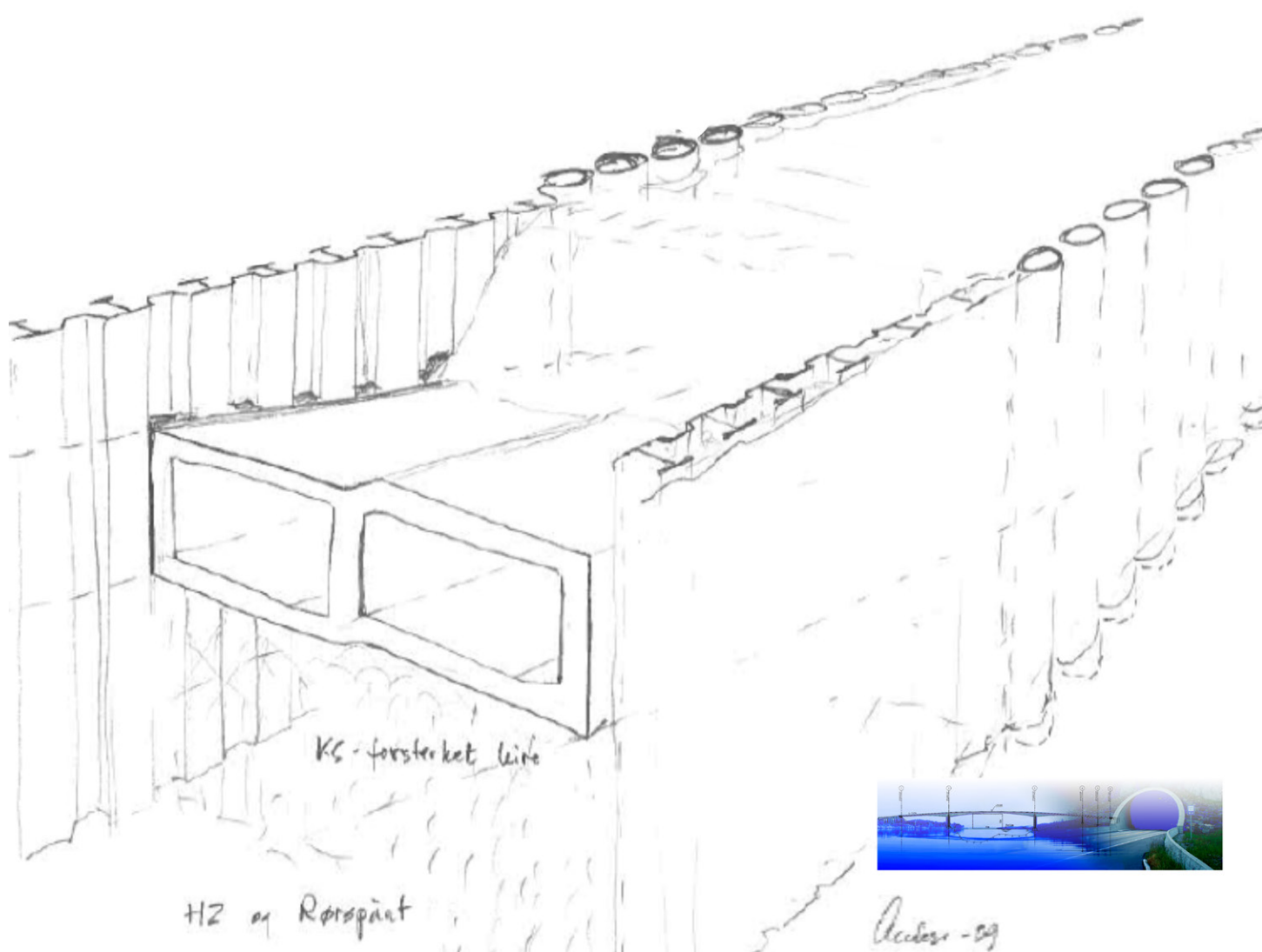


Møllenberg betongtunnel - FoU bestandighet

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012 – 2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 415



Tittel

Møllenberg betongtunnel - FoU-samarbeid
bestandighet

Undertittel

Forfatter

Øyvind Bjøntegaard

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og
teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 415

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Sølvi Austnes

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Varige konstruksjoner, fremtidens bruer,
lavvarmebetong, flygeaske, bestandighet,
kjerneprøver

Sammendrag

Ulike betongsammensetninger (lavvarmebetonger) med ekstra tilsatt flygeaske (FA) ble støpt ut i Møllenbergprosjektets tidlige fase. Fra disse betongene ble det boret ut kjerner etter 6 mnd og 12 mnd (modenhetsalder hhv. ca. 3 mnd og 6 mnd); disse ble transportert og undersøkt i laboratorium. Undersøkelsene omfatter sylindrefasthet, akselerert kloriddiffusjon, akselererte frostforsøk, luftporestrukturanalyse og naturlig karbonatisering. For to av betongene ble i tillegg fersk betong transportert direkte til laboratoriet for utstøping av prøvelegemer og prøving av akselerert karbonatisering og alkalireaktivitet. Lavvarmebetongene hadde ved 6 mnd modenhetsalder noe høyere diffusjonskoeffisient enn SV40-betongen. De presterer ikke tilfredsstillende i akselererte frostforsøk med 3% saltløsning, selv om luftporestrukturanalyser tilsier at luftporefordelingen er meget god. Naturlig karbonatiseringsdybde var usystematisk med hensyn til FA-dosering. De akselererte alkalireaksjonsforsøkene (over to år) viste at høye FA-doseringer ga ikke-reaktiv betong.

Antall sider 103

Dato Oktober 2015

Title

Møllenberg concrete culvert –
R&D-cooperation durability

Subtitle

Author

Øyvind Bjøntegaard

Department

Traffic Safety, Environment and Technology
Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 415

Project manager

Synnøve A. Myren / Sølvi Austnes

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Durable structures, future bridges, low-heat
concrete, flyash, durability, cores

Summary

Different concrete compositions (low-heat concretes) with extra-added fly-ash (FA) were cast in the early phases of the Møllenberg project. Cores were drilled from the concretes after 6 and 12 months (maturity age of ca. 3 and 6 months, respectively), then transported and tested in the laboratory. The investigation involves cylinder strength, accelerated chloride diffusion, accelerated freeze/thaw, air void structure analyses and natural carbonation. For two of the concretes fresh concrete was also delivered directly to the laboratory for casting of test specimens and testing of accelerated carbonation and alkali reactivity. At 6 months maturity age the low-heat concretes had slightly higher diffusion coefficients than the SV40-concrete. The resistance to accelerated freeze/thaw was rather poor, even though the air void structure analyses indicated the opposite. The natural carbonation depth was unsystematic with regard to the FA-content. High FA-dosages gave alkali non-reactive concretes (tested over two years).

Pages 103

Date October 2015



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 3: Fremtidens bruer** som ledes av Sølvi Austnes. Prosjektet skal bidra til at fremtidige bruer bygges med materialer bedre tilpasset det miljøet konstruksjonene skal stå i. Prosjektet skal bygge på etablert kunnskap om skadeutvikling og de sårbare punktene som identifiseres i Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer, og skal omhandle både materialer, utførelse og kontroll. Prosjektet skal resultere i at fremtidige bruer oppnår forutsatt levetid med reduserte og mer forutsigbare drift- og vedlikeholdskostnader.

Rapporten er utarbeidet av *Øyvind Bjøntegaard*, Statens vegvesen

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INNLEDNING OG PROSJEKTINFORMASJON | 2 |
| 2 | BETONGNAVN, BETONGRESEPTER OG OVERORDNET PRØVNINGSOPPLEGG | 4 |
| 3 | BETONGENES MODENHET ETTER 6 OG 12 MND ALDER..... | 7 |
| 4 | PRØVINGSOPPLEGG OG RESULTATER RUNDE 1 | 8 |
| 4.1 | PRØVNINGSOPPLEGG RUNDE 1 | 8 |
| 4.2 | RESULTATER OG DISKUSJON, RUNDE 1..... | 8 |
| 5 | PRØVINGSOPPLEGG OG RESULTATER RUNDE 2 | 12 |
| 5.1 | PRØVNINGSOPPLEGG RUNDE 2 | 12 |
| 5.2 | RESULTATER OG DISKUSJON, RUNDE 2..... | 13 |
| 6 | SAMMENDRAG | 16 |
| 7 | KONKLUSJON..... | 17 |
| 8 | MULIG FRAMTIDIG OPPFØLGING..... | 17 |
| 9 | REFERANSER..... | 17 |

VEDLEGG 1 Lokalisering av anvendte betongresepter

VEDLEGG 2 Prøvningsrapporter fra Runde 1; Bestandighet

VEDLEGG 3 Prøvningsrapporter fra Runde 1; Ung betong

VEDLEGG 4 Prøvningsrapporter fra Runde 2; Bestandighet

1 Innledning og prosjektinformasjon

Rapporten presenterer resultatene fra laboratorieundersøkelser (bestandighetsegenskaper) som ble utført i forbindelse med utprøvingen av ulike lavvarme betongresepter (ulike doseringer flygeaske) i prosjektet med å lage en betongtunnel på Møllenberg, Trondheim. Tunnelen ble bygd som en betongkultvert i åpen byggegropp. Byggherre var Statens vegvesen og entreprenør NCC (kontrakt Dagsone vest/parsell Trondheim, totalentreprise).

I forbindelse med utprøvingen av ulike betongresepter ble det etablert et FoU-samarbeid mellom Statens vegvesen Reg. Midt (prosjektorganisasjonen E6 Trondheim – Stjørdal), NCC, og Tunnel og betongseksjonen i Vegdirektoratet. Formålet med FoU-samarbeidet var å studere betongenes bestandighetsegenskaper. Kostnadene knyttet til undersøkelsene ble delt mellom de tre partene. Sammenstilling og rapportering er utført innenfor etatsprogrammet Varige konstruksjoner.

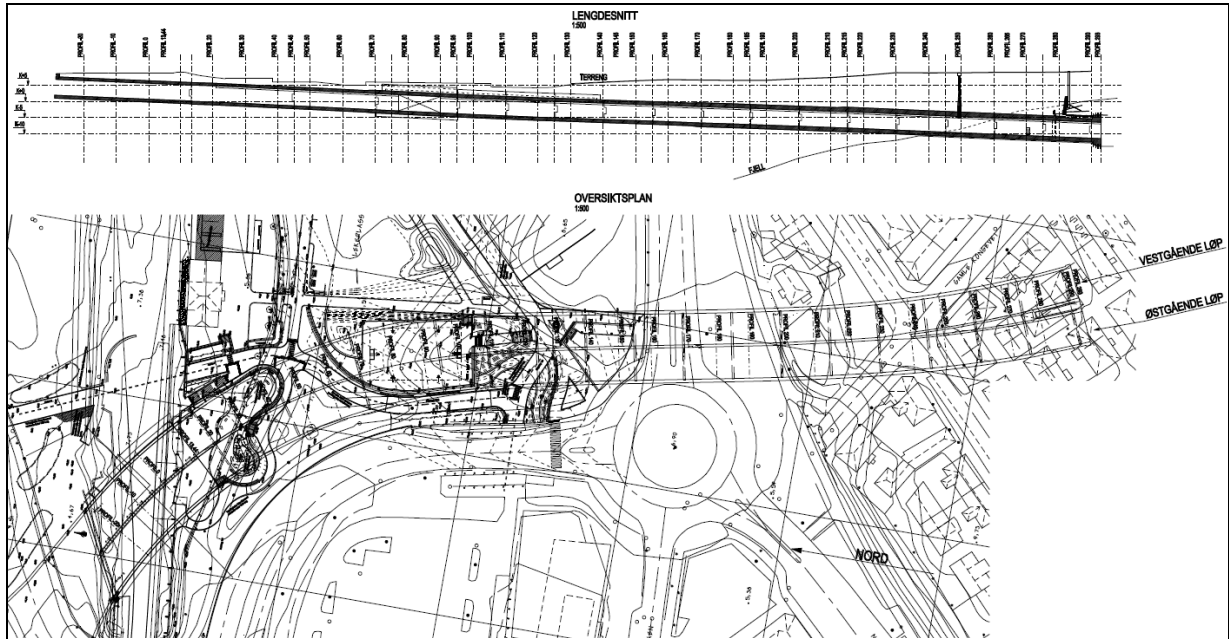
Det ble innledningsvis i prosjektet prøvd ut ulike betongresepter med variabelt flygeaskeinnhold. Det ble støpt ut betonger med henholdsvis 20%, 34%, 39%, 46% og 50% flygeaske av total sement (c) + flygeaskemengde (FA). På anlegget ble det i ettertid boret ut kjerner som ble sendt til SINTEF Byggforsk for laboratorieprøving. Kjernene ble i hovedsak tatt fra de første veggstøpene (i vest), mens noen ble tatt fra 1 m³ herdekasser som innledningsvis ble støpt ut for å registrere betongenes herdetemperatur. En oversikt over betongresepter og i hvilke vegger de ble benyttet er gitt i VEDLEGG 1. Betongprodusenten NorBetong fikk tilgang på egne leveranser av FA fra Norcem og kunne derfor tilsette ekstra FA under blanding, utover de 20% FA som var del av Anlegg FA-sementen.

Betongtunnelen ble bygd i en spuntet/åpen byggegropp. Før byggingen startet høsten 2011 hadde det i nær 2 år pågått forberedelser med flytting av fredede bygårder, kalk-sement-stabilisering av leirgrunnen, spunting/avstivning og masseutgraving. På det dypeste var byggegroppa nesten 20 m dyp, de lengste spuntålene ca 50 m lange og det var på det dypeste 6 nivåer med tverrgående avstivning av spuntveggene, se Figur 1 - Figur 4. Betongtunnelen er etter tilbakefylling av masser og ferdigstilling liggende delvis i og delvis helt under grunnvann (ca. 15 m under grunnvann på det dypeste). For å redusere faren for fastholdingsriss (temperaturreis) og vanninntrenging gjennom slike riss ble det i prosjektet prøvd ut flere varianter av lavvarmebetonger, som et av flere tiltak for å sikre en vannnett konstruksjon.

Den totalt 300 meter lange betongtunnelen har helning nedover mot øst og møter der berg hvor den er koplet til en 2,2 km bergtunnel (entreprenør Skanska). Tunnelsystemet danner sammen den totalt 2,5 km lange Strindheimtunnelen (rv. 706, åpnet juni 2014, to-løps/firefelts, ÅDT 20000).

Betongtunnelen ble støpt i støpeseksjoner på henholdsvis 25 m (de tre første seksjonene i vest, se Figur 1) og 15 m (de resterende 13 seksjonene). Alle seksjonene er forbundet med dilatasjonsfuger og to waterstop, og med indre utsparing for mulig ettermontering av omegapakning.

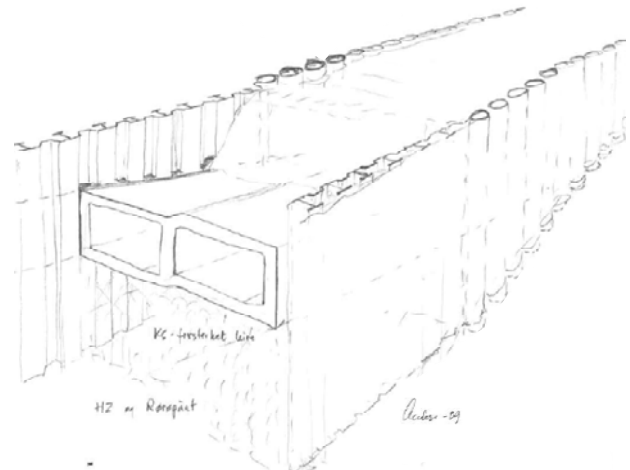
Tunneltverrsnittet består av en bunnplate, to yttervegger, en midtvegg og takdekke; hver seksjonsdel ble utført som separate støper. Etter innledende utprøvingen av ulike betongresepter ble det, som anmerket i Figur 4, videre benyttet bestemte betongresepter i de ulike seksjonsdelene. I bunnplata ble det benyttet en tradisjonell SV40-betong med masseforhold 0,4, AnlFA-sement (20% FA) og 5% silikastøv av mengde c + FA, tilslag $d_{maks}=22$ mm. I yttervegger, midtvegg og takdekke ble det benyttet en lavvarmebetong med proporsjonert masseforhold 0,45, 39% FA (av c + FA) og 8 % silikastøv, tilslag $d_{maks}=32$ mm. I nedre del av takdekke ble det brukt en variant av lavvarmebetongen med tilsatt brannsikringsfiber. Generelle krav som gjaldt var fasthetsklasse B45, luftinnhold i fersk betong $5\pm 1,5\%$ og nominell armeringsoverdekning 75 mm. For lavvarmebetongen var kontrollalderen for fasthet 90 døgn.



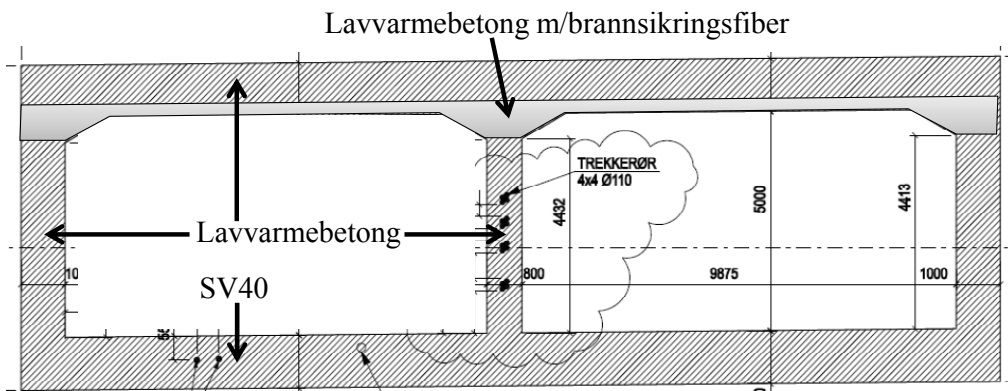
Figur 1 Møllenberg betongtunnel – i dag del av Strindheimtunnelen (Trondheim); lengdesnitt og oversiktsplan. Tegning K200-200 (Sweco)



Figur 2 Byggegrøpa på Møllenberg mot vest. Foto: Statens vegvesen



Figur 3 Skisse av betongtunnelen og spuntsystem. Tegning: Anders Beitnes, Byggeleder



Figur 4 Typisk betongtverrsnitt og fordeling av betongresepter.

2 Betongnavn, betongresepter og overordnet prøvningsopplegg

Laboratorieprogrammet ble utført ved SINTEF Byggforsk, Trondheim. Prøvingen ble gjort i to omganger (kalt Runde 1 og Runde 2) og er hovedsakelig basert på kjerner tatt fra herdet betong på byggeplass. Noen prøvestykker i Runde 1 ble imidlertid støpt ut i laboratoriet (akselererte forsøk på karbonatisering og alkalireaksjoner) ved at betongbiler kjørte innom laboratoriet og leverte fersk betong. AnlFA-sementen inneholder ca. 20% FA (av c + FA). I realiteten lå FA-innholdet i sementen på rundt 16-17%, men det er antatt i %-beregningene at FA-innholdet var 20%. FA-innhold angitt til å være høyere enn 20% (av c + FA) betyr derfor at FA er tilsatt separat under blanding. En oversikt over betongenes ulike navn og flygeaskeinnhold er gitt i Tabell 1, og detaljerte resepter er gitt i Tabell 2. Tilslaget består av totalt 43% alkalireaktive bergarter.

I prosjektet ble de ulike lavvarmebetongvariantene «oppkalt» etter deres flygeaskeinnhold i % av klinkermengden, og ikke av sement (c) + flygeaske mengde (FA) som har vært mer vanlig. Det vil si at, for eksempel, betongen «65 % FA» har et FA/klinker-forhold på 0,65 og dermed et FA/(c+FA)-forhold på 39,4%. I Tabell 1 og Tabell 2 er begge disse beregningsmåtene for FA-innhold angitt.

Tabell 1 Undersøkte betonger, Runde 1 og 2: Betongnavn og totalt flygeaskeinnhold av (c + FA)

| | Betongnavn (etter sitt FA/klinker-forhold) | Flyveaske mengde beregnet som FA/(c + FA) |
|---------|---|--|
| Runde 1 | «SV40» | 20 % |
| | «50% FA» | 34 % |
| | «100% FA» | 50 % |
| Runde 2 | «50% FA» | 34 % |
| | «65% FA» | 39 % |
| | «87% FA» | 46 % |
| | «100% FA» | 50 % |

De ulike betongene har alle et vann-bindemiddelforhold (v/b) nær 0,40, dvs. når det regnes virkningsfaktor 1,0 både for silikastøv og FA, se Tabell 2. For beregning av masseforhold (m) ble det i prosjektet benyttet virkningsfaktor 2.0 for silikastøv. For FA ble det for SV40-betongen brukt virkningsfaktor 1,0 for hele sementen, dvs. inklusive de 20% med FA som er del av Anlegg FA-sementen. For alle lavvarmebetongene ble det brukt virkningsfaktor 0,7 for all FA, dvs. både den FA som er del av sementen og den FA som er tilsatt separat under blanding. Masseforholdkravet var 0,40 for SV40-betongen og 0,45 for lavvarmebetong. Som angitt i Tabell 2 var proporsjonert masseforhold til to av lavvarmebetongene som ble benyttet i laboratorieprogrammet imidlertid på 0,47 (gjelder «87% FA» og «100% FA») og er derfor marginalt høyere enn i de to resterende lavvarmebetongene («50% FA» og «65% FA») med masseforhold 0,45. Merk at i betongen «87% FA» er en del av AnlFA-sementen erstattet med Industrisement tilsvarende 1/3 av sementklinkeren. Vi kan videre se fra Tabell 2 at både masseforhold, pastavolum, total vannmengde og silikadosering varierer noe i de ulike reseptene. I «65% FA»-betongen er det for eksempel 8,3% silikastøv (av c + FA), men bare drøyt 5% i de andre betongene. Betongene danner dermed ikke en «ren» parameterstudie på effekten av FA-dosering.

Tabell 2 Resepter, Runde 1 og 2

| Delmateriale | SV40 | 50% FA | 65% FA | 87% FA | 100% FA |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | (d _{maks} 22mm) | (d _{maks} 32mm) | (d _{maks} 32mm) | (d _{maks} 32mm) | (d _{maks} 32mm) |
| Totalt fritt vann | 153,0 | 142,4 | 136,8 | 139,3 | 135,5 |
| Anl-FA sement ^{*)} | 366,8 | 265,2 | 225,0 | 128,8 | 190,0 |
| Industrisement | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 64,4 | 0,0 |
| Flyveaske | 0,0 | 54,3 | 72,0 | 116,5 | 114,0 |
| Silika | 15,3 | 14,9 | 21,0 | 15,0 | 15,0 |
| Ramlo sand 0-8 mm | 880 | 895 | 950 | 935 | 950 |
| Ramlo pukkk 8-16 mm | 403 | 335,5 | 315 | 310 | 310 |
| Ramlo pukkk 16-22 mm | 523 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ramlo pukkk 16-32 mm | 0 | 632 | 620 | 620 | 620 |
| SX-N (81,5% vann) | 0 | 1,8 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| SR-N (80,5% vann) | 3,75 | 1,8 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Mapair (90% vann) | 2,2 | 1,7 | 2,5 | 2,5 | 3,0 |
| Antatt luftinnhold | 5 % | 5 % | 5 % | 5 % | 5 % |
| <i>Teoretisk densitet</i> | <i>2341</i> | <i>2339</i> | <i>2340</i> | <i>2329</i> | <i>2335</i> |
| Proporsjonert masseforhold | | | | | |
| $m = v/(klinker + 2s + 0,7x \text{ all FA})$ ^{**)} | 0,39 | 0,45 | 0,45 | 0,47 | 0,47 |
| FA/c | 25,0 % | 50,6 % | 65,0 % | 85,0 % | 100,0 % |
| FA/(c+FA) | 20,0 % | 33,6 % | 39,4 % | 45,9 % | 50,0 % |
| s/(c+FA) | 5,2 % | 5,6 % | 8,3 % | 5,3 % | 5,6 % |
| $v/b = v/(c+1s+1FA)$ | 0,40 | 0,41 | 0,40 | 0,41 | 0,41 |
| Pastavolum (liter) | 283 | 262 | 253 | 261 | 256 |

^{*)} For Anl-FA er det antatt 80% klinker og 20% FA

^{**)} I Møllenbergprosjektet ble masseforholdet m for SV40 regnet med $k=1$ for hele sementen (også FA i sementen), men for alle andre betonger ble det regnet $k=0,7$ for FA både i sementen og tilsatt separat. For silikastøv $k=2,0$.

Det har eksistert ulike måter å beregne masseforhold, FA- og silikastøv-innhold på (eksemplifisert i herværende rapport), noe som har vært kilde til ulike måter å proporsjonere/spesifisere betong på og noen ganger også kilde til usikkerhet. Hvordan mengdeforholdene skal beregnes er nå fastlagt og klarere definert i NS-EN 206:2013+NA:2014, samt i Håndbok R762 Prosesskode-2:2015. For masseforholdet (MF40 og MF45) skal virkningsfaktoren k være 1,0 for hele sementen, uansett innhold av FA (eller slagg), og for ekstra tilsatt FA er $k=0,7$, og for silikastøv er $k=2,0$. FA- og silikastøv(s)-innholdet skal beregnes i forhold til hele bindemidlet (dvs. $c + FA + s + \text{evt. slagg}$); dette gir noe lavere verdier for FA- og s-innhold enn når innholdet beregnes i forhold til bare $c + FA$ (slik som i Tabell 2). For ordens skyld er derfor masseforhold, FA- og s-innhold beregnet etter ovenstående regler, se Tabell 3.

Tabell 3 Mengdeforhold for de undersøkte betongene i hht. dagens regelverk (2015)

| Mengdeforhold | SV40 | 50% FA | 65% FA | 87% FA | 100% FA |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| $m = v/(c + 2s + 0,7FA)$ | 0,39 | 0,43 | 0,43 | 0,46 | 0,45 |
| FA/(c+s+FA) | 19,2 % | 32,1 % | 36,8 % | 43,8 % | 47,6 % |
| s/(c+s+FA) | 5,0 % | 5,3 % | 7,7 % | 5,0 % | 5,3 % |

Overordnet prøvningsopplegg

Overordnet prøvningsopplegg er gitt i Tabell 4. Mer detaljert angivelse av prøvningsmetodene etc. er gitt i Kapittel 4 og 5.

Tabell 4 Prøvningstyper, prøvningsaldre og undersøkte betonger i Runde 1 og 2

| Prøvningstype | Betonger og alder ved prøvning | |
|--|--|--|
| | Runde 1 SV40, 50% FA, 100% FA | Runde 2*) 50% FA, 65% FA, 87% FA, 100% FA |
| Sylinderfasthet | 6 og 12 mnd | 12 mnd |
| Elektrisk motstand | 6 og 12 mnd | - |
| Akselerert kloriddiffusjon | 6 og 12 mnd | - |
| Akselerert frostforsøk | 6 mnd (3% NaCl) | 12 mnd (både 3% NaCl og ferskvann) |
| Luftporestrukturanalyse | 6 mnd | - |
| Naturlig karbonatisering | 6 mnd | 12 mnd |
| Akselerert karbonatisering | Eksposering i perioden 65 og 121 døgn | - |
| Akselerert alkalireaksjonsforsøk, betongprismemetoden | Eksposering i 2 år**) | - |

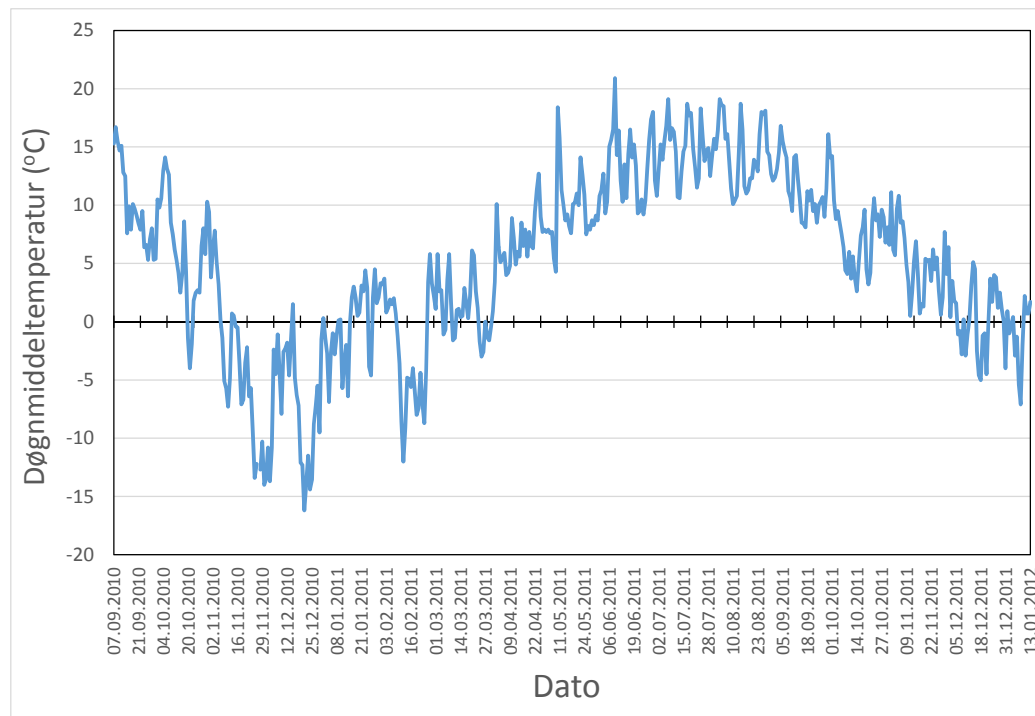
*) I Runde 2 varierte betongalderen fra 11-17 mnd

***) SV40-betongen ble ikke prøvd

3 Betongenes modenhet etter 6 og 12 mnd alder

Betongundersøkelsene som presenteres i det etterfølgende er basert på uttak av kjerner på byggeplass etter henholdsvis 6 og 12 mnd. Lavvarmebetongene (med ekstra tilsatt FA), som kjerner senere ble tatt fra, ble støpt i tidsrommet fra 07.09.2010 til 13.01.2011, mens SV40-betongen ble støpt ut 13.05.2010. Vinteren 2010-2011 var usedvanlig kald og betongene forventes dermed å ha fått langsom modenhetsutvikling gjennom denne vinteren. Figur 5 viser historiske værdata over et drøyt år i aktuell periode, og Tabell 5 viser anslått modenhet for de ulike betongene ved henholdsvis 6 mnd og 12 mnd alder. Modenhetsanslaget er basert på gjennomsnittstemperaturen i aktuell tidsperiode og på aktiveringsenergi bestemt på beslektede betonger i COIN-prosjektet [4].

For lavvarmebetongene er modenheten kun ca. 2,5 mnd ved 6 mnd alder, og tilsvarende for SV40-betongen 3,8 mnd. Etter 12 mnd alder er modenheten for alle betongene ca. 6 mnd. Grovt regnet kan vi dermed si at modenhetene til betongene er omtrent halvparten av betongenes alder ved prøvning. Dette er verdt å ta med seg i den videre vurderingen av resultater fra de uttatte kjernene.



Figur 5 Historiske værdata, døgngjennomsnittstemperatur i Trondheim (Voll). Kilde: eKlima, Meteorologisk institutt

Tabell 5 Gjennomsnittstemperaturer i Trondheim (Voll) og anslått modenhet for de ulike betongene henholdsvis 6 mnd og 12 mnd etter sine individuelle støpedatoer

| Betong | Gjennomsnittstemperatur over 6 mnd fra støpedato | Anslått modenhet etter 6 mnd | Gjennomsnittstemperatur over 12 mnd fra støpedato | Anslått modenhet etter 12 mnd |
|----------|--|------------------------------|---|-------------------------------|
| SV40 | 10,4 °C | 3,8 mnd | 5,0 °C | 5,6 mnd |
| 50 % FA | 0 °C | 2,3 mnd | 5,4 °C | 5,6 mnd |
| 65 % FA | 2,7 °C | 2,4 mnd | 6,4 °C | 6,0 mnd |
| 87 % FA | 5,8 °C | 2,9 mnd | 6,9 °C | 6,1 mnd |
| 100 % FA | 3,2 °C | 2,5 mnd | 6,5 °C | 6,0 mnd |

4 Prøvningsopplegg og resultater Runde 1

4.1 Prøvningsopplegg Runde 1

Kjerner ble boret ut på byggeplass fra de tre betongene SV40, 50% FA og 100% FA. Kjernene hadde etter boring diametere på 92-94 mm og lengder 260-460 mm. Kjerner ble boret ut henholdsvis 6 mnd og 12 mnd etter støp. For kjerner boret ut 6 mnd etter støp ble alle egenskapene i punktlisten nedenfor målt, men ikke alle egenskapene ble målt for kjernene boret ut etter 12 mnd. Kjernene ble etter utboring transportert til laboratoriet ved Sintef Byggeforsk/Trondheim og tildannet til prøvestykker, og deretter prøvd i henhold til aktuell prøvningsmetode. For luftporestrukturanalyser ble kjerner sendt videre for prøving ved VBM-laboratoriet AS i Danmark. Det ble også støpt ut noen prøvestykker direkte i laboratoriet med fersk betong levert med betongbil fra blandeverk; dette gjelder akselerert karbonatisering og alkalireaktivitet. Prøvningsrapportene er gitt i VEDLEGG 2. Følgende prøvning ble gjennomført:

Utborede kjerner

- Densitet og sylindrefasthet, NS-EN 12390
 - o 3 kjerner ved 6 mnd og 12 mnd
- Elektrisk motstand, Sintef internprosedyre KS 14-05-04-128
 - o 6 prøvestykker ved 6 mnd og 3 prøvestykker ved 12 mnd
- Kloridinntrengning (bulkdifusjon), NT Build 443 m/16,5% NaCl
 - o 3 prøvestykker ved 6 mnd og 12 mnd
- Salt/Frostmotstand (Boråsmetoden), NS-CEN/TS 12390-9:2006, pkt.5 slab test m/3% NaCl
 - o 6 prøvestykker ved 6 mnd
- Luftporestrukturanalyse, DS-EN 480-11, VBM-laboratoriet, Danmark
 - o 2 prøvestykker ved 6 mnd
- Karbonatisering: Målt direkte på utborede kjerner; fenoftaleinmetoden - 3 kjerner

Støpte prøvestykker i laboratoriet

- Karbonatisering: Måling ved 65 dogns alder (naturlig karbonatisering) og etter akselerert eksponering i 1% CO₂ i 8 uker, NS-EN 13295:2004; 2 prizmer
- Alkalireaktivitet, Betongprismemetoden/NB32; 3 prizmer (måling i 2 år), samt 3 terninger til måling av 28 døgns trykkfasthet
- På støpte prøvestykker ble det også gjennomført et eget laboratorieprogram på ung betongegenskaper hvor følgende ble målt: Varmeutvikling, termisk- og autogen deformasjon, aktiveringsenergi, E-modul og strekkfasthet. Disse dataene ble senere benyttet i herdefasesimuleringer av fastholdingsspenninger i veggene i betongtunnelen. Denne delen av laboratorieprogrammet er ikke diskutert i denne rapporten (gjennomført i egen regi av NCC). Prøvningsrapportene er imidlertid gitt i VEDLEGG 3.

4.2 Resultater og diskusjon, Runde 1

En samlet oversikt over alle resultatene for betongene undersøkt i Runde 1 (SV40, 50% FA og 100% FA) er gitt i Tabell 6. I det følgende er de enkelte resultatene diskutert. Det minnes om at betongenes (kjerneprøvenes) modenhet ved prøvning er bare ca. halvparten av prøvningsalderen 6 mnd og 12 mnd, jfr. Kapittel 3.

Densitet: Normale verdier for densitet ble målt på kjernene før fasthetsmåling. For de to betongene 50% FA og 100% FA er målt densitet 45 kg/m³ høyere enn teoretisk densitet med antatt 5 % luft (Tabell 2); dette indikerer isolert sett lavere luftinnhold. Luftporestrukturanalysen viser imidlertid at luftinnhold ikke var lavere i disse betongene, se nedenfor.

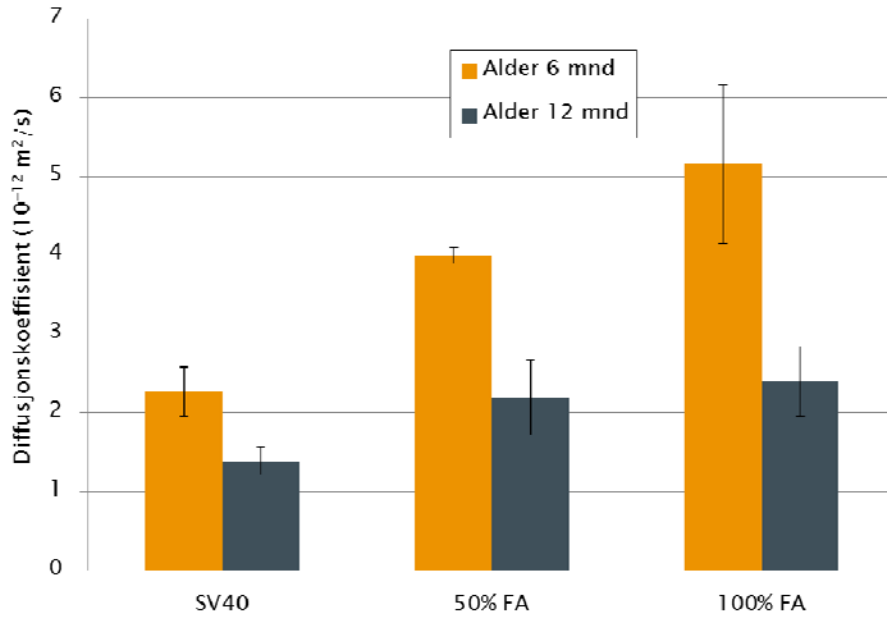
Sylinderfasthet: SV40-betongen har høyest fasthet etter 6 og 12 mnd (hhv. 60 og 67 MPa), som forventet. Ved 12 mnd har de to betongene med ekstra FA omtrent lik fasthet, begge ca. 49 MPa.

Elektrisk motstand: Etter 6 mnd ligger alle betongene omtrent på samme nivå (rundt 200 Ωm), men ved 12 mnd har begge betongene med ekstra FA høyere elektrisk motstand enn SV40-betongen. Etter 12 mnd er elektrisk motstand for de to betongene med ekstra tilsatt FA økt til rundt 600 Ωm , mot 356 Ωm for SV40-betongen. Ved økende FA-dosering er det i andre undersøkelser vært observert stor økning i elektrisk motstand over svært lang tid, se for eksempel [1][2][3]. Det kan derfor forventes at elektrisk motstand for betongene med ekstra tilsatt FA vil stige markant mer enn SV40-betongen også etter 12 mnd. Resultatet tyder på at FA sin langsomme pozzolanreaksjon (og evt. andre reaksjoner) gradvis binder opp vann kjemisk samtidig som poresystemet forfines; noe som medfører redusert ledningsevne/økt elektrisk motstand.

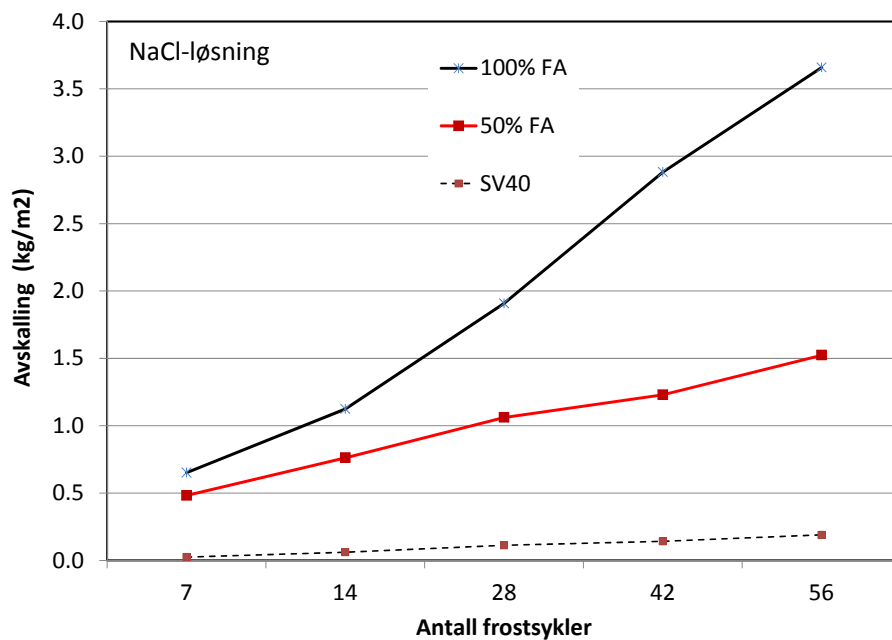
Akselerert kloriddiffusjon: Ved 6 mnd er gjennomsnittlig diffusjonskoeffisient målt til 2.3, 4.0 og 5.2 ($\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) for henholdsvis SV40, 50% FA og 100% FA, se Figur 6. Etter 12 mnd er diffusjonskoeffisientene lavere, som forventet, og forskjellene mellom betongene er betydelig mindre; 1.4, 2.2 og 2.4 for henholdsvis SV40, 50% FA og 100% FA. Betongene med ekstra tilsatt FA har med andre ord også ved 12 mnd høyere diffusjonskoeffisient selv om koeffisienten er mer redusert i perioden 6-12 mnd enn SV40. Det er grunn til å tro at disse betongene videre, i tiden etter 12 mnd, vil ta ytterligere innpå SV40 mht. diffusjonskoeffisient. I kontrollerte laboratorieforsøk (20 °C) er det tidligere sett at betong tilsvarende 50% FA-betongen hadde samme diffusjonskoeffisient som referansen allerede etter 3 mnd [1].

Akselererte frostforsøk: Resultatene fra frostforsøkene ved 6 mnd alder viser økende frostavskalling med økende FA-innhold, se Figur 7. SV40-betongen (20% FA) viser meget god frostmotstand med svært lav avskalling, mens begge betongene med ekstra tilsatt FA viser ikke tilfredsstillende frostmotstand i henhold til grenseverdien ($<1,0 \text{ kg/m}^2$ etter 56 frostsykler jfr. SS 137244:2005) som tradisjonelt har vært bruk i forbindelse med denne metoden. Frostprøvingen ble gjort på sagflater og karbonatisering bør derfor ikke ha hatt vesentlig innvirkning på resultatet. Prøvningsmetoden er ansett for å gi en svært hard frostpåvirkning og ble utviklet i sin tid da betongene i stor grad besto av ren portlandsement (dvs. CEM I uten FA). I hvilken grad metoden reflekterer frostegenskapene under naturlige feltforhold for betong generelt er uavklart og temaet har i dag stor interesse i bransjen, også internasjonalt. Prøvningsmetoden er pr. i dag under revisjon. Det kan i tillegg nevnes at temaet frostbestandighet og frostprøving av betong bestående av bindemiddel med høye doseringer av FA og slagg er en av flere hovedaktiviteter i det nylig igangsatte bransjeprojektet DaCS (Durable Advanced Concrete Solutions); dette er et NFR-støttet BiA-prosjekt som går fra 2015 til 2019.

Luftporestrukturanalyse: Tradisjonelt er en spesifikk overflate på luftporene $>25 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ og en avstandsfaktor $<0,25 \text{ mm}$ ansett for å sikre frostbestandig betong. I så måte indikerer resultatene at alle betongene skulle ha tilstrekkelig frostbestandighet. For de to betongene med høyt FA-innhold er det i så måte motstridende resultater fra luftporestrukturanalysen og fra frostforsøkene (diskutert over). Spesielt gjelder dette 100% FA-betongen hvor det ble målt svært høy spesifikk overflate for luftporesystemet i kombinasjon med lav avstandsfaktor; dvs. funn som begge indikerer svært god frostmotstand. Samme betong presterte imidlertid dårligst i frostforsøket. Resultatene kan henlede til et spørsmål om det kan eksistere en annen sammenheng mellom luftporestruktur og frostbestandighet (i akselererte frostforsøk) for betonger med høye FA-doseringer enn den vi tradisjonelt har hatt lit til. I forbindelse med rapporteringen av luftporestrukturanalysene for 100% FA-betongen kommenterte VBM-laboratoriet resultatene i epost til SINTEF. Kommentaren er gjengitt her (også angitt som fotnote 1 i Tabell 6): «Prøvene i dette settet er meget forskjellig, og resultatene er derfor rapportert som enkeltverdier. I disse slipene er det mange meget små porer, som ikke er kuleformede. Det er mulig at disse ikke er luftporer i alminnelig forstand, men metoden kan ikke skille mellom porene etter deres form, og når de er veldig små (ca. $<30 \mu\text{m}$) kan de heller ikke sorteres manuelt. Det er derfor mulig at det er talt for mange porer, og at de oppgitte verdier er "for gode". Kun en analyse av tynnslip kan avgjøre dette». Analyse av tynnslip ble ikke gjennomført.



Figur 6 Beregnede diffusjonskoeffisienter, med standardavvik (merk at betongenes modenhet er bare ca. halvparten av betongenes alder, se Kap.3)



Figur 7 Frostavskalling i akselererte forsøk (Borås) med 3,5 % NaCl som frysemedium, Runde 1. Betongalder er 6 mnd (modenhetsalder ca. 3 mnd). Hvert punkt er gjennomsnitt av 6 prøvestykker, enkeltverdier og standardavvik ikke oppgitt i prøvningsrapporten.

Karbonatisering: Måling av naturlig karbonatisering ble gjort på de 6 mnd gamle kjerneprøvene og på støpte prøver i laboratoriet ved 65 døgns alder før oppstart av det akselererte karbonatiseringsforsøket. Disse to målesettene omfattet bare henholdsvis to og to betonger, dvs. ikke alle tre, se Tabell 6. For naturlig karbonatisering etter 6 mnd viser resultatene at SV40-betongen hadde en gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde på 1 mm (maks. 2 mm) etter 6 mnd, mens 100% FA-betongen hadde 3 mm (maks. 5 mm). Naturlig karbonatisering på de støpte prøvestykkene etter 65 døgn kan indikere at 50% FA-betongen ligger et sted i mellom de to andre; karbonatiseringsdybden var her i gjennomsnittlig 0,9 mm for 50% FA-betongen og 2,5 mm for 100% FA-betongen. Det akselererte karbonatiseringsforsøket i laboratoriet (med start eksponering etter 65 døgns alder) indikerer en klar

effekt av FA-innhold ved at 100% FA-betongen hadde en karbonatiseringsdybde på hele 8,5 mm, mens 50% FA-betongen hadde 3,7 mm.

Akselererte alkalireaktivitetsforsøk: Kun de to betongene 50% FA og 100% FA ble prøvd for alkalireaktivitet, over en prøvningsperiode på 2 år. Begge betongene viser god volumstabilitet og klassifiseres som ikke-reaktiv i henhold til grenseverdiene angitt i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 21. Som tidligere nevnt består betongene av tilslag som inneholder 43% alkalireaktive bergarter. Terningene som ble støpt samtidig og trykkprøvd etter 28 døgn viser (som forventet) at betongen med høyest FA-innhold har lavest fasthet.

Tabell 6 Oversikt resultater, Runde 1

| | Prøving | Betongens alder | Betongeresept | | | Enhet |
|---|--|--------------------|---------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|
| | | | 50% FA | 100% FA | SV40 | |
| In-situ betong, kjerneprøver | Sylinderfasthet (h/d=2), gj.snitt | 6 mnd | 40.8 | 45.5 | 60.1 | MPa |
| | Sylinderfasthet (h/d=2), gj.snitt | 12 mnd | 49.3 | 49.5 | 67.4 | MPa |
| | Densitet (sylinder), gj.snitt | 6 mnd | 2375 | 2385 | 2335 | kg/m ³ |
| | Densitet (sylinder), gj.snitt | 12 mnd | 2385 | 2380 | 2360 | kg/m ³ |
| | Elektrisk motstand | 6 mnd | 203 | 198 | 229 | Ωm |
| | Elektrisk motstand | 12 mnd | 620 | 547 | 356 | Ωm |
| | Bulkdifusjon, Diff.koeff. D, gj.snitt (± std.av) | 6 mnd | 3,99 ± 0,10 | 5,16 ± 1,01 | 2,27 ± 0,31 | 10 ⁻¹² m ² /s |
| | Bulkdifusjon, Overflatekons. Co, gj.snitt (± std.av) | 6 mnd | 1,15 ± 0,15 | 0,919 ± 0,11 | 1,23 ± 0,17 | % av bet.vekt |
| | Bulkdifusjon, Diff.koeff. D, gj.snitt (± std.av) | 12 mnd | 2,20 ± 0,47 | 2,40 ± 0,44 | 1,39 ± 0,18 | 10 ⁻¹² m ² /s |
| | Bulkdifusjon, Overflatekons. Co, gj.snitt (± std.av) (sagflater) | 12 mnd | 0,84 ± 0,13 | 1,157 ± 0,21 | 1,68 ± 0,22 | % av bet.vekt |
| | Frostmotstand (Borås), Avskalling 28 sykler | 6 mnd | 1.061 | 1.907 | 0.112 | kg/m ² |
| | Frostmotstand (Borås), Avskalling 56 sykler | 6 mnd | 1.523 | 3.658 | 0.190 | kg/m ³ |
| | Frostmotstand (Borås), Forhold 56/28 | 6 mnd | 1.435 | 1.918 | 1.693 | - |
| | Luftporestrukturanalyse Prøve 1, luftinnhold | 6 mnd | 4.3 | 1,8 ¹⁾ | 4,1 ²⁾ | % |
| | Luftporestrukturanalyse Prøve 2, luftinnhold | 6 mnd | 4.4 | 5,5 ¹⁾ | - | % |
| | Luftporestrukturanalyse Prøve 1, Spesifikk overflate | 6 mnd | 23 | 70 | 39 ²⁾ | mm ² /mm ³ |
| | Luftporestrukturanalyse Prøve 2, Spesifikk overflate | 6 mnd | 25 | 47 | - | mm ² /mm ³ |
| | Luftporestrukturanalyse Prøve 1, Avstandsfaktor | 6 mnd | 0.24 | 0.12 | 0,15 ²⁾ | mm |
| | Luftporestrukturanalyse Prøve 2, Avstandsfaktor | 6 mnd | 0.22 | 0.10 | - | mm |
| | Karbonatisering, prøve 1 - gj.snitt(maks) | 6 mnd | ikke prøvd | 2 (3) | 1 (2) | mm |
| Karbonatisering, prøve 2 - gj.snitt(maks) | 6 mnd | ikke prøvd | 3 (5) | 1 (2) | mm | |
| Karbonatisering, prøve 3 - gj.snitt(maks) | 6 mnd | ikke prøvd | 4 (5) | 1 (1) | mm | |
| Lab-støpt betong | Karbonatisering (NS-EN 13295) - Før forsøk | 65 døgn | 0.9 | 2.5 | Ikke prøvd | mm |
| | Karbonatisering (NS-EN 13295, 1% CO ₂) - Etter 8 ukers eksponering | 121 døgn | 3.7 | 8.5 | Ikke prøvd | mm |
| | Alkalireaksjoner (NB32, lagring i 38 °C fra 1 døgn alder) | 0 - 2 år | 0.0004 | -0.001 | Ikke prøvd | % |
| | Trykkfasthet på samtidig støpte terninger | 28 døgn | 48.1 | 39.9 | Ikke prøvd | MPa |
| | Eget ung betongprogram (ikke diskutert i rapporten) | 0 - 28 døgn | Vedlegg 3 | Vedlegg 3 | Ikke prøvd | - |

¹⁾ Kommentar fra VBM-laboratoriet A/S i epost til Sintef (forkortet og oversatt fra dansk): Prøvene i dette settet er meget forskjellig, og resultatene er derfor rapportert som enkeltverdier. I disse slipene er det mange meget små porer, som ikke er kuleformede. Det er mulig at disse ikke er luftporer i alminnelig forstand, men metoden kan ikke skille mellom porene etter deres form, og når de er veldig små (ca. <30µm) kan de heller ikke sorteres manuelt. Det er derfor mulig at det er talt for mange porer, og at de oppgitte verdier er «for gode». Kun en analyse av tynnslip kan avgjøre dette.

²⁾ Prøve 1 og 2 er rapportert som gjennomsnitt

5 Prøvningsopplegg og resultater Runde 2

5.1 Prøvningsopplegg Runde 2

Kjerner ble boret ut på byggeplass fra de fire betongene 50% FA, 65% FA, 87% FA og 100% FA. Kjernene hadde diameter på 92-94 mm og lengder 260-460 mm. For betongene 50% FA og 65% FA ble kjerner boret ut fra vegger, mens for betongene 87% FA og 100% FA ble det boret fra 1 m³ herdekasser (omgitt av utetemperatur). Kjernene ble etter utboring transportert til laboratoriet ved Sintef Byggeforsk/Trondheim. Kjernene ble boret ut på omtrent samme tidspunkt og de ulike betongenes alder varierte derfor noe. Alder ved prøvning varierte fra 11 mnd til 17 mnd, se Tabell 7. De utborede kjernene er vist i Figur 8. Prøvningsrapportene er gitt i VEDLEGG 4. Følgende prøvning ble gjennomført:

Utborede kjerner

- Densitet og sylindrefasthet, NS-EN 12390 - 3 kjerner
- Frostmotstand (Boråsmetoden), NS-CEN/TS 12390-9:2006, pkt.5 slab test
 - o Med ferskvann som frysemedium
 - o Med saltvann (3% NaCl) som frysemedium

For hver av de to prøvningsbetingelsene: 4 prøvestykker med støpehud (forskalt, vertikal overflate) som eksponeringsflate og 4 prøvestykker med sagflate som eksponeringsflate.
- Karbonatisering (fenoftaleinmetoden) - 3 prøvestykker

Tabell 7 Betongalder ved prøving i Runde 2

| | 50% FA | 65% FA | 87% FA | 100% FA |
|--|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Merking kjerner: | 7/9-10 50% | 65% FA 15/12-10 | 13/1-11 87% IND | 100% FA 20/12-10 |
| Dvs. støpedato: | 07.09.2010 | 15.12.2010 | 13.01.2011 | 20.12.2010 |
| Start frostprøving med saltvann: | 23.01.2012 | 23.01.2012 | 23.01.2012 | 23.01.2012 |
| Alder (mnd): | 16.8 | 13.5 | 12.5 | 13.3 |
| Start frostprøving med ferskvann: | 8 dager senere enn ovenfor | | | |
| Måling karbonatisering: | 08.12.2011 | 08.12.2011 | 08.12.2011 | 08.12.2011 |
| Alder (mnd): | 15.2 | 11.9 | 11.0 | 11.8 |
| Måling trykkfasthet/densitet: | 12.12.2011 | 12.12.2011 | 12.12.2011 | 12.12.2011 |
| Alder (mnd): | 15.4 | 12.1 | 11.1 | 11.9 |



Figur 8 Utborede kjerner for de fire betongene i Runde 2

5.2 Resultater og diskusjon, Runde 2

Resultatene for betongene i Runde 2 er diskutert i det følgende (50% FA, 65% FA, 87% FA og 100% FA). Som tidligere nevnt er 87% FA-betongen litt spesiell ettersom en del av AnlFA-sementen i denne betongen er erstattet med Industrisement tilsvarende 1/3 av sementklinkeren, samt at den inneholder 8,3% silikastøv mot drøyt 5% i de andre betongene. Det minnes om at betongenes (kjerneprovnes) modenhet ved prøvning er bare ca. halvparten av prøvningsalderen, jfr. Kapittel 3.

Densitet: Normale verdier for densitet ble målt på kjernene før fasthetsmåling; tendens til noe synkende densitet for økende FA-dosering i forhold til teoretiske densitet (se Tabell 8), noe som indikerer økende luftinnhold i betongene med økende FA-innhold. Størst forskjell mellom teoretisk og målt densitet er det for 100% FA-betongen, her er målt densitet 35 kg/m³ lavere.

Sylinderfasthet: Betongene ble prøvd ved noe ulik alder, se Tabell 8. Sylinderfasthetene er usystematiske mht FA-dosering. På 50% FA-betongen, som har lavest FA-innhold, ble det målt lavest fasthet. Dette er noe overraskende da man skulle forvente at denne skulle oppnå høy fasthet i forhold til de andre betongene som har høyere FA-innhold. Eventuelle variasjoner i luftinnhold vil påvirke resultatet (luftporestrukturanalysen fra Runde 1 indikerer ikke mer luft i 50% FA-betongen, men noe grovere porestruktur ble imidlertid registrert).

Tabell 8 Målt sylinderfasthet, samt målt og teoretisk densitet (antatt 5% luft), Runde 2

| Betong | Betongalder [måneder] | Målt sylinderfasthet [Mpa] (middel av 3 prøver) | Målt densitet [kg/m ³] (middel av 3 prøver) | Teoretisk densitet [kg/m ³] |
|---------|--------------------------|--|--|---|
| 50% FA | 15,4 | 44,1 | 2355 | 2339 |
| 65% FA | 12,1 | 55,6 | 2335 | 2340 |
| 87% FA | 11,1 | 48,9 | 2320 | 2329 |
| 100% FA | 11,9 | 50,5 | 2300 | 2335 |

Karbonatisering: Registrerte karboniseringsdybder er vist i Tabell 9. Som for Runde 1 har 100% FA-betongen også her mest karbonatisering med sine 5 mm. For 50% FA-betongen ble det målt 2 mm karbonatisering. For de to betongene med mellomliggende FA-innhold ble det målt 0 mm karbonatisering. Som tidligere nevnt ble prøver fra betongene «50% FA» og «65% FA» tatt fra vegg (ute, og under tak etter at dekket ble støpt), mens «87 % FA» og «100% FA» ble tatt fra herdekasser (ute, men under tak i lagerhall). Disse to lokaliseringene for lagring/herding bør derfor ikke ha påvirket trenden; at det her er ingen systematisk effekt av FA-dosering på karboniseringsdybden.

Tabell 9 Karboniseringsdybde, naturlig karbonatisering, Runde 2. Alder ved prøving i parentes.

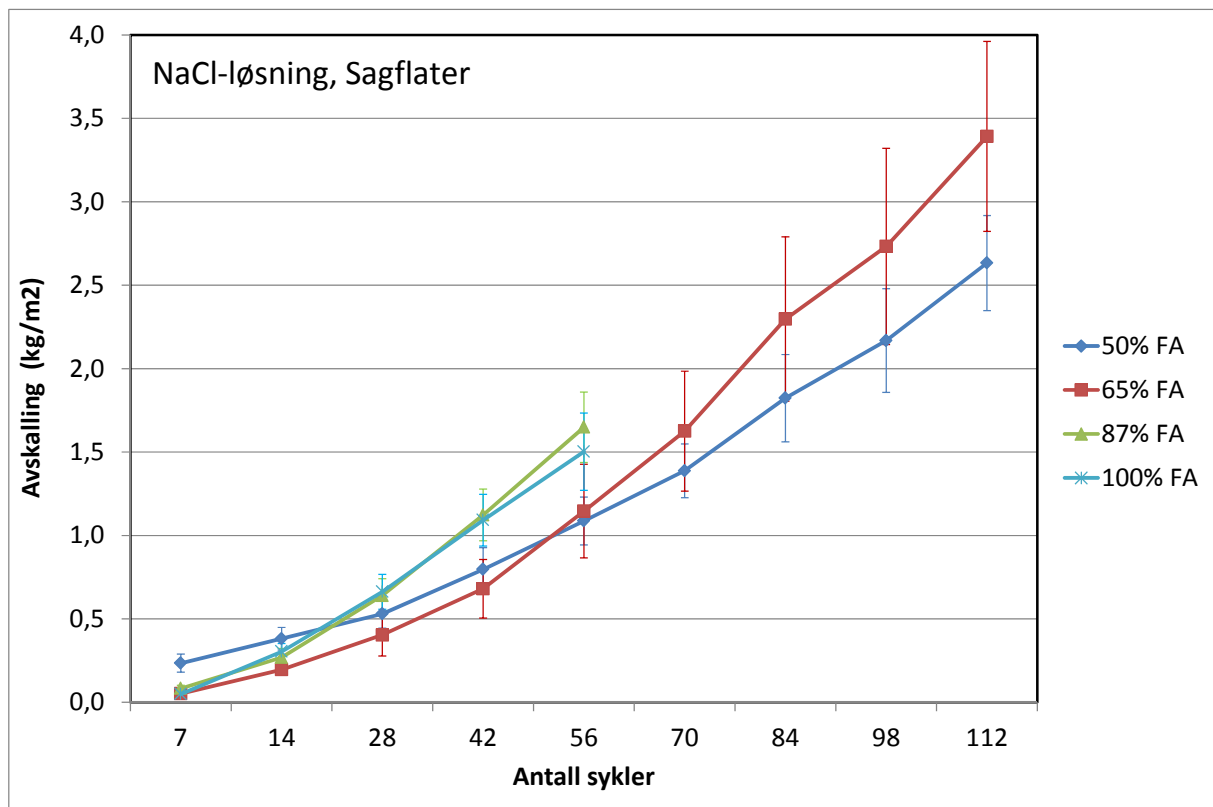
| Betong | Prøve | Midlere karb.dybde | Maks. karb.dybde |
|-----------------------|--------------|--------------------|------------------|
| 50% FA (15.2 mnd) | 1 | 2 | 2 |
| | 2 | 2 | 3 |
| | 3 | 2 | 3 |
| | Snitt | 2 | 3 |
| 65% FA (11.9 mnd) | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 |
| | Snitt | 0 | 0 |
| 87% FA (11.0 mnd) | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 |
| | Snitt | 0 | 0 |
| 100% FA (11.8 mnd) | 1 | 5 | 6 |
| | 2 | 5 | 5 |
| | 3 | 4 | 5 |
| | Snitt | 5 | 5 |

Akselererte frostforsøk: Prøvingen ble gjort med 4 parallelle prøvestykker i alle forsøk; figurene i det følgende viser middelerverdier og spredning i form av standardavvik.

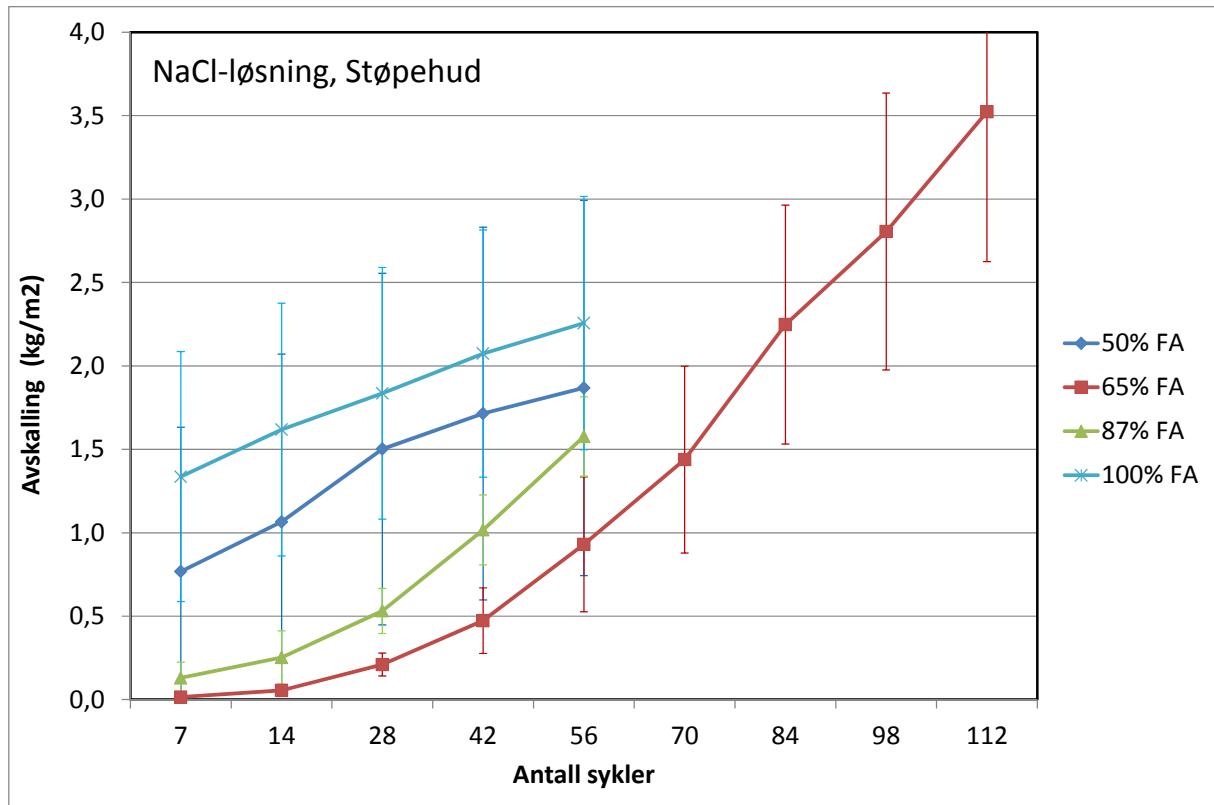
Avskalling fra sagflater med 3 % saltløsning er vist i Figur 9. Alle betongene har avskalling på mer enn 1,0 kg/m² etter 56 frostsykler, og alle har et forhold mellom avskalling etter 56 sykler og avskalling etter 28 sykler (56/28-forhold) på over 2,0. Økende FA-dosering gir tendens til økende avskalling, men dette er ikke helt systematisk. Betongene 50% FA og 65% FA har lavest avskalling, etter 56 døgn henholdsvis 1,09 og 1,15 kg/m². 50% FA-betongen har også lavest 56/28-forhold på 2,05. For de samme to betongene ble forsøket utvidet til 112 frostsykler, som ekstrainformasjon.

Avskalling fra støpehudflater med 3 % saltløsning er vist i Figur 10. Med støpehud menes flater mot vertikal forskaling. For betongene 65% FA og 87% FA er avskallingen for støpehud svært lik den for sagflater (Figur 9), og spredningen er også på samme nivå. 65% FA-betongen viste, som den eneste, avskalling etter 56 sykler under 1,0; dette forsøket ble utvidet til 112 sykler hvorefter avskallingen var 3,5 kg/m². Betongene 50% FA og 100% FA viser imidlertid vesentlig større avskalling fra støpehud enn tilfellet var for sagflater, og i tillegg er spredningen i snitt omkring 10 ganger høyere enn for sagflater. Det kan ses at den store økningen i avskalling for betongene 50% FA og 100% FA er dannet allerede etter 7 frostsykler. Det er også tidligere erfart at avskalling fra støpehud i frostforsøk kan gi stor spredning og usystematiske resultater. Dette har sannsynligvis med at det mot forskalingen kan dannes en «overflatesnerk» med pasta/vann/porer av variabel kvalitet, og med variabel frostmotstand som ikke nødvendigvis er representativ for betongen for øvrig.

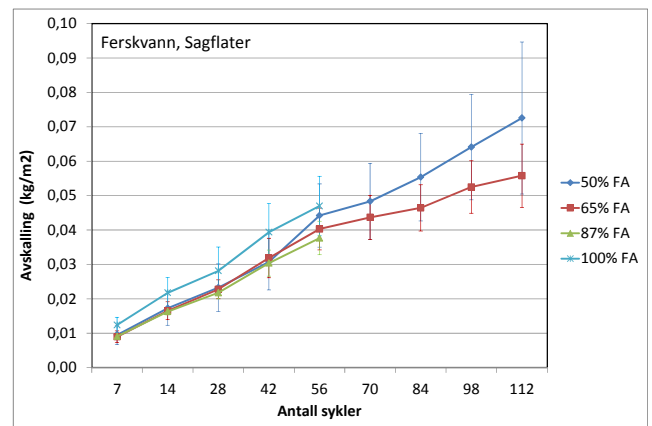
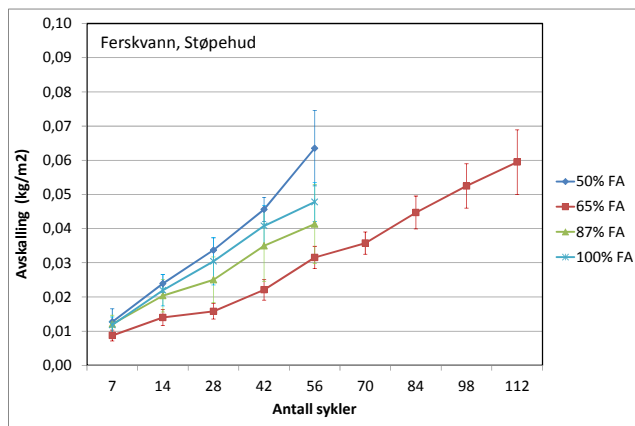
Avskalling med ferskvann både for støpehud og sagflate er vist i Figur 11. Her er avskallingen generelt svært liten i alle forsøkene (mindre enn 0,07 kg/m² etter 56 sykler i alle forsøkene). Det er heller ingen systematisk forskjell i spredningen for støpehud og sagflate. Resultatene viser dermed at ingen av betongene hadde problemer med å motstå frost i kombinasjon med ferskvann.



Figur 9 Frostprøving med 3% saltløsning som frysemedium; middelerverdier og standardavvik, sagflate



Figur 10 Frostprøving med 3% saltløsning som frysemedium; middelerdier og standardavvik, støpehud (flate mot forskaling)



Figur 11 Frostprøving med ferskvann som frysemedium; middelerdier og standardavvik. Eksponering mot støpehud/flate mot forskaling (venstre) og mot sagflater (høyre).

6 Sammendrag

De ulike betongene omtalt i rapporten har navn etter sitt %-vise flygeaskeinnhold av sementklinkermengden. Her i sammendraget er betongene omtalt etter sitt flygeaskeinnhold i vekt av mengde sement (c) + flygeaske (FA).

Utboring av kjerner fra herdet betong på byggeplass ble gjort i to omganger. I Runde 1 ble utboring utført både 6 mnd og 12 mnd etter støp for de ulike betongene, og omfattet betonger med 20%, 34% og 50% flygeaske av c+FA. I Runde 1 ble det i tillegg for betongene med 34% og 50% FA støpt ut prøvestykker i laboratoriet for akselererte forsøk på karbonatisering og alkalireaktivitet. Runde 1 innbefattet også et laboratorieprogram på ung betongegenskaper; dette programmet er ikke diskutert.

I Runde 2 ble utboring av kjerner utført samtidig for alle betongene, og alder ved prøving for de ulike betongene varierte derfor fra 11 mnd til 17 mnd. Runde 2 omfatter betonger med 34%, 39%, 46% og 50% flygeaske av c+FA. I betongen med 46% flygeaske av c+FA var $\frac{1}{3}$ av ANL-klinkeren erstattet med Industrisement. Industrisement er en finmalt og rask sement med omtrent samme klintersammensetning som ANL-klinkeren.

Vinteren var svært kald i perioden fra støping på byggeplass og til uttak av kjerner. En modenhetsbetraktning indikerer at betongenes modenhet ved prøvning er omtrent halvparten av prøvningsalderen.

Sylinderfasthet og densitet: For betongen med lavest FA-innhold på 20% («SV40») ble det målt høyest fasthet. Betongene med høyere FA-dosering hadde lavere fastheter, men effekten av FA-innhold er ikke systematisk. Målte densiteter (som indikasjon på variabelt luftinnhold) kan ikke forklare den usystematiske effekten av FA på fasthet. Alle betongene tilfredsstiller fasthetsklasse B45 for kjerner boret ut fra konstruksjon.

Akselerert kloriddiffusjon: Ved 6 mnd alder (modenhet ca. 3 mnd) er det en klar økning i diffusjonskoeffisienten (D) med økende FA-dosering. Etter 12 mnd alder (modenhet ca. 6 mnd) har D avtatt mer for betongene med ekstra tilsatt FA slik at forskjellene er vesentlig mindre; D for betongene med 20%, 34% og 50% FA av c+FA var da henholdsvis 1.4, 2.2 og 2.4 ($\cdot 10^{-12}$ m²/s).

Akselererte frostforsøk: Betongen med 20% FA («SV40») viste meget god salt/frostmotstand i henhold til tradisjonelle grenseverdier. Ingen av betongene med høyere FA-dosering viser akseptabel frostmotstand etter de samme grenseverdiene, men i Runde 2 har betongene med 34% og med 39% FA en avskalling marginalt over 1,0 kg/m² fra sagflater etter 56 frostsykler, noe som er metodens angitte øvre grenseverdi for karakterisering av «akseptabel frostmotstand». Frostforsøkene på støpehudflater viste svært usystematiske resultater med hensyn til effekten FA, og i tillegg var spredningen mellom parallelle prøvestykker stor. Frostforsøkene med ferskvann som frysemedium (både fra sagflater og støpehudflater) viste at alle betongene, uansett FA-dosering, er meget robuste mot denne type frostpåkjenning.

Luftporestrukturanalyse: På alle betongene (20%, 34% og 50% FA av c+FA) ble det målt gode verdier for spesifikk overflate og avstandsfaktor, spesielt gjaldt dette betongen med høyest FA-dosering på 50%, dvs. verdier som tradisjonelt betraktes å indikere god frostbestandighet. For de to betongene med mest FA står resultatene dermed i sterk kontrast til resultatene fra frostforsøkene hvor det ble påvist ikke god frostbestandighet. Det er pr. i dag identifisert et FoU-behov på dette temaet hvor man ønsker å få belyst om det eksisterer andre sammenhenger mellom f.eks. luftporestruktur/frostmekanisme, effekt av karbonatisering, akselerert vs. naturlig frostpåkjenning etc. for betonger med høye doseringer av FA (og slagg).

Karbonatisering: I Runde 1 ble det etter 12 mnd alder (modenhet ca. 6 mnd) målt naturlig karbonatisering på i gjennomsnitt 1 mm for betongen med 20% FA og 3 mm for betongen med 50% FA. I Runde 2 ble det etter 11-15 mnd alder (modenheten ca. halvparten) målt 2 mm og 5 mm karbonatisering for henholdsvis de samme to betongene, mens på begge betongene med mellomliggende FA-dosering (39% og 46% FA av c+FA) ble det målt 0 mm karbonatisering. Karbonatiseringsdybden ved naturlig eksponering er altså ikke systematisk med hensyn til FA-dosering. Fra de akselererte karbonatiseringsforsøkene ble det målt klart økende karbonatiseringdybde med økende FA-dosering.

Akselererte alkalireaksjonsforsøk: Betongene med 34% og 50% FA ble prøvd over 2 år. Begge betongene viste god volumstabilitet og karakteriseres som ikke-reaktive i henhold til grensene satt i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 21, som forventet med så høy dosering av FA. Betongene besto av tilslag med 43 % alkalireaktive bergarter.

7 Konklusjon

Lavvarmebetongene (med ekstra tilsatt flygeaske) hadde ved ca. 6 mnd modenhetsalder en diffusjonskoeffisient på drøyt $2 \cdot 10^{-12}$ m²/s (akselerert kloriddiffusjon), mens SV40-betongen hadde drøyt $1 \cdot 10^{-12}$ m²/s. Lavvarmebetongene presterte ikke tilfredsstillende i akselererte frostforsøk når frysemediet er 3% saltløsning, selv om luftporestrukturanalyser tilsier at luftporefordelingen er meget god. For kombinasjonen frost og ferskvann viste lavvarmebetongene meget god frostbestandighet. Ved naturlig karbonatisering er resultatene ikke systematisk med hensyn til FA-dosering; det ble målt fra 0 mm til 5 mm karbonatiseringsdybde ved ca. 6 mnd modenhetsalder. De akselererte alkalireaksjonsforsøkene (over 2 år) viste at høye FA-doseringer ga ikke-reaktiv betong (tilslag med 43% reaktive bergarter).

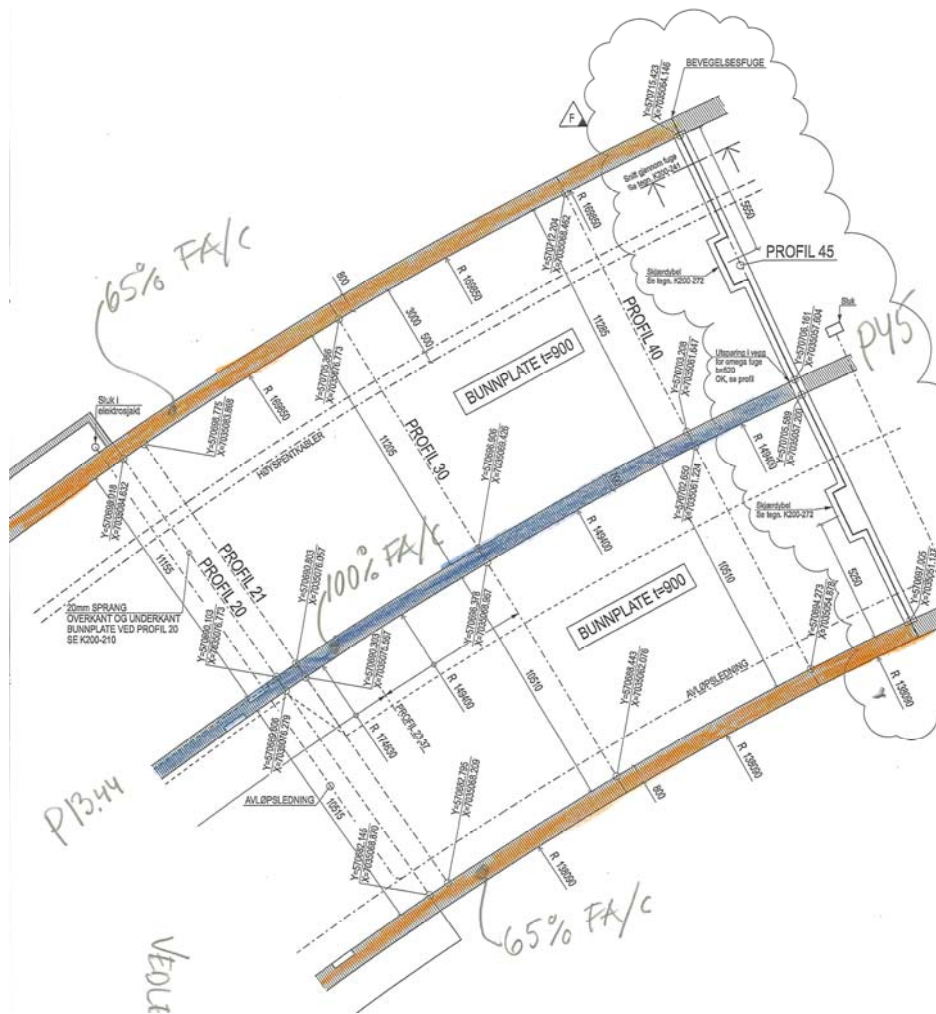
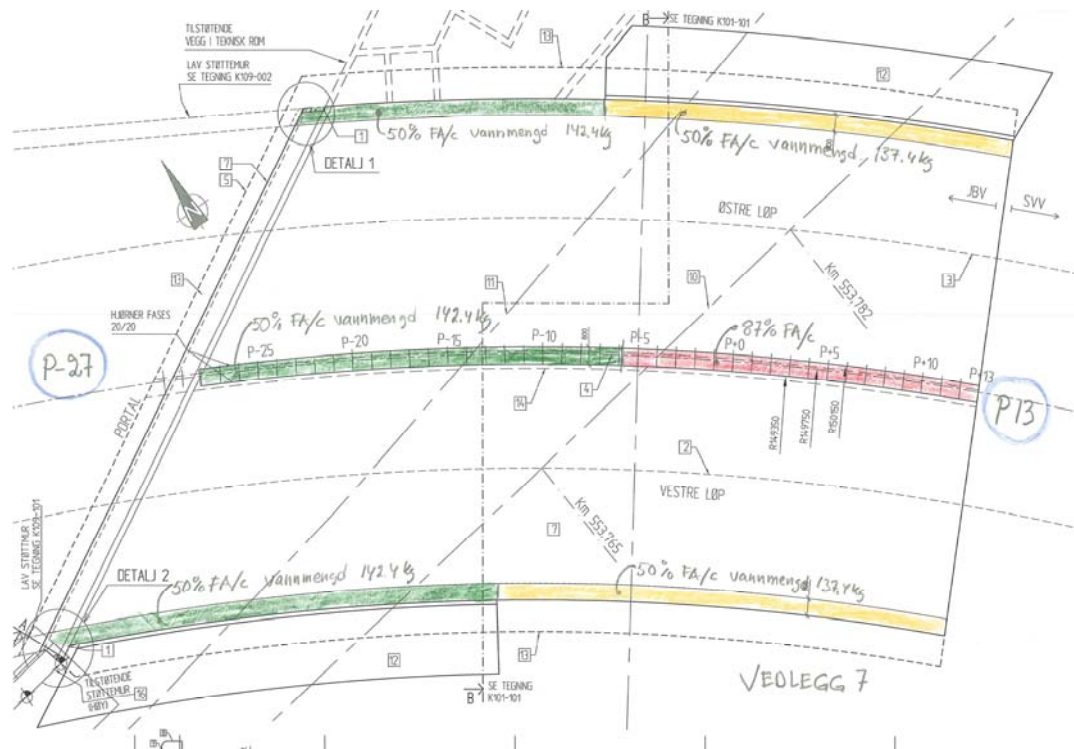
8 Mulig framtidig oppfølging

De ulike betongene som har vært gjenstand for undersøkelser er brukt i de to ytterste veggseksjonene mot portalen i vest (se VEDLEGG 1) og er i prinsipp tilgjengelig for eventuell framtidig oppfølging. Denne delen av tunnelen er ikke belagt med brannsikringsplater, i motsetning til lengre inn i tunnelen hvor dette er tilfelle. Rett innenfor portalen vil man også ha størst eksponering for både saltsprut fra tinesalter og frost, spesielt vil dette da gjelde for østgående løp hvor trafikken kjører inn i tunnelen.

9 Referanser

- [1] Bjøntegaard Ø. og Rodum E. (2014) Effekt av flygeaske på betongegenskaper; Laboratorieforsøk på betong i tidlig og moden alder. Statens vegvesens rapport no. 275, April 2014, p.221
- [2] Samling av 12 rapporter med ulike forsøksresultater på ulike lavvarmebetonger (2004). Bjørvikaprojektet, E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergstunnelen, Statens vegvesen, November 2004.
- [3] Smeplass S., Bjøntegaard Ø., Kompen R. og Haram E. (2010) Kontroll med opprissing i betongens herdefase; Senketunnelen i Bjørvika, erfaringsrapport. Teknologirapport no. 2580, Statens vegvesen, 2010-03-05, ISSN 1504-5005, p.46
- [4] Kjellmark, G. Klausen, A.B.E (2015) Mechanical properties and calculation of model parameters for concrete with Norcem cement and variable fly ash content. COIN-rapport

VEDLEGG 1 Lokalisering av anvendte betongresepter



VEDLEGG 2 Prøvningsrapporter fra Runde 1; Bestandighet

Bestandighet, Runde 1

| | | | |
|--|-------------------------------|---|----------------------------|
|  <p>SINTEF</p> <p>SINTEF Byggforsk Byggematerialer og konstruksjoner</p> <p>Postadresse: 7465 Trondheim Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3 Telefon: 73 59 52 24 Telefaks: 73 59 71 36</p> <p>Foretaksregisteret NO 948 007 029 MVA</p> <p>Sertifisert prøvingslaboratorium U16</p>  | | <h2>PRØVINGSRAPPORT</h2> | |
| | | OPPDRAGSGIVER NCC Construction AS Losgata 3 7042 Trondheim | |
| BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF. Sven-Inge Asplund | | OPPDRAGETS ART PRØVING AV UTBORET BETONG, 50 % FA - bestemmelse av trykkfasthet og densitet ved 6 mnd alder | |
| ARKIVKODE | GRADERING Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Prø\33400-33409\33409-1-1 Trykkfasthet og densitet 50 % FA.docx | | FAGLIG ANSVARLIG Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | RAPPORTNUMMER 33409/1-1 |
| PROSJEKTNR 3D0593.42 | DATO 2011-06-29 | SAKSBEARBEIDER Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | ANT. SIDER/VEDLEGG 1/0 |

Prøvenes ankomst 2011-03-09
Mengde/merking 4 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde 470 mm
 Ingen merking
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet to prøvestykker med lengde/diameterforhold nå nært som mulig lik 2. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder etter 2 døgn vannlagring, mens de tre øvrige lagres i vann for prøving ved 12 mnd alder. Resultatene rapporteres separat.

Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse. Prøvingen ble utført 2011-03-11.

Tabell 1 Prøvningsresultater fra prøving 2011-03-11

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | 1 | 3 | 5 | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|--------|
| Høyde etter plansliping, mm | 161 | 169 | 159 | - |
| Densitet, kg/m ³ | 2380 | 2360 | 2380 | 2375 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 43,7 | 42,0 | 40,1 |
| | Omregnet* | 42,4 | 41,2 | 38,9 |
| | | | | 40,8 |

* Omegnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409 1-2 Luftporeanalyse 50 % FA.docx

PROSJEKTRNR

3D0593.42

DATO

2011-07-01

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 50 % FA
- Luftporeanalyse

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/1-2

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-04-27
Mengde/merking 2 stk borkjerner med diameter 104 mm og lengde henholdsvis 390 og 320 mm
Merket "Vegg 50 % FA"
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Luftporeanalyse

Borkjernene ble merket henholdsvis "1" og "2", og det ble deretter tildannet to prøvestykker fra hver kerne for prøving etter DS/EN 480-11. Prøvingen ble foretatt 2011-05-13 ved VBM-Laboratoriet A/S i Danmark

Resultatene er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Resultater, luftporeanalyse

| Prøver fra sylinder merket | "1" | "2" |
|---------------------------------------|------|------|
| Luftinnhold, % | 4,3 | 4,4 |
| Spesifikk overflate, mm ⁻¹ | 23 | 25 |
| Avstandsfaktor, mm | 0,24 | 0,22 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vel 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



| | |
|-----------|-----------|
| ARKIVKODE | GRADERING |
| | Fortrolig |

ELEKTRONISK ARKIVKODE
I:\Pro\33400-33409\334091-3 Elektrisk motstand 50 % FA .docx

PROSJEKTNR
3D0593.42

DATO
2011-07-01

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 50 % FA
- Bestemmelse av elektrisk motstand ved 6 mnd alder

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/1-3

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-03-09
Mengde/merking 4 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde 470 mm. Ingen merking
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Bestemmelse av elektrisk motstand

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av elektrisk motstand, og fra den fjerde borkjernen ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Alle prøvestykkene er prøvd 2011-03-11 ved 6 mnd alder etter 2 døgn vannlagring, mens tre av dem (7B, 7C og 7D) blir lagret i vann for prøving også ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs prosedyre KS 14-05-04 128 med multimeter ved 1 kHz og temperatur 19°C.

Den elektriske motstanden er beregnet som $R \cdot A/L$, hvor

R = målt motstand (Ω)

A = endeflatenes areal (m^2)

L = avstand mellom endeflater (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1 Elektrisk motstand

| Prøvestykke nr | 3A | 5A | 7A | 7B | 7C | 7D | Middel |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Diameter, mm | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | - |
| Høyde, mm | 69 | 61 | 68 | 69 | 69 | 71 | - |
| Elektrisk motstand, Ωm | 189,1 | 178,9 | 197,1 | 200,6 | 213,3 | 236,9 | 202,65 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 50 % FA

- Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 6 mnd alder

| | | | |
|--|------------------------------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\33400-33409\33409-1-4 Kloridmotstand 50 % FA.docx | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/1-4 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2011-07-01 | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 3/0 |

Prøvenes ankomst 2011-03-09
Mengde/merking 4 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde 470 mm. Ingen merking
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Fresing og kloridanalyser

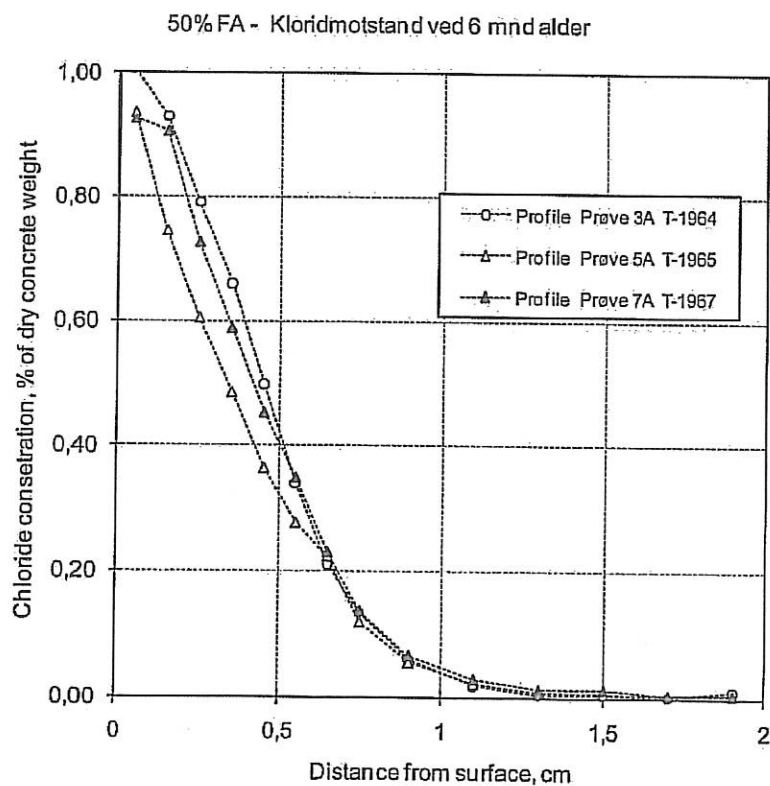
Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning, og fra den fjerde borkjernen ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder, mens de tre øvrige blir lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat.

Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning er utført iht NT Build 443 med eksponeringstid 35 døgn for prøvestykker merket 3A, 5A og 7A. Umiddelbart etter avsluttet eksponering ble det frest betongstøv i sjikt parallelt med prøvestykkenes eksponeringsflate. Følgende sjikt er benyttet: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 og 18-20 mm. Fresingen ble utført 2011-04-27.

Kloridinnholdet ble bestemt ved spektrofotometrisk analysemetode, iht. intern prosedyre KS 14-05-04-108, som totalt innhold av Cl⁻ i % av tørr betongvekt. Resultatene er presentert i Tabell 1, og grafisk framstilt i Figur 1. Analysene ble utført 2011-05-04.

Tabell 1 Kloridinnhold

| Sjikt [mm] | Kloridinnhold, % Cl av betongvekt | | |
|------------|-----------------------------------|-------|-------|
| | 3A | 5A | 7A |
| 0-1 | 1,005 | 0,937 | 0,927 |
| 1-2 | 0,930 | 0,746 | 0,906 |
| 2-3 | 0,791 | 0,605 | 0,727 |
| 3-4 | 0,660 | 0,486 | 0,588 |
| 4-5 | 0,498 | 0,365 | 0,453 |
| 5-6 | 0,340 | 0,277 | 0,349 |
| 6-7 | 0,211 | 0,224 | 0,230 |
| 7-8 | 0,135 | 0,120 | 0,137 |
| 8-10 | 0,061 | 0,056 | 0,066 |
| 10-12 | 0,019 | 0,022 | 0,029 |
| 12-14 | 0,005 | 0,010 | 0,013 |
| 14-16 | 0,004 | 0,007 | 0,013 |
| 16-18 | 0,002 | 0,005 | 0,005 |
| 18-20 | 0,010 | 0,007 | 0,005 |


Figur 1 Samleplott kloridinnhold på prøvene 3A, 5A og 7A

På grunnlag av kloridprofilene er det foretatt beregning av

- overflatekonsentrasjon (C_0)
- diffusjonskoeffisient (D)

Beregning av diffusjonskoeffisienter

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet med bakgrunn i Ficks 2. lov for ikke-stasjonær diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflaten, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(x/\sqrt{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (2)$$

hvor:

- D = kloriddiffusjonskoeffisienten
- $C(x,t)$ = kloridkonsentrasjon i dybde x etter tid t
- C_0 = beregnet overflatekonsentrasjon
- C_i = opprinnelig kloridinnhold i prøven (bakgrunnsnivå)
- x = dybde fra eksponeringsflata
- t = eksponeringstid
- erf = feilfunksjonen, ligning (3)

$$\operatorname{erf}(z) = \left(2/\sqrt{\pi}\right) \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (3)$$

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse.

Tabell 1 Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_0) for alle kloridprofiler

| Prøve merket | D [$\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$] | C_0 [% Cl av betongvekt] |
|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 3A | 3,89 | 1,283 |
| 5A | 4,08 | 0,983 |
| 7A | 4,01 | 1,198 |
| Gjennomsnitt ± standard avvik | $3,99 \pm 0,10$ | $1,15 \pm 0,15$ |



SINTEF Byggforsk
Betong- og natursteinlaboratoriene

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV HERDNET BETONG - 50 % FA
- Bestemmelse av frostbestandighet

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\3D0593\33400-33410\33409 1-5 Frostmotstand
50 % FA.docx

FÅGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/1-5

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-07-20

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

2/0

Prøvenes ankomst 2011-04-27
Mengde/merking 2 stk borkjerner med diameter 104 mm og lengde henholdsvis 390 og 320 mm
Merket "Vegg 50 % FA"
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er utført uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Prøving og resultater

2011-05-02 ble det fra hver av de to borkjernene tildannet 3 stk prøvestykker Ø104 x 50 mm for bestemmelse av frostbestandighet med NaCl-løsning som frysemedium som beskrevet for "Slab test" i NS-CEN/TC 12390-9:2006 (tilsvarer "Boråsmetoden" som beskrevet i SS 13 72 44, "Förfarande III").

2011-05-06 ble prøvestykkene satt til lagring i luft ved 20 °C, 65 % RF. I løpet av en påfølgende 7 døgns lagringsperiode, ble prøvestykkenes side- og bunnflate forseglet og isolert. Deretter ble hvert av de totalt 6 prøvestykkene lagret i 3 døgn ved 20 °C med et 3 mm tykt lag vann på den ikke forseglede ca 8500 mm² fryseflata. Etter at vannlaget var erstattet med 3 mm tykt lag 3-prosentlig NaCl-løsning ble frostprøvingen startet 2011-05-16. Frostprøvingen besto av 56 fryse-/tinevekslinger med veiing av avskallet materiale etter hhv 7, 14, 28, 42 og 56 vekslinger. Resultatene er gjengitt i Tabell 1 som middel av 6 prøvestykker.

Tabell 1 Prøvingsresultater

| | | | | |
|--|--|----|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,482 |
| | | 14 | | 0,761 |
| | | 28 | | 1,061 |
| | | 42 | | 1,229 |
| | | 56 | | 1,523 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,435 | |

Vurdering av prøvingsresultatene

I følge SS 13 72 44, Utgåva 4:2005 skal frostbestandigheten vurderes som følger:

- Meget god dersom avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,10 kg/m²
- God dersom avskallingen etter
 - o 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,20 kg/m² eller
 - o 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,50 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - o 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 0,50 kg/m²
- Akseptabel dersom avskallingen etter
 - o 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 1,00 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - o 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 1,00 kg/m²
- Ikke akseptabel dersom ikke noen av kravene til akseptabel frostbestandighet oppfylles

Etter ovenstående kriterier skal frostbestandigheten for betongen vurderes som Ikke akseptabel fordi avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) var 1,523 kg/m².



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409-1-6 Karbonatisering etter 2 mnd 50 % FA.docx

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-08-25

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

RAPPORTNUMMER

33409/1-6

ANT. SIDERVÆDLEGG

2/0

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV BETONG, 50 % FA

- Bestemmelse av karbonatisering etter 2 mnd eksponering

1 Mottak av fersk betong og tillaging av prøvestykker

SINTEF Byggforsk mottok fersk betong fra NorBetongs blandeverk på Heggstadmyra torsdag 2011-03-24, klokken 14:00. Det ble støpt ut 2 stk 70/70/280 mm prismer til bestemmelse av motstand mot karbonatisering i henhold til NS-EN 13295:2004.

2 Prøving og resultater

Prismene ble avformet ved 1 døgns alder og vannlagret ved 20 °C fram til 28 døgns alder.

Etter vannlagringen ble prismene lagt på knivsegger og tørket i 34 døgn til likevekt (vekttap mindre enn 0,2 % pr 24 timer) med luft av 21 ± 2 °C og 60 ± 10 % RF.

Deretter ble alle prismene 2011-05-24 lagt på knivsegger i karboniseringskabinett hvor de ble eksponert for 1 % CO₂-gass ved 21 ± 2 °C og 60 ± 10 % RF i 8 uker. Før og etter eksponeringen ble det parallelt med endeflatene av hvert prisme splittet av en ca 50 mm langt skive. Den ferske bruddflata for hver av disse skivene ble påført fenoltaleinløsning før karboniseringsdybden ble målt til nærmeste 0,5 mm fra 5 jevnt fordelte punkter langs hver av de 4 sideflatene.

Angitt karboniseringsdybde for hvert prøvingstidspunkt representerer middelverdien av inntil 40 individuelle målinger. Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Prøvingen ble utført i perioden 2011-03-24--08-13.

Tabell 1 Prøvingsresultater

| Prøvingstidspunkt | Før | Etter |
|---------------------------------|---|-------|
| | 8 ukers eksponering for 1 % CO ₂ -gass | |
| Midlere karboniseringsdybde, mm | 0,9 | 3,7* |

*Merknad: *I tillegg til de 8 ukene med eksponering for 1 % CO₂-gass sto prøvene i kabinettet uten tilførsel av CO₂ i ca 3 uker. Disse 3 ekstra ukene anses ikke å ha påvirket prøvingsresultatene i nevneverdig grad.*

**SINTEF**

SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409-1-7 Trykkfasthet og densitet
50 % FA 12 mnd.docx

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-09-16

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG, 50 % FA**- bestemmelse av trykkfasthet og densitet ved 12 mnd alder**

FÅGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/1-7

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-03-09
Mengde/merking 4 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde 470 mm
Ingen merking
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er tatt ut uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet to prøvestykker med lengde/diameterforhold nå nært som mulig lik 2. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder etter 2 døgn vannlagring, se rapport 33409/1-1. De tre øvrige ble lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder.

Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse. Prøvingen ble utført 2011-09-09.

Tabell 1 Prøvningsresultater fra prøving 2011-03-11

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | 2 | 4 | 6 | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|-------------|
| Høyde etter plansliping, mm | 161 | 169 | 159 | - |
| Densitet, kg/m ³ | 2380 | 2380 | 2390 | 2385 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 51,8 | 49,2 | 51,1 |
| | Omregnet* | 50,2 | 48,2 | 49,6 |
| | | | | 40,8 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2

CFEIL
Riktig er 49,3



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



| | |
|-----------|-----------|
| ARKIVKODE | GRADERING |
| | Fortrolig |

| | |
|-----------------------|--|
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | I:\Pro\33400-33409\334091-8 Elektrisk motstand 50 % FA 12 mnd.docx |
|-----------------------|--|

| | |
|------------|------------|
| PROSJEKTNR | DATO |
| 3D0593.42 | 2011-09-19 |

PRØVINGSRAPPORT

| |
|--|
| OPPDRAGSGIVER |
| NCC Construction AS Losgata 3 7042 Trondheim |

| |
|----------------------------------|
| BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF. |
| Sven-Inge Asplund |

| |
|---|
| OPPDRAGETS ART |
| PRØVING AV UTBORET BETONG - 50 % FA - Bestemmelse av elektrisk motstand ved 12 mnd alder |

| | |
|------------------------------------|---------------|
| FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER |
| Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/1-8 |

| | |
|--|--------------------|
| SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 1/0 |

Prøvenes ankomst 2011-03-09
Mengde/merking 4 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde 470 mm. Ingen merking
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Bestemmelse av elektrisk motstand

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av elektrisk motstand, og fra den fjerde borkjernen ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Alle prøvestykkene er prøvd 6 mnd alder etter 2 døgn vannlagring, se rapport 33409/1-3. Tre av prøvestykkene (merket 7B, 7C og 7D) ble lagret i vann for prøving også ved 12 mnd alder. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs prosedyre KS 14-05-04 128 med multimeter ved 1 kHz og temperatur 19°C.

Den elektriske motstanden er beregnet som $R \cdot A/L$, hvor

- R = målt motstand (Ω)
- A = endeflatenes areal (m^2)
- L = avstand mellom endeflater (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1 Elektrisk motstand

| Prøvestykke nr | 7B | 7C | 7D | Middel |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Diameter, mm | 95 | 95 | 95 | - |
| Høyde, mm | 69 | 69 | 71 | - |
| Elektrisk motstand, Ωm | 599,4 | 608,9 | 652,9 | 620,4 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 50 % FA

**- Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 12 mnd
alder**

| | | | |
|--|-----------------------------------|--|----------------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\33400-33409\33409-1-9 Kloridmotstand 50 % FA.docx | FAGLIG ANSVARLIG Per Arne Dahl | <i>Per Arne Dahl</i> | RAPPORTNUMMER 33409/1-9 |
| PROSJEKTNR 3D0593.42 | DATO 2011-11-04 | SAKSBEARBEIDER Mari Bøhnsdalen Eide | ANT. SIDER/VEDLEGG 3/0 |

Prøvenes ankomst 2011-03-09
Mengde/merking 4 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde 470 mm. Ingen merking
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Fresing og kloridanalyser

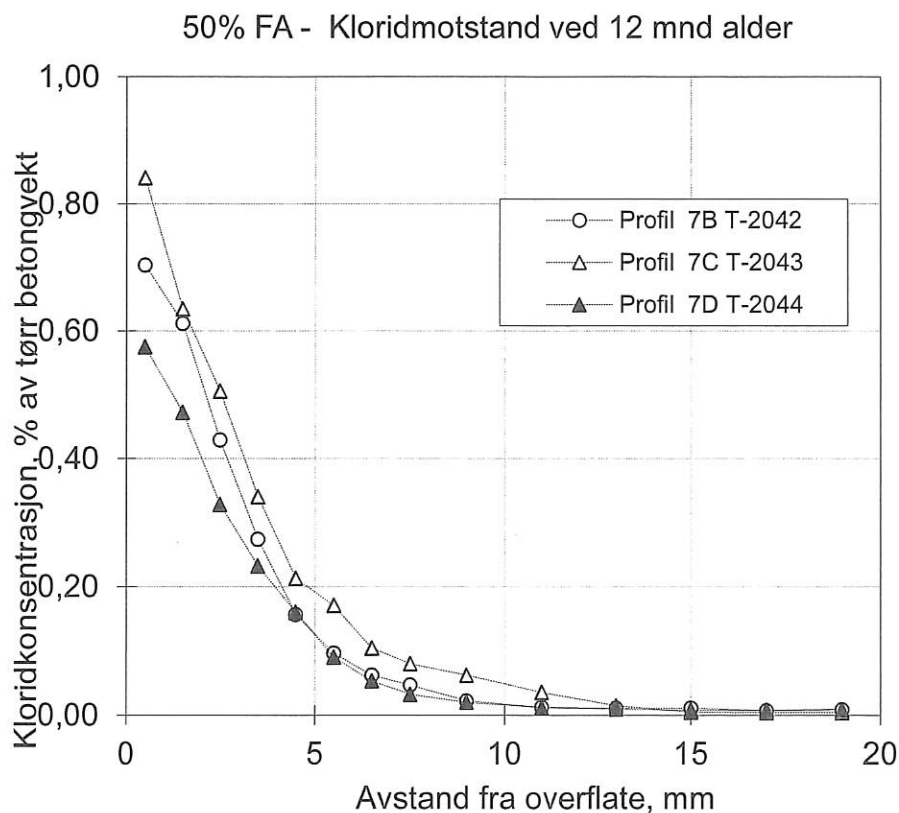
Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning, og fra den fjerde borkjernen ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker ble prøvd ved 6 mnd alder, mens de tre øvrige blir lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat.

Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning er utført iht NT Build 443 med eksponeringstid 35 døgn for prøvestykker merket 7B, 7C og 7D. Umiddelbart etter avsluttet eksponering ble det frest betongstøv i sjikt parallelt med prøvestykkenes eksponeringsflate. Følgende sjikt er benyttet: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 og 18-20 mm. Fresingen ble utført 2011-10-21.

Kloridinnholdet ble bestemt ved spektrofotometrisk analysemetode, iht. intern prosedyre KS 14-05-04-108, som totalt innhold av Cl⁻ i % av tørr betongvekt. Resultatene er presentert i Tabell 1 og 2, og grafisk framstilt i Figur 1. Analysene ble utført 2011-10-25.

Tabell 1 Målt kloridinnhold i ulike sjikt

| Sjikt [mm] | Kloridinnhold, % Cl ⁻ av tørr betongvekt | | |
|------------|---|-------|-------|
| | 7B | 7C | 7D |
| 0-1 | 0,703 | 0,841 | 0,575 |
| 1-2 | 0,612 | 0,635 | 0,472 |
| 2-3 | 0,429 | 0,505 | 0,328 |
| 3-4 | 0,274 | 0,341 | 0,232 |
| 4-5 | 0,157 | 0,213 | 0,160 |
| 5-6 | 0,096 | 0,171 | 0,091 |
| 6-7 | 0,062 | 0,104 | 0,053 |
| 7-8 | 0,047 | 0,080 | 0,033 |
| 8-10 | 0,023 | 0,062 | 0,020 |
| 10-12 | 0,013 | 0,036 | 0,012 |
| 12-14 | 0,011 | 0,015 | 0,010 |
| 14-16 | 0,011 | 0,005 | 0,008 |
| 16-18 | 0,007 | 0,004 | 0,008 |
| 18-20 | 0,009 | 0,004 | 0,009 |


Figur 1 Samleplott kloridprofil på prøvene 7B, 7C og 7D

På grunnlag av kloridprofilene er det foretatt beregning av

- overflatekonsentrasjon (C_0)
- diffusjonskoeffisient (D)

Beregning av diffusjonskoeffisienter

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet med bakgrunn i Ficks 2. lov for ikke-stasjonær diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflaten, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(x / \sqrt{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (2)$$

hvor:

| | | |
|----------------------|---|--|
| D | = | kloriddiffusjonskoeffisienten |
| $C(x,t)$ | = | kloridkonsentrasjon i dybde x etter tid t |
| C_0 | = | beregnet overflatekonsentrasjon |
| C_i | = | opprinnelig kloridinnhold i prøven (bakgrunnsnivå) |
| x | = | dybde fra eksponeringsflata |
| t | = | eksponeringstid |
| erf | = | feilfunksjonen, ligning (3) |

$$\operatorname{erf}(z) = \left(2 / \sqrt{\pi}\right) \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (3)$$

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse.

Tabell 2 Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_0) for alle kloridprofiler

| Prøve merket | D [$\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$] | C_0 [% Cl av betongvekt] |
|--|--|----------------------------------|
| 7B | 1,78 | 0,94 |
| 7C | 2,70 | 0,89 |
| 7D | 2,10 | 0,69 |
| Gjennomsnitt ± standard avvik | $2,20 \pm 0,47$ | $0,84 \pm 0,13$ |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV BETONG, 50 % FA

- Bestemmelse av potensiell alkalireaktivitet i henhold til NB32, betongprismemetoden

| | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\33400-33409\33409-1-10 Alkalireaktivitet 50% FA.docx | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409-1-10 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2013-04-15 | Ola Skjølsvold <i>Ola Skjølsvold</i> | 2/0 |

1 Mottak av fersk betong og tillaging av prøvestykker

SINTEF Byggforsk mottok fersk betong fra NorBetongs blandeverk på Heggstadmyra mandag 2011-03-24, klokken 14:00. For betongen ble det i tidsrommet 14:00-14:30 samme dag utstøpt 3 stk 100 • 100 • 450 mm prismer og 3 stk 100 mm terninger. Blanding og utstøping ble utført i henhold til reglene i NB 32.

2 Prøving og resultater

Etter 28 døgns vannlagring ved 20°C, ble terningene trykkprøvd i henhold til reglene i NS-EN 12390-3.

Prismenes referanselengde ble bestemt etter $23 \pm 0,5$ timers lagring i formene i luft av $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 100 % RF, avforming og 30 ± 5 min påfølgende lagring i vann av 20°C . Deretter ble prismene lagret fuktig (100 % RF) ved $38 \pm 2^\circ\text{C}$ i 2 år. Lagringen foregikk ved at prismene stod på rist over vannspeil i plastdunker med lokk og fuktugende klede fra vannet i bunnen og opp langs veggene. I hver plastdunk ble det lagret 3 prismer, og da fra en og samme blanding. Etter hhv 1, 8, 16, 26, 52, 78 og 104 uker av denne lagringsperioden ble prismenes lengde målt (etter forutgående lagring ved 100 % RF og nedkjøling til $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i 16 ± 4 timer), og avviket fra referanselengden kalkulert. Prøvingen ble utført i perioden 2011-03-24--2013-03-24.

Alle resultater er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Prøvingsresultater

| Betong | | 50 % FA |
|--|-----------------------------|---------|
| Prøving av terninger | Densitet, kg/m ³ | 2460 |
| | 28 døgns trykkfasthet, MPa | 48,1 |
| Prøving av prismer: Ekspansjon (÷ = svinn), %, etter | 1 uke | ÷0,001 |
| | 8 uker | ÷0,001 |
| | 16 uker | ÷0,0004 |
| | 26 uker | ÷0,0003 |
| | 52 uker | ÷0,0004 |
| | 78 uker | 0,0004 |
| | 104 uker | 0,0004 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



| | |
|---|------------|
| ARKIVKODE | GRADERING |
| | Fortrolig |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | |
| I:\Pro\33400-33409\33409-2-2 Trykkfasthet og densitet 100 % FA.docx | |
| PROSJEKTNR | DATO |
| 3D0593.42 | 2011-07-11 |

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG, 100 % FA
- Bestemmelse av trykkfasthet og densitet ved 6 mnd alder

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/2-2

SÅKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking

6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm.

Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst". Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Densitet og trykkfasthet

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet to prøvestykker med lengde/diameterforhold nå nært som mulig lik 2. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder etter 3 døgn vannlagring, mens de tre øvrige lagres i vann for prøving ved 12 mnd alder. Resultatene rapporteres separat.

Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse. Prøvingen ble utført 2011-07-04.

Tabell 1 Prøvningsresultater fra prøving 2011-03-11

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | | 13a | 14a | 15a | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|------|--------|
| Høyde etter plansliping, mm | | 133 | 123 | 130 | - |
| Densitet, kg/m ³ | | 2400 | 2400 | 2350 | 2385 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 50,8 | 48,2 | 46,8 | - |
| | Omregnet* | 47,8 | 44,8 | 44,0 | 45,5 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2

| | | | |
|--|------------------------|---|----------------------------|
|  <p>SINTEF Byggematerialer og konstruksjoner</p> <p>Postadresse: 7465 Trondheim Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3 Telefon: 73 59 52 24 Telefaks: 73 59 71 36</p> <p>Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA</p> <p>Sertifisert prøvingslaboratorium U16</p>  | | <h1>PRØVINGSRAPPORT</h1> | |
| | | OPPDRAGSGIVER NCC Construction AS Losgata 3 7042 Trondheim | |
| BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF. Sven-Inge Asplund | | OPPDRAGETS ART PRØVING AV UTBORET BETONG, 100 % FA - Bestemmelse av karbonatisering (in situ) ved 6 mnd alder | |
| ARKIVKODE | GRADERING Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\33400-33409\33409-2-1 Karbonatisering 100 % FA.docx | | FAGLIG ANSVARLIG Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | RAPPORTNUMMER 33409/2-1 |
| PROSJEKTNR 3D0593.42 | DATO 2011-07-05 | SAKSBEARBEIDER Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | ANT. SIDER/VEDLEGG 1/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm
 Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst".
 Borkjernene ble tilleggsmerket om av SINTEF

Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Karbonatiseringsdybde

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett ca $\varnothing 100 \times 15$ mm prøvestykke fra topp borkjerne. Bestemmelse av karbonatiseringsdybde ble utført på splittede prøvestykker i henhold til NS-EN 14630 (fenolftaleinmetode). Tabell 1 viser prøvingsresultatene.

Tabell 1 Prøvingsresultater fra prøving 2011-07-04

| Prøve merket | Merking fra oppdragsgiver | Midlere karbonatiseringsdybde, mm | Maksimum karbonatiseringsdybde, mm |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 13 | 2 øverst | 2 | 3 |
| 14 | 1 øverst | 3 | 5 |
| 16 | 1 nederst | 4 | 5 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



| | |
|-----------|-----------|
| ARKIVKODE | GRADERING |
| | Fortrolig |

ELEKTRONISK ARKIVKODE
I:\Pro133400-33409\33409 2-3 Luftporeanalyse 100 % FA.docx

| | |
|------------|------------|
| PROSJEKTNR | DATO |
| 3D0593.42 | 2011-07-13 |

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 100 % FA
- Luftporeanalyse

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/2-3

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/1

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm.
Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst".
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er tatt ut uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Luftporeanalyse

Borkjernene ble merket henholdsvis "11" og "15", og det ble deretter tildannet ett prøvestykke fra hver kjerne for prøving etter DS/EN 480-11. Prøvingen ble foretatt 2011-07-11 ved VBM-Laboratoriet A/S i Danmark

Resultatene er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Resultater, luftporeanalyse

| Prøver fra sylindere merket | "11" | "15" |
|---------------------------------------|------|------|
| Luftinnhold, % | 1,8 | 5,5 |
| Spesifikk overflate, mm ⁻¹ | 70 | 47 |
| Avstandsfaktor, mm | 0,12 | 0,10 |

Kommentarer til resultatene: Se vedlegg 1.

Kommentar fra VBM-Laboratoriet A/S, per e-post til Marit Haugen, datert 2011-07-11

Hej Marit!

Herved PDF'ere af de seneste rapporter. De to prøver i det ene af sætterne er meget forskellige, hvorfor det vil være forkert at opgive et gennemsnit på deres værdier, og jeg har følgelig påført enkeltværdierne på rapporten.

I øvrigt er der mange meget små porer i begge disse slib, som ikke er kugleformede. Der er muligt, at disse ikke er luftporer i almindelig forstand, men metoden kan ikke skelne mellem porerne efter deres form, og når de er meget små (mindre end ca. 30 μm), kan jeg heller ikke sortere dem fra manuelt.

Det er derfor muligt, at der er talt for mange porer med, og alle de opgivne værdier er "for gode". Kun en analyse på tyndslib kan afgøre dette.

Med venlig hilsen / Kind Regards

Klaus Haugsted
Afd.-leder Byggeri, Geolog

VBM Laboratoriet A/S
Fjordagervej 20, 6100 Haderslev
kh@vbmlab.dk
tlf.: +45 21 59 22 04



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE GRADERING
Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE
I:\Pro\33400-33409\33409 2-4 Elektrisk motstand 100 % FA .docx

PROSJEKTNR DATO
3D0593.42 2011-07-11

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 100 % FA
- Bestemmelse av elektrisk motstand ved 6 mnd alder

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/2-4

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking

6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm

Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst". Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Bestemmelse av elektrisk motstand

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av elektrisk motstand, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker (12a, 12b og 12c) er prøvd 2011-07-04 ved 6 mnd alder etter 3 døgns vannlagring. De resterende tre (13, 14 og 15) er prøvd 2011-07-07 etter 6 døgns vannlagring og blir videre lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs prosedyre KS 14-05-04 128 med multimeter ved 1 kHz og temperatur 19,5°C.

Den elektriske motstanden er beregnet som $R \cdot A/L$, hvor

R = målt motstand (Ω)

A = endeflatenes areal (m^2)

L = avstand mellom endeflater (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1 Elektrisk motstand

| Prøvestykke nr | 12a | 12b | 12c | 13 | 14 | 16 | Middel |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Diameter, mm | 94 | 94 | 94 | 93 | 93 | 93 | - |
| Høyde, mm | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 51 | - |
| Elektrisk motstand, Ωm | 201,8 | 198,8 | 191,9 | 198,3 | 214,8 | 181,3 | 197,8 |

6 mnd

6 Går videre til 12 mnd



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 100 % FA
- Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 6 mnd alder

| | | | |
|--|------------------------------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\3D0593\33400-33409\33409-2-5 Kloridmotstand 100 % FA.docx | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/2-5 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2011-08-24 | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 3/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca 100 mm og lengde ca 400 mm
Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst".
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Fresing og kloridanalyser

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder, mens de tre øvrige blir lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat.

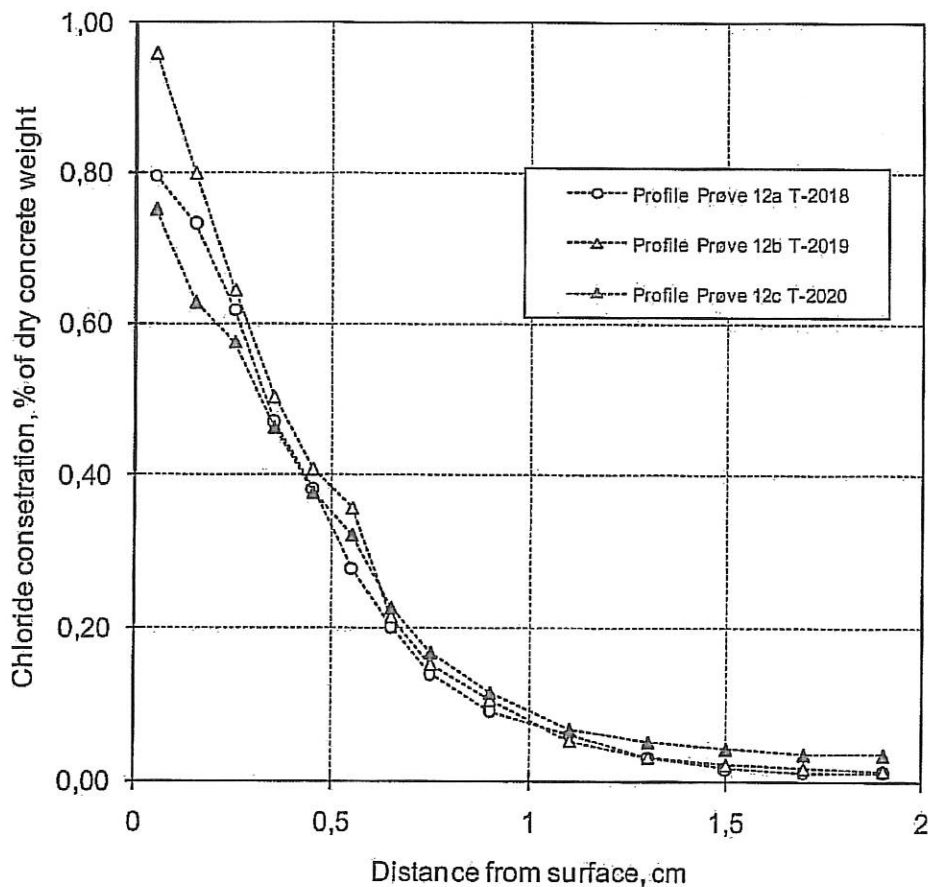
Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning er utført iht NT Build 443 med eksponeringstid 35 døgn for prøvestykker merket 12a, 12b og 12c. Umiddelbart etter avsluttet eksponering ble det frest betongstøv i sjikt parallelt med prøvestykkens eksponeringsflate. Følgende sjikt er benyttet: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 og 18-20 mm. Fresingen ble utført 2011-08-15.

Kloridinnholdet ble bestemt ved spektrofotometrisk analysemetode, iht. intern prosedyre KS 14-05-04-108, som totalt innhold av Cl⁻ i % av tørr betongvekt. Resultatene er presentert i Tabell 1, og grafisk framstilt i Figur 1. Analysene ble utført 2011-08-19--22.

Tabell 1 Kloridinnhold

| Sjikt [mm] | Kloridinnhold, % Cl av betongvekt | | |
|------------|-----------------------------------|-------|-------|
| | 12a | 12b | 12c |
| 0-1 | 0,795 | 0,959 | 0,751 |
| 1-2 | 0,733 | 0,799 | 0,628 |
| 2-3 | 0,618 | 0,644 | 0,575 |
| 3-4 | 0,471 | 0,503 | 0,463 |
| 4-5 | 0,382 | 0,408 | 0,378 |
| 5-6 | 0,278 | 0,357 | 0,322 |
| 6-7 | 0,202 | 0,215 | 0,227 |
| 7-8 | 0,140 | 0,153 | 0,168 |
| 8-10 | 0,092 | 0,106 | 0,116 |
| 10-12 | 0,061 | 0,053 | 0,069 |
| 12-14 | 0,032 | 0,032 | 0,052 |
| 14-16 | 0,017 | 0,022 | 0,044 |
| 16-18 | 0,012 | 0,017 | 0,036 |
| 18-20 | 0,012 | 0,014 | 0,036 |

100 % FA - Kloridmotstand ved 6 mnd alder


Figur 1 Samleplott kloridinnhold på prøvene 12a, 12b og 12c

På grunnlag av kloridprofilene er det foretatt beregning av

- overflatekonsentrasjon (C_0)
- diffusjonskoeffisient (D)

Beregning av diffusjonskoeffisienter

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet med bakgrunn i Ficks 2. lov for ikke-stasjonær diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflaten, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(x / \sqrt{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (2)$$

hvor:

- D = kloriddiffusjonskoeffisienten
- $C(x,t)$ = kloridkonsentrasjon i dybde x etter tid t
- C_0 = beregnet overflatekonsentrasjon
- C_i = opprinnelig kloridinnhold i prøven (bakgrunnsnivå)
- x = dybde fra eksponeringsflata
- t = eksponeringstid
- erf = feilfunksjonen, ligning (3)

$$\operatorname{erf}(z) = \left(2 / \sqrt{\pi}\right) \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (3)$$

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse.

Tabell 1 Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_0) for alle kloridprofiler

| Prøve merket | D [$\cdot 10^{-12}$ m ² /s] | C_0 [% Cl av betongvekt] |
|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 12a | 4,46 | 0,952 |
| 12b | 4,70 | 1,012 |
| 12c | 6,31 | 0,793 |
| Gjennomsnitt ± standard avvik | 5,16 ± 1,01 | 0,919 ± 0,11 |



SINTEF Byggforsk
Betong- og natursteinlaboratoriene

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vel 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV HERDNET BETONG - 100 % FA
- Bestemmelse av frostbestandighet

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\3D0593\33400-33410\33409 2-6 Frostmotstand
100 % FA.docx

FAGLIG ANSVÄRLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/2-6

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-09-20

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

2/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking

6 stk borkjerner med diameter 94 mm og lengde ca 400 mm

Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst".

Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Prøving og resultater

2011-07-01 ble det fra hver av to borkjernener, merket hhv. "1 midt" og "2 nederst", tildannet 3 stk prøvestykker Ø 94 x 50 mm for bestemmelse av frostbestandighet med NaCl-løsning som frysemedium som beskrevet for "Slab test" i NS-CEN/TC 12390-9:2006 (tilsvarende "Boråsmetoden" som beskrevet i SS 13 72 44, "Förfarande III").

2011-07-01 ble prøvestykkene satt til lagring i luft ved 20 °C, 65 % RF. I løpet av en påfølgende 7 døgns lagringsperiode, ble prøvestykkene side- og bunnflate forseglede og isolert. Deretter ble hvert av de totalt 6 prøvestykkene lagret i 3 døgn ved 20 °C med et 3 mm tykt lag vann på den ikke forseglede ca 8500 mm² fryseflate. Etter at vannlaget var erstattet med 3 mm tykt lag 3-prosentlig NaCl-løsning ble frostprøvingen startet 2011-07-11. Frostprøvingen besto av 56 fryse-/tinevekslinger med veiing av avskallet materiale etter hhv 7, 14, 28, 42 og 56 vekslinger. Resultatene er gjengitt i Tabell 1 som middel av 6 prøvestykker.

Tabell 1 Prøvingsresultater

| | | | | |
|--|--|-------|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,651 |
| | | 14 | | 1,123 |
| | | 28 | | 1,907 |
| | | 42 | | 2,882 |
| | 56 | 3,658 | | |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | | 1,918 |

Vurdering av prøvingsresultatene

I følge SS 13 72 44, Utgåva 4:2005 skal frostbestandigheten vurderes som følger:

- Meget god dersom avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,10 kg/m²
- God dersom avskallingen etter
 - 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,20 kg/m² eller
 - 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,50 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 0,50 kg/m²
- Akseptabel dersom avskallingen etter
 - 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 1,00 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 1,00 kg/m²
- Ikke akseptabel dersom ikke noen av kravene til akseptabel frostbestandighet oppfylles

Etter ovenstående kriterier skal frostbestandigheten for betongen vurderes som Ikke akseptabel fordi avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) var 3,658 kg/m².



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409-2-7 Karbonatisering etter 2 mnd 100 % FA.docx

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-08-25

OPPDRAAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV BETONG, 100 % FA

- Bestemmelse av karbonatisering etter 2 mnd eksponering

FÅGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/2-7

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDER/VEDLEGG

2/0

1 Mottak av fersk betong og tillaging av prøvestykker

SINTEF Byggforsk mottok fersk betong fra NorBetongs blandeverk på Heggstadmyra mandag 2011-03-21, klokken 12:30. Vanntilsetning var gjort klokken 12:02, og utstøping ble gjort i tidsrommet 12:30 – 13:30 samme dag. Det ble støpt ut 2 stk 70/70/280 mm prismer til bestemmelse av karbonatisering i henhold til NS-EN 13295:2004.

2 Prøving og resultater

Prismene ble avformet ved 1 døgns alder og vannlagret ved 20 °C fram til 28 døgns alder.

28 8.70 =
+ 37 :56
= 65 + 65
121

Etter vannlagringen ble prismene lagt på knivsegger og tørket i 37 døgn til likevekt (vekttap mindre enn 0,2 % pr 24 timer) med luft av 21 ± 2 °C og 60 ± 10 % RF.

Deretter ble alle prismene 2011-05-24 lagt på knivsegger i karboniseringskabinett hvor de ble eksponert for 1 % CO₂-gass ved 21 ± 2 °C og 60 ± 10 % RF i 8 uker. Før og etter eksponeringen ble det parallelt med endeflatene av hvert prisme splittet av en ca 50 mm lang skive. Den ferske bruddflata for hver av disse skivene ble påført fenoltaleinløsning før karboniseringsdybden ble målt til nærmeste 0,5 mm fra 5 jevnt fordelte punkter langs hver av de 4 sideflatene.

Angitt karboniseringsdybde for hvert prøvingstidspunkt representerer middelverdien av inntil 40 individuelle målinger. Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Prøvingen ble utført i perioden 2011-03-21--08-13.

Tabell 1 Prøvningsresultater

| Prøvingstidspunkt | Før | Etter |
|-----------------------------------|---|-------|
| | 8 ukers eksponering for 1 % CO ₂ -gass | |
| Midlere karbonatiseringsdybde, mm | 2,5 | 8,5* |

*Merknad: *I tillegg til de 8 ukene med eksponering for 1 % CO₂-gass sto prøvene i kabinettet uten tilførsel av CO₂ i ca 3 uker. Disse 3 ekstra ukene anses ikke å ha påvirket prøvningsresultatene i nevneverdig grad.*

0 utstopping
 1 Autføringsdag
 1-28 Vannlagring
 28d + 37d Uthøkking
 65d - 121d CO₂ 1% (8 uker) Måling før
 121d + 21d CO₂ 2% (3 uker)
 142 Måling etter



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 100 % FA

- Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 12 mnd alder

| | | | |
|---|--------------------------------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\3D0593\33400-33409\33409-2-10 Kloridmotstand 100 % FA 12 mnd.docx | For Per Arne Dahl <i>Ola Sjølund</i> | 33409/2-10 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2012-02-09 | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 3/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking

6 stk borkjerner med diameter ca 100 mm og lengde ca 400 mm

Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst".

Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Fresing og kloridanalyser

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder (se rapport 33409/2-5), mens de tre øvrige ble lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder.

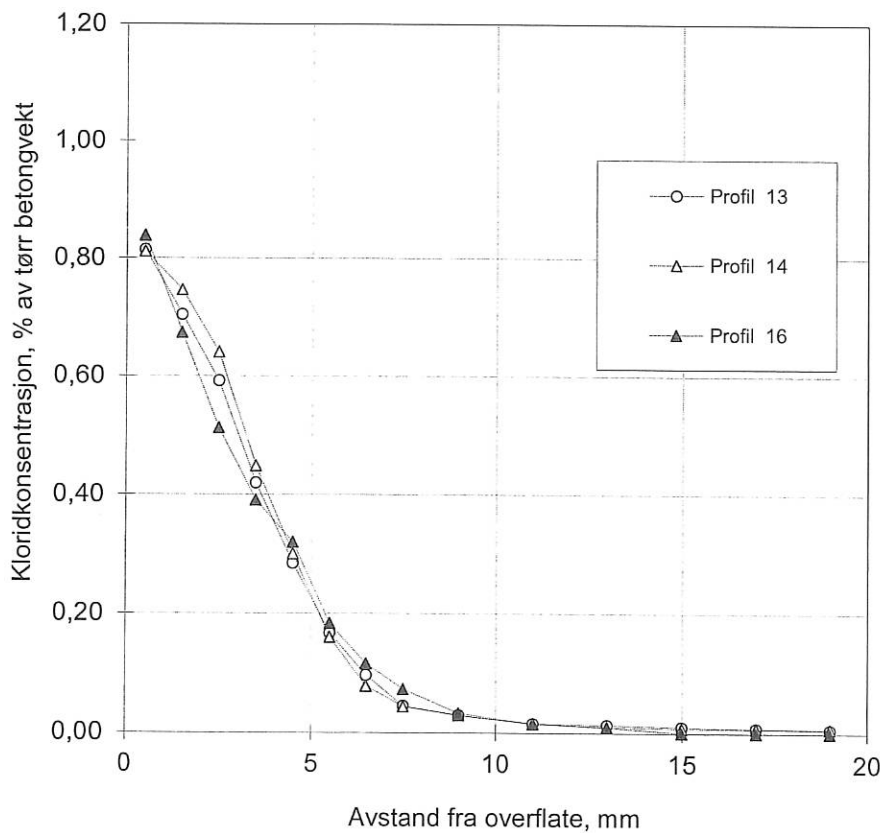
Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 12 mnd er utført iht NT Build 443 med eksponeringstid 35 døgn for prøvestykker merket 13, 14 og 16. Umiddelbart etter avsluttet eksponering ble det frest betongstøv i sjikt parallelt med prøvestykkenes eksponeringsflate. Følgende sjikt er benyttet: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 og 18-20 mm. Fresingen ble utført 2012-01-24.

Kloridinnholdet ble bestemt ved spektrofotometrisk analysemetode, iht. intern prosedyre KS 14-05-04-108, som totalt innhold av Cl i % av tørr betongvekt. Resultatene er presentert i Tabell 1, og grafisk framstilt i Figur 1. Analysene ble utført 2012-02-06.

Tabell 1 Kloridinnhold

| Sjikt [mm] | Kloridinnhold, % Cl ⁻ av betongvekt | | |
|------------|--|-------|-------|
| | 13 | 14 | 16 |
| 0-1 | 0,814 | 0,811 | 0,838 |
| 1-2 | 0,704 | 0,746 | 0,674 |
| 2-3 | 0,592 | 0,640 | 0,512 |
| 3-4 | 0,419 | 0,448 | 0,390 |
| 4-5 | 0,284 | 0,300 | 0,320 |
| 5-6 | 0,167 | 0,161 | 0,183 |
| 6-7 | 0,096 | 0,078 | 0,116 |
| 7-8 | 0,045 | 0,044 | 0,073 |
| 8-10 | 0,029 | 0,029 | 0,033 |
| 10-12 | 0,016 | 0,016 | 0,016 |
| 12-14 | 0,013 | 0,010 | 0,010 |
| 14-16 | 0,010 | 0,008 | 0,001 |
| 16-18 | 0,008 | 0,007 | 0,000 |
| 18-20 | 0,006 | 0,007 | 0,000 |

100% FA - Kloridmotstand ved 12 mnd alder


Figur 1 Samleplott kloridinnhold på prøvene 13, 14 og 16

På grunnlag av kloridprofilene er det foretatt beregning av

- overflatekonsentrasjon (C_0)
- diffusjonskoeffisient (D)

Beregning av diffusjonskoeffisienter

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet med bakgrunn i Ficks 2. lov for ikke-stasjonær diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflaten, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(x / \sqrt{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (2)$$

hvor:

- D = kloriddiffusjonskoeffisienten
- $C(x,t)$ = kloridkonsentrasjon i dybde x etter tid t
- C_0 = beregnet overflatekonsentrasjon
- C_i = opprinnelig kloridinnhold i prøven (bakgrunnsnivå)
- x = dybde fra eksponeringsflata
- t = eksponeringstid
- erf = feilfunksjonen, ligning (3)

$$\operatorname{erf}(z) = \left(2 / \sqrt{\pi}\right) \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (3)$$

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse.

Tabell 2 Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_0) for alle kloridprofiler

| Prøve merket | D [$\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$] | C_0 [% Cl av betongvekt] |
|--|--|----------------------------------|
| 13 | 2,24 | 1,192 |
| 14 | 2,05 | 1,349 |
| 16 | 2,89 | 0,929 |
| Gjennomsnitt ± standard avvik | 2,40 ± 0,44 | 1,157 ± 0,212 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - 100 % FA
- Bestemmelse av elektrisk motstand ved 12 mnd alder

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409 2-9 Elektrisk motstand 100 % FA -12 mnd .docx

For

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/2-9

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2012-01-31

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking

6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm

Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst". Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Bestemmelse av elektrisk motstand

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av elektrisk motstand, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Alle 6 prøvestykkene ble prøvd ved 6 mnd alder, se rapport 33409/2-4. Prøvestykkene merket 13, 14 og 16 ble videre lagret i vann, og er prøvd 2011-12-15, ved 12 mnd alder. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs prosedyre KS 14-05-04 128 med multimeter ved 1 kHz og temperatur 19,5°C.

Den elektriske motstanden er beregnet som $R \cdot A/L$, hvor

R = målt motstand (Ω)

A = endeflatenes areal (m^2)

L = avstand mellom endeflater (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1 Elektrisk motstand

| Prøvestykke nr | 13 | 14 | 16 | Middel |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Diameter, mm | 93 | 93 | 93 | - |
| Høyde, mm | 50 | 50 | 51 | - |
| Elektrisk motstand, Ωm | 551,2 | 546,6 | 543,8 | 547,2 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER



NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG, 100 % FA
- Bestemmelse av trykkfasthet og densitet ved 12 mnd alder

| | | | |
|--|--|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\33400-33409\33409-2-8 Trykkfasthet og densitet 100 % FA - 12 mnd.docx | Per Arne Dahl  | 33409/2-8 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2012-01-24 | Mari Bøhnsdalen Eide  | 1/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm.
Alle borkjernene var merket "B40, LVB 100 % FA", samt tilleggsmerking henholdsvis "1 nederst", "1 midt", "1 øverst", "2 nederst", "2 midt" og "2 øverst".
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Densitet og trykkfasthet

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet to prøvestykker med lengde/diameterforhold nå nært som mulig lik 2. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder etter 2 døgn vannlagring, se rapport 33409/2-2. De tre øvrige ble lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder.

Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse.

Tabell 1 Resultater fra prøving ved 12 måneders alder, 2011-12-20

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | 13b | 14b | 15b | Middel | |
|------------------------------|-----------|------|------|-------------|-------------|
| Høyde etter plansliping, mm | 93 | 93 | 93 | - | |
| Densitet, kg/m ³ | 2400 | 2390 | 2350 | 2380 | |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 51,5 | 57,3 | 49,3 | - |
| | Omregnet* | 48,9 | 53,3 | 46,3 | 49,5 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV BETONG, 100 % FA

- Bestemmelse av potensiell alkalireaktivitet i henhold til NB32, betongprismemetoden

| | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\33400-33409\33409-2-11 Alkalireaktivitet 100% FA.docx | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409-2-11 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2013-04-15 | Ola Skjølvold <i>Ola Skjølvold</i> | 2/0 |

1 Mottak av fersk betong og tillaging av prøvestykker

SINTEF Byggforsk mottok fersk betong fra NorBetongs blandeverk på Heggstadmyra mandag 2011-03-21, klokken 12:30. Utstøping ble gjort i tidsrommet 12:30 – 13:30 samme dag. For betongen ble det utstøpt 3 stk 100 • 100 • 450 mm prizmer og 3 stk 100 mm terninger. Blanding og utstøping ble utført i henhold til reglene i NB 32.

2 Prøving og resultater

Etter 28 døgns vannlagring ved 20°C, ble terningene trykkprøvd i henhold til reglene i NS-EN 12390-3.

Prismenes referanselengde ble bestemt etter $23 \pm 0,5$ timers lagring i formene i luft av $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 100 % RF, avforming og 30 ± 5 min påfølgende lagring i vann av 20°C. Deretter ble prismene lagret fuktig (100 % RF) ved $38 \pm 2^\circ\text{C}$ i 2 år. Lagringen foregikk ved at prismene stod på rist over vannspeil i plastdunker med lokk og fuktsugende klede fra vannet i bunnen og opp langs veggene. I hver plastdunk ble det lagret 3 prizmer, og da fra en og samme blanding. Etter hhv 1, 8, 16, 26, 52, 78 og 104 uker av denne lagringsperioden ble prismenes lengde målt (etter forutgående lagring ved 100 % RF og nedkjøling til $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i 16 ± 4 timer), og avviket fra referanselengden kalkulert. Prøvingen ble utført i perioden 2011-03-21--2013-03-21.

Alle resultater er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Prøvingsresultater

| | | |
|--|-----------------------------|----------|
| Betong | | 100 % FA |
| Prøving av terninger | Densitet, kg/m ³ | 2380 |
| | 28 døgns trykkfasthet, MPa | 36,9 |
| Prøving av prismer: Ekspansjon (÷ = svinn), %, etter | 1 uke | ÷0,002 |
| | 8 uker | ÷0,003 |
| | 16 uker | ÷0,004 |
| | 26 uker | ÷0,004 |
| | 52 uker | ÷0,001 |
| | 78 uker | ÷0,002 |
| | 104 uker | ÷0,001 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE
GRADERING
Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE
I:\Pro\33400-33409\33409-3-2 Trykkfasthet og densitet SV40.docx

PROSJEKTNR
3D0593.42
DATO
2011-07-11

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.
Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG, SV 40
- Bestemmelse av trykkfasthet og densitet ved 6 mnd alder

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/3-2

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDERVEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm.
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Densitet og trykkfasthet

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet to prøvestykker med lengde/diameterforhold nå nært som mulig lik 2. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder etter 3 døgn vannlagring, mens de tre øvrige lagres i vann for prøving ved 12 mnd alder. Resultatene rapporteres separat.


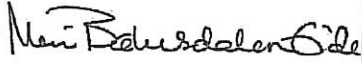
Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse. Prøvingen ble utført 2011-07-04.

Tabell 1 Prøvningsresultater fra prøving 2011-03-11

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | 2a | 3a | 5a | Middel | |
|------------------------------|-----------|------|------|--------|------|
| Høyde etter plansliping, mm | 131 | 130 | 136 | - | |
| Densitet, kg/m ³ | 2340 | 2350 | 2320 | 2335 | |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 65,3 | 64,4 | 64,3 | - |
| | Omregnet* | 60,7 | 59,9 | 59,8 | 60,1 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2

Bestandighet, Runde 1

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------------|
|  SINTEF SINTEF Byggforsk Byggematerialer og konstruksjoner Postadresse: 7465 Trondheim Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3 Telefon: 73 59 52 24 Telefaks: 73 59 71 36 Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA Sertifisert prøvingslaboratorium U16  | | PRØVINGSRAPPORT | |
| | | OPPDRAGSGIVER NCC Construction AS Losgata 3 7042 Trondheim | |
| | | BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF. Sven-Inge Asplund | |
| | | OPPDRAGETS ART PRØVING AV UTBORET BETONG, SV 40 - Bestemmelse av karbonatisering (in situ) ved 6 mnd alder | |
| ARKIVKODE | GRADERING Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\33400-33409\33409-3-1 Karbonatisering SV 40.docx | | FAGLIG ANSVARLIG Pér Arné Dahl  | RAPPORTNUMMER 33409/3-1 |
| PROSJEKTNR 3D0593.42 | DATO 2011-07-05 | SAKSBEARBEIDER Mari Bøhnsdalen Eide  | ANT. SIDERVEDLEGG 1/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF
Emballasje Ingen emballasje

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Karbonatiseringsdybde

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett ca $\varnothing 100 \times 15$ mm prøvestykke fra topp borkjerne. Bestemmelse av karboniseringsdybde ble utført på splittede prøvestykker i henhold til NS-EN 14630 (fenolfaleinmetode). Tabell 1 viser prøvingsresultatene.

Tabell 1 Prøvingsresultater fra prøving 2011-07-04

| Prøve merket | Midlere karbonatiseringsdybde, mm | Maksimum karbonatiseringsdybde, mm |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 2 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 2 |
| 5 | 1 | 1 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



| | |
|-----------|-----------|
| ARKIVKODE | GRADERING |
| | Fortrolig |

ELEKTRONISK ARKIVKODE
I:\Pro\33400-33409\33409 3-3 Luftporeanalyse
SV40.docx

| | |
|------------|------------|
| PROSJEKTNR | DATO |
| 3D0593.42 | 2011-07-13 |

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - SV 40
- Luftporeanalyse

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/3-3

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDERVEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm.
Alle borkjernerne var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernerne ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er tatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Luftporeanalyse

Borkjernerne ble merket henholdsvis "1" og "4", og det ble deretter tildannet ett prøvestykke fra hver kjerne for prøving etter DS/EN 480-11. Prøvingen ble foretatt 2011-07-11 ved VBM-Laboratoriet A/S i Danmark.

Resultatene er gitt i Tabell 1, som middelvei av de to prøvene, som oppgitt fra VBM-Laboratoriet A/S.

Tabell 1 Resultater, luftporeanalyse

| | |
|---------------------------------------|------|
| Luftinnhold, % | 4,1 |
| Spesifikk overflate, mm ⁻¹ | 39 |
| Avstandsfaktor, mm | 0,15 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

\\Pro\33400-33409\33409 3-4 Elektrisk motstand
SV40.docx

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-07-11

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - SV40

- Bestemmelse av elektrisk motstand ved 6 mnd alder

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/3-4

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Bestemmelse av elektrisk motstand

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av elektrisk motstand, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker (2,3 og 5) er prøvd 2011-07-04 ved 6 mnd alder etter 3 døgns vannlagring. De resterende tre (6a, 6b og 6c) er prøvd 2011-07-07 etter 6 døgns vannlagring og blir videre lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs prosedyre KS 14-05-04 128 med multimeter ved 1 kHz og temperatur 19,5°C.

Den elektriske motstanden er beregnet som $R \cdot A/L$, hvor

R = målt motstand (Ω)

A = endeflatenes areal (m^2)

L = avstand mellom endeflater (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1 Elektrisk motstand

| Prøvestykke nr | 2 | 3 | 5 | 6a | 6b | 6c | Middel |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Diameter, mm | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | - |
| Høyde, mm | 104 | 104 | 104 | 104 | 104 | 104 | - |
| Elektrisk motstand, Ωm | 252,0 | 238,6 | 264,1 | 208,9 | 204,5 | 204,8 | 228,8 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vel 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



| | | | |
|---|------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER |
| I:\Pro\33400-33409\33409-3-5 Kloridmotstand SV40.docx | | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/3-5 |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2011-08-30 | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 3/0 |

PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - SV 40

- Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 6 mnd alder

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Fresing og kloridanalyser

Fra hyer av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder, mens de tre øvrige blir lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder. Disse resultatene rapporteres separat.

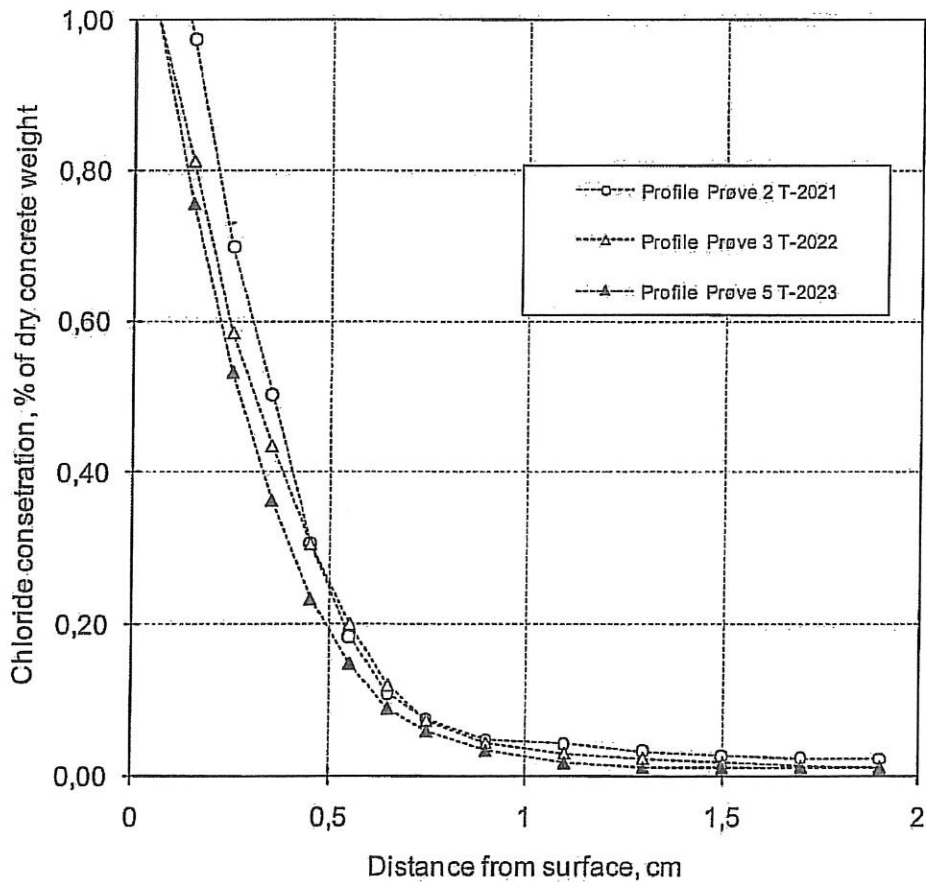
Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning er utført iht NT Build 443 med eksponeringstid 35 døgn for prøvestykker merket 2, 3 og 5. Umiddelbart etter avsluttet eksponering ble det frest betongstøv i sjikt parallelt med prøvestykkens eksponeringsflate. Følgende sjikt er benyttet: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 og 18-20 mm. Fresingen ble utført 2011-08-15.

Kloridinnholdet ble bestemt ved spektrofotometrisk analysemetode, iht. intern prosedyre KS 14-05-04-108, som totalt innhold av Cl⁻ i % av tørr betongvekt. Resultatene er presentert i Tabell 1, og grafisk framstilt i Figur 1. Analysene ble utført 2011-08-24.

Tabell 1 Kloridinnhold

| Sjikt [mm] | Kloridinnhold, % Cl ⁻ av betongvekt | | |
|------------|--|-------|-------|
| | 2 | 3 | 5 |
| 0-1 | 1,225 | 1,021 | 1,024 |
| 1-2 | 0,975 | 0,814 | 0,756 |
| 2-3 | 0,699 | 0,585 | 0,533 |
| 3-4 | 0,503 | 0,435 | 0,363 |
| 4-5 | 0,306 | 0,306 | 0,234 |
| 5-6 | 0,184 | 0,200 | 0,149 |
| 6-7 | 0,109 | 0,120 | 0,089 |
| 7-8 | 0,075 | 0,073 | 0,060 |
| 8-10 | 0,048 | 0,044 | 0,034 |
| 10-12 | 0,042 | 0,030 | 0,019 |
| 12-14 | 0,033 | 0,023 | 0,012 |
| 14-16 | 0,026 | 0,017 | 0,011 |
| 16-18 | 0,023 | 0,013 | 0,011 |
| 18-20 | 0,022 | 0,012 | 0,010 |

SV 40 - Kloridmotstand ved 6 mnd alder



Figur 1 Samleplott kloridinnhold på prøvene 2, 3 og 5

På grunnlag av kloridprofilene er det foretatt beregning av

- overflatekonsentrasjon (C_0)
- diffusjonskoeffisient (D)

Beregning av diffusjonskoeffisienter

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet med bakgrunn i Ficks 2. lov for ikke-stasjonær diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflaten, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \text{erf}\left(x / \sqrt{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (2)$$

hvor:

- D = kloriddiffusjonskoeffisienten
- $C(x,t)$ = kloridkonsentrasjon i dybde x etter tid t
- C_0 = beregnet overflatekonsentrasjon
- C_i = opprinnelig kloridinnhold i prøven (bakgrunnsnivå)
- x = dybde fra eksponeringsflata
- t = eksponeringstid
- erf = feilfunksjonen, ligning (3)

$$\text{erf}(z) = \left(2/\sqrt{\pi}\right) \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (3)$$

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse.

Tabell 1 Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_0) for alle kloridprofiler

| Prøve merket | D [$\cdot 10^{-12}$ m ² /s] | C_0 [% Cl ⁻ av betongvekt] |
|--|--|---|
| 2 | 2,18 | 1,43 |
| 3 | 2,61 | 1,13 |
| 5 | 2,02 | 1,14 |
| Gjennomsnitt ± standard avvik | 2,27 ± 0,31 | 1,23 ± 0,17 |



SINTEF Byggforsk
Betong- og natursteinlaboratoriene

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV HERDNET BETONG – SV 40
- Bestemmelse av frostbestandighet

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\3D0593\33400-33410\33409 3-6 Frostmolstand SV40.docx

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/3-6

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-09-20

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

2/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking

6 stk borkjerner med diameter 105 mm og lengde ca 400 mm

Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Prøving og resultater

2011-07-01 ble det fra hver av to borkjernener tildannet 3 stk prøvestykker Ø 105 x 50 mm for bestemmelse av frostbestandighet med NaCl-løsning som frysemedium som beskrevet for "Slab test" i NS-CEN/TC 12390-9:2006 (tilsvarende "Boråsmetoden" som beskrevet i SS 13 72 44, "Förfarande III").

2011-07-01 ble prøvestykkene satt til lagring i luft ved 20 °C, 65 % RF. I løpet av en påfølgende 7 døgns lagringsperiode, ble prøvestykkene side- og bunnflate forseglede og isolert. Deretter ble hvert av de totalt 6 prøvestykkene lagret i 3 døgn ved 20 °C med et 3 mm tykt lag vann på den ikke forseglede ca 8500 mm² fryseflate. Etter at vannlaget var erstattet med 3 mm tykt lag 3-prosentlig NaCl-løsning ble frostprøvingen startet 2011-07-11. Frostprøvingen besto av 56 fryse-/tinevekslinger med veiing av avskallet materiale etter hhv 7, 14, 28, 42 og 56 vekslinger. Resultatene er gjengitt i Tabell 1 som middel av 6 prøvestykker.

Tabell 1 Prøvingsresultater

| | | | | |
|--|--|----|---|-------|
| Frost- prø- ving | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,025 |
| | | 14 | | 0,061 |
| | | 28 | | 0,112 |
| | | 42 | | 0,142 |
| | | 56 | | 0,190 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,693 | |

Vurdering av prøvingsresultatene

I følge SS 13 72 44, Utgåva 4:2005 skal frostbestandigheten vurderes som følger:

- Meget god dersom avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,10 kg/m²
- God dersom avskallingen etter
 - o 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,20 kg/m² eller
 - o 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,50 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - o 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 0,50 kg/m²
- Akseptabel dersom avskallingen etter
 - o 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 1,00 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - o 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 1,00 kg/m²
- Ikke akseptabel dersom ikke noen av kravene til akseptabel frostbestandighet oppfylles

Etter ovenstående kriterier skal frostbestandigheten for betongen vurderes som God fordi avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) var 0,190 kg/m².



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG, SV 40

- Bestemmelse av trykkfasthet og densitet ved 12 mnd alder

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409-3-8 Trykkfasthet og densitet SV40 12 mnd.docx

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl *Per Arne Dahl*

RAPPORTNUMMER

33409/3-8

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-12-13

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide *Mari Bøhnsdalen Eide*

ANT. SIDER/VEDLEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-06-23

Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm.
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Densitet og trykkfasthet

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet to prøvestykker med lengde/diameterforhold nå nært som mulig lik 2. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder etter 2 døgn vannlagring, se rapport 33409/3-2. De tre øvrige ble lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder.

Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse. Prøvingen ble utført 2011-12-08.

Tabell 1 Prøvningsresultater fra prøving 2011-12-08

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | 2b | 3b | 5b | Middel | |
|------------------------------|-----------|------|------|-------------|-------------|
| Høyde etter plansliping, mm | 133 | 128 | 134 | - | |
| Densitet, kg/m ³ | 2350 | 2380 | 2350 | 2360 | |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 71,8 | 74,0 | 71,6 | - |
| | Omregnet* | 66,8 | 68,8 | 66,6 | 67,4 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindere med høyde/diameterforhold lik 2



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - SV40
- Bestemmelse av elektrisk motstand ved 12 mnd alder

| | | | |
|--|------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | <i>Fer</i> | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER |
| I:\Pro\33400-33409\33409 3-9 Elektrisk motstand SV40 - 12 mnd.docx | | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/3-9 |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2012-01-20 | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 1/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Bestemmelse av elektrisk motstand

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av elektrisk motstand, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Alle 6 prøvestykkene ble prøvd ved 6 mnd alder, se rapport 33409/3-4.

Prøvestykkene merket 6a, 6b og 6c ble videre lagret i vann, og er prøvd 2011-12-05, ved 12 mnd alder. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs prosedyre KS 14-05-04 128 med multimeter ved 1 kHz og temperatur 19,5°C.

Den elektriske motstanden er beregnet som $R \cdot A/L$, hvor

R = målt motstand (Ω)

A = endeflatenes areal (m^2)

L = avstand mellom endeflater (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1 Elektrisk motstand

| Prøvestykke nr | 6a | 6b | 6c | Middel |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------|
| Diameter, mm | 50 | 50 | 50 | - |
| Høyde, mm | 104 | 104 | 104 | - |
| Elektrisk motstand, Ωm | 357,8 | 358,3 | 351,8 | 356,0 |



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG - SV 40

- Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning ved 12 mnd alder

| | | | |
|---|------------------------------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| I:\Pro\33400-33409\33409-3-10 Kloridmotstand SV40 - 12 mnd.docx | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/3-10 | |
| PROSJEKTNR | DATO | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| 3D0593.42 | 2012-01-20 | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 3/0 |

Prøvenes ankomst 2011-06-23
Mengde/merking 6 stk borkjerner med diameter ca. 100 mm og lengde ca 400 mm
Alle borkjernene var merket "B45, SV40 K-109 13/5" uten individuell merking.
Borkjernene ble tilleggsmerket av SINTEF

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Fresing og kloridanalyser

Fra hver av tre borkjerner ble det tildannet ett prøvestykke for bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning, og fra en fjerde borkjerne ble det tildannet tre prøvestykker, totalt 6 prøvestykker. Tre prøvestykker er prøvd ved 6 mnd alder (se rapport 33409/3-5), mens de tre øvrige ble lagret i vann for prøving ved 12 mnd alder.

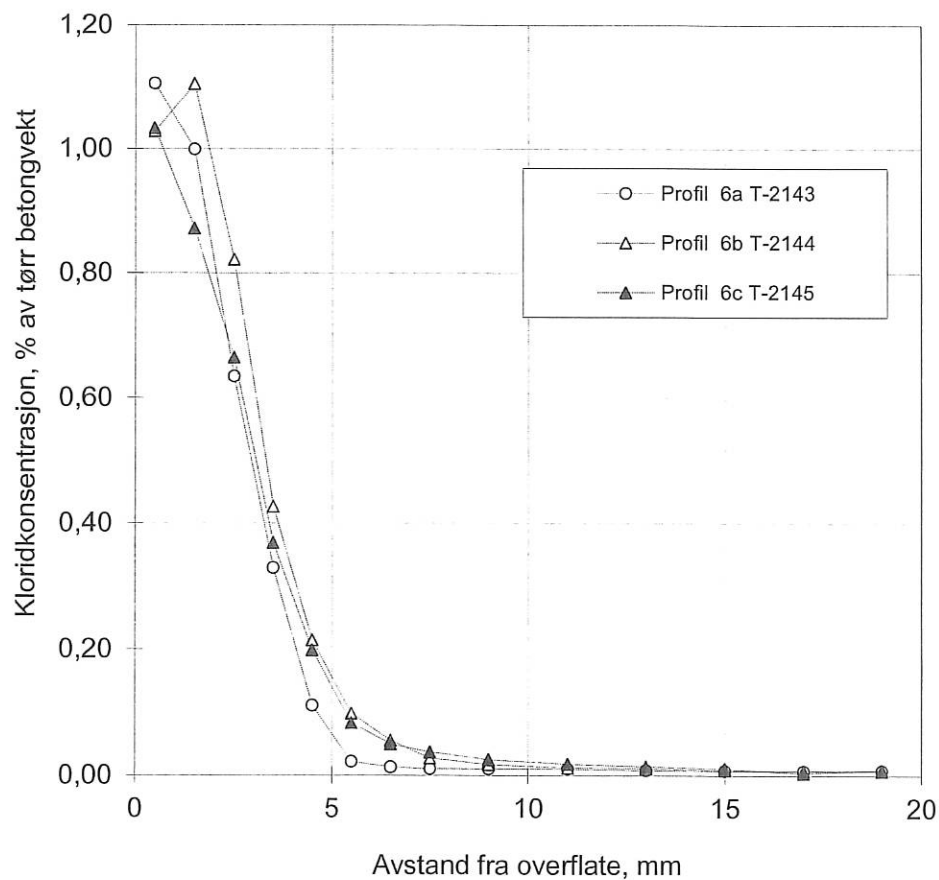
Bestemmelse av motstand mot kloridinntrengning er utført iht NT Build 443 med eksponeringstid 35 døgn for prøvestykker merket 6a, 6b og 6c. Umiddelbart etter avsluttet eksponering ble det frest betongstøv i sjikt parallelt med prøvestykkenes eksponeringsflate. Følgende sjikt er benyttet: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 og 18-20 mm. Fresingen ble utført 2012-01-12.

Kloridinnholdet ble bestemt ved spektrofotometrisk analysemetode, iht. intern prosedyre KS 14-05-04-108, som totalt innhold av Cl⁻ i % av tørr betongvekt. Resultatene er presentert i Tabell 1, og grafisk framstilt i Figur 1. Analysene ble utført 2012-01-16--17.

Tabell 1 Kloridinnhold

| Sjikt [mm] | Kloridinnhold, % Cl av betongvekt | | |
|------------|-----------------------------------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 5 |
| 0-1 | 1,106 | 1,028 | 1,033 |
| 1-2 | 0,999 | 1,104 | 0,872 |
| 2-3 | 0,634 | 0,822 | 0,664 |
| 3-4 | 0,329 | 0,427 | 0,369 |
| 4-5 | 0,111 | 0,214 | 0,198 |
| 5-6 | 0,022 | 0,098 | 0,083 |
| 6-7 | 0,013 | 0,055 | 0,050 |
| 7-8 | 0,010 | 0,027 | 0,037 |
| 8-10 | 0,010 | 0,017 | 0,025 |
| 10-12 | 0,010 | 0,012 | 0,018 |
| 12-14 | 0,008 | 0,011 | 0,014 |
| 14-16 | 0,007 | 0,008 | 0,010 |
| 16-18 | 0,007 | 0,007 | 0,004 |
| 18-20 | 0,007 | 0,007 | 0,009 |

SV 40 - Kloridmotstand ved 12 mnd alder


Figur 1 Samleplott kloridinnhold på prøvene 6a, 6b og 6c

På grunnlag av kloridprofilene er det foretatt beregning av

- overflatekonsentrasjon (C_0)
- diffusjonskoeffisient (D)

Beregning av diffusjonskoeffisienter

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet med bakgrunn i Ficks 2. lov for ikke-stasjonær diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflaten, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(x/\sqrt{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (2)$$

hvor:

- D = kloriddiffusjonskoeffisienten
- $C(x,t)$ = kloridkonsentrasjon i dybde x etter tid t
- C_0 = beregnet overflatekonsentrasjon
- C_i = opprinnelig kloridinnhold i prøven (bakgrunnsnivå)
- x = dybde fra eksponeringsflata
- t = eksponeringstid
- erf = feilfunksjonen, ligning (3)

$$\operatorname{erf}(z) = \left(2/\sqrt{\pi}\right) \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (3)$$

Kloriddiffusjonskoeffisienter, D , og kloridkonsentrasjon i overflatesjiktet, C_0 , er beregnet ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse.

Tabell 2 Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_0) for alle kloridprofiler

| Prøve merket | D [$\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$] | C_0 [% Cl ⁻ av betongvekt] |
|--|--|---|
| 6a | 1,20 | 1,72 |
| 6b | 1,42 | 1,87 |
| 6c | 1,56 | 1,44 |
| Gjennomsnitt ± standard avvik | 1,39 ± 0,18 | 1,68 ± 0,22 |

VEDLEGG 3 Prøvningsrapporter fra Runde 1; Ung betong

**SINTEF****SINTEF Byggforsk**

Betong- og natursteinlaboratoriene
 Postadresse: 7465 Trondheim
 Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
 Telefon: 73 59 52 24
 Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16

**PRØVINGSRAPPORT**

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

50% FA!

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

TUNNEL MØLLENBERG**Dokumentasjon av egenskaper for utstøpt betong**

- Trykkfasthet
- Strekkfasthet
- Dilatasjon

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\3D0593 - BETONGPRØVING\Fag\33380-33389\33380 NCC

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33380

PROSJEKTNR

3D0593.31

DATO

2010-08-25

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide/ Sindre Sandbakk

ANT SIDER/VEDLEGG

4/1

1 Mottatt fersk betong og tillaging av prøvestykker

SINTEF Byggforsk mottok fersk betong fra NorBetongs blandeverk på Heggstadmyra tirsdag 2010-07-06, klokken 1500. Utstøping ble gjort i tidsrommet 15.00 - 15.40 samme dag.

Det ble støpt ut:

- 44 terninger med dimensjon 100x100x100 mm til bestemmelse av trykkfasthet
- 9 prismer med dimensjon 10 x100x600 mm til bestemmelse av E-modul og strekkfasthet
- 1 prisme med dimensjon 100x100x500 mm til dilatasjonsforsøk

Egenskaper for den ferske betongen er gitt i tabell 1.

Tabell 1: Egenskaper, fersk betong

| Luftinnhold | Densitet |
|-------------|------------------------|
| 4,4 % | 2340 kg/m ³ |

Prøvningsresultatene refererer seg kun til de aktuelle prøver.

Utdragsvis eller forkortet gjengivelse samt eventuell oversettelse av rapporten skal godkjennes av SINTEF.
 Prøvematerialet kan kastes 1 måned etter rapportdato dersom ikke annet er avtalt skriftlig.

2 Trykkfasthet

Det ble støpt ut totalt 44 stk 100 mm terninger for bestemmelse av trykkfasthet etter herding ved henholdsvis 5, 20 og 35 °C. Terningene ble støpt ut i former som på forhånd var lagret ved aktuell temperatur. Etter utstøping ble formene oppbevart tildekket i vannbad ved de ulike temperaturnivåene fram til avforming. Etter avforming ble terningene vannlagret ved aktuell temperatur. Terningene er prøvd etter NS 12390-3. Resultatene er gitt i tabell 2.

Tabell 2 Resultater trykkfasthet

| Temperatur | | 5°C | | 20°C | | 35°C | |
|-------------------|----------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | Termin | Enkelt- resultat | Snitt | Enkelt- resultat | Snitt | Enkelt- resultat | Snitt |
| Trykkfasthet, MPa | 8 timer | | | | | 6,6 | 6,5 |
| | | | | | | 6,3 | |
| | 16 timer | | | 6,7 | 5,9 | 16,5 | 16,5 |
| | | | | 5,1 | | 16,4 | |
| | 20 timer | | | 10,6 | 10,7 | 19,2 | 19,5 |
| | | | | 10,8 | | 19,8 | |
| | 27 timer | | | | | 21,5 | 21,8 |
| | | | | | | 22,0 | |
| | 38 timer | | | 18,7 | 19,1 | 25,9 | 25,7 |
| | | | | 19,4 | | 25,5 | |
| | 50 timer | 11,3 | 11,2 | 22,2 | 22,1 | | |
| | | 11,1 | | 22,0 | | | |
| | 72 timer | 16,3 | 16,3 | 25,4 | 25,5 | | |
| | | 16,2 | | 25,5 | | | |
| 93 timer | | | | | 37,9 | 38,5 | |
| | | | | | 39,0 | | |
| 118 timer | 23,7 | 23,7 | | | | | |
| | 23,6 | | | | | | |
| 168 timer | 26,7 | 26,4 | 32,5 | 32,9 | | | |
| | 26,0 | | 33,3 | | | | |
| 240 timer | 30,6 | 30,7 | | | | | |
| | 30,7 | | | | | | |
| 336 timer | | | 40,6 | 40,3 | | | |
| | | | 40,0 | | | | |
| 360 timer | 33,9 | 34,1 | | | | | |
| | 34,3 | | | | | | |
| 28 døgn | 38,5 | 38,5 | 52,0 | 51,9 | 62,4 | 62,8 | |
| | 38,4 | | 51,8 | | 63,1 | | |

3 E-modul og strekkfasthet

Det ble utstøpt totalt 9 prismer med dimensjon 100 x 100 x 600 mm til bestemmelse av E-modul og (direkte) strekkfasthet, som ble bestemt ved 1, 3 og 29 døgn. Prøvingen er utført i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS 14-05-04-106.

På prøvedatoen for 28 døgn, 2010-08-03, ble det oppdaget at prismene hadde ligget i luft, mest sannsynlig i de siste 14 dagene. De ble da lagt i vann 1 døgn, og prøvd ved 29 døgns alder, 2010-08-04. En halvdel fra hvert prisme ble deretter vannlagret frem til 2010-08-05. Terninger ble så tildannet og trykkprøvd ved 30 døgns alder.

Resultater for E-modul, strekkfasthet og trykkfasthet er gjengitt i henholdsvis tabell 3, 4 og 5. Kurver for spenning/tøyning er gitt i vedlegg 1.

Tabell 3 Resultater for E-modul

| Prisme nr. | | 1 | 2 | 3 | Snitt | Std.avvik |
|-----------------------------|---------|------|------|------|-------|-----------|
| E-modul, GPa Prøvd etter | 1 døgn | 18,7 | 18,5 | 18,7 | 18,6 | 0,15 |
| | 3 døgn | 22,1 | 22,6 | 23,2 | 22,6 | 0,55 |
| | 29 døgn | 26,2 | 29,0 | 29,3 | 28,2 | 1,74 |

Tabell 4 Resultater for strekkfasthet

| Prisme nr. | | 1 | 2 | 3 | Snitt | Std.avvik |
|-----------------------------------|---------|------|------|------|-------|-----------|
| Strekkfasthet, MPa Prøvd etter | 1 døgn | 1,50 | 1,28 | 1,31 | 1,40 | 0,12 |
| | 3 døgn | 2,29 | 2,34 | 2,15 | 2,30 | 0,10 |
| | 29 døgn | 4,28 | 4,37 | 4,19 | 4,30 | 0,09 |

Tabell 5 Resultater for trykkfasthet av terninger tildannet fra prismer

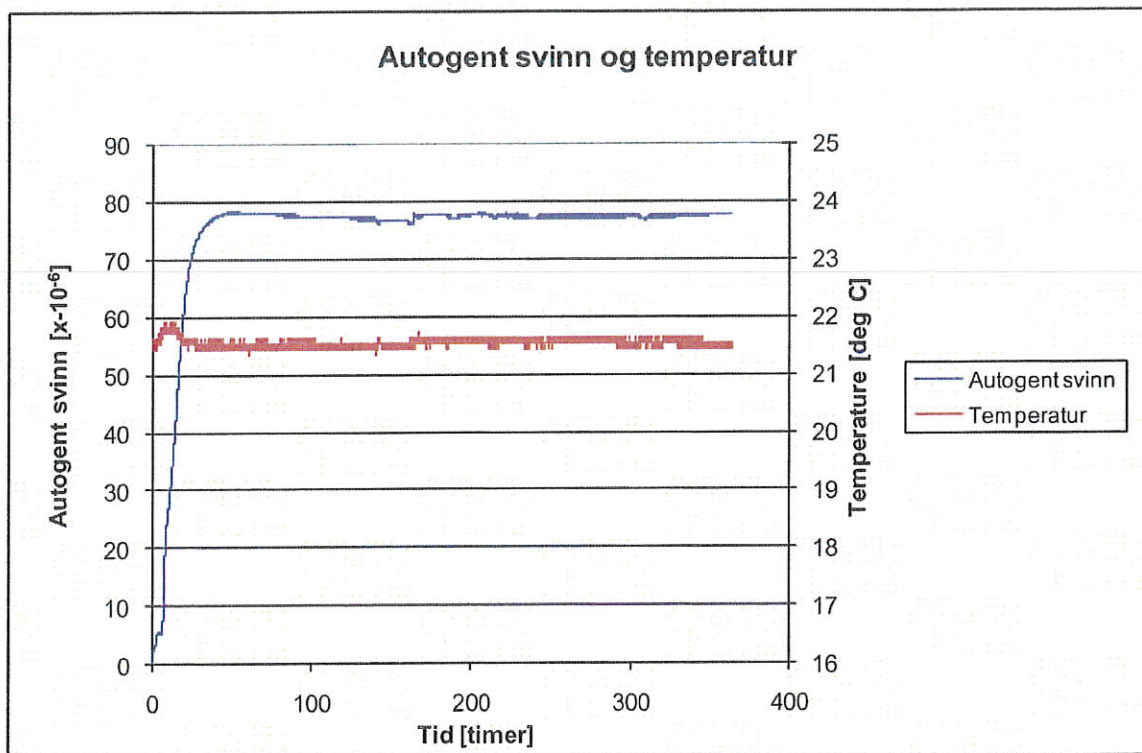
| Prisme nr. | | 1 | 2 | 3 | Snitt | Std.avvik |
|-------------------|---------|------|------|------|-------|-----------|
| Trykkfasthet, MPa | 30 døgn | 51,6 | 53,0 | 53,0 | 52,5 | 0,80 |

4 Dilatasjon/autogent svinn

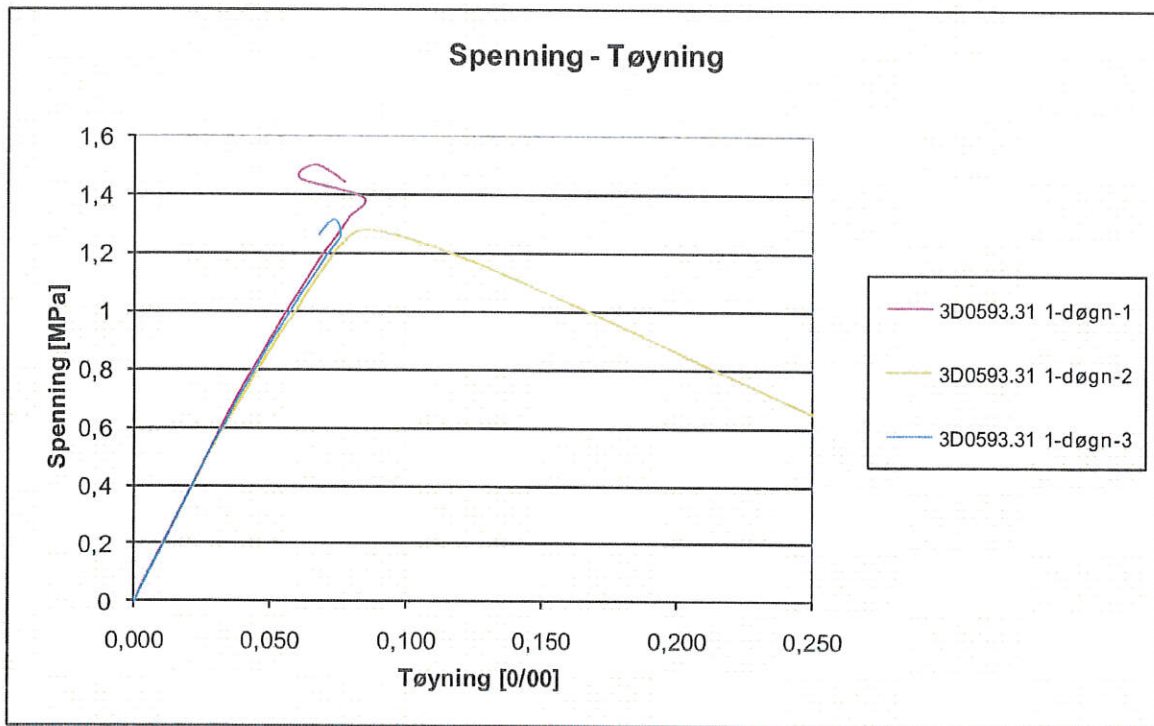
Autogen deformasjon ble bestemt på et 100/100/500 mm prisme. Prøvingen ble utført i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS70 135. Prøvingen ble avsluttet etter 15 døgn, da strømbrydd forstyrret temperaturkontrollen. Tiden er angitt som timer etter kl 1700 2010-07-06. Prøvestykket var isolert under forsøket. Resultatene er gitt i tabell 6, mens figur over det autogene svinnet er gitt i figur 1.

Tabell 6 Resultater autogent svinn

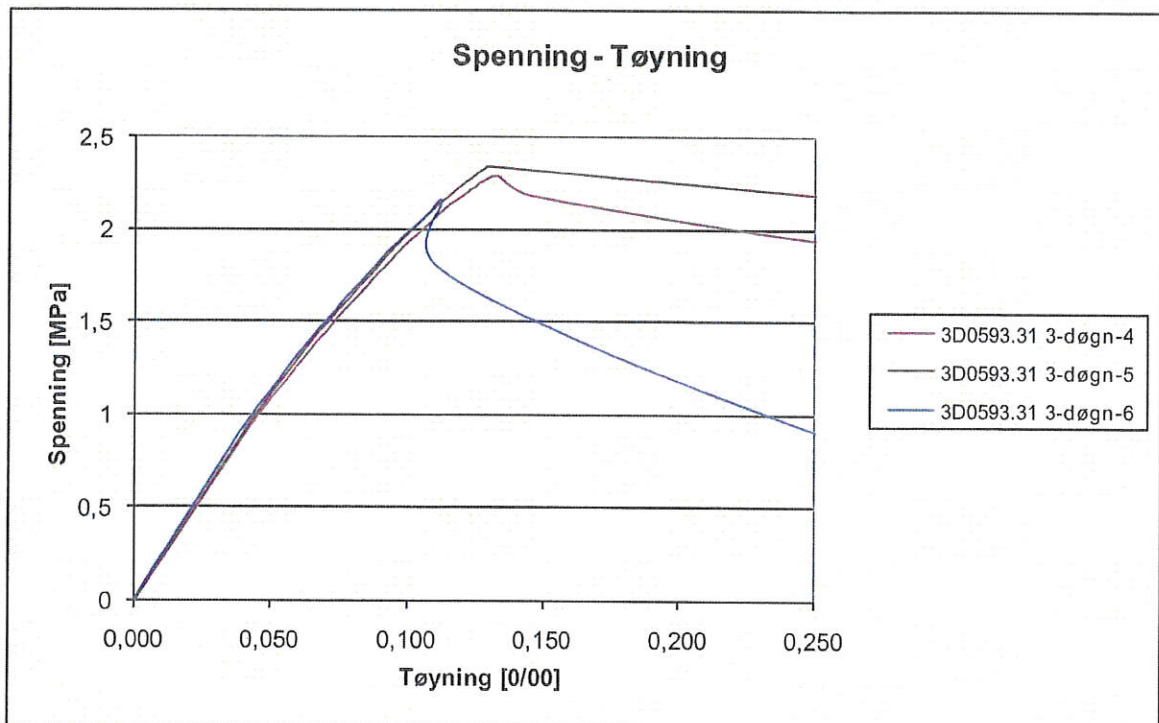
| | |
|---------------------------|------|
| Autogent svinn, 10^{-6} | 77,5 |
|---------------------------|------|



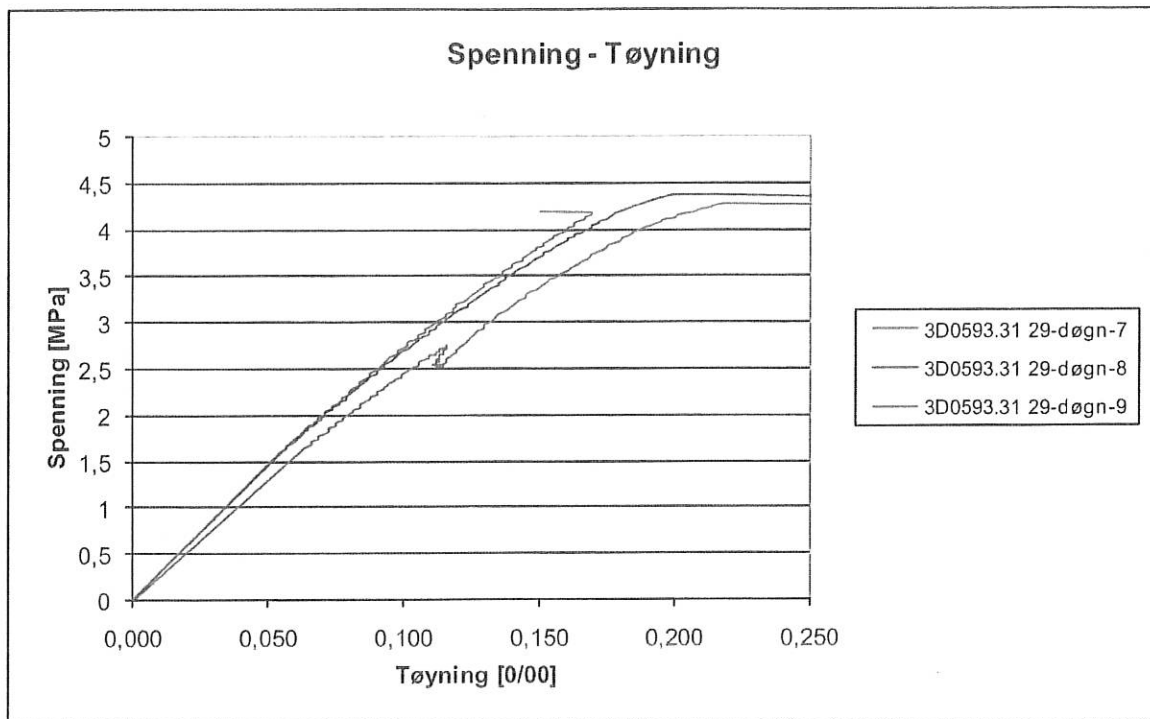
Figur 1 Autogent svinn etter 15 døgn



Figur 2 Spenning/tøyning ved 1 døgns alder



Figur 3 Spenning/tøyning ved 3 døgns alder



Figur 4 Spenning/tøyning ved 29 døgns alder

**SINTEF Byggforsk**

Betong- og natursteinlaboratoriene
Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16

**PRØVINGSRAPPORT**

OPPDRAAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

TUNNEL MØLLENBERG - Ung Betong LVB 100 % FA**Dokumentasjon av egenskaper for utstøpt betong**


- Trykkfasthet
- Strekkfasthet
- Dilatasjon
- Herdekasseberegninger

GRADERING
Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\3D0593 - BETONGPRØVING\Fag\33400-33409\33409-A Ung Betong LVB 100 % FA.docx

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl 

RAPPORTNUMMER

33409/A

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2011-06-30

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide/ 
Gunrid Kjellmark

ANT SIDER/VEDLEGG

5/2

1 Mottatt fersk betong og tillaging av prøvestykker

SINTEF Byggforsk mottok fersk betong fra NorBetongs blandeverk på Heggstadmyra mandag 2011-03-21, klokken 12:30. Vanntilsetning var gjort klokken 12:02, og utstøping ble gjort i tidsrommet 12:30 – 13:30 samme dag.

Det ble støpt ut:

- 44 stk 100 mm terninger til bestemmelse av trykkfasthet
- 9 stk 100×100×600 mm prizmer til bestemmelse av E-modul og strekkfasthet
- 3 stk 100×100×500 mm prizmer til dilatasjonsforsøk
- Herdekasse, 300 dm³

2 Fersk betong

Ved mottak ble den ferske betongen prøvd hos SINTEF etter NS-EN 12350 for bestemmelse av synk (del 2), densitet (del 6) og luftinnhold (del 7).

Resultatene er gjengitt i tabell 1.

Tabell 1: Egenskaper, fersk betong

| Synk, mm | Luftinnhold % | Densitet kg/m ³ |
|----------|---------------|----------------------------|
| 230 | 2,8 | 2375 |

3 Trykkfasthet

Det ble støpt ut totalt 44 stk 100 mm terninger for bestemmelse av utvikling av trykkfasthet under herding ved henholdsvis 5, 20 og 35 °C. Terningene ble støpt ut i former som på forhånd var lagret ved aktuell temperatur. Etter utstøping ble formene oppbevart tildekket i vannbad ved de ulike temperaturnivåene fram til avforming. Etter avforming ble terningene vannlagret ved aktuell temperatur. Terningene er prøvd etter NS 12390-3. Resultatene er gitt i tabell 2.

Tabell 2 Resultater for trykkfasthet

| Temperatur | | 5 °C | | 20 °C | | 35 °C | | |
|-------------------|----------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|--|
| | Alder | Enkelt- resultat | Middel | Enkelt- resultat | Middel | Enkelt- resultat | Middel | |
| Trykkfasthet, MPa | 8 timer | | | | | 1,6 | 1,7 | |
| | | | | | | 1,8 | | |
| | 16 timer | | | 2,8 | 2,7 | 9,3 | 9,3 | |
| | | | | 2,6 | | 9,3 | | |
| | 20 timer | | | 4,4 | 4,2 | 10,6 | 10,6 | |
| | | | | 4,0 | | 10,6 | | |
| | 27 timer | | | | | 13,3 | 13,4 | |
| | | | | | | 13,4 | | |
| | 38 timer | | | 10,1 | 10,1 | 15,9 | 16,5 | |
| | | | | 10,0 | | 17,0 | | |
| | 50 timer | | 5,5 | 5,3 | 12,5 | 12,6 | | |
| | | | 5,1 | | 12,6 | | | |
| | 72 timer | | 9,0 | 9,0 | 15,0 | 15,3 | | |
| | | | 9,0 | | 15,5 | | | |
| 93 timer | | | | | | 28,9 | 29,1 | |
| | | | | | | 29,3 | | |
| 118 timer | | 13,2 | 13,2 | | | | | |
| | | 13,1 | | | | | | |
| 168 timer | | 15,2 | 15,1 | 21,0 | 21,1 | | | |
| | | 15,0 | | 21,2 | | | | |
| 240 timer | | 17,4 | 17,2 | | | | | |
| | | 17,0 | | | | | | |
| 336 timer | | | | 28,4 | 27,5 | | | |
| | | | | 26,6 | | | | |
| 360 timer | | 18,9 | 18,9 | | | | | |
| | | 18,9 | | | | | | |
| 28 døgn | | 22,9 | 22,4 | 35,7 | 36,0 | 53,0 | 52,5 | |
| | | 21,9 | | 36,2 | | 51,9 | | |

4 E-modul og strekkfasthet

Det ble utstøpt totalt 9 stk 100×100×600 mm prismer til bestemmelse av E-modul og (direkte) strekkfasthet, ved hhv 3, 7 og 25 døgnns alder. Prøvingen er utført i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS 14-05-04-106.

Resultater for E-modul og strekkfasthet er gitt i tabell 3 og 4. Kurver for spenning/tøyning er gitt i vedlegg 1.

Tabell 3 Resultater for E-modul

| Prisme nr. | | 1 | 2 | 3 | Middel | Std.avvik |
|----------------------------|---------|------|------|------|--------|-----------|
| E-modul, GPa, ved alder | 3 døgn | 20,1 | 20,3 | 18,1 | 19,5 | 1,24 |
| | 7 døgn | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 21,2 | 1,40 |
| | 25 døgn | 27,2 | 27,3 | 28,3 | 27,6 | 0,59 |

Tabell 4 Resultater for strekkfasthet

| Prisme nr. | | 1 | 2 | 3 | Middel | Std.avvik |
|----------------------------------|---------|------|------|------|--------|-----------|
| Strekkfasthet, MPa, ved alder | 3 døgn | 1,55 | 1,36 | 1,25 | 1,39 | 0,15 |
| | 7 døgn | 1,69 | 1,50 | 1,67 | 1,62 | 0,11 |
| | 25 døgn | 2,88 | 2,87 | 2,35 | 2,70 | 0,30 |

5 Dilatasjon/autogent svinn

5.1 Generelt

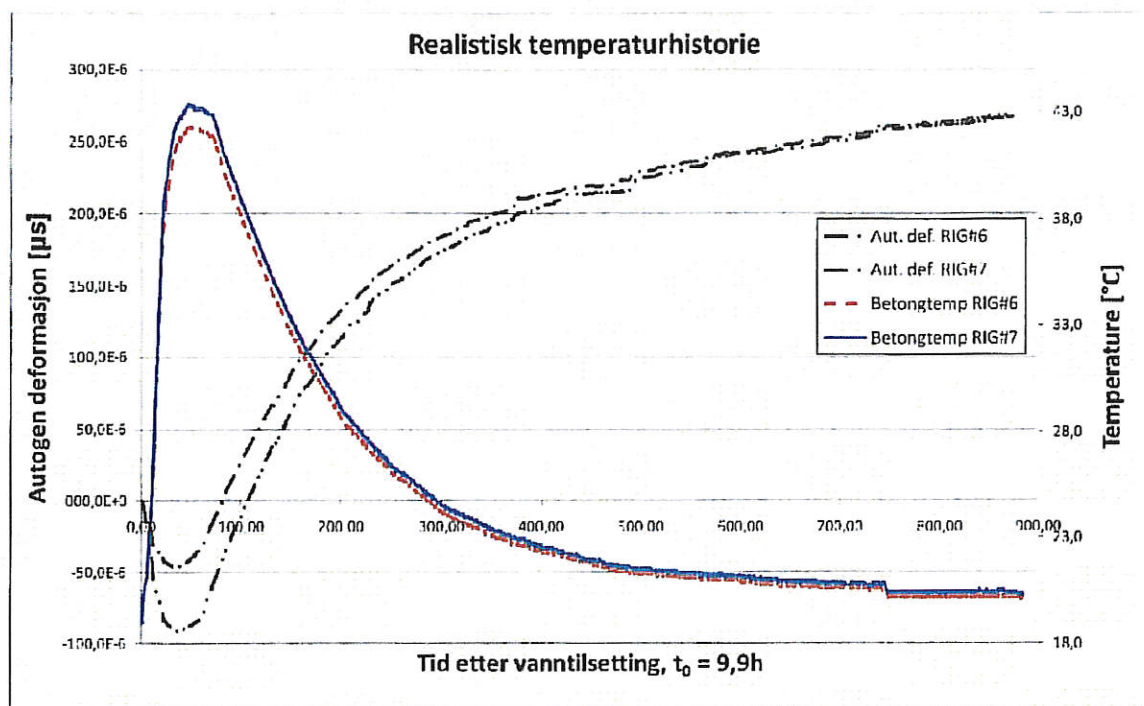
Autogen deformasjon ved isoterm og realistisk temperaturforløp ble bestemt på henholdsvis ett og to 100×100×500 mm prismer i SINTEF / NTNUs rigg for måling av fri deformasjon. Prøvingen ble utført i perioden 2011-03-21 – 2011-05-16. Tiden er angitt som timer etter 2011-03-21 kl 12:02 (tid for vanntilsetting). Prøvestykkene var isolert under forsøket. Autogen deformasjon ved 28 døgnns alder er gitt i tabell 5, mens dilatasjonskurvene er gitt i figur 1 og 2 for henholdsvis realistisk og isoterm temperaturhistorie.

5.2 Temperaturstyring

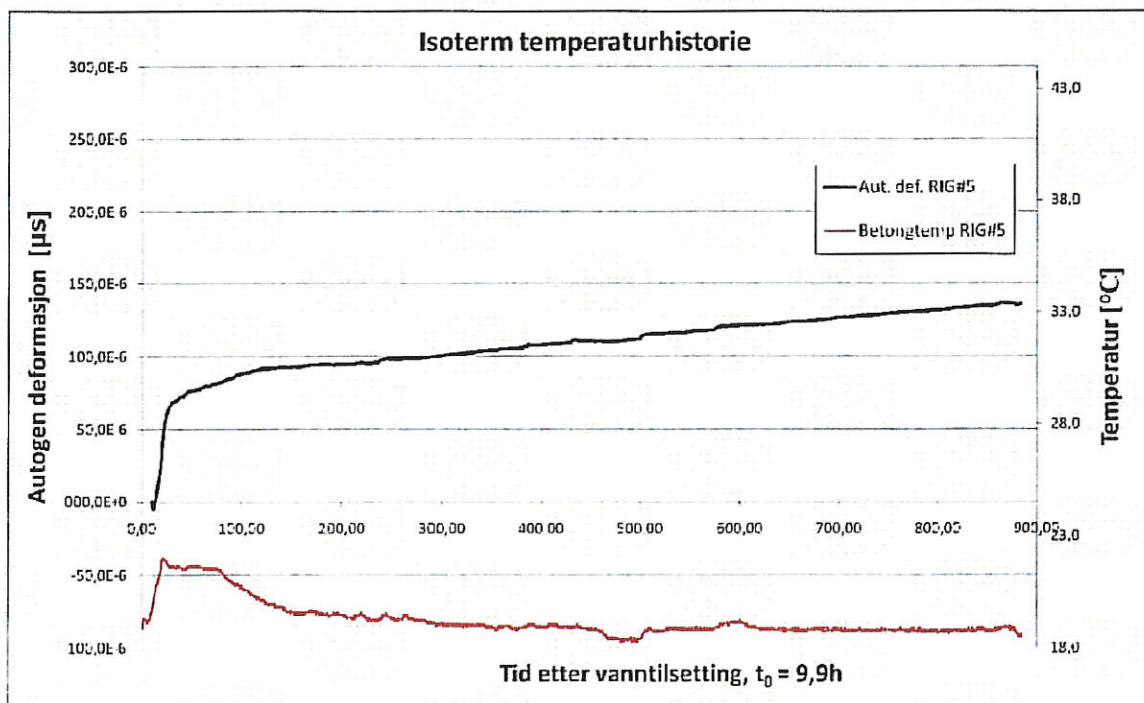
Temperaturstyring ble gjort i henhold til temperaturberegning av gjennomsnittstemperaturen for aktuell betong og en standardisert veggkonstruksjon. Ved beregning ble det antatt fersk betongtemperatur 20 °C og omgivelsestemperatur 20 °C.

Tabell 5 Resultater for autogent svinn ved 28 døgn (672 timer)

| Autogent svinn, 28 døgn [μ s] | 10^{-6} |
|------------------------------------|-----------|
| Rigg #5, isoterm | 124,7 |
| Rigg #6, realistisk | 246,5 |
| Rigg #7, realistisk | 248,3 |



Figur 1 Dilatasjon ved realistisk temperaturhistorie



Figur 2 Dilatasjon ved isoterm temperaturhistorie

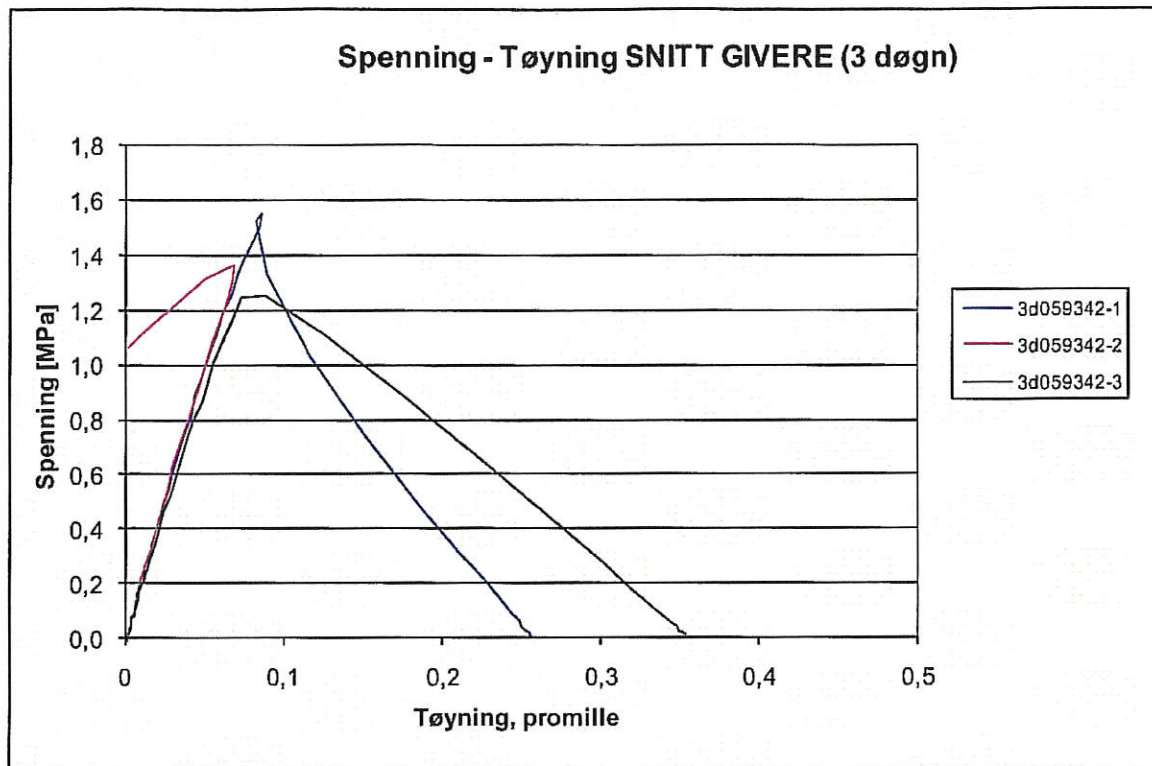
6 Herdekasseberegninger

Akkumulert isoterm varmeutvikling ble bestemt etter NT Build 480 i et 300 dm³ stort semi-adiabatisk kalorimeter. Verdiene er beregnet som varmeutvikling per kg total mengde bindemiddel (sement, flyveaske og silika).

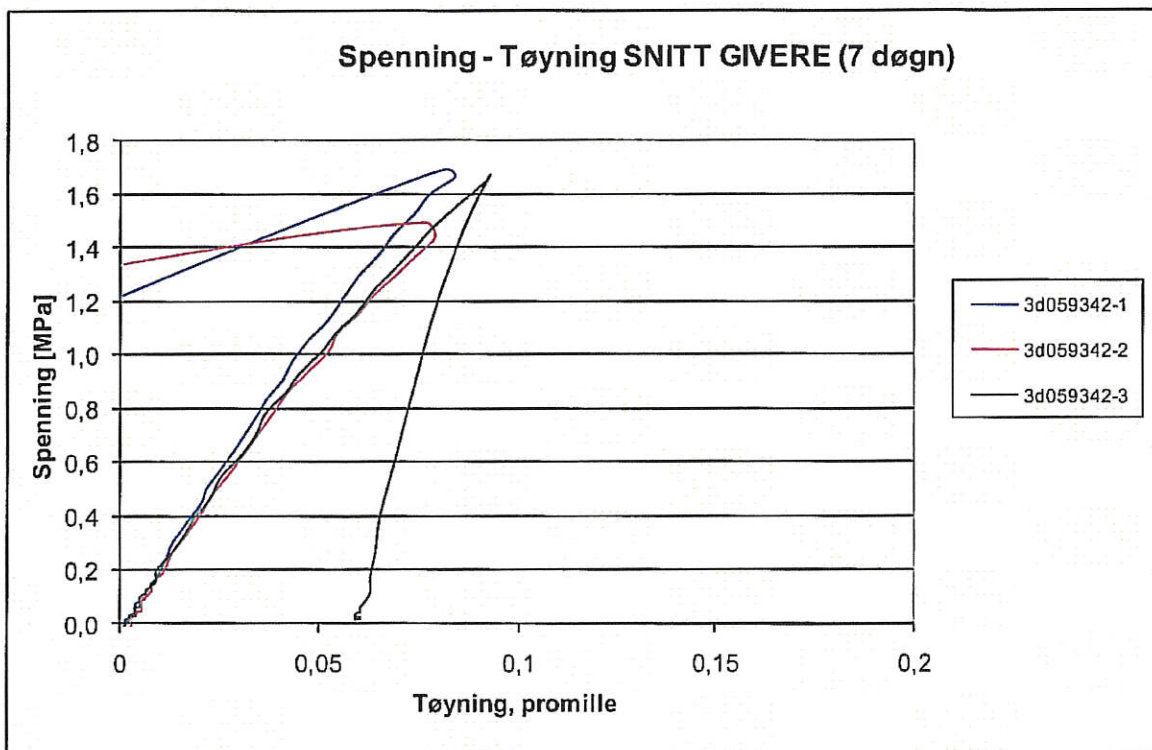
Resultatene er gitt i tabell 6 og i vedlegg 2.

Tabell 6 Varmeutvikling ved hydratisering

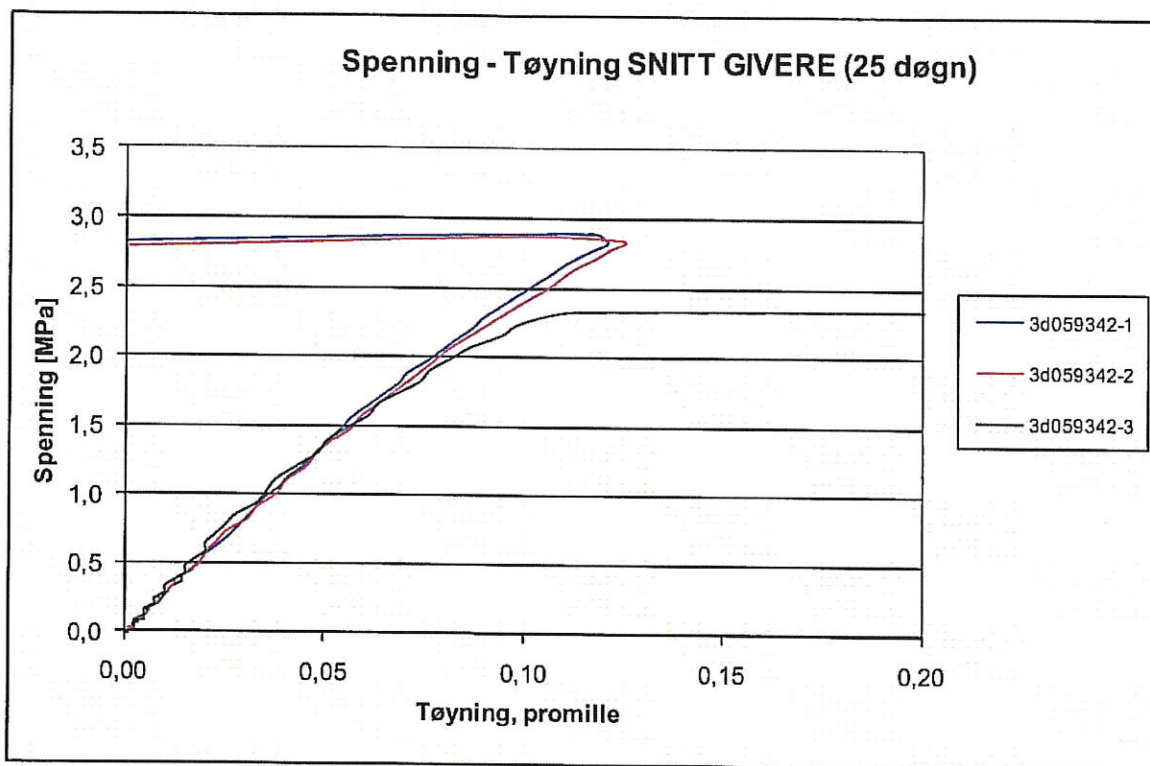
| | |
|--|-------|
| Avbindingstid (reell tid ved 20 °C), timer | 9,8 |
| Avbindingstid (modenhetstid), timer | 9,9 |
| Varmeutvikling, Q_{∞} , kJ/kg bindemiddel | 258 |
| Retardasjonsparameter, τ , timer | 21,22 |
| Krumningsparameter, α | 0,92 |



Figur 1 Spenning/tøyning ved 3 døgns alder



Figur 2 Spenning/tøyning ved 7 døgns alder



Figur 3 Spenning/tøyning ved 25 døgn alder

Adiabatic temperature and isothermic heat

(v 2.7 ss 2004-01-07)

Concrete parameters

| | |
|--------------------------|--------|
| Temp. trans. coeff. | 0,0040 |
| Density | 2375 |
| Heat capacity (fresh) | 1,03 |
| Heat capacity (hardened) | 1,03 |
| Cement content | 332 |
| Set time | 9,9 |
| A - set time | 33500 |
| B - set time | 1470 |
| A - hydration | 33500 |
| B - hydration | 1470 |
| Adia. start temperature | 19,5 |

Temp. trans. coeff.

| | |
|-------|------|
| dQ/dm | 0,07 |
| m> | 250 |
| m< | 300 |

Heat function

| | |
|----------------|--------|
| M-limit | 450 |
| Q _∞ | 258 |
| τ | 21,22 |
| α | 0,92 |
| R ² | 0,9742 |
| ΣΔα | 9917 |

Heat polygon

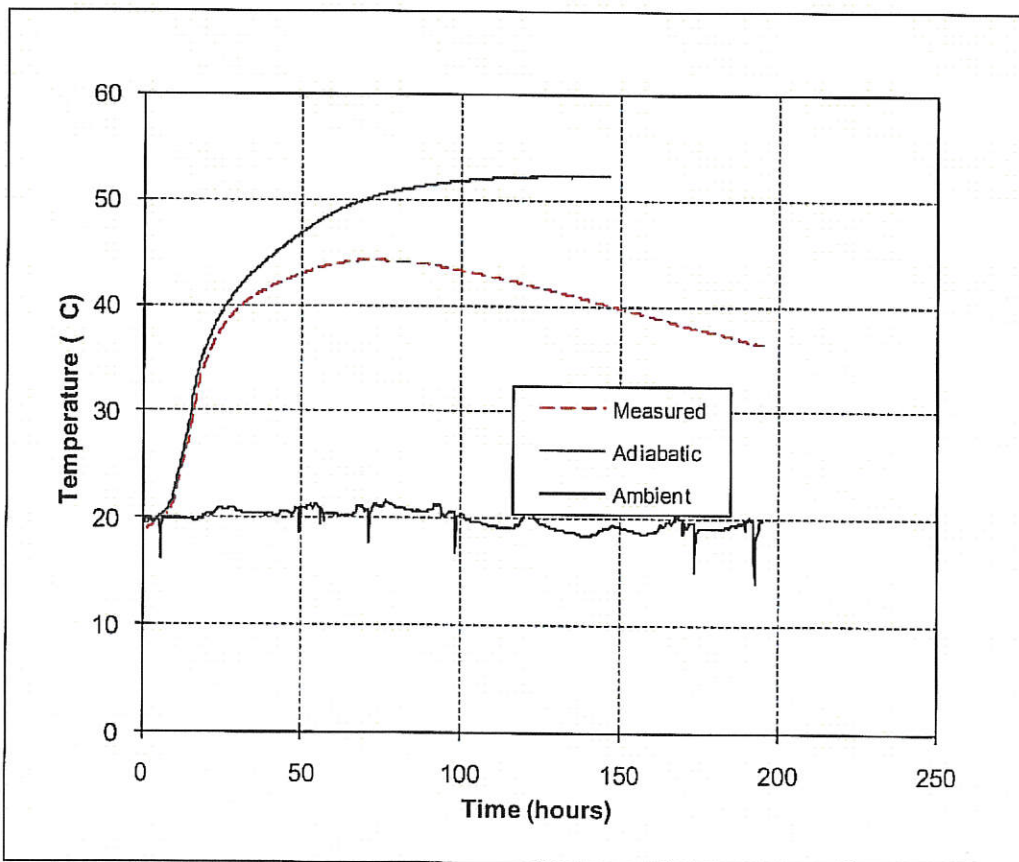
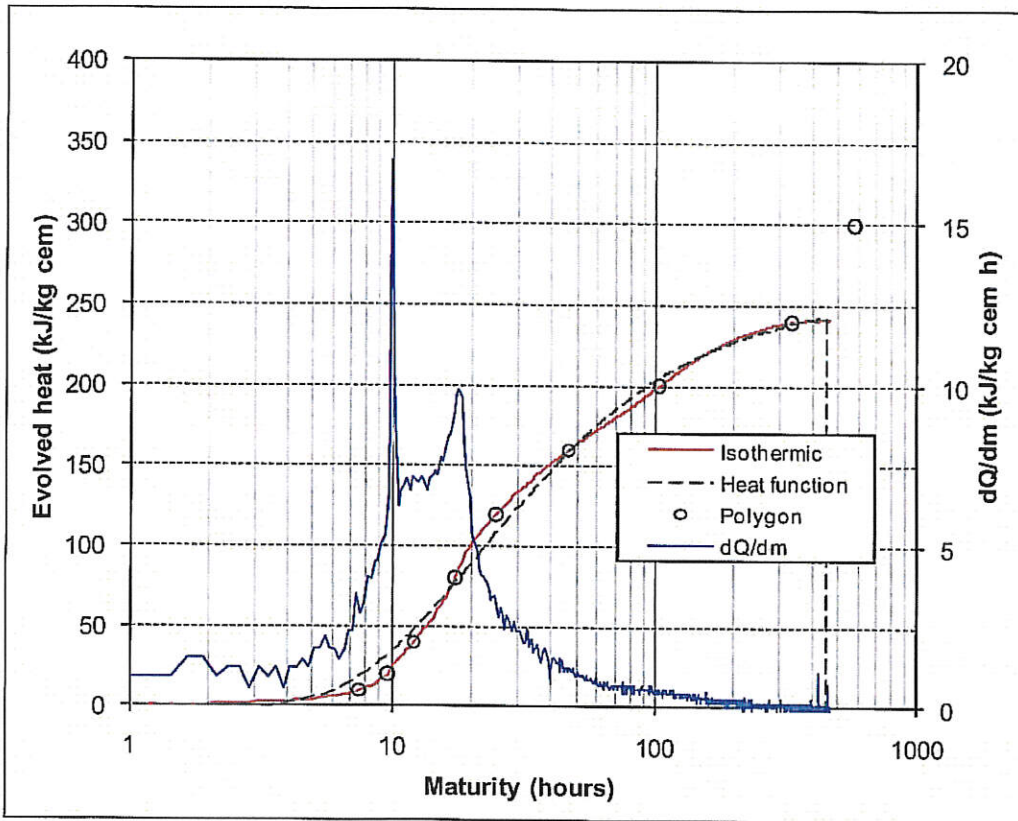
| Reference heat [kJ/kg cem] | Corresp. maturity [h] |
|-------------------------------|--------------------------|
| 0 | 0,0 |
| 10 | 7,5 |
| 20 | 9,6 |
| 40 | 12,1 |
| 80 | 17,3 |
| 120 | 24,7 |
| 160 | 46,2 |
| 200 | 103,6 |
| 240 | 331,8 |
| 300 | 581,2 |

Adapt the temperature transmission coefficient: <Ctrl> t
 Adapt the heat function: <Ctrl> h



Project

| | |
|----------|--|
| Name | 100 % FA |
| Testid | 3D0593.42/33409 |
| Perf. by | Mari Bøhnsdalen Eide, SINTEF Byggforsk |
| Date | 2011-06-28 |



VEDLEGG 4 Prøvningsrapporter fra Runde 2; Bestandighet

**SINTEF****SINTEF Byggforsk**
Byggematerialer og konstruksjonerPostadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG, – 50 %, 65 %, 87 % og 100 % FA**- Bestemmelse av trykkfasthet og densitet**

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\33400-33409\33409-4-2 Trykkfasthet og densitet 50%, 65%, 87% og 100% FA.docx | For | FAGLIG ANSVARLIG Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | RAPPORTNUMMER 33409/4-2 |
| PROSJEKTNR 3D0593.42 | DATO 2012-01-13 | SAKSBEARBEIDER Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | ANT. SIDER/VEDLEGG 2/0 |

Prøvenes ankomst 2011-11-24 og 2011-12-06

Mengde/merking

- 11 stk sylindre merket "20/12-10 100 % IND."
- 12 stk sylindre merket "13/1-11 87 % IND."
- 4 stk hele sylindre, resten bruddstykker av borkjerner, totalt 18 prøvestykker. Merket "31/1-11 65 % IND."
- 12 stk sylindre merket "7/9-10 50 %"
- 8 stk sylindre merket "100 % FA" 20/12-10
- 11 stk sylindre merket "65 % FA" 15/12-10

Borkjernene hadde diameter på ca. 92-94 mm og lengder i området ca. 260-460 mm. Kjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Emballasje Ingen emballasje.

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Densitet og trykkfasthet

For hver av betongkvalitetene ble det fra hver av tre borkjerner tildannet ett prøvestykke med lengde/diameterforhold så nært som mulig lik 2. Prøvestykkene er prøvd etter 3 døgns vannlagring.

Hvert prøvestykke ble prøvd for bestemmelse av densitet og trykkfasthet i henhold til NS-EN 12390. Vannfortrenging ble brukt som metode for volumbestemmelse. Prøvingen ble utført 2011-12-12.

Tabell 1 Prøvingsresultater fra prøving 2011-12-12, 50 % FA, støpedato 2010-09-07

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | | 1 | 2 | 3 | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|------|--------|
| Høyde etter plansliping, mm | | 186 | 186 | 186 | - |
| Densitet, kg/m ³ | | 2350 | 2360 | 2360 | 2355 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 44,2 | 45,2 | 42,9 | - |
| | Omregnet* | 44,2 | 45,2 | 42,9 | 44,1 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2

Tabell 2 Prøvingsresultater fra prøving 2011-12-12, 65 % FA, støpedato 2010-12-15

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | | 1 | 2 | 3 | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|------|--------|
| Høyde etter plansliping, mm | | 188 | 188 | 186 | - |
| Densitet, kg/m ³ | | 2320 | 2340 | 2350 | 2335 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 54,1 | 56,3 | 56,5 | - |
| | Omregnet* | 54,1 | 56,3 | 56,5 | 55,6 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2

Tabell 3 Prøvingsresultater fra prøving 2011-12-12, 87 % FA, støpedato 2011-01-13

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | | 1 | 2 | 3 | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|------|--------|
| Høyde etter plansliping, mm | | 186 | 185 | 188 | - |
| Densitet, kg/m ³ | | 2320 | 2330 | 2310 | 2320 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 51,8 | 50,6 | 44,4 | - |
| | Omregnet* | 51,8 | 50,6 | 44,4 | 48,9 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2

Tabell 4 Prøvingsresultater fra prøving 2011-12-12, 100 % FA, støpedato 2010-12-20

| Prøvesylindrer fra kjerne nr | | 1 | 2 | 3 | Middel |
|------------------------------|-----------|------|------|------|--------|
| Høyde etter plansliping, mm | | 186 | 186 | 186 | - |
| Densitet, kg/m ³ | | 2300 | 2290 | 2310 | 2300 |
| Trykkfasthet, MPa | Målt | 51,3 | 48,9 | 51,2 | - |
| | Omregnet* | 51,3 | 48,9 | 51,2 | 50,5 |

* Omregnet i henhold til NS 3465 til fasthet for sylindrer med høyde/diameterforhold lik 2



SINTEF Byggforsk
Byggematerialer og konstruksjoner

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV UTBORET BETONG – 50 %, 65 %, 87 % og 100 % FA

- Bestemmelse av karbonatisering (in situ)

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\Pro\33400-33409\33409-4-1 Karbonatisering 50%, 65%, 87% og 100% FA.docx

FAGLIG ANSVARLIG

Per Arne Dahl

RAPPORTNUMMER

33409/4-1

PROSJEKTNR

3D0593.42

DATO

2012-01-13

SAKSBEARBEIDER

Mari Bøhnsdalen Eide

ANT. SIDERVEDELEGG

1/0

Prøvenes ankomst 2011-11-24 og 2011-12-06

Mengde/merking

- 11 stk sylindre merket "20/12-10 100 % IND."
- 12 stk sylindre merket "13/1-11 87 % IND."
- 4 stk hele sylindre, resten bruddstykker av borkjerner, totalt 18 prøvestykker. Merket "31/1-11 65 % IND."
- 12 stk sylindre merket "7/9-10 50 %"
- 8 stk sylindre merket "100 % FA" 20/12-10
- 11 stk sylindre merket "65 % FA" 15/12-10

Borkjernene hadde diameter på ca. 92-94 mm og lengder i området ca. 260-460 mm. Kjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

Emballasje

Ingen emballasje.

Prøvene er uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 Karbonatiseringsdybde

For hver betongkvalitet (50 %, 65 %, 87 % og 100 % FA) ble det fra hver av tre borkjerner tildannet ett ca ø100 x 15 mm prøvestykke fra topp borkjerne. Bestemmelse av karbonatiseringsdybde ble utført på splittede prøvestykker i henhold til NS-EN 14630 (fenolftaleinmetode). Tabell 1 viser prøvingsresultatene.



SINTEF Byggforsk
Betong- og natursteinlaboratoriene

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16



PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAGSGIVER

NCC Construction AS
Losgata 3
7042 Trondheim

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF.

Sven-Inge Asplund

OPPDRAGETS ART

PRØVING AV HERDNET BETONG – 50 %, 65 %, 87 % og 100 % FA (tilleggsprøving)

- Bestemmelse av frostbestandighet

| | | | |
|---|------------------------------------|--|--------------------|
| ARKIVKODE | GRADERING | | |
| | Fortrolig | | |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\3D0593\33400-33410\33409 4-3 Frostmotstand 50%, 65 %, 87 % og 100 % FA.docx | FAGLIG ANSVARLIG | RAPPORTNUMMER | |
| | Per Arne Dahl <i>Per Arne Dahl</i> | 33409/4-3 | |
| PROSJEKTNR 3D0593.42 | DATO 2012-06-19 | SAKSBEARBEIDER | ANT. SIDER/VEDLEGG |
| | | Mari Bøhnsdalen Eide <i>Mari Bøhnsdalen Eide</i> | 6/2 |

Prøvenes ankomst 2011-11-24 og 2011-12-06

Mengde/merking

- 11 stk sylindre merket "20/12-10 100 % IND."
- 12 stk sylindre merket "13/1-11 87 % IND."
- 4 stk hele sylindre, resten bruddstykker av borkjerner, totalt 18 prøvestykker. Merket "31/1-11 65 % IND."
- 12 stk sylindre merket "7/9-10 50 %"
- 8 stk sylindre merket "100 % FA 20/12-10"
- 11 stk sylindre merket "65 % FA 15/12-10"

Borkjernene hadde diameter på ca. 92-94 mm og lengder i området ca. 260-460 mm. Kjernene ble tilleggsmerket av SINTEF.

1 Prøving

Det ble fra hver betongkvalitet (med merking "7/9-10 50 % ", "65 % FA 15/12-10", "13/1-11 87 % IND" og "100 % FA 20/12-10") tildannet 8 prøvestykker med støpehud og 8 prøvestykker med skårne flater. 4 prøvestykker med støpehud og 4 prøvestykker med skårne flater hva hver betongkvalitet ble prøvd for bestemmelse av frostbestandighet med NaCl-løsning som frysemedium som beskrevet for "Slab test" i NS-CEN/TC 12390-9:2006 (tilsvarende "Boråsmetoden" som beskrevet i SS 13 72 44, "Förfarande III"). De resterende prøvestykkene ble prøvd på samme måte, men med ferskvann i stedet for NaCl-løsning.

2012-01-13 og 2012-01-21 ble prøvestykkene for prøving med henholdsvis NaCl-løsning og ferskvann satt til lagring i luft ved 20 °C, 65 % RF. I løpet av en påfølgende 7 døgns lagringsperiode, ble prøvestykkenes side- og bunnflate forseglede og isolert. Deretter ble prøvestykkene lagret i 3 døgn ved 20 °C med et 3 mm tykt lag rent ferskvann på den ikke forseglede ca. 6800 mm² fryseflata. For prøvestykker til prøving med NaCl-løsning ble vannlaget erstattet med et 3 mm tykt lag 3-prosentlig NaCl-løsning og frostprøvingen startet 2012-01-23. For prøvestykker til prøving med et 3 mm tykt lag ferskvann på fryseflata ble frostprøvingen startet 2012-01-31. Frostprøvingen besto av 56/112 fryse-/tinevekslinger med veing av avskallet

materiale etter hhv 7, 14, 28, 42 og 56 vekslinger for alle kvaliteter og overflatefrysemediumvarianter, og etter 70, 84, 98 og 112 vekslinger for de fire variantene av 65 % FA. Resultatene er gjengitt i kapittel 2.

2 Resultater og vurderinger

Noen av prøvestykkene med støpehud hadde lavere overflatekvalitet enn ønskelig, med noen hakk og sår. Disse har blitt tettet med epoxy, noe som gir et litt lavere overflateareal. Resultatene har blitt regnet ut per totalt areal, uten å ta hensyn til de tette overflatene.

2.1 Prøving med NaCl-løsning som frysemedium (Metod A)

2.1.1 50 % FA

Tabell 1 - Prøvsresultater 50 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|----|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,767 |
| | | 14 | | 1,065 |
| | | 28 | | 1,502 |
| | | 42 | | 1,714 |
| | | 56 | | 1,868 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,244 | |

Tabell 2 - Prøvsresultater 50 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|----|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,234 |
| | | 14 | | 0,381 |
| | | 28 | | 0,530 |
| | | 42 | | 0,796 |
| | | 56 | | 1,087 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 2,050 | |

2.1.2 65 % FA

Tabell 3 - Prøvsresultater 65 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|-----|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,015 |
| | | 14 | | 0,055 |
| | | 28 | | 0,210 |
| | | 42 | | 0,473 |
| | | 56 | | 0,931 |
| | | 70 | | 1,438 |
| | | 84 | | 2,248 |
| | | 98 | | 2,805 |
| | | 112 | | 3,523 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 4,434 | |

Tabell 4 - Prøvingsresultater 65 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|-----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,052 |
| | | 14 | | 0,195 |
| | | 28 | | 0,403 |
| | | 42 | | 0,681 |
| | | 56 | | 1,146 |
| | | 70 | | 1,625 |
| | | 84 | | 2,297 |
| | | 98 | | 2,733 |
| | | 112 | | 3,392 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 2,841 | |

2.1.3 87 % FA
Tabell 5 - Prøvingsresultater 87 % FA med støpehud

| | | | | |
|------------------------|--|--|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,130 |
| | | 14 | | 0,253 |
| | | 28 | | 0,531 |
| | | 42 | | 1,017 |
| | | 56 | | 1,577 |
| | | Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | |

Tabell 6 - Prøvingsresultater 87 % FA med skårne flater

| | | | | |
|------------------------|--|--|---|-------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,083 |
| | | 14 | | 0,269 |
| | | 28 | | 0,639 |
| | | 42 | | 1,123 |
| | | 56 | | 1,649 |
| | | Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | |

2.1.4 100 % FA
Tabell 7 - Prøvningsresultater 100 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prø- ving | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 1,336 |
| | | 14 | | 1,618 |
| | | 28 | | 1,836 |
| | | 42 | | 2,073 |
| | | 56 | | 2,257 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,229 | |

Tabell 8 - Prøvningsresultater 100 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prø- ving | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,049 |
| | | 14 | | 0,304 |
| | | 28 | | 0,663 |
| | | 42 | | 1,092 |
| | | 56 | | 1,502 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 2,267 | |

2.1.5 Vurdering av prøvningsresultater for NaCl-løsning som frysemedium:

I følge SS 13 72 44, Utgåva 4:2005 anbefales det at frostbestandigheten vurderes som følger:

- Meget god dersom avskallingen etter 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,10 kg/m²
- God dersom avskallingen etter
 - 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,20 kg/m² eller
 - 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 0,50 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 0,50 kg/m²
- Akseptabel dersom avskallingen etter
 - 56 vekslinger (m₅₆) er mindre enn 1,00 kg/m² samtidig som m₅₆ / m₂₈ er mindre enn 2 eller
 - 112 vekslinger (m₁₁₂) er mindre enn 1,00 kg/m²
- Ikke akseptabel dersom ikke noen av kravene til akseptabel frostbestandighet oppfylles

Etter ovenstående kriterier skal frostbestandigheten for betongen vurderes som vist i tabell 9.

Tabell 9 – Vurdering av prøvningsresultater, alle betongkvaliteter

| Betongkvalitet | Vurdering |
|----------------|-----------------|
| 50 % | Ikke akseptabel |
| 65 % | Ikke akseptabel |
| 87 % | Ikke akseptabel |
| 100 % | Ikke akseptabel |

2.2 Prøving med ferskvann som frysemedium (Metod B)

2.2.1 50 % FA

Tabell 10 - Prøvingsresultater 50 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,013 |
| | | 14 | | 0,024 |
| | | 28 | | 0,034 |
| | | 42 | | 0,046 |
| | | 56 | | 0,064 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,885 | |

Tabell 11 - Prøvingsresultater 50 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,010 |
| | | 14 | | 0,017 |
| | | 28 | | 0,023 |
| | | 42 | | 0,031 |
| | | 56 | | 0,044 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,901 | |

2.2.2 65 % FA

Tabell 12 - Prøvingsresultater 65 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|-----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,009 |
| | | 14 | | 0,014 |
| | | 28 | | 0,016 |
| | | 42 | | 0,022 |
| | | 56 | | 0,032 |
| | | 70 | | 0,036 |
| | | 84 | | 0,045 |
| | | 98 | | 0,052 |
| | | 112 | | 0,059 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,998 | |

Tabell 13 - Prøvingsresultater 65 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|-----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,009 |
| | | 14 | | 0,017 |
| | | 28 | | 0,023 |
| | | 42 | | 0,032 |
| | | 56 | | 0,040 |
| | | 70 | | 0,044 |
| | | 84 | | 0,046 |
| | | 98 | | 0,053 |
| | | 112 | | 0,056 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,770 | |

2.2.3 87 % FA
Tabell 14 - Prøvningsresultater 87 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,012 |
| | | 14 | | 0,020 |
| | | 28 | | 0,025 |
| | | 42 | | 0,035 |
| | | 56 | | 0,041 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,652 | |

Tabell 15 - Prøvningsresultater 87 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,009 |
| | | 14 | | 0,016 |
| | | 28 | | 0,022 |
| | | 42 | | 0,030 |
| | | 56 | | 0,038 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,731 | |

2.2.4 100 % FA
Tabell 16 - Prøvningsresultater 100 % FA med støpehud

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,012 |
| | | 14 | | 0,022 |
| | | 28 | | 0,030 |
| | | 42 | | 0,041 |
| | | 56 | | 0,048 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,570 | |

Tabell 17 - Prøvningsresultater 100 % FA med skårne flater

| | | | | |
|--|--|----|---|--------------|
| Frost- prøv- ing | Antall fryse/tine- vekslinger (n) | 7 | Avskallet materiale, kg/m ² (m _{s,n}) | 0,012 |
| | | 14 | | 0,022 |
| | | 28 | | 0,028 |
| | | 42 | | 0,039 |
| | | 56 | | 0,047 |
| Forholdstall m _{s,56} / m _{s,28} | | | 1,671 | |

2.2.5 Vurdering av prøvningsresultater med ferskvann som frysemedium.

Det kjennes ikke til formelle kriterier for vurdering av frostprøving ved prøving etter SS 13 72 44 med ferskvann som frysemedium (Metod B). Avskallingen anses imidlertid å være i nedre sjikt av hva som er mulig å oppnå.

50 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | 56 per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | |
| 4a | 15,118 | 18,688 | 22,428 | 24,650 | 25,724 | 3,788811 | 1,146959 | |
| 5a | 1,903 | 2,732 | 4,778 | 5,962 | 6,457 | 0,951032 | 1,351402 | |
| 6a | 0,015 | 1,440 | 5,664 | 7,070 | 8,551 | 1,259451 | 1,50971 | |
| 7a | 3,801 | 6,069 | 7,911 | 8,874 | 10,001 | 1,473017 | 1,264189 | |
| Middel kg/m2 | 0,767 | 1,065 | 1,502 | 1,714 | 1,868 | 1,868 | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | 56 per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | |
| 4b | 2,006 | 3,117 | 3,434 | 5,127 | 7,065 | 1,040583 | 2,057368 | |
| 5b | 1,167 | 2,175 | 4,521 | 6,909 | 8,978 | 1,322343 | 1,985844 | |
| 6b | 1,293 | 2,082 | 2,938 | 4,658 | 6,32 | 0,930854 | 2,151123 | |
| 7b | 1,899 | 2,966 | 3,504 | 4,93 | 7,154 | 1,053691 | 2,041667 | |
| Middel kg/m2 | 0,234 | 0,381 | 0,530 | 0,796 | 1,087 | 1,087 | | |

65 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | 70 | 84 | 98 | 112 | 112 | 112 | | |
| 4a | 0,125 | 0,394 | 1,494 | 4,557 | 9,959 | 14,926 | 22,131 | 27,254 | 32,878 | 32,878 | 4,842502 | 6,665997 | |
| 5a | 0,097 | 0,312 | 1,980 | 4,112 | 7,230 | 10,856 | 16,465 | 20,207 | 24,980 | 24,980 | 3,67923 | 3,651515 | |
| 6a | 0,061 | 0,303 | 0,690 | 1,091 | 2,352 | 4,359 | 8,648 | 11,680 | 15,980 | 15,980 | 2,353646 | 3,408696 | |
| 7a | 0,126 | 0,481 | 1,536 | 3,088 | 5,732 | 8,925 | 13,795 | 17,042 | 21,843 | 21,843 | 3,21719 | 3,731771 | |
| Middel kg/m2 | 0,015 | 0,055 | 0,210 | 0,473 | 0,931 | 1,438 | 2,248 | 2,805 | 3,523 | 3,523 | 3,523 | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | 70 | 84 | 98 | 112 | 112 | 112 | | |
| 4b | 0,249 | 1,234 | 3,437 | 5,948 | 10,316 | 14,526 | 20,613 | 24,484 | 29,171 | 29,171 | 4,296509 | 3,001455 | |
| 5b | 0,464 | 1,506 | 3,086 | 4,978 | 8,553 | 11,639 | 16,372 | 19,811 | 23,247 | 23,247 | 3,423981 | 2,771549 | |
| 6b | 0,330 | 1,020 | 1,284 | 2,695 | 5,138 | 7,778 | 11,636 | 14,170 | 20,816 | 20,816 | 3,065926 | 4,001558 | |
| 7b | 0,366 | 1,546 | 3,146 | 4,860 | 7,113 | 10,196 | 13,768 | 15,761 | 18,894 | 18,894 | 2,782841 | 2,260966 | |
| Middel kg/m2 | 0,052 | 0,195 | 0,403 | 0,681 | 1,146 | 1,625 | 2,297 | 2,733 | 3,392 | 3,392 | 3,392 | | |

87 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | |
| 4a | 1,974 | 3,579 | 5,064 | 8,097 | 11,156 | 1,643134 | 2,203002 | |
| 5a | 0,516 | 1,016 | 2,689 | 5,887 | 10,373 | 1,527808 | 3,857568 | |
| 6a | 0,656 | 1,338 | 3,674 | 8,499 | 12,901 | 1,90015 | 3,511432 | |
| 7a | 0,388 | 0,928 | 2,998 | 5,143 | 8,398 | 1,236916 | 2,801201 | |
| Middel kg/m2 | 0,130 | 0,253 | 0,531 | 1,017 | 1,577 | 1,577 | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | |
| 4b | 0,535 | 2,057 | 4,516 | 7,599 | 10,559 | 1,555204 | 2,338131 | |
| 5b | 0,376 | 1,322 | 3,193 | 5,923 | 9,266 | 1,364761 | 2,901973 | |
| 6b | 0,710 | 1,636 | 4,629 | 8,527 | 13,098 | 1,929165 | 2,829553 | |
| 7b | 0,633 | 2,279 | 5,028 | 8,449 | 11,858 | 1,746529 | 2,358393 | |
| Middel kg/m2 | 0,083 | 0,269 | 0,639 | 1,123 | 1,649 | 1,649 | | |

100 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert | Antall sykler | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | per areal | m56/m28 | | |
| Prøve mrk | | | | | | | | | |
| 4a | 10,548 | 12,810 | 15,062 | 17,192 | 18,764 | 2,763693 | 1,245784 | | |
| 5a | 6,092 | 8,238 | 9,255 | 10,866 | 11,677 | 1,71987 | 1,261696 | | |
| 6a | 16,583 | 18,320 | 19,389 | 20,500 | 21,791 | 3,209531 | 1,123885 | | |
| 7a | 3,071 | 4,577 | 6,146 | 7,753 | 9,052 | 1,333242 | 1,472828 | | |
| Middel kg/m ² | 1,336 | 1,618 | 1,836 | 2,073 | 2,257 | 2,257 | | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert | Antall sykler | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | per areal | m56/m28 | | |
| Prøve mrk | | | | | | | | | |
| 4b | 0,376 | 2,439 | 5,709 | 8,959 | 12,044 | 1,773925 | 2,109651 | | |
| 5b | 0,374 | 2,023 | 3,875 | 6,171 | 8,529 | 1,256211 | 2,201032 | | |
| 6b | 0,225 | 1,563 | 4,185 | 7,723 | 11,459 | 1,687762 | 2,738112 | | |
| 7b | 0,367 | 2,241 | 4,228 | 6,799 | 8,761 | 1,290381 | 2,072138 | | |
| Middel kg/m ² | 0,049 | 0,304 | 0,663 | 1,092 | 1,502 | 1,502 | | | |

50 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | |
| 8a | 0,122 | 0,187 | 0,195 | 0,275 | 0,402 | 0,059209 | 2,061538 | |
| 9a | 0,089 | 0,163 | 0,222 | 0,332 | 0,558 | 0,082186 | 2,513514 | |
| 10a | 0,085 | 0,164 | 0,236 | 0,301 | 0,365 | 0,053686 | 1,547771 | |
| 11a | 0,049 | 0,137 | 0,263 | 0,332 | 0,401 | 0,058988 | 1,525714 | |
| Middel kg/m2 | 0,013 | 0,024 | 0,034 | 0,046 | 0,064 | 0,064 | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | |
| 8b | 0,083 | 0,145 | 0,186 | 0,207 | 0,282 | 0,041535 | 1,516129 | |
| 9b | 0,076 | 0,1485 | 0,2175 | 0,2975 | 0,3945 | 0,058105 | 1,813793 | |
| 10b | 0,066 | 0,1095 | 0,1305 | 0,1815 | 0,2205 | 0,032477 | 1,689655 | |
| 11b | 0,033 | 0,0655 | 0,0975 | 0,1485 | 0,3035 | 0,044702 | 3,112821 | |
| Middel kg/m2 | 0,010 | 0,017 | 0,023 | 0,031 | 0,044 | 0,044 | | |

65 % FA

a-prøver = støpehud

| Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | 70 | 84 | 98 | 112 | | | | |
| 8a | 0,045 | 0,075 | 0,089 | 0,124 | 0,182 | 0,218 | 0,316 | 0,380 | 0,455 | 0,455 | 0,666942 | 2,050847 | |
| 9a | 0,072 | 0,114 | 0,125 | 0,166 | 0,210 | 0,230 | 0,250 | 0,288 | 0,304 | 0,304 | 0,044702 | 1,682731 | |
| 10a | 0,053 | 0,085 | 0,096 | 0,137 | 0,224 | 0,248 | 0,311 | 0,352 | 0,393 | 0,393 | 0,057884 | 2,333333 | |
| 11a | 0,067 | 0,107 | 0,120 | 0,174 | 0,242 | 0,276 | 0,338 | 0,406 | 0,464 | 0,464 | 0,068341 | 2,016667 | |
| Middel kg/m2 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,022 | 0,032 | 0,036 | 0,045 | 0,052 | 0,059 | 0,059 | 0,059 | | |

b-prøver = skårne flater

| Prøve mrk | Antall sykler | | | | | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | 70 | 84 | 98 | 112 | | | | |
| 8b | 0,054 | 0,100 | 0,138 | 0,209 | 0,246 | 0,256 | 0,274 | 0,291 | 0,320 | 0,320 | 0,047132 | 1,782609 | |
| 9b | 0,046 | 0,092 | 0,138 | 0,185 | 0,265 | 0,281 | 0,290 | 0,335 | 0,336 | 0,336 | 0,049488 | 1,92029 | |
| 10b | 0,067 | 0,120 | 0,159 | 0,189 | 0,240 | 0,279 | 0,305 | 0,367 | 0,379 | 0,379 | 0,055822 | 1,509434 | |
| 11b | 0,076 | 0,137 | 0,183 | 0,282 | 0,343 | 0,370 | 0,392 | 0,433 | 0,480 | 0,480 | 0,070698 | 1,874317 | |
| Middel kg/m2 | 0,009 | 0,017 | 0,023 | 0,032 | 0,040 | 0,044 | 0,046 | 0,053 | 0,056 | 0,056 | 0,056 | | |

87 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert | Antall sykler | | | | | | | 56 | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | per areal [kg/m ²] | m56/m28 | | | |
| Prøve mrk | | | | | | | | | | |
| 8a | 0,087 | 0,155 | 0,203 | 0,324 | 0,369 | | | 0,054275 | 1,819753 | |
| 9a | 0,070 | 0,112 | 0,126 | 0,157 | 0,182 | | | 0,026806 | 1,444444 | |
| 10a | 0,062 | 0,104 | 0,125 | 0,180 | 0,226 | | | 0,033213 | 1,811245 | |
| 11a | 0,108 | 0,184 | 0,227 | 0,290 | 0,347 | | | 0,051035 | 1,529801 | |
| Middel kg/m2 | 0,012 | 0,020 | 0,025 | 0,035 | 0,041 | | | 0,041 | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert | Antall sykler | | | | | | | 56 | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | per areal [kg/m ²] | m56/m28 | | | |
| Prøve mrk | | | | | | | | | | |
| 8b | 0,069 | 0,118 | 0,146 | 0,199 | 0,241 | | | 0,035423 | 1,652921 | |
| 9b | 0,058 | 0,101 | 0,129 | 0,172 | 0,216 | | | 0,031814 | 1,674419 | |
| 10b | 0,063 | 0,117 | 0,161 | 0,211 | 0,261 | | | 0,038368 | 1,623053 | |
| 11b | 0,056 | 0,108 | 0,156 | 0,244 | 0,306 | | | 0,04507 | 1,961538 | |
| Middel kg/m2 | 0,009 | 0,016 | 0,022 | 0,030 | 0,038 | | | 0,038 | | |

100 % FA

a-prøver = støpehud

| Akkumulert | Antall sykler | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | | |
| Prøve mrk | | | | | | | | | |
| 8a | 0,069 | 0,131 | 0,186 | 0,280 | 0,322 | 0,047426 | 1,731183 | | |
| 9a | 0,107 | 0,203 | 0,288 | 0,341 | 0,386 | 0,056853 | 1,340278 | | |
| 10a | 0,070 | 0,129 | 0,176 | 0,232 | 0,281 | 0,041314 | 1,598291 | | |
| 11a | 0,075 | 0,134 | 0,177 | 0,255 | 0,309 | 0,045512 | 1,745763 | | |
| Middel kg/m2 | 0,012 | 0,022 | 0,030 | 0,041 | 0,048 | 0,048 | 0,048 | | |

b-prøver = skårne flater

| Akkumulert | Antall sykler | | | | | | | per areal [kg/m ²] | m56/m28 |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------|
| | 7 | 14 | 28 | 42 | 56 | | | | |
| Prøve mrk | | | | | | | | | |
| 8b | 0,087 | 0,161 | 0,222 | 0,312 | 0,371 | 0,054643 | 1,671171 | | |
| 9b | 0,095 | 0,156 | 0,182 | 0,246 | 0,284 | 0,041756 | 1,561983 | | |
| 10b | 0,058 | 0,098 | 0,119 | 0,185 | 0,241 | 0,035423 | 2,029536 | | |
| 11b | 0,096 | 0,177 | 0,242 | 0,327 | 0,381 | 0,056043 | 1,575569 | | |
| Middel kg/m2 | 0,012 | 0,022 | 0,028 | 0,039 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | | |



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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen