



Kartlegging av miljø- betingelser i tunneler

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 236



Foto: Nerconsult

Tittel

Kartlegging av miljøbetingelser i tunneler

Undertittel

Helltunnelen, Ekebergtunnelen og Smestad-tunnelen

Forfatter

Jon Luke

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologi-avdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 236

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Alf Kveen

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling tunneler, betong, bestandighet, miljøbetingelser

Sammendrag

På oppdrag fra etatsprogrammet Varige konstruksjoner har Norconsult AS gjennomført en undersøkelse av tilstanden til betong i vann- og frostsikringslementer, sprøytebetong og plasstøpt betong i Helltunnelen, Smestad-tunnelen og Ekeberg-tunnelen. Det ble utført målinger av kloridinnhold, karbonatisering, fuktinnhold og porøsitet distribuert over tunnelprofilen og i tunnelens lengde, i tillegg til armeringsoverdekning. Armeringskorrosjon kan finne sted der det er karbonatisering og/eller et visst kloridinnhold ved armeringsdybden, forutsatt at det er nok fuktighet og oksygen. Resultatene viser at det er armeringskorrosjon i Smestad-tunnelen, at det er fare for korrosjon i Helltunnelen, mens det i Ekeberg-tunnelen foreløpig ikke er fare for korrosjon.

Title

Survey of environmental conditions in tunnels

Subtitle

The Hell tunnel, the Ekeberg tunnel, and the Smestad tunnel

Author

Jon Luke

Department

Traffic safety, Environment and Technology department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 236

Project manager

Synnøve A. Myren / Alf Kveen

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Durable structures, existing tunnels, concrete, durability, environmental condition

Summary

On commission by NPRAs R&D programme Durable Structures, Norconsult AS has carried out a survey of the condition of the concrete used in linings for water and frost protection in three tunnels: the Hell tunnel, the Smestad tunnel and the Ekeberg tunnel. Chloride content, carbonation, moisture content and porosity was measured around the tunnel cross section and in the length of the tunnel, as well as the reinforcement cover. Reinforcement corrosion takes place where carbonation and/or a certain amount of chloride is present at the reinforcement level, provided sufficient moisture content and oxygen. The survey concludes that reinforcement corrosion is present in the Smestad tunnel, that there is a risk of corrosion in the Hell tunnel, while in the Ekeberg tunnel there is for the time being no risk of corrosion.

Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**.

Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler** som ledes av Alf Kveen. Prosjektet vil skaffe kunnskap om den tekniske tilstanden på tunnelers konstruksjon og utrustning og øke kunnskapen om nedbrytningsmekanismer. Formålet med prosjektet er å utvikle bedre verktøy for tilstandsutvikling, noe som er viktig både for planlegging av drift og vedlikehold av eksisterende tunneler. Prosjektet vil også etablere kunnskap som kan bidra til at fremtidige tunneler bygges og innredes slik at ønsket kvalitet og levetid oppnås.

Rapporten er utarbeidet av *Jon Luke, Norconsult* på oppdrag fra Varige konstruksjoner. Beskrivelse av oppdraget er gjengitt i vedlegg.

Statens vegvesen

Kartlegging av miljøbetingelser i tunneler

Helltunnelen, Ekebergtunnelen og Smestadtunnelen

2013-03-19 Oppdragsnr.: 5113881



02	2012-03-19	Mindre endringer	Jon Luke	Amund Geicke	Amund Geicke
01	2012-09-25	Rapport	Jon Luke	Amund Geicke	Amund Geicke
Rev.	Dato:	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontroll	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Innhold

1	Innledning	8
2	Grunnlag	9
3	Grunnlagsdata for Helltunnelen	10
3.1	Beskrivelse av tunnelen	10
3.2	Lokaliseringssystem	10
4	Tilstandsbeskrivelse Helltunnelen	14
4.1	Innledning	14
4.2	Visuell inspeksjon	14
4.3	Undersøkelser av uttatte kjerner	19
4.3.1	Overdekning	20
4.3.2	Fuktinnhold og porøsitet	21
4.3.3	Karbonatiseringsdybde	22
4.3.4	Kloridinnhold	23
5	Vurdering Helltunnelen	24
5.1	Fuktinnhold og porøsitet	24
5.2	Karbonatisering	25
5.3	Kloridinnhold	27
5.4	Korrosjonsfare	29
6	Grunnlagsdata for Ekebergtunnelen	30
6.1	Beskrivelse av tunnelen	30
6.2	Lokaliseringssystem	31
7	Tilstandsbeskrivelse Ekebergtunnelen	34
7.1	Innledning	34
7.2	Visuell inspeksjon	34
7.3	Undersøkelser av uttatte kjerner	36
7.3.1	Overdekning	37
7.3.2	Fuktinnhold og porøsitet	38
7.3.3	Karbonatiseringsdybde	39
7.3.4	Kloridinnhold	40
8	Vurdering Ekebergtunnelen	41
8.1	Fuktinnhold og porøsitet	41
8.2	Karbonatisering	42
8.3	Kloridinnhold	42
8.4	Korrosjonsfare	44

9	Grunnlagsdata for Smestadtunnelen	45
9.1	Beskrivelse av tunnelen	45
9.2	Lokaliseringssystem	45
10	Tilstandsbeskrivelse Smestadtunnelen	48
10.1	Innledning	48
10.2	Visuell inspeksjon	48
10.3	overdekning	52
10.4	Undersøkelser av uttatte kjerner	53
10.4.1	Fuktinnhold og porøsitet	54
10.4.2	Karbonatiseringsdybde	55
10.4.3	Kloridinnhold	56
11	Vurdering Smestadtunnelen	57
11.1	Fuktinnhold og porøsitet	57
11.2	Karbonatisering	58
11.3	Kloridinnhold	60
11.4	Korrosjonsfare	62
11.5	Utvikling 63	
11.5.1	Karbonatiseringsdybde	63
11.5.2	Kloridinnhold	63
12	Oppsummering og vurdering av resultater	66
13	Vedlegg 1 Bilder av prøvelokasjoner	69
13.1	Bilder fra Helltunnelen	69
13.2	Bilder fra Ekebergtunnelen	76
13.3	Bilder fra Smestadtunnelen	80

Sammendrag

Norconsult har på oppdrag fra Statens vegvesen gjennomført en undersøkelse av miljøbetingelser i Helltunnelen, Ekebergtunnelen og Smestadtunnelen. Rapporten er en del av forprosjektet til etatsprogrammet "Varige konstruksjoner".

Miljøbetingelsene har blitt kartlagt ved å foreta visuell inspeksjon og undersøke overdekning, fuktinnhold og porøsitet, karbonatiseringsdybde samt kloridinnhold.

De mest vesentlige resultatene av undersøkelsene og vurderingen av disse presenteres i Tabell 1.

Tabell 1 De mest vesentlige resultatene av undersøkelsene og vurderingen av disse

	Helltunnelen*	Ekeberg*	Smestad**
Karbonatiseringsdybde	Gjennomsnittlig middelvei er 9,2 mm. Største middelvei er 17,1 mm	Gjennomsnittlig middelvei er 18,0 mm i sprøytebetongen og 0,0 mm i betongelementene.	Gjennomsnittlig middelvei er 7,8 mm. Resultater fra tidligere rapporter tyder på at det er liten utvikling i karbonatiseringen.
Kloridinnhold	Gjennomsnittlig kloridinnhold i høyde 1 er 0,110 % av betongvekt i sjiktet 40-50 mm. I høyde 2 er kloridinnholdet 0,028 % av betongvekt i samme sjikt. Lavt kloridinnhold i høyde 3 og 4.	Gjennomsnittlig kloridinnhold på 0,090 % av betongvekt i sjikt 15-20 mm i sprøytebetongen i høyde 4, i dypere sjikt er det betydelig lavere. Lavt kloridinnhold i de øvrige høydene.	Gjennomsnittlig kloridinnhold på 0,149 og 0,134 % av betongvekt i sjiktet 40-50 mm i henholdsvis prøvelokasjon 1 og prøvelokasjon 5. Lavt kloridinnhold i de øvrige prøvelokasjonene.
Fuktinnhold og porøsitet	Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 72,8 %.	Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 77,3 %	Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 87,9 %
Overdekning	Gjennomsnittlig overdekning er 44,2 mm.	Gjennomsnittlig overdekning er 47,2 mm.	Gjennomsnittlig overdekning er 35,0 mm
Visuell inspeksjon			Bom og avskalling på grunn av armeringskorrosjon ble observert nederst på begge veggene. Liten overdekning i enkelte områder i taket.
Vurdering	Det er fare for armeringskorrosjon i nedre del av veggene på grunn av kloridinnhold. Korrosjonshastighet vil trolig ikke begrenses av fuktinnhold.	Karbonatiseringsdybden og kloridinnholdet i sprøytebetongen tyder på at den er av dårlig kvalitet. Det er foreløpig ikke fare for armeringskorrosjon, men dersom det stemmer at betongkvaliteten er lav vil dette endre seg. Korrosjonshastighet vil trolig ikke begrenses av manglende fuktinnhold.	Armeringskorrosjon på grunn av kloridinnhold har startet i nedre del av veggene. Omfanget vil øke dersom ikke tiltak treffes. Overdekningen i denne tunnelen er mindre enn i de andre. Selv med overdekning lik den som er i de andre tunnelene ville det vært fare for armeringskorrosjon på grunn av kloridinnholdet. Korrosjonshastigheten vil ikke begrenses av manglende fuktinnhold.

*) I Helltunnelen og Ekebergtunnelen gjelder følgende:

Prøvelokasjon 1	Prøvelokasjon 2	Prøvelokasjon 3	Prøvelokasjon 4
Omtrent 0,8 m over bankett	Omtrent 1,6 m over bankett	Omtrent 2,7-2,8 m over bankett	Omtrent 4,7 m over bankett

***) I Smestadtunnelen gjelder følgende:

Prøvelokasjon 1	Prøvelokasjon 2	Prøvelokasjon 3	Prøvelokasjon 4	Prøvelokasjon 5
0,1 m over bankett	1,6 m over bankett	Midt i tak	1,6 m over bankett	0,1 m over bankett

1 Innledning

Norconsult har på oppdrag fra Statens vegvesen gjennomført en undersøkelse av miljøbetingelser i Helltunnelen, Ekebergtunnelen og Smestadtunnelen. Rapporten er en del av forprosjektet til etatsprogrammet "Varige konstruksjoner".

Med bistand fra Mesta har kjerneprøver blitt tatt ut fra de aktuelle tunnelene. SINTEF har analysert fuktinnhold og porøsitet, karbonatiseringsdybde og kloridinnhold i kjernene. Norconsult har målt overdekning og armeringsdimensjon i kjernene og foretatt visuell inspeksjon.

Denne rapporten skal gi et svar på hvilke miljøbetingelser som gjelder for betongen i de aktuelle tunnelene.

2 Grunnlag

Følgende dokumenter har blitt benyttet ved utarbeidelse av rapporten:

- [1] "Kartlegging av miljøbetingelser i tunneler", oppdragsbeskrivelse skrevet av Statens vegvesen ved Jan-Magnus Østvik
- [2] "Prøvingsrapport Hell- Smestad- og Ekeberg tunnelen ", skrevet av SINTEF ved Ola Skjølsvold 17. januar 2012.
- [3] "Smestadtunnelen – kjerneboring og kontroll ", skrevet av Multiconsult ved Halvor Winsnes 25. januar 2002.
- [4] "Karbonatiseringsmålinger i Smestadtunnelen ", skrevet av Noteby ved Pål Jacob Gjerp 26. februar 1993.

3

Grunnlagsdata for Helltunnelen

3.1 BESKRIVELSE AV TUNNELEN

Helltunnelen fører E6 fra Hommelvik til Hell, og er lokalisert omtrent 30 kilometer øst for Trondheim. Tunnelen ble åpnet for trafikk i 1996.

Tunnelhvelvet består av betongelementer på veggene og sprøytebetong i taket. Bak elementene og sprøytebetongen er det plater med PE-skum som fungerer som vann- og frostsikring.

Tunnelen har ett løp med toveis trafikk og er 3928 meter lang.

3.2 LOKALISERINGSSYSTEM

For å kartlegge tunnelens tilstand har betongkjerner blitt tatt ut og undersøkt. Kjernene har blitt tatt ut fra fire prøvelokasjoner i ni profiler i østgående kjørebane.

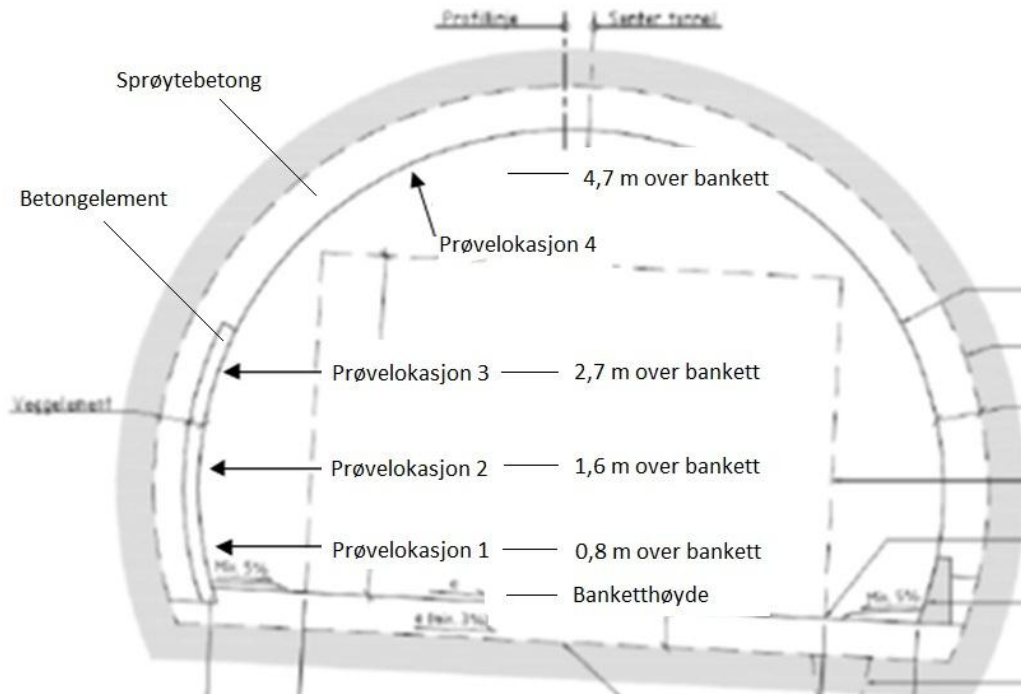
Tabell 2 viser lokalitetene til de ni profilene. Den viser også hvilke undersøkelser som har blitt gjort på kjernene fra de ulike prøvelokasjonene.

Tabell 2 Profilenes lokalitet og utførte undersøkelser

Profil	Prøve-lokasjon	Lokalitet	Klorid	Karbonatisering	Fukt	Overdekning*
H1	H1-1	Vestre portal +10m	X	X		X
	H1-2	Vestre portal +10m	X	X	X	X
	H1-3	Vestre portal +10m	X	X	X	X
	H1-4	Vestre portal +10m	X	X	X	
H2	H2-1	Vestre portal +500m	X	X		X
	H2-2	Vestre portal +500m	X	X	X	X
	H2-3	Vestre portal +500m	X	X	X	X
	H2-4	Vestre portal +500m	X	X	X	
H3	H3-1	Vestre portal +1000m	X	X		X
	H3-2	Vestre portal +1000m	X	X	X	X
	H3-3	Vestre portal +1000m	X	X	X	X
	H3-4	Vestre portal +1000m	X	X	X	
H4	H4-1	Vestre portal +1500m	X	X		X
	H4-2	Vestre portal +1500m	X	X	X	X
	H4-3	Vestre portal +1500m	X	X	X	X
	H4-4	Vestre portal +1500m	X	X	X	
H5	H5-1	Vestre portal +2000m	X	X		X
	H5-2	Vestre portal +2000m	X	X	X	X
	H5-3	Vestre portal +2000m	X	X	X	X
	H5-4	Vestre portal +2000m	X	X	X	
H6	H6-1	Vestre portal +2500m	X	X		X
	H6-2	Vestre portal +2500m	X	X	X	X
	H6-3	Vestre portal +2500m	X	X	X	X
	H6-4	Vestre portal +2500m	X	X	X	
H7	H7-1	Vestre portal +3000m	X	X		X
	H7-2	Vestre portal +3000m	X	X	X	X
	H7-3	Vestre portal +3000m	X	X	X	X
	H7-4	Vestre portal +3000m	X	X	X	
H8	H8-1	Vestre portal +3500m	X	X		X
	H8-2	Vestre portal +3500m	X	X	X	X
	H8-3	Vestre portal +3500m	X	X	X	X
	H8-4	Vestre portal +3500m	X	X	X	
H9	H9-1	Østre portal -10m	X	X		X
	H9-2	Østre portal -10m	X	X	X	X
	H9-3	Østre portal -10m	X	X	X	X
	H9-4	Østre portal -10m	X	X	X	

*) Overdekning ble målt i de fleste kjerner, også de fra prøvelokasjon 4. I enkelte kjerner ble det ikke funnet armering. På grunn av oppstartsproblemer ble ikke overdekning målt i de første kjernene som ble tatt ut.

Figur 1 viser hvilke høyder og hvilke konstruksjonsdeler kjernene har blitt tatt ut fra. For å utføre undersøkelsene har det blitt tatt ut tre kjerner fra hver prøvelokasjon.



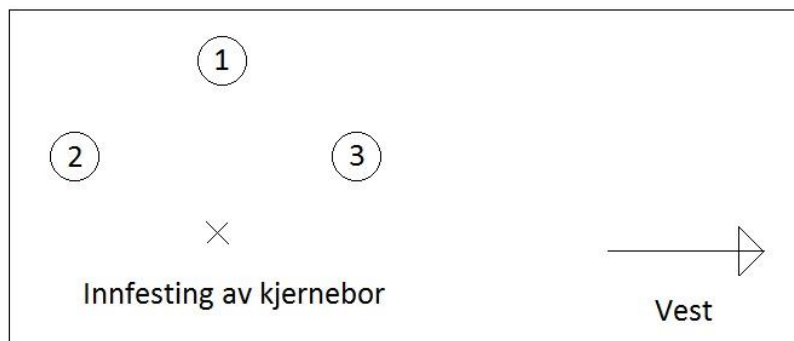
Figur 1 Prøvelokasjonenes høyder

Det er unntak fra høydene i Figur 1, de er oppsummert i Tabell 3.

Tabell 3 Unntak i prøvelokasjonenes høyder

Prøve-lokasjon	Høyde over bankett, profil H1	Høyde over bankett, profil H2	Høyde over bankett, profil H5
1	0,6 m	0,75 m	Ingen kjerneuttak. I denne profilen er det sprøytebetong ved høydene til prøvelokasjonene 1-3, i motsetning til de andre profilene hvor det er elementer. Kjerner fra disse prøvelokasjonene i denne profilen vil derfor ikke kunne sammenlignes med andre kjerner.
2	1,4 m	1,85 m	
3	2,2 m	2,7 m	

Høydene angir innfesting av kjernebor. Boret roterer om denne innfestingen med en radius på 21 cm. Kjernene ble tatt ut og nummerert som vist på Figur 2.



Figur 2 Nummerering av kjerner i prøvelokasjonene

Kjernenes ID er altså bestemt av profil, prøvelokasjon og nummerering ved boring. For eksempel er kjernen som er merket H4-2.3 tatt ut i profil 4, prøvelokasjon 2 og til høyre for innfestingen av kjerneboret.

4 Tilstandsbeskrivelse Helltunnelen

4.1 INNLEDNING

Arbeidene i Helltunnelen ble utført over tre netter i perioden 24. – 27. oktober 2011. I denne perioden var været i området stabilt. Det var opphold, lite vind og ingen store temperaturvariasjoner. 26. oktober klokka 23:48 ble temperaturen 10 meter inn i tunnelen fra østre inngang målt til 13 °C.

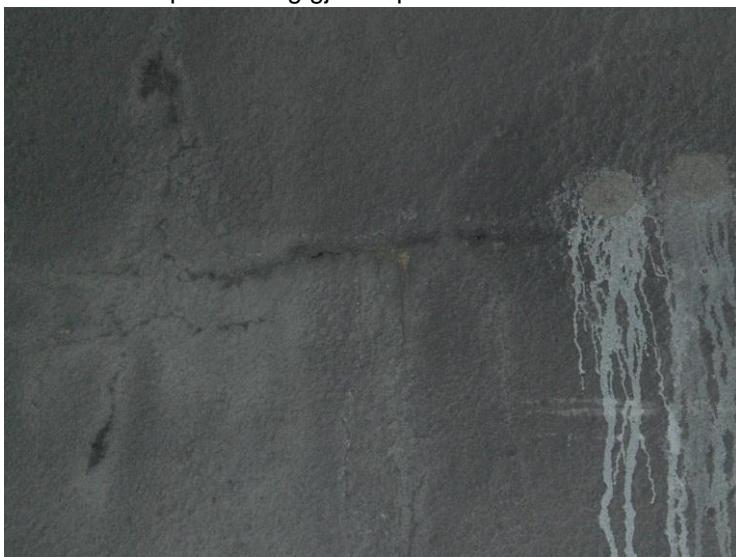
Mesta, representert ved bas Per Olav Tømmerås og hans mannskap på to til tre personer, sto for uttak av kjerner. Norconsult, representert ved Jon Luke, sto for pakking av kjerner, måling av overdekning og armeringsdimensjon samt visuell inspeksjon. Totalt ble 99 kjerner tatt ut fra fire prøvelokasjoner i ni profiler. Lift ble benyttet for atkomst til de to øverste prøvelokasjonene.

4.2 VISUELL INSPEKSJON

I nærheten av flere av profilene ble det registrert skader i betongen.

Profil 1

Nær H1-4 er det en skade i sprøytebetongen, muligens på grunn av skjøt av matter med PE-skum. Bilde 1 viser sprekken og gjenstøpte uttakshull.



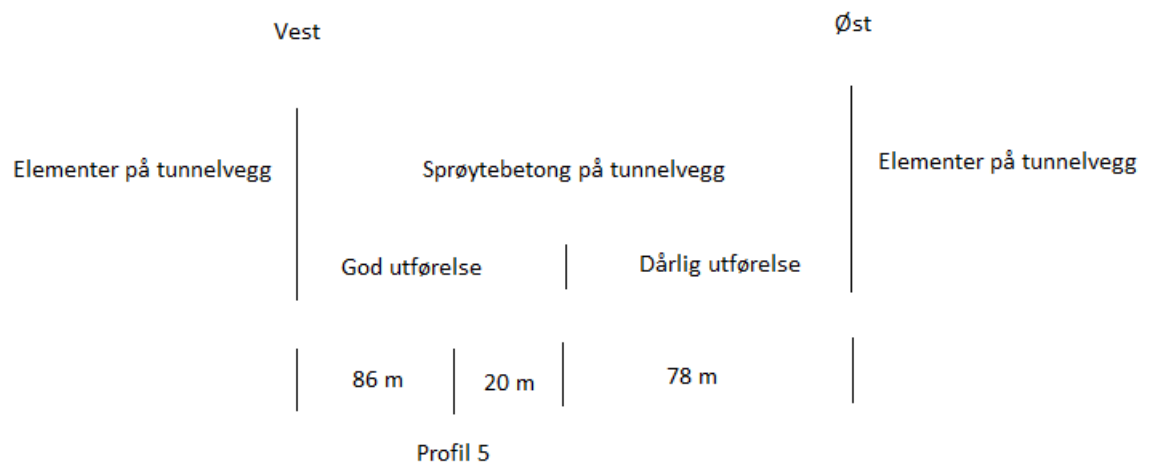
Bilde 1 Skade i betong nær H1-4

Profil 2

Tre meter øst for profilen er det en vertikal sprekk i sprøytebetongen, fra betongelementet og opp i taket.

Profil 5

I profil 5 er det sprøytebetong i hele tunnelprofilen, mens det i de øvrige profilene er elementer på veggene. En del av sprøytebetongen er utført med lav kvalitet, omfanget av dette er vist i Figur 3.



Figur 3 Omfang av sprøytebetong av lav kvalitet ved profil 5

I sprøytebetongen med dårlig utførelse er det en del bom. I tillegg er laget av sprøytebetong tynt. Flere steder vises armeringen tydelig, som vist på Bilde 2.



Bilde 2 Armering vises bak tynt lag med sprøytebetong ved profil 5

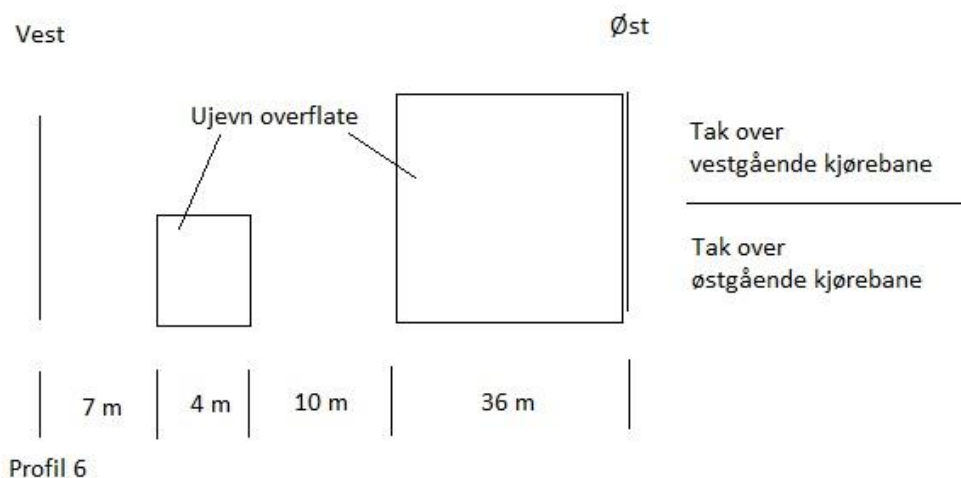
Profil 6

I to områder i nærheten av profil 6 har det trolig ikke blitt benyttet matter av PE-skum. I stedet har sprøytebetongen blitt påført direkte på berget. Dette gir en ujevn overflate, som vist på Bilde 3.



Bilde 3 Sprøytebetong påført direkte på berg ved profil 6

Figur 4 viser hvilke områder dette gjelder.



Figur 4 Områder med sprøytebetong direkte på berg

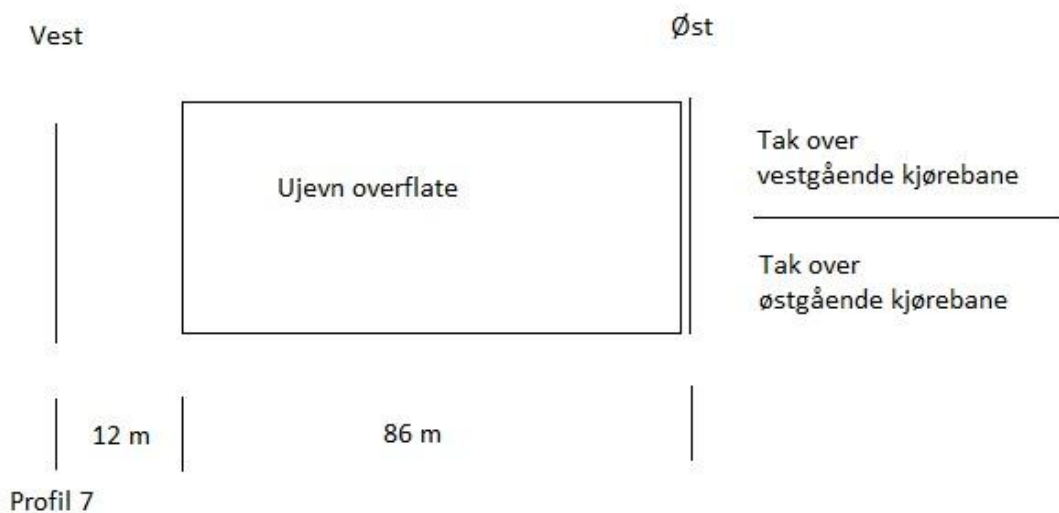
Profil 7

12 meter øst for profil 7 er det en sprekk i sprøytebetongen fra element i østgående kjørebane til element i vestgående kjørebane. Sprekken er 2 - 3 cm vid og dybden er anslått til å være 10 cm. En del av sprekken er vist på Bilde 4.



Bilde 4 Sprekk nær profil 7

Også nær profil 7 er det et område hvor sprøytebetongen trolig har blitt påført direkte på berget. Området dette gjelder er vist på Figur 5.



Figur 5 Områder med sprøytebetong direkte på berg

Profil 8

Det ble registrert en stor sprekk i sprøytebetongen 3 meter vest for profilen. Sprekken går fra element i østgående kjørebane til midt på tak og er 2 cm bred, som vist på Bilde 5.



Bilde 5 Sprekk nær profil 8

En tilsvarende sprekk ble registrert i vestgående kjørebane 4 meter øst for profil 8.

4.3 UNDERSØKELSER AV UTTATTE KJERNER

Armeringsoverdekning og armeringsdimensjon i kjernene ble målt på stedet av Norconsult. Karboniseringsdybde, fuktinnhold og kloridinnhold ble senere målt av SINTEF, som skrevet i [2].

Oversikt over kjernene er gitt i Tabell 4.

Tabell 4 Oversikt over kjernene

Antall serier med kjerner	Antall kjerner	Kjernenes diameter	Kjernenes lengde	Armeringsdimensjon
9 serier, kalt H1-H9	99 kjerner, 12 stk fra hver serie, bortsett fra serien H5 som kun inneholdt 3 stk	75 mm	80-120 mm	6 og/eller 8 mm

4.3.1 Overdekning

Målt overdekning er vist i Tabell 5.

Tabell 5 Målt overdekning

Kjerne	Overdekning [mm]	Kjerne	Overdekning [mm]	Kjerne	Overdekning [mm]
H1-2.2	50	H5-4.1	30	H8-3.2	53
H2-1.1	51	H5-4.2	28	H8-3.3	Ingen armering
H2-1.2	44	H5-4.3	17	H8-4.1	38
H2-1.3	50	H6-1.1	43	H8-4.2	35
H2-2.1	43	H6-1.2	Ingen armering	H8-4.3	Ingen armering
H2-2.2	51	H6-1.3	Ingen armering	H9-1.1	55
H2-2.3	Ingen armering	H6-2.1	50	H9-1.2	Ingen armering
H2-3.1	57	H6-2.2	Ingen armering	H9-1.3	45
H2-3.2	55	H6-2.3	45	H9-2.1	Ingen armering
H2-3.3	43	H6-3.1	48	H9-2.2	42
H2-4.2	47	H6-3.2	54	H9-2.3	45
H2-4.3	55	H6-3.3	47	H9-3.1	46
H3-1.1	42	H6-4.1	29	H9-3.2	51
H3-1.2	48	H6-4.2	30	H9-3.3	44
H3-1.3	44	H6-4.3	32	H9-4.1	Ingen armering
H3-2.1	49	H7-1.1	Ingen armering	H9-4.2	40
H3-2.2	43	H7-1.2	38	H9-4.3	45
H3-2.3	Ingen armering	H7-1.3	31		
H3-3.1	Ingen armering	H7-2.1	45		
H3-3.2	52	H7-2.2	50		
H3-3.3	47	H7-2.3	30		
H3-4.1	32	H7-3.1	50		
H3-4.2	Ingen armering	H7-3.3	50		
H3-4.3	29	H7-4.1	Ingen armering		
H4-2.1	39	H7-4.2	50		
H4-2.2	40	H7-4.3	55		
H4-2.3	45	H8-1.1	49		
H4-3.1	Ingen armering	H8-1.2	50		
H4-3.2	49	H8-1.3	45		
H4-3.3	Ingen armering	H8-2.1	47		
H4-4.1	Ingen armering	H8-2.2	45		
H4-4.2	57	H8-2.3	41		
H4-4.3	Ingen armering	H8-3.1	Ingen armering		
Gjennomsnitt alle målinger			44,2 mm		

4.3.2 Fuktinnhold og porøsitet

Fuktinnhold og porøsitet er vist i Tabell 6. Merk at undersøkelse av kjernene fra prøvelokasjon 1 ikke er en del av oppdraget.

Tabell 6 Fuktinnhold og porøsitet

	H1-2.3	H1-3.3	H1-4.3	H2-2.3	H2-3.3	H2-4.3	H3-2.3	H3-3.3	H3-4.3	
Sugporøsitet	11,2	10,8	19,5	13,0	12,5	18,4	12,1	11,5	17,2	[%]
Makroporøsitet	2,9	2,5	4,9	3,1	3,6	4,5	2,3	1,2	4,4	[%]
PF-verdi	0,21	0,19	0,20	0,19	0,22	0,20	0,16	0,10	0,20	
Initiell fukt	4,2	3,9	8,7	4,4	4,0	6,4	3,8	3,0	6,2	[vekt %]
Initiell fukt	9,5	9,0	18,7	9,7	9,0	13,7	8,6	7,1	13,9	[volum %]
Initiell densitet	2375	2399	2348	2323	2360	2293	2375	2434	2392	[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2391	2417	2355	2356	2395	2340	2409	2478	2425	[kg/m ³]
Trykkmettet	2420	2442	2404	2387	2431	2386	2432	2490	2469	[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2652	2664	2856	2653	2705	2798	2672	2708	2874	[kg/m ³]
Tørredensitet	2280	2309	2160	2226	2270	2156	2289	2363	2253	[kg/m ³]
	H4-2.3	H4-3.3	H4-4.3	H5-4.3	H6-2.3	H6-3.3	H6-4.3	H7-2.3	H7-3.3	
Sugporøsitet	11,4	11,3	18,5	16,6	10,6	9,9	17,1	10,9	10,6	[%]
Makroporøsitet	1,6	1,4	4,8	5,4	2,4	2,8	4,2	3,4	4,6	[%]
PF-verdi	0,12	0,11	0,20	0,25	0,19	0,22	0,20	0,24	0,30	
Initiell fukt	3,4	3,5	6,5	5,3	3,2	2,9	5,7	3,1	3,1	[vekt %]
Initiell fukt	7,9	8,2	13,8	11,8	7,3	6,6	12,6	7,2	6,9	[volum %]
Initiell densitet	2444	2402	2272	2355	2378	2379	2346	2376	2306	[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2478	2433	2319	2403	2411	2412	2390	2413	2343	[kg/m ³]
Trykkmettet	2494	2448	2366	2457	2435	2440	2432	2447	2390	[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2716	2660	2781	2869	2651	2651	2817	2689	2640	[kg/m ³]
Tørredensitet	2364	2320	2134	2236	2305	2313	2220	2304	2237	[kg/m ³]
	H7-4.1	H8-2.3	H8-3.3	H8-4.3	H9-2.3	H9-3.3	H9-4.3			
Sugporøsitet	18,2	11,4	10,3	17,9	10,7	10,2	17,4			[%]
Makroporøsitet	4,7	2,4	2,2	4,5	2,7	2,5	4,6			[%]
PF-verdi	0,20	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,21			
Initiell fukt	6,1	3,4	3,0	6,2	3,2	2,8	5,9			[vekt %]
Initiell fukt	13,2	7,9	6,9	13,2	7,6	6,6	12,9			[volum %]
Initiell densitet	2283	2393	2398	2266	2457	2436	2312			[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2333	2428	2432	2314	2487	2473	2357			[kg/m ³]
Trykkmettet	2380	2451	2454	2358	2514	2497	2403			[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2789	2683	2661	2751	2747	2715	2801			[kg/m ³]
Tørredensitet	2151	2314	2329	2134	2381	2370	2183			[kg/m ³]

4.3.3 Karbonatiseringsdybde

De målte karbonatiseringsdybdene er vist i Tabell 7.

Tabell 7 Målte karbonatiseringsdybder

Kjerne	Karbonatiseringsdybde [mm], variasjon	Karbonatiseringsdybde [mm], middelverdi
H1-1.2	4,0-5,5	4,7
H1-2.2	6,5-8,0	7,3
H1-3.2	5,0-9,0	6,8
H1-4.2	5,0-8,0	7,0
H2-1.2	8,0-11,0	9,5
H2-2.2	12,5-16,0	14,2
H2-3.2	13,5-16,0	15,1
H2-4.2	10,0-15,0	13,0
H3-1.2	9,0-11,0	9,7
H3-2.2	12,0-14,0	12,8
H3-3.2	10,0-13,5	11,9
H3-4.2	5,0-10,0	8,0
H4-1.2	9,0-12,5	9,4
H4-2.2	8,5-13,5	11,5
H4-3.2	8,5-11,0	9,8
H4-4.2	2,0-7,0	5,0
H5-4.2	4,0-8,0	6,0
H6-1.2	2,5-6,0	4,5
H6-2.2	3,5-6,5	4,8
H6-3.2	2,5-8,5	6,0
H6-4.2	5,0-20,0	13,0
H7-1.2	10,0-12,5	11,1
H7-2.2	14,0-15,5	14,7
H7-3.2	16,0-18,5	17,1
H7-4.2	3,0-8,0	6,0
H8-1.2	6,0-8,5	7,6
H8-2.2	8,0-10,5	9,1
H8-3.2	9,0-14,0	11,8
H8-4.2	3,0-7,0	5,0
H9-1.2	4,0-9,0	6,0
H9-2.2	6,5-8,5	7,9
H9-3.2	9,0-12,5	10,5
H9-4.2	6,0-10,0	8,0

4.3.4 **Kloridinnhold**

Kloridinnhold i % av betongvekt er vist i Tabell 8.

Tabell 8 Kloridinnhold

Sjikt [mm]	H1				H2				
	1.1	2.1	3.1	4.2	1.1	2.1	3.1	4.2	
0-5	0,134	0,141	0,159	0,118	0,174	0,186	0,245	0,164	
5-10	0,255	0,233	0,159	0,154	0,215	0,163	0,146	0,120	
10-15	0,273	0,249	0,210	0,116	0,322	0,157	0,078	0,070	
15-20	0,266	0,254	0,178	0,048	0,322	0,181	0,059	0,041	
20-30	0,233	0,194	0,133	0,015	0,259	0,134	0,044	0,017	
30-40	0,200	0,143	0,073	0,010	0,187	0,059	0,025	0,012	
40-50	0,174	0,102	0,036	0,010	0,163	0,030	0,017	0,013	
Sjikt [mm]	H3				H4				H5
	1.1	2.1	3.1	4.2	1.3	2.1	3.1	4.2	4.1
0-5	0,204	0,220	0,143	0,179	0,201	0,162	0,194	0,204	0,292
5-10	0,218	0,106	0,060	0,119	0,244	0,128	0,060	0,205	0,194
10-15	0,361	0,111	0,080	0,047	0,422	0,148	0,022	0,086	0,056
15-20	0,443	0,164	0,082	0,014	0,346	0,143	0,014	0,023	0,015
20-30	0,336	0,143	0,043	0,012	0,282	0,080	0,012	0,005	0,006
30-40	0,266	0,066	0,021	0,009	0,157	0,030	0,005	0,004	0,006
40-50	0,215	0,037	0,013	0,009	0,133	0,018	0,009	0,003	0,005
Sjikt [mm]	H6				H7				
	1.1	2.1	3.1	4.1	1.1	2.1	3.1	4.1	
0-5	0,244	0,285	0,198	0,318	0,340	0,295	0,145	0,211	
5-10	0,334	0,219	0,046	0,132	0,363	0,328	0,063	0,138	
10-15	0,322	0,130	0,016	0,074	0,385	0,338	0,012	0,057	
15-20	0,215	0,067	0,010	0,022	0,316	0,258	0,000	0,025	
20-30	0,090	0,023	0,007	0,011	0,208	0,110	0,000	0,012	
30-40	0,038	0,009	0,007	0,008	0,083	0,002	0,000	0,000	
40-50	0,009	0,009	0,010	0,009	0,037	0,000	0,000	0,000	
Sjikt [mm]	H8				H9				
	1.1	2.1	3.1	4.1	1.1	2.1	3.1	4.1	
0-5	0,223	0,217	0,184	0,213	0,169	0,191	0,161	0,263	
5-10	0,275	0,209	0,107	0,164	0,278	0,213	0,117	0,178	
10-15	0,412	0,254	0,050	0,042	0,315	0,265	0,103	0,042	
15-20	0,404	0,189	0,021	0,006	0,271	0,209	0,074	0,021	
20-30	0,323	0,102	0,014	0,000	0,185	0,103	0,028	0,013	
30-40	0,204	0,021	0,014	0,000	0,068	0,023	0,011	0,010	
40-50	0,118	0,011	0,014	0,000	0,028	0,014	0,010	0,011	

5 Vurdering Helltunnelen

5.1 FUKTINNHOOLD OG PORØSITET

Nøkkeltall for fuktinnhold og porøsitet er gitt i Tabell 9.

Vannmetningsgraden i de ulike profilene er jevn dersom det ses bort fra profil 1. I profilene 2-9 er vannmetningsgraden 69,1 – 74,0 %, mens den er 89,9 % i profil 1. Dette kan delvis forklares med skaden i sprøytebetongen nær prøvelokasjon H1-4 som ble omtalt under visuell inspeksjon. I kjernen fra denne prøvelokasjonen, H1-4.3, er vannmetningsgraden 96,1 %.

Vannmetningsgraden er høyere i sprøytebetongen enn i betongelementene. Det er naturlig med forskjeller i de ulike betongene, men også denne forskjellen blir mindre dersom det ses bort fra profil 1. I så fall vil vannmetningsgraden være 70,3 % og 67,1 % i betongelementene og 74,4 % i sprøytebetongen.

Tabell 9 Nøkkeltall fuktinnhold og porøsitet

	Sugporøsitet [%]	Makroporøsitet [%]	Initiell fukt [volum %]	Vannmetningsgrad [%] (forholdet mellom initiell fukt og sugporøsitet)
Gjennomsnitt alle målinger	13,6	3,3	10,0	72,8
Minste registrerte	11,5	1,2	7,1	61,4
Største registrerte	19,5	4,9	18,7	96,1
Gjennomsnitt prøvelokasjon 2	11,4	2,6	8,2	72,1
Gjennomsnitt prøvelokasjon 3	10,9	2,6	7,5	69,0
Gjennomsnitt prøvelokasjon 4	17,9	5,0	13,8	76,8
Gjennomsnitt profil 1	13,8	3,4	12,4	88,2
Gjennomsnitt profil 2	14,6	3,7	10,8	73,7
Gjennomsnitt profil 3	13,6	2,6	9,9	71,1
Gjennomsnitt profil 4	13,7	2,6	10	72,3
Gjennomsnitt profil 5	16,6	5,4	11,8	71,2
Gjennomsnitt profil 6	12,5	3,1	8,8	69,9
Gjennomsnitt profil 7	13,2	4,2	9,1	67,7
Gjennomsnitt profil 8	13,2	3,0	9,3	70,0
Gjennomsnitt profil 9	12,8	3,3	9,1	70,0

5.2 KARBONATISERING

Nøkkeltall for middelverdier av karbonatiseringsdybdene er gitt i Tabell 10.

Tabell 10 Nøkkeltall karbonatisering

Nøkkeltall for karbonatiseringsdybder	[mm]
Gjennomsnitt alle karbonatiseringsdybder	9,2
Minste registrerte karbonatiseringsdybde	4,5
Største registrerte karbonatiseringsdybde	17,1

Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i profilene er vist i Diagram 1. Variasjonen kan komme av tilfeldige forskjeller i betongkvalitet. Det forventes mindre karbonatisering i betong med høy vannmetningsgrad. Det ses ingen klar sammenheng mellom vannmetningsgradene og karbonatiseringsdybdene i profilene.

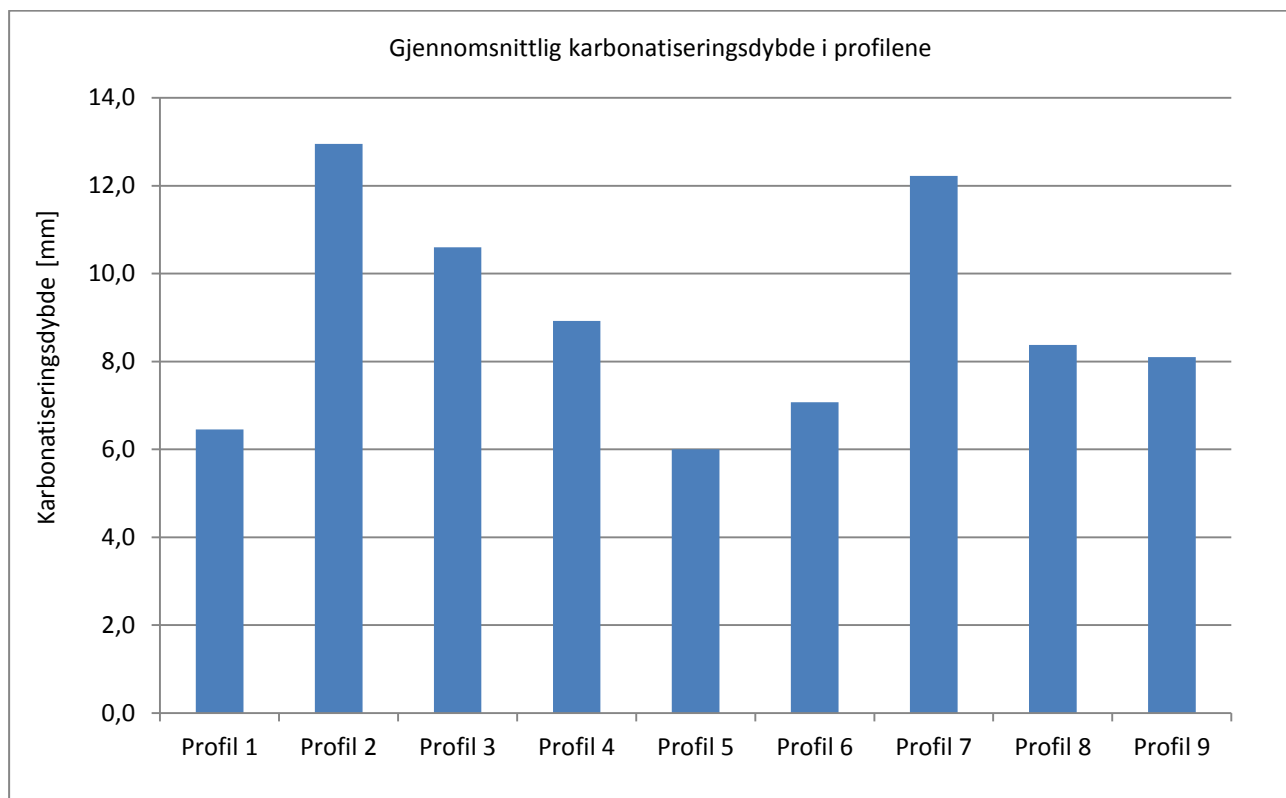


Diagram 1 Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i profilene

Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i prøvelokasjonene er vist i Diagram 2. I betongelementene øker dybden med økende høyde i betongelementene. Dette kan tyde på at vannmetningsgraden i betongelementene avtar med økende høyde, selv om undersøkelsene av fuktinnholdet ikke viser dette entydig. En forklaring på forskjellen i vannmetningsgraden kan være at veggens nederste del muligens er i kontakt med vann. Karbonatiseringsdybden er lavere i sprøytebetongen. Dette kan forklares med at sprøytebetongen har en høyere vannmetningsgrad enn betongelementene, som vist ved undersøkelsene av fuktinnholdet.

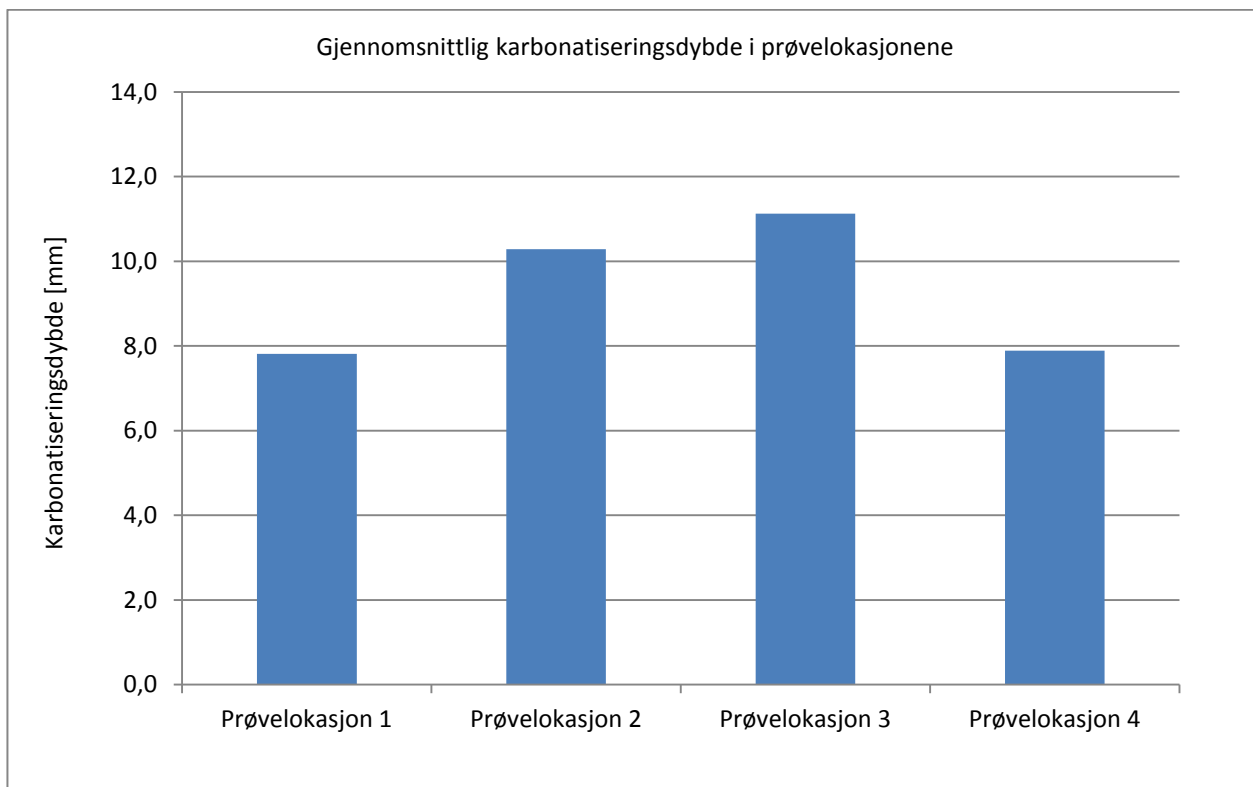


Diagram 2 Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i prøvelokasjonene

5.3 KLORIDINNHOLD

Diagram 3 viser gjennomsnittlig kloridinnhold for de ulike profilene. Profil 5 og 6 skiller seg ut med lavere kloridinnhold. Dette kan komme av at kloridbelastningen er mindre midt i tunnelen enn hva den er nær åpningene fordi det ikke er like stort behov for vegsalting i tunnelen. I tillegg er vegbanen tørrere midt i tunnelen slik at kloridholdig vann ikke spruter på veggene i like stor grad som ved våt vegbane.

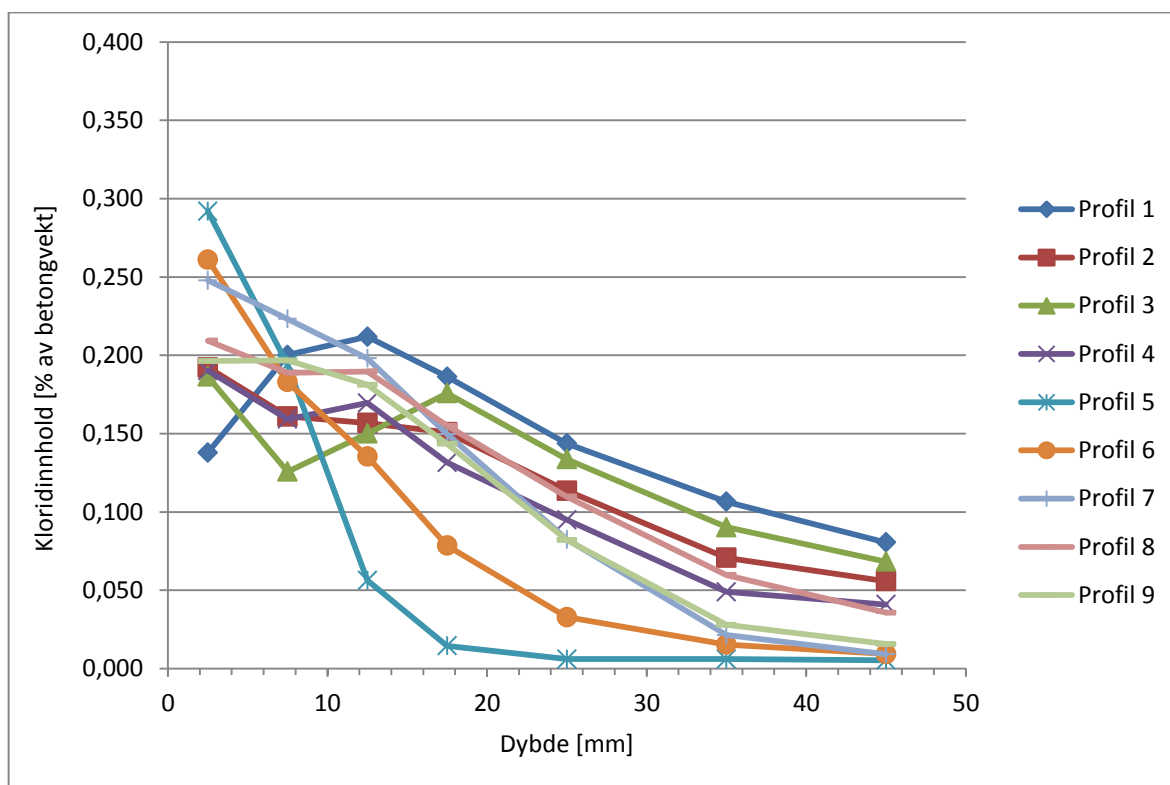


Diagram 3 Gjennomsnittlig kloridinnhold i profilene

Diagram 4 viser gjennomsnittlig kloridinnhold for de ulike prøvelokasjonene. Ved prøvelokasjon 1 kan det forventes at betongen blir eksponert for direkte sprut av kloridholdig vann på grunn av trafikk. Ved prøvelokasjon 2 kan det også forventes direkte sprut av kloridholdig vann, men i mindre grad. Ved prøvelokasjon 3 er betongen trolig ikke eksponert for direkte kloridsprut, men klorider som virvles opp i lufta med vann og støv. Det samme gjelder for prøvelokasjon 4.

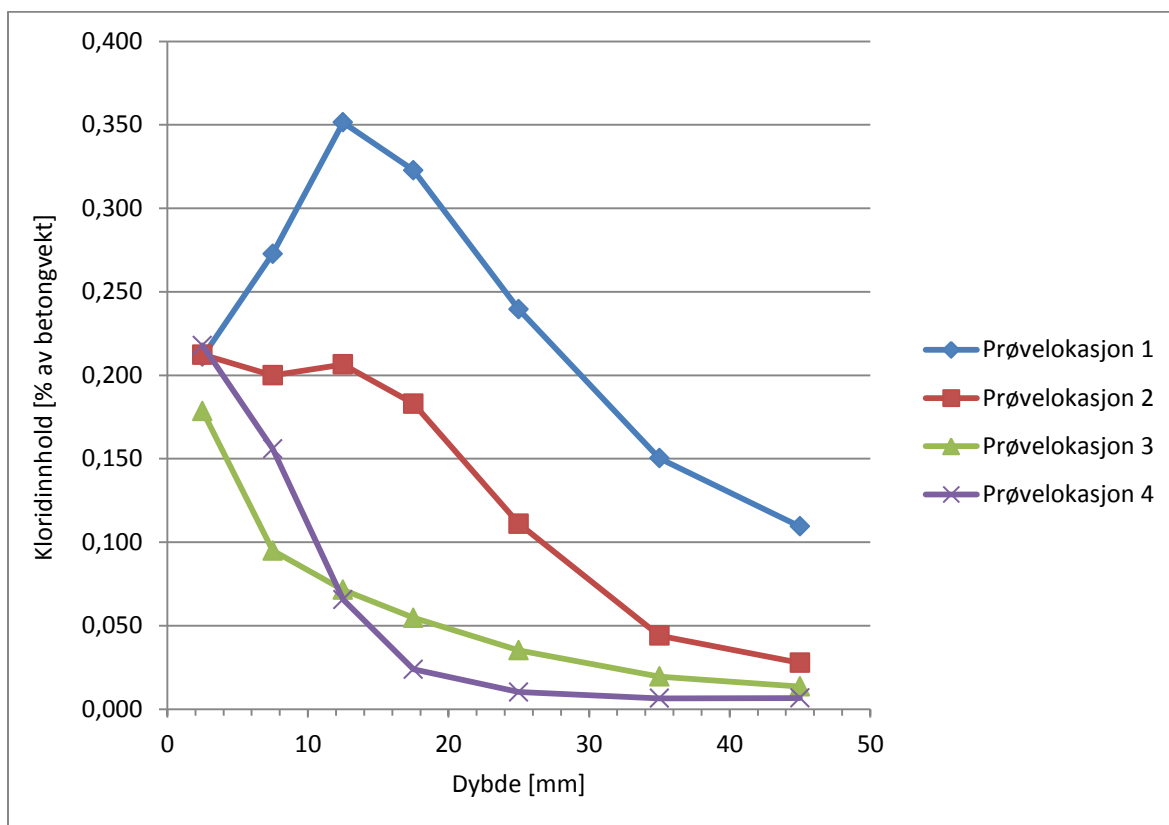


Diagram 4 Gjennomsnittlig kloridinnhold i prøvelokasjonene

5.4 KORROSJONSFARE

Faren for armeringskorrosjon i tunnelen har blitt vurdert. Det er risiko for korrosjon dersom det er karbonatisering og/eller et visst kloridinnhold ved armeringsdybden. Dette forutsetter at tilstrekkelig fuktighet og oksygen er tilgjengelig.

Karbonatisering utgjør ingen stor fare for armeringskorrosjon i tunnelen. Det ble ikke funnet karbonatisering ved armeringsdybde i noen prøvelokasjoner. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde er 9,2 mm og den dypeste karbonatiseringen ble funnet i kjerne H7-3.2 med 17,1 mm. Overdekningen i denne kjernen ble ikke målt, men alle målte overdekninger er betraktelig større enn 17 mm, de aller fleste er over 40 mm.

En relativ fuktighet i betong på omtrent 95 % er optimalt for hastigheten på armeringskorrosjon. Lavere relativ fuktighet begrenser korrosjon fordi betongens elektrolyttiske evne reduseres. Ved høyere relativ fuktighet enn 95 % begrenses korrosjonshastigheten på grunn av redusert oksygentilgang. En gjennomsnittlig vannmetningsgrad på 72,8 % indikerer at den relative fuktigheten er i overkant av 90 %. Hastigheten på eventuell armeringskorrosjon i tunnelen vil trolig ikke begrenses av fuktinnholdet.

Kjernene med kloridinnhold på minst 0,05 % av betongvekt i armeringsdybde eller antatt armeringsdybde er listet opp i Tabell 11. Det er fare for armeringskorrosjon i disse sju prøvelokasjonene, av totalt 33 prøvelokasjoner i tunnelen.

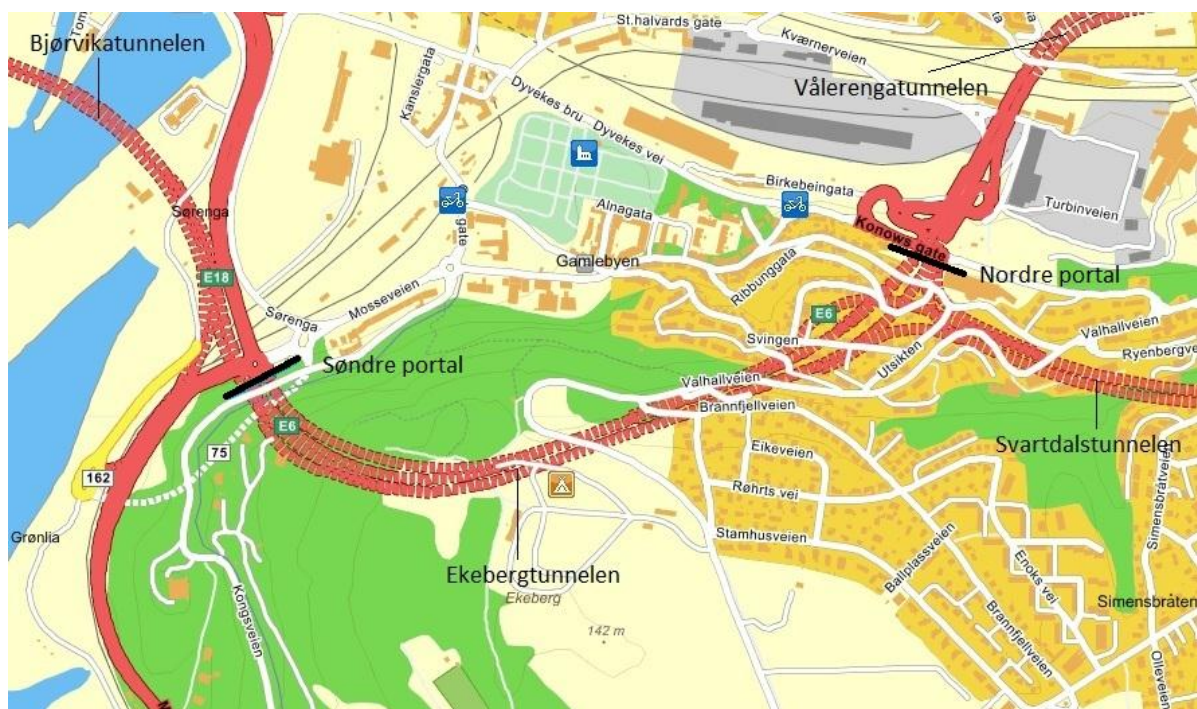
Tabell 11 Prøvelokasjoner med risiko for armeringskorrosjon

Prøve-lokasjon	Gjennomsnittlig overdekning [mm]	Kloridinnhold [% av betongvekt] /sjikt [mm]	Vannmetningsgrad [%] (forholdet mellom initiell fukt og sugporøsitet)
H1-1	Ikke målt	0,174 /40-50	Ikke målt
H1-2	50	0,163 /40-50	85,4
H1-3	Ikke målt	0,215 /40-50	83,1
H2-1	48	0,163 /40-50	Ikke målt
H3-1	45	0,215 /40-50	Ikke målt
H4-1	Ikke målt	0,133 /40-50	Ikke målt
H8-1	48	0,118 /40-50	Ikke målt

6 Grunnlagsdata for Ekebergtunnelen

6.1 BESKRIVELSE AV TUNNELEN

Ekebergtunnelen er en av fire tunneler som utgjør Operatunnelen. Ekebergtunnelen binder Bjørvikatunnelen i vest med Svartdalstunnelen i øst. I tillegg består Ekebergtunnelen av utkjøringer på riksvei 190 med tilknytning til østre del av Oslo sentrum og Vålerengatunnelen. I denne sammenheng har åpningene i disse utkjøringene blitt betraktet som henholdsvis søndre og nordre portal. Dette er vist på Figur 6.



Figur 6 Plassering av Ekebergtunnelen

Tunnelen har to løp, hver av dem med enveis trafikk. Tunnelhvelvet består av betongelementer på veggene og sprøytebetong i taket. Bak elementene og sprøytebetongen er det plater med PE-skum som fungerer som vann- og frostsikring. Lengden mellom søndre og nordre portal ble målt til å være 1448 meter. Tunnelen ble åpnet for trafikk i 1995.

6.2 LOKALISERINGSSYSTEM

For å kartlegge tunnelens tilstand har betongkjerner blitt tatt ut og undersøkt. Kjernene har blitt tatt ut fra fire prøvelokasjoner i fire profiler i vegg til høyre for kjøreretningen i nordgående løp.

Tabell 12 viser lokalitetene til de fire profilene. Den viser også hvilke undersøkelser som har blitt gjort på kjernene fra de ulike prøvelokasjonene.

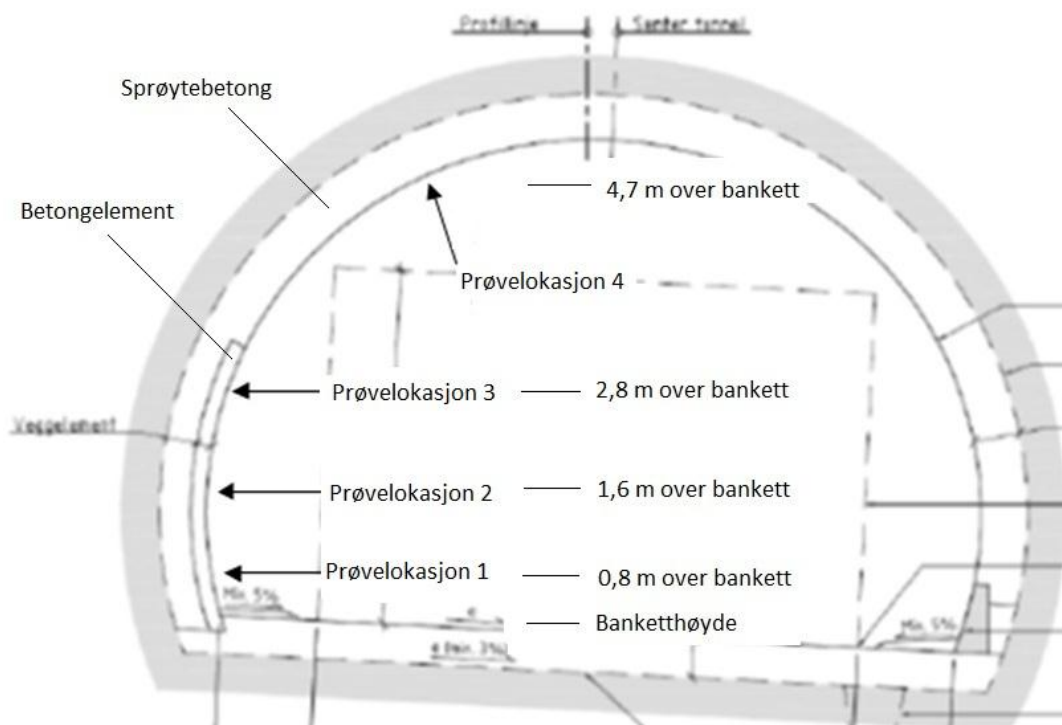
Tabell 12 Profilenes lokalitet og utførte undersøkelser

Profil	Prøve-lokasjon	Lokalitet	Klorid	Karbonatisering	Fukt	Overdekning*
E1	E1-1	Søndre "portal" +10m	X	X		X
	E1-2	Søndre "portal" +10m	X	X	X	X
	E1-3	Søndre "portal" +10m	X	X	X	X
	E1-4	Søndre "portal" +10m	X	X	X	
E2	E2-1	Søndre "portal" +500m	X	X		X
	E2-2	Søndre "portal" +500m	X	X	X	X
	E2-3	Søndre "portal" +500m	X	X	X	X
	E2-4	Søndre "portal" +500m	X	X	X	
E3	E3-1	Søndre "portal" +1000m	X	X		X
	E3-2	Søndre "portal" +1000m	X	X	X	X
	E3-3	Søndre "portal" +1000m	X	X	X	X
	E3-4	Søndre "portal" +1000m	X	X	X	
E4**	E4-1	Søndre "portal" +1372m	X	X		X
	E4-2	Søndre "portal" +1372m	X	X	X	X
	E4-3	Søndre "portal" +1372m	X	X	X	X
	E4-4	Søndre "portal" +1372m	X	X	X	

*) Overdekning ble målt i alle kjerner, også de fra prøvelokasjon 4. I enkelte kjerner ble det ikke funnet armering.

**) Ifølge |1| skulle E4 vært ved søndre portal + 1500 m. Det kunne ikke la seg gjøre fordi siste element var ved søndre portal + 1409 m. Det ble valgt en profil med skadet element, fordi det ikke var betongskader i noen av de andre profilene som ble undersøkt.

Figur 7 viser hvilke høyder og hvilke konstruksjonsdeler kjernene har blitt tatt ut fra. For å utføre undersøkelsene har det blitt tatt ut tre kjerner fra hver prøvelokasjon.

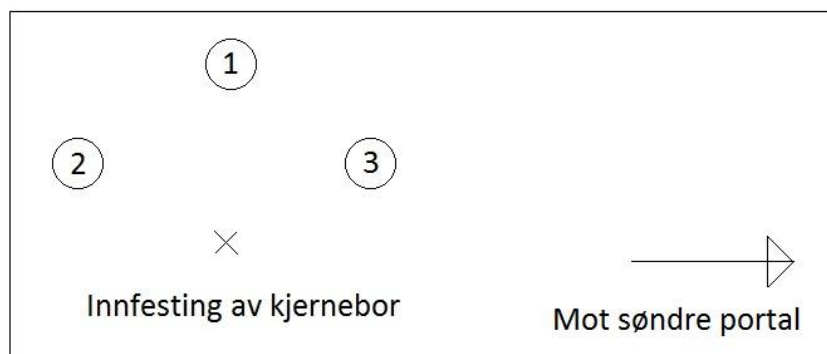


Figur 7 Prøvelokasjonenes høyder

Det er to unntak fra disse høydene:

- Prøvelokasjon 2 i profil 1 ble tatt ut ved høyde 1,4 m på grunn av feil oppmåling
- Kjernene i prøvelokasjon 4 i profil 3 ble tatt ut 0,1 m over og 0,7 m mot nord for planlagt uttakssted. Dette skyldes at tykkelsen på sprøytebetongen var for liten til å feste kjerneboret i planlagt uttakssted.

Høydene angir innfesting av kjernebor. Boret roterer om denne innfestingen med en radius på 21 cm. Kjernene ble tatt ut og nummerert som vist på Figur 8.



Figur 8 Nummerering av kjerner i prøvelokasjonene

Kjernes ID er altså bestemt av profil, prøvelokasjon og nummerering ved boring. For eksempel er kjernen som er merket E4-2.3 tatt ut i profil 4, prøvelokasjon 2 og til høyre for innfestingen av kjerneboret.

7 Tilstandsbeskrivelse Ekebergtunnelen

7.1 INNLEDNING

Arbeidene i Ekebergtunnelen ble utført i løpet av natt til torsdag 10. november 2011. Det var opphold og vindstille. Temperaturen utenfor tunnelen var omtrent 5 °C.

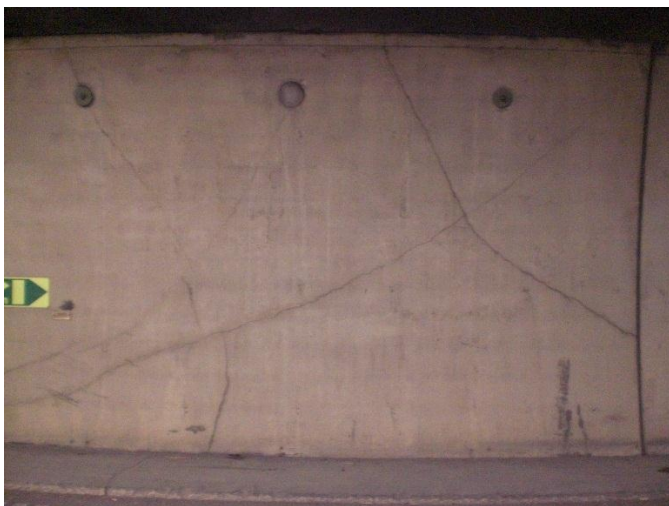
Mesta, representert ved bas Trond Bjørnø og hans mannskap på to personer, sto for uttak av kjernene. Norconsult, representert ved Jon Luke, sto for pakking av kjerner måling av overdekning og armeringsdimensjon samt visuell inspeksjon. Totalt ble 48 kjerner tatt ut fra fire prøvelokasjoner i fire profiler. Lift ble benyttet for å sikre atkomst til de to øverste prøvelokasjonene.

7.2 VISUELL INSPEKSJON

I nærheten av flere av profilene ble det registrert skader i betongen.

Profil 1

Det er fine riss over store deler av elementet som starter 5 meter nord for profil 1. Rissene vises på Bilde 6.



Bilde 6 Riss nær profil 1

Det er sprekker i sprøytebetongen 2 meter nord og 1 meter over E1-4. Sprekkene er vist på Bilde 7



Bilde 7 Sprekker nær profil 1

Profil 4

Det er fine riss over store deler av elementet ved profil 4. Rissene vises på Bilde 8



Bilde 8 Riss i profil 4

I profil 4 er det i tillegg lekkasje fra overgang mellom sprøytebetong og element. Dette vises på Bilde 9 som mørk farge i øvre del av elementet. Den mørke vertikale stripen i profil 4 kommer av vann som har blitt brukt ved kjerneboring.



Bilde 9 Lekkasje i profil 4

7.3 UNDERSØKELSER AV UTTATTE KJERNER

Armeringsoverdekning og armeringsdimensjon i kjernene ble målt på stedet av Norconsult. Karbonatiseringsdybde, fuktinnhold og kloridinnhold ble senere målt av SINTEF, som skrevet i [2].

Oversikt over kjernene er gitt i Tabell 13

Tabell 13 Oversikt over kjerner

Antall serier med kjerner	Antall kjerner	Kjernenes diameter	Kjernenes lengde	Armeringsdimensjon
4 serier, kalt E1-E4	48 kjerner, 12 stk fra hver serie	75 mm	80-120 mm	6 mm

7.3.1 Overdekning

Målt overdekning er vist i Tabell 14.

Tabell 14 Målt overdekning

Kjerne	Overdekning [mm]	Kjerne	Overdekning [mm]
E1-1.1	35	E3-2.2	43
E1-1.2	74	E3-2.3	38
E1-1.3	40	E3-3.1	76
E1-2.1	30	E3-3.2	59
E1-2.2	37	E3-3.3	40
E1-2.3	40	E3-4.1	Ingen armering
E1-3.1	54	E3-4.2	36
E1-3.2	53	E3-4.3	46
E1-3.3	46	E4-1.1	68
E1-4.1	Ingen armering	E4-1.2	79
E1-4.2	30	E4-1.3	40
E1-4.3	39	E4-2.1	35
E2-1.1	40	E4-2.2	40
E2-1.2	40	E4-2.3	37
E2-1.3	Ingen armering	E4-3.1	41
E2-2.1	53	E4-3.2	64
E2-2.2	42	E4-3.3	Ingen armering
E2-2.3	Ingen armering	E4-4.1	44
E2-3.1	47	E4-4.2	80
E2-3.2	63	E4-4.3	34
E2-3.3	Ingen armering		
E2-4.1	42		
E2-4.2	48		
E2-4.3	Ingen armering		
E3-1.1	Ingen armering		
E3-1.2	40		
E3-1.3	43		
E3-2.1	50		
Gjennomsnitt alle målinger		47,2 mm	

7.3.2 Fuktinnhold og porøsitet

Fuktinnhold og porøsitet er vist i Tabell 15. Merk at undersøkelse av kjernene fra prøvelokasjon 1 ikke var en del av oppdraget.

Tabell 15 Fuktinnhold og porøsitet

	E1-2.3	E1-3.3	E1-4.3	E2-2.3	E2-3.3	E2-4.3	E3-2.3	E3-3.3	E3-4.1	
Sugporøsitet	10,5	11,2	19,2	10,7	11,2	15,5	11,3	10,9	15,3	[%]
Makroporøsitet	4,4	2,8	4,4	3,0	2,9	3,3	3,2	2,2	3,2	[%]
PF-verdi	0,29	0,20	0,19	0,22	0,21	0,18	0,22	0,17	0,17	
Initiell fukt	3,8	3,8	7,6	3,6	3,7	6,1	3,6	3,7	5,3	[vekt %]
Initiell fukt	8,8	9,0	15,6	8,3	8,4	13,1	8,4	8,6	11,5	[volum %]
Initiell densitet	2378	2427	2225	2383	2364	2277	2432	2410	2269	[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2395	2449	2261	2408	2393	2301	2461	2433	2307	[kg/m ³]
Trykkmettet	2439	2477	2305	2438	2422	2335	2494	2455	2339	[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2690	2716	2708	2666	2656	2644	2748	2676	2643	[kg/m ³]
Tørredensitet	2290	2337	2069	2300	2281	2147	2348	2324	2154	[kg/m ³]
	E4-2.3	E4-3.3	E4-4.3							
Sugporøsitet	11,3	10,9	17,0							[%]
Makroporøsitet	3,3	2,7	3,1							[%]
PF-verdi	0,23	0,20	0,15							
Initiell fukt	3,2	3,5	6,0							[vekt %]
Initiell fukt	7,6	8,1	13,0							[volum %]
Initiell densitet	2445	2387	2305							[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2482	2415	2344							[kg/m ³]
Trykkmettet	2515	2441	2375							[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2775	2668	2720							[kg/m ³]
Tørredensitet	2369	2305	2175							[kg/m ³]

7.3.3 **Karbonatiseringsdybde**

De målte karbonatiseringsdybdene er vist i Tabell 16.

Tabell 16 Målte karbonatiseringsdybder

Kjerne	Karbonatiseringsdybde [mm], variasjon	Karbonatiseringsdybde [mm], middelverdi
E1-1	-	0
E1-2	-	0
E1-3	-	0
E1-4	13,0 - 26,0	16,7
E2-1	-	0
E2-2	-	0
E2-3	-	0
E2-4	10,0 - 15,0	12,2
E3-1	-	0
E3-2	-	0
E3-3	-	0
E3-4	22,0 - 26,0	24,2
E4-1	-	0
E4-2	-	0
E4-3	-	0
E4-4	18,0 - 21,0	18,8

7.3.4 **Kloridinnhold**

Kloridinnhold i % av betongvekt er vist i Tabell 17.

Tabell 17 Kloridinnhold

Sjikt [mm]	E1				E2				
	1.1	2.1	3.1	4.1	1.1	2.1	3.1	4.1	
0-5	0,063	0,033	0,028	0,030	0,114	0,103	0,088	0,336	
5-10	0,021	0,010	0,014	0,025	0,051	0,054	0,017	0,274	
10-15	0,007	0,005	0,009	0,032	0,032	0,029	0,007	0,178	
15-20	0,003	0,005	0,008	0,028	0,013	0,014	0,008	0,051	
20-30	0,003	0,004	0,008	0,010	0,009	0,008	0,007	0,017	
30-40	0,003	0,002	0,008	0,008	0,007	0,008	0,007	0,012	
40-50	0,004	0,005	0,008	0,009	0,018	0,009	0,007	0,013	
Sjikt [mm]	E3				E4				H5
	1.1	2.1	3.1	4.1	1.3	2.1	3.1	4.1	4.1
0-5	0,096	0,137	0,085	0,307	0,147	0,171	0,212	0,318	0,147
5-10	0,047	0,075	0,021	0,362	0,067	0,119	0,089	0,278	0,067
10-15	0,031	0,036	0,016	0,367	0,018	0,097	0,025	0,201	0,018
15-20	0,012	0,014	0,015	0,186	0,008	0,074	0,007	0,096	0,008
20-30	0,004	0,009	0,011	0,033	0,008	0,068	0,006	0,019	0,008
30-40	0,005	0,008	0,010	0,012	0,008	0,048	0,005	0,016	0,008
40-50	0,005	0,008	0,009	0,015	0,008	0,031	0,005	0,015	0,008

8 Vurdering Ekebergtunnelen

8.1 FUKTINNHOOLD OG PORØSITET

Nøkkeltall for fuktinnhold og porøsitet er gitt i Tabell 18.

Vannmetningsgraden i de ulike profilene er jevn. Profil 1 har høyest gjennomsnittlig vannmetningsgrad. Skadene som er registrert nær prøvelokasjonene kan være forklaringen på det. Det ble også registrert skader i profil 4, likevel har denne profilen lavest gjennomsnittlig vannmetningsgrad.

Vannmetningsgraden er noe høyere i sprøytebetongen enn i betongelementene.

Tabell 18 Nøkkeltall fuktinnhold og porøsitet

	Sug-porøsitet [%]	Makro-porøsitet [%]	Initiell fukt [volum %]	Vannmetningsgrad [%] (forholdet mellom initiell fukt og sugporøsitet)
Gjennomsnitt alle målinger	12,9	3,2	10,0	77,3
Minste registrerte	11,3	3,3	7,6	67,3
Største registrerte	15,5	3,3	13,1	84,5
Gjennomsnitt prøvelokasjon 2	11,0	3,5	8,3	75,6
Gjennomsnitt prøvelokasjon 3	11,1	2,6	8,5	77,0
Gjennomsnitt prøvelokasjon 4	16,8	3,5	13,3	79,4
Gjennomsnitt profil 1	13,6	3,8	11,1	81,8
Gjennomsnitt profil 2	12,5	3,1	9,9	78,8
Gjennomsnitt profil 3	12,5	2,9	9,5	76,0
Gjennomsnitt profil 4	13,1	3,0	9,6	72,7

8.2 KARBONATISERING

Det er ingen karbonatisering i prøvene fra betongelementene. I sprøytebetongen er gjennomsnittlig middelvei av karbonatiseringsdybden 18,0 mm. Denne forskjellen kan tyde på at sprøytebetongens kvalitet er lav.

8.3 KLORIDINNHOLD

Diagram 5 viser gjennomsnittlig kloridinnhold for de ulike profilene. Profil 1 og profil 4 er nær åpningene i henholdsvis søndre og nordre portal. Derfor kan det forventes høyere kloridinnhold i disse profilene som argumentert for i tilsvarende avsnitt om Helltunnelen. Dette stemmer til dels for profil 4, men profil 1 skiller seg ut med lavt kloridinnhold i de første sjiktene. Fra sjiktet 20-30 mm og dypere er kloridinnholdet lavt i alle profilene.

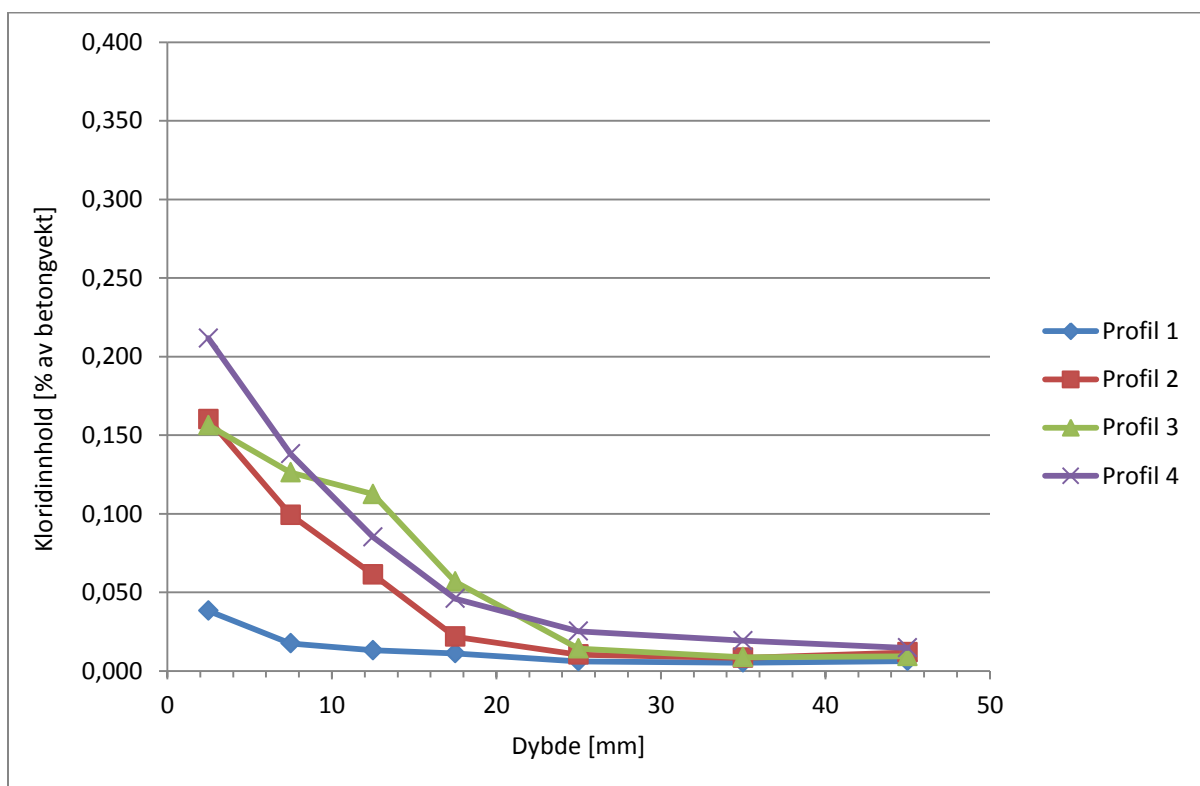


Diagram 5 Gjennomsnittlig kloridinnhold i profilene

Diagram 6 viser gjennomsnittlig kloridinnhold for de ulike prøvelokasjonene. Som argumentert for i tilsvarende avsnitt om Helltunnelen kan det forventes høyest kloridinnhold i prøvelokasjon 1 og avtagende kloridinnhold ved økt høyde fra vegbane. Likevel er det lavt kloridinnhold i alle prøvelokasjonene bortsett fra i prøvelokasjon 4. Dette gjelder fra overflaten til sjiktet 20-30 mm, deretter er kloridinnholdet lavt også i prøvelokasjon 4. Dette kan, i likhet med resultatene fra karbonatiseringsanalysene, tyde på at sprøytebetongens kvalitet er lav.

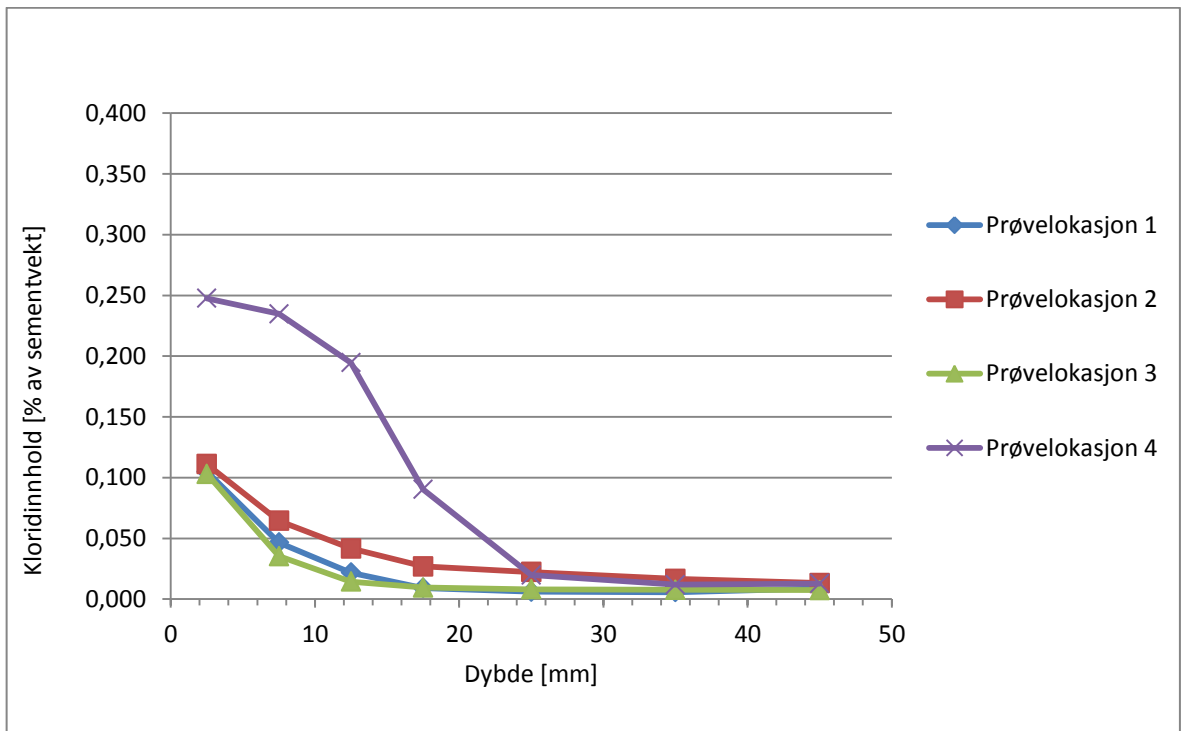


Diagram 6 Gjennomsnittlig kloridinnhold i prøvelokasjonene

8.4 KORROSJONSFARE

Faren for armeringskorrosjon i tunnelen har blitt vurdert. Det er risiko for korrosjon dersom det er karbonatisering og/eller et visst kloridinnhold ved armeringsdybden. Dette forutsetter at tilstrekkelig fuktighet og oksygen er tilgjengelig.

Dersom sprøytebetongens kvalitet er lav som undersøkelsene indikerer, kan det bli fare for armeringskorrosjon på grunn av karbonatisering i fremtiden. Av de fire prøvene fra prøvelokasjon 4 er gjennomsnittet av middelverdiene 18,0 mm. Karbonatiseringsdybden varierer opp mot 26 mm i to av de fire prøvene. I sprøytebetongen er gjennomsnittlig målt overdekning 44 mm, og den minste målte overdekningen er 30 mm. Hastigheten på eventuell armeringskorrosjon vil trolig ikke begrenses av fuktinnholdet da gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 77 %. Denne vannmetningsgraden indikerer at den relative fuktigheten er over 90 %.

Det er liten fare for armeringskorrosjon forårsaket av klorider, men faren øker dersom sprøytebetongens kvalitet er lav. I sjiktet 20-30 mm er høyeste registrerte kloridinnhold i tunnelen 0,033 % av betongvekt. Denne registreringen ble gjort i sprøytebetongen.

9 Grunnlagsdata for Smestadtunnelen

9.1 BESKRIVELSE AV TUNNELEN

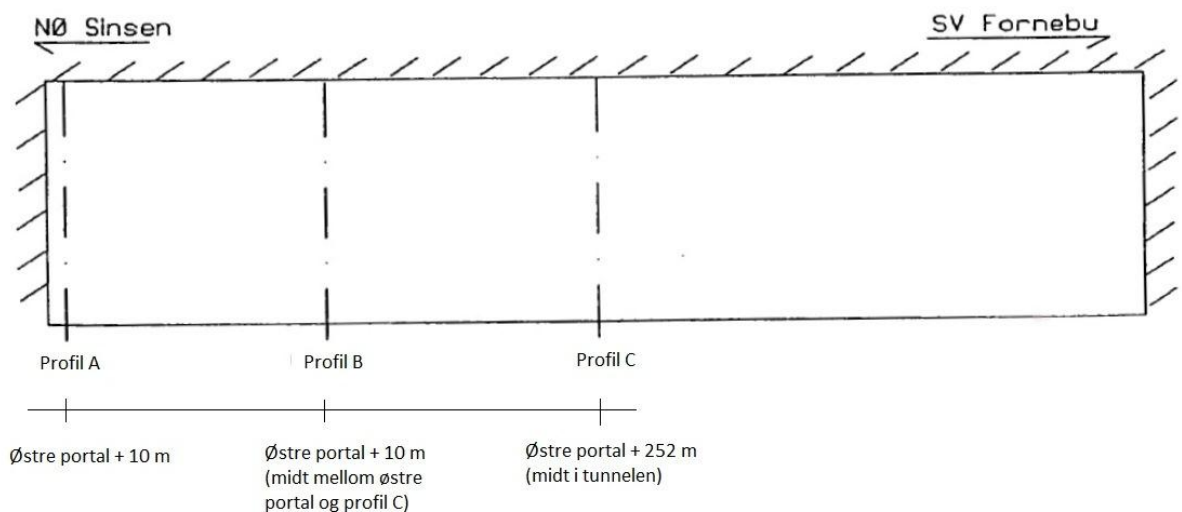
Smestadtunnelen fører Ring 3 under Sørkedalsveien og Smestad. Tunnelen ble åpnet for trafikk i 1983.

Tunnelen er plasstøpt og tverrsnittet er rektangulært. Tunnelen har to løp, hver med enveis trafikk, og er 504 meter lang.

9.2 LOKALISERINGSSYSTEM

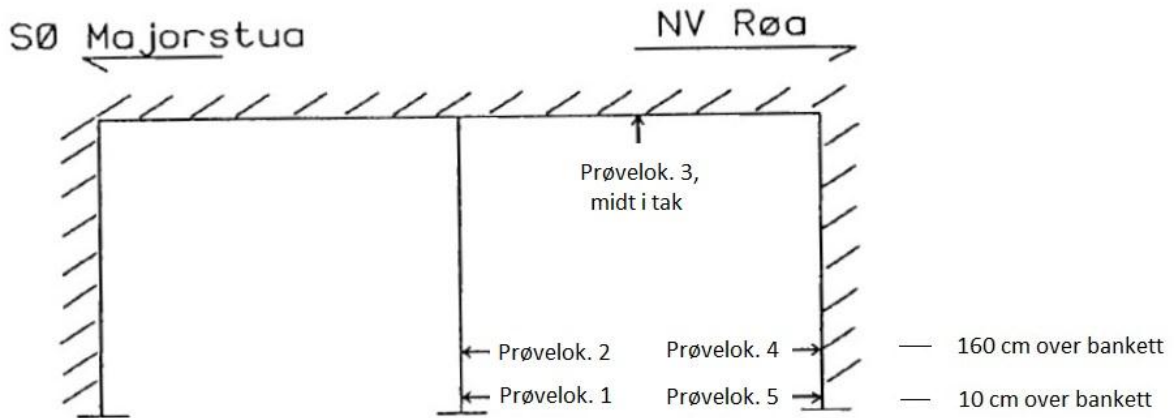
For å kartlegge tunnelens tilstand har betongkjerner blitt tatt ut og undersøkt. Kjernene har blitt tatt ut fra fem prøvelokasjoner i tre profiler i vestgående løp.

Figur 9 viser lokalitetene til de tre profilene.



Figur 9 Profilenes lokalitet

Figur 10 viser hvor i tunnelprofilen kjernene har blitt tatt ut fra. For å utføre undersøkelsene har det blitt tatt ut tre kjerner fra hver prøvelokasjon.



Figur 10 Prøvelokasjonenes plassering

Prøvelokasjonene ble avgrenset ved å tegne hjørnene i en firkant. For prøvelokasjonene 1, 2, 4 og 5 er firkanten omtrent 1 meter bred og 0,2 meter høy. For prøvelokasjon 3 er den omtrent 1 meter bred og 1 meter høy. Kjernene i veggene ble nummerert i stigende rekkefølge fra øst mot vest. Figur 11 viser nummereringen i en avgrensende firkant på vegg.



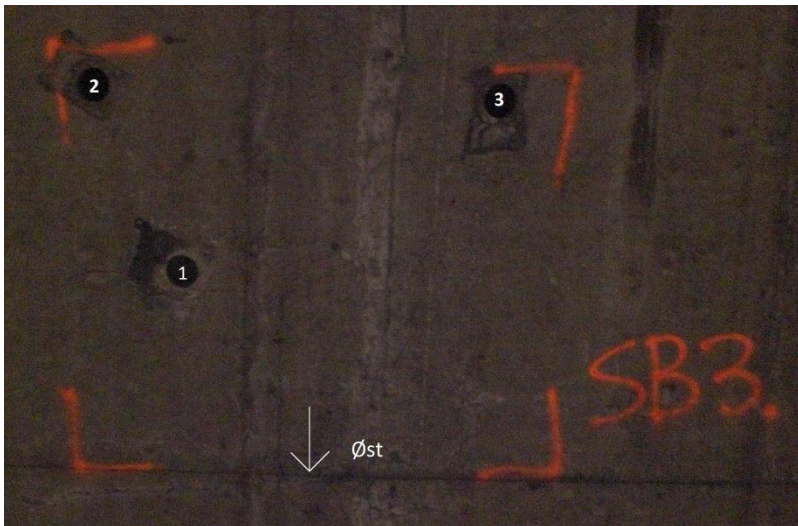
Figur 11 Nummerering av kjerner tatt ut fra veggene.

Kjernes ID er altså bestemt av profil, prøvelokasjon og nummerering ved boring. For eksempel er kjernen som er merket SB2.3 tatt ut i profil B, prøvelokasjon 2 og lengst mot vest i prøvelokasjonen.

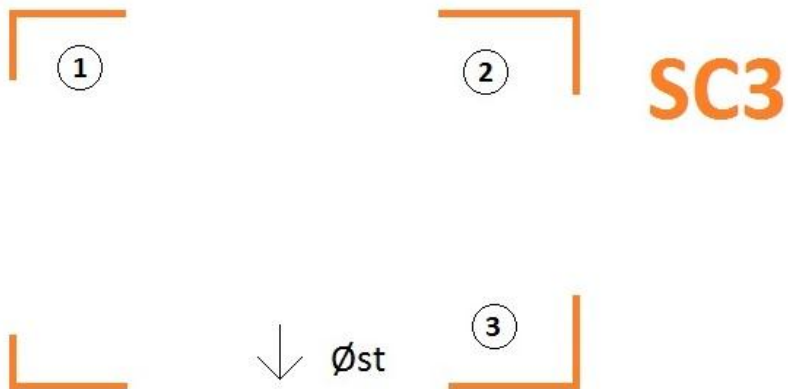
Nummereringen i taket er uregelmessig og vises på Figur 12, Figur 13 og Figur 14.



Figur 12 Nummerering av kjerner tatt ut fra prøvelokasjon SA3



Figur 13 Nummerering av kjerner tatt ut fra prøvelokasjon SB3



Figur 14 Nummerering av kjerner tatt ut fra prøvelokasjon SC3

10 Tilstandsbeskrivelse Smestadtunnelen

10.1 INNLEDNING

Arbeidene i Smestadtunnelen ble utført i løpet av flere netter mellom 4. oktober og 4. november. Alle kjernene i taket og ni av kjernene i veggene ble tatt ut natt til 4. november. Da var det opphold og vindstille.

Mesta, representert ved bas Trond Bjørnø og hans mannskap på to personer, sto for uttak og pakking av kjernene. Norconsult, representert ved Amund Geicke og Jon Luke, sto for måling av overdekning og armeringsdimensjon samt visuell inspeksjon. Totalt ble 45 kjerner tatt ut fra fem prøvelokasjoner i tre profiler. Lift ble benyttet for å sikre adkomst til prøvelokasjonene i taket.

10.2 VISUELL INSPEKSJON

I nærheten av flere av profilene ble det registrert skader i betongen.

Profil A

Det er generelt avflassing fra veggene, som vist på Bilde 10.



Bilde 10 Avflassing fra vegg i profil A

Det er krakeleringsriss i taket, som vist på Bilde 11.



Bilde 11 Krakeleringsriss i tak i profil A

Det er et 0,5 mm vidt riss i vegg to meter øst før SA2, som vist på Bilde 12. Det er et tilsvarende riss en meter vest for SA4



Bilde 12 Riss i vegg i profil A

Det er bom og avskalling langs tre armeringsjern i taket, trolig på grunn av liten overdekning. Skadene starter ti meter vest for profilen og går vestover i en lengde på opptil ti meter. Skadene er vist i Bilde 13.



Bilde 13 Armeringskorrosjon i tak i profil A

Profil B

Det er små avskallinger langs to armeringsjern i taket mellom 7 og 14 meter øst før profilen, som vist på Bilde 14. Også her kan man se at overdekningen er liten.



Bilde 14 Armeringskorrosjon i tak i profil B

Det er riss med fuktgjennomgang i taket både i tunnelens lengderetning og på tvers av lengderetningen, som vist på Bilde 15.



Bilde 15 Riss i tak i profil C

Det er vertikallriss med vidde 0,5 mm på begge sider av profilen på begge vegger. De nærmeste er omtrent en meter fra prøvelokasjonen.

Profil C

Det er bom langs noen vertikale armeringsjern nederst i vegg på begge sider av SC1, som vist på Bilde 16. Den nærmeste av denne type skade er omtrent 0,3 meter fra prøvene. Tilsvarende skader er registrert tre meter fra SC5.



Bilde 16 Armeringskorrosjon nederst på vegg i profil C

10.3 OVERDEKNING

Måling av armeringsoverdekning har blitt gjort av Norconsult ved bruk av covermeter. Det ble antatt en armeringsdimensjon på 16 mm. Ved undersøkelse av en av kjernene ble armeringsdimensjonen målt til å være 16 mm. Det viste seg at vertikalarmeringen er plassert nærmere overflaten enn horisontalarmeringen. Målte overdekninger for vertikalarmeringen er vist i Tabell 19.

Tabell 19 Overdekning målt ved covermeter

Prøvepunkt	Målte overdekninger																	Snitt
SA1	32	36	38	40	41													37,4
SA2	23	41	23	25	25													27,4
SA3	29	34	30	31	32	37	37	35	34	39	36	30	30	30	31			33,0
SA4	24	22	24	25	26													24,2
SA5	35	38	35	31	34	46												36,5
SB1	21	26	17	20	21	25												21,7
SB2	63	68	61	73	66													66,2
SB3	34	30	28	20	29	31	32	34	52	15	28	23	32	32	30			30,0
SB4	35	34	61	68	38													47,2
SB5	57	60	63	54														58,5
SC1	23	24	26	29	20	32												25,7
SC2	38	37	39	40	40	40												39,0
SC3	40	41	47	48	34	35	38	38	38	35	33	30	31	29	37	34	35	36,7
SC4	39	33	28	30	29													31,8
SC5*	28	29	30	31	30	31												29,9
Gjennomsnitt alle målinger																	35,0	
*) ca 25 cm over på grunn av kabel/trekkerør																		

I tillegg ble overdekning målt i to kjerner ved uttak. Overdekningen i kjerne SC2.2 ble målt til å være 39 mm, mens den i kjerne SC5.1 ble målt til å være 35 mm.

Under den visuelle inspeksjonen ble det påvist armeringskorrosjon på grunn av liten overdekning i taket nær profil A og B.

10.4 UNDERSØKELSER AV UTTATTE KJERNER

Karboniseringsdybde, fuktinnhold og kloridinnhold i alle prøvelokasjonene har blitt målt av SINTEF, som skrevet i [2]. Oversikt over kjernene er gitt i Tabell 20.

Tabell 20 Oversikt over kjernene

Antall serier med kjerner	Antall kjerner	Kjernenes diameter	Kjernenes lengde	Armeringsdimensjon
3 serier, kalt SA, SB og SC	45 kjerner, 15 stk fra hver serie	75 mm	80-120 mm	16 mm, dette er kun målt i én kerne

10.4.1 Fuktinnhold og porøsitet

Fuktinnhold og porøsitet er vist i Tabell 21.

Tabell 21 Fuktinnhold og porøsitet

	SA1.3	SA2.3	SA3.3	SA4.3	SA5.3	
Sugporøsitet	9,9	11,2	11,5	10,9	10,1	[%]
Makroporøsitet	2,9	3,9	0,8	3,1	3,5	[%]
PF-verdi	0,23	0,26	0,07	0,22	0,26	
Initiell fukt	4,0	4,1	4,3	4,1	4,3	[vekt %]
Initiell fukt	9,2	9,3	10,1	9,5	9,8	[volum %]
Initiell densitet	2424	2372	2457	2389	2406	[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2430	2392	2472	2404	2409	[kg/m ³]
Trykkmettet densitet	2459	2431	2480	2434	2444	[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2674	2685	2689	2668	2672	[kg/m ³]
Tørrdensitet	2331	2280	2356	2294	2308	[kg/m ³]
	SB-1.3	SB-2.3	SB-3.3	SB-4.3	SB-5.3	
Sugporøsitet	10,2	11,1	10,9	10,3	10,6	[%]
Makroporøsitet	2,3	2,1	1,4	2,5	2,4	[%]
PF-verdi	0,18	0,16	0,12	0,19	0,18	
Initiell fukt	3,8	3,8	4,0	4,2	4,1	[vekt %]
Initiell fukt	9,1	8,9	9,6	9,8	9,6	[volum %]
Initiell densitet	2476	2414	2462	2447	2430	[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2488	2436	2476	2452	2440	[kg/m ³]
Trykkmettet densitet	2511	2458	2490	2477	2464	[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2726	2680	2701	2694	2683	[kg/m ³]
Tørrdensitet	2386	2325	2366	2349	2334	[kg/m ³]
	SC-1.3	SC-2.3	SC-3.3	SC-4.3	SC-5.3	
Sugporøsitet	8,2	9,8	11,5	10,9	10,8	[%]
Makroporøsitet	1,8	1,6	1,2	0,8	1,7	[%]
PF-verdi	0,18	0,14	0,09	0,07	0,13	
Initiell fukt	3,1	3,6	3,7	3,8	4,1	[vekt %]
Initiell fukt	7,6	8,7	8,6	9,2	9,7	[volum %]
Initiell densitet	2515	2465	2447	2517	2445	[kg/m ³]
Sugmettet densitet	2521	2476	2476	2534	2456	[kg/m ³]
Trykkmettet densitet	2539	2492	2488	2542	2472	[kg/m ³]
Faststoffdensitet	2709	2685	2704	2748	2681	[kg/m ³]
Tørrdensitet	2439	2378	2361	2425	2348	[kg/m ³]

10.4.2 Karbonatiseringsdybde

De målte karbonatiseringsdybdene er vist i Tabell 22

Tabell 22 Målte karbonatiseringsdybder

Kjerne	Karbonatiseringsdybde [mm], variasjon	Karbonatiseringsdybde [mm], middelerdi
SA-1.2	2,0-5,0	3,5
SA-2.2	2,0-13,0	7,2
SA-3.2	4,0-7,0	5,5
SA-4.2	4,0-5,0	4,6
SA-5.2	7,0-12,0	9,6
SB-1.2	Ikke målt fordi toppsjiktet var ødelagt	
SB-2.2	7,5-13,5	11,0
SB-3.2	7,0-11,5	9,0
SB-4.2	10,0-18,0	13,1
SB-5.2	Ikke målt, pga grove korn i overflaten	
SC-1.2	5,0-11,0	7,8
SC-2.2	5,5-10,5	7,6
SC-3.2	6,0-14,0	10,8
SC-4.2	1,0-7,0	4,2
SC-5.2	5,5-11,0	7,0

10.4.3 Kloridinnhold

Kloridinnhold i % av betongvekt er vist i Tabell 23.

Tabell 23 Kloridinnhold

Sjikt [mm]	SA				
	1.1	2.1	3.1	4.2	5.1
0-5	0,170	0,117	0,052	0,177	0,116
5-10	0,305	0,127	0,066	0,178	0,153
10-15	0,310	0,159	0,060	0,198	0,199
15-20	0,308	0,205	0,033	0,172	0,159
20-30	0,262	0,149	0,011	0,149	0,125
30-40	0,192	0,077	0,006	0,096	0,082
40-50	0,141	0,035	0,008	0,050	0,049
Sjikt [mm]	SB				
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.3
0-5	0,199	0,166	0,025	0,179	0,093
5-10	0,262	0,128	0,028	0,135	0,120
10-15	0,314	0,187	0,027	0,189	0,258
15-20	0,298	0,206	0,021	0,240	0,321
20-30	0,272	0,150	0,011	0,233	0,291
30-40	0,202	0,069	0,006	0,146	0,251
40-50	0,157	0,019	0,004	0,079	0,215
Sjikt [mm]	SC				
	1.1*	2.1	3.1	4.1	5.1
0-5	0,222	0,173	0,030	0,181	0,218
5-10	0,215	0,155	0,025	0,198	0,218
10-15	0,262	0,189	0,024	0,195	0,261
15-20	0,344	0,182	0,025	0,192	0,312
20-30	0,315	0,109	0,021	0,106	0,264
30-40		0,014	0,014	0,034	0,200
40-50		0,011	0,009	0,011	0,139

*) Kort kjerne

11 Vurdering Smestadtunnelen

11.1 FUKTINNHOOLD OG PORØSITET

Nøkkeltall for fuktinnhold og porøsitet er gitt i Tabell 24.

Vannmetningsgraden i profilene og prøvelokasjonene er jevnt høy. Under den visuelle inspeksjonen ble det registrert riss med og uten fuktgjennomgang. Men disse er ikke nær prøvelokasjonene som har høyest vannmetningsgrad.

Tabell 24 Nøkkeltall fuktinnhold og porøsitet

	Sug- porøsitet [%]	Makro- porøsitet [%]	Initiell fukt [volum %]	Vannmetningsgrad [%] (forholdet mellom initiell fukt og sugporøsitet)
Gjennomsnitt alle målinger	10,5	2,1	9,2	87,9
Minste registrerte	11,5	1,2	8,6	74,9
Største registrerte	10,1	3,5	9,8	96,7
Gjennomsnitt prøvelokasjon 1	9,4	2,3	8,6	91,8
Gjennomsnitt prøvelokasjon 2	10,7	2,5	8,9	83,7
Gjennomsnitt prøvelokasjon 3	11,3	1,2	9,4	83,3
Gjennomsnitt prøvelokasjon 4	10,7	2,1	9,5	88,5
Gjennomsnitt prøvelokasjon 5	10,5	2,5	9,7	92,4
Gjennomsnitt profil A	10,7	2,8	9,6	89,4
Gjennomsnitt profil B	10,6	2,1	9,4	88,3
Gjennomsnitt profil C	10,2	1,4	8,8	86,2

11.2 KARBONATISERING

Nøkkeltall for middelverdier av karbonatiseringsdybdene er gitt i Tabell 25.

Tabell 25 Nøkkeltall karbonatisering

Nøkkeltall for karbonatiseringsdybder	[mm]
Gjennomsnitt alle karbonatiseringsdybder	7,8
Minste registrerte karbonatiseringsdybde	3,5
Største registrerte karbonatiseringsdybde	13,1

Diagram 7 viser at det er forskjeller i gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i profilene. Dette kan ikke forklares med variasjoner i vannmetningsgraden, fordi den er jevn. Forskjellene kan komme av variasjoner i betongkvalitet.

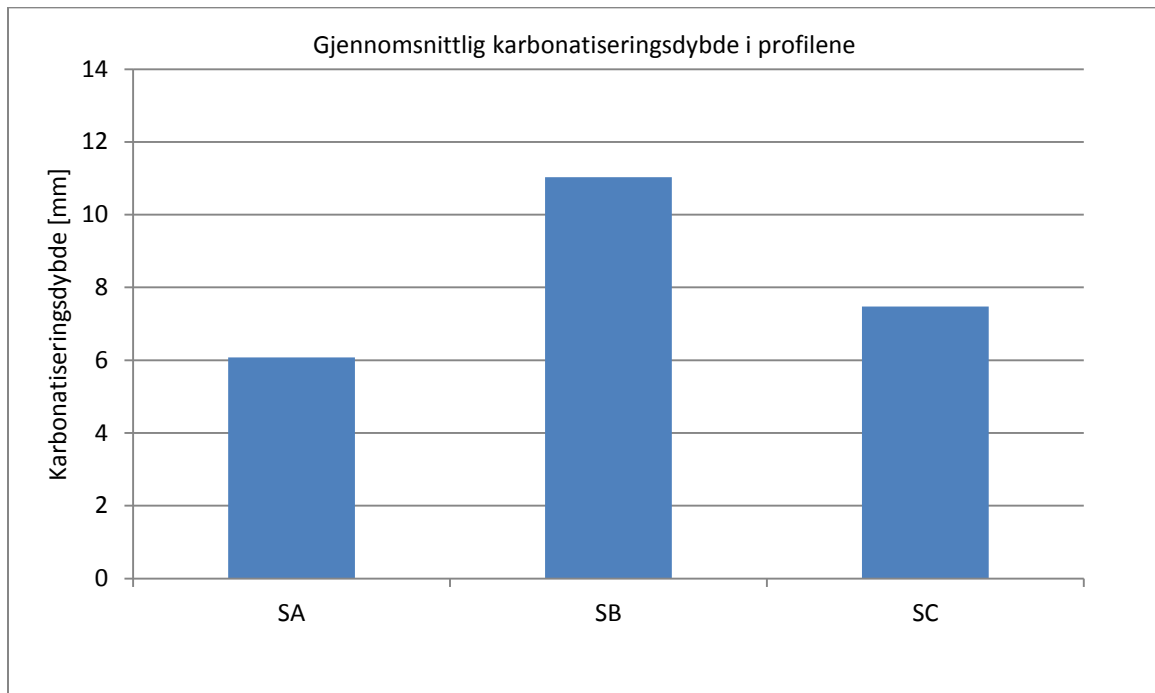


Diagram 7 Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i profilene

Diagram 8 viser at gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i stor grad er som forventet når vannmetningsgradene tas i betraktning. Prøvelokasjon 1 og 4, som har høyere vannmetningsgrad enn prøvelokasjon 2 og 3, har også mindre karbonatisering. Karbonatiseringsdybden i prøvelokasjon 5 avviker fra dette mønsteret.

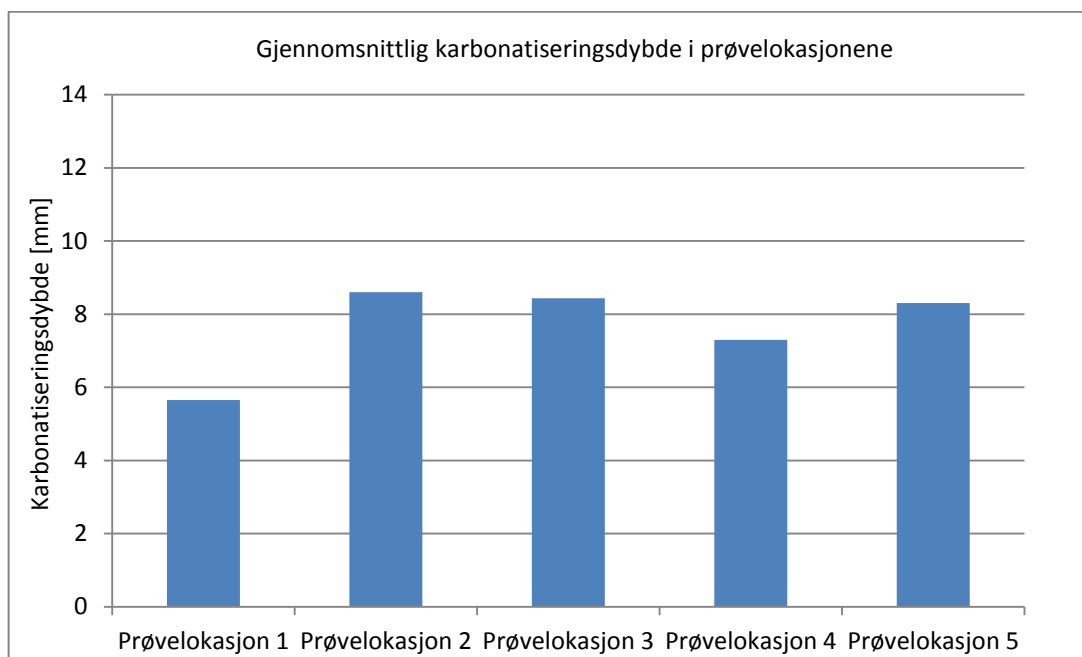


Diagram 8 Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde i prøvelokasjonene

11.3 KLORIDINNHOLD

Diagram 9 viser gjennomsnittlig kloridinnhold for de ulike profilene. Kloridinnholdet varierer lite blant profilene. Man kunne forvente høyere kloridinnhold i profil A enn i profil B og C som argumentert for i tilsvarende avsnitt om Helltunnelen.

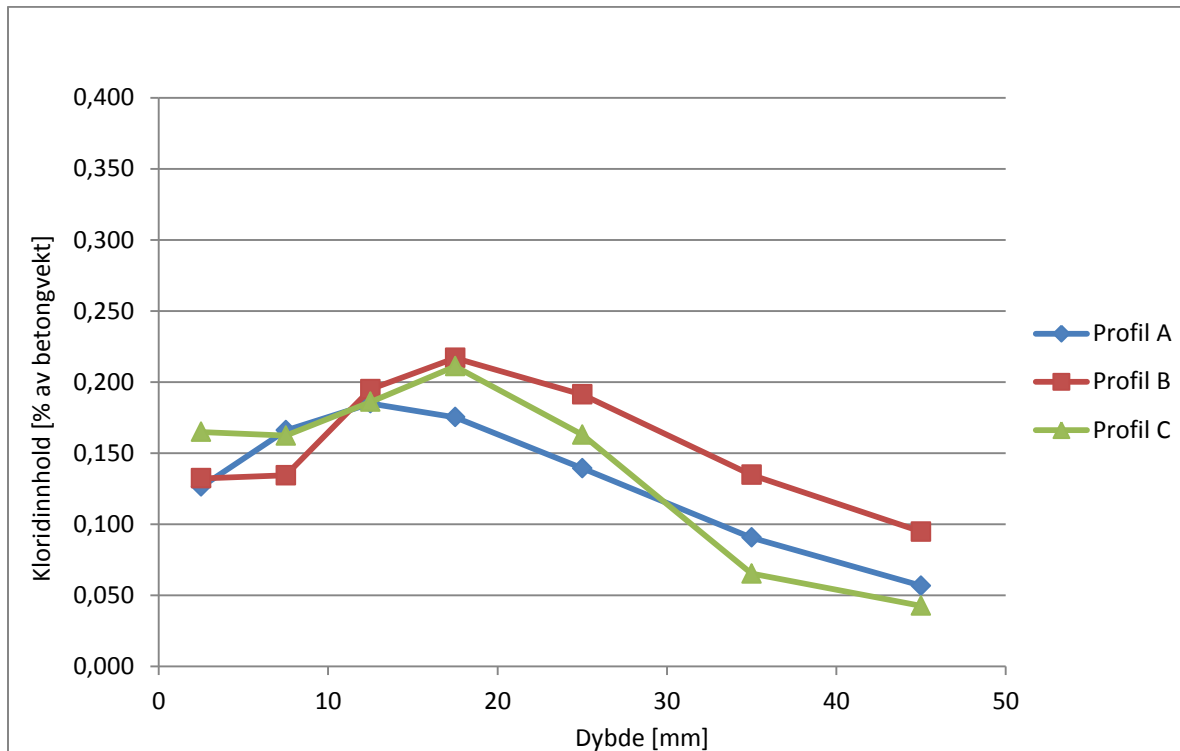


Diagram 9 Gjennomsnittlig kloridinnhold i profilene

Det gjennomsnittlige kloridinnholdet i prøvelokasjonene som er vist i Diagram 10 er som forventet med tanke på nærhet til vegbanen. Kloridinnholdet avtar med økt avstand til vegbanen som skrevet i tilsvarende avsnitt om Helltunnelen. Prøvelokasjonene 1 og 5 er nede på veggen, prøvelokasjonene 2 og 4 er lenger opp på veggen og prøvelokasjon 3 er i taket.

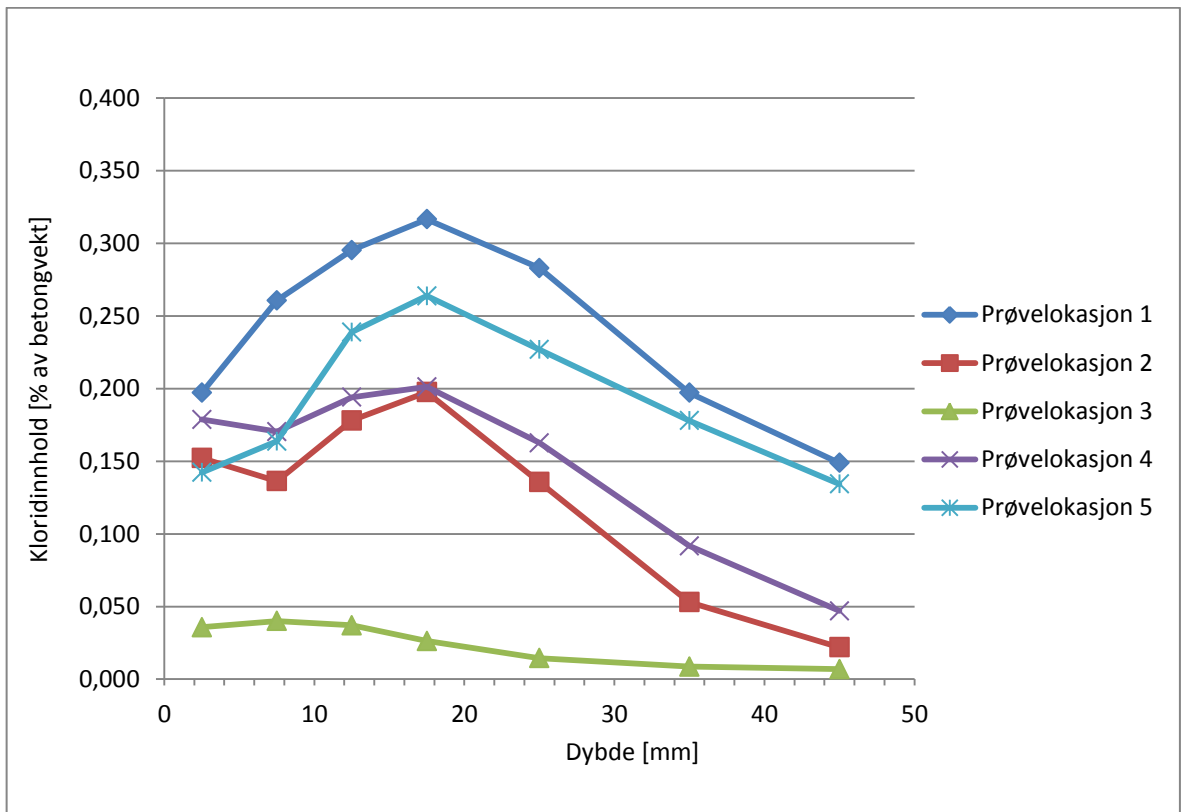


Diagram 10 Gjennomsnittlig kloridinnhold i prøvelokasjonene

11.4 KORROSJONSFARE

Faren for armeringskorrosjon i tunnelen har blitt vurdert. Det er risiko for korrosjon dersom det er karbonatisering og/eller et visst kloridinnhold ved armeringsdybden. Dette forutsetter at tilstrekkelig fuktighet og oksygen er tilgjengelig.

Karbonatisering utgjør ingen stor fare for armeringskorrosjon i tunnelen. Det ble ikke funnet karbonatisering ved armeringsdybde i noen prøvelokasjoner. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde er 7,8 mm og den dypeste karbonatiseringen ble funnet i kjerne SB4.2 med 13,1 mm. Minste overdekningen målt i SB4 er 34 mm. Gjennomsnitt av alle målte overdekninger i tunnelen er 35 mm. Riktignok har det blitt registrert karbonatiseringsdybde i en prøvelokasjon som er større enn overdekningen i andre prøvelokasjoner. I kjerne SB4.2 er variasjonen i karbonatiseringsdybde 10,0 – 18,0 mm. I prøvelokasjonene SB1 og SB3 ble det i ett punkt målt overdekning på henholdsvis 17 mm og 15 mm.

Som skrevet i tilsvarende avsnitt om Helltunnelen er omtrent 95 % relativ fuktighet i betongen optimalt for korrosjonshastighet. Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 88 %, noe som indikerer en relativ fuktighet på godt over 90 %. Korrosjonshastigheten blir altså ikke begrenset av manglende fuktinnhold, men kan begrenses av manglende oksygentilgang i enkelte områder.

Kjernene med kloridinnhold på minst 0,050 % av betongvekt i armeringsdybde eller antatt armeringsdybde er listet opp i Tabell 26. Det er fare for armeringskorrosjon i disse ni prøvelokasjonene, av totalt 15 prøvelokasjoner i tunnelen. I profil C ble armeringskorrosjon påvist under den visuelle inspeksjonen.

Tabell 26 Prøvelokasjoner med risiko for armeringskorrosjon

Prøve-lokasjon	Gjennomsnittlig overdekning [mm]	Kloridinnhold [% av betongvekt] /sjikt [mm]	Vannmetningsgrad[%] (forholdet mellom initiell fukt og sugporøsitet)
SA1	37,4	0,192 / 30-40	93,2
SA2	27,4	0,149 / 20-30	82,8
SA4	24,2	0,149 / 20-30	86,7
SA5	36,5	0,082 / 30-40	96,7
SB1	21,7	0,272 / 20-30	88,7
SB4	47,2	0,079 / 40-50	94,9
SB5	58,5	0,215 / 40-50	90,1
SC1	25,7	0,315 / 20-30	93,6
SC5	29,9	0,200 / 20-30	90,4

I tillegg er det registrert armeringskorrosjon på grunn av liten overdekning i taket nær profil A og B.

11.5 UTVIKLING

I forbindelse med utarbeidelse av [3] og [4] ble karbonatiseringsdybde og kloridinnhold undersøkt i tunnelen. Resultatene fra 1993 og 2002 sammenlignes med resultatene fra 2011.

11.5.1 Karbonatiseringsdybde

Karbonatiseringsdybdene målt i 1993, 2002 og 2011 er vist i Diagram 11. Det ble registrert en økning i karbonatiseringsdybden i alle prøvelokasjoner fra 1993 til 2002. I enkelte prøvelokasjoner økte den til mer enn det dobbelte. De målte karbonatiseringsdybdene i 2011 er lik eller lavere enn de i 2002 i 11 av 13 prøvelokasjoner. Den reelle karbonatiseringsdybden reduseres ikke. Den målte reduksjonen kan forklares med lokale variasjoner, som vist i Tabell 22 er det store variasjoner i hver enkelt prøve. Feilmålinger kan også være årsak til målt reduksjon. De målte karbonatiseringsdybdene tyder på at utviklingen av karbonatisering går sakte.

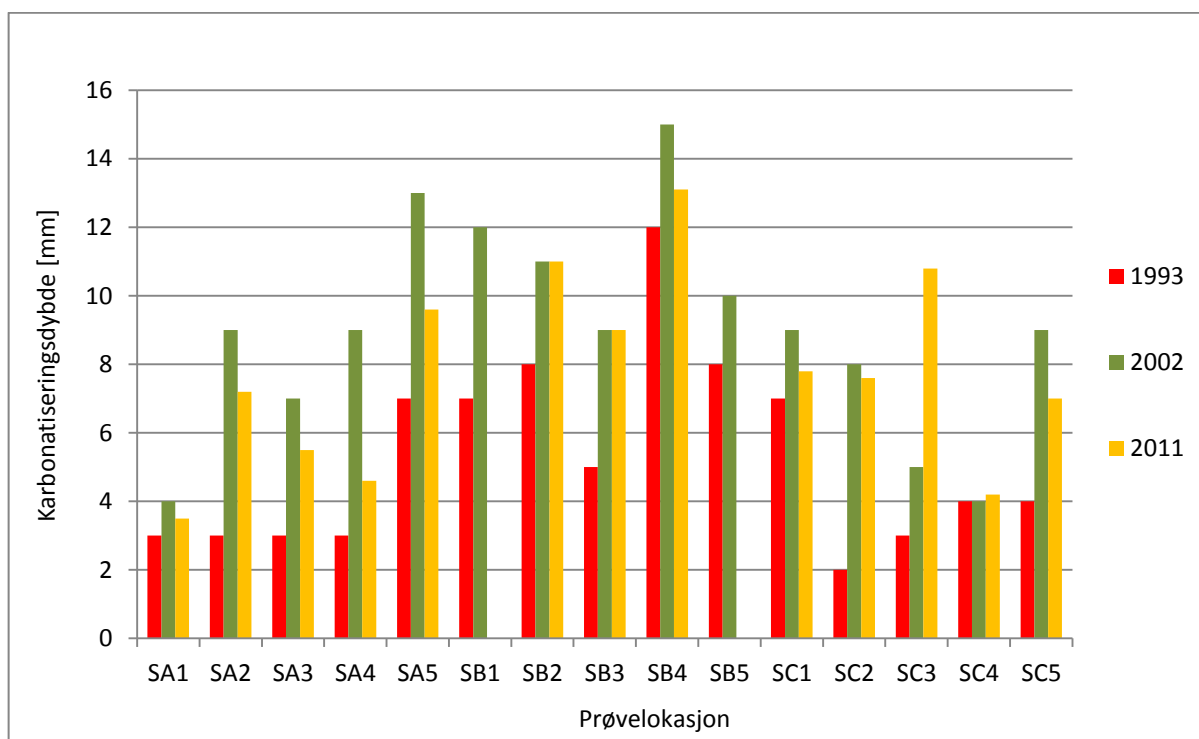


Diagram 11 Karbonatiseringsdybder i 1993, 2002 og 2011

11.5.2 Kloridinnhold

Kloridinnholdet målt i 1993, 2002 og 2011 i tre prøvelokasjoner er vist i Diagram 12, Diagram 13 og Diagram 14. Det er registrert en økning i kloridinnhold mellom hver måling. Fra 2002 til 2011 er den største økningen i SA1 og SB1. Disse prøvelokasjonene er nede på veggen i tunnelen, der det forventes at kloridbelastninger er størst. I 2011 ble det registrert armeringskorrosjon i disse områdene. Dersom ikke tiltak treffes vil kloridinnholdet øke ytterligere og dermed også omfanget av armeringskorrosjon.

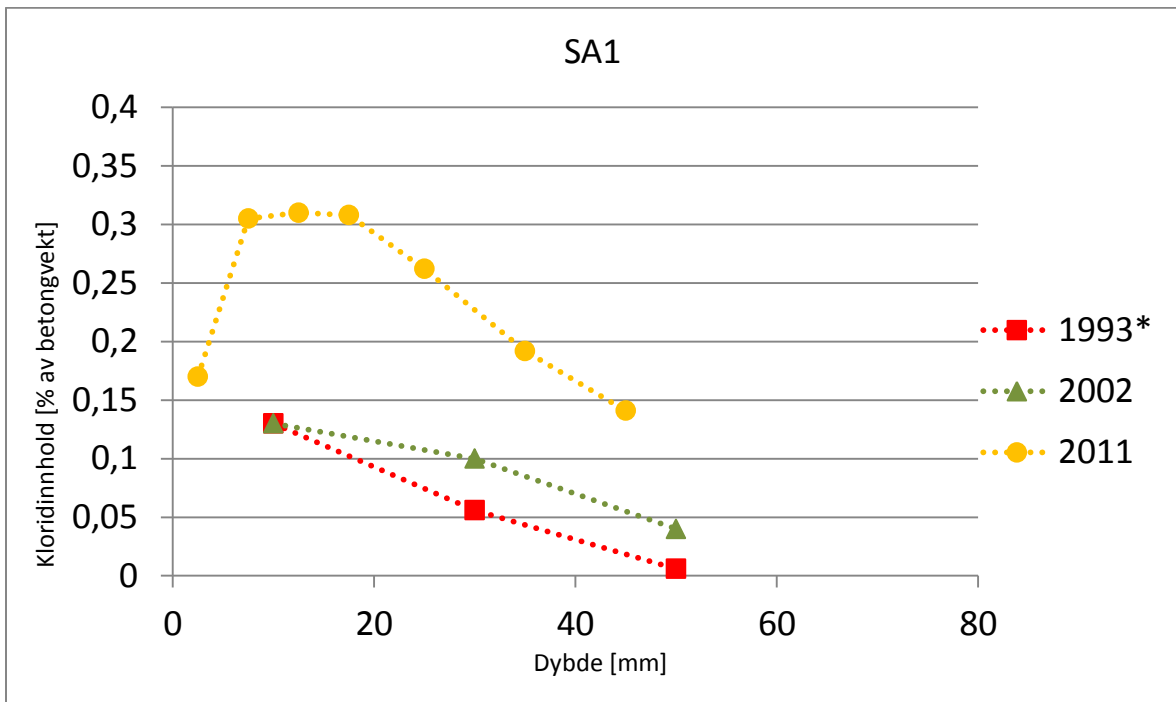


Diagram 12 Kloridinnhold i 1993, 2002 og 2011

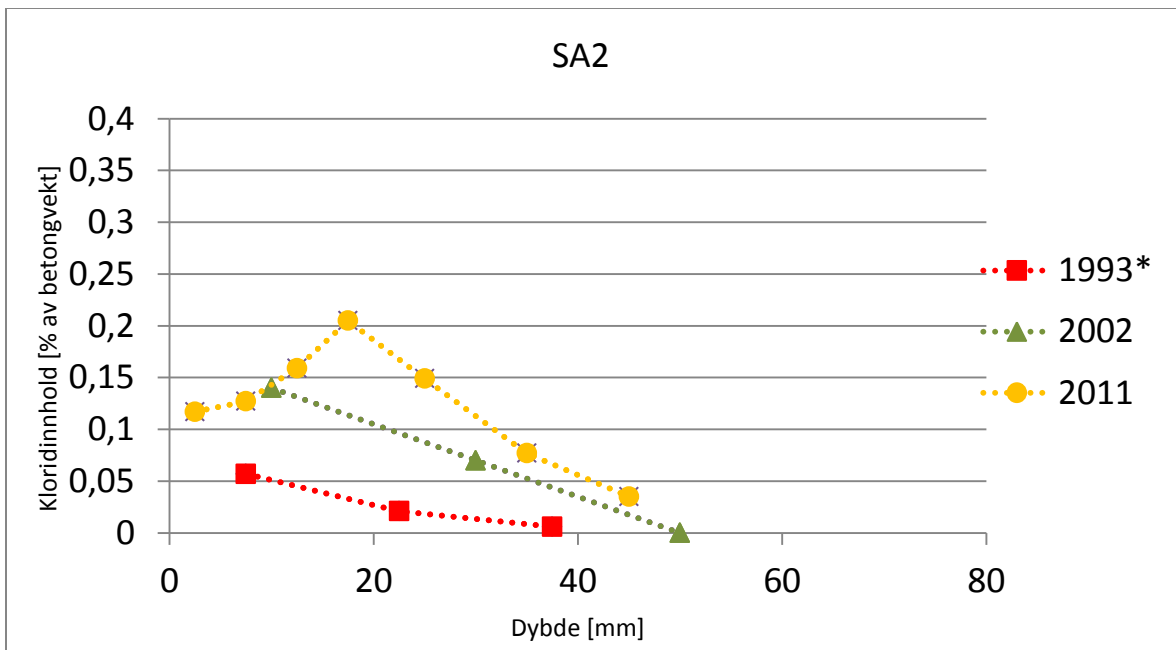


Diagram 13 Kloridinnhold i 1993, 2002 og 2011

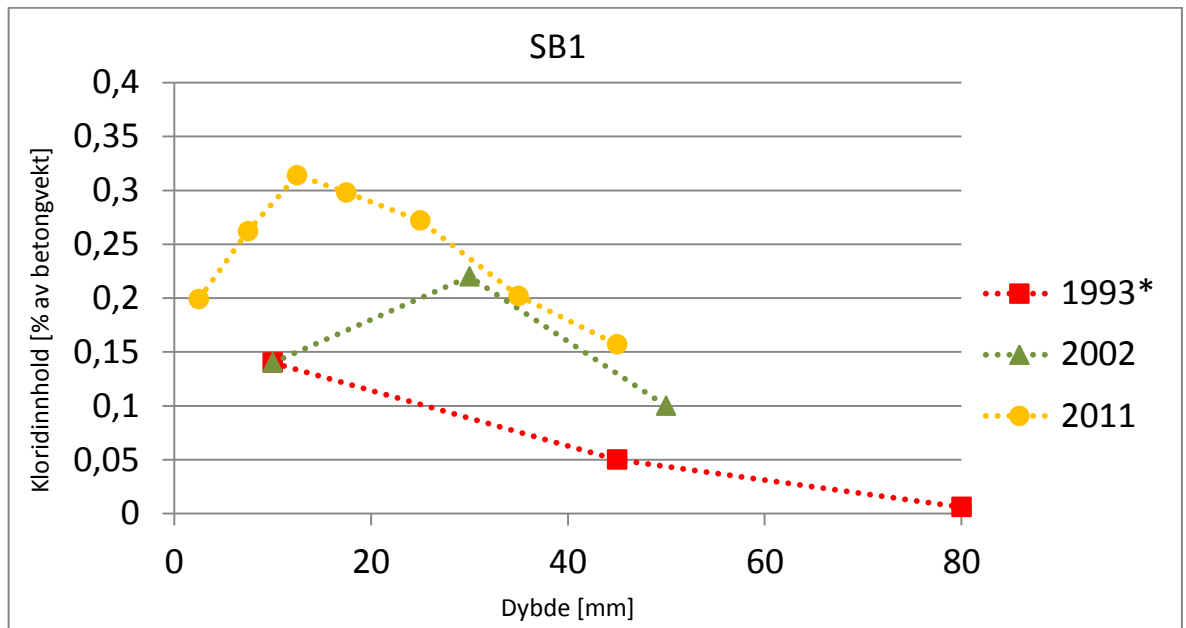


Diagram 14 Kloridinnhold i 1993, 2002 og 2011

*) Ved undersøkelse av kloridinnhold ved Quantab-test i 1993 ble enkelte av resultatene tolket feil. Likevel er det som ble rapportert den gang gjengitt her. Ved kloridinnhold lavere enn det testen kan måle ble det benyttet ekstrapolering. Dette gjelder kloridinnholdet i SA1 i sjikt 40-60 mm, SA2 i sjikt 12-30 mm og 30-45 mm samt SB1 i sjikt 70-90 mm. Det eneste som kan sies om kloridinnholdet i disse sjiktene er at det er under 0,03 % av betongvekt.

12 Oppsummering og vurdering av resultater

Miljøbetingelsene i tre tunneler har blitt kartlagt ved å foreta visuell inspeksjon og undersøke overdekning, fuktinnhold og porøsitet, karboniseringsdybde samt kloridinnhold. Tunnelene dette gjelder er Helltunnelen, Ekebergtunnele og Smestadtunnelen.

De mest vesentlige resultatene av undersøkelsene og vurderingen av disse presenteres i Tabell 27.

Tabell 27 De mest vesentlige resultatene av undersøkelsene og vurderingen av disse

	Helltunnelen*	Ekeberg*	Smestad**
Karbonatiseringsdybde	Gjennomsnittlig middelvei er 9,2 mm. Største middelvei er 17,1 mm	Gjennomsnittlig middelvei er 18,0 mm i sprøytebetongen og 0,0 mm i betongelementene.	Gjennomsnittlig middelvei er 7,8 mm. Resultater fra tidligere rapporter tyder på at det er liten utvikling i karbonatiseringen.
Kloridinnhold	Gjennomsnittlig kloridinnhold i høyde 1 er 0,110 % av betongvekt i sjiktet 40-50 mm. I høyde 2 er kloridinnholdet 0,028 % av betongvekt i samme sjikt. Lavt kloridinnhold i høyde 3 og 4.	Gjennomsnittlig kloridinnhold på 0,090 % av betongvekt i sjikt 15-20 mm i sprøytebetongen i høyde 4, i dypere sjikt er det betydelig lavere. Lavt kloridinnhold i de øvrige høydene.	Gjennomsnittlig kloridinnhold på 0,149 og 0,134 % av betongvekt i sjiktet 40-50 mm i henholdsvis prøvelokasjon 1 og prøvelokasjon 5. Lavt kloridinnhold i de øvrige prøvelokasjonene.
Fukttinnhold og porøsitet	Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 72,8 %.	Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 77,3 %	Gjennomsnittlig vannmetningsgrad er 87,9 %
Overdekning	Gjennomsnittlig overdekning er 44,2 mm.	Gjennomsnittlig overdekning er 47,2 mm.	Gjennomsnittlig overdekning er 35,0 mm
Visuell inspeksjon			Bom og avskalling på grunn av armeringskorrosjon ble observert nederst på begge veggene. Liten overdekning i enkelte områder i taket.
Vurdering	Det er fare for armeringskorrosjon i nedre del av veggene på grunn av kloridinnhold. Korrosjonshastighet vil trolig ikke begrenses av fukttinnhold.	Karbonatiseringsdybden og kloridinnholdet i sprøytebetongen tyder på at den er av dårlig kvalitet. Det er foreløpig ikke fare for armeringskorrosjon, men dersom det stemmer at betongkvaliteteten er lav vil dette endre seg. Korrosjonshastighet vil trolig ikke begrenses av manglende fukttinnhold.	Armeringskorrosjon på grunn av kloridinnhold har startet i nedre del av veggene. Omfanget vil øke dersom ikke tiltak treffes. Overdekningen i denne tunnelen er mindre enn i de andre. Selv med overdekning lik den som er i de andre tunnelene ville det vært fare for armeringskorrosjon på grunn av kloridinnholdet. Korrosjonshastigheten vil ikke begrenses av manglende fukttinnhold.

*) I Helltunnelen og Ekebergtunnelen gjelder følgende:

Prøvelokasjon 1	Prøvelokasjon 2	Prøvelokasjon 3	Prøvelokasjon 4
Omtrent 0,8 m over bankett	Omtrent 1,6 m over bankett	Omtrent 2,7-2,8 m over bankett	Omtrent 4,7 m over bankett

***) I Smestadtunnelen gjelder følgende:

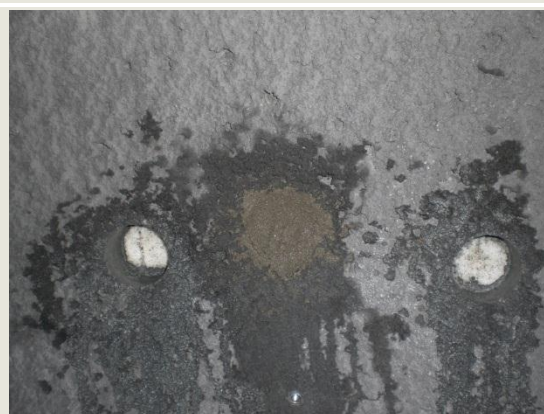
Prøvelokasjon 1	Prøvelokasjon 2	Prøvelokasjon 3	Prøvelokasjon 4	Prøvelokasjon 5
0,1 m over bankett	1,6 m over bankett	Midt i tak	1,6 m over bankett	0,1 m over bankett

13

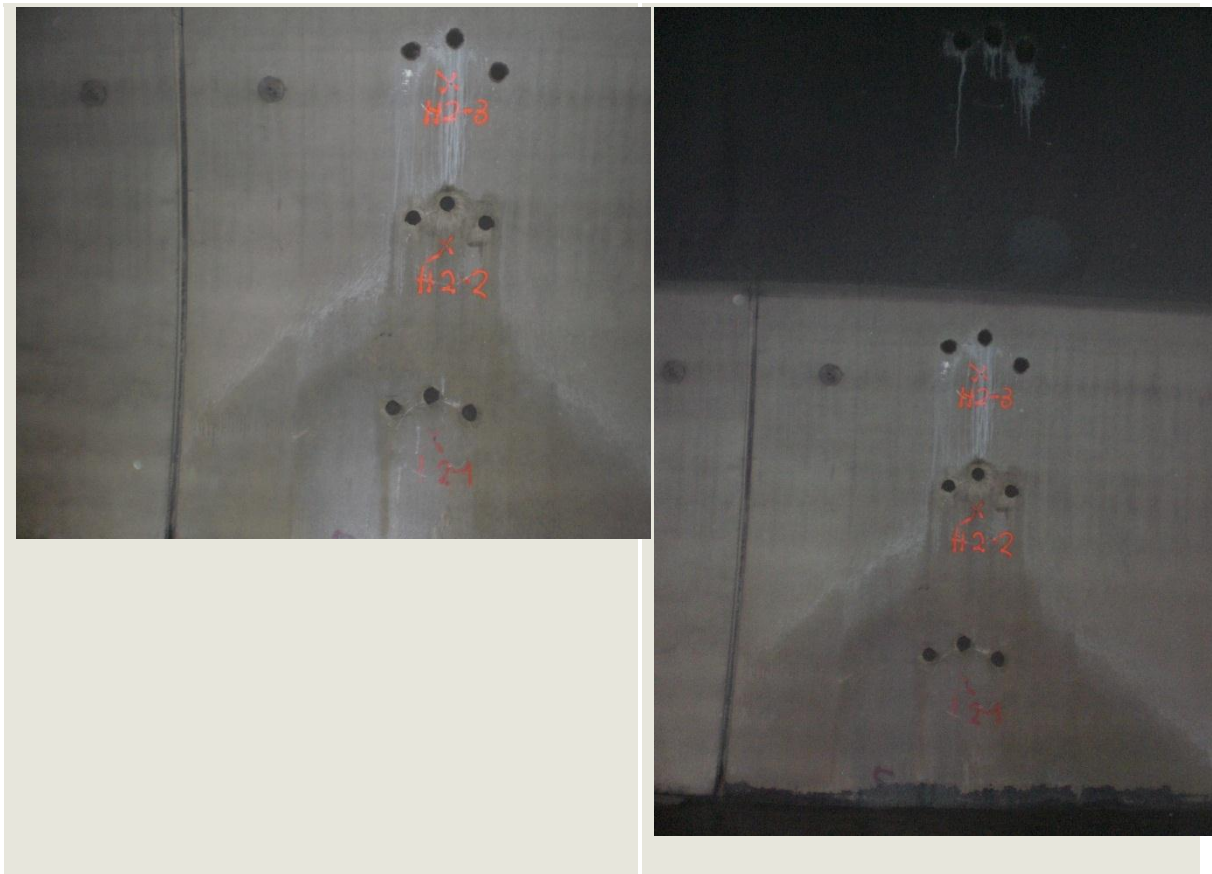
Vedlegg 1 Bilder av prøvelokasjoner

13.1 BILDER FRA HELLTUNNELEN

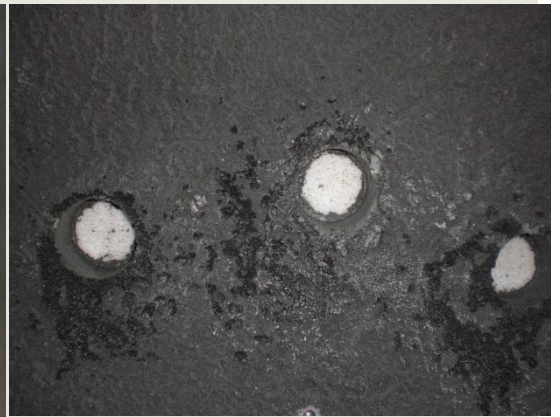
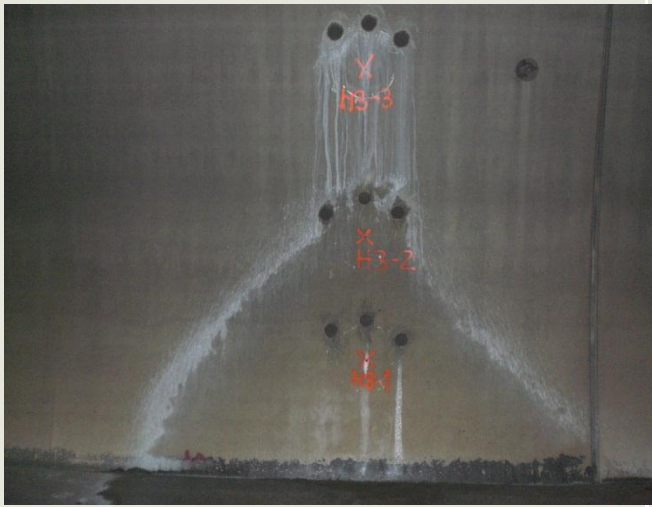
Profil 1. H1-4 er den mørke sprøytebetongen.



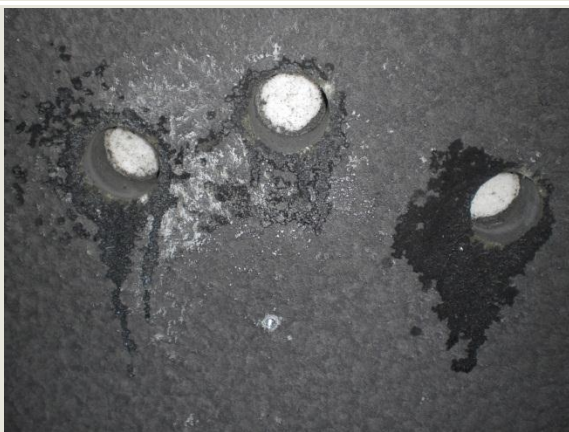
Profil 2. H2-4 er den mørke sprøytebetongen.



Profil 3. H3-4 er den mørke sprøytebetongen.



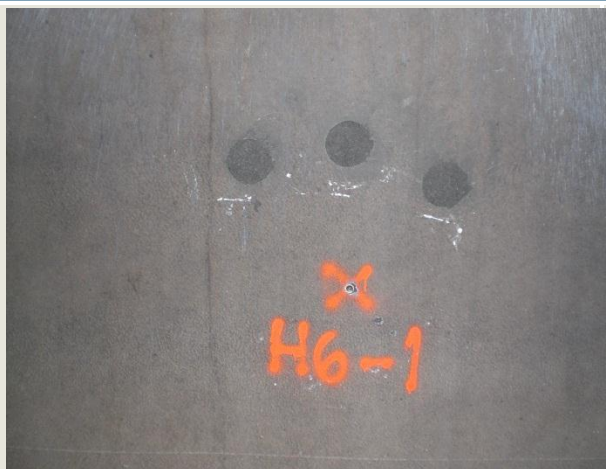
Profil 4. H4-4 er den mørke sprøytebetongen.



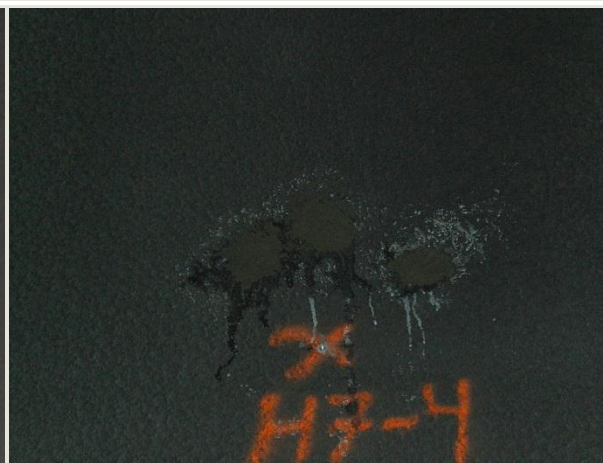
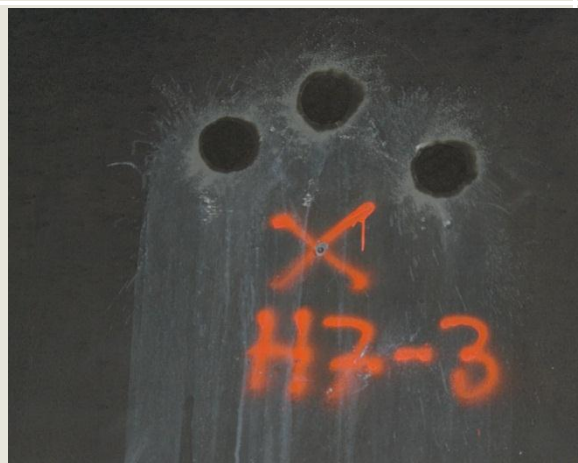
Profil 5. H5-4 er eneste prøvelokasjon.



Profil 6. Bilde av H6-1 og H6-2 mangler.



Profil 7.



Profil 8.

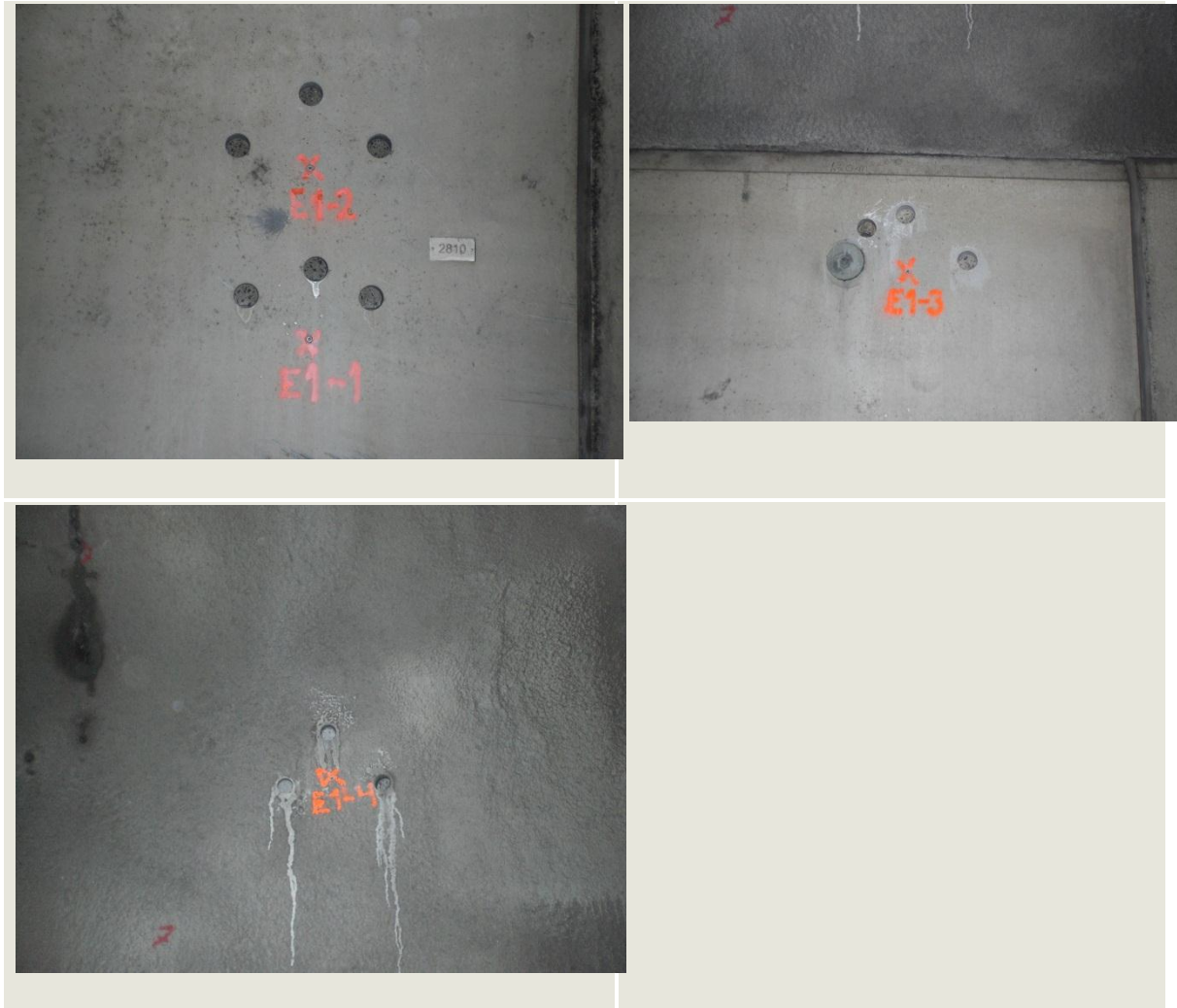


Profil 9. Markeringen av H9-2 er utenfor bildet.

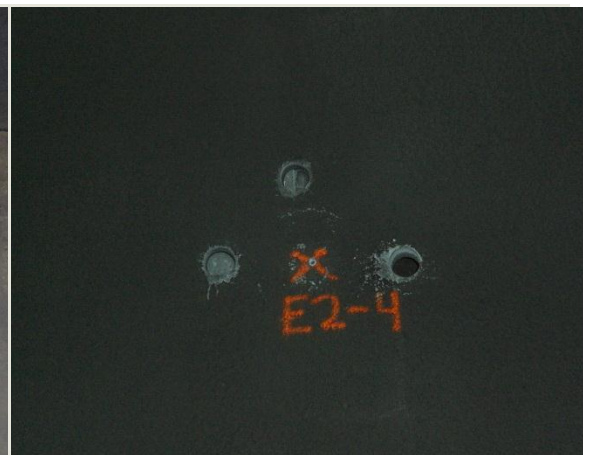


13.2 BILDER FRA EKEBERGTUNNELEN

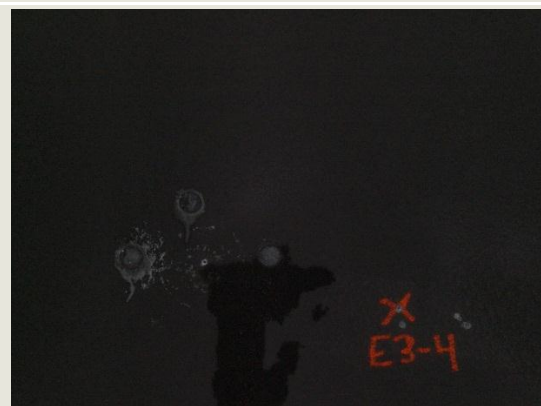
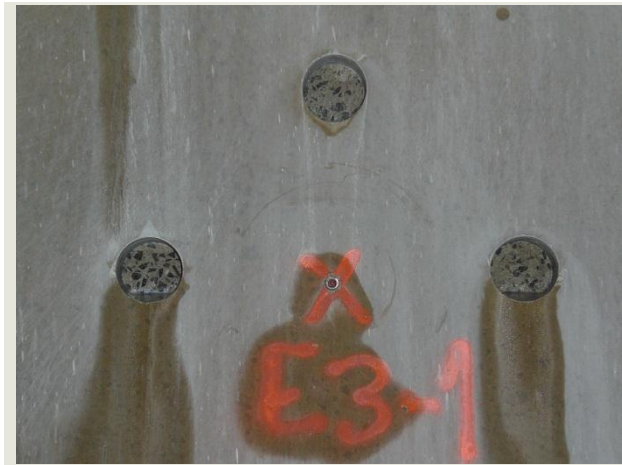
Profil E1.



Profil E2.



Profil E3.



Profil E4.



13.3 BILDER FRA SMESTADTUNNELEN

Profil A.



Profil B.



Profil C. Bilde av SC2 og SC 3 mangler.



Vedlegg: Beskrivelse av oppdraget

Aktuelle tunneler:

- Helltunnelen ca. 2 km fra Værnes flyplass i retning Trondheim
- Smestadtunnelen i Oslo (Ring 3)
- Ekeberg tunnelen, nordgående løp fra Sentrum (Operatunnelen) og nordover

Beskrivelse av oppdraget:

Det skal gjennomføres en kartlegging av miljøbetingelsene i de 3 overnevnte tunnelene med tanke på følgende:

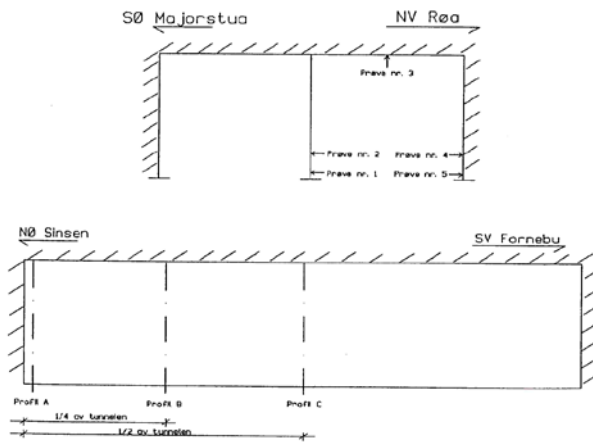
- Kloridpåkjenning distribuert over tunnelprofilen og i tunnelens lengde. Prøvene tas ut som kjerner med 75 mm diameter og en lengde på omkring 100 mm. Membran skal ikke brytes, og lengden av prøven skal derfor ikke overstige 120 mm. Tykkelsen av vann- og frostsikringsselementene er 150 mm. Hull etter prøveuttak skal gjenfylles med egnet mørtel. Prøvene skal freses i sjiktene 5, 10, 15, 20, 30, 40 og 50 mm dybde, og analyseres i henhold til Håndbok 014, metode 14.643 eller 14.644. For prøve 4 (sprøytebetong) skal prøvens diameter og lengde samt sjiktene tilpasses tykkelsen av sprøytebetonglaget. Sjiktene 30 mm – 50 mm kan da slås sammen. Det må påregnes at det må benyttes kjerner med diameter 50 mm som er 50 mm lange og uttak av 2 kjerner for å oppnå en prøve.
- Karbonatisering distribuert over tunnelprofilen og tunnelens lengde. Kjerner med 75 mm diameter og en lengde på omkring 100 mm. Membran skal ikke brytes, og lengden av prøven skal derfor ikke overstige 120 mm. Tykkelsen av vann- og frostsikringsselementene er 150 mm. Hull etter prøveuttak skal gjenfylles med egnet mørtel. Prøvene skal splittes og en halvdel skal pakkes tett forsegling for senere strukturanalyse, som ikke inngår i dette arbeidet (og følgelig ikke skal prises). Den andre halvdelens påsprøytes pH indikatorløsning (phenoftalein) for påvisning av karbonatiseringsfrontens inntrengningsdybde. Analysen skal være i henhold til Håndbok 014, metode 14.645. For prøve 4 (sprøytebetong) skal prøvens diameter og lengde tilpasses tykkelsen av sprøytebetonglaget. Det må påregnes at det må benyttes kjerner med diameter 50 mm som er 50 mm lange.
- Fuktblastning over profil og lengde (begrenset omfang). Kjerner med 75 mm diameter og en lengde på omkring 100 mm skal tas ut. Membran skal ikke brytes, og lengden av prøven skal derfor ikke overstige 120 mm. Tykkelsen av vann- og frostsikringsselementene er 150 mm. Hull etter prøveuttak skal gjenfylles med egnet mørtel. Prøvene skal etter kort lufttørking forsegles grundig for å bevare fukttilstanden. Prøven splittes på tvers slik at man måler fukt i de ytterste 50 mm av prøven primært, men etter avtale med byggherren kan indre del av kjernen benyttes for fuktmåling. Dette avklares spesielt og etter avtale. Analysen skal være i henhold til Håndbok 014 metode 14.637 *Begrenset prosedyre*. For prøve 4 (sprøytebetong) skal prøvens diameter og lengde tilpasses tykkelsen av sprøytebetonglaget. Det må påregnes at det må benyttes kjerner med diameter 50 mm som er 50 mm lange.

- Overdekning for vann/frostsikringslementer samt plass-støpt betong. Dette skal måles i alle prøvepunkt (ca.1 m² omkring prøveuttaket.) Måling av overdekning skal være i henhold til Håndbok 015 metode 15.542.

Spesielle observasjoner noteres ned for de aktuelle snittene. Evt. korrosjon på teknisk utstyr ved prøveuttak anmerkes spesielt. Bildedokumentasjon av alle snitt og prøvelokasjoner skal medfølge som en del av leveransen.

Det skal utarbeides en enkel resultatrapport med vurderinger av resultater og observasjoner med de viktigste observasjonene samt alle resultater for hver tunnel. Leveransen skal dekke omkostninger til nødvendig lift etc.

Smestadtunnelen, Oslo

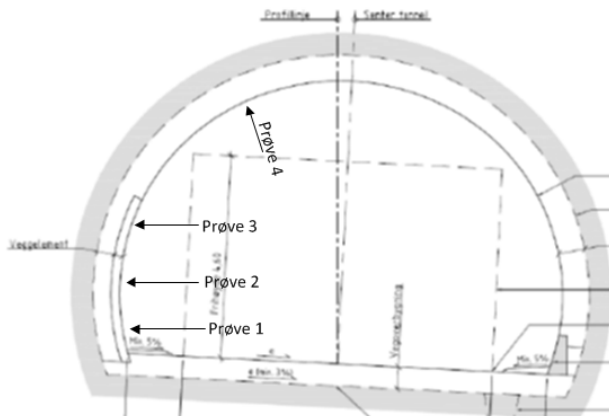


Prøve nr. 1 og 5 er tatt ut ca 18 cm over fortau.

Prøve nr. 2 og 4 er tatt ut ca 168 cm over fortau.

Prøvelokasjon ID	Klorid ø75mm kjerne, 100mm lang	Karbonatisering ø75mm kjerne, 100mm lang	Fukt ø75mm kjerne, 100mm lang	Overdekning
S-A-1	X	X	X	X
S-A-2	X	X	X	X
S-A-3	X	X	X	X
S-A-4	X	X	X	X
S-A-5	X	X	X	X
S-B-1	X	X	X	X
S-B-2	X	X	X	X
S-B-3	X	X	X	X
S-B-4	X	X	X	X
S-B-5	X	X	X	X
S-C-1	X	X	X	X
S-C-2	X	X	X	X
S-C-3	X	X	X	X
S-C-4	X	X	X	X
S-C-5	X	X	X	X

Ekeberg tunnelen, Oslo, nordgående løp (fra sentrum), 4 snitt. Se Helltunnel



Prøvelokasjon ID	Lokalitet (Nordgående løp)	Klorid Ø75mm kjerne, 100mm lang	Karbonatisering Ø75mm kjerne, 100mm lang	Fukt Ø75mm kjerne, 100mm lang	Overdekning
E1-1	Søndre "portal" +10m	X	X		X
E1-2	Søndre "portal" +10m	X	X	X	X
E1-3	Søndre "portal" +10m	X	X	X	X
E1-4	Søndre "portal" +10m	X	X	X	
E2-1	Søndre "portal" +500m	X	X		X
E2-2	Søndre "portal" +500m	X	X	X	X
E2-3	Søndre "portal" +500m	X	X	X	X
E2-4	Søndre "portal" +500m	X	X	X	
E3-1	Søndre "portal" +1000m	X	X		X
E3-2	Søndre "portal" +1000m	X	X	X	X
E3-3	Søndre "portal" +1000m	X	X	X	X
E3-4	Søndre "portal" +1000m	X	X	X	
E4-1	Søndre "portal" +1500m	X	X		X
E4-2	Søndre "portal" +1500m	X	X	X	X
E4-3	Søndre "portal" +1500m	X	X	X	X
E4-4	Søndre "portal" +1500m	X	X	X	



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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen