



Statens vegvesen

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 - 2011

Bestandighet sprøytebetong Oslofjordtunnelen

Statens vegvesens rapporter

Nr. 159



Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Tunnel og betong
August 2012

Tittel

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler
2008 - 2011

Title**Undertittel**

Bestandighet sprøytebetong Oslofjordtunnelen

Subtitle**Forfatter**

Norconsult AS

Author**Avdeling**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Section

Tunnel og betong

Prosjektnummer

602182

Project number**Rapportnummer**

Nr. 159

Report number

No. 159

Prosjektleder

Harald Buvik

Project manager**Godkjent av****Approved by****Emneord**

Etatsprogram, Moderne vegtunneler, Tunnel, Strategi, Bestandighet, Sprøytebetong

Key words**Sammendrag**

Norconsult AS har sett på sprøytebetongs tilstand i utvalgte undersjøiske tunneler. Dette som en del av strategiarbeidert i Moderne vegtunneler. Det var ønskelig å finne tunneler hvor det var utført undersøkelser også tidligere for å kunne se om det kunne dokumenteres noen endring i tilstanden og fysiske egenskaper. Som en av tunnelene ble Oslofjordtunnelen valgt ut. Denne rapporten beskriver borstedene og gir et resymé av rapporten fra Sintef som har utført analysene på de utborede kjernene.

Summary**Antall sider**

Dato 21.august 2012

Pages

Date

TITTEL
MODERNE VEGTUNNELER
OSLOFJORDTUNNELEN
Sprøytebetong fra passeringstunnelen

OPPDRAGSGIVER
 Statens vegvesen

OPPDRAGSGIVERS KONTAKTPERSON
 Claus K. Larsen/Per Hagelia

OPPDRAGSNUMMER 5013053	DOKUMENTNUMMER	UTARBEIDET Jan Viggo Holm
DATO 2011-11-01	REVISJON	FAGKONTROLLERT Amund Geicke
ANTALL SIDER OG BILAG 10 + vedlegg		GODKJENT Jens-Petter Henriksen

SAMMENDRAG

Vegdirektoratet ønsker å utarbeide en strategi for nye vegtunneler der økt levetid og økt teknisk standard for fremtidige vegtunneler er viktige elementer. Som en del av dette arbeidet har Norconsult AS sett på sprøytebetongs tilstand i utvalgte undersjøiske tunneler. Det var ønskelig å finne tunneler hvor det var utført undersøkelser også tidligere for å kunne se om det kunne dokumenteres noen endring i tilstanden og fysiske egenskaper. Som en av tunnelene ble Oslofjordtunnelen valgt ut. Det ble tatt prøver av ca 5 år gammel betong og betong i vegtraseen som er ca. 10 år gammel. Denne rapporten beskriver borstedene og gir et resymé av rapporten fra Sintef som har utført analysene på de utborede kjernene.

Rapporten konkluderer med at betongen synes å være relativt lite preget av nedbrytningsmekanismer. Heftmålinger viste at 6 av 8 prøver hadde brudd i heftsonen mot fjell.

Rapporten følger vedlagt.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING	2
2	TUNNELEN	2
3	UTFØRELSE	2
3.1	Organisering	2
3.2	Beskrivelse av prøvesteder	3
4	LABORATORIEANALYSER	5
4.1	Utførte analyser	5
4.2	Resultater	5
4.2.1	<i>Prøveoversikt (Klippet fra Sintef – rapporten)</i>	5
4.2.2	<i>Heft mot fjell</i>	6
4.2.3	<i>Karboniseringsdybde</i>	6
4.2.4	<i>Porøsitet (PF-metoden)</i>	6
4.2.5	<i>Trykkfasthet og fiberinnhold</i>	7
4.2.6	<i>Kloridinnhold, profiler (Sintef – rapporten) Passeringstunnel</i>	7
4.2.7	<i>Kloridinnhold, tørr betongvekt pr. kjerne (Sintef – rapporten)</i>	7
4.2.8	<i>Strukturanalyse</i>	8
5	VURDERINGER OG KOMMENTARER	9

Vedlegg:

1. Oslofjordtunnelen. Prøving av herdnet betong. Sintef 2010-02-12, rapport nr. 33353-1.

Referanser:

- /1/ Hagelia, P (2008): Deterioration mechanisms and durability of sprayed concrete in Norwegian tunnels, Proceedings of the 5th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support.

1 INNLEDNING

Vegdirektoratet ønsker å utarbeide en strategi for nye vegtunneler der økt levetid og økt teknisk standard for fremtidige vegtunneler er viktige elementer. Som en del av dette arbeidet har Norconsult AS sett på sprøytebetongs tilstand i utvalgte undersjøiske tunneler. Det var ønskelig å finne tunneler som var godt dokumenterte fra tidligere for å kunne se om det kunne dokumenteres noen endring i tilstanden og fysiske egenskaper. Oslofjordtunnelen ble valgt ut som en av tunnelene. Denne rapporten beskriver borstedene og gir et resymé av analyserapporten på de utborede kjernene fra Sintef.

Dette prosjektet omfatter undersøkelser av tunnelene Freifjord, Oslofjord og Ringnestunnelen. I Oslofjordtunnelen ble det tatt ut kjerner i to omganger. Denne rapporten gir en sammenstilling av resultatene av prøving fra passeringstunnelen, som leder ned til pumpesumpen, km 16070+50 m og i selve vegtunnelen, km 15440.

2 TUNNELEN

Oslofjordtunnelen er ca 7280 meter lang og er en del av Rv 23. Tunnelen ble åpnet i 1998. Sprøyting i tunnelen har foregått i flere omganger, senest i år 2000.

Resultater fra tidligere prøving er publisert av P. Hagelia (ref. 1). Opplysninger om betongens sammensetning er hentet fra samme referanse og gjelder opprinnelig betongtype brukt i passeringstunnelen ved år 2000:

Prosjektert betongkvalitet	B40 MA, masseforhold(w/b)= 0,41	
Armering	Stålfiber 45 kg/m ³	
Resept	Sement	PC Standard RP38 540 kg/m ³
	Sand	-
	Silika	5 %
	P-stoff	Ukjent
	R-stoff	Ukjent
	Al sulfat	Ukjent (benyttet som akselerator)
Tykkelse	5 – 18 cm	

3 UTFØRELSE

3.1 Organisering

Utboring av betongkjerner ble planlagt i samråd med Per Hagelia, Vegdirektoratet. Utboringen ble utfør 6-7.10.2009. Etter utboring ble kjernene medtatt til Norconsult Sandvika for visuell vurdering og bestemmelse av hvilke analyser som skulle utføres på hvilke kjerneprøver.

Prøvene ble sendt Sintef Byggforsk for nærmere analyse hvor prøvingens formål var å beskrive betongens egenskaper for å kunne vurdere levetid. Sintef Byggforsk ble bedt om å foreta denne levetidsvurderingen.

3.2 Beskrivelse av prøvesteder

Det ble boret ut 12 kjerner fra tunnelveggen i passeringstunnelen mellom profil ca 16070 og pumpeumpen. Fjellsikringen i denne delen av tunnelen var sprøytet på nytt i ca 2004 på grunn av en del forvitring, fiberkorrosjon og lokalt med avskalling. Grunnvannet i dette området har sjøvannslignende sammensetning. Området har punktlekkasjer, utfellinger og bakterievekst. Dette er Mn og Fe oksiderende bakterier som har skadelig innvirkning på betongen, ref /1/.

Det ble valgt ut 2 borsteder:

1. Km 16070 - ca 50 meter, kote ca - 130 i passeringstunnelen mellom transformatorstasjon og pumpeump på høyre side, 4 m over veiskulder. Punktet ligger under Drøbakssundet.
2. Km 15410, ca kote - 84 nordside, ca 4 m over veiskulder. Punktet ligger under åssiden på Hurumsiden.

Kjernene fra passeringstunnelen ble boret ut i et område med lite fuktgjennomtrengning og kalk.

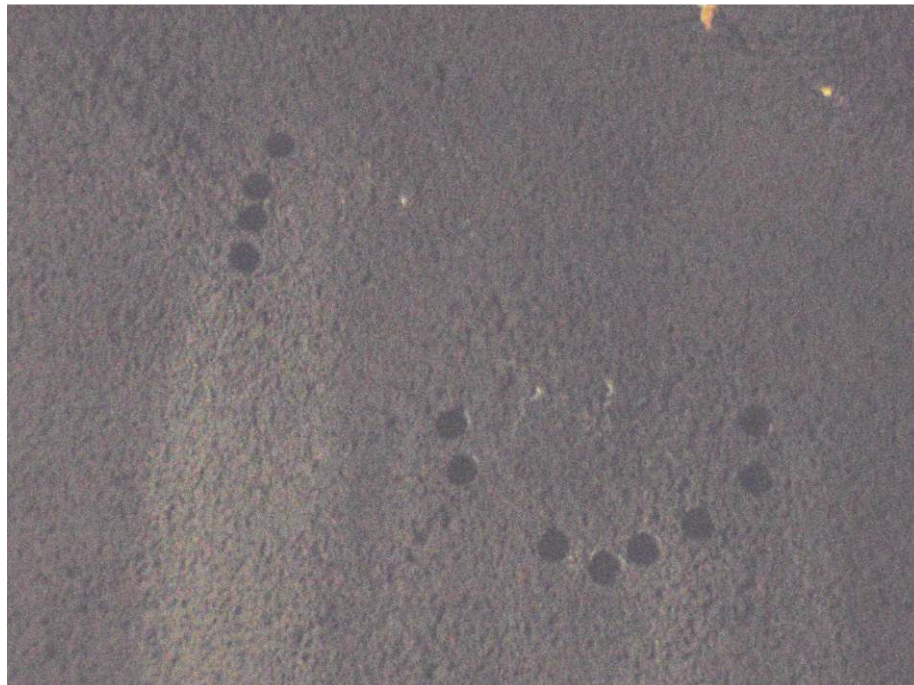


Foto nr. 1: Km 16070 + ca 50 m i passeringstunnel. Utboring av 12 kjerner i ca 5 år gammel sprøytebetong. Området er uten større lekkasjer og kalkutfellinger.

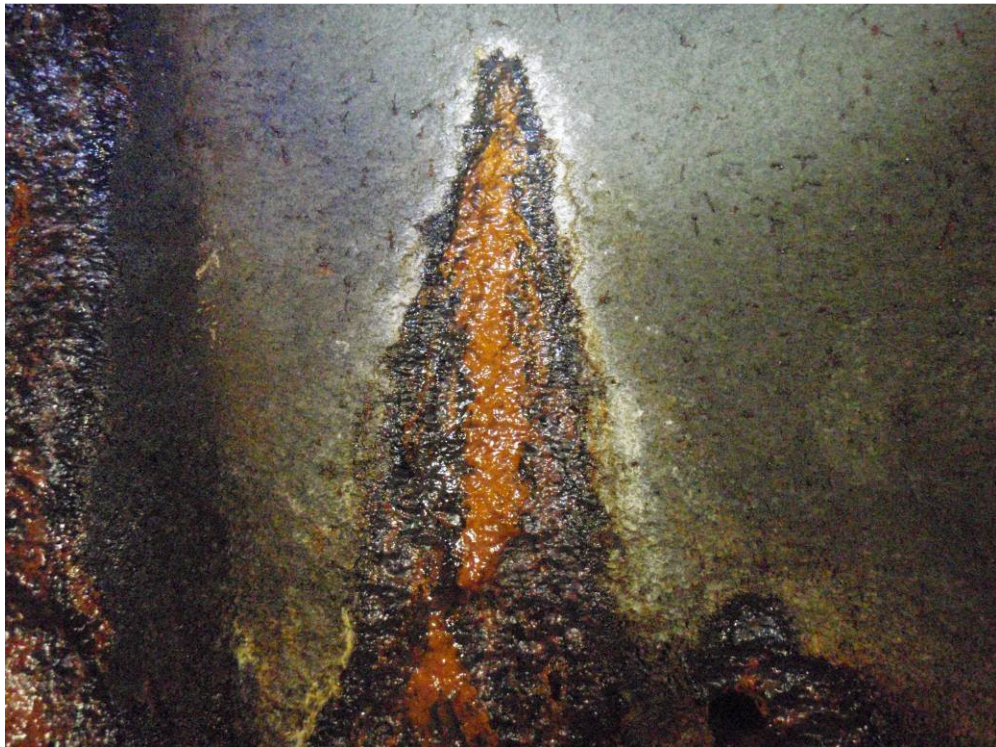


Foto nr. 2: Km 16070, ved transformatoriosk T3. Typisk område med flere punktlekkasjer, utfellinginger og vekst av Mn og Fe oksiderende bakterier som har skadelig påvirkning på betong (Ref 1).

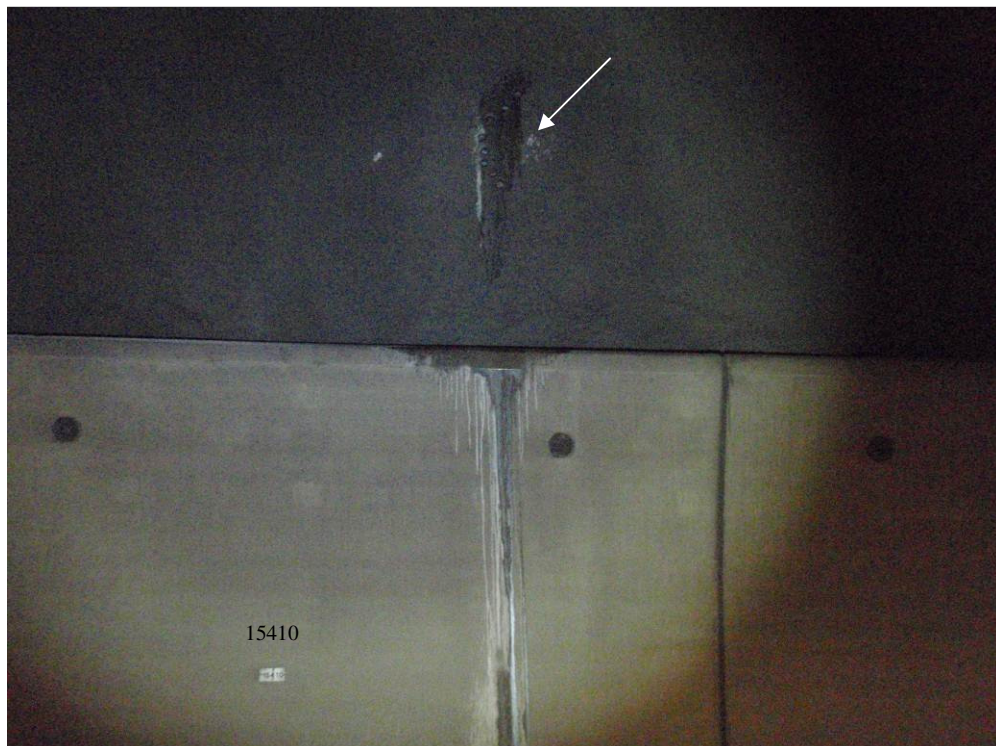


Foto nr.3: Km 15410 i hovedtunnelen under strandsonen på Hurumsiden. Typisk område med få lekkasjer gjennom betong. Lekkasje i kontakten mellom tunnelelementer og sprøytebetong.

Ved km 15410 ble det boret ut 8 kjerner i sprøytebetong ca 1 m over topp element. Området er lokalisert i brakk til ferskvannssone ved strandlinja i hovedtunnelen. Også dette området ble sprøytet på nytt i 2004.

4 LABORATORIEANALYSER

4.1 Utførte analyser

Borkjernene ble undersøkt visuelt og fotografert før videreforsendelse til SINTEF Byggforsk, Trondheim for videre analyse. De utførte analysene er rapportert fra Sintef i rapport nr. 33353-1, datert 2010-02-12 som følger denne rapport i vedlegg 1.

Ingen av kjernene viste tegn på å ha korroderende innstøpte stålfiber etter utboring. Imidlertid begynte den eksponerte delen av fibrene å korrodere etter kort tid i luft.

Følgende analyser ble utført på borkjernene:

1. Heft mellom sprøytebetong og fjell målt som strekkfasthet på borkjerner
2. Karboniseringsdybde
3. Porøsitet (PF-metoden)
4. Trykkfasthet
5. Kloridanalyser
6. Strukturanalyse i polarisasjonsmikroskop og ved SEM

Utvelgelse av prøvemateriell til de forskjellige analysene ble foretatt i samråd med Sintef.

|

4.2 Resultater

Det henvises til Sintef rapport nr. 33353-1, datert 2010-02-12 i vedlegg 1 for en fullstendig presentasjon av laboratorieresultater og vurderinger av nedbrytning. I det følgende gis en kort oppsummering av enkeltresultatene.

4.2.1 Prøveoversikt (Klippet fra Sintef – rapporten)

Tabell 1 Oversikt over mottatte prøver og fordeling

km ¹	Prøve	Prøving
Pumpe-sump	ok1	Reserve
Pumpe-sump	ok2	Heft til fjell, fasthet, densitet, fiberinnhold og kloridinnhold
Pumpe-sump	ok3	Karbonatisering, porøsitet, fotografering
Pumpe-sump	ok4	Heft til fjell
Pumpe-sump	ok5	Reserve
Pumpe-sump	ok6	Karbonatisering, porøsitet, fotografering
Pumpe-sump	ok7	Kloridprofil
Pumpe-sump	ok8	Karbonatisering, porøsitet, fotografering
Pumpe-sump	ok9	Fasthet, densitet, fiberinnhold og kloridinnhold
Pumpe-sump	ok10	Planslip, tynnslip (SEM)
Pumpe-sump	ok11	Fasthet, densitet, fiberinnhold og kloridinnhold
Pumpe-sump	ok12	Heft til fjell
15410	ok13	Heft mellom sprøytebetongsjikt, karbonatisering, porøsitet, foto
15410	ok14	Heft mellom sprøytebetongsjikt, karbonatisering, porøsitet, foto
15410	ok15	Fasthet, densitet, fiberinnhold og kloridinnhold
15410	ok16	Heft begge sjikt/strekkprøves over hele lengden
15410	ok17	Heft begge sjikt/strekkprøves over hele lengden
15410	ok18	Heft begge sjikt/strekkprøves over hele lengden
15410	ok19	Karbonatisering, porøsitet, fotografering
15410	ok20	Karbonatisering, porøsitet, fotografering

4.2.2 *Heft mot fjell*

Måling av heft i passeringstunnelen mellom sprøytebetong og fjell ga strekkfastheter 90 % i fjell/betong på 0,5 og 0,8 og en verdi på 0,2 MPa med brudd 90 % i fjell/betong. Det ble her kun utført 3 målinger.

Målingene ved km 15410 viste gjennomgående høyere verdier. Bruddene gikk hovedsakelig i betong eller kontakt mot fjell. Verdiene varierte fra 0,4 til 3,2 MPa med et geometrisk middel på 1,2 MPa. Se rapporten side 2.

Heftmålingene indikerer at det svakeste ledd er overgangen fra fjell til innerste lag sprøytebetong. 6 av 8 prøver gikk til brudd i helt eller delvis i denne overgangen.

4.2.3 *Karboniseringsdybde*

Karboniseringsdybde ble målt fra 1 til 3 mm i passeringstunnelen, middel 2mm. Ved km 15410 er karboniseringsdybden målt fra 9 til 16 mm, middel er 10,5 mm.

4.2.4 *Porøsitet (PF-metoden – begrenset prosedyre)*

Middelverdien for hvert prøvelegeme, i tillegg til følgende antagelser, ble brukt som grunnlag for estimering av masseforhold:

- Bindemiddelmengde 500 kg/m³
- Silikainnhold lik 0 %
- Hydratasjonsgrad 0, 75

Dette er litt forskjellig fra det som er oppgitt i resepten i kap. 2. Dette betyr at masseforholdene kan være litt overestimerte. I tillegg er det observert mikroriss, svovel, Mg og Cl i pasten noe som kan medføre høyere sugporøsitet enn den opprinnelige betongen. Estimerte w/b ved PF-metoden blir dermed noe forhøyet enn for opprinnelig betong.

Passeringstunnelen:

Prøvelegeme	Ok3	Ok6	Ok8
Sugmettet densitet (kg/m ³)	2310	2320	2300
Faststoffdensitet (kg/m ³)	2750	2730	2740
Sugporøsitet (%)	19,8	19,3	19,7
Makroporøsitet (luft) (%)	3,4	3,7	3,4
PF-verdi (%)	15	16	15
Estimert masseforhold	0,53	0,52	0,52

Km 15410:

Prøvelegeme	Ok13	Ok19	Ok20*
Sugmettet densitet (kg/m ³)	2310	2300	2330
Faststoffdensitet (kg/m ³)	2720	2700	2710
Sugporøsitet (%)	18,3	17,6	16,7
Makroporøsitet (luft) (%)	3,6	3,8	3,6
PF-verdi (%)	17	18	18
Estimert masseforhold	0,50	0,48	0,46

- * Ok20 inneholdt ca 10 % fjell, noe som kan ha påvirket resultatene ved reduserte porøsitetsverdier (anm. av Sintef).

4.2.5 Trykkfasthet og fiberinnhold

Prøvelegeme	Ok2	Ok9	Ok11	Ok15*
Sylindertrykkfasthet, omregnet (MPa)	57,1	62,3	69,2	49,5
Estimert fiberinnhold (kg/m ³)	15	23	25	19

* Km 15410

Estimert fiberinnhold er svært lavt i forhold til oppgitt resept i kap. 2.

4.2.6 Kloridinnhold, profiler (Sintef – rapporten) Passeringstunnel

Tabell 8 Kloridinnhold (sjikt mot tunnel)

Prøvelegeme merket	Kloridinnhold per sjikt [% Cl ⁻ av betongvekt]						
	Tunnel =>		Avstand fra overflaten [mm] =>				Fjell
	0-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	...
”ok7”	0,066	0,098	0,089	0,062	0,035	0,028	...

Tabell 9 Kloridinnhold (sjikt mot fjell)

Prøvelegeme merket	Kloridinnhold per sjikt [% Cl ⁻ av betongvekt]					
	Tunnel <= Avstand fra kontaktsone mot fjell[mm] <= Fjell					
	...	30-25	25-20	20-15	15-10	10-0
”ok7”	...	0,014	0,021	0,031	0,030	0,034

Kloridprofilene viser høyere konsentrasjoner mot tunnelen, mens det avtok mot normalt bakgrunnsnivå i midten av prøvelegemet. Kloridnivået var også noe høyere mot fjellet enn midt i prøven. Kloridnivået ligger under grenseverdien for korrosjon.

4.2.7 Kloridinnhold, tørr betongvekt pr. kjerne (Sintef – rapporten)

Tabell 10 Kloridinnhold

Prøver fra prøvestykke merket	Kloridinnhold, % Cl ⁻ av tørr betongvekt		
	Enkeltresultater		Middel
”ok2”	0,013	0,012	0,013
”ok9”	0,018	0,019	0,019
”ok11”	0,026	0,025	0,026
”ok15”	0,024	0,029	0,027

4.2.8 Strukturanalyse

Strukturanalysen ble bare gjennomført på kjerne ok10 fra passeringstunnelen som:

- Visuell undersøkelse
- Mikroanalyse av polerte tynnslip i polarisasjonsmikroskop, benevnt indre og ytre slip. Nesten hele kjernen dekkes av tynnslipene.
- Analyse i sveipelektronmikroskop (SEM) koblet med en elementanalysator av polerslipene fra mikroanalysen

Det henvises til prøvingsrapporten når det gjelder resultatene av strukturanalysen. I det følgende gis en kort og forenklet oppsummering av resultatene fra analysene utført på kjernen ok10. Kjernen består av 3 sjikt hvor alle sjiktene vises i det indre slipet. Betongen i det ytre sjiktet er den samme som i hele det ytre tynnslipet og er fra 2004. De innenforliggende 2 sjiktene antas å være fra 2000 og være den opprinnelige sikringsstøpen.

I det ytterste sjiktet synes masseforholdet å være i underkant av 0,40. Porøsiteten er litt inhomogen og betongoverflaten mot tunnelen er mer porøs enn betongen for øvrig. På grunn av porestrukturen utelukkes det ikke at betongen er tilsatt luftinnførende stoffer. Betongen har et høyt innhold av mikroriss og fine riss, inneholder noe ettringitt i luftporer og krystaller av kaliumklorid. Det utelukkes ikke at betongen kan inneholde kaliumholdig akselerator. Det er registrert en viss anrikning av svovel i det ytterste sjiktet, nær overflaten. Det er observert flygeaske i det ytterste sjiktet.

Det midterste sjiktet er mer porøst enn den øvrige betongen og masseforholdet synes å være ca 0,60. Det er ikke observert ettringitt, betongen er karbonatisert.

Det er ikke observert verken mikrosilika eller flygeaske i de midtre og innerste sjiktene.

Betongen i det innerste sjiktet er meget kraftig krakelert og masseforholdet synes å være nærmere 0,35. Ettringitt observeres i porer og i sementpasta. Mineralet thaumasitt kan opptre sammen med ettringitt på kontaktsonen mellom det midterste og innerste sjiktet. Mot fjellet ble det registrert en endring av betongen i de innerste 11 mm. Svovel- og kalsiumkonsentrasjonene er forhøyet mot fjell og avtar fra ca 11 mm og utover. Det høye sulfatinnholdet kan skyldes tilsetninger eller det forhold at sulfater skilles ut fra saltvann som trenger igjennom. Det faktum at også magnesium og klorid forekommer sammen med svovel indikerer at salt grunnvann er årsaken.

5 VURDERINGER OG KOMMENTARER

I det følgende har vi knyttet noen kommentarer til undersøkelsens delresultater. Resultatene er sammenholdt med resultatene i ref. (1) i de tilfeller hvor det foreligger sammenlignbare resultater.

- Det er utført 3 heftmålinger til fjell i passeringstunnelen hvor bruddene enten har gått i fjell (0,8 MPa) eller mellom eller i sprøytebetong fra 2000 (0,5 og 0,2 MPa). Målingene fra kjernene fra km 15410 ga relativt høye verdier med brudd i betong mot fjell og i fjell. Geometrisk middelverdi var 1,2 MPa. Det foreligger ikke tidligere målinger.
- Måling av karbonatisering på prøver fra passeringstunnelen viser en gjennomsnittlig dybde på 2 mm. Prøvene fra km 15410 viser høyere verdier med et gjennomsnitt på ca. 10,5 mm. Det er observert indre karbonatisering begge steder. Det foreligger ikke tidligere målinger.
- Densitet, trykkfasthet og fiberinnhold ble målt på de samme prøvene. Måleverdiene av densitet er svært jevne for alle prøvene, ca 2300 kg/m³. Det foreligger ikke tidligere densitetsmålinger. Verdiene av trykkfasthetsmålingene var generelt høye og tilsvarende det fasthetsnivå som ble målt i 2005.
- Resultatene tyder på at betongkvaliteten er høyere i passeringstunnelen enn ved km 15410 (ca 20 % høyere fasthet). Dette er ikke i samsvar med målingene av porøsitet som tyder på det motsatte. Det må tillegges at vi bare har en kjernefasthet fra km 15410 mot 3 fastheter fra passeringstunnelen.
- Fiberinnholdet er betydelig under det som oppgis som betongreseptens innhold på 45 kg og det som ble målt i 2005 (36-49 kg).
- Det ble målt kloridinnhold i profil og som totalinnhold i prøven fra passeringstunnelen. Profilet viste et avtagende innhold fra fjellet og ut til ca 30 mm. Fra betongoverflaten og inn var det avtagende inn til dybde 35 mm. Dette kan tyde på at den nye betongen har blitt tilført klorider fra lekkasjevann på betongoverflaten. De 2 eldre sjiktene kan ha blitt tilført klorider fra lekkasjevann gjennom fjellet og ut. Anrikningene er ikke kommentert nærmere i rapporten av Sintef. Med unntak av innholdet i prøvene ok2 og 9 tyder innholdet på at klorider har blitt tilført av salt lekkasjevann i prøvene. Dette støttes også av noe høyt svovel og tilstedeværelse av magnesium i pastaen.
- En midlere PF-verdi på 15 % i passeringstunnelen gir et estimert masseforhold på ca 0,52 hvilket er høyere enn det som oppgis i ref. (1) som var 0,41. Den midlere PF-verdien fra km 15410 er 18 % og et midlere masseforhold lik ca 0,48.
- Det er rimelig god overensstemmelse mellom masseforholdet vurdert ut fra tynnslipsanalysen og verdien fra poreanalysen.

I tynnslipene fra passeringstunnelen ble det observert et høyt innhold av mikroriss i det ytre og indre sjiktet. Det kan ikke utelukkes at det har en sammenheng med at det er påvist ettringitt, men det påpekes samtidig at det ikke er uvanlig med høy rissintensitet i betong med lave masseforhold. Det konkluderes ellers med at strukturanalysen tyder på at betongen fra passeringstunnelen er i «relativt god stand». Med dette menes det at de mekaniske egenskapene til betongen er ikke vesentlig svekket, men de kjemiske analysene viser at det er ting på gang som på sikt kan svekke betongens levetid. Utviklingen bør følges opp videre

1. Oslofjordtunnelen. Prøving av herdnet betong. Sintef 2010-02-12, rapport nr. 33353-1.



Statens vegvesen

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162