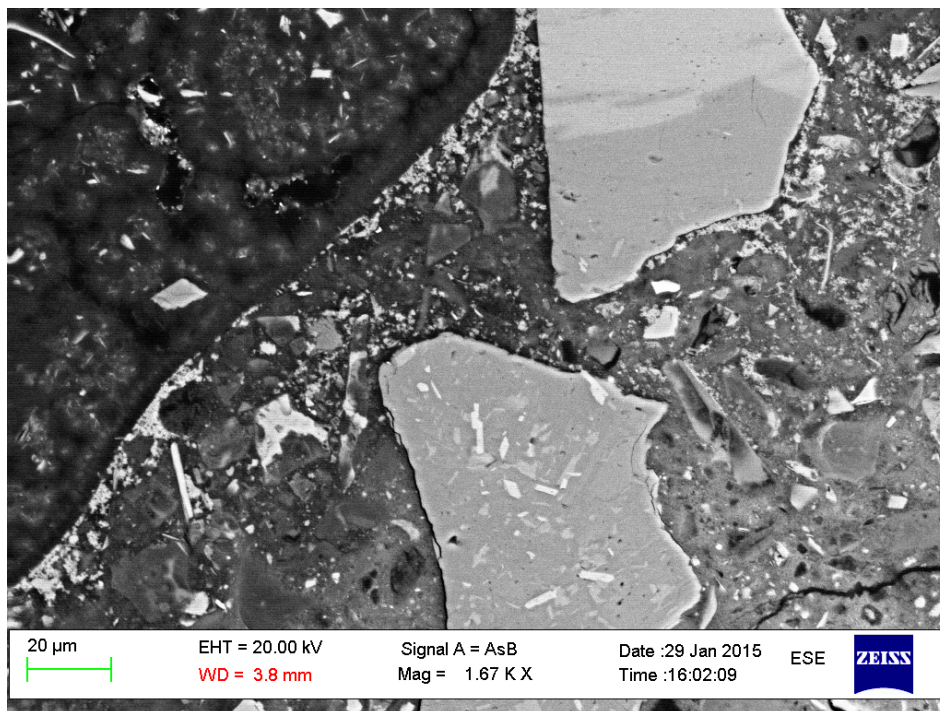


Foto 8 Utsnitt av Foto 7

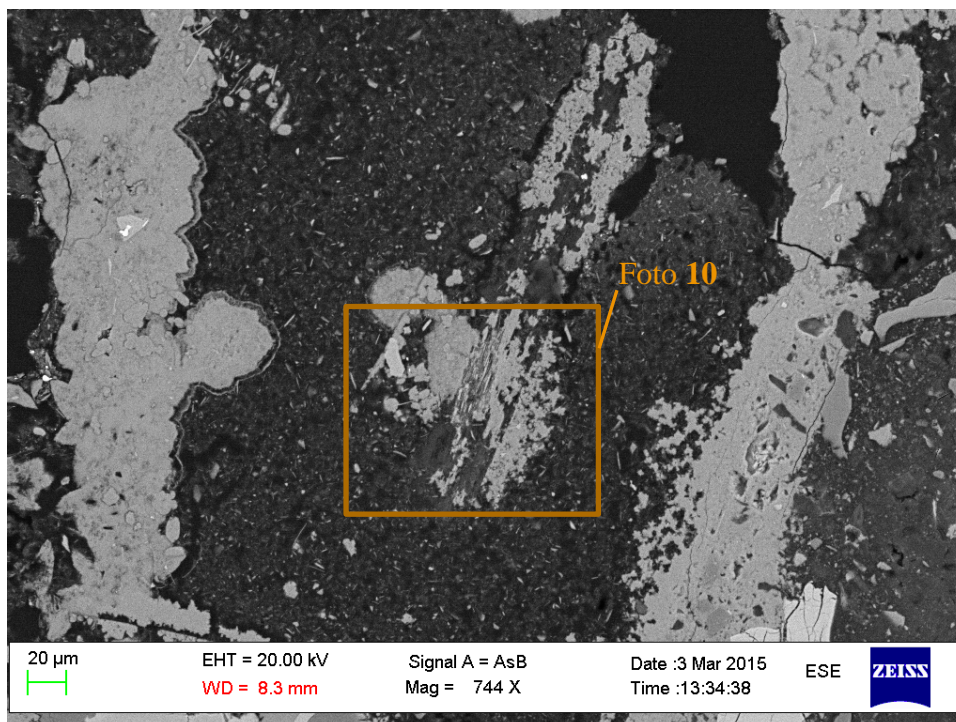


Foto 9 Forstørret område med omdanna pasta (snudd ca. 90 grader i forhold til Foto 5).

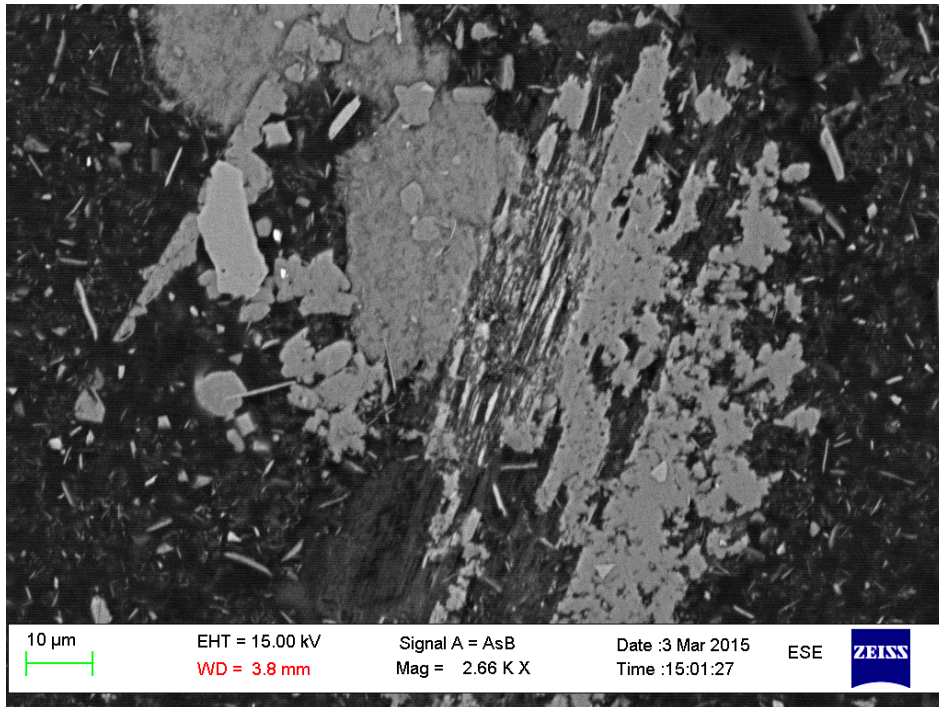


Foto 10 Forstørret område med omdanningsprodukt.

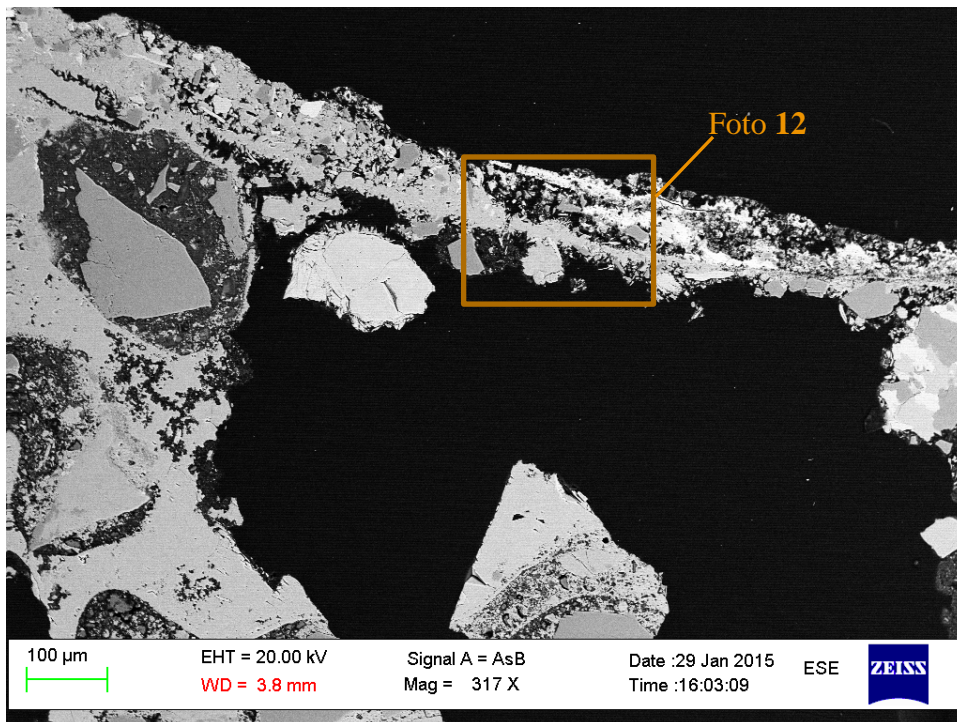


Foto 11 Andre sidan av pora og overflata, kontra Foto 2 og Foto 3

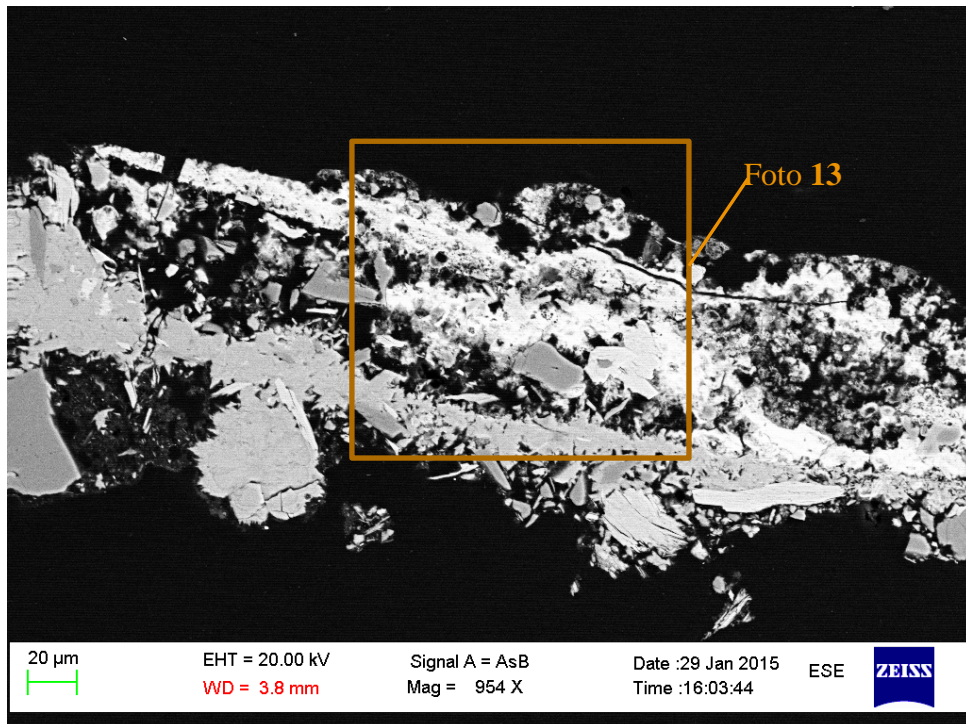


Foto 12 Overflata i prøvestykket.

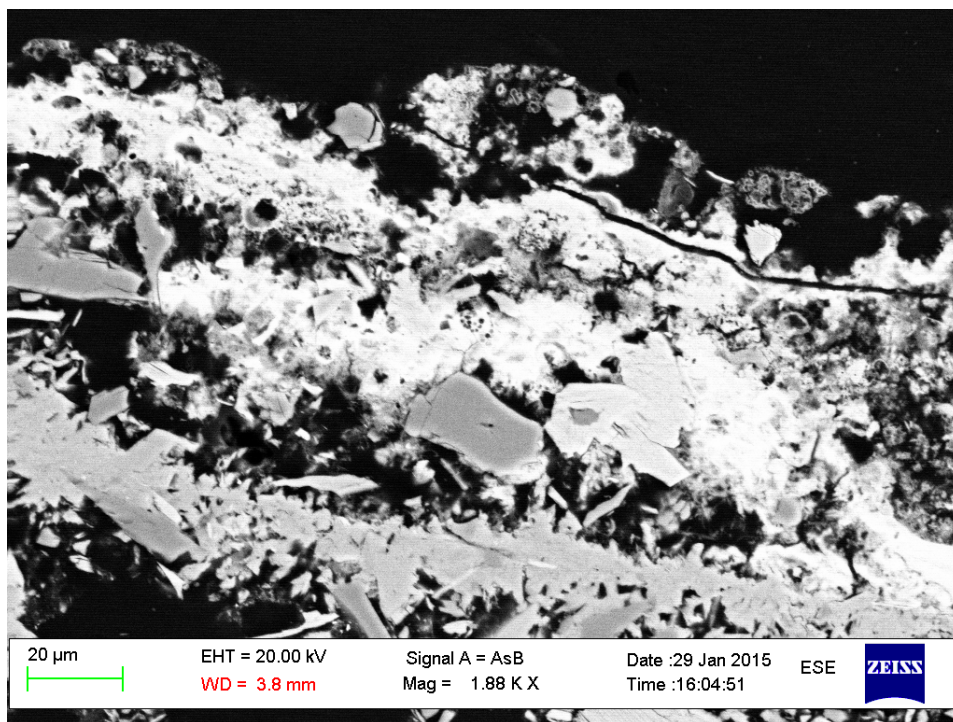


Foto 13 av lagene i overflata: Jern/mangan ytterst og kalsitt innanfor.

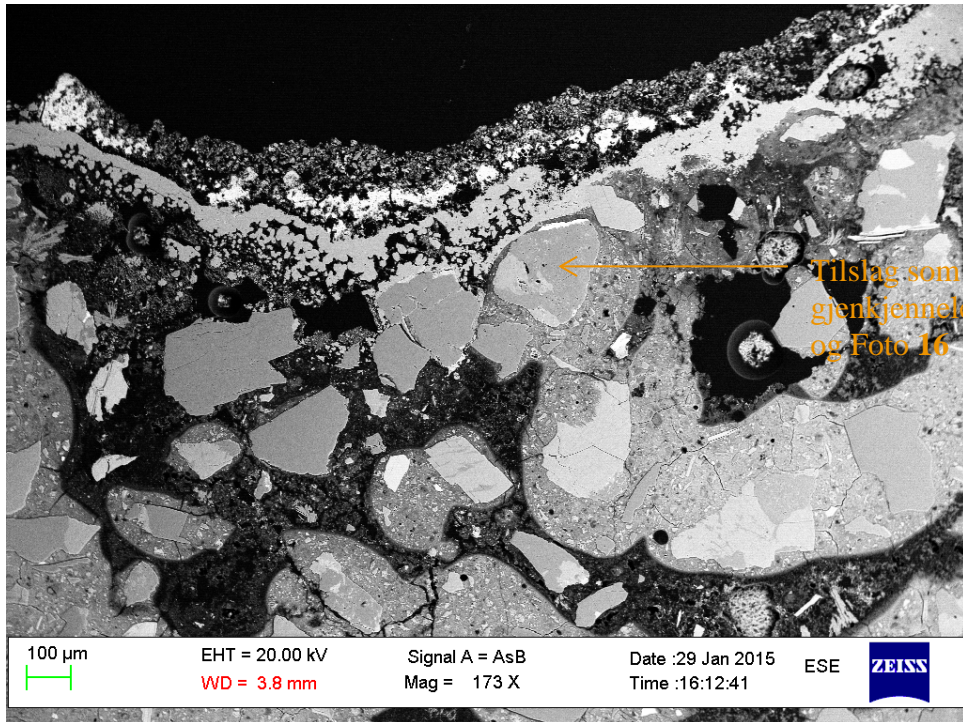


Foto 14 Plasseringsfoto av prøveområdet i forhold til overflateranda.

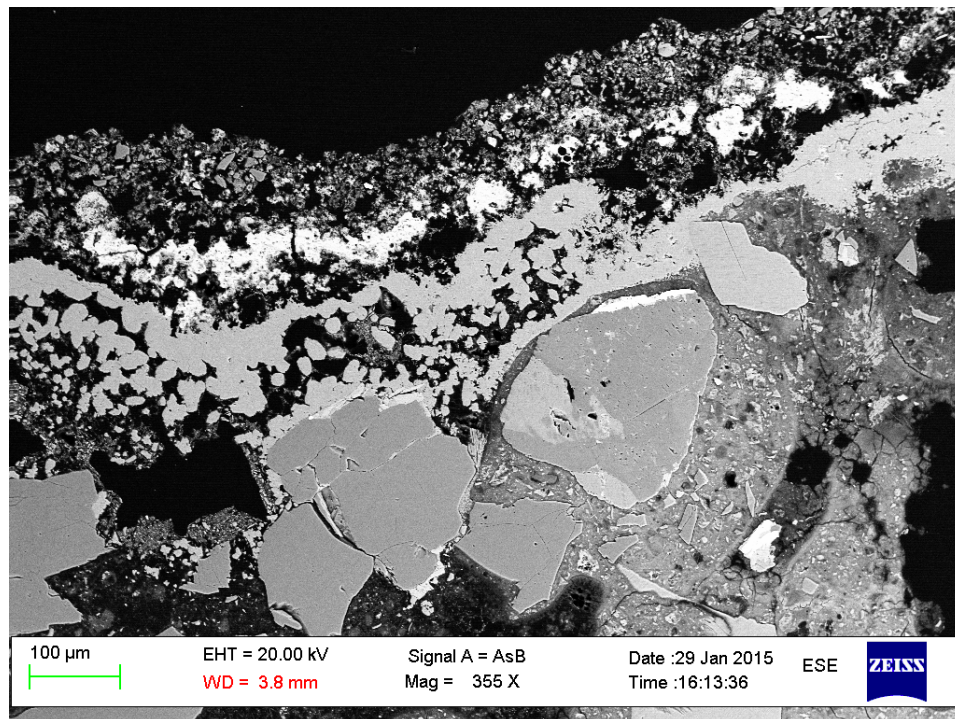


Foto 15 Overflateranda

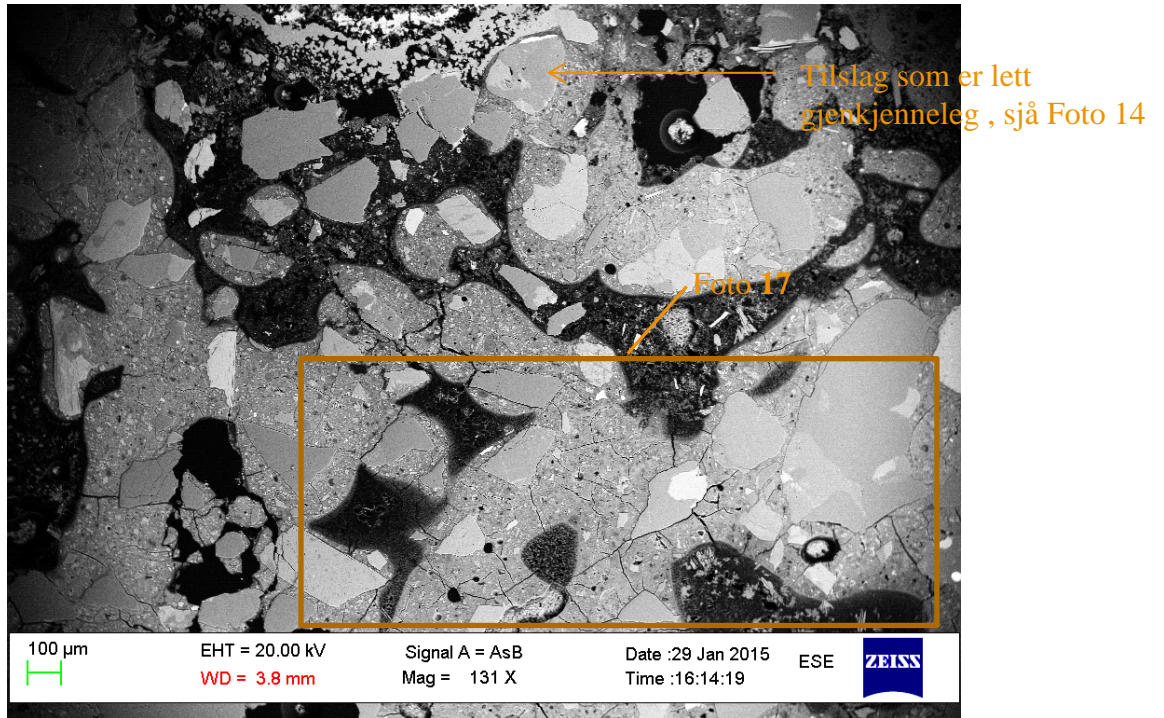


Foto 16 Plassering av porer med utfelling i forhold til overflata.

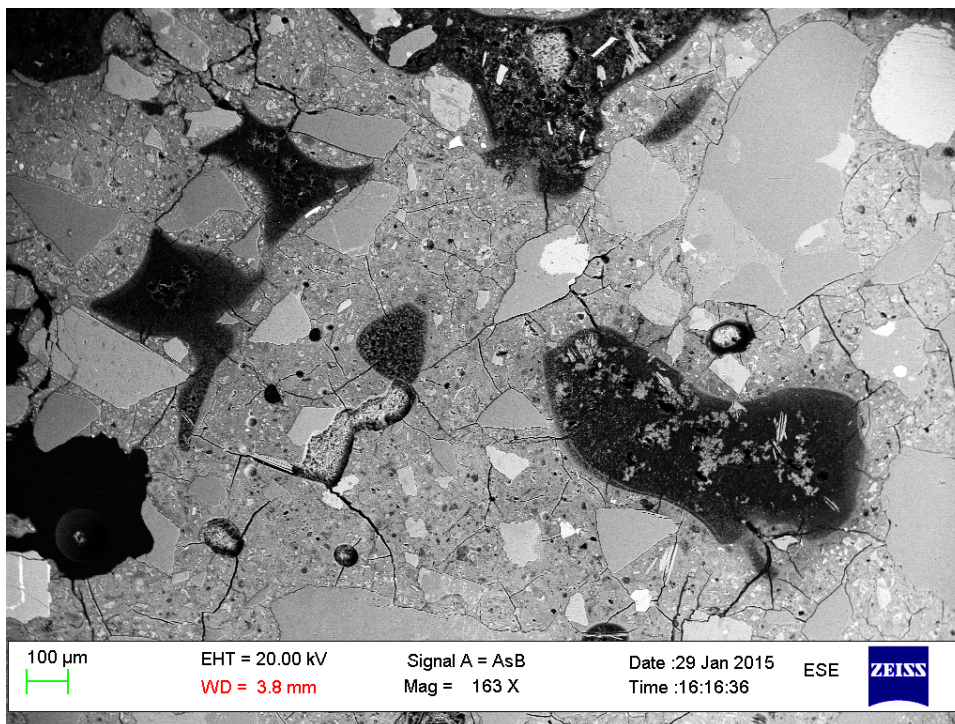


Foto 17 Uregulere porer med utfellingar.



Foto 18 Tynnslip H-207-6-B, scanna.

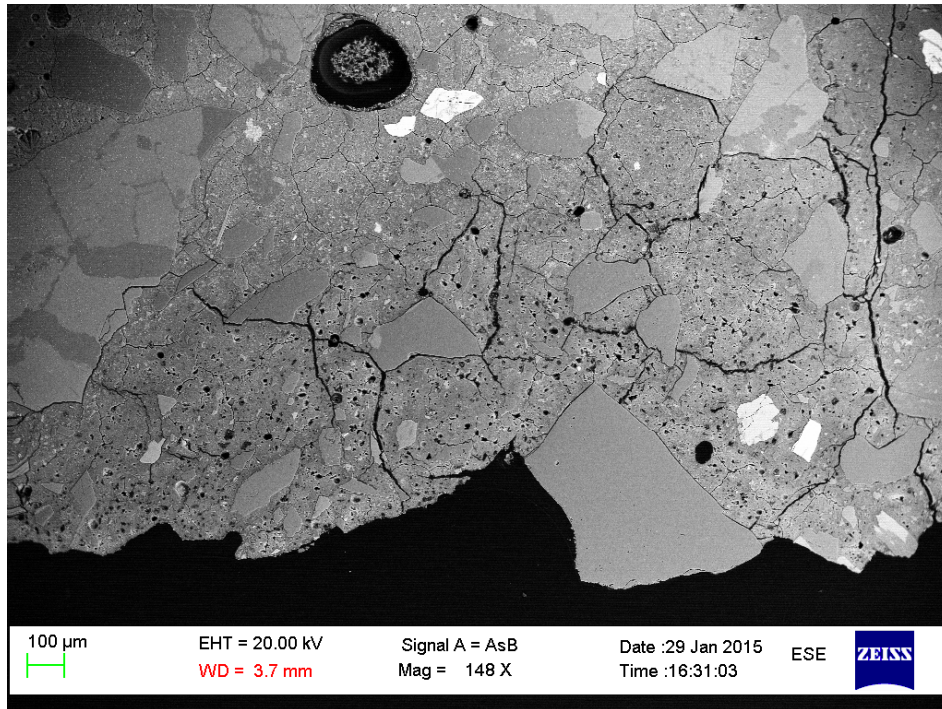


Foto 19 Pore med eit uhydratisert silikakorn

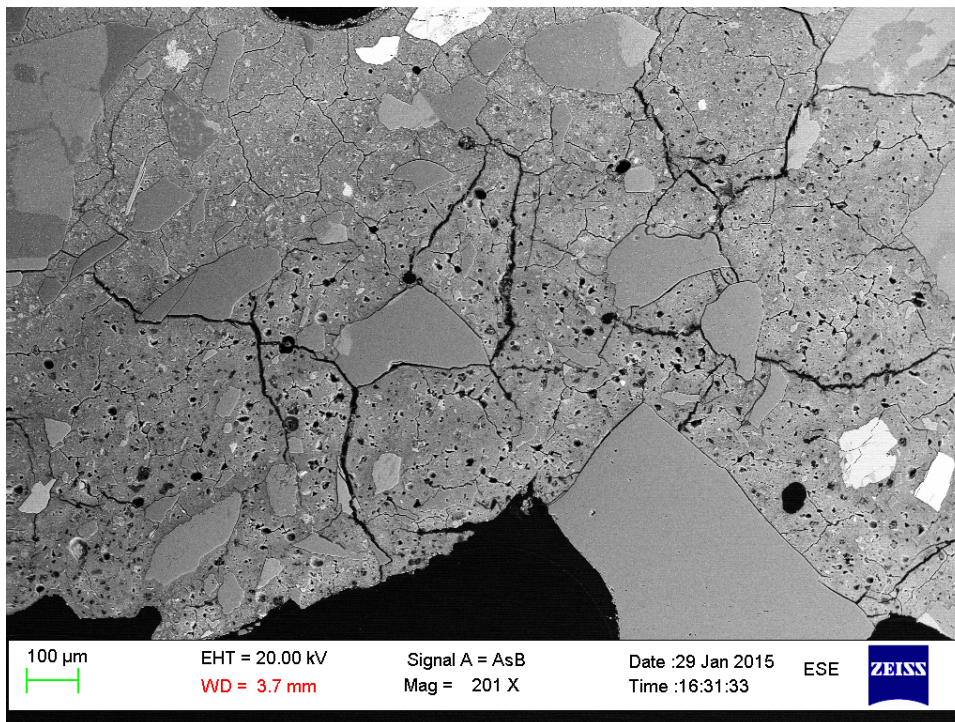


Foto 20 Overgang mellom sprøytebetongen og berget. Betongen viser fleire små porer i området enn lenger inne i prøvestykket.



Foto 21 Tynnslip N-170-8-A, scanna.

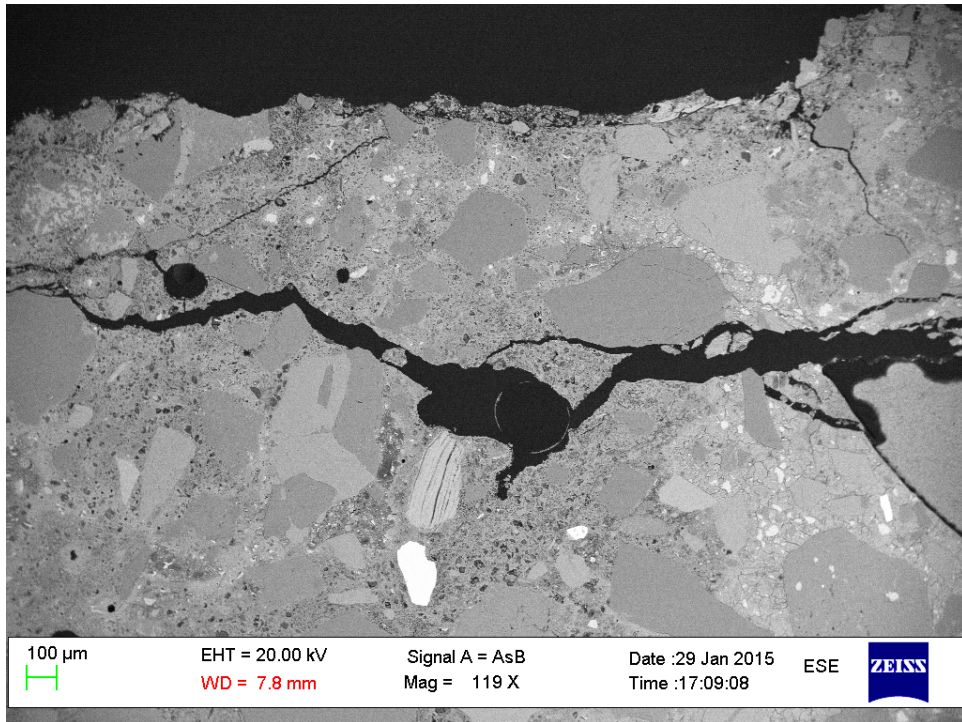


Foto 22 Foto av overflata i N-170-8, A. Prøven har tydleg ei annan overflate enn H-207-6, men karbonatisering er ikkje synleg på SEM-BSE.



Foto 23 Tynnslip N-170-8-B, scanna.

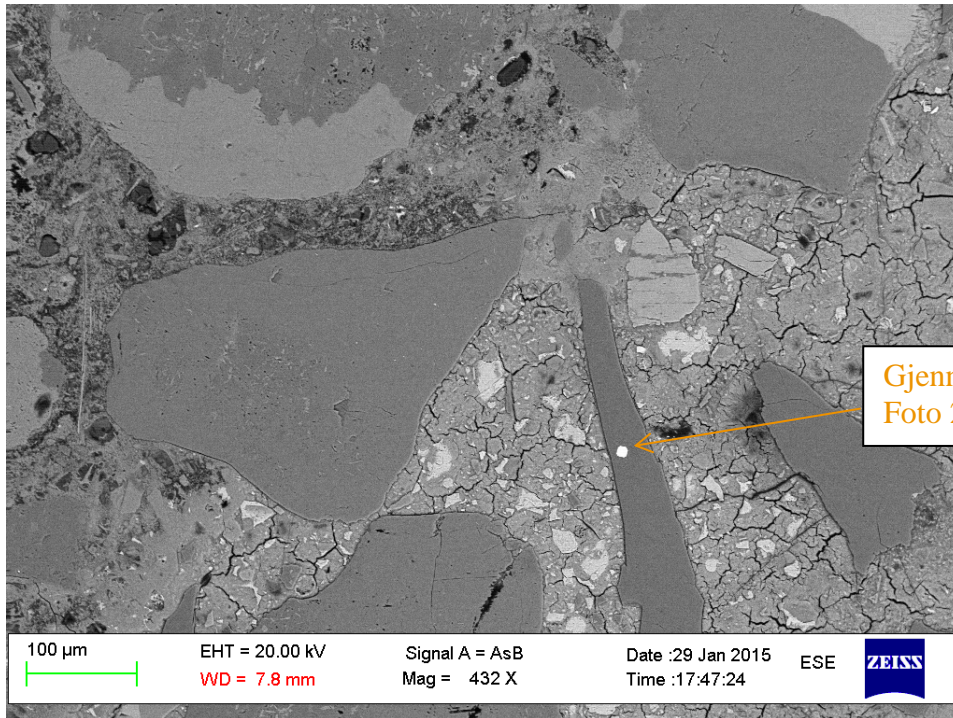


Foto 24 Foto av tilslag og pasta i sprøytebetongen.

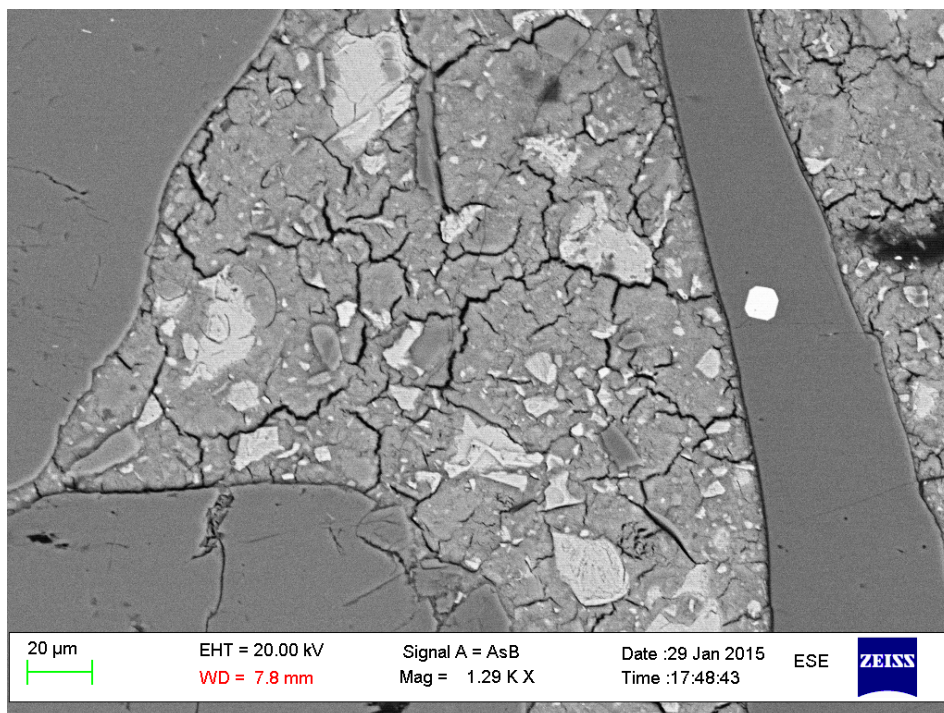
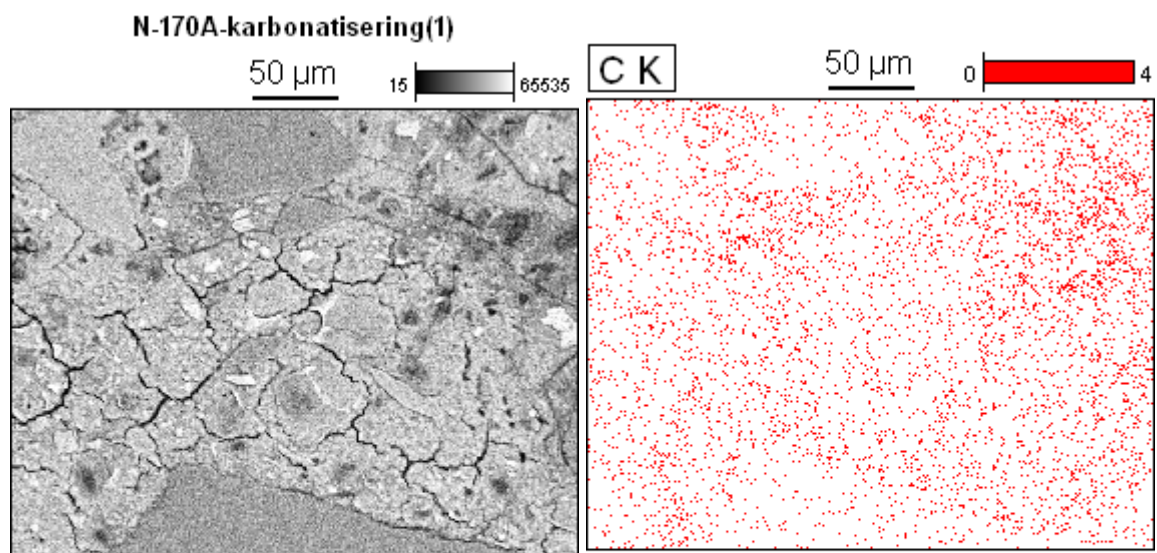
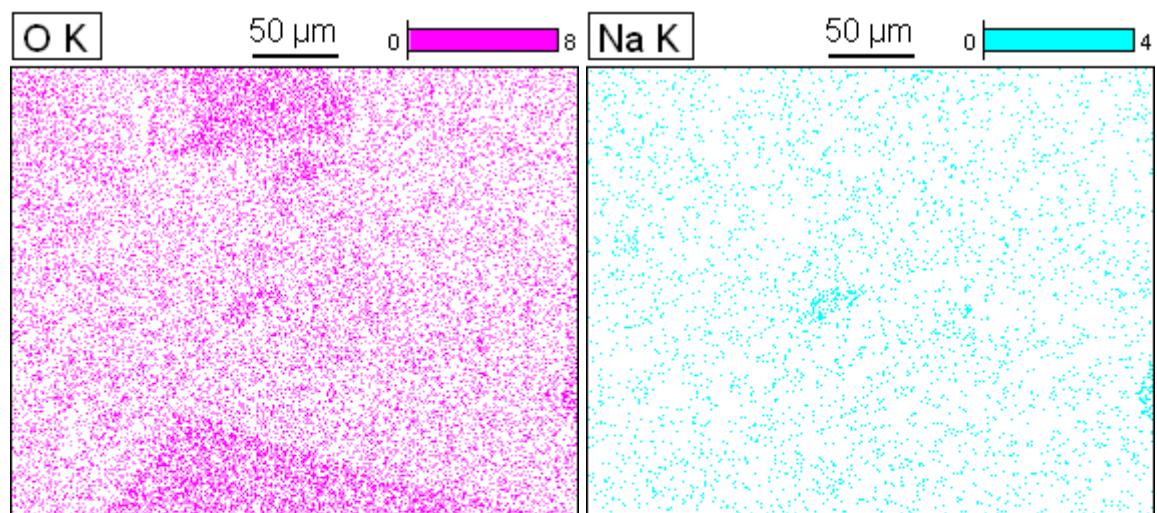


Foto 25 Foto av mikroriss i sementpastaen.

13. Resultat frå mapping av områder i tynnslip – 18 sider

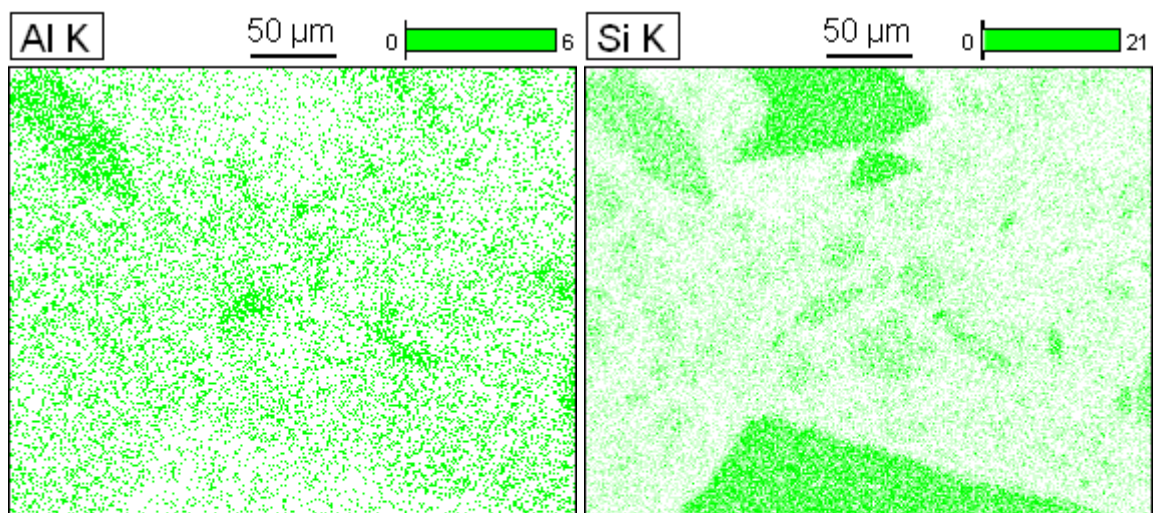
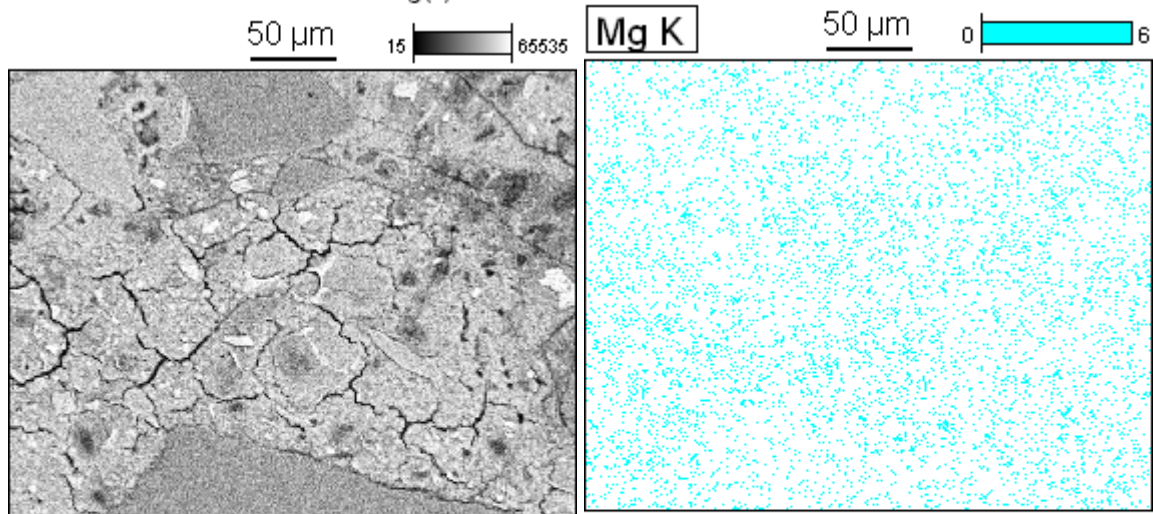


N-170-8-A: Mappa område for å sjå etter karbonatisering. Klarte ikkje finne det, så anten tok me feil område eller så er ikkje området stort nok, slik at me kan skille mellom karbonatisert og ikkje karbonatisert område.



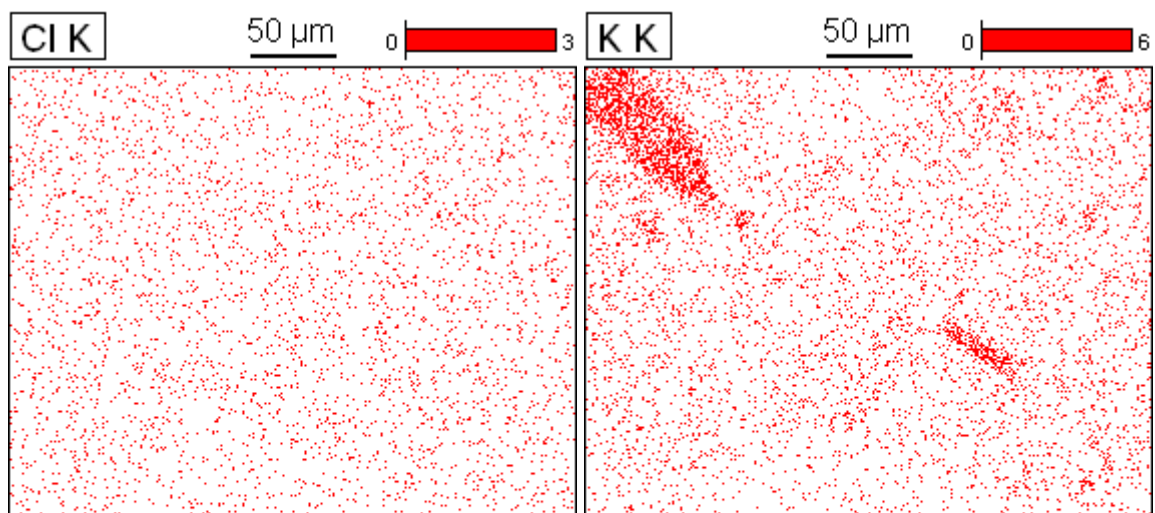
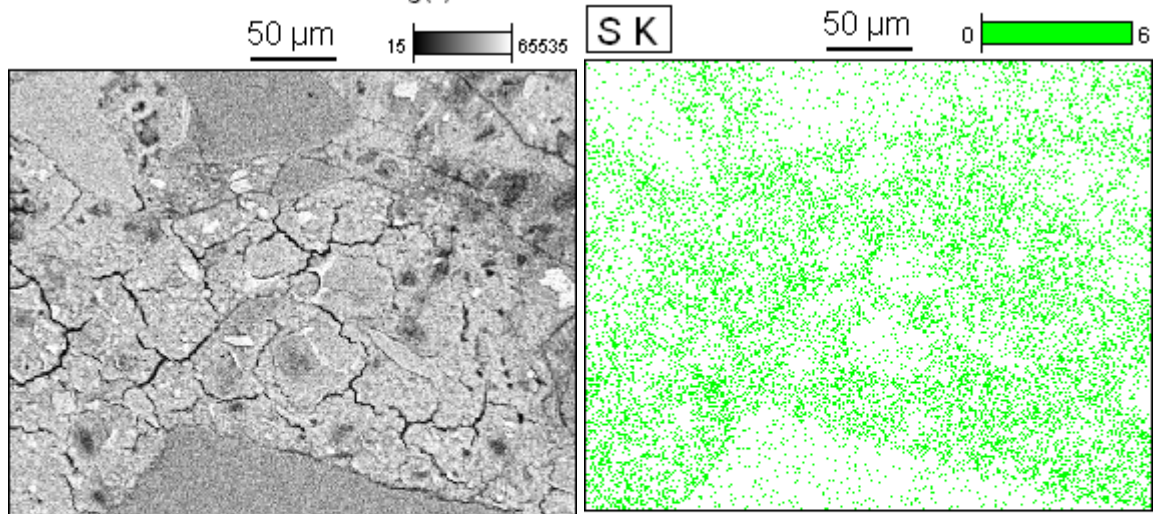
Data Type: Counts Mag: 994 Acc. Voltage: 20.0 kV

N-170A-karbonatisering(1)



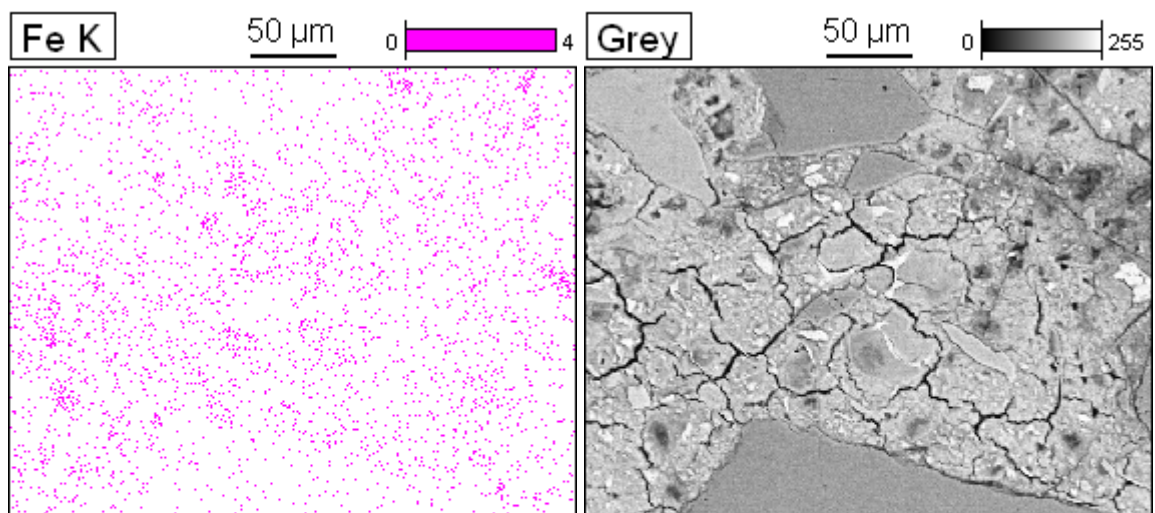
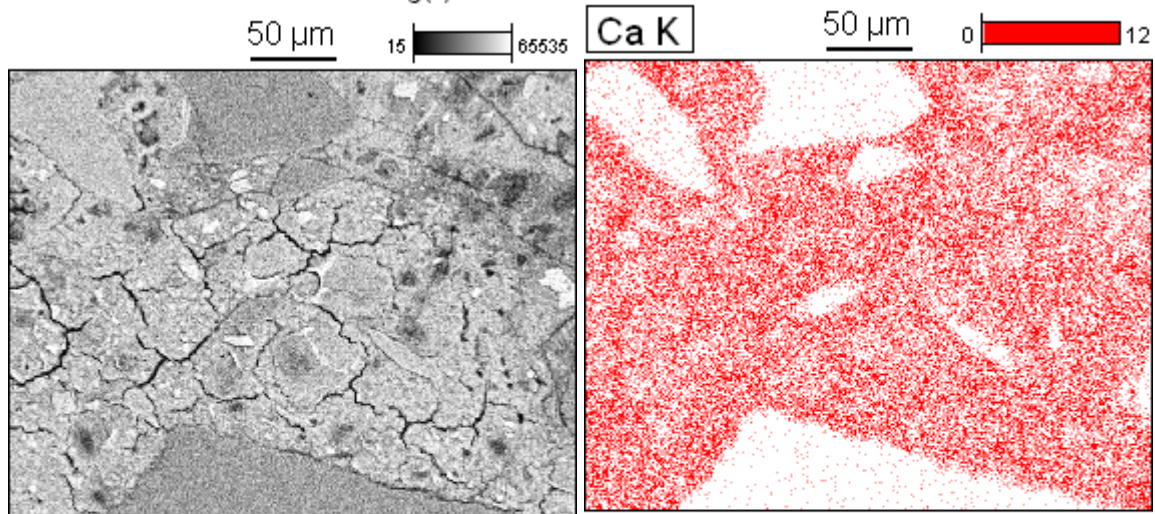
Data Type: Counts Mag: 994 Acc. Voltage: 20.0 kV

N-170A-karbonatisering(1)

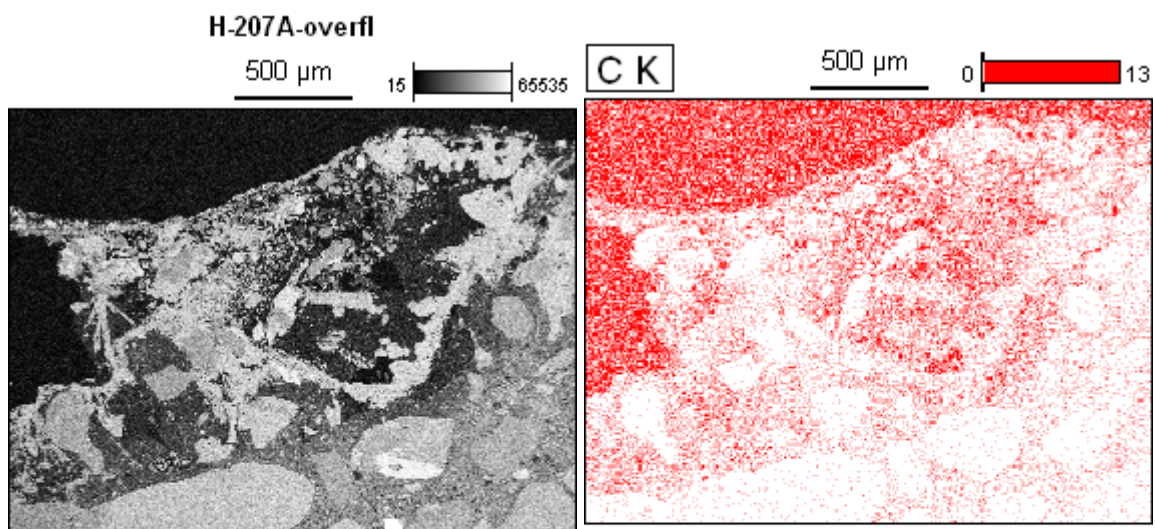


Data Type: Counts Mag: 994 Acc. Voltage: 20.0 kV

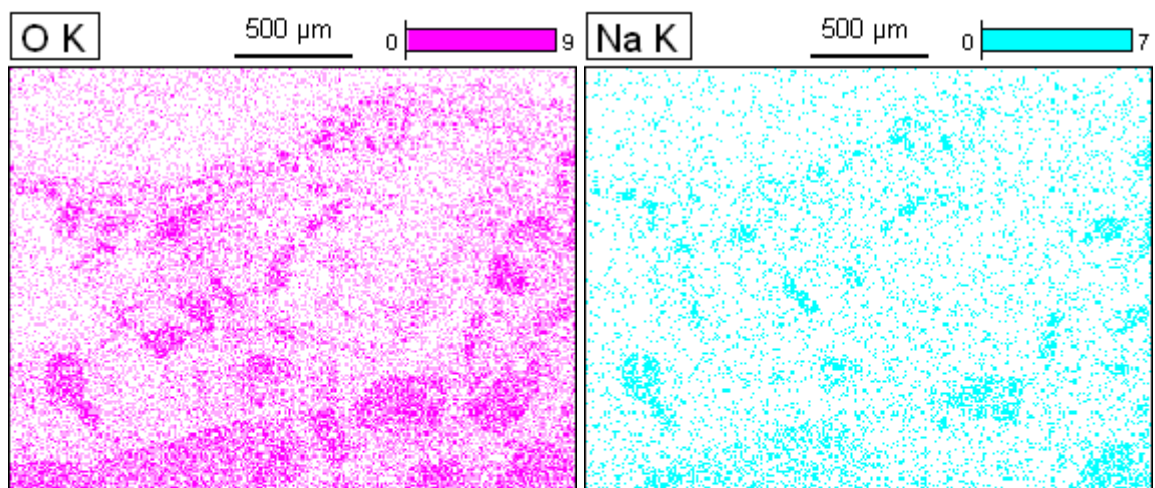
N-170A-karbonatisering(1)



Data Type: Counts Mag: 994 Acc. Voltage: 20.0 kV



H-207-6-A: Mappa overgangen frå overflata og inn i frisk betong.



Data Type: Counts Mag: 135 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-overfl

500 μm

15

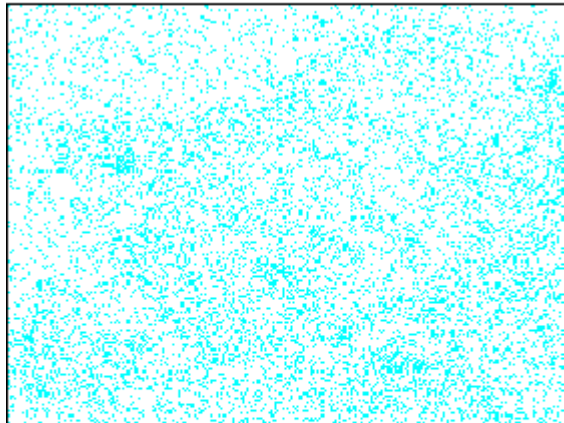
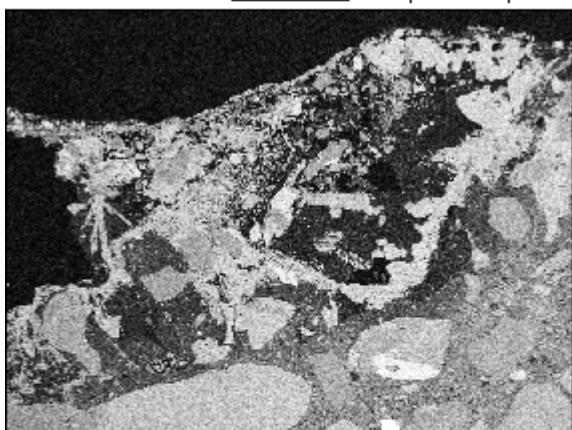
65535

Mg K

500 μm

0

5



Al K

500 μm

0

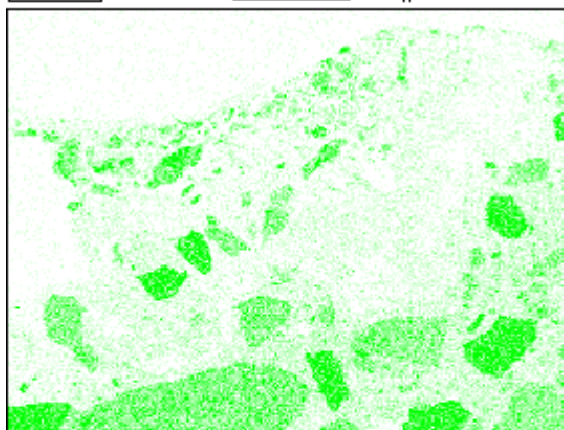
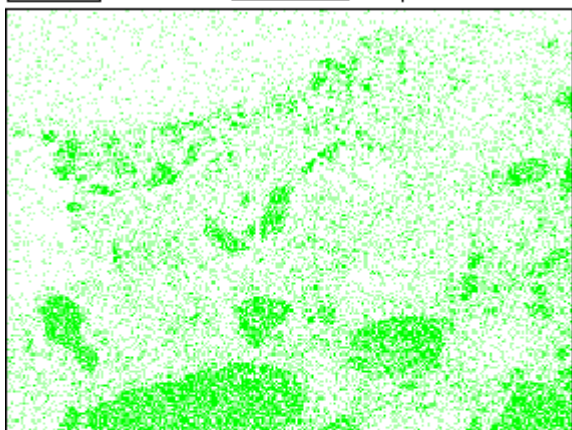
11

Si K

500 μm

0

27



Data Type: Counts Mag: 135 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-overfl

500 μm

15

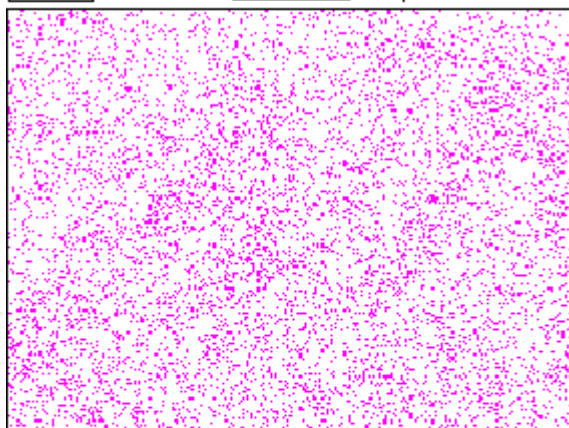
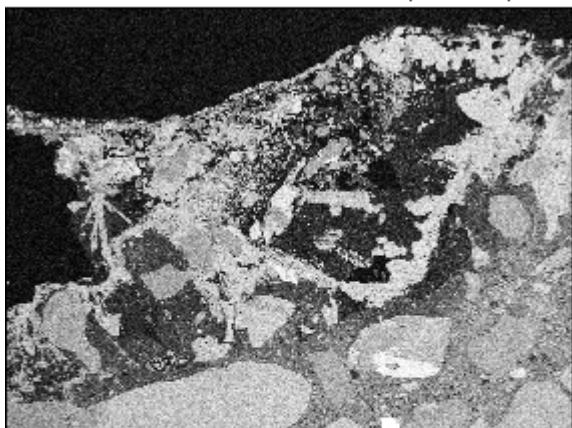
65535

P K

500 μm

0

5



S K

500 μm

0

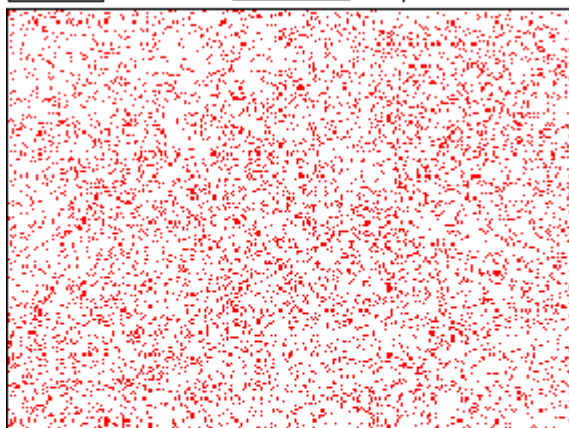
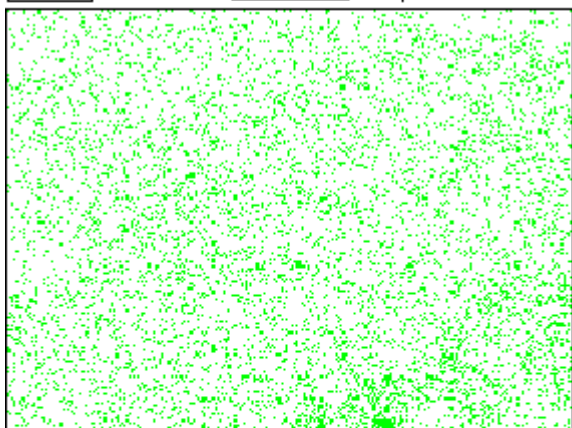
14

Cl K

500 μm

0

4



Data Type: Counts Mag: 135 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-overfl

500 μ m

15

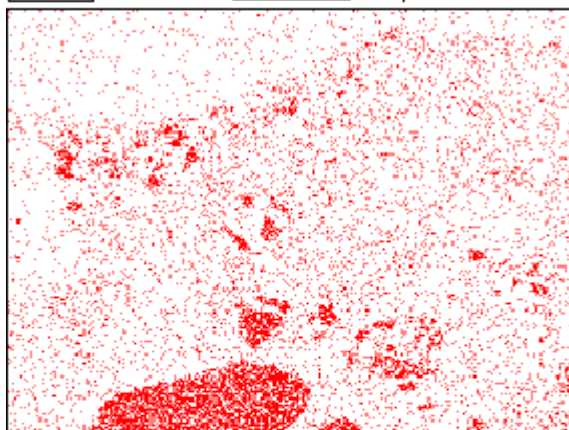
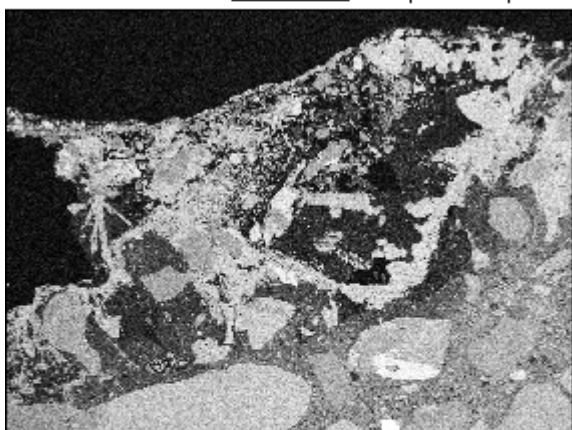
65535

KK

500 μ m

0

8



Ca K

500 μ m

0

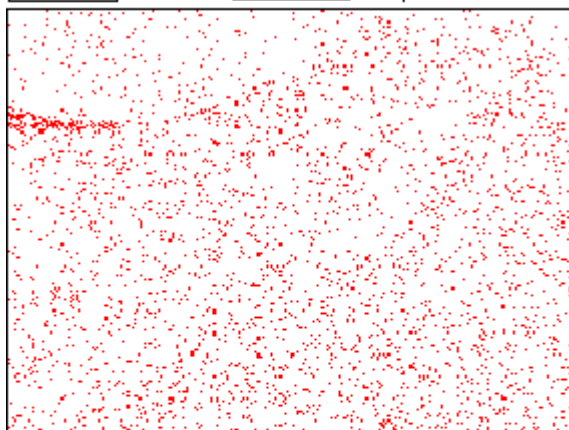
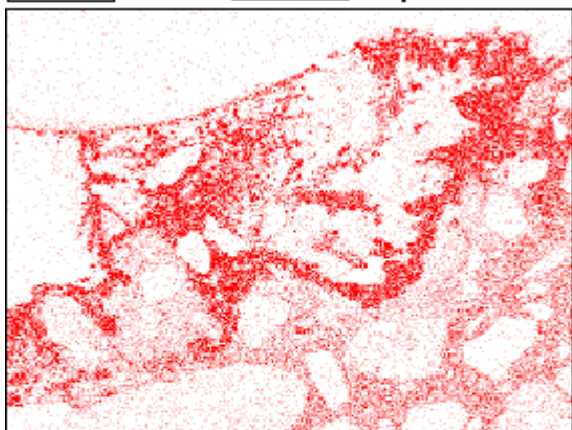
18

Mn K

500 μ m

0

6



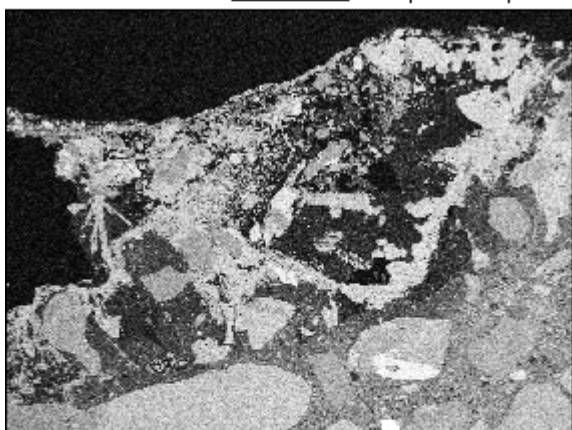
Data Type: Counts Mag: 135 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-overfl

500 μ m

15

65535

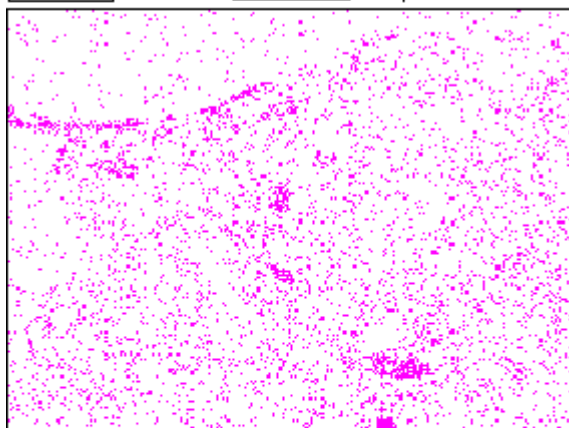


Fe K

500 μ m

0

10

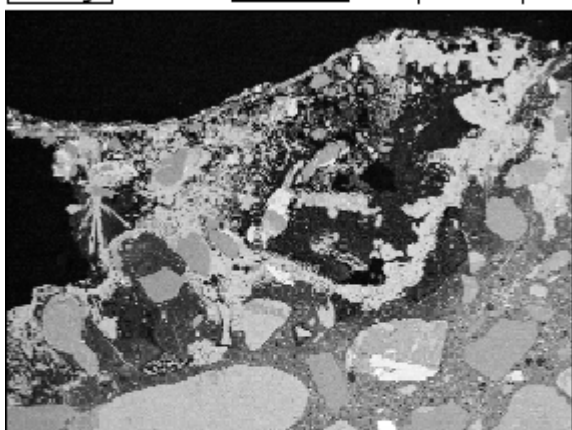


Grey

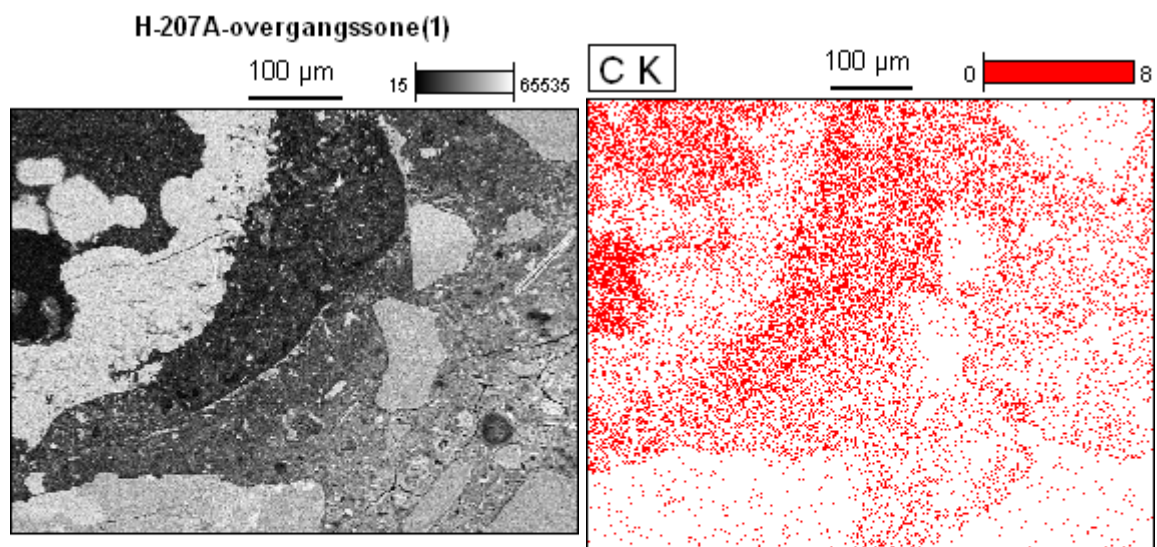
500 μ m

11

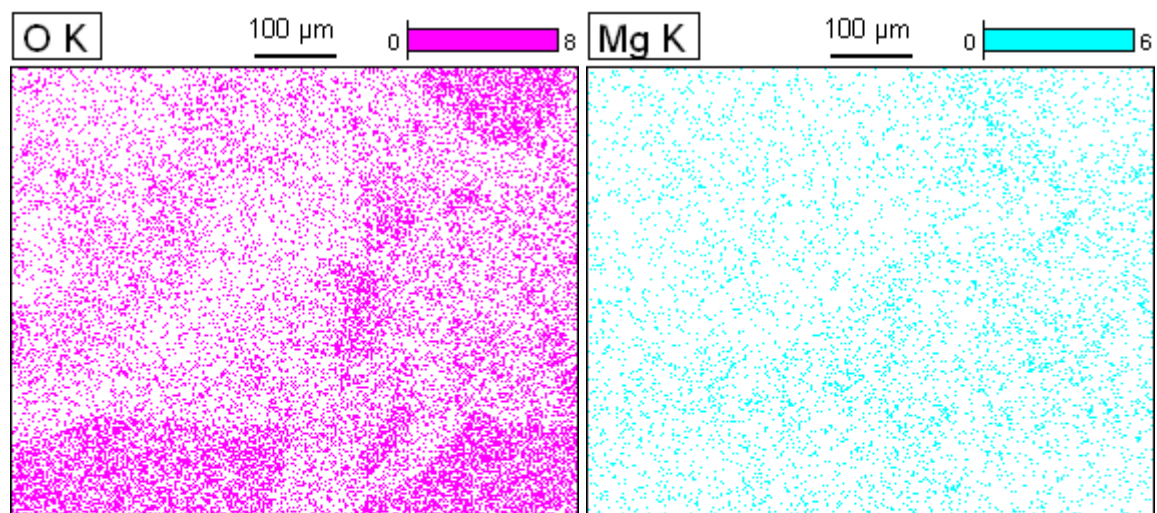
255



Data Type: Counts Mag: 135 Acc. Voltage: 20.0 kV

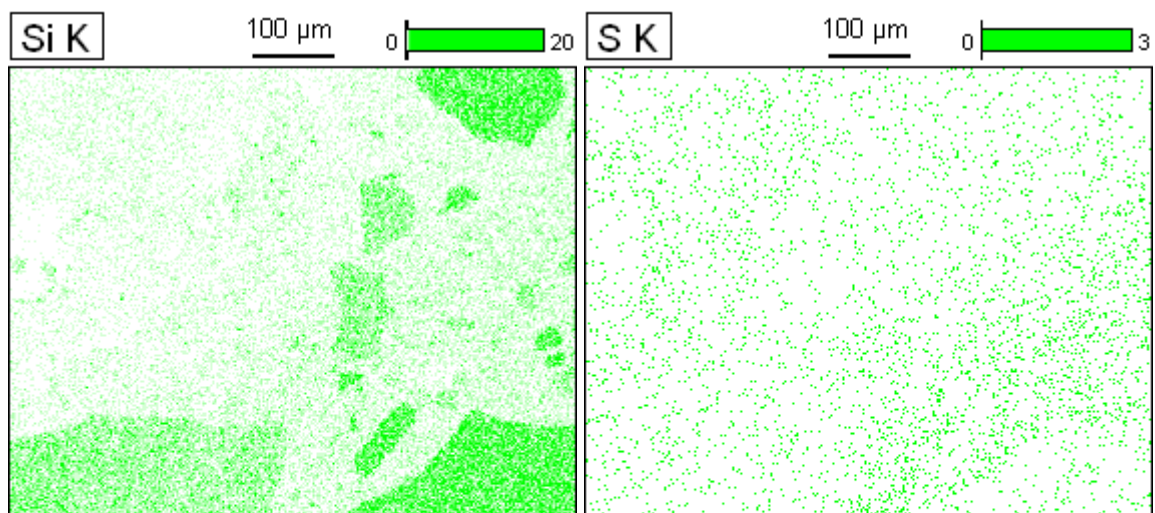
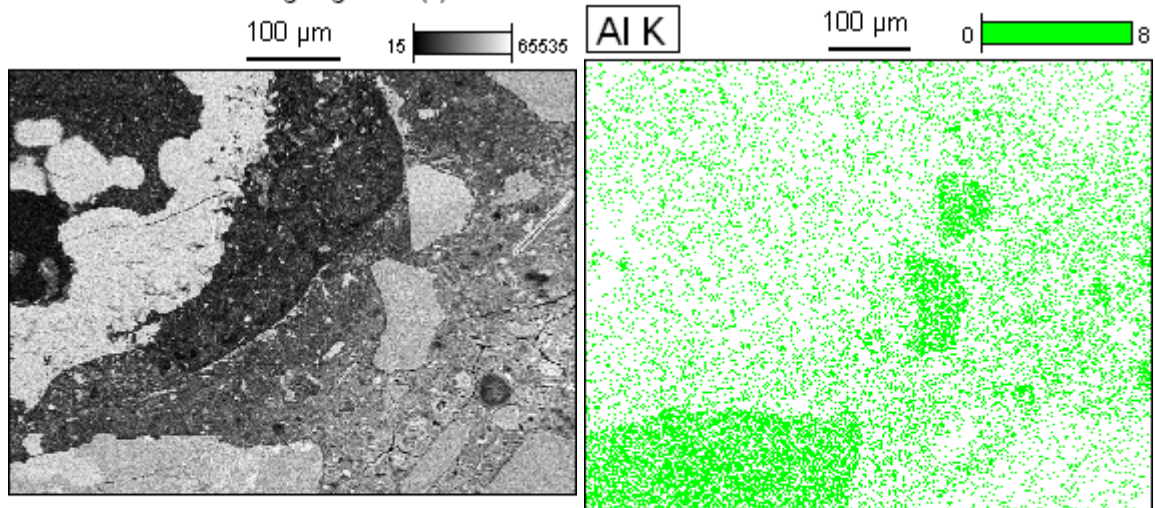


H-207-6A: Mappa akkurat overgangssona mellom påverka betong og frisk betong, men denne mappinga vart gjort over kortare tid enn neste resultat. Neste mapping er også gjort over eit mindre område.



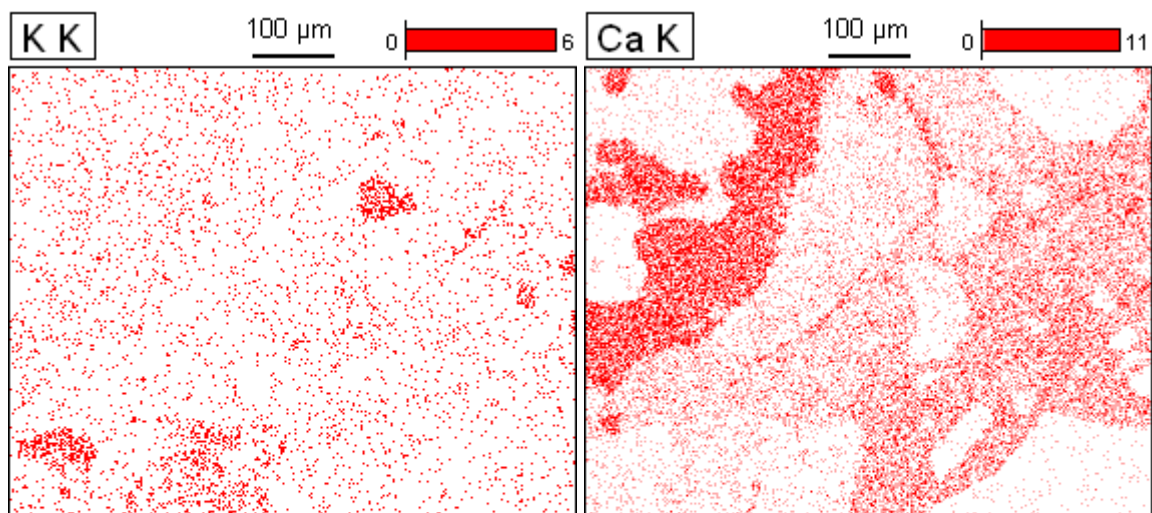
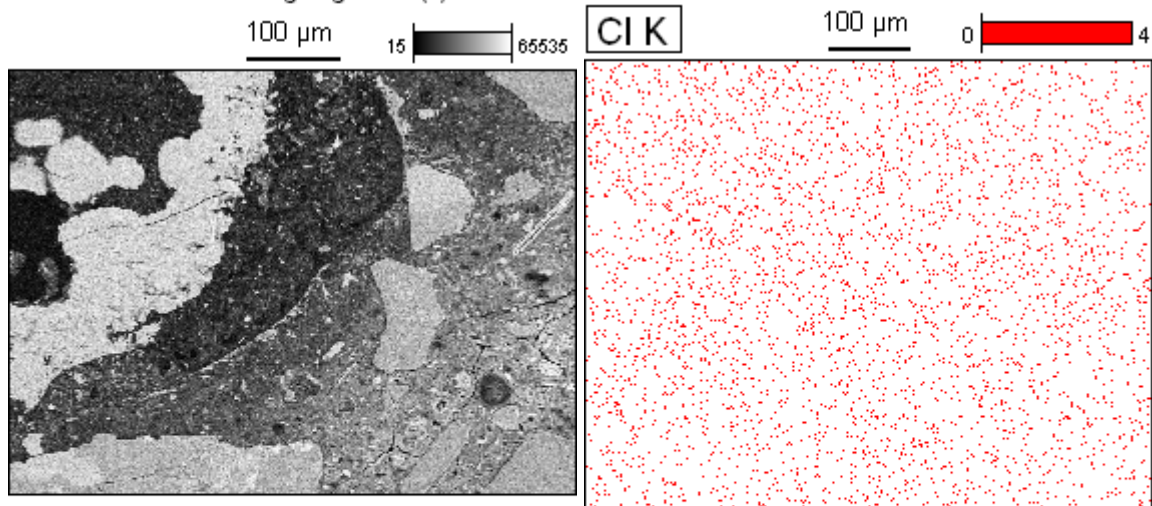
Data Type: Counts Mag: 545 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-overgangssone(1)



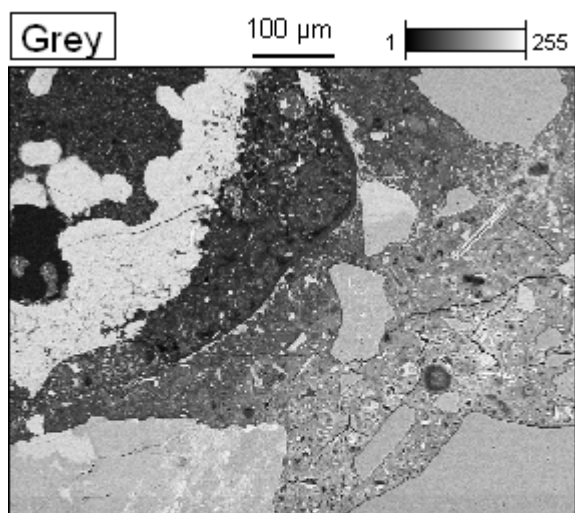
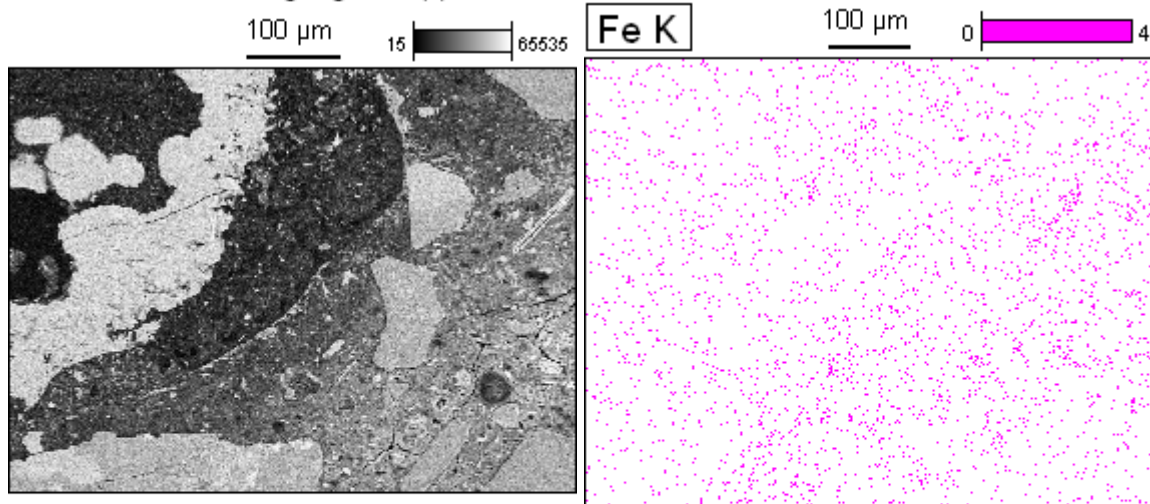
Data Type: Counts Mag: 545 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-overgangssone(1)

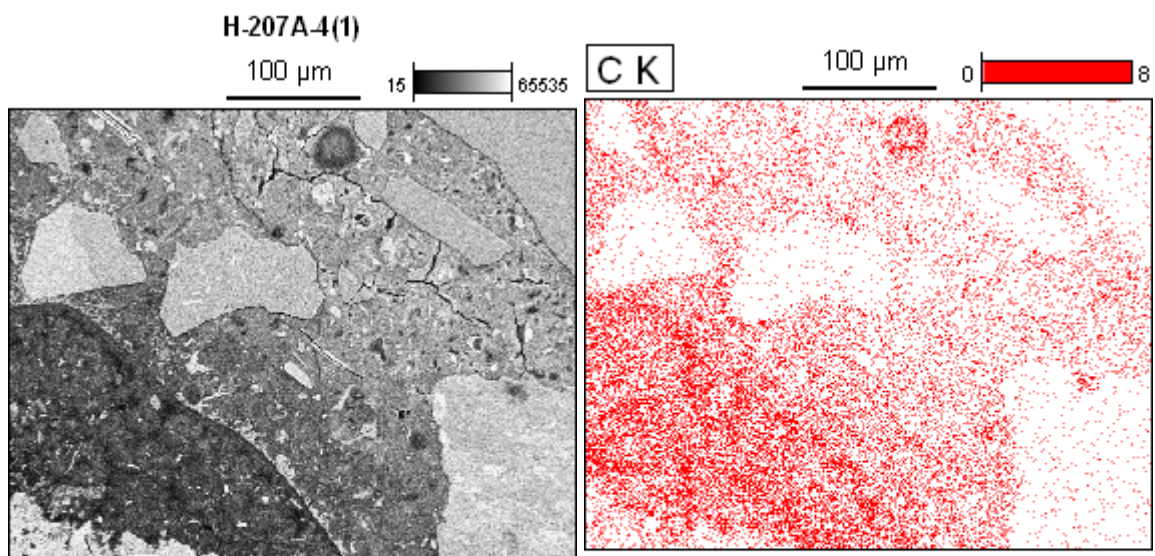


Data Type: Counts Mag: 545 Acc. Voltage: 20.0 kV

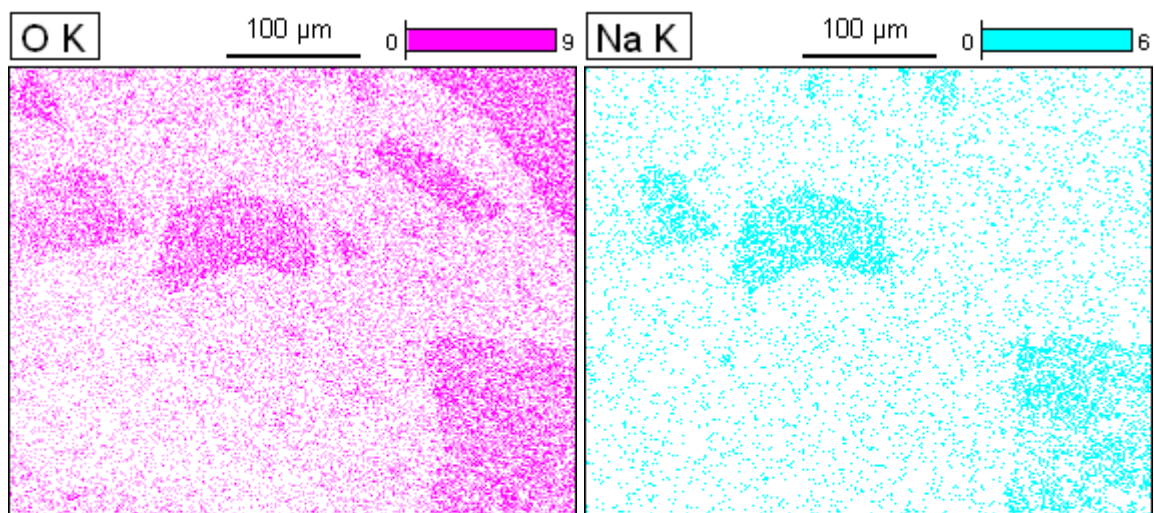
H-207A-overgangssone(1)



Data Type: Counts Mag: 545 Acc. Voltage: 20.0 kV



H-207-6-A: Fullstendig resultat av mapping, sjå foto 6.23 i oppgåva.
Denne mappinga er av eit mindre område enn forrige H-207-6-A område.



Data Type: Counts Mag: 768 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-4(1)

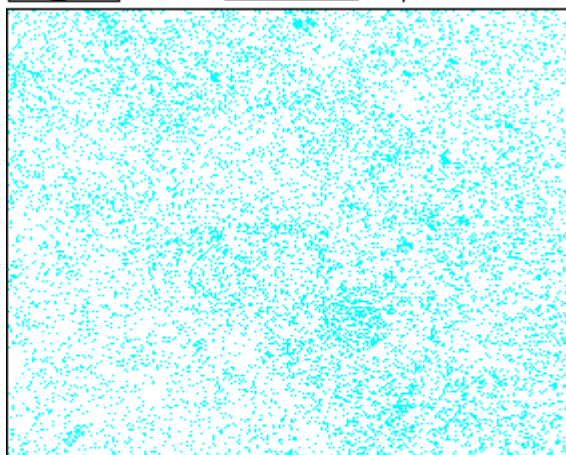
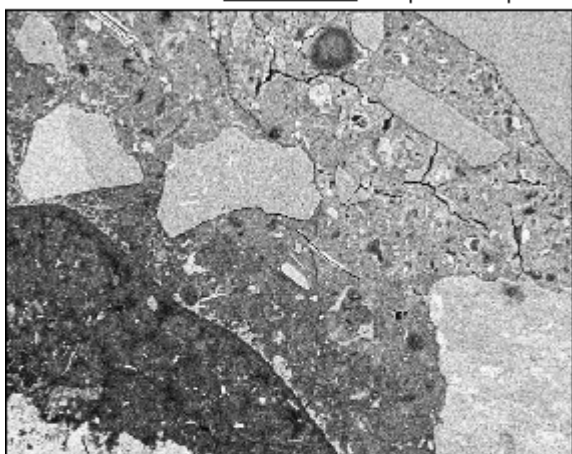
100 μ m

15 65535

Mg K

100 μ m

0 12



Al K

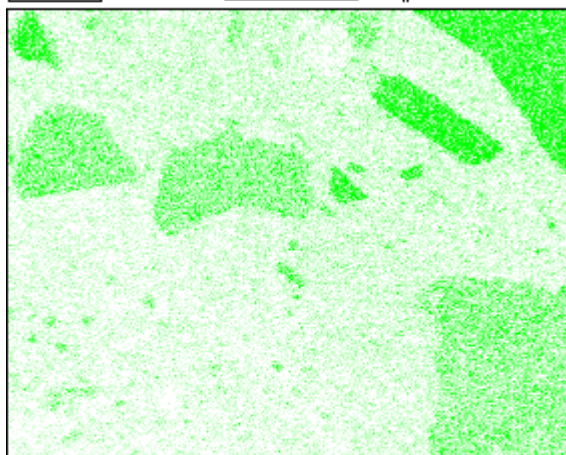
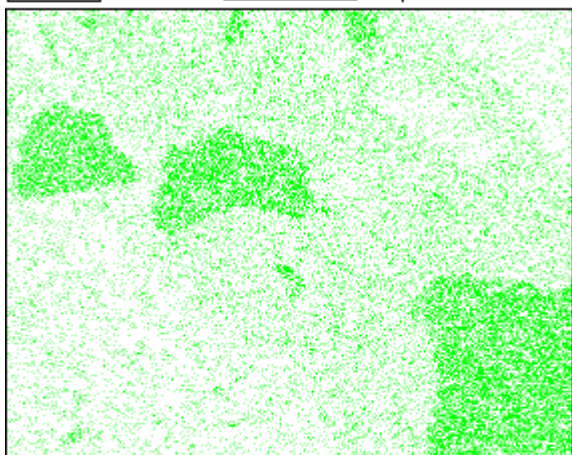
100 μ m

0 13

Si K

100 μ m

0 24



Data Type: Counts Mag: 768 Acc. Voltage: 20.0 kV

H-207A-4(1)

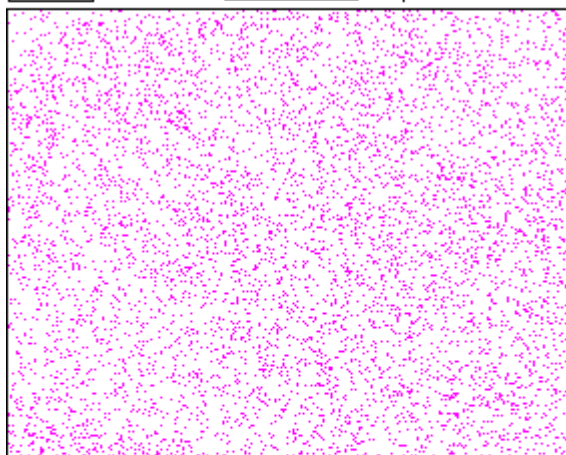
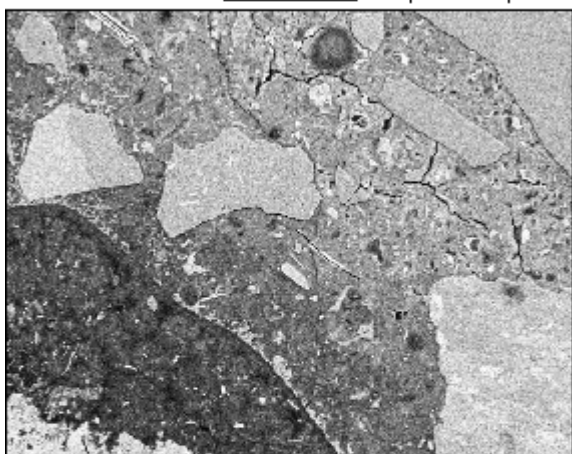
100 μm

15 65535

P K

100 μm

0 4



S K

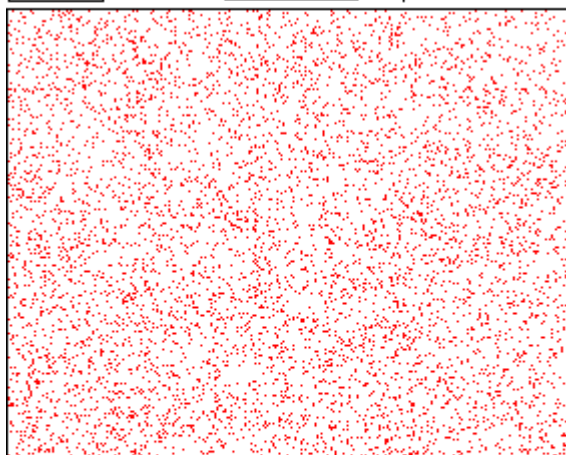
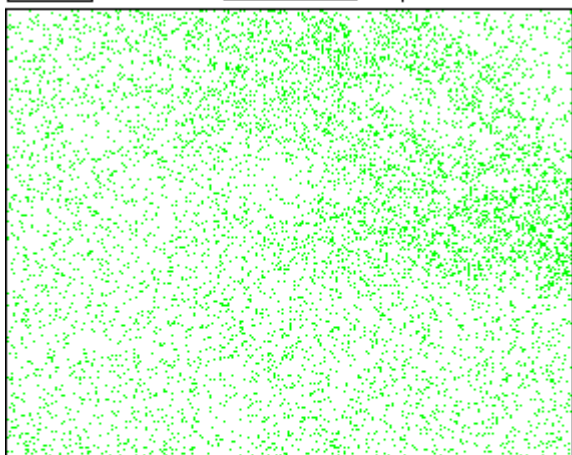
100 μm

0 5

Cl K

100 μm

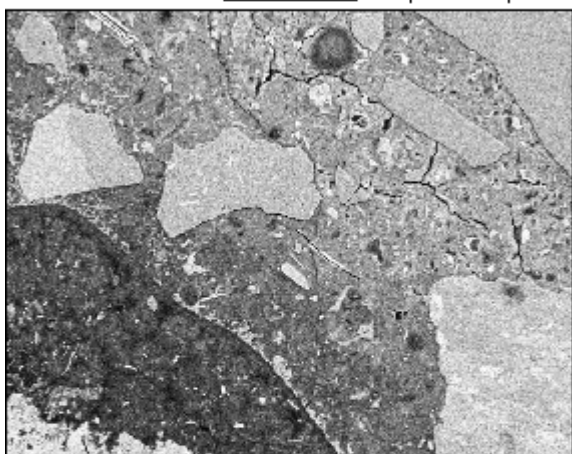
0 3



Data Type: Counts Mag: 768 Acc. Voltage: 20.0 kV

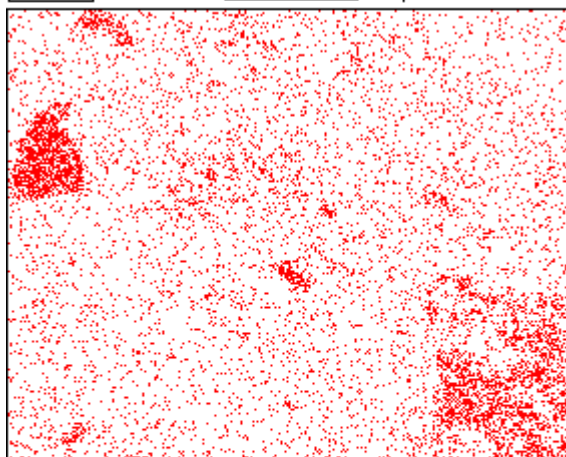
H-207A-4(1)

100 μ m



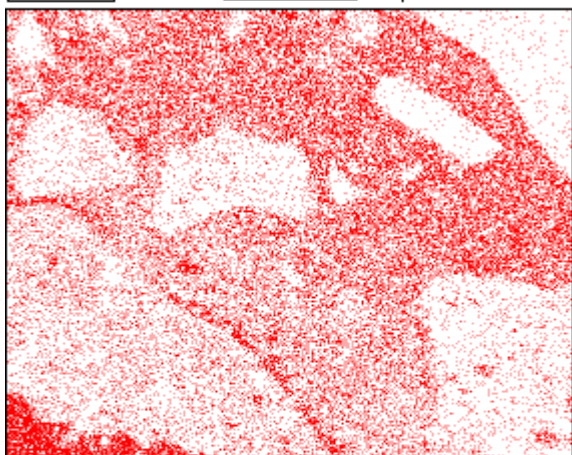
KK

100 μ m



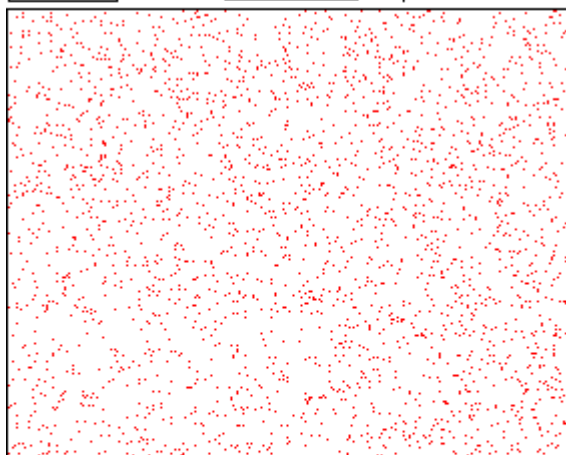
Ca K

100 μ m



Mn K

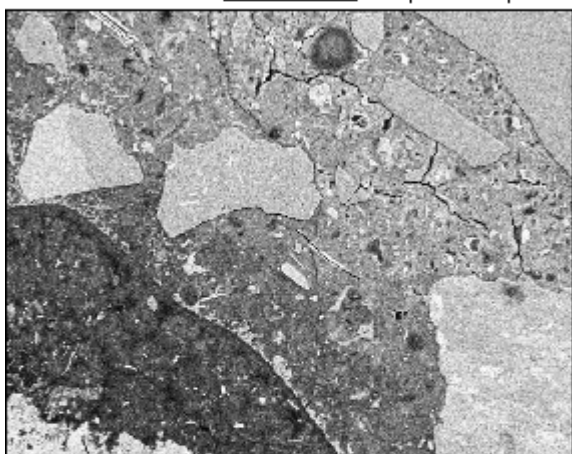
100 μ m



Data Type: Counts Mag: 768 Acc. Voltage: 20.0 kV

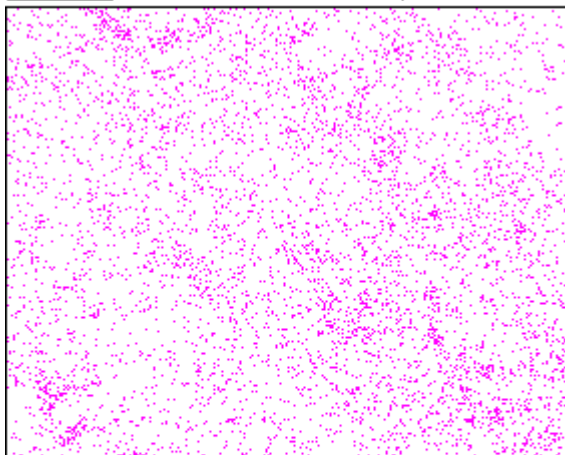
H-207A-4(1)

100 μm



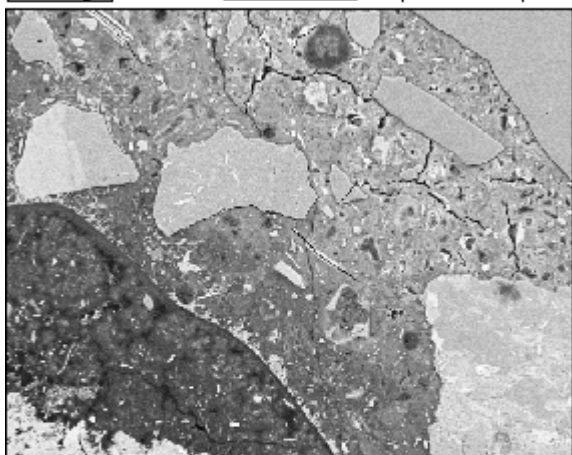
Fe K

100 μm



Grey

100 μm



Data Type: Counts Mag: 768 Acc. Voltage: 20.0 kV

14. Resultat frå SEM-EDS - 11 sider

Fullstendig resultat frå EDS, sjå Foto 6.24 i oppgåva.

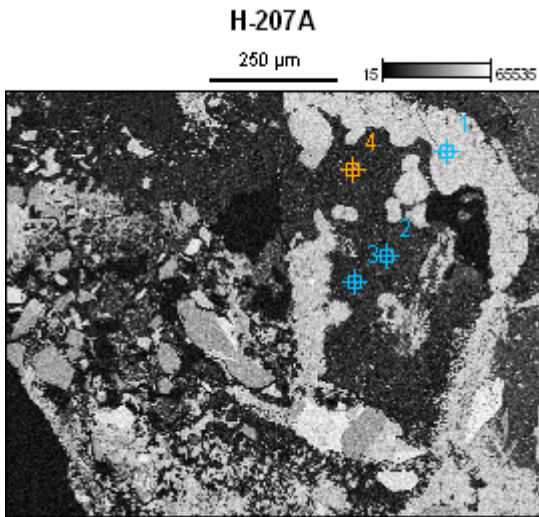


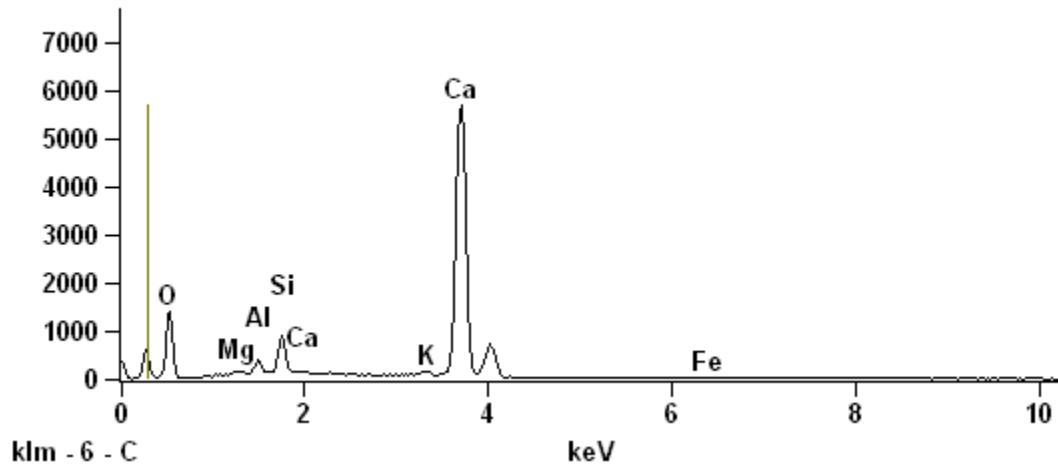
Image Name: H-207A

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 311

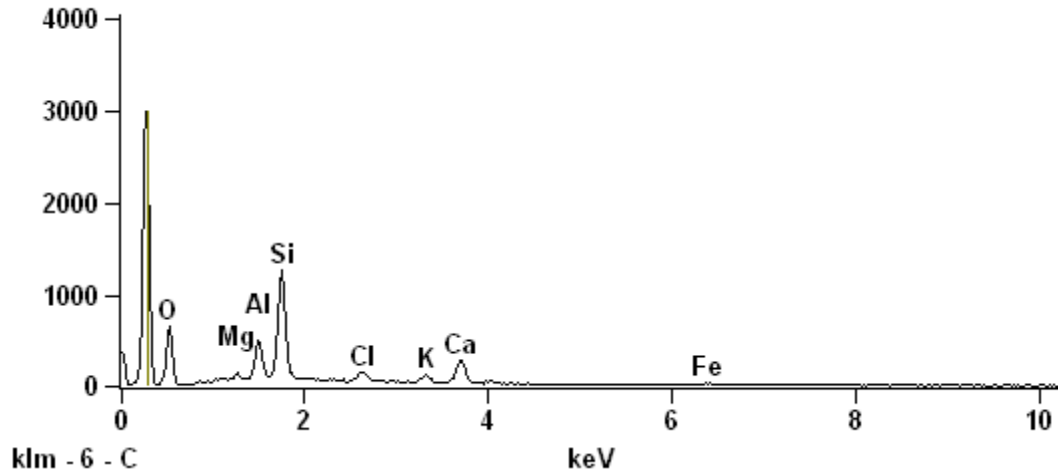
Full scale counts: 5698

H-207A_pt1



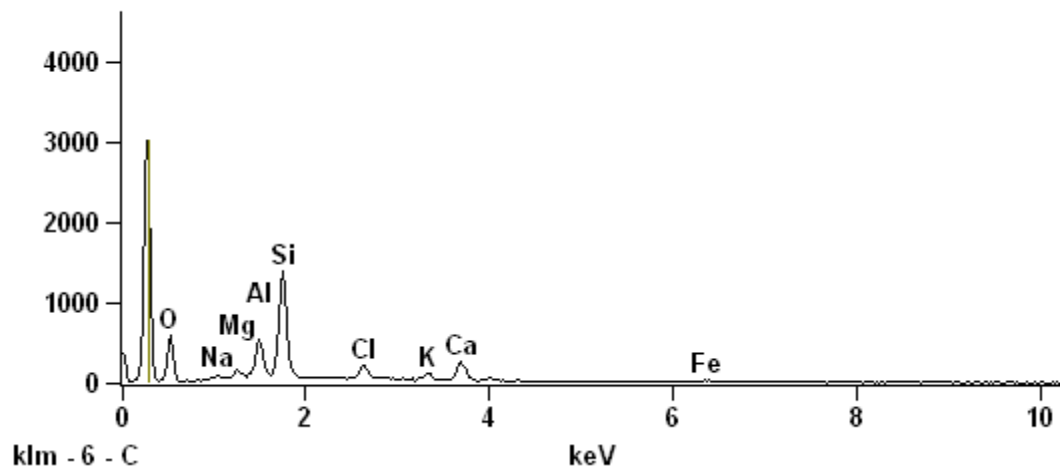
Full scale counts: 2981

H-207A_pt2



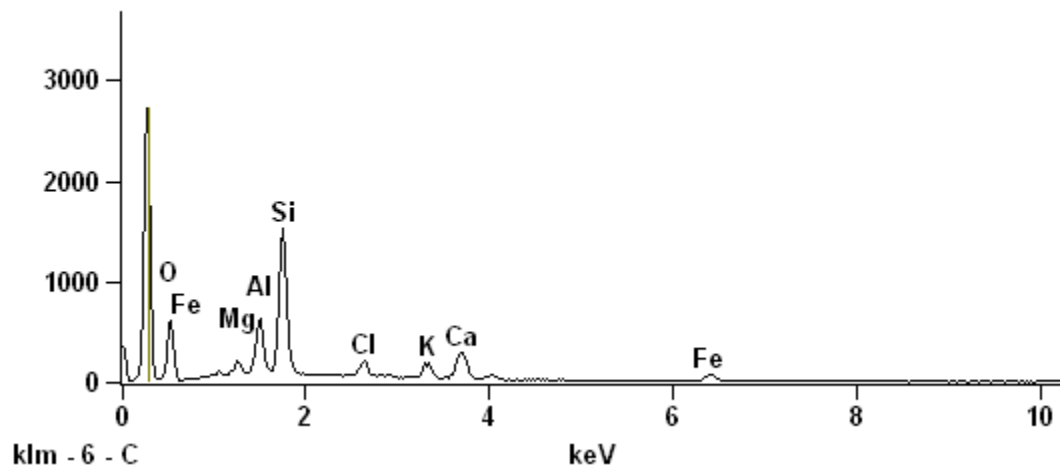
Full scale counts: 3018

H-207A_pt3



Full scale counts: 2721

H-207A_pt4



Fullstendig resultat frå EDS, sjå Foto 6.24 i oppgåva.

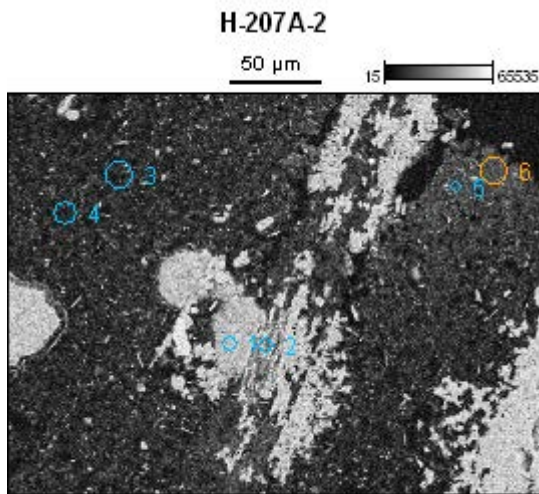


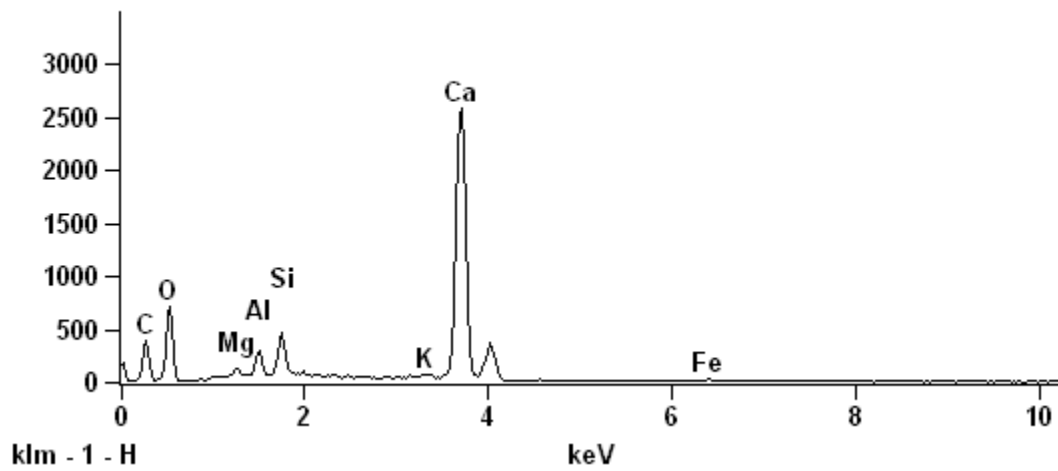
Image Name: H-207A-2

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 1128

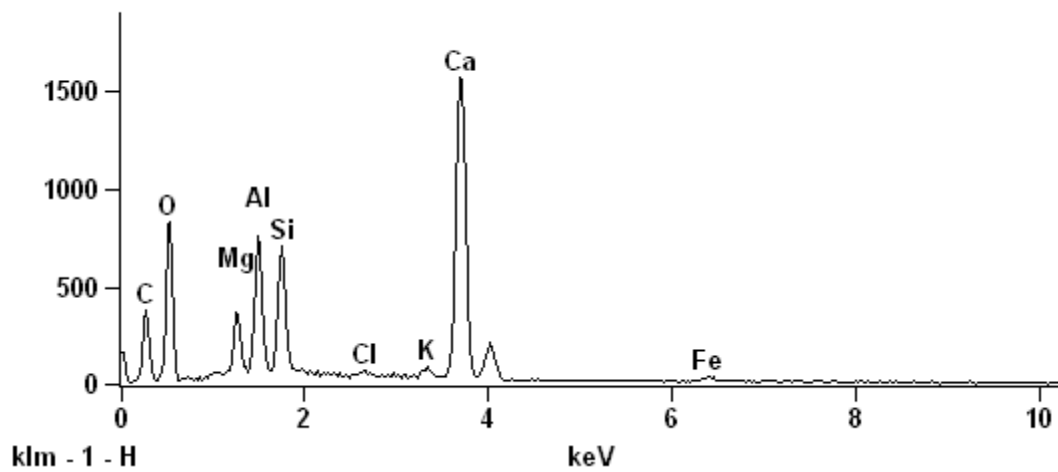
Full scale counts: 2582

H-207A-2_pt1



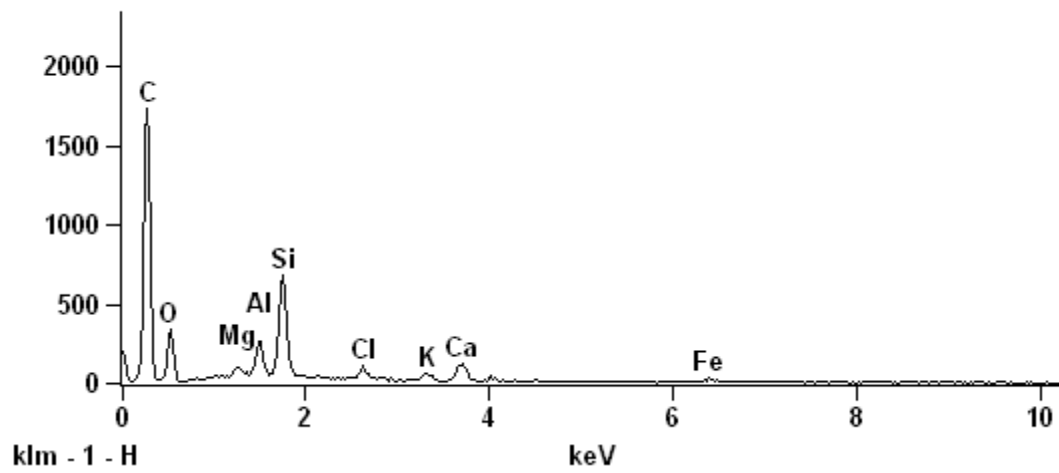
Full scale counts: 1566

H-207A-2_pt2



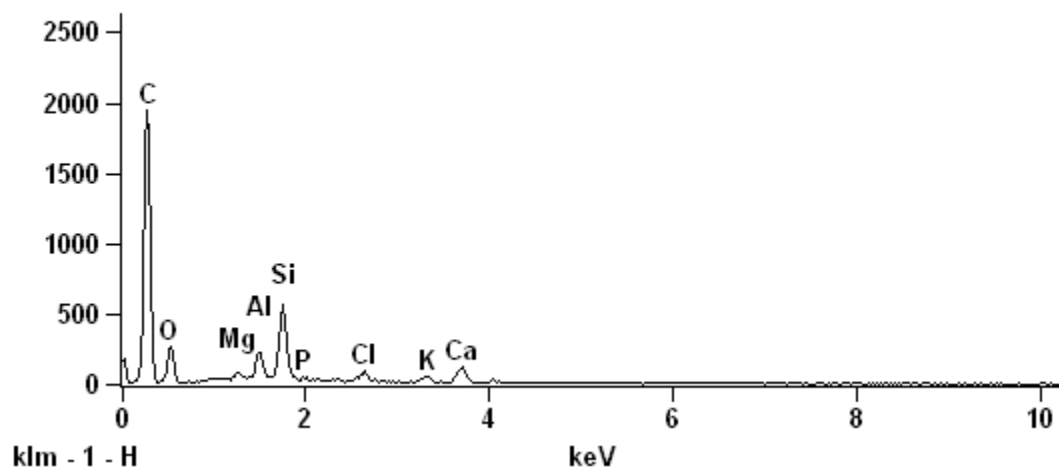
Full scale counts: 1734

H-207A-2_pt3



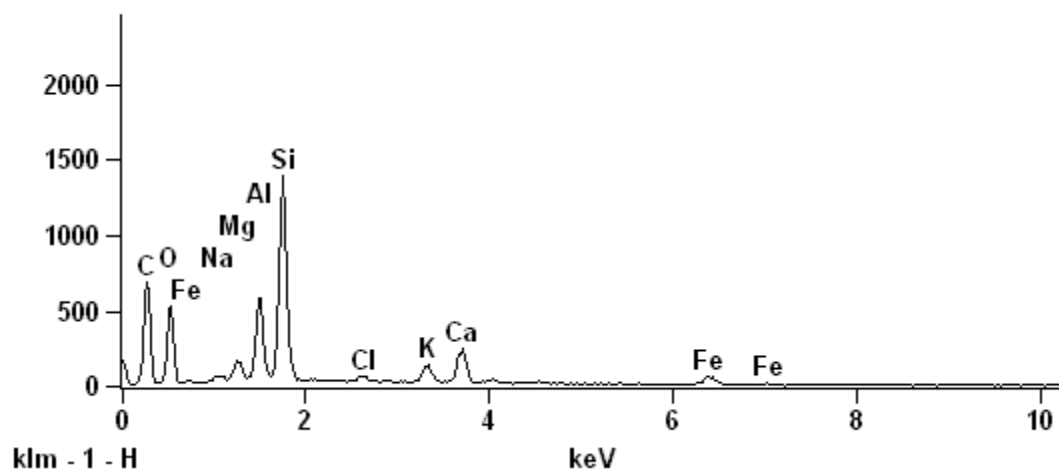
Full scale counts: 1945

H-207A-2_pt4



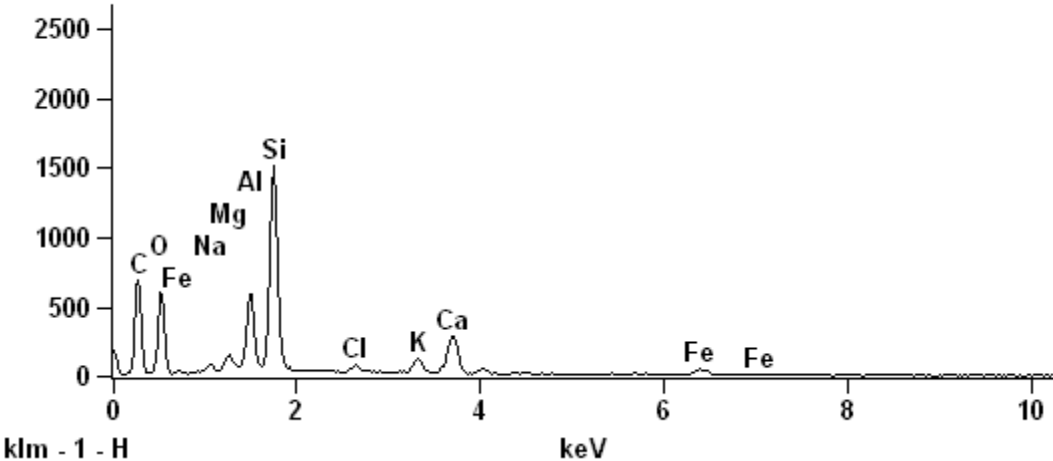
Full scale counts: 1393

H-207A-2_pt5



Full scale counts: 1513

H-207A-2_pt6



Fullstendig resultat frå EDS, sjå Foto 6.25 i oppgåva.

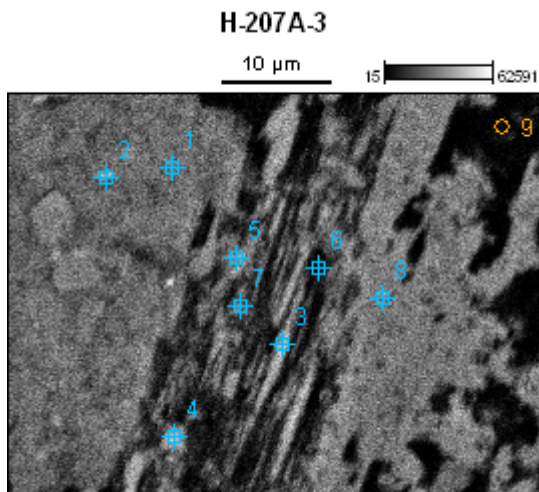


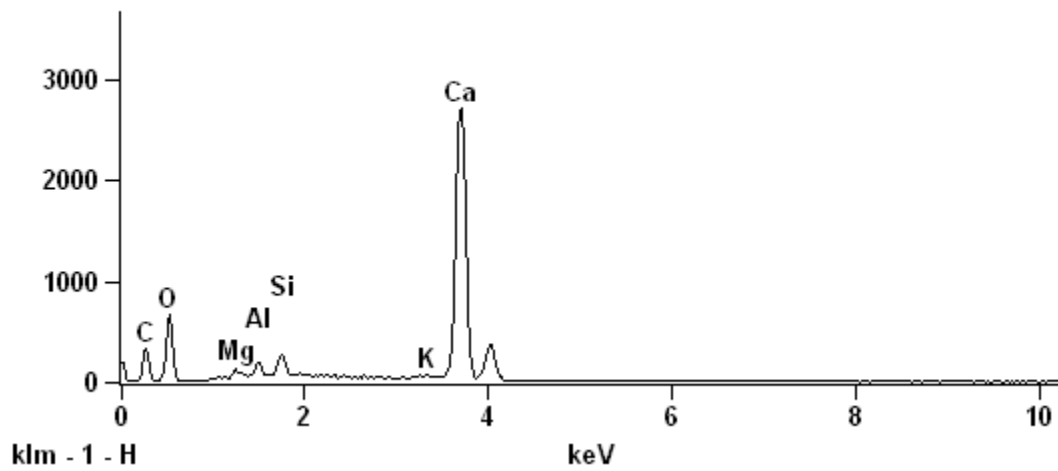
Image Name: H-207A-3

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 6674

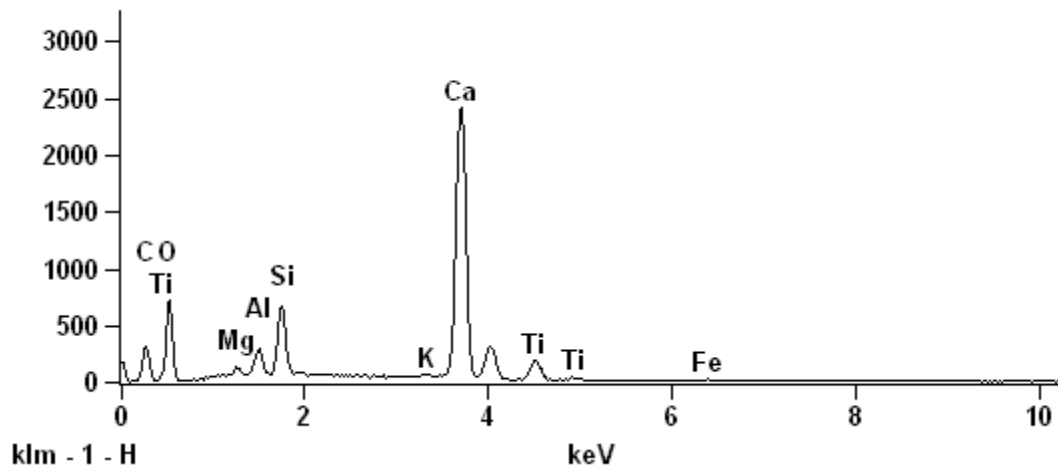
Full scale counts: 2713

H-207A-3_pt1



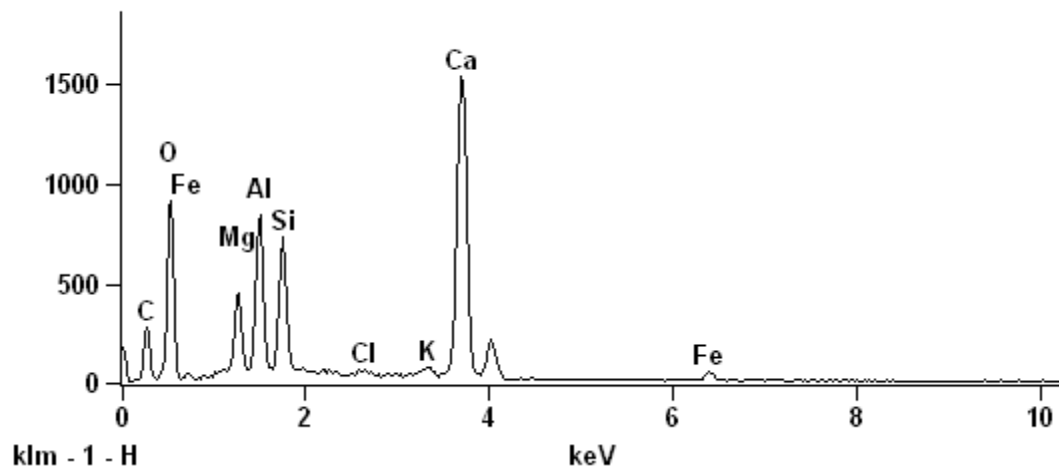
Full scale counts: 2417

H-207A-3_pt2



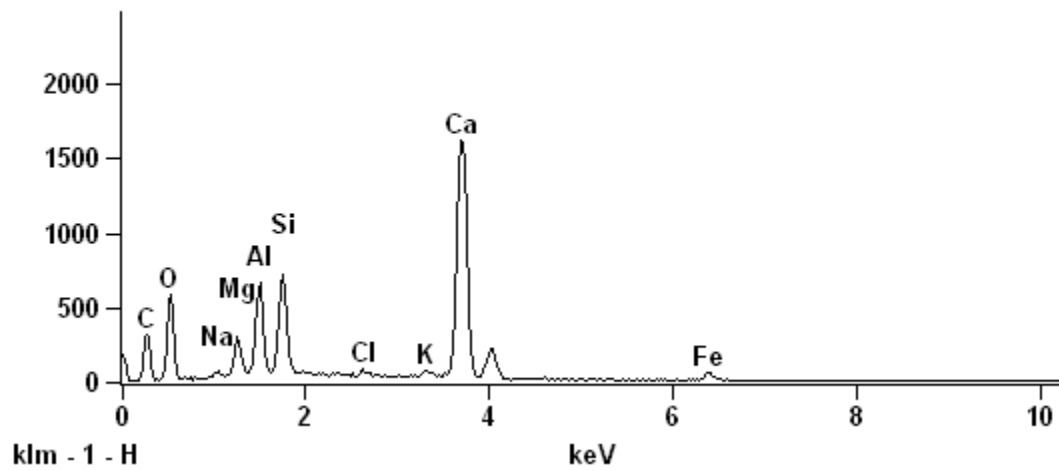
Full scale counts: 1536

H-207A-3_pt3



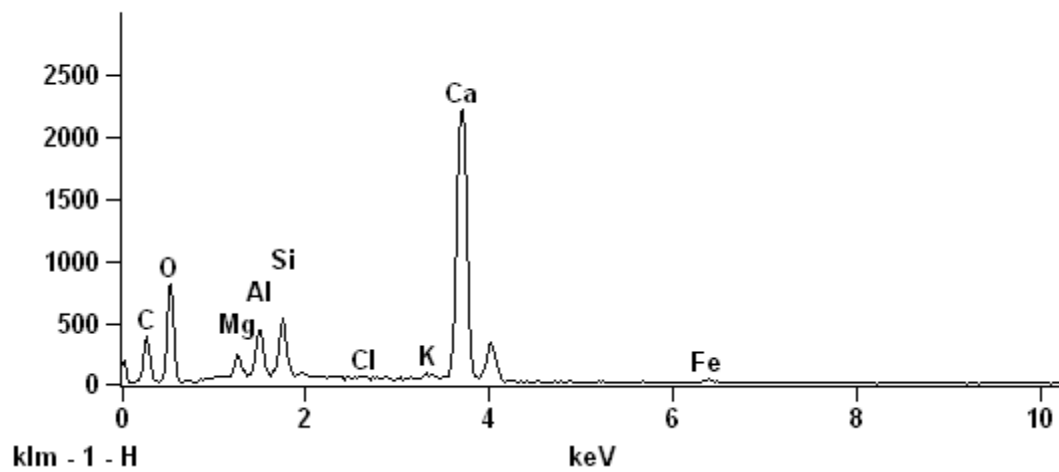
Full scale counts: 1619

H-207A-3_pt4



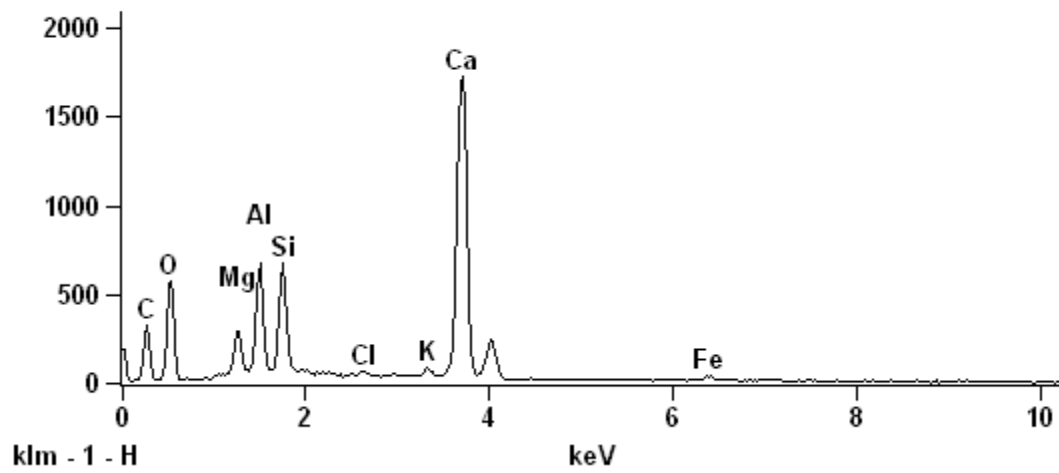
Full scale counts: 2215

H-207A-3_pt5



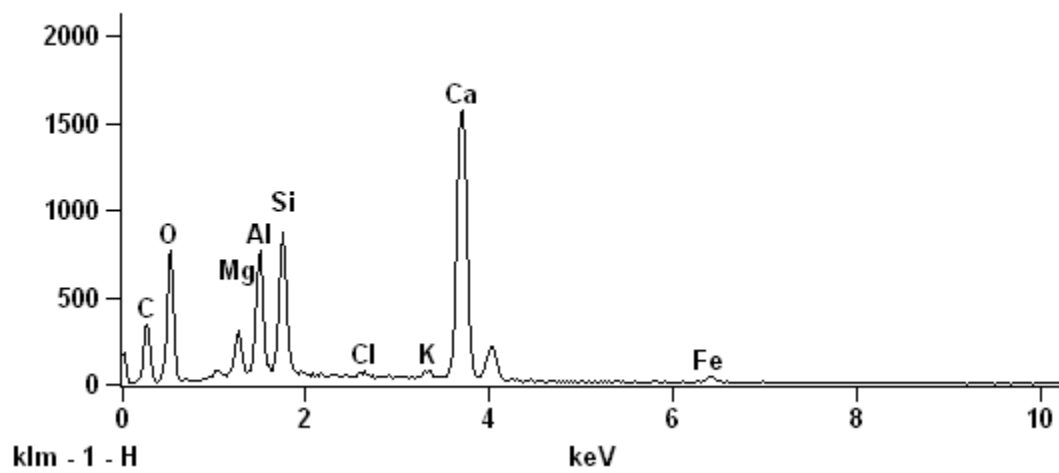
Full scale counts: 1723

H-207A-3_pt6



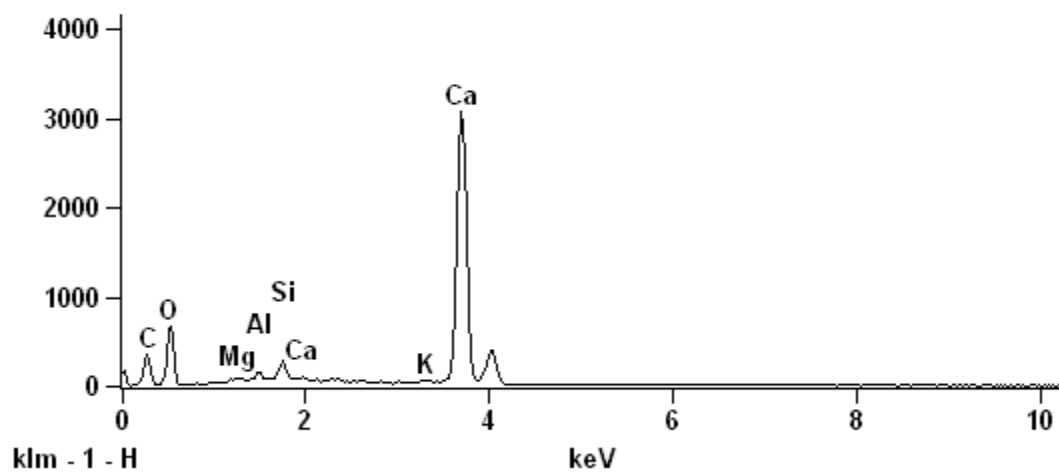
Full scale counts: 1573

H-207A-3_pt7



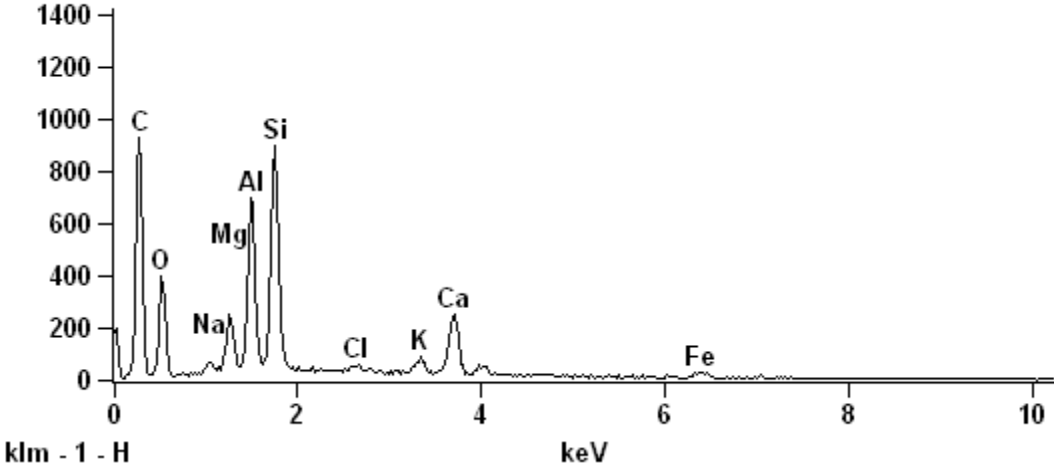
Full scale counts: 3079

H-207A-3_pt8



Full scale counts: 929

H-207A-3_pt9



Fullstendig resultat frå EDS, sjå Foto 6.23 i oppgåva.

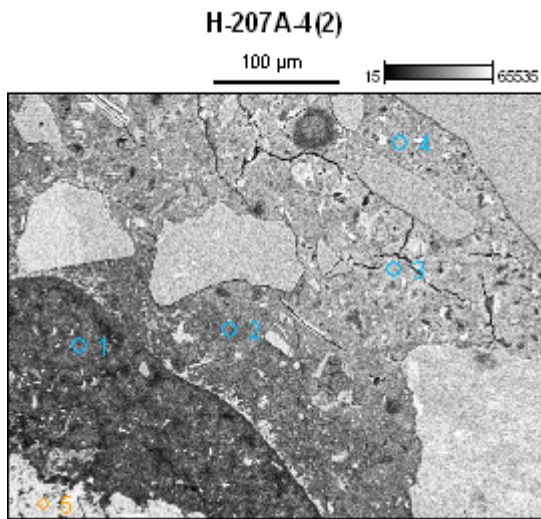


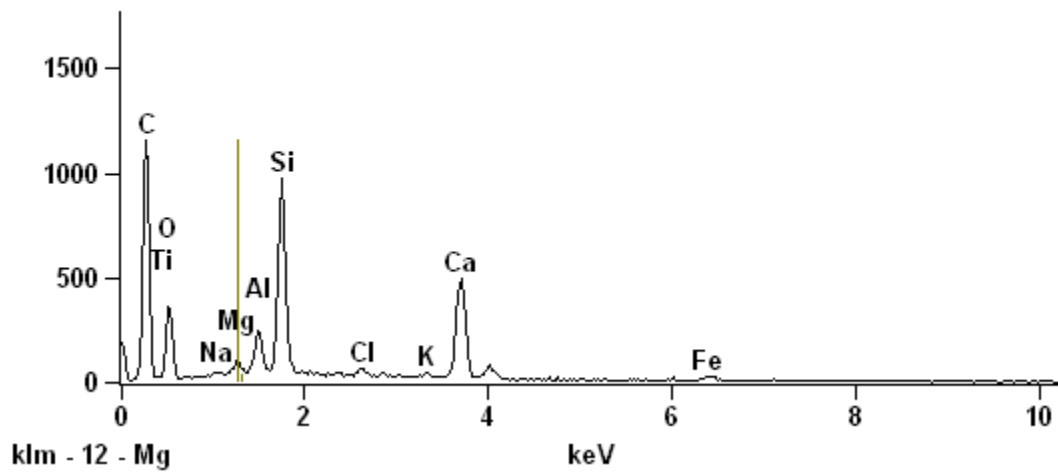
Image Name: H-207A-4(2)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 768

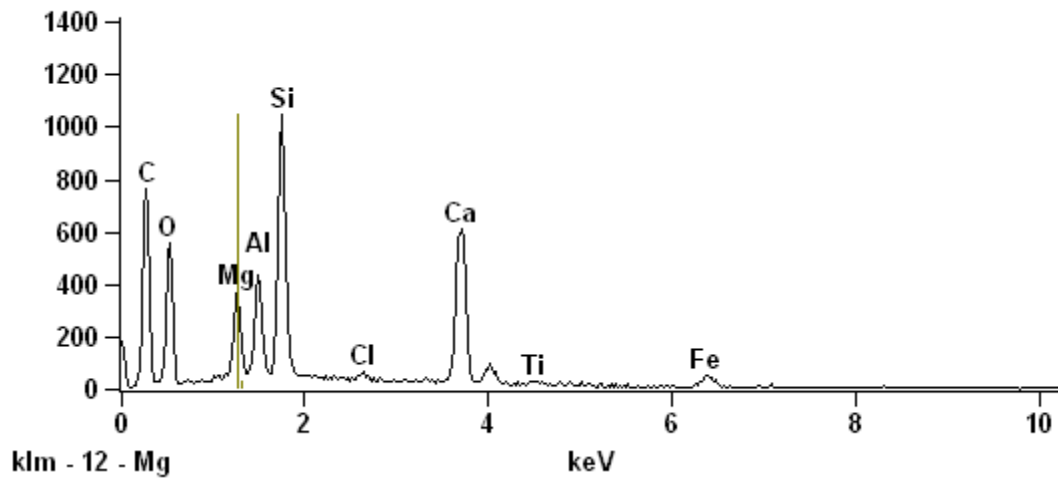
Full scale counts: 1156

H-207A-4(2)_pt1



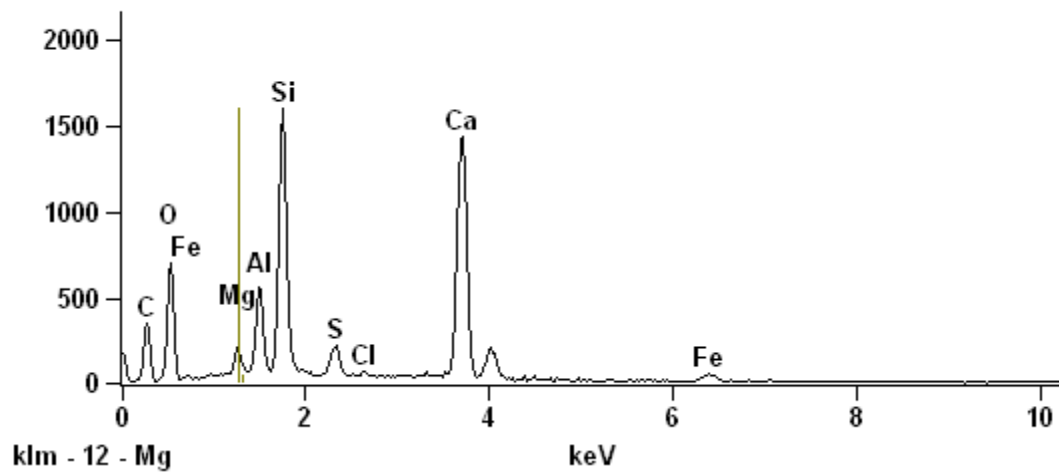
Full scale counts: 1046

H-207A-4(2)_pt2



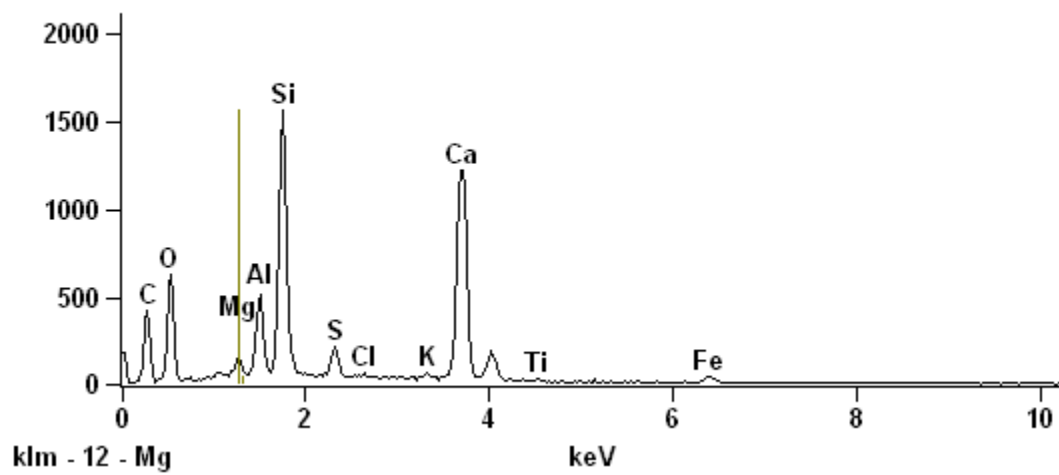
Full scale counts: 1599

H-207A-4(2)_pt3



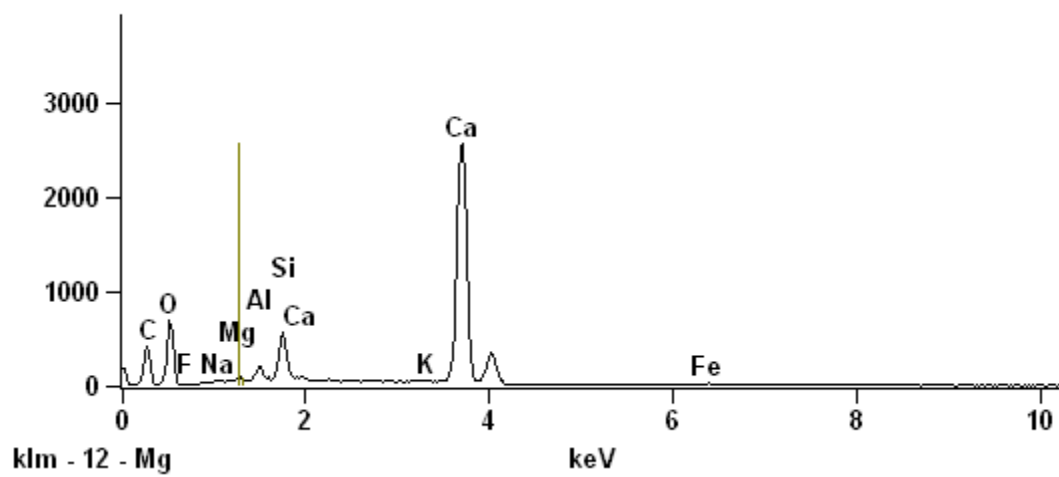
Full scale counts: 1565

H-207A-4(2)_pt4



Full scale counts: 2557

H-207A-4(2)_pt5



15. E-post frå Sintef v/ Haugen med resultat frå planpolarisasjonsmikroskop, 2015.02.09
- 3 sider

Fra: [Marit Haugen](#)
Til: [Fjose Arnhild](#)
Emne: RE: Tynnslip
Dato: 9. februar 2015 15:09:38

Hei igjen!

Hopstunnelen: Betongen i tynnslipet er inhomogen. Svært mørke områder opptrer i veksling med lyse områder, og visuelt synes mørke og lyse områder å utgjøre omtrent samme areal. De mørke områdene synes å være mørkere enn den laveste v/c-tall-referansen på 0,35, mens de lyse områdene synes å tilsvare ca v/c 0,50.

Nesttuntunnelen: Også her er betongen inhomogen, med lyse og svært mørke områder i veksling. Her synes de mørke områdene imidlertid å være arealmessig dominerende. De mørke områdene tilsvarer v/c lavere enn 0,35, mens de lyse områdene tilsvarer v/c i størrelsesorden 0,50.

Her kan det bemerkes at relativt mye av betongen i tynnslipet er karbonatisert, og derfor vil en del av arealet som skulle benyttes til v/c-estimering ikke kunne benyttes.

Hilsen Marit

From: Fjose Arnhild [mailto:arnhild.fjose@vegvesen.no]
Sent: 2. februar 2015 10:45
To: Marit Haugen
Subject: SV: Tynnslip

Hei hei.

Prøvane mine er frå Hopstunnelen og Nesttuntunnelen her i Bergen. Sprøytebetongen er ca. 13 år gammel og eg veit at det er nytta to forskjellige reseptar, men eg har dei ikkje. Mest truleg inneheld betongen 4–5% silika ja.

Arnhild.

Fra: Marit Haugen [mailto:Marit.K.Haugen@sintef.no]
Sendt: 2. februar 2015 10:41
Til: Fjose Arnhild
Emne: RE: Tynnslip

Hei!

Oversender prosedyre for beregning av v/c-tall i separat e-post. Det samme gjelder den gamle KS 70 110 som nå heter KS 14-05-04-507.

Hvor gammel er sprøytbetongen og hvor er den fra? Vet du noe om resept?

Når det gjelder beregning av v/c-tall er dette usikkert, både pga at ulike sementtyper kan være brukt, og at sprøytbetongen kan ha tilsats av evt silika. Sprøytbetong pleier også å være svært inhomogen med store luftlommer, noe som kan vanskeliggjøre arbeidet. Jeg ser på tynnslipene dine og gir deg tilbakemelding.

Hilsen Marit

From: Fjose Arnhild [<mailto:arnhild.fjose@vegvesen.no>]
Sent: 31. januar 2015 10:17
To: Marit Haugen
Subject: SV: Tynnslip

Hei.

Viser til e-posten frå Mette Geiker. Tynnslipa går i posten i dag.

Har du ei prosedyre for berekning av v/c-tal som du kan sende meg?

Lurar og på om du har ei prosedyre kalla KS 70110 frå 1997 – gjeld ein gamal pf-test som er gjennomført?

Med helsing
Arnhild Fjose

Prosjekt: Prosjekt E39 Sveгатjörn-Rådal
Postadresse: Statens vegvesen Region vest, Askedalen 4, 6863 LEIKANGER
Kontoradresse: Marinevegen 2, FYLLINGSDALEN
Mobil: +47 48275498 **e-post/Lync:** arnhild.fjose@vegvesen.no
www.vegvesen.no **e-post:** firmapost-vest@vegvesen.no

Tenk miljø - spar papir. Treng du skrive ut denne e-posten?

Fra: Mette Rica Geiker [<mailto:mette.geiker@ntnu.no>]
Sendt: 26. januar 2015 17:33
Til: Fjose Arnhild
Kopi: Marit Haugen; Hagelia Per
Emne: Tynnslip

Hei Arnhild,

Fik snakket med Marit Haugen fra SINTEF vedr. slip. Hun vil gjerne se slipene inne hun lover nået. Adressen er

SINTEF Byggforsk
Postboks 4760 Sluppen
7465 TRONDHEIM
Att. Marit Haugen

Anslått pris for bestemmelse av v/c i to (homogene) slip og rapportering av v/c per e-mail (dvs. ingen rapport) er 4000 NOK.

Mange hilsener,

Mette

Professor Mette Geiker
Department of Structural Engineering
Faculty of Engineering Science and Technology
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
NO-7491 Trondheim
Norway

Phone: +47 73 59 45 29

Mobile: +47 40 45 12 18

e-mail: mette.geiker@ntnu.no

16. Foto frå fluorescencemikroskop 1-side

Foto av prøvestykker tatt med fluorescencemikroskop

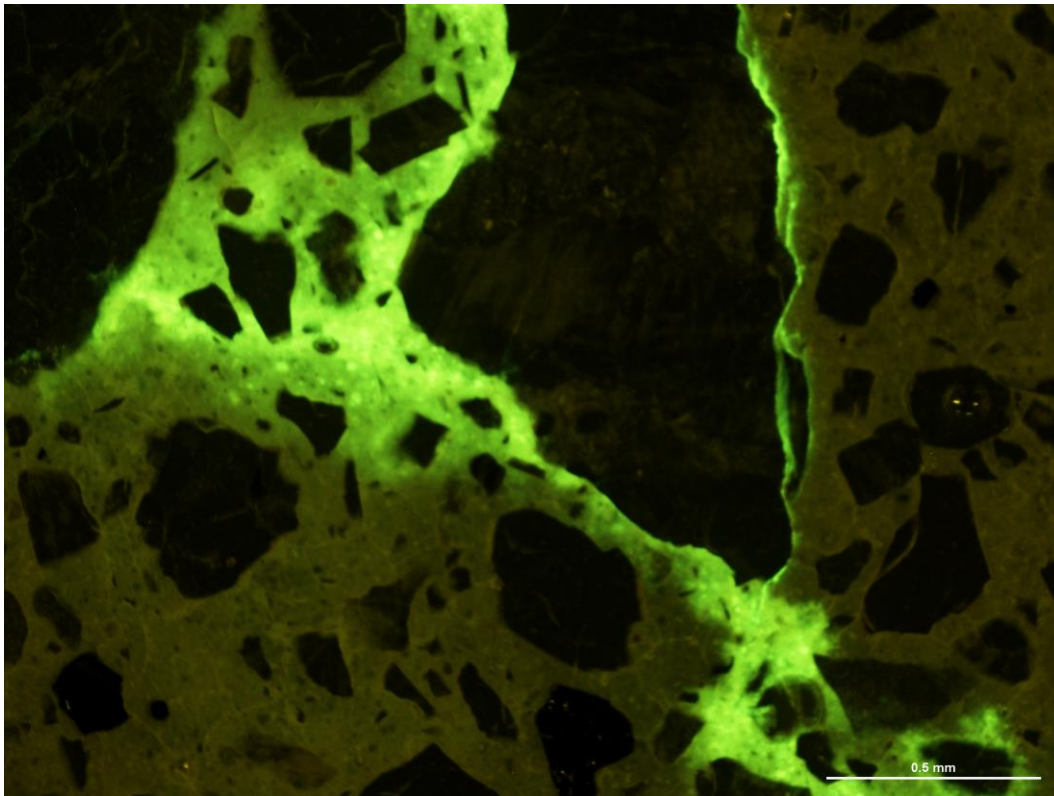


Foto 1 Foto av sprøytebetongen i Hopstunnelen

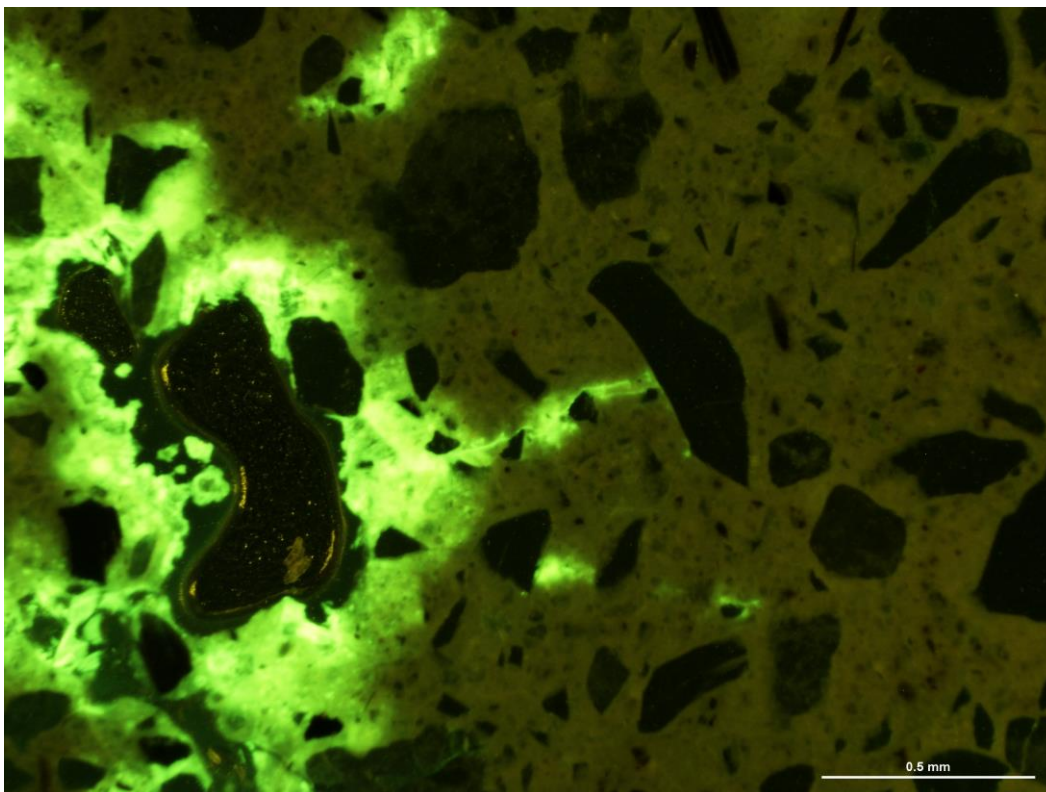


Foto 2 Foto av sprøytebetongen i Nesttuntunnelen

17. Fotodokumentasjon frå fyste synfaring Hop og Nesttun, 2014.09.01-02 – 6 sider

Synfaring Hop- og Nesttuntunnelen 01.09.2014.

Tok meg ein tur i tunnelane for å få eit inntrykk av betongen på baksida av veggelementa. Inngang til baksida av elementa er stort sett gjennom luker i nødkioskane. Nøkkel er BLU. Starta synfaring på Nesttun-sida av tunnelane.

Nesttuntunnelen:

1. Luke på høgre side like innanfor portalen: Noko drypping i hengen, kun 1 parti med kalkutslag elles ser betongen til å vere intakt. Betongen er fuktig i overflata og fibera er rusta. Fibrane ser mykje grovare ut enn på Frøya og Sløverfjordtunnelen. Betongen ser veldig grov ut i overflata.
2. Nødstasjon 108m høgre side: ingenting spesielt med betongen, bortsett i frå at her er nokre svarte enkeltvise flekkar på betongen.



Foto 1



Foto 3



Foto 2

3. Nødstasjon 149m venstre side: betongen har parti med veldig kvite tørre parti, ser ikkje ut som kalkutslag, eller kan det vere gamle lekkasjar som har tetta seg?



Foto 4



Foto 7



Foto 5

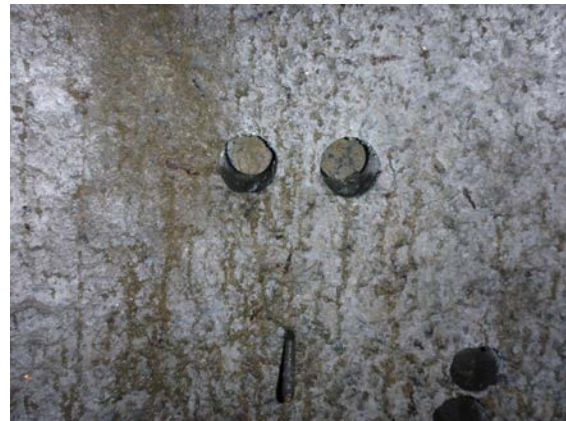


Foto 8 Nokon har vore her og bora ut prøvar tidlegare.... Kven og føremål er førebels utkjend.



Foto 6

4. Nødstasjon 294m / høgspenstrom: Ingenting spesielt
5. Nødstasjon 296m: Generelt fin betong og fantastisk flott perling av vassdropar på betongen. Tok nokre bilder av dryppstein.

6. Nødstasjon 421m: Dryppsteinar



Foto 9

7. Nødstasjon som er umerka med metring: ingenting spesielt.
8. Luke ved portalen: her er lite betong og veldig trangt. Betongen ser lik ut som dei andre stadane. Like innanfor luka ligg det noko brunt på berget – leire?



Hopstunnelen:

1. Luke i venstre side like innanfor portal: veldig trangt, men fin intakt betong. Betongen er veldig grov i overfalta
2. Nødstasjon 144m:
3. Nødstasjon 184m: Nokre punkt med masse jernfarga utslag



Foto 10



Foto 12



Foto 11



Foto 13



Foto 14



Foto 16



Foto 15

4. Nødstasjon 392m høyre side/ høgspentrum: kun nokre dryppsteinar elles tort og fint.
5. Nødstasjon 394m venstre side: Ein kjempelang dryppstein



Foto 17



Foto 18

6. Nødstasjon 582m høyre side: ingenting spesielt.
7. Nødstasjon 642 venstre side: brunt utslag



Foto 19



Foto 21



Foto 20 NB Sjå spesielt det kvite skummet her.



Foto 22

8. Luke ved portal: Ingenting spesielt.

18. Fotodokumentasjon av pH-testing – 2 sider

Fotodokumentasjon frå pH-prøving på lokalitet, samt nøyaktigheit av forskjellige indikatorpapir.



Foto 1 pH-strips for grovt-overslag av pH, med intervallar på 1.



Foto 2 pH-papir for pH-måling mellom pH 6,6 og 8,0 med intervallar på 0,2



Foto 3 pH-papir for pH-måling mellom pH 8,2 og 10 med intervallar på 0,3



Foto 4 pH-papir for pH-måling mellom pH 9,5 og 13 med intervallar på 0,5



Foto 5 Lokaltet N-170



Foto 8 Lokaltet H-207-C



Foto 6 Lokaltet H-207-A



Foto 9 Lokaltet H-207-D (dammen under)



Foto 7 Lokaltet H-207-B



Foto 10 Lokaltet H-620

19. Kalkulering av karboniseringsdjupne - 1 side

Japan Society of Civil Engineers har utarbeida eit verktøy for kalkulering av karbonatiseringsdjupne. Følgjande tekst er henta frå

<http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter10/newsletter10.asp>

7.1.1 Calculation of design value of carbonation depth

The design value of carbonation depth y_d is calculated using the following equation:

$$y_d = \gamma_{cb} \alpha_d \sqrt{t} \quad (7.1.1)$$

$$\alpha_d = \alpha_k \beta_e \gamma_c$$

where γ_{cb} (=1.15) is a safety factor to account for the variation in the design value of carbonation depth y_d , α_d is the design carbonation rate ($\text{mm}\cdot\text{year}^{-1/2}$), t is the design service life, α_k is the characteristic value of carbonation rate ($\text{mm}\cdot\text{year}^{-1/2}$), β_e (= 1.0) is a coefficient representing the extent of environmental action, and γ_c (= 1.0) is the material factor for concrete.

For the characteristic value of the carbonation rate coefficient α_k , the following equation proposed in Section 6.4.3 of SSCS/Mate is used:

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \gamma_p \alpha_p \\ \alpha_p &= -3.57 + 9.0 W/C \end{aligned} \quad (7.1.2)$$

where γ_p (= 1.1) is a safety factor to account for the accuracy in determining α_p and W/C is the water-to-cement ratio of concrete.

Ut frå denne metoden kan karbonatiseringsdjupna bereknast slik:

Ved å forutsette $w/b = 0,45$ og nytte same sikkerheitsfaktorar, materialkoeffisient og miljøkoeffisient vert desingverdien for karbonatiseringsdjupna $y_d = 6,1$ mm for 100 års designa levetid. For 50 års desinga levetid vert karbonatiseringsdjupna $y_d = 4,2$ mm.

Endrar ein til $w/b = 0,49$ som er meir truleg for Hopstunnelen og Nesttuntunnelen og same faktorar og koeffisientar vert designverdien for karbonatiseringsdjupna $y_d = 10,6$ mm for 100 års designa levetid.

