

Alkalireaksjoner – Prøving av materiale fra Nautesund bru

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 469



Tittel

Alkalireaksjoner – Prøving av materiale fra Nautesund bru

Undertittel

Varige konstruksjoner 2012-2015

Forfatter

Eva Rodum, Jan Lindgård (SINTEF) og Ola Skjølsvold (SINTEF)

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603244

Rapportnummer

Nr. 469

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

Godkjent av

Bård Pedersen

Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling bruer, betong, alkalireaksjoner, akselerert prøving, feltekspnering, restekspansjon

Sammendrag

Nautesund bru ble bygd i 1959 og revet i 2009, delvis på grunn av alkalireaksjoner i betongen. Det ble initiert et omfattende FoU-prosjekt som omfattet feltundersøkelser, materialprøving og belastningsprøving av armerte betongelementer, ref. Statens vegvesen rapport nr. 309. Parallelt med og i etterkant av dette prosjektet ble det igangsatt videre arbeid med deler av prøvematerialet fra Nautesund bru, i samarbeid med SINTEF. Det er utført en rekonstruksjon av betongresepten og tatt ut originaltilslag fra Farvollen grustak nær brustedet. Det er gjennomført 1) Akselerert prøving og feltekspnering av rekonstruert betong, 2) Restekspansjonsprøving av tilsaget betong fra bruas tårnbein, både ved akselererte eksponeringsbetingelser og i felt og 3) Dokumentasjon av spredning i internt rissomfang i bruas tårnrigel. Rapporten oppsummerer utført arbeid og resultater fram til 2015. Flere aktiviteter videreføres fram til 2018.

Title

ASR – Testing of material from Nautesund bridge

Subtitle

Durable structures 2012-2015

Author

Eva Rodum, Jan Lindgård (SINTEF) and Ola Skjølsvold (SINTEF)

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603244

Report number

No. 469

Project manager

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

Approved by

Bård Pedersen

Key words

Durable structures, existing bridges, concrete, ASR, accelerated testing, field exposure, residual expansion

Summary

Nautesund bridge was built in 1959 and demolished in 2009, partly due to ASR. A comprehensive R&D project was initiated, covering field examinations, material testing and studies during loading of reinforced elements. The results are presented in NPRA report No. 309. Further work was started involving the remaining concrete parts from Nautesund bridge, in cooperation with SINTEF. The concrete recipe was reconstructed, the original gravel pit was localised and aggregate sampled. The following activities are carried out: 1) Accelerated and field exposure of reconstructed concrete, 2) Testing of residual expansion, both under accelerated and field conditions and 3) Documentation of variation in internal crack extent in concrete from the bridge tower. The report summarises the work and results per 2015. Several of the activities will continue until 2018.

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 1: Tilstandsutvikling bruer** som ledes av Bård Pedersen. Prosjektet vil generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Dette vil gi grunnlag for bedre levetidsvurderinger og reparasjonsmetoder. Innenfor områdene hvor det er nødvendig vil det etableres forbedrede rutiner og verktøy for tilstandskontroll- og analyse. Prosjektet vil også frembringe kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader, samt konstruktive effekter av forsterkningstiltak. Prosjektet vil gi viktig input i forhold til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og vil således ha leveranser av stor betydning til Prosjekt 3: Fremtidige bruer.

Rapporten er utarbeidet av *Eva Rodum, Statens vegvesen, Jan Lindgård, SINTEF Byggforsk og Ola Skjølsvold, SINTEF Byggforsk.*

INNHOOLDSLISTE:

DEL 1 – Eva Rodum, Statens vegvesen

1	INNLEDNING	3
2	MÅL	3
3	BAKGRUNN	4
3.1	SAMARBEID MED TU DELFT OG SINTEF	4
3.2	VARIGE KONSTRUKSJONER.....	4
4	OVERSIKT OVER PRØVEMATERIALE	5
4.1	LOKALITET AV BRUA OG BRUAS ELEMENTER	5
4.2	UTSEPARERT OG JOMFRUELIG TILSLAG	7
4.3	UTSAGEDE KUBER OG PRISMER	7
4.4	UTBOREDE KJERNER.....	10
5	VIDERE ARBEID	14
6	REFERANSER	14

DEL 2 – Jan Lindgård og Ola Skjølvold, SINTEF Byggforsk

1	Innledning	4
2	Rekonstruksjon av betongresept	4
3	Prøving av rekonstruert betong	8
3.1	Innledning	8
3.2	Delmaterialer til betongblandinger	8
3.3	Betongblandinger.....	9
3.4	Prøving av alkalireaktivitet.....	10
3.4.1	Norsk Betongprismemeteode	10
3.4.2	Modifisert RILEM AAR-4.1	11
3.4.3	Feltekspnering av støpte kuber.....	11
4	Prøving av betong tilsaget fra restmateriale fra Nautesund bru	12
4.1	Innledning	12
4.2	Restekspansjon på utsagde kuber	12
4.3	Restekspansjon på utsagde prismer	13
5	Diskusjon av resultater fra akselererte ekspansjonsforsøk	13
6	Referanser	15

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1: Petrografisk analyse av sand og stein fra Farevollen grustak, SINTEF prøvingsrapport nr. 20371

Vedlegg 2: Termogravimetrisk analyse (TGA) – detaljert prosedyre og resultater

Vedlegg 3: Betongresept mottatt fra TU-Delft basert på deres rekonstruksjon

Vedlegg 4: Datablad for Norcem Industrisement

Vedlegg 5: Datablad for Norcem Standardsement FA

Vedlegg 6: Siktekurve for mottatt tilslag 0/8 mm og 8/36 mm fra Farevollen grustak, samt for sammensatt tilslag

Vedlegg 7: Resultat fra akselerert laboratorieprøving av alkalireaktivitet – ekspansjon

Vedlegg 8: Resultat fra akselerert laboratorieprøving av alkalireaktivitet – vektøkning

Vedlegg 9: Resultat fra akselerert laboratorieprøving av alkalireaktivitet – dynamisk E-modul

Vedlegg 10: Referansemålinger for felteksponte kubler (støpte og utsagede)

Vedlegg 11: Haugen, M.: *Risfall i utborede betongkjerner fra rigel i Nautesund bru*, SINTEF-notat 17.02.2015

1 Innledning

Gamle Nautesund bru i Telemark ble bygd i 1958 som ei ettfelts hengebru. Brua ble revet i 2009, delvis på grunn av alkalireaksjoner i betongen.

Rivingsarbeidene åpnet muligheter for å sikre verdifullt prøvemateriale for ulike typer laboratorieundersøkelser av betong med alkalireaksjoner. Det ble initiert et omfattende FoU-prosjekt i regi av Statens vegvesen, i samarbeid med SINTEF Byggforsk. Prosjektet omfattet feltundersøkelser (før og etter riving), uttak av prøvemateriale (før og etter riving), materialprøving av utborede kjerner og belastningsprøving av tilsagede armerte betongelementer. Resultatene er presentert i en egen Statens vegvesen rapport /1/.

Rapporten ble slutført innenfor etatsprogrammet Varige konstruksjoner. Parallelt med og i etterkant av dette arbeidet ble det igangsatt videre arbeid med deler av prøvematerialet fra Nautesund bru. Dette gjelder:

1. Rekonstruksjon av betongresepten som ble benyttet ved støping av brua
2. Akselerert alkalireaksjonsprøving av rekonstruert resept og to modifiserte betongresepter
3. Utstøping og instrumentering av betongkuber (fra samme tre betongresepter som i pkt 2) for langtidseksponering i felt, både i Trondheim og i Portugal.
4. Utsaging og instrumentering av kuber fra østre brutårn for tilsvarende felteksponering som støpte kuber.
5. Utsaging av prizmer fra østre brutårn for måling av "restekspansjon" i henhold til de samme akselererte laboratoriemetodene som de tre betongreseptene ble prøvd etter.
6. Utboring av kjerner fra østre rigel for tildanning av planslip og beregning av risstall

Aktivitet 1 og deler av aktivitet 2 er gjennomført i et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen, TU Delft i Nederland og SINTEF, mens aktivitet 3-6 og deler av aktivitet 2 er gjennomført i regi av Varige konstruksjoner.

Denne rapporten er delt i to deler:

- Del 1 beskriver bakgrunnen for prosjektene/aktivitetene og organisering av forsøksprogrammet.
- Del 2 beskriver gjennomføringen av laboratoriearbeidene (ved SINTEF, TU Delft rapporterer sine resultater separat) og presenterer resultatene fram til 2015. Del 2 er skrevet av SINTEF v/ Jan Lindgård og Ola Skjølsvold.

2 Mål

Denne rapporten inkluderer flere delaktiviteter med ulike formål.

Aktivitet 1-3 er gjennomført med følgende formål:

- Undersøke sammenhengen mellom akselererte prøvingsmetoder og virkelig oppførsel i felt
- Undersøke effekten av flygeaskesement som reaksjonsdempende tiltak i betong med reaktivt Nautesund-tilslag.

Aktivitet 4-5 er gjennomført med følgende formål:

- Gjennomføre forsøk med akselererte restekspansjonsmålinger på betong fra Nautesund bru og sammenholde dette med restekspansjon i felt.

Aktivitet 6 er utført med følgende formål:

- Dokumentere spredning i rissomfang i kjerner utboret med liten intern avstand fra samme konstruksjonsdel.

3 Bakgrunn

3.1 Samarbeid med TU Delft og SINTEF

I forlengelsen av Nautesund-prosjektet ble det i 2010 via Per Hagelia etablert et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen, SINTEF Byggforsk og TU-Delft (Delft University of Technology) i Nederland, CET^{AAR} (Collaboration, Exchange & Testing for Understanding Alkali Aggregate Reactions). Arbeidet i Nederland har foregått innenfor et stort prosjekt, PAT^{ASR} (Performance Assessment Tool for Alkali Silica Reaction). Hensikten er å utvikle et modellerings- og simuleringsverktøy for å kunne forutsi utviklingen av alkalireaksjoner i brukonstruksjoner med ulike typer tilslag. Det legges stor vekt på å se alle egenskaper og mekanismer i sammenheng, og det utføres detaljerte undersøkelser på mikroskala via mesoskala til storstrukturell skala /3/. Metodene omfatter en rekke mikroskoperingsteknikker, nano-indentasjon, petrografisk analyse av betongkjerner, strukturanalyse assistert ved bildeanalyse, akselerert testing (flere RILEM- tester basert på rekonstruert betong og referansemateriale), samt avansert FEM modellering /4/.

Statens vegvesen skaffet til veie originaltilslag benyttet i Nautesund bru, som ble sendt til TU-Delft og SINTEF Byggforsk i 2010. Statens vegvesen har også formidlet resultater vedrørende storskala testing /1/ til TU-Delft, samt betong fra Nautesund bru. Innen CET^{AAR} har SINTEF Byggforsk og TU-Delft bl.a. utført parallell testing av rekonstruert Nautesund-betong og Norsk Referansetilslag.

Resultatene fra Nautesund bru representerer en sentral del av grunnlagsmaterialet for to doktorgrader ved TU-Delft innen modellering av konstruktive konsekvenser av alkalireaksjoner. Resultatene blir rapportert i doktorgradsarbeidene til Caner Anac og Rita Esposito /5/.

Resultatene fra SINTEFs arbeid er presentert i del 2 av denne rapporten, se også avsnitt 3.2.

3.2 Varige konstruksjoner

Akselerert prøving og felteksponering av rekonstruert betong:

Arbeidet med akselerert prøving av Nautesund-tilslaget ved SINTEF er videreført som aktiviteter i etatsprogrammet Varige konstruksjoner (2012-2015), hhv under prosjektene Tilstandsutvikling bruer (TB2: Alkalireaksjoner i betong) og Fremtidens bruer (FB1: Fremtidens brubetonger).

Både TU Delft og SINTEF gjorde analyser av betongen for å estimere alkaliinnhold og sementmengde i originalresepten. Det er noe avvik mellom de to rekonstruerte reseptene, og SINTEF gjennomførte derfor akselerert prøving med begge resepter.

Samtidig med støping av prismer for akselerert prøving er det også støpt ut 300 mm kuber for oppfølging av ekspansjon under felteksponering. Dette for å få en direkte sammenheng mellom akselerert prøving og virkelig oppførsel i felt. Fra hver betongresept er det plassert én kube på SINTEFs feltstasjon i Trondheim og én på LNECs feltstasjon i Portugal. Kubene inngår i et større prøveprogram som SINTEF administrerer.

Foreliggende dokumentasjon vedrørende betongtilslaget i brua er oppsummert i avsnitt 4.1 og 4.2.

Beskrivelse av utført arbeid og foreliggende resultater er beskrevet i egen SINTEF-rapport (denne rapportens del 2).

Akselerert prøving og felteksponering av tilsaget betong (restekspansjon):

Tidlig i Varige konstruksjoner ble det gjennomført et litteraturstudium og utarbeidet en statusrapport på laboriemetoder for restekspansjonsmålinger. Arbeidet er utført av Mannvit /6/. I oppdragsbestillingen var det angitt at det skulle legges hovedvekt på erfaringer med metoder som ikke tilfører alkalier og hvor temperaturen holdes på et moderat nivå (f.eks. 38 °C). I rapporten påpekes at i hovedsak er to prinsipper for lagring, henholdsvis i luft med RF > 95 % og neddykket i alkalisk løsning, eksempelvis 1 N NaOH-løsning. Eksponeringstemperaturene varierer fra +20 °C til +80 °C. I England, Canada og USA argumenteres det for metoder som ikke innebærer tilsetning av alkalier og hvor temperaturen er moderat. I Norge har man langsomtreagerende bergarter, tilsvarende det som er erfart i Canada. Norske metoder for testing av alkalireaktivitet har tradisjonelt vært bygd på canadiske erfaringer. Dette både fordi bergartssammensetning og klima er relativt likt, men også på grunn av det omfattende forskningsarbeidet som har vært utført i Nord-Amerika. Ved akselerert prøving av utborede/tilsagede prøver benyttes i utgangspunktet samme utstyr og prosedyrer som ved prøving av nystøpt betong. I rapporten er det gitt anbefalinger om at prøvestykkene bør ha en diameter som er minimum $3 \times D_{\text{maks}}$ (tilslagets maksimale partikkelstørrelse). Flere referanser angir at diameteren bør være minimum 150 mm, dette for å redusere risikoen for utlekking av alkalier. Prøvestykkets lengde angis å skulle være minimum 2-3 ganger diameteren. Det påpekes at den største utfordringen med testing av restekspansjon ligger i tolkningen av resultatene, hvordan de skal kunne prediktere videre utvikling i den virkelige konstruksjonen. Flere referanser i rapporten poengterer at det kun er in-situ overvåkning av deformasjoner i konstruksjonene som vil kunne si noe om utviklingen. Enkelte har imidlertid kommet fram til at spesifikke metoder for spesifikke bergarter gir gode korrelasjoner.

Metoder for bestemmelse av restekspansjon har vært lite utprøvd i Norge. For å få noe erfaring med denne typen prøving ble det bestemt å gjennomføre restekspansjonsprøving av tilsagede betongprøver fra Nautesund, både ved akselerert laboratorieprøving (forhøyet temperatur, iht samme to metoder som for støpt betong) og felteksponering (samme feltstasjoner i Trondheim/Lisboa).

Foreliggende dokumentasjon av betongen som undersøkes for restekspansjon er oppsummert i avsnitt 4.3.

Beskrivelse av utført arbeid og foreliggende resultater er beskrevet i egen SINTEF-rapport (denne rapportens del 2).

Spredning i internt rissomfang:

Det er utført risskvantifisering (manuell risstelling) av planslip tildannet fra borkjerner fra rigel i akse 3. Hovedmålsetningen har vært å se på spredning i risstall over et begrenset området av en og samme konstruksjonsdel.

Resultatene er oppsummert i avsnitt 4.4.

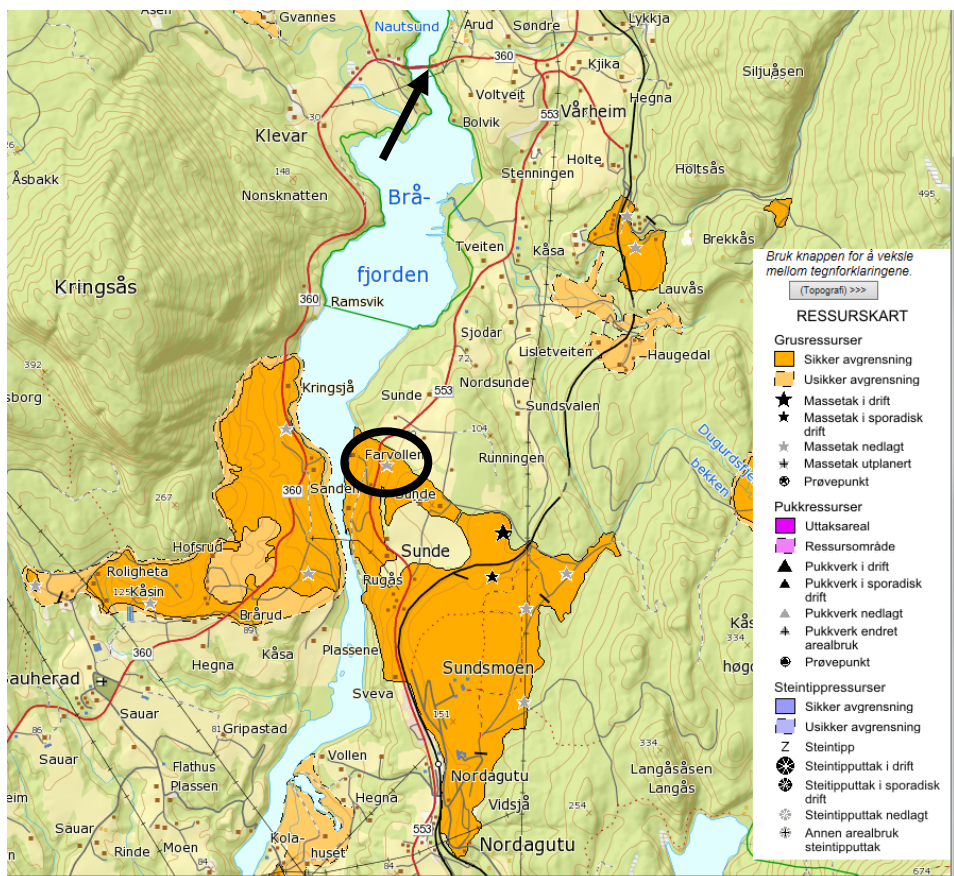
Foto av planslip og beregnede risstall finnes i eget SINTEF-notat (Vedlegg 11).

4 Oversikt over prøvemateriale

4.1 Lokaltet av brua og bruas elementer

Nautesund bru lå parallelt med Rv 360 fra Notodden til Gvarv i Telemark, se kart i Figur 1.

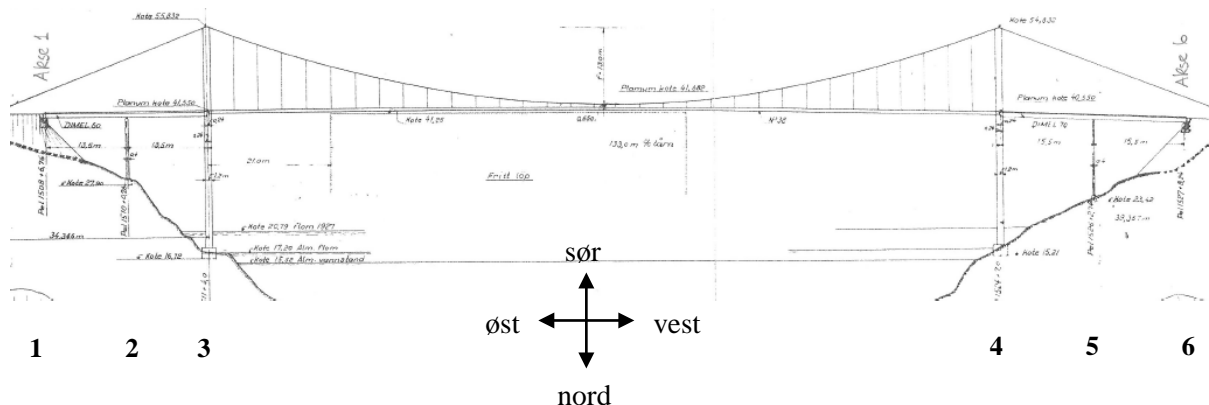
Foto av brua før og etter riving er vist i Figur 2, og oppriss av brua, med inntegnede aksenummer, er vist i Figur 3.



Figur 1 Kart fra NGU /2/ vedr grus og pukkforekomster nær Nautesund bru (merket med svart pil). Farvollen grustak er angitt som nedlagt massetak (merket med svart ring).



Figur 2 Nautesund bru. Til venstre før riving, sett fra øst. Til høyre østre tårn (akse 3) etter riving.



Figur 3 Oppriss av Nautesund bru. Akse 1 er definert som landkar mot Notodden (østre landkar)

4.2 Utseparert og jomfruelig tilslag

Nautesund bru inngikk som objekt i forskningsprosjektet "Optimal utnyttelse av tilslagsressurser i Norge. Alkalireaksjoner i betong – oppfølgende feltprosjekt" som ble gjennomført i regi av SINTEF i perioden 2000-2002 /7/. Den gangen ble det foretatt petrografisk analyse av utseparert tilslag fra betong tatt fra landkaret i akse 6 (vestre landkar). Resultatene fra disse analysene viste at betongen har følgende innhold av risikobergarter (reaktive bergarter + tvilstilfeller):

- 43 % risikobergarter i sand
- 28 % risikobergarter i stein

Analysene ble utført av Marit Haugen ved SINTEF. Basert på hennes kjennskap til mineralsammensetningen i ulike tilslagsforekomster i området og lokal kjentmanns kunnskap om nedlagte og virksomme masseuttak i området, ble det antatt som høyst sannsynlig at tilslaget i Nautesund bru var hentet fra det nedlagte massetaket Farvollen, se Figur 1. Det er usikkert om det er hentet tilslag fra hver side av sundet til hver av akse 1-3 og 4-6, men ressurskartet viser at disse forekomstene tilhører samme grusrygg og mest sannsynlig har samme bergartssammensetning.

Per Hagelia i Statens vegvesen organiserte uttak av masser fra det nedlagte grustaket, og sørget for å få dette sendt til henholdsvis TU Delft og SINTEF. SINTEF v/ Marit Haugen gjorde en petrografisk analyse av det uttatte originaltilslaget, og resultatene viste godt sammenfall med analysene gjort av utseparert tilslag, se Vedlegg 1 SINTEFs rapport (del 2).

4.3 Utsagede kuber og prismer

Etter riving av brua ble det sendt store mengder tilsagede elementer til SINTEF, for belastningsprøving og annen laboratorieprøving. Resultater fra denne prøvingen ble rapportert i 2014 /1/. Rester av det tilsendte materialet etter riving av Nautesund bru ble lagret ved SINTEFs feltstasjon på Voll i Trondheim. Dette var betong fra midtre del av nordre tårnsøyle i akse 3, se Figur 4, samt betong fra rigel i akse 3, se avsnitt 4.4.



Figur 4 Foto fra tilsaging av armerte prøveelementer ved SINTEF /1/. Midtre del av nordre tårnbein i akse 3 (merket 3M) er nærmest på bildet.

Høsten 2012 ble det fra dette restmaterialet sagt ut 2 stk kuber (sidekant 300 mm) fra tilsynelatende urisset betong. Disse ble instrumentert og felteksponert tilsvarende de utstøpte kubene, se Figur 5.



Figur 5 Til venstre foto av kuber eksponert på SINTEF's feltstasjon på Voll i Trondheim, tilsaget kube fra Nautesund merket med pil. Til høyre ses toppflata av kuben med messingskilt inngravert «Nautesund bru Oktober 2012»

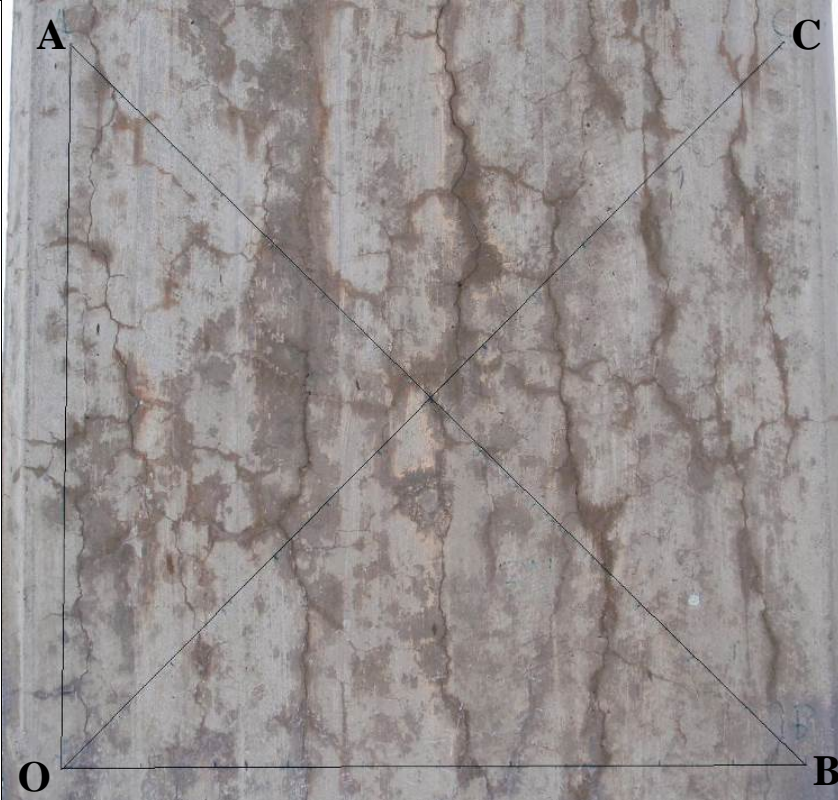
Høsten 2013 ble det videre sagt ut 3 stk $70 \times 70 \times 280 \text{ mm}^3$ og 3 stk $100 \times 100 \times 450 \text{ mm}^3$ prismer for måling av "restekspansjon" i henhold til:

- Norsk Betongprismemetode, beskrevet i Norsk Betongforenings publikasjon nr 32 /8/
- "modifisert RILEM AAR-4.1", prosedyre "4.2" benyttet i Jan Lindgård's PhD-arbeid /9/

Fra dette tårnbeinet var det før riving av brua utført rissmålinger i felt og boret ut kjerner for planslipanalyse.

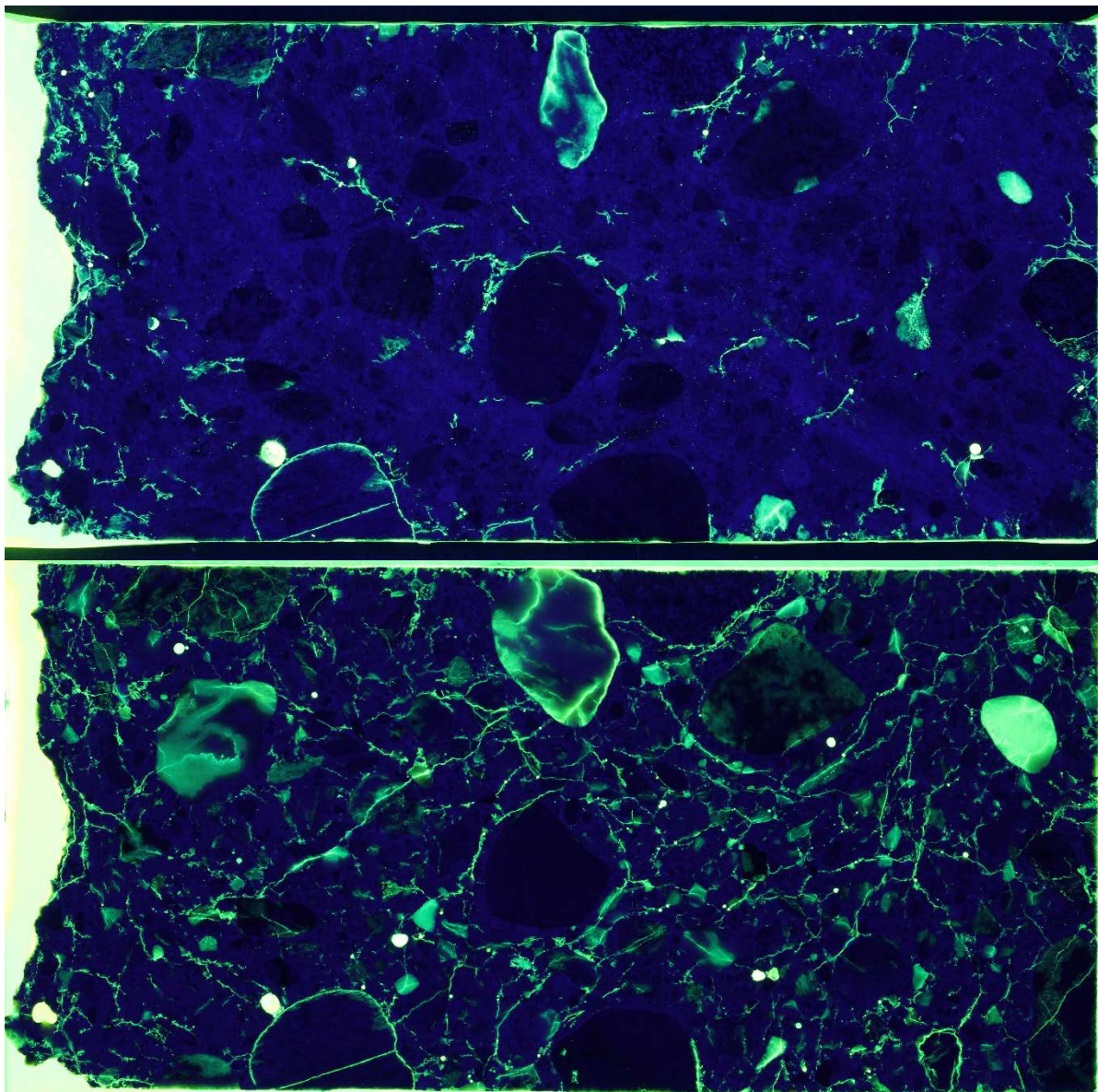
Overflaterissindekser på tårnbeinets flate mot sør er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Oppsummerte verdier fra rissviddemålinger på nordre tårnsøyle i akse 3 /1/

Referansefelt		Tårnsøyle 3N, flate mot sør	
		Σ rissvidde/l (mm/m)	maks rissvidde (mm)
målelinje	OA	0,75	0,15
	OB	2,14	0,5
	OC	2,13	0,5
	AB	1,53	0,5
ORI		1,64	
Foto			

Planslipene som ble tildannet i prosjektets første fase /1/ ble slipt så grovt at man mistet en del av de finere rissene i betongen. For å få dette undersøkt/synliggjort ble det bestemt å sende ett av de allerede preparerte slipene til en annen preparant, med instruks om å slipe grunnere. Resultatet er vist i Figur 6. Det er ingen tvil om at mikroopprippingen er betydelig mer omfattende enn de første planslipene greier å gjengi. Det nederste slipet i Figur 6 anses å gi et representativt inntrykk av opprippingen i de indre deler av nordre tårnsøyle i akse 3, på tidspunkt for start restekspansjon.

Målt dynamisk E-modul før oppstart av restekspansjonsmålingene indikerer også at betongen har indre oppripping (se SINTEFs rapport i del 2), og disse måleverdiene skal kunne relateres til foto i Figur 6.



Figur 6 Foto i UV-lys av planslip fra nordre tårnbein i akse 3 (indre del av kjerne 3N2). Øverste foto er av førstegangs preparerte slip (grovt slipt) og nedre foto er av samme prøve etter andregangs preparering (finere slipt). Slipet dekker en dybde ca 200-400 mm fra overflaten (til høre på bildet). Foto: SINTEF

4.4 Utborede kjerner

Kjerner for planslipanalyser og manuell risstelling ble boret ut fra en del av rigelen i akse 3, se foto med merking for kjerner i Figur 7.

Kjernene ble boret ut i november 2009 og ble lagret innpakket i plast på kjølerom (+5 °C) fram til saging og tildanning av planslip i januar 2014. Analyser av planslip og beregning av risstall er utført av SINTEF v/ Marit Haugen.

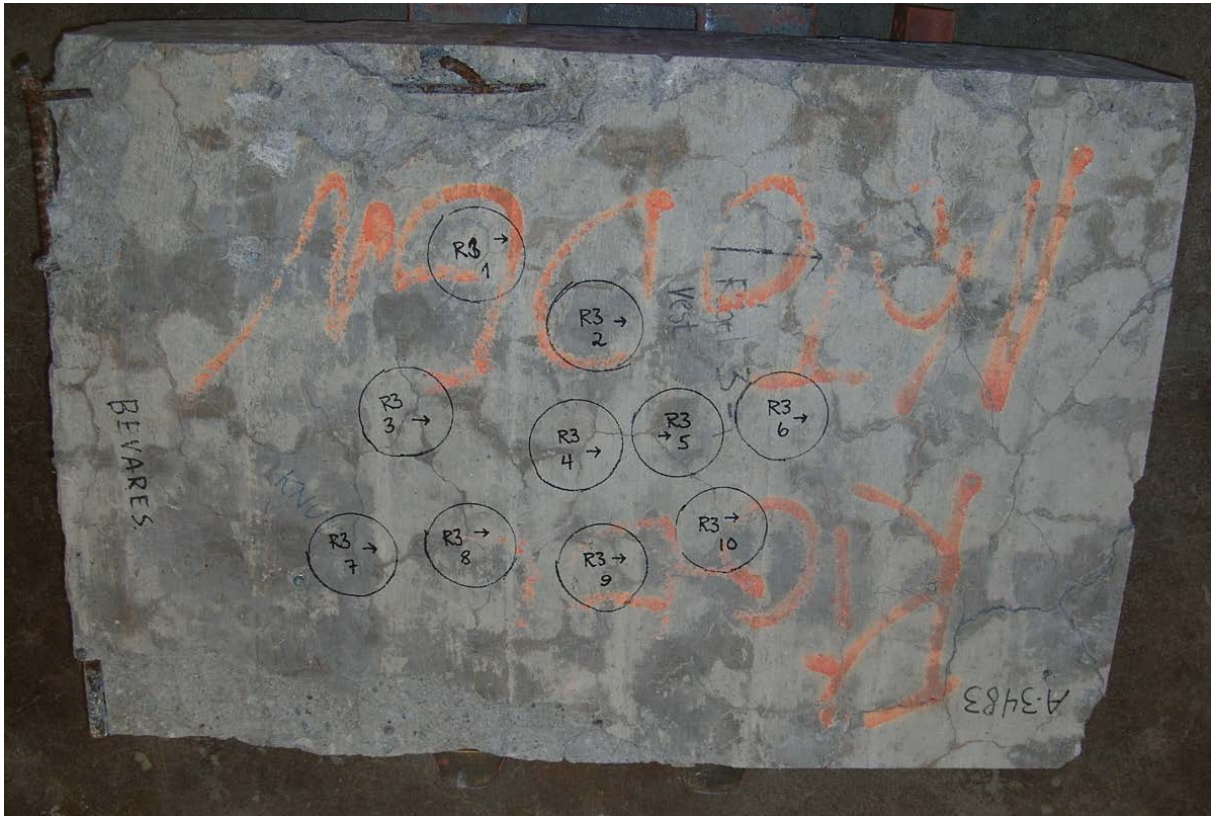
Risstallet er beregnet i henhold til en prosedyre som ble benyttet i FoU-prosjektet «Optimal utnyttelse av tilslagsressurser i Norge. Alkalireaksjoner i betong – oppfølgende feltprosjekt» /7/. Ved manuell telling registreres følgende:

- Totalt antall stein med størrelse > 4 mm
- Antall stein (> 4 mm) med riss

- Antall stein (> 4 mm) med riss ut i pasta
- Antall riss i pasta (antall pr cm²)

Det beregnes et risstall i henhold til følgende formel:

$$\text{Risstall} = [\% \text{ stein med riss fra tilslag ut i pasta}] \times 0,6 + [\text{antall riss (ant/cm}^2\text{) i pasta}] \times 40$$

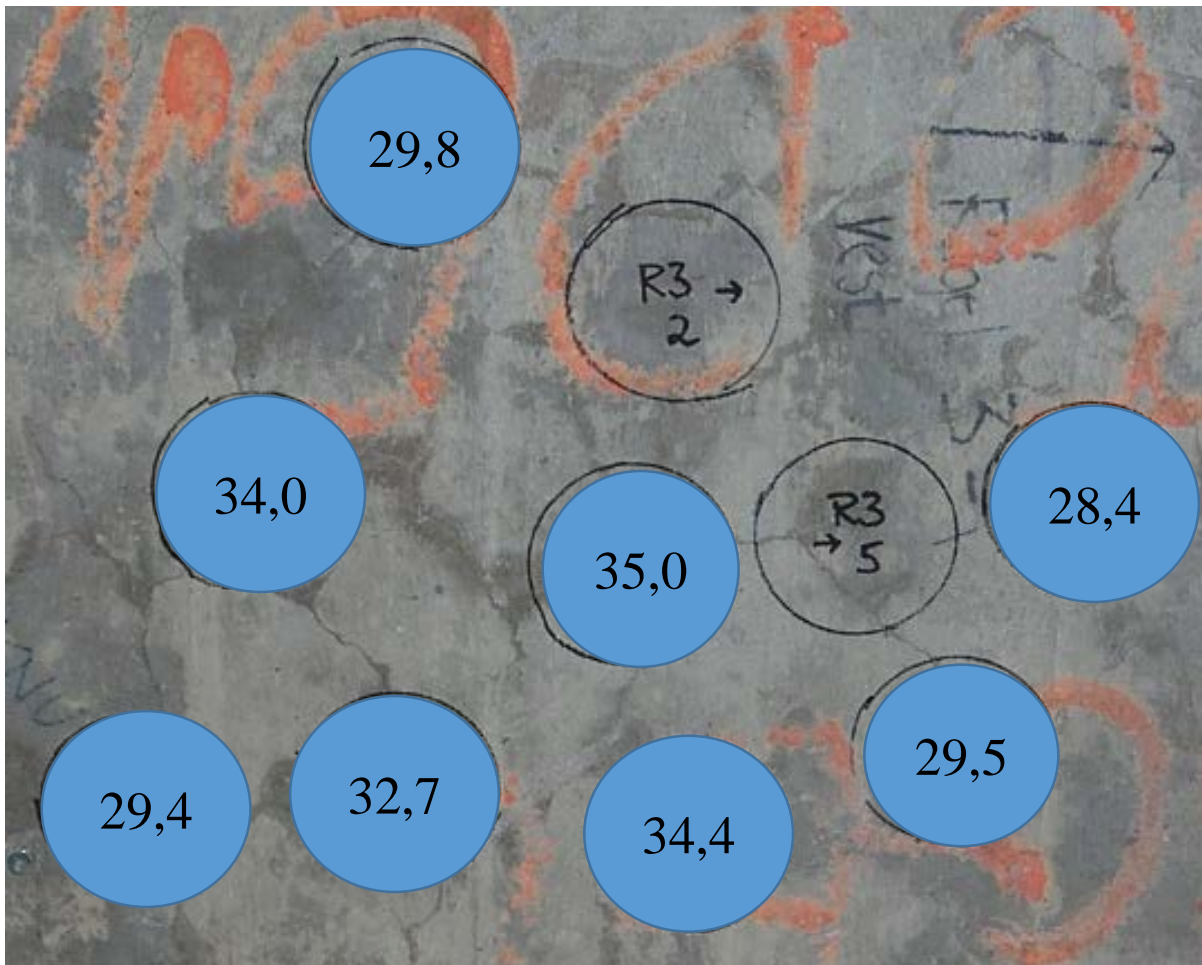


Figur 7 Foto av tilsaget del fra rigel i østre tårn (akse 3). Det er merket for utboring av 10 stk kjerner fra flate mot vest.

De beregnede risstall (middelverdier) for kjerner fra rigel er gitt i Tabell 2. De beregnede midlere risstallene er tegnet inn for hver borkjernelokalitet i Figur 8.

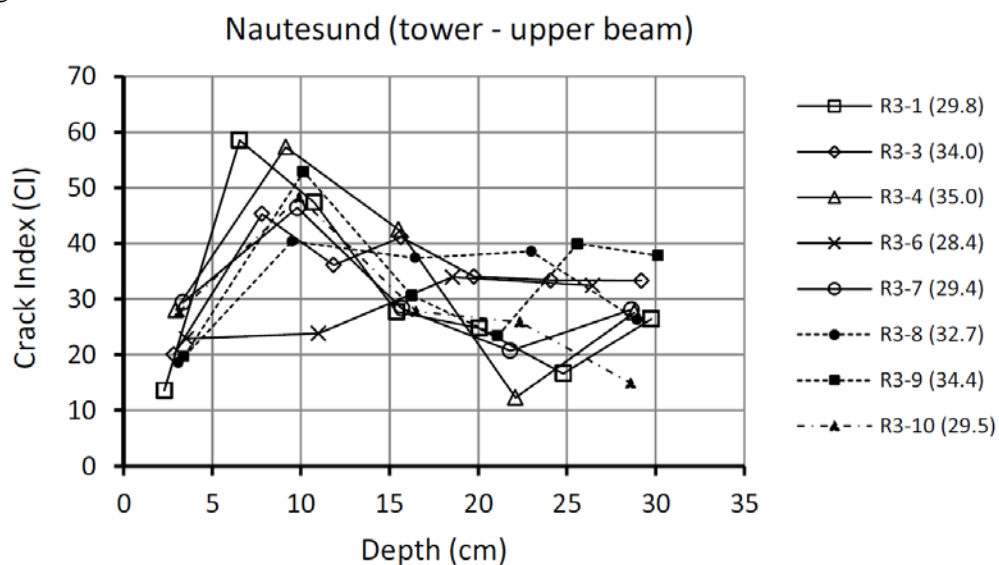
Tabell 2 Beregnede risstall for de undersøkte planslp

Planslip fra kjerne mrk	Risstall (middel)
R3 1	29,8
R3 3	34,0
R3 4	35,0
R3 6	28,4
R3 7	29,4
R3 8	32,7
R3 9	34,4
R3 10	29,5
Middel	31,7
Stdav	2,6
Varkoeff	8,4%



Figur 8 Beregnede risstall for hver borkjernelokalitet (utsnitt av foto i Figur 7).

De manuelle tellingene gjøres innenfor flere delareal på planslipet. Det er beregnet risstall for de ulike delarealene, hvilket gir uttrykk for variasjon i opprissing over planslipets lengde (dybde fra betongoverflata). Risstall for de ulike delarealer er presentert grafisk i prøvingsrapporten og gjengitt i Figur 9.



Figur 9 Risstall i ulike delareal, plottet mot midlere dybde fra overflata (mot vest) for det aktuelle delarealet. Midlere risstall for hvert planslip er gitt i parentes bak kjernenummer (Vedlegg 11)

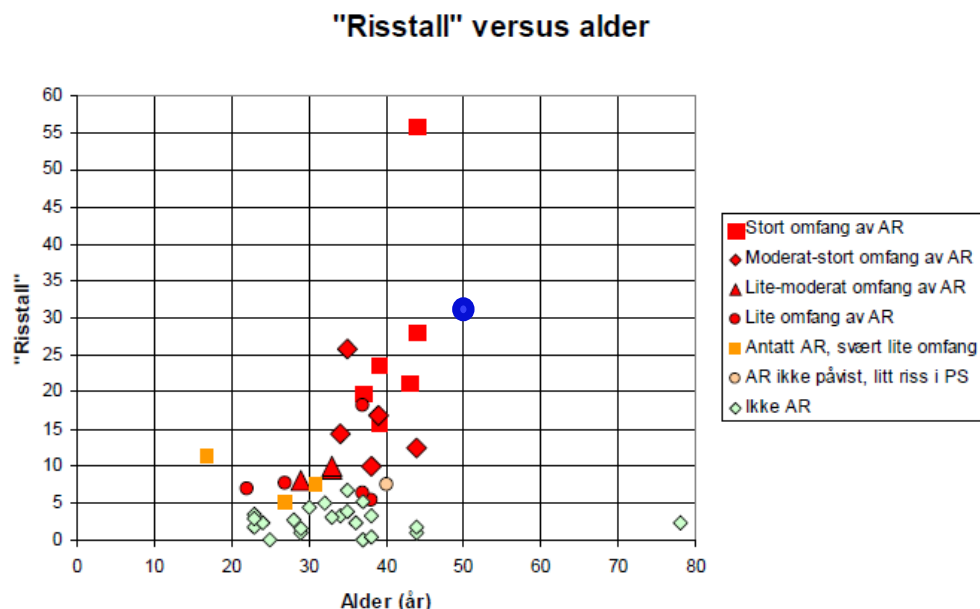
Foto av alle planslip, både i normal- og UV-belysning, er vist i SINTEF-notatet i Vedlegg 11.

Figur 9 viser at beregnet risstall i de ytre 5 cm er betydelig lavere enn i sjiktet innenfor. Deretter avtar rissomfanget noe i de midtre deler av rigelen. Visuelle vurderinger av planslipene fotografert i UV-lys underbygger at det er mindre rissomfang i de ytre ca 5 cm av kjernene. I denne sonen kan det i hovedsak registreres enkeltriss vinkelrett på overflata. Kjernene ble boret gjennomgående gjennom rigelen (tykkelse 410 mm), men av produksjonstekniske forhold måtte lengden på kjernene reduseres med ca 90 mm (fra flate mot øst) før tildanning av planslip. Planslipene inneholder derfor ikke de ytre 90 mm mot østre flate.

Risstallene fra det åtte kjernene fra rigelen i Nautesund bru varierer fra 28,4 til 35,0, med et gjennomsnitt på 31,7. I «Feltprosjektet (2000-2002)» /7/ ble det beregnet risstall for totalt 46 konstruksjonsdeler. Fra hver av konstruksjonsdelene er det gjort en beskrivelse av omfang av alkalireaksjoner, basert på rissomfang i planslip og omfang av reaksjoner i tynnslip. Det er gjort en klassifisering av reaksjonsomfanget som følger:

- Stort omfang
- Moderat-stort omfang
- Lite-moderat omfang
- Lite omfang
- Antatt AR, i svært lite omfang
- AR ikke påvist, litt riss i PS
- Ikke AR

Risstallene ble sammenholdt med flere ulike parametere, herunder konstruksjonens alder, se Figur 10. Figuren viser hvordan risstallene fordelte seg på de 46 konstruksjonsdelene, samt sammenhengen mellom risstall og vurdert reaksjonsomfang for hver konstruksjonsdel. Middelrisstallet fra rigelen er tegnet inn i figuren, med alder 50 år (blå sirkulært punkt). Med unntak av én konstruksjonsdel med risstall ca 56, så ligger risstallene for rigelen i Nautesund bru høyest, over flere konstruksjonsdeler klassifisert med «stort omfang av alkalireaksjoner».



Figur 10 Sammenheng mellom risstall og alder, bestemt for 46 konstruksjonsdeler i «feltprosjektet (2000-2002)» /7/. Middelrisstallet for rigelen i Nautesund, målt ved 50 års alder er tegnet inn i figuren med blå sirkel.

5 Videre arbeid

Utstøpte og tilsagede kuber, plassert i Trondheim og i Lisboa følges opp med årlige ekspansjonsmålinger.

Tilsagede prizmer ligger fortsatt i akselerert miljø for studier av restekspansjon, og vil følges opp videre.

Enkelte motstående halvkjerner i forhold til de undersøkte planslip er sendt til Benoit Fournier i Canada for risskarakterisering iht alternative metoder.

All videre oppfølging av aktivitetene vil pågå fram til 2018, innenfor det forskningsrådsstøttede KPN-prosjektet 236661/O30 «Alkali-silica reaction in concrete – reliable concept for performance testing, 2014-2018» /10/, hvor Statens vegvesen er FoU-partner.

6 Referanser

- 1 Rodum, E. og Stemland, H.: «Alkalireaksjoner - Undersøkelser av Nautesund bru etter 50 år. Felt- og laboratorieundersøkelser og belastningsprøving av armerte elementer», Statens vegvesen rapport nr. 306, Juni 2014
- 2 http://geo.ngu.no/kart/grus_pukk/
- 3 Anac, C., Esposito, R., Copuroglu, O., Schlangen, E., Hendriks, M.A.N.: "A tool for concrete performance assessment for ASR-affected structures: An outlook". 14th International Conference on AAR, Austin, Texas, 2012
- 4 Esposito, R., Hendriks, M.A.N.: "A review of ASR modeling approaches for finite element analyses of dams and bridges". 14th International Conference on AAR, Austin, Texas, 2012
- 5 Esposito, R.: "The Deteriorating Impact of Alkali-Silica Reaction on Concrete", Ph.D thesis, 2015
- 6 Wigum, B.J.: "Alkalireaksjoner – metoder for måling av restekspansjon. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015», Statens vegvesen rapport nr 238, 2013
- 7 Lindgård, J. og Wigum, B.J., Alkalireaksjoner i betong – feltefaringer, SINTEF-rapport STF22 A02616, mars 2003.
- 8 Norsk Betongforenings publ. nr. 32 (NB32), Alkalireaksjoner i betong. Prøvmingsmetoder og krav til laboratorier, Oslo, April 2005
- 9 Lindgård, J, Alkali-silica reaction (ASR) – Performance testing, Doctoral theses at NTNU, 2013-269, October 2013 (<http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:665704/FULLTEXT01.pdf>)
- 10 SINTEFs KPN-prosjekt «Alkali-silica reaction in concrete – reliable concept for performance testing», et fireårig FoU-prosjekt (2014-2018) støttet av Forskningsrådet (prosjektnummer 236661).

DEL 2
SINTEF-RAPPORT

SBF 2015 F0072 - Fortrolig

Rapport

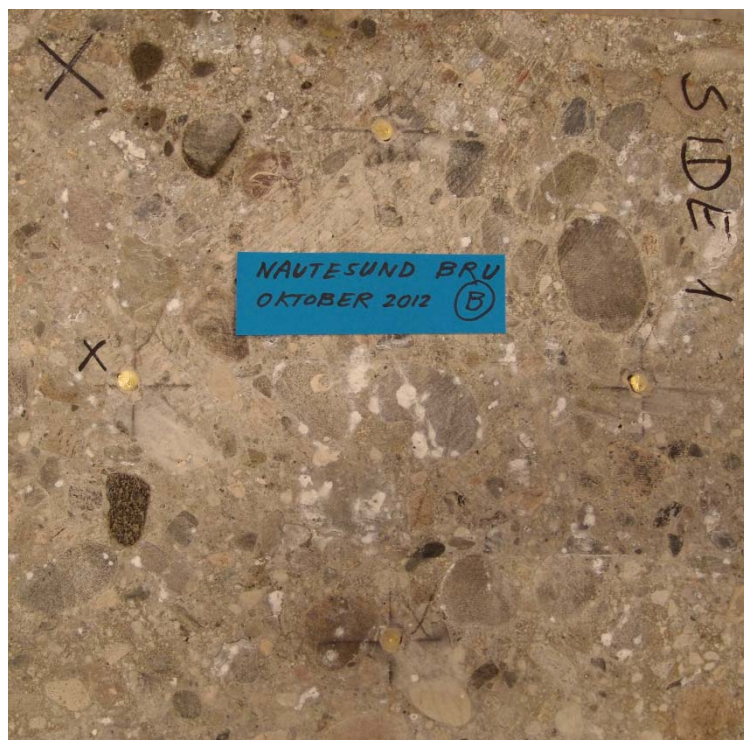
Rekonstruksjon og prøving av betong fra Nautesund Bru

Akselerert laboratorieprøving og feltekspnering

Forfatter(e)

Jan Lindgård

Ola Skjølvold



SINTEF Byggforsk

Arkitektur, byggematerialer og konstruksjoner

2015-06-10

SINTEF ByggforskPostadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73593000
Telefaks: 73593380byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Rekonstruksjon og prøving av betong fra Nautesund Bru

Akselerert laboratorieprøving og felteksponeering

EMNEORD:
Betong
Alkalireaksjoner**VERSJON**

1.0

DATO

2015-06-10

FORFATTER(E)Jan Lindgård
Ola Skjølvold**OPPDRAGSGIVER(E)**

Statens vegvesen Vegdirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REF.

Bård Pedersen

PROSJEKTNR

102000722

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

15 + 10 vedlegg

SAMMENDRAG

Gamle Nautesund bru i Telemark ble bygd i 1958 som ei ettfelts hengebru. Brua ble revet i 2009, delvis på grunn av alkalireaksjoner. I den forbindelse ble det initiert et omfattende FoU-prosjekt i regi av Statens vegvesen i samarbeid med SINTEF Byggforsk. Før riving ble det i et forprosjekt foretatt feltkartlegging og utboring av prøvemateriale. Etter riving av brua ble det boret ut noen supplerende betongkjerner, samt saget ut større prøvestykker for belastningsprøving ved SINTEF. Alt dette arbeidet er rapportert i en separat rapport.

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra SINTEFs arbeid med 1) rekonstruksjon av betongresepten som ble benyttet ved støping av brua, 2) akselerert alkalireaksjonsprøving av rekonstruert resept og to modifiserte betongresepter, 3) utstøping og instrumentering av betongkuber (sidekant 300 mm) for lang tids eksponering i felt, både ved SINTEF i Trondheim og ved LNEC i Portugal, 4) utsaging og instrumentering av kuber fra østre brutårn for tilsvarende felteksponeering som støpte kuber og 5) utsaging av prismer fra østre brutårn for måling av "restekspansjon" i henhold til de samme akselererte laboriemetodene som de tre betongreseptene ble prøvd etter.

UTARBEIDET AV

Jan Lindgård

SIGNATURJan Lindgård
2015.06.18
14:30:16 +02'00'**KONTROLLERT AV**

Ola Skjølvold

SIGNATUROla Skjølvold
2015.06.19 08:00:41
+02'00'**GODKJENT AV**

Tor Arne Martius-Hammer

SIGNATURTor Arne Martius-
Hammer
2015.06.18 14:41:24
+02'00'**RAPPORTNR**

SBF 2015 F0072

ISBN**GRADERING**

Fortrolig

GRADERING DENNE SIDE

Fortrolig

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2012-12-03	Første interne utkast med prøvingsresultater fram til 14 ukers eksponering
0.2	2015-03-05	Utkast oversendt oppdragsgiver for kommentarer
0.3	2015-03-17	Revidert utkast oversendt oppdragsgiver for kommentarer
1.0	2015-06-10	Endelig rapport

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Rekonstruksjon av betongresept	4
3	Prøving av rekonstruert betong	8
3.1	Innledning	8
3.2	Delmaterialer til betongblandinger	8
3.3	Betongblandinger	9
3.4	Prøving av alkalireaktivitet	10
3.4.1	Norsk Betongprismemetode	10
3.4.2	Modifisert RILEM AAR-4.1	11
3.4.3	Felteksponeering av støpte kuber	11
4	Prøving av betong tilsaget fra restmateriale fra Nautesund bru	12
4.1	Innledning	12
4.2	Restekspansjon på utsagde kuber	12
4.3	Restekspansjon på utsagde prizmer	13
5	Diskusjon av resultater fra akselererte ekspansjonsforsøk	13
6	Referanser	15

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1: Petrografisk analyse av sand og stein fra Farevollen grustak, SINTEF prøvingsrapport nr. 20371

Vedlegg 2: Termogravimetrisk analyse (TGA) – detaljert prosedyre og resultater

Vedlegg 3: Betongresept mottatt fra TU-Delft basert på deres rekonstruksjon

Vedlegg 4: Datablad for Norcem Industrisement

Vedlegg 5: Datablad for Norcem Standardsement FA

Vedlegg 6: Siktekurve for mottatt tilslag 0/8 mm og 8/36 mm fra Farevollen grustak, samt for sammensatt tilslag

Vedlegg 7: Resultat fra akselerert laboratorieprøving av alkalireaktivitet – ekspansjon

Vedlegg 8: Resultat fra akselerert laboratorieprøving av alkalireaktivitet – vektøkning

Vedlegg 9: Resultat fra akselerert laboratorieprøving av alkalireaktivitet – dynamisk E-modul

Vedlegg 10: Referansemålinger for felteksponeerte kuber (støpte og utsagede)

1 Innledning

Gamle Nautesund bru i Telemark ble bygd i 1958 som ei ettfelts hengebru. Brua ble revet i 2009, delvis på grunn av alkalireaksjoner. I den forbindelse ble det initiert et omfattende FoU-prosjekt i regi av Statens vegvesen i samarbeid med SINTEF Byggforsk. Før brua ble revet ble det i et forprosjekt foretatt feltkartlegging og utboring av prøvemateriale. Etter riving ble det boret ut noen supplerende betongkjerner, samt saget ut større prøvestykker for belastningsprøving ved SINTEF. Alt dette arbeidet er rapportert separat innenfor Statens vegvesens etatsprogram "Varige konstruksjoner" /1/.

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra SINTEFs arbeid med:

- Rekonstruksjon av betongresepten som ble benyttet ved støping av brua.
- Akselerert alkalireaksjonsprøving av den rekonstruerte resepten og to modifiserte betongresepter i henhold til to metoder, hhv Norsk Betongprismemetode og modifisert RILEM AAR-4.1.
- Utstøping og instrumentering av to parallelle betongkuber (sidekant 300 mm) for lang tids eksponering i felt, én ved SINTEF i Trondheim og én ved LNEC i Portugal. Kuber er tildannet for alle tre resepter.
- Utsaging og instrumentering av kuber fra indre del av østre brutårn for tilsvarende felteksponering som for støpte kuber.
- Utsaging av prismer fra indre del av østre brutårn for måling av "restekspansjon" i henhold til de samme to akselererte laboratoriemetodene som de tre betongreseptene ble prøvd etter.

Deler av arbeidet med rekonstruksjon av betongresepten og akselerert alkalireaksjonsprøving er utført som del av en samarbeidsavtale mellom Statens vegvesen Vegdirektoratet, TU Delft i Nederland og SINTEF Byggforsk i et prosjekt kalt "CET-AAR".

2 Rekonstruksjon av betongresept

I FoU-prosjektet "Optimal utnyttelse av tilslagsressurser i Norge. Alkalireaksjoner i betong – oppfølgende feltprosjekt", som ble gjennomført i regi av SINTEF i perioden 2000-2002 /2/, ble det utviklet en prosedyre for rekonstruksjon av betongresepter. I dette prosjektet inngikk feltundersøkelser av totalt ca. 160 betongkonstruksjoner, hovedsakelig bruer. Omfattende laboratorieundersøkelser ble utført på utborede kjerner fra knapt 50 av disse, inkl. rekonstruksjon av betongreseptene. En av disse konstruksjonene var Nautesund bru, hvor det ble boret ut og analysert betongkjerner fra hhv vestre tårn, østre tårn, vestre landkar og østre landkar /3, 4/ (*disse to prøvingsrapportene fra SINTEF inngår som Vedlegg 2 i /1/*). I denne undersøkelsen ble rekonstruksjon av betongresepten foretatt på utborede kjerner fra vestre landkar.

I forbindelse med gjennomføringen av det nye prosjektet på Nautesund bru ble opprinnelig prosedyre for rekonstruksjon av betongresept /2/ gjennomgått på nytt og supplert med utvidet prøving når det gjelder grunnlaget for estimering av sementinnhold. Følgende trinn inngår i prosedyren som har vært benyttet for Nautesund bru:

1. Utseparering av tilslaget ved suksessivt å eksponere vannmettede betongprøver for flytende nitrogen og mikrobølger, kombinert med slag med hammer /2/. Deretter foretas vasking med fortennet saltsyre for å fjerne evt. mørtelrester som sitter fast på tilslagskornene (*saltsyra vil kunne løse opp evt. kalkholdige partikler, men dette er ikke en problemstilling for Nautesund-tilslaget som ikke inneholder kalkstein*).

2. Utsikting av det utseparerte tilslaget, henholdsvis i en sandfraksjon (< 4 mm) og en steinfraksjon (> 8 mm) /2/ (materiale i fraksjonen 4-8 mm kasseres, da dette normalt vil inneholde materiale både fra sand- og steinfraksjonen).
3. Petrografisk analyse av sanda og steinen (hver for seg) i henhold til den samme metoden som benyttes for jomfruelig tilslag /5/. Med kjennskap til den petrografiske sammensetningen av tilslag fra grustak og pukkverk i den aktuelle regionen (evt. andre regioner hvis sjøtransport evt. kan ha vært benyttet), kan en erfaren petrograf være i stand til å finne opprinnelsen til de benyttede tilslagene.
4. Estimering av sementinnhold, utført ved følgende to metoder:

4.1 /2/

Betongens sementinnhold og v/c-tall kan beregnes på grunnlag av målt sugporøsitet i "PF-forsøk" /6/. "PF-metoden" og tilhørende beregningsprosedyre er publisert av Sellevold og Farstad /7/, og baserer seg på Powers modell /8/. I beregningene inngår betongens innhold av sementpasta som en viktig parameter. Det må også gjøres et estimat av betongens hydratiseringsgrad, α (se pkt. 4.2).

For å estimere pastainnholdet kan det foretas tellinger i planslip og tynnslip framstilt av en parallell betongkjerne. I planslipet kan betongens steinandel estimeres. Alternativt kan upreparerte sagesnitt av betongen benyttes. Tynnslipet kan benyttes til å estimere andel sand, sementpasta og luft (samt betongens v/c-forhold).

Steinandelen beregnes på følgende måte: Vinkelrett på planslipets lengdeakse tegnes det inn linjer med 10 mm mellomrom. Den totale lengden av hver enkelt linje måles (angis i mm). For hver linje registreres det hvor mange mm av linjen som dekker stein > 4 mm. Deretter summeres det totale antall mm av planslipet hvor linjene dekker stein > 4 mm, samt lengden av alle linjene. Andel stein > 4 mm beregnes til slutt som prosent av den totale linjelengden i planslipet.

I tynnslipet punkttelles sandandel (tilslagspartikler < 4 mm), pastaandel og luft ved hjelp av en automatisk punktteller. Stein > 4 mm registreres ikke (telles i planslipet). Det benyttes 1 stk tynnslip (48 mm x 24 mm) fra hver betongkjerne, og det telles minimum 500 punkt. Til slutt beregnes sandandel, pastaandel og luft som prosent av totalt antall talte punkt.

Ved å kombinere tellingene i planslip og tynnslip, justeres så det talte pastainnholdet i tynnslipet ned ved å ta hensyn til talt steinandel. Hvis f.eks. andel stein i betongen er 33 volum-%, blir pastainnholdet i betongen følgende: ("pastainnholdet i tynnslipet") x (100 % - 33 %) / 100 %.

4.2

En alternativ metode for å estimere betongens sementinnhold er å foreta såkalte Termogravimetrisk analyse ("TGA"). En relativt detaljert prosedyre er gitt i VEDLEGG 2. Først males deler av betongkjerner ned til et fint pulver (< 0,125 mm), med påfølgende homogenisering og forseglet lagring i plastposer inne i en lufttett boks. Deretter tas det ut parallelle prøver (normalt 3 stk) á ca. 450 mg for TG-analyser, hvor SINTEF benytter følgende instrument: "Mettler Toledo TGA/SDTA851". Én og én prøve analyseres ved følgende prosedyre:

- Tørring i 2 timer ved 105°C under tilførsel av nitrogen (50 ml/min.).
- Oppvarming fra 40-1000°C, 10°C/min., under tilførsel av nitrogen (50 ml/min.).
- Vekttapet mellom 105°C og 1000°C registreres.
- Et tydelig vekttap i området 700-800°C indikerer tilstedeværelse av kalkstein i prøven. Dette vil evt. bli synlig i form av en topp på den deriverte TG-kurven (DTG-kurven).

På grunnlag av TG-analysene estimeres prøvenes sementinnhold på følgende måte:

- Utgangspunktet er registrert vekttap (i %) mellom 105°C og 1000°C, som antas å representere mengden kjemisk bundet vann (w_x).
- Det antas at 1 g sement maksimalt (dvs. for $\alpha = 1$) binder 0,23 g vann ($w_n = 23\%$).
- Hydratiseringsgraden (α) må estimeres. Ofte er α i området 0,7-0,8 fornuftige estimat (beregnet verdi vil være lineært avhengig av valgt hydratiseringsgrad).
- Betongens densitet (ρ , i kg/m^3) måles, f.eks. ved "PF-forsøk" /6/. Siden TG-analysene foretas på tørkede prøver, inngår tørrdensiteten i beregningene.
- Sementinnholdet (C , i kg/m^3) beregnes så etter følgende formel: $C = (w_x \cdot \rho) / (w_n \cdot \alpha)$

5. Estimering av alkali-innhold: For eldre norske betongkonstruksjoner (i alle fall de som ble bygd før 1990) kan man med rimelig sannsynlighet anta at det ble benyttet ren Portlandsement fra en av Norcem's fabrikker. Med kunnskap om gjennomsnittlig alkali-innhold i Portlandsement produsert på nærmeste Norcem sementfabrikk i det aktuelle byggeåret, kan man basert på estimert/beregnet sementinnhold (se pkt. 4) gi et estimat for betongens alkaliinnhold.

Hvis det finnes tilgjengelig dokumentasjon fra byggeperioden om tilslagstype, sementtype, betongresept, betongkvalitet og/eller fasthetsresultater, vil denne informasjonen kunne bidra til å redusere usikkerheten i rekonstruksjonen av betongresepten. Man skal imidlertid ikke stole for mye på slik dokumentasjon, da erfaringer fra "feltprosjektet" /2/ viste at opplysninger om tilslagstypen var feil for 6 av 12 bruer som ble undersøkt i pilotprosjektet som ble gjennomført i innledningen av prosjektet.

I disse siste undersøkelsene av prøver fra østre del av Nautesund bru (boret ut i 2009) ble det ikke foretatt utseparering av tilslag og påfølgende petrografiske analyser (pkt. 1-3). I stedet ble de petrografiske resultatene fra "feltprosjektet" /2/ benyttet, kombinert med opplysninger fra en "lokal kjentmann". I følge han ble det under bygging av brua hentet tilslag fra to grustak, ett på hver side av vannet som brua går over. Disse tilslagene ble så benyttet til støpearbeidene på de respektive sidene av brua. Opprinnelig tilhører disse grustakene samme avsetning i dalen, noe som tilsier at de bør ha tilnærmet samme petrografiske sammensetning. Dette bekreftes også av de petrografiske analysene; den petrografiske sammensetningen av sand- og steintilslaget utseparert i "feltprosjektet" /2/ fra vestre landkar er i rimelig samsvar med de nye petrografiske analysene som SINTEF har utført på det mottatte tilslaget fra den løsmasseforekomsten på østre side, Farevollen Grustak (rapportert i VEDLEGG 1). Visuelle observasjoner i planslip indikerer også at tilslagene i betongkjerner fra begge sidene av brua er tilnærmet like.

Sementinnholdet ble estimert ved begge prosedyrene som er beskrevet ovenfor; se henholdsvis Tabell 1 (prosedyre 4.1) og Tabell 2 (prosedyre 4.2).

Tabell 1. Estimering av sementinnhold i henhold til prosedyren beskrevet i pkt. 4.1 ovenfor.

Parameter		Kommentarer
Steinandel (> 4 mm) i PS (volum-%)	32,3 / 34,5	Talt i planslip (kjerne S3-1 / N3-4)
Sandandel (< 4 mm) i TS (volum-%)	65,9 / 67,8	Talt i tynnslip (kjerne S3-1 / N3-4)
Luft i TS (volum-%)	4,5 / 2,6	Talt i tynnslip (kjerne S3-1 / N3-4)
Pastaandel i TS (volum-%)	29,6 / 29,6	Talt i tynnslip (kjerne S3-1 / N3-4)
Estimert v/c-forhold i TS	0,4 / 0,4	Estimert i tynnslip (kjerne S3-1 / N3-4)
Pastaandel i betongen (volum-%)	20,0 / 19,4	Beregnet (kjerne S3-1 / N3-4; input ved beregning av v/c og sementinnhold basert på "PF-forsøk")
Sugporøsitet i betong (volum-%)	9,9 / 10,1	"PF-forsøk" 2001 (kjerne S3-vestre tårn / S5-østre tårn), rapportert i /1/ og /4/)
Beregnet v/c-forhold	0,58	Beregnet (basert på "PF-forsøk" i 2001, pastainnhold fra PS/TS og antatt hydratiseringsgrad (α) lik 0,75)
Sementinnhold i betongen (kg/m ³)	220	Beregnet (basert på "PF-forsøk" i 2001, pastainnhold fra PS/TS og antatt hydratiseringsgrad (α) lik 0,75)

Pastainnholdet i betongen bestemt ved tellinger i planslip og tynnslip (ca. 20 volum-% - se Tabell 1) er urealistisk lavt. Dette gir derfor et antatt feil estimat for betongens v/c-forhold (for høyt) og sementinnhold (for lavt). Dersom man i stedet for det beregnede pastainnholdet på ca. 20 volum-% antar et pastainnhold i betongen lik 25 volum-%, så vil "PF-forsøkene" (antar fremdeles α lik 0,75) gi et v/c-forhold lik 0,43 og et sementinnhold på ca. 335 kg/m³. Tilsvarende vil et antatt pastainnhold på 30 volum-% gi et v/c-forhold lik 0,35 og et sementinnhold på ca. 450 kg/m³. Dette bekrefter at prosedyren beskrevet i pkt. 4.1 er meget følsom for estimert pastainnhold. Følsomheten er mye mindre mht. antagelser gjort for α . Ved antatt pastainnhold på 30 volum-% blir tallene følgende ved endring av α : α lik 0,70 gir v/c lik 0,34 og et sementinnhold på ca. 455 kg/m³; α lik 0,80 gir v/c lik 0,37 og et sementinnhold på ca. 440 kg/m³.

Tabell 2. Estimering av sementinnhold i henhold til prosedyren beskrevet i pkt. 4.2 ovenfor (VEDLEGG 2).

Parameter		Kommentarer
Tørr betongdensitet (kg/m ³)	2250	Snitt av kjerne 3N3 og 3S3
Sementinnhold i betongen (kg/m ³)	464	Beregnet; antar $\alpha = 0,7$ (3 prøver; standardavvik = 22 kg/m ³)
Sementinnhold i betongen (kg/m ³)	406	Beregnet; antar $\alpha = 0,8$ (3 prøver; standardavvik = 19 kg/m ³)
Estimert sementinnhold (kg/m ³)	435	Gjennomsnitt (dvs. antar $\alpha = 0,75$)

Ved å anta en hydratiseringsgrad lik 0,75, blir estimert sementinnhold basert på TG-analysene ca. 435 kg/m³. Denne verdien er i rimelig god overensstemmelse med resultater fra PF-forsøkene (se ovenfor) hvis man antar at betongen har et "normalt" pastainnhold (dvs. rundt 30 volum-%; vi velger da å se bort i fra tellingene utført i planslip/tynnslip). Ser man på alle undersøkelsene samlet, er det rimelig å anta at sementinnholdet i betongen ligger i området 400-450 kg/m³. Tilsvarende vil det være rimelig å anta at betongens "tilsynelatende v/c-forhold" (basert på estimat i tynnslip og i "PF-forsøk") er i underkant av 0,40. Tatt i betraktning betongens alder (ca. 50 år ved prøveuttak), noe som gjør at betongen nå vil virke tettere (mer sement vil være hydratisert) enn dersom undersøkelsene hadde vært utført ved f.eks. 28 døgns alder, er det ikke urimelig å anta at det ved støping ble benyttet et v/c forhold noe høyere enn 0,40 og et sementinnhold noe lavere enn 450 kg/m³. I blandingene beskrevet senere (resept benevnt "2 SVV") er det derfor antatt et v/c-forhold på ca. 0,45 og et sementinnhold på ca. 425 kg/m³.

Videre antas det, basert på Norcems historiske data /9/, at det til støpingen i 1958 ble benyttet ren Portlandsement med et alkaliinnhold i området 1,20-1,35 % Na₂O_{ekv.}; i 1959 var gjennomsnittlig verdi 1,35

%, mens den i 1960 var 1,20 %; ingen verdier foreligger for 1958. Et alkaliinnhold ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}}$) på 1,20 % vil gi et alkaliinnhold i betongen på ca. 5.1 kg/m^3 , mens et alkaliinnhold på ca. 1,35 % vil gi et alkaliinnhold på ca. $5.7 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}}$.

I tillegg til rekonstruksjon av betongresept utført ved SINTEF, har TU Delft rekonstruert samme betong som del av samarbeidsavtalen CET-AAR. Mottatt betongresept basert på resultater fra TU Delfts rekonstruksjon finnes i VEDLEGG 3.

3 Prøving av rekonstruert betong

3.1 Innledning

SINTEF har utført akselerert prøving og utstøping av kuber for felteksponeering for tre betongresepter. Det er benyttet de samme betongreseptene for akselerert prøving og felteksponeering, med unntak av at betongen i feltkubene er tilsatt luft, for å unngå frostnedbrytning. Betongreseptene er nærmere beskrevet i kapittel 3.3.

Ved den akselererte prøvingen, beskrevet i kapittel 3.4, ble det benyttet to laboratoriemetoder; Norsk betongprismemetode (100 % RF, 38°C) /5/ og "modifisert RILEM AAR-4.1" (100 % RF, 60°C) /10/.

For hver betongresept ble det støpt ut to parallelle betongkuber (sidekant 300 mm) for langtids felteksponeering. Kubene ble instrumentert med messingbolter for måling av ekspansjon over tid. Etter instrumentering ble kubene utplassert i felt, én ved SINTEF i Trondheim (Voll forsøksstasjon) og én ved LNEC i Portugal. Både den akselererte prøvingen i laboratoriet og eksponeringen/prøvingen av kubene i felt ble utført tilsvarende som i COIN-prosjektet /10/ (www.coinweb.no).

3.2 Delmaterialer til betongblandinger

Følgende delmaterialer ble benyttet ved prøveblandingene:

- Norcem Industrisement (A-3334, 1,24 % $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}}$; VEDLEGG 4)
- Norcem Standardsement FA (A-3953, 1,20 % $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}}$, 18 % flygeaske; VEDLEGG 5)
- 0-8 mm sand fra Farevollen Grustak som ankom 2010-11-30 (A-3660)
- 8-36 mm singel fra Farevollen Grustak som ankom 2012-11-30 (A-3660, fraksjonert 8-16 og 16-22 mm før blanding)
- Sika SSP2000 plastiserende og Sika AER-S luftinnførende tilsetningsstoff

Statens vegvesen sørget for uttak, "grovfraksjonering" og transport av nesten to tonn tilslag fra Farevollen grustak; en big-bag av hver av fraksjonene 0/8 mm, 8/36 mm og 36/150 mm. SINTEF foretok dokumentasjonsprøving av tilslaget. Densitet og vannabsorpsjon i henhold til NS-EN 1097-6 er gjengitt i Tabell 3, mens siktekurver i henhold til NS-EN 933-1 er gjengitt i VEDLEGG 6. Det er også utført petrografisk analyse i henhold til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 32, NB32 /5/. Resultatene fra den petrografiske analysen er gjengitt i VEDLEGG 1.

Tabell 3. Resultater fra prøving av tilslag fra Farevollen grustak

Prøve	0-8 mm	8-16 mm fraksjonert	8-36 mm
Densitet, kg/m ³	2710	-	2710
Vannabsorpsjon, % av tørrvekt	0,2	0,8	-

3.3 Betongblandinger

Det er i utgangspunktet benyttet 3 betongresepter, basert på:

- 1) Resept rekonstruert ved TU Delft, i CET-AAR-prosjektet (VEDLEGG 3)
- 2) Resept rekonstruert ved SINTEF
- 3) Resept 2, men hvor CEM I - sementen er erstattet med CEM II/A-V-sement

Det ble benyttet samme tilslagsgradering i alle blandningene. Graderingen er basert på rekonstruksjon av resepten, se VEDLEGG 3 og VEDLEGG 6. For hver av reseptene er det utført en blanding med luft og en blanding uten luft. Betongblandingene uten luft er benyttet til akselerert prøving, mens blandningene med luft er benyttet til felteksponering (for å unngå frostnedbrytning).

Med de foreliggende delmaterialene ble det utført 6 betongblandinger:

- Blanding "1 CET"; samme resept og delmaterialer som ble benyttet til prøveblanding utført ved TU-Delft (denne resepten er basert på "rekonstruksjon av betongresept" utført ved TU-Delft)
- Blanding "2 SVV"; resept basert på SINTEFs «rekonstruksjon av betongresept» (se kapittel 2); (resepten har ca. 40 kg/m³ høyere sementinnhold enn «1 CET», samt litt lavere v/c-forhold). Dette sementinnholdet vil gi et alkaliinnhold som er ca. 0,5 kg/m³ Na₂O_{ekv.} høyere enn i resept "1 CET")
- Blanding "3 SVV-FA"; identisk resept som "Blanding 2 SVV", men sementen er skiftet ut kg mot kg med Norcem Standardsement FA. Resepten er inkludert for å dokumentere flygeaskens gunstige effekt for å forhindre utvikling av alkalireaksjoner.
- Blanding "1 CET-L"; samme resept som Blanding "1 CET", men med tilsetning av luftinnførende tilsetningsstoff (benyttet til støping av felteksponerte kuber)
- Blanding "2 SVV-L"; samme resept som Blanding "2 SVV", men med tilsetning av luftinnførende tilsetningsstoff (benyttet til støping av felteksponerte kuber)
- Blanding "3 SVV-FA-L"; samme resept som Blanding "3 SVV-FA", men med tilsetning av luftinnførende tilsetningsstoff (benyttet til støping av felteksponerte kuber).

For blandinger **uten** luftinnførende tilsetningsstoff ble det foretatt utstøping av

- 3 stk 100/100/450 mm prizmer for prøving i henhold til Norsk betongprismemeteode /5/
- 3 stk 70/70/280 mm prizmer for prøving i henhold til "modifisert RILEM AAR-4.1" /10/
- 2-3 stk 100 mm terninger for bestemmelse av 28 døgns trykkfasthet

For blandinger **med** luftinnførende tilsetningsstoff (merket "L") ble det støpt ut

- 1 stk 300/300/300 mm kube for felteksponering på Voll forsøksstasjon i Trondheim
- 1 stk 300/300/300 mm kube for felteksponering hos LNEC i Lisboa (gjelder **ikke** Blanding 1 CET-L)

For alle blandinger ble det foretatt prøving av (i henhold til NS-EN 12350)

- Sluppmål
- Densitet
- Luftinnhold

Materialsammensetningen (etterregnet basert på målte verdier i fersk betong) for alle blandingene og resultatene fra prøving av fersk betong samt 28 døgns trykkfasthet er gjengitt i Tabell 4.

Tabell 4. Data for utførte betongblandinger

Blanding		1 CET	1 CET-L	2 SVV	2 SVV-L	3 SVV-FA	3 SVV-FA-L
Industrisement	kg/m ³ (beregnet tørr vekt for tilslag)	389	384	427	425		
Standardsement FA						430	423
Sand 0-8 mm		1169	1156	1135	1131	1143	1124
Singel 8-16 mm		360	356	350	348	352	346
Singel 16-22 mm		270	267	262	261	264	260
Sika SSP2000		0,42	0,66	0,79	1,27	0,12	0,10
Sika AER-S		-	0,061	-	0,082	-	0,164
Abs. vann i tilslag		7	7	7	7	7	7
Fritt vann		190	188	198	197	199	195
v/c		0,49	0,49	0,46	0,46	0,46	0,46
Alkaliinnhold, kg/m ³ Na ₂ O _{ekv.}	4,8	4,8	5,3	5,3	5,2	5,1	
Slumpmål	80	60	70	85	85	95	
Densitet	2385	2360	2380	2370	2395	2355	
Luftinnhold	2,8	4,0	2,8	3,8	1,8	2,9	
Midlere terningtrykkfasthet 28 døgn, MPa	53,0	¹	54,4	54,6	50,7	48,5	

¹ Ikke nok masse til utstøping av terninger

3.4 Prøving av alkalireaktivitet

3.4.1 Norsk Betongprismememotode

Det ble støpt ut 3 stk 100/100/450 mm prismer fra hver av blandingene "1 CET", "2 SVV" og "3 SVV-FA" for prøving i hht. Norsk Betongprismememotode, beskrevet i NB32 /5/. Målingene ble utført etter følgende prosedyre:

- Avforming etter 1 døgn under plast i forma.
- 0,5 time neddykking i vann og direkte plassering i plastdunk som beskrevet i NB32 /5/.
- Måling av referansevekt og -lengde etter 1 døgn i plastdunk ved 38°C (målt uten avkjøling – dette er en modifikasjon i forhold til beskrivelsen i NB32, men er i tråd med utførelsen i COIN /10/).
- Måling av lengde, vekt og dynamisk E-modul etter 1, 14, 26 og 52 ukers, samt 1,5 og 2 års lagring ved 38°C (dynamisk E-modul er ikke inkludert i prosedyren beskrevet i NB32, men ble utført for de fleste blandingene i COIN-prosjektet /10/; en reduksjon i dynamisk E-modul indikerer begynnende intern opprissing i betongen).
- Det ble tatt ut prøve av væsken i bunnen av containeren etter 4 uker, samt ved alle prøvealdre for måling av alkali-utlutning (resultatene vil ikke bli rapportert her, men de vil bli behandlet videre i SINTEF's KPN-prosjekt vedr. alkalireaktivitet, 2014-2018).

Resultatene er presentert grafisk (figurer merket med reseptnavn og tillegget «-N.2») i henholdsvis

- VEDLEGG 7: Ekspansjon
- VEDLEGG 8: Vektøkning
- VEDLEGG 9: Dynamisk E-modul

3.4.2 Modifisert RILEM AAR-4.1

Det ble støpt ut 3 stk 70/70/280 mm prismer fra hver av blandingene "1 CET", "2 SVV" og "3 SVV-FA" for prøving i henhold til "modifisert RILEM AAR-4.1", prosedyre "4.2" benyttet i Jan Lindgård's PhD-arbeid /10/. Målingene ble utført etter følgende prosedyre:

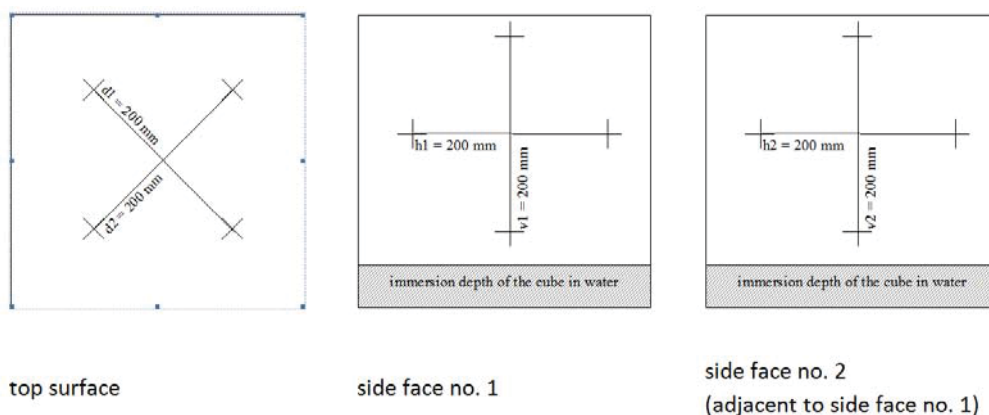
- Avforming etter 1 døgn under plast i forma.
- 0,5 time neddykking i vann og direkte plassering i container som beskrevet i /10/.
- Måling av referanselengde og -vekt etter 1 døgn i container ved 60°C (målt uten avkjøling).
- Måling av lengde, vekt og dynamisk E-modul etter 1, 4, 14, 39 og 52 ukers lagring ved 60°C.
- Det ble tatt ut prøve av væsken i bunnen av containeren ved alle prøvealdre (ikke rapportert her).

Resultatene er presentert grafisk (figurer merket med reseptnavn og tillegget «-4.2») i henholdsvis

- VEDLEGG 7: Ekspansjon
- VEDLEGG 8: Vektøkning
- VEDLEGG 9: Dynamisk E-modul

3.4.3 Felteksposering av støpte kuber

Det ble støpt ut 1 kube for Blanding "1 CET-L" og 2 kuber for hver av blandingene "2 SVV-L" og "3 SVV-FA-L". Alle kubene ble instrumentert med målepunkter for måling med ekstensiometer tilsvarende som utført i "PARTNER-prosjektet" /10/ og i "COIN" /10/, se Figur 1. Instrumenteringen ble utført ultimo oktober 2012. Måling av referanseverdier i ble utført i laboratoriet 2012-11-06.



Figur 1. Instrumentering av kubene /10/. I dette prosjektet lagres kubene på smale leker, dvs. uten vannsug fra bunnen. Messingboltene er derfor plassert sentrisk på sideflatene.

Ferdig instrumenterte kuber ble plassert på Voll forsøksstasjon i Trondheim medio november 2012. Én kube fra hver av blandingene "2 SVV-L" og "3 SVV-FA-L" ble sendt til LNEC i Lisboa medio november 2012.

4 Prøving av betong tilsaget fra restmateriale fra Nautesund bru

4.1 Innledning

Rester av det tilsendte materialet etter riving av Nautesund bru /1/ ble lagret ved SINTEF's forsøkstasjon på Voll i Trondheim. Dette var betong fra midtre del av østre brutårn, nordre tårnbein (benevnt 3M i Tabell 11 i /1/).

Høsten 2012 ble det fra dette restmaterialet saget ut 2 stk kuber (sidekant 300 mm) fra tilsynelatende urisset betong. Disse ble instrumentert og feltekspionert tilsvarende de utstøpte kubene.

Høsten 2013 ble det videre saget ut 3 stk 70x70x280 mm³ og 3 stk 100x100x450 mm³ prismer for måling av "restekspansjon" i henhold til de samme to akselererte laboriemetodene som de tre betongreseptene ble prøvd etter.

4.2 Restekspansjon på utsagde kuber

De tilsagede kubene ble instrumentert på samme måte som de utstøpte kubene (se kapittel 3.4.3) og skal feltekspioneres tilsvarende de utstøpte kubene, dvs. én i Trondheim og én i Lisboa. Kuben som LNEC skal følge opp ble sendt til Lisboa sammen med de støpte kubene medio november 2012. Samtidig ble den parallelle kubene utplassert i Trondheim. Det er for tidlig å inkludere noen feltresultater i denne rapporten, men referansemålingene er inkludert i VEDLEGG 10. Det skal bemerkes følgende vedrørende visuelle observasjoner som ble gjort i lagringsperioden fra saging til feltekspionering: Kubene ble i denne perioden lagret under fuktige strisekker og plast i laboriet. Det ble etterhvert observert hvit utfelling på overflatene, både i form av konsentrerte "hvite flekker" og ved hvite striper i antatte mikroriss – se Foto 1. Sistnevnte indikerer at betongen er risset opp internt, noe som også framgår av planslipanalyser i /1/ og ikke minst foto av re-preparert planslip fra indre del av østre brutårn (3N2B i Vedlegg 6 i /1/), se Foto 2.

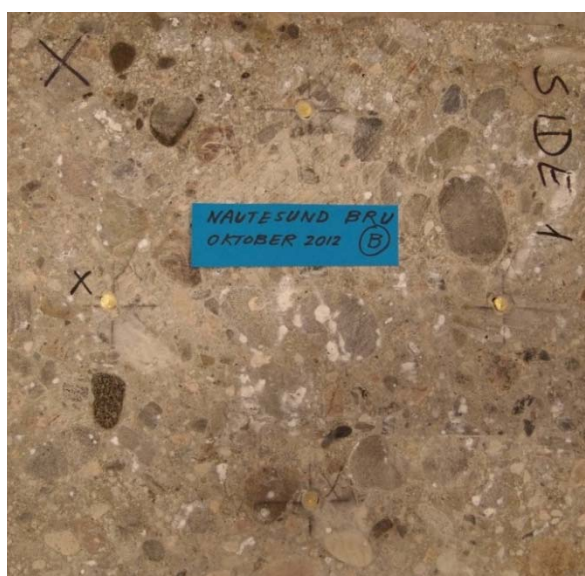


Foto 1. Ferdig instrumentert kube med hvit utfelling på overflaten, både i form av konsentrerte "hvite flekker" og ved hvite striper i antatte mikroriss.

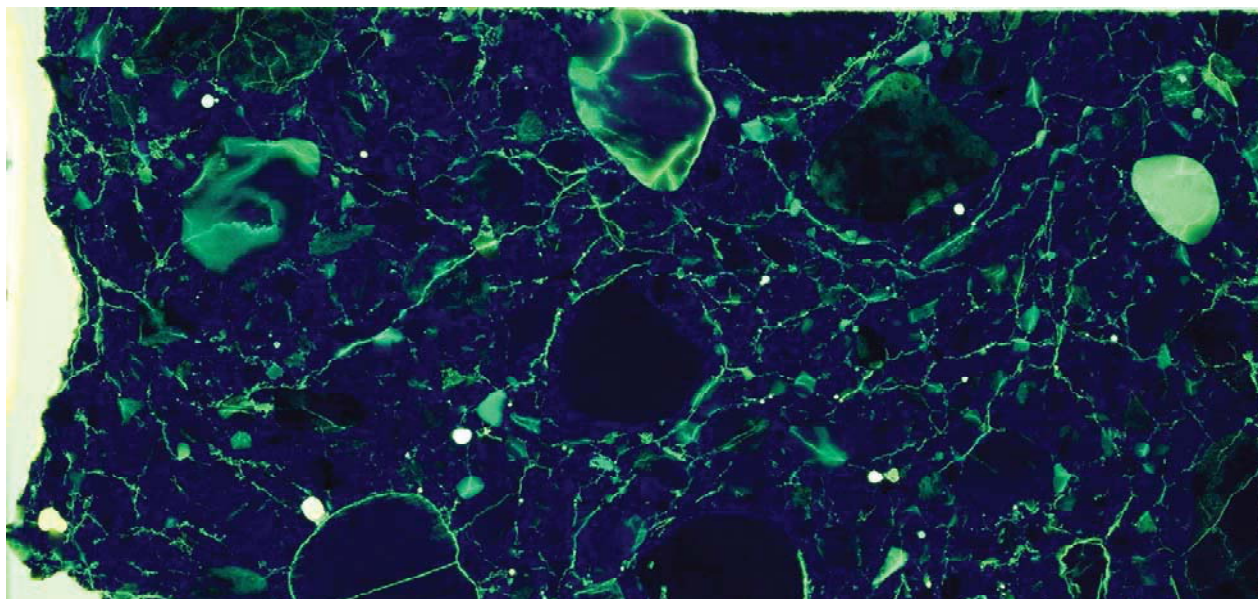


Foto 2. Re-preparert planslip (3N2B /1/ etter ny impregnering og nedsliping) fotografert i UV-lys. Stort omfang av mikroriss. (Foto: Klaus Haugsted VBM-Laboratoriet)

4.3 Restekspansjon på utsagde prismer

De tilsagede prismene ble prøvd i henhold til de samme to akselererte laboriemetodene som omtalt i kapittel 3.4.1 og 3.4.2. Noen uker etter saging og etterfølgende lagring under fuktige strisekker og plast, ble det boret hull i endeflatene og limt inn måleknaster. Deretter ble prismene eksponert og prøvd tilsvarende de støpte prismene.

Resultatene opp til 52 ukers eksponering i forhøyet temperatur og 100 % RF er presentert grafisk i henholdsvis

- VEDLEGG 7: Ekspansjon
- VEDLEGG 8: Vektøkning
- VEDLEGG 9: Dynamisk E-modul

Serie prøvd i hht. Norsk Betongprismemotode er merket «Nautesund-N.2» og serie prøvd i hht. "modifisert RILEM AAR-4.1", prosedyre "4.2" er merket «Nautesund-4.2».

5 Diskusjon av resultater fra akselererte ekspansjonsforsøk



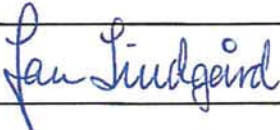
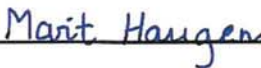
Resultatene fra de utførte laborieforsøkene kan oppsummeres/kommenteres som følger:

- Målte vektøkninger er i samsvar med målte ekspansjoner og i tråd med erfaringstall fra COIN-prosjektet /10/.

- Tilslaget fra Farevollen Grustak klassifiseres som alkalireaktivt i hht. til norsk regelverk (NB21, /11/):
 - o Utførte petrografiske analyser viser et innhold av risikobergarter på ca. 35 %, mens "kritisk grenseverdi" er henholdsvis 10 % for stein og 20 % for sand.
 - o Utførte ekspansjonsforsøk i henhold til Norsk betongprismemetode gir ett års ekspansjon som er ca. 3 ganger høyere enn kritisk grenseverdi.
 - o Prøvmingsmetoden RILEM AAR-4.1 er ikke inkludert i norsk regelverk (NB32 /5/), men målte ekspansjoner er ca. 8 ganger høyere enn kritisk grenseverdi anbefalt av RILEM. De modifikasjonene som er gjort i forhold til RILEM-prosedyren forventes ikke å ha noen signifikant innvirkning på anbefalt kritisk grenseverdi.
- For mange tilslagstyper, også flere norske, vil "sluttekspsjonen" (dvs. etter at tid-ekspansjonskurven har flatet ut ved laboratorieprøvingen) være høyere ved prøving ved temperatur 38°C enn ved temperatur 60°C. Høyere temperatur vil imidlertid gi høyere ekspansjon det første halvåret-året. For tilslag fra Farevollen grustak gir imidlertid prøving ved 60°C tilsvarende eller høyere "sluttekspsjon" relatert til prøving ved 38°C. Dette er i samsvar med observasjoner fra prøving av flere langsomtreakerende norske tilslag /10/.
- Ved eksponering for temperatur 38°C er målt ekspansjon etter både 1 og 2 år tilnærmet like for blanding "1 CET" (alkali-innhold 4,8 kg/m³ Na₂O_{ekv}) og "2 SVV" (alkali-innhold ca. 5,3 kg/m³ Na₂O_{ekv}). Ved eksponering for temperatur 60°C ser vi imidlertid en signifikant effekt av det ca. 0,5 kg/m³ Na₂O_{ekv} høyere alkali-innholdet i blanding "2 SVV". Ett års ekspansjon for sistnevnte resept er ca. 30 % høyere enn for blanding "1 CET". Dette skyldes trolig effekt av utlutning av alkalier. Spesielt under forsøk ved 60°C, kombinert ved mindre prismetverrsnitt, vil en betydelig andel alkalier lutes ut fra prismene /10/. Et høyere "startnivå" vil dermed føre til at et tilstrekkelig høyt alkali-innhold beholdes i prismene til å opprettholde økende ekspansjon med tiden. Dette vil bli verifisert senere som ledd i SINTEFs KPN-prosjekt.
- Ved å benytte ca. 430 kg/m³ Norcem Standardsement FA (totalt alkali-innhold 5,2 kg/m³ Na₂O_{ekv}) er målt ekspansjon ubetydelig ved begge testmetodene. Dette samsvarer med tidligere erfaringer, da denne sementen er godkjent for bruk sammen med alle norske alkalireaktive tilslag opp til et alkali-innhold på ca. 6,5-7,0 kg/m³ Na₂O_{ekv} (avhengig av produksjonssted og type flygeaske).
- De akselererte forsøkene utført på utsagede prizmer fra rester av Nautesund bru viser betydelig lavere ekspansjon enn for nystøpt betong med "rekonstruerte" resepter. Ekspansjonene er imidlertid signifikante, og litt høyere enn de kritiske grenseverdiene gitt i henholdsvis NB21 /11/ og av RILEM (disse grenseverdiene gjelder ved prøving av alkalireaktivitet av tilslag, og er ikke ment for evaluering av utboret betong og prøving av eventuell restekspansjon). Det er foreløpig ikke gjort forsøk å tolke de målte ekspansjonene nærmere, utover at resultatene indikerer at betongen fremdeles har et visst restpotensiale for ekspansjon. Prismene eksponeres fremdeles i de samme akselererte miljøene, og vil bli fulgt opp via SINTEFs KPN-prosjekt.
- De målte reduksjonene i dynamisk E-modul med økende ekspansjon for blanding "1 CET" og "2 SVV" indikerer begynnende intern opprissing i betongen, noe som samsvarer med erfaringer gjort i COIN-prosjektet /10/. Dette gjelder også den observerte stabiliseringen av dynamisk E-modul på et lavere nivå med tiden og en liten økning ved slutten av forsøkene. Ingen signifikant reduksjon i dynamisk E-modul for blanding "3 SVV-FA" bekrefter at det ikke utvikles alkalireaksjoner i disse forsøkene. Videre indikerer de relativt lave E-modulene målt på de utsagede prismene allerede fra starten av forsøkene at betongen allerede hadde utviklet et internt rissmønster. Dette bekreftes også av utførte planslipanalyser.

6 Referanser

1. Rodum, E. og Stemland H., Alkalireaksjoner – Undersøkelse av Nautesund bru etter 50 år. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015, Statens vegvesen rapport nr. 309, juni 2014.
2. Lindgård, J. og Wigum, B.J., Alkalireaksjoner i betong – felterfaringer, SINTEF-rapport STF22 A02616, mars 2003.
3. SINTEF prøvingsrapport nr. 33028/31, Trondheim, 2002-12-03.
4. SINTEF prøvingsrapport nr. 33028/37, Trondheim, 2002-12-03.
5. Norsk Betongforenings publ. nr. 32 (NB32), Alkalireaksjoner i betong. Prøvingsmetoder og krav til laboratorier, Oslo, April 2005.
6. SINTEF Byggforsk, intern prøvingsprosedyre KS 14-05-04-507, Betongprøving - kapillær sugsevne og porøsitet.
7. Sellevold, E.J. and Farstad, T., The PF-method—a simple way to estimate the w/c-ratio and air content of hardened concrete, ConMat'05 and Mindness Symposium, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, ISBN: 0-88865-810-9, 2005.
8. Powers, T.C. and Brownyard, T.L., Research Lab Portland Cement Association, Bull, 22, 1948.
9. Jensen, V., 1993: Alkali Aggregate Reactions in Southern Norway, Doctor Technical Thesis, The Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, 1993, 262 pp + Appendices.
10. Lindgård, J, Alkali-silica reaction (ASR) – Performance testing, Doctoral theses at NTNU, 2013-269, October 2013 (<http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:665704/FULLTEXT01.pdf>).
11. Norsk Betongforening, Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag, Norsk Betongforenings publikasjon nr. 21, NB21, Oslo, 2004, p. 29.

 <p>SINTEF</p> <p>SINTEF Building and Infrastructure Concrete and Natural Stone Laboratories</p> <p>Address: NO-7465 Trondheim NORWAY Location: Richard Birkelands vei 3 Telephone: +47 73 59 52 24 Fax: +47 73 59 71 36 Entreprise No.: NO 948 007 029 MVA</p> <p>Certified Test House No. U16</p> 		TEST REPORT	
		CLIENT(S) Statens vegvesen Vegdirektoratet	
		CLIENT'S REF Per Hagelia	
		TYPE OF COMMISSION LABORATORY EXAMINATION OF SAND AND COARSE GRAVEL FROM FAREVOLLEN GRUSTAK, HOLTSÅS	
FILE CODE	CLASSIFICATION Restricted		
ELECTRONIC FILE CODE I:\pro\3D0591\20371 Test Report.doc		DISCIPLINARY SIGNATURE Jan Lindgård 	REPORT NO. 20371
PROJECT NO. 3D0591.05	DATE 2011-07-08	PERSON RESPONSIBLE Marit Haugen 	PAGES/APPENDICES 2/0

1 SAMPLE

SINTEF Building and Infrastructure received 2010-12-01 one big bag with sand (about 580 kg, named "0-8 mm") and two big bags with coarse gravel (totally about 1320 kg, named "8-36 mm" and "36-150 mm", respectively) from the client. The sampling was carried out without our participation.

2 TESTING

The following analysis was carried out:

- * Determination of rock-/mineral composition and evaluation of alkali aggregate reactivity. The testing was performed according to Publication No 32 from the Norwegian Concrete Association (NB 32). The analysis is performed for the sand and the coarse gravel (fraction 8-36 mm)

The testing was executed 2011-07-04--05.

The test results only relate to the items tested.

This report must neither be translated nor published in extracted or abbreviated form prior to receiving approval from SINTEF.
Tested objects and spare specimens can be disposed of 1 month after the Test Report date.

2 RESULTS

The following results are obtained:

Petrographic analysis with thin section / rock-mineral composition:

Sand 0-8 mm – the average between the fractions 2-4 mm and 1-2 mm	VOL %	ALKALI REACTIVITY
Quartzite, coarse grained/quartz particles	31	innocuous
Gneiss/granite	20	innocuous
Metarhyolite	15	reactive
Dark rock incl volcanic rock	9	innocuous
Quartz rich rock	7	possibly reactive
Feldspathic rock/feldspar particles	7	innocuous
Quartzite, fine grained/quartz schist	6	possibly reactive
Metasandstone	5	reactive

Alkali reactive rocks:

Sand	Alkali reactive rocks *	Possibly reactive rocks *	Innocuous rocks
0-8 mm	20 %	13 %	67 %

* The content of reactive/possible reactive rocks in the sand is 33 %

Coarse gravel 8-16 mm og 16-22 mm – crushed 2-4 mm	VOL %	ALKALI REACTIVITY
Quartzite, coarse grained/quartz particles	26	innocuous
Gneiss/granite	24	innocuous
Metarhyolite	15	reactive
Dark rock incl volcanic rock	11	innocuous
Quartzite, fine grained/quartz schist	9	possibly reactive
Quartz rich rock	9	possibly reactive
Metasandstone	3	reactive
Feldspathic rock	3	innocuous

Alkali reactive rocks:

	Reactive rocks *	Possibly reactive rocks *	Innocuous rocks
Coarse gravel	18 %	18 %	64 %

* The content of reactive/possible reactive rocks in the coarse gravel is 36 %

Sample	3N3-t-1	3N3-t-2	3N3-t-3	3S3-t-1	3S3-t-2	3S3-t-3	average	stdev
--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	-------

experimental results

weight loss 105-1000 degrees [%]	3,54	3,42	3,40	3,16	3,20	3,19	3,32	0,15
carbonates (*) [%]	0,36	0,44	0,45		0,24	0,25	0,35	0,10

calculations

alpha 0,7 the degree of reaction of the cement can vary [0.70-0.80] depending on w/c ratio and hydration conditions e.g temperature

mass % cement in concrete	22	21	21	20	20	20	20,6	1,0
kg cement/m ³ concrete	494	478	475	442	447	446	463,7	21,6
(?) kg limestone / m ³ concrete	18	22	23	0	12	13	14,8	8,6

alpha 0,8 the degree of reaction of the cement can vary [0.70-0.80] depending on w/c ratio and hydration conditions e.g temperature

mass % cement in concrete	19	19	18	17	17	17	18,0	0,8
kg cement/m ³ concrete	433	418	415	386	391	390	405,7	18,9
(?) kg limestone / m ³ concrete	18	22	23	0	12	13	14,8	8,6

assumptions

density concrete 2250 kg/m³

wn 0,23 0,23 g water is bound per g cement

Test procedure

Two concrete cores are drilled into fine powder. The powder is homogenized and stored in sealed bags and tight box.

Three parallel powder samples of approx. 450 mg are taken from each core for ThermoGravimetric Analysis (TGA).

Instrument used: Mettler Toledo TGA/SDTA851.

Each time three samples were loaded in the automatic sampler of the TGA instrument. The samples were one by one dried and analysed in the TGA instrument.

Drying was performed at 105°C for 2 hours while being purged with 50 ml/min N₂. The weight loss had flattened out after 2 hours (see pdf drying) indicating that 2 hours drying time was sufficient.

After the drying the sample is heated up from 40-1100°C with a heating rate of 10°C/min and while purging the sample with 50 ml/min N₂.

The weight loss between 105 and 1000°C is determined. This is assumed to be the amount of chemically bound water by the cement present in the concrete

In addition, the weight loss curve was checked whether there was a pronounced weight loss in the range of 700-800°C which would indicate the presence of limestone powder in the concrete.

A pronounced weight loss would introduce a peak in the derivative curve (DTG curve) of the weight loss curve (TG curve).

Discussion

Limestone present?

There is no clear weight loss peak visible in the DTG curve (derivative of the TG curve) in the range 700-800°C indicating that there is no considerable amount of limestone present in the concrete.

(*) There is a minor weight loss in the range 600-700°C which might be due to carbonation of the powder sample while waiting in the autosampler for analysis.

The first sample of each series had little weight loss in that range and the following two samples had a slightly higher weight loss in that range

Amount of cement present?

The amount of cement present can be estimated from the amount of chemically bound water in the concrete which is the weight loss between 105-1000°C (w_x)

The following assumptions are made: 0.23 g of water is bound per g cement (w_n), and the degree of reaction of the cement is 0.7-0.8 (alpha)

The mass % of cement in the concrete is than: $m_{cem} = w_x / (w_n * \alpha)$

If one wants to know the mass of cement per m³ of concrete one has to assume a density for the concrete (e.g. 2250 kg/m³ see email Ola S.) and multiply this with the mass % of cement in the concrete

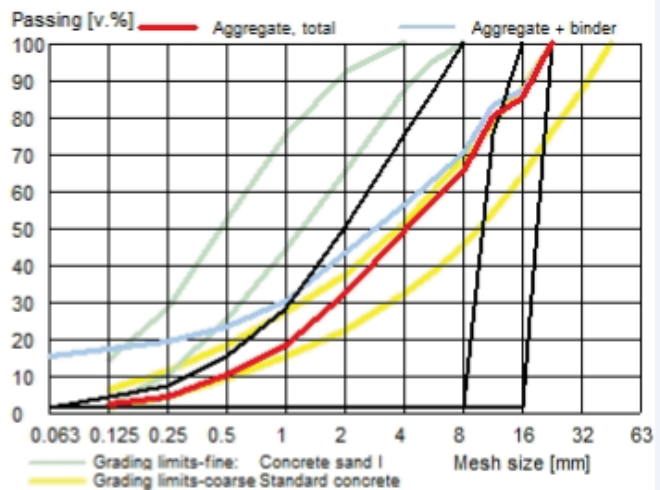
The table beneath gives the results for both alpha equal to 0.7 and 0.8.

The reproducibility of the TGA measurement is about 5%, but the assumptions such as alpha, w_n and the density introduce larger errors

Results

	alpha = 0.7	alpha = 0.8
	average	stdev
mass % cement in concrete	20,6	1,0
kg cement/m ³ concrete	464	22
	18,0	0,8
	406	19

Mix design Concrete		TU Delft Name		Date 08/12/2011	
Mix ID WP02MX01		Subject Nautesund Bridge		Signature	
Specification		Material properties		W/c-ratio	0.50
Environment class	-/ -	Cyl. strength [MPa]	40.2	Air [%]	1.6
Strength class	C35/45	Slump class	--	Binder [kg/m ³]	382
Min. cement [kg/m ³]	380	Air [%]	1.6	Cement [kg/m ³]	382
Max. w/c-ratio	0.50	Chloride cl.	--	Water [kg/m ³]	191
Notes		<i>Original Mix</i> //			
Mix proportion		Batch size [m³]		0.020	
Binder	Class	Equivalent cement	Density [kg/m³]	Mix proportion [w. %]	Batch [kg]
Norcem Industri	CEM-I	1.00	3160	100.0	382
Water				191	3.820
Aggregates	ASS [m²/kg]	Abs. water [%]	Density [kg/m³]	Mix proportion (SSD) [v. %]	Batch [kg]
Nautesund 0-8	3.02	0.14	2620	65	1145
Nautesund 8-16	0.33	0.14	2620	20	352
Nautesund 16-22	0.23	0.14	2620	15	264
Admixtures		Dry residue [w. %]	Density [kg/m³]	Mix proportion [w. % pow.]	Batch [kg]
SSP2000		25.00	1055		
Fibres		Quantity [kg/m³]	Density [kg/m³]	Mix proportion [kg/m³]	Batch [kg]
Total				2334	46.679
Moisture content [kg/m³]					
Water	191.0				
Water of absorption	2.5				
Water in admixtures					
Total water in mix [kg/m³]	193.5				
Characteristics					
Cem. eq.	1.000				
water/binder - ratio	0.50				
Paste + Air [v. %]	32.8				
Filler <0.25 mm [kg/m ³]	468				
WRI	1.004				
ASS (estimated) [m ² /kg]	2.12				
ASS (actual) [m ² /kg]	2.06				
Total moisture [%]	9.04				



Vedlegg 4

REPORT ON QUALITY TEST

IN 7

Sample marked: Industrisement uttatt lager 15.12.08 til forsøksement/forsendelse til Sintef.J.Lindgård.

Our Ref.: CL3-08

Your Ref: 171/08

CHEMICAL ANALYSIS EN 196-2

PHYSICAL TEST EN 196

Loss on ignition (L.O.I.)	2,44 %	FINENESS	
Free Lime	1,43 %	Particle analysis +90 mic.	0,4 %
Limestone	4,1 %	" " +64 mic.	1,7 %
Tot. Chloride	0,053 %	" " -24 mic.	86,9 %
Water soluble Chromium (Cr ⁶⁺)	0,00 mg/kg	" " -30 mic.	91,9 %
Sulphur Trioxide (SO ₃)	3,81 %	Specific Surface; Blaine	552 m ² /kg
Silica (SiO ₂)	19,61 %	Specific weight	g/cm ³
Alumina (Al ₂ O ₃)	4,87 %		
Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃)	3,48 %		
Lime (CaO)	61,03 %	STANDARD CONSISTENCY	
Magnesia (MgO)	2,83 %	Temperate climate 20°C	32,0 %
Phosphorus Pentoxide (P ₂ O ₅)	0,15 %		
Potassium Oxide (K ₂ O)	1,11 %		
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0,51 %		
Alkali (Na ₂ O Eq.)	1,24 %	Le Chatelier expansion	0,5 mm
		SETTING TIME	
		Initial	125 min.
		COMPRESSIVE STRENGTH	
		1 day	30,1 MPa
		2 days	37,9 MPa
		7 days	45,3 MPa
		28 days	MPa

Norcem A.S Brevik, Cement and Concrete Laboratory,

2008-12-29

po.

Laboratory Manager

A-3753

ank. 5/7-12

PRØVNINGSRAPPORT

"STD FA 9"

Lab. sement

-500kg P.lab

Oppdragsgiver: kok
Prøven merket: Forsendelse av Standard FA til Sintef

Prøve kode: AZ13-12 | Ref :62/12

KJEMISK ANALYSE EN 196-2

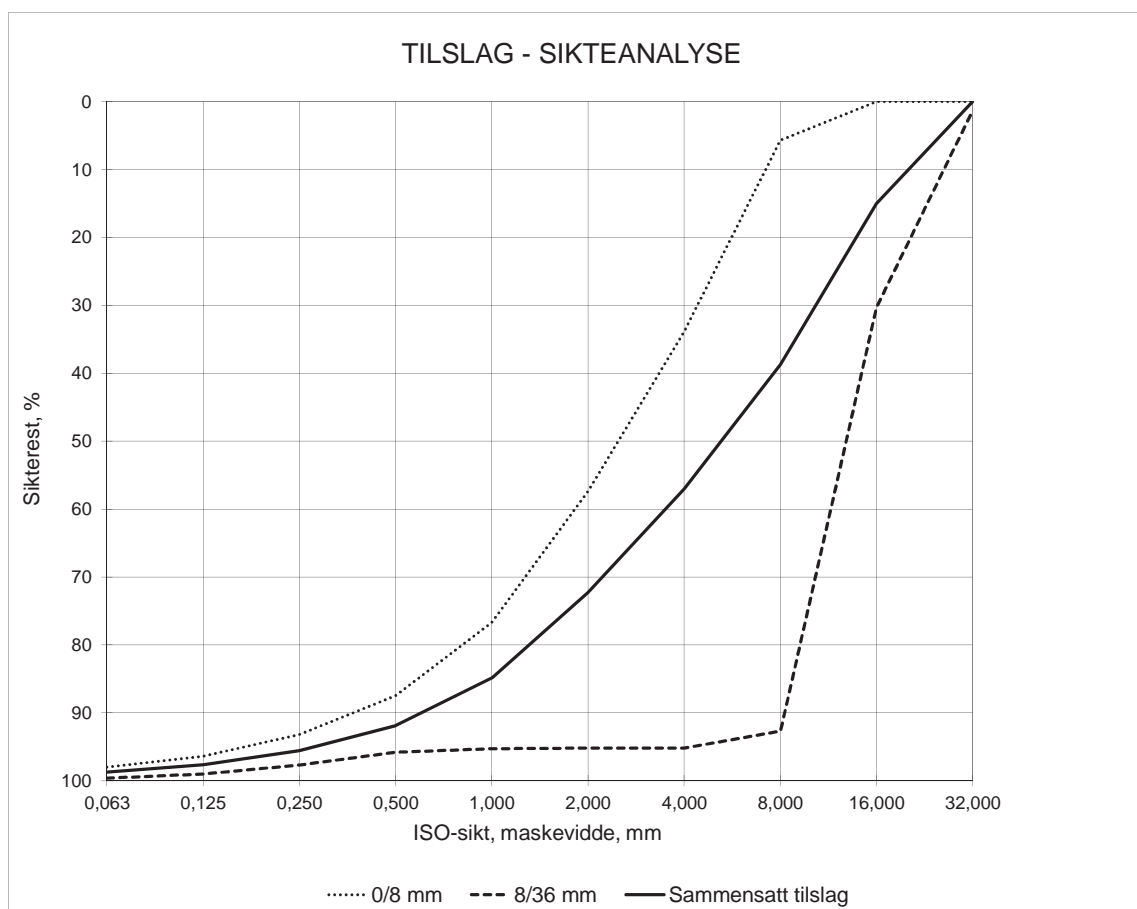
FYSIKALSK PRØVNING EN 196

Glødetap		1.79 %	FINHET		
Fri kalk		1.45 %	Partikkelanalyse	+90my	0.2 %
Kalkmel		- %	" "	+64my	1.6 %
Flyveaske		18.2 %	" "	-24my	74.5 %
Klor total		- %	" "	-30 my	82.9 %
Krom vannløselig (Cr ⁶⁺)		- mg/kg	Spesifikk overflate; Blaine		454 m ² /kg
Uopløselig rest		- %			
Farge		- %	NORMAL KONSISTENS		
Svovel trioksyd (SO ₃)		3.19 %	Vannbehov		29.3 %
Silika (SiO ₂)		26.94 %	VOLUMBESTANDIGHET		
Aluminiumoksyd (Al ₂ O ₃)		8.06 %	Le Chatelier		0.0 mm
Jernoksyd (Fe ₂ O ₃)		4.18 %	BINDETIDER		
Kalsiumoksyd (CaO)		51.45 %	Størkning begynt		115 min.
Magnesiumoksyd (MgO)		2.15 %	TRYKKFASTHET		
Fosfor pentoksyd (P ₂ O ₅)		0.23 %	1 døgn		22.6 MPa
Kaliumoksyd (K ₂ O)		0.97 %	2 døgn		31.7 MPa
Natriumoksyd (Na ₂ O)		0.56 %	7 døgn		40.0 MPa
Alkali		1.20 %	28 døgn		54.5 MPa

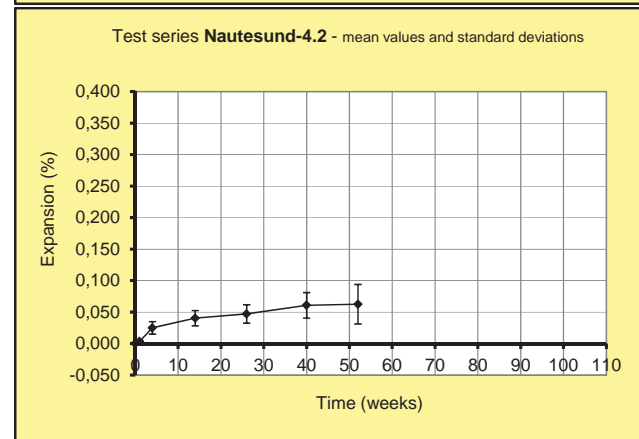
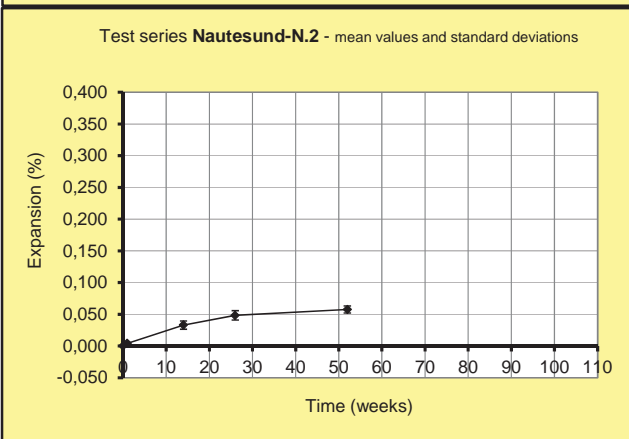
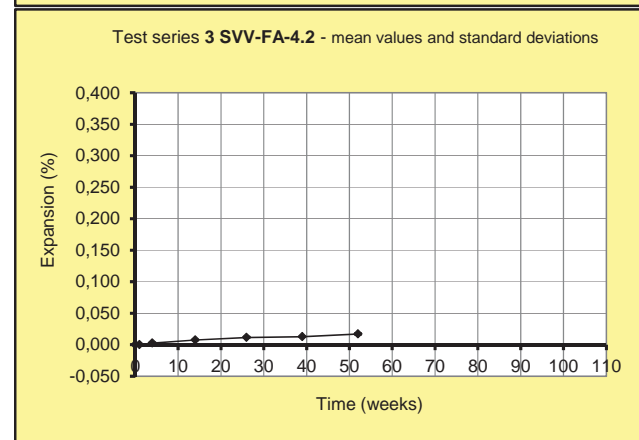
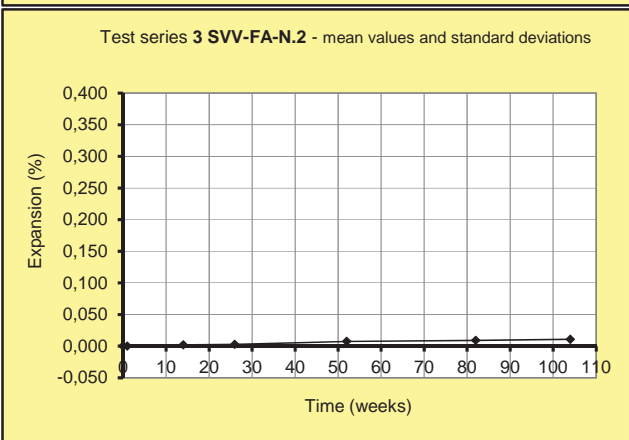
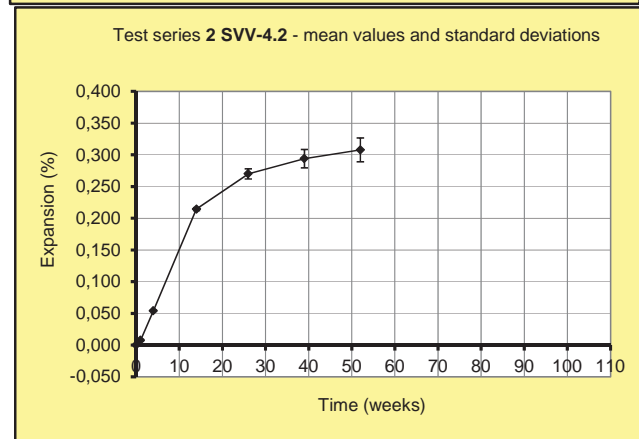
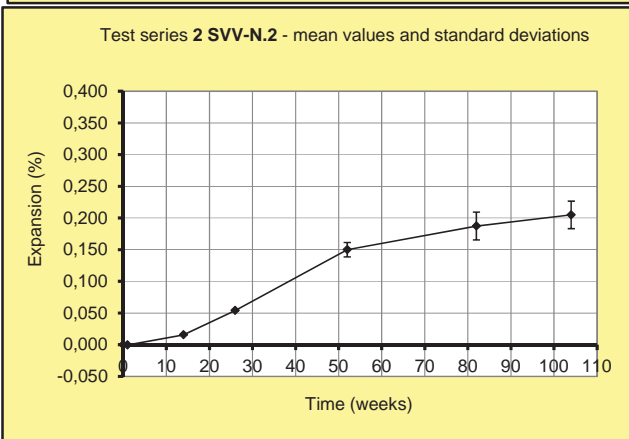
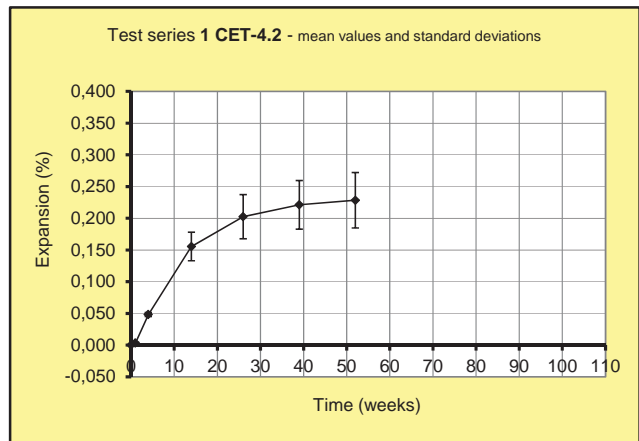
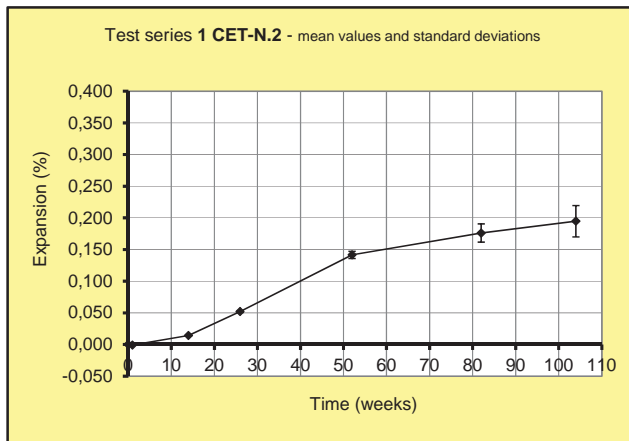
Norcem A.S Brevik, Sement- og betonglaboratoriet, 20. juli 2012

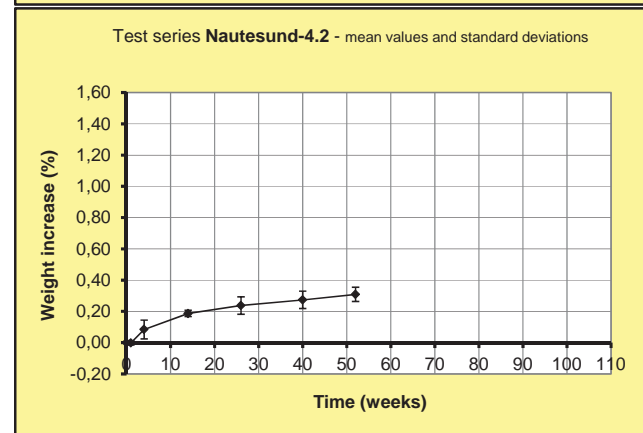
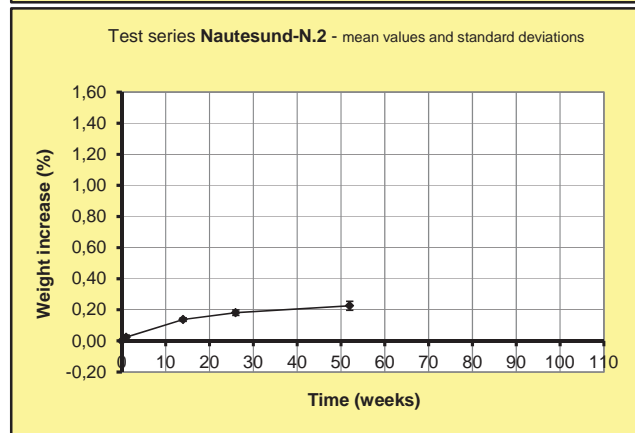
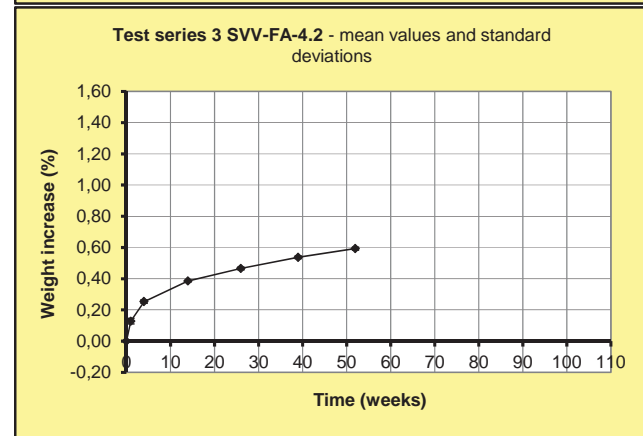
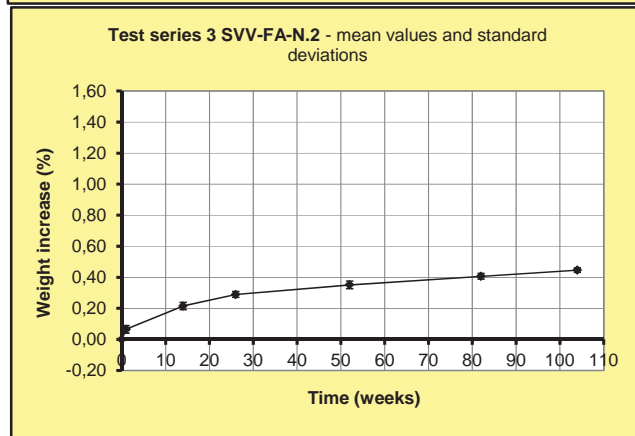
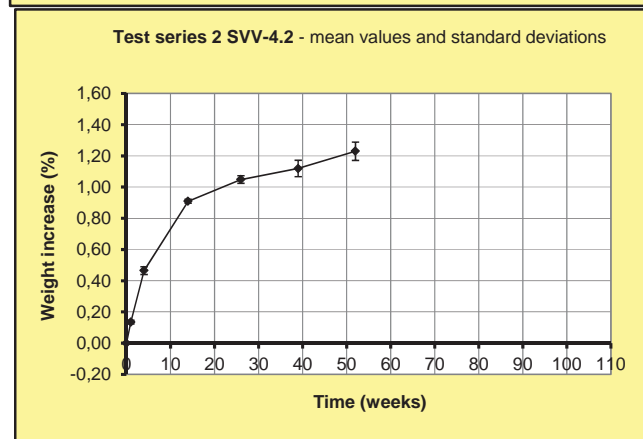
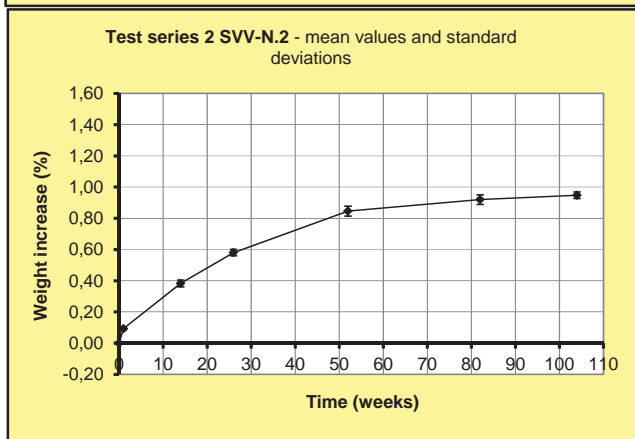
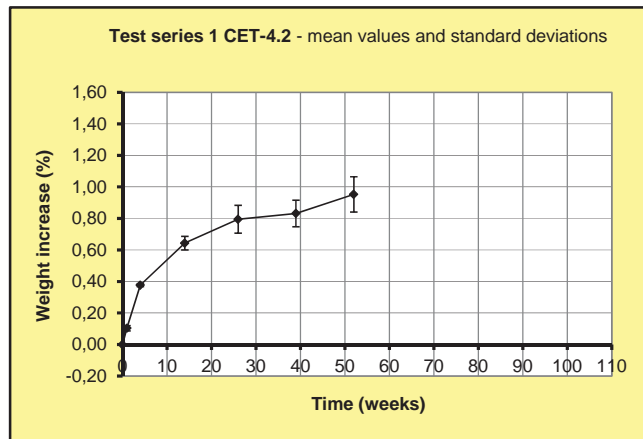
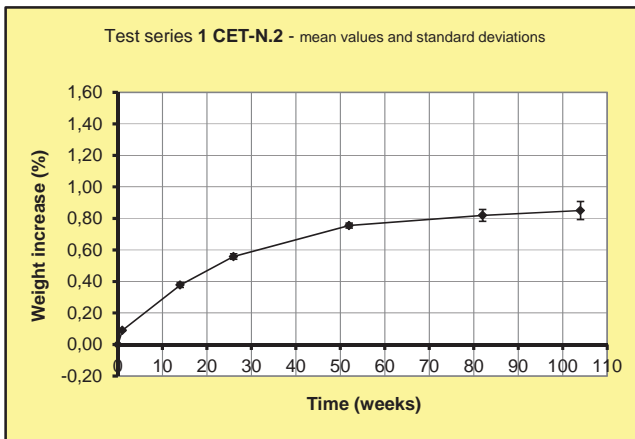
hq.

Laboratoriesjef

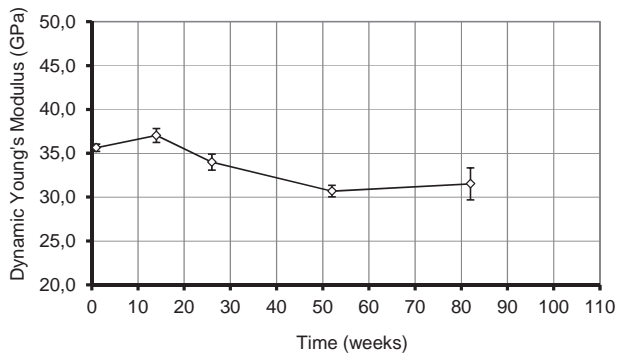


Prøve mrk	Fraksjon	Sikterest i % på sikt									
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
Farevollen Grustak	0/8 mm	98,0	96,4	93,2	87,5	76,7	57,4	33,9	5,7	0,0	0,0
	8/36 mm	99,6	99,0	97,7	95,8	95,3	95,2	95,2	92,7	30,3	1,3
	Sammensatt tilslag	98,7	97,7	95,6	91,9	84,9	72,3	57,0	38,7	15,0	0,0

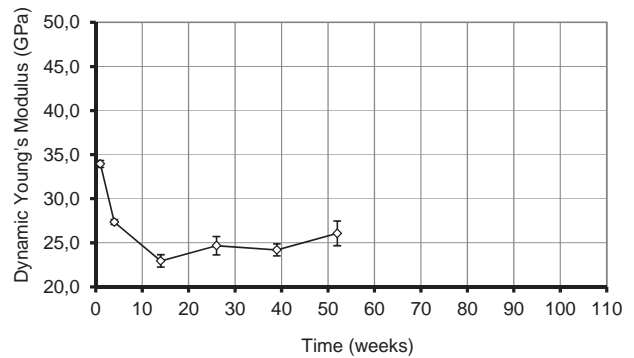




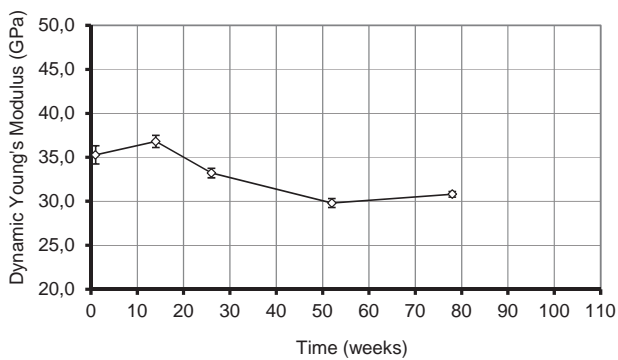
1 CET-N.2 - mean values and standard deviation



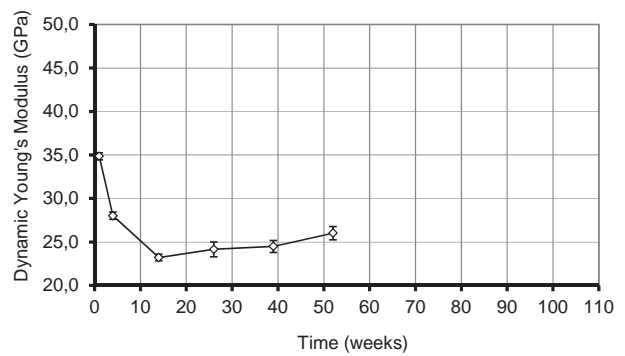
1 CET-4.2 - mean values and standard deviation



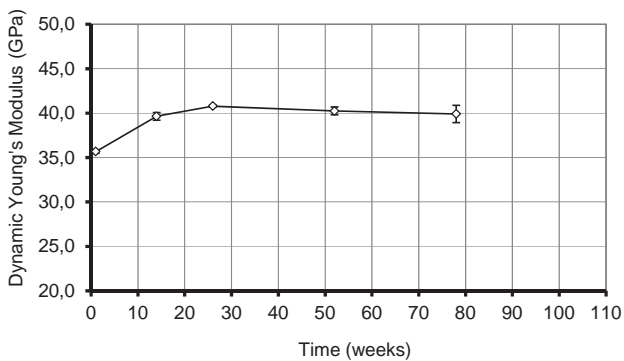
2 SVV-N.2 - mean values and standard deviation



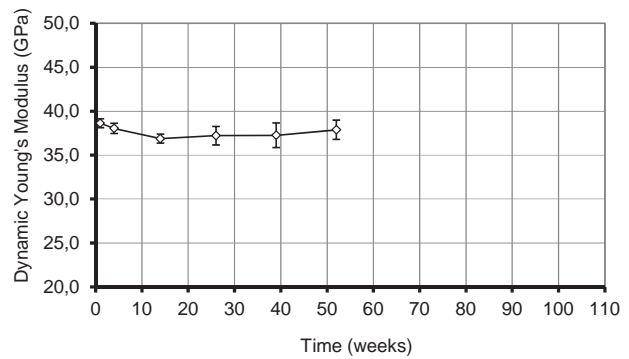
2 SVV-4.2 - mean values and standard deviation



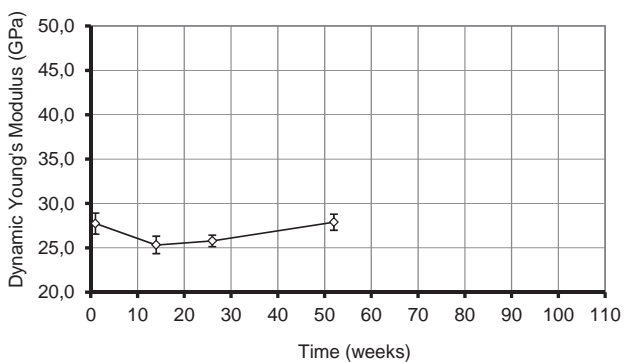
3 SVV-FA-N.2 - mean values and standard deviation



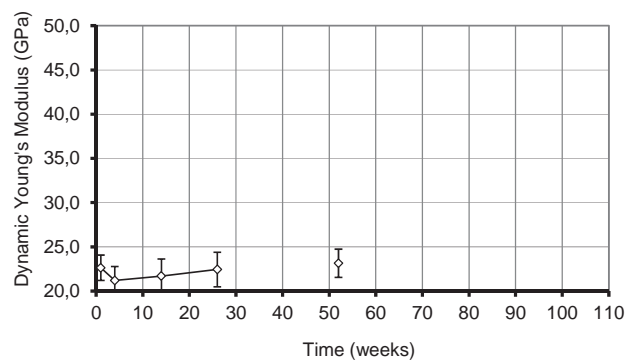
3 SVV-FA-4.2 - mean values and standard deviation



Nautesund-N.2- mean values and standard deviation



Nautesund-4.2- mean values and standard deviation



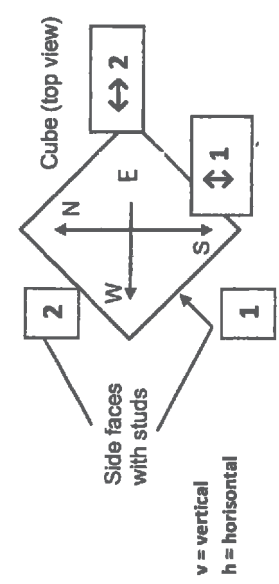
Vedlegg 10, side 1 av 7

FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

Recipe: NAUTESUND 1 LET 4.4 Cube marked: 279.12 Date of casting: 27/9.12 Date placed in field: 6/11.12

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)									
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar	
					L ₁	L _{d11t}	L _{d2t}	L _{v11t}	L _{h11t}	L _{v2t}	L _{h2t}	L ₁		
Zero reading (lab.) ¹	6/11-12	16°C, Sunny	CH/KC	0	0,000	0,635	0,369	0,203	0,349	0,117	0,200	0,000		
Zero reading field ¹	8/7-13	16°C, Sunny	CH/KC		0,000	0,638	0,413	0,167	0,346	0,129	0,200	0,000		
New zero reading field ²	12/7-13	16°C, sunny	DL/Roger		0,000	0,650	0,388	0,307	0,346	0,129	0,200	0,000		
New zero reading field ³	29/8-14	16°C, sunny	DL/CT		0	0,648	0,380	0,288	0,342	0,122	0,131	0		
Annual reading		°C, ---												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												

Start 09/10/188 Ref.



¹ SINTEFs new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFs new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

* Daria hvU

Vedlegg 10, side 2 av 7

FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

MAUTESUND
25VV-L
EXT. 2012

Recipe:

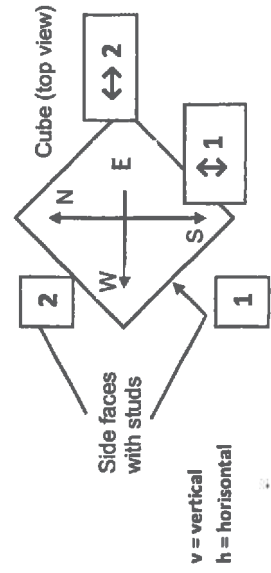
Cube marked: 110-12

Date of casting: 6/11/12

Date placed in field: 6/11/12

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)									
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar	
					L _i	L _{-d1/t}	L _{-d2/t}	L _{-v1/t}	L _{h1/t}	L _{-v2/t}	L _{h2/t}	L _i		
Zero reading (lab.) ¹	5/11-12	°C	ct/kl	0	0,000	±0,155	+0,359	±0,198	±0,063	±0,564	+0,231	+0,007		
Zero reading field ¹	3/7-12	14°C, sunny	UL-ØL		0,000	±0,140	*	*	*	*	*	*		
New zero reading field ²	12/7-13	16°C, sunny	ØRøyer		0,000	+0,160	0,419	±0,195	±0,058	0,460	0,244	0,000		
New zero reading field ³	28/8-14	°C, Sunny	ct/kl	0	0,000	±0,148	0,416	±0,191	±0,045	0,459	0,225	0,000		
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												

REF.



¹ SINTEFs new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFs new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

Vedlegg 10, side 3 av 7

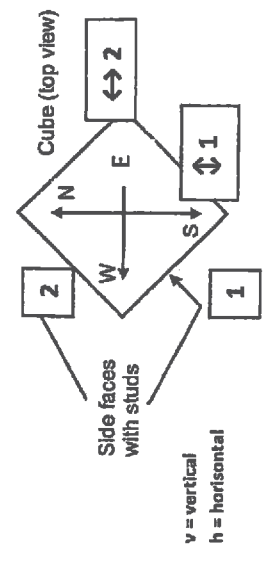
FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

Recipe: Cube marked: 25VV - B - 0 Date of casting: 11/0-12 Date placed in field: 11/11-12
AVÅTTESB AND OKT. 2012

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)									
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar	
					L _i	L _{d1n}	L _{d2n}	L _{v1n}	L _i	L _{v2n}	L _{h2n}	L _i		
Zero reading (lab.) ¹	5/11-12	°C	Cf/Kt	0	0,000	0,051	0,512	0,463	0,349	0,333	0,109	0,000		
Zero reading field ¹		°C												
New zero reading field ²		°C												
New zero reading field ³	20/4/2013	19°C, Sunny	YAN	0	0,000	0,032	0,420	0,538	0,350	0,041	0,302	0,002		
Annual reading (a)	26/11/2013	15°C, Suddst	Ofthim	7	0,000	0,019	0,407	0,527	0,337	0,022	0,283	0,000		
Annual reading	2/5/2014	22°C, Sunny	Refim	12	0,000	0,020	0,402	0,520	0,347	0,037	0,299	0,000		
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												

Ref.

(1)



¹ SINTEFS new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFS new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

(1) After PIN'S ADJUSTMENT AT LNEC
 (2) Small cracks face 2

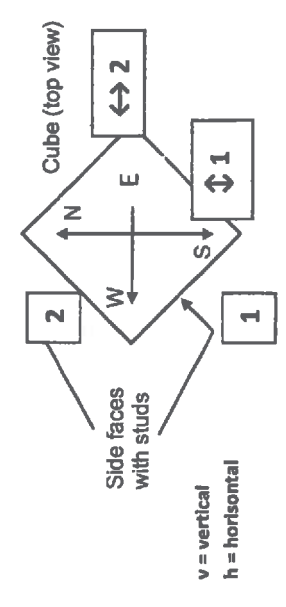
Vedlegg 10, side 4 av 7

FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

Recipe: NAUTESUDD
 Cube marked: 3 SVV-FA-L A Date of casting: 3/10-12 Date placed in field: 6/11-12

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)											
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar			
					L _i	L _h	L _d /t	L _d /t	L _v /t	L _h /t	L _v /t	L _h /t	L _v /t	L _h /t	L _i	
Zero reading (lab.) ¹	6/11-12	°C.	ct/rc	0	0,000	0,288	0,558	0,195	0,435	0,150	0,261	0,000	0,000			
Zero reading field ¹	3/7-13	18°C, sunny	dl/bl		0,000	*	0,550	*	0,435	*	*	0,000	0,000			
New zero reading field ¹	12/7-13	16°C, sunny	dl/rc		0,000	0,378	0,682	0,278	0,319	0,389	0,252	0,000	0,000			
New zero reading field ³	2/8-14	°C, sunny	ct/rc		0,000	0,381	0,576	0,274	0,307	0,381	0,245	0,000	0,000			
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														
Annual reading		°C.														

Ref.



¹ SINTEFs new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFs new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

Vedlegg 10, side 5 av 7

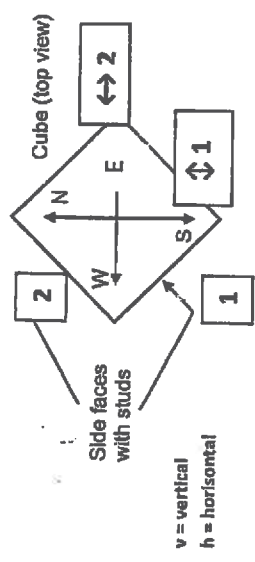
FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

NAVTESSUND

Recipe: Cube marked: 3 SVV-FA-L-B Date of casting: 3/10-12 Date placed in field: 11.12

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)											
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar			
					L ₁	L ₂	L ₀₂₁	L ₀₁₁	L ₁₁	L ₂₁	L ₁₂₁	L ₂₂	L ₁	L ₂		
Zero reading (lab.) ¹		°C,	effekt	0	0,000	0,000	+0,126	+0,150	+0,302	+0,302	+0,086	+0,143	0,000	0,000		
Zero reading field ¹		°C,														
New zero reading field ²		°C,														
New zero reading field ³	2014/2013	19°C. Sunny	JAN		0,000	0,206	0,411	0,278	-0,335	0,090	-0,099	-0,099	0,000	0,000		
Annual reading (a)	2013/14	15°C. Shadow	Febru	7	0,000	0,188	0,386	0,250	-0,347	0,107	-0,101	-0,101	0,001	0,001		
Annual reading (b)	2014/15	20°C. Sunny	Febru	12	0,000	0,191	0,388	0,257	-0,348	0,112	-0,102	-0,102	0,001	0,001		
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														
Annual reading		°C,														

Ref.



¹ SINTEFs new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFs new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

(a) small circles on face 2
 (b) face 1

Vedlegg 10, side 6 av 7

FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

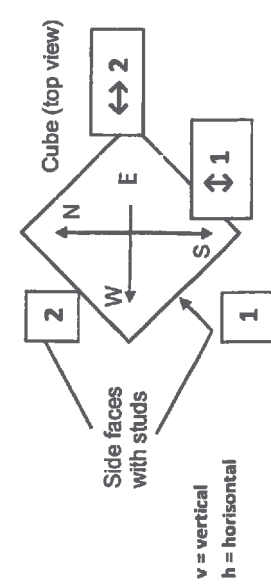
NAUTÉSUNO

Recipe: Cube marked: BRU - A
OKTOBER 2012

Date of casting: Date placed in field: 6/6-12

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)									
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar	
					L ₁	L _{d1/t}	L _{d2/t}	L _{v1/t}	L _{h1/t}	L _{v2/t}	L _{h2/t}	L ₁		
Zero reading (lab.) ¹	6/4-12	°C,	←/→	0	0,000	+0,564	+0,015	+0,378	+0,095	+0,287	+0,473	0,000		
Zero reading field ¹	3/7-13	19°C, sunny	←/→		0,000	*	*	*	*	*	*			
New zero reading field ²	12/7-13	16°C, sunny	PL Reges		0,000	0,551	+0,131	0,540	0,026	0,356	0,696	0,000		
New zero reading field ³	29/8-14	°C, -11-	Ref/UT		0	0,596	-0,082	0,586	0,074	0,393	0,753	0		
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												
Annual reading		°C,												

Ref.



¹ SINTEFs new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFs new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

Vedlegg 10, side 7 av 7

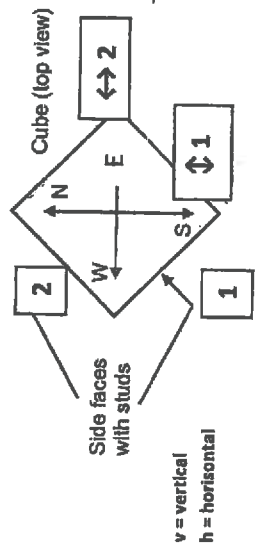
FIELD CUBES stored in Trondheim / Lisbon - dimension readings

Cube marked: **BRU - 6**
OKTODER 2012

Recipe: **BRU - 6** Date of casting: **11/11 - 12**

Time of reading	Date	Weather (temp? sunny or cloudy?)	Sign.	Storage time, t (months)	Readings (mm)									
					Invar		Top		Side face 1		Side face 2 (adjacent to side face 1)		Invar	
					L ₁	L ₂	L _{01h}	L _{02h}	L _{v1h}	L _{h1h}	L _{v2h}	L _{h2h}	L ₁	L ₂
Zero reading (lab.) ¹	6/11-12	°C	6/12	0	0,000	0,000	+0,176	+0,494	+0,035	+1,577	+0,042	+0,107	0,000	0,000
Zero reading field ¹		°C												
New zero reading field ²		°C												
New zero reading field ³	20/4/2013	19°C	SUNNY	RP	0,000	0,432	0,350	0,079	1,164	0,033	0,121	0,001	0,001	
Annual reading (a)	2013/11/26	16°C	SHADY	RP	0,000	0,434	0,381	0,105	1,176	0,042	0,131	0,000	0,000	
Annual reading	2014/05/02	22°C	SUNNY	RP	0,000	0,447	0,389	0,140	1,201	0,064	0,140	0,001	0,001	
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												
Annual reading		°C												

Ref.



Face 2:
L_{v2/h} ⇒ 2 = vertical

¹ SINTEFs new measuring device (measured in Trondheim)
² SINTEFs new measuring device (reading taken at LNEC, Lisbon, Portugal)
³ LNECs measuring device (applied for the remaining readings at LNEC)

(a) - Gets on faces 1 and 2

Jan Lindgård 2012-10-19



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Notat

Risstall i utborede betongkjerner fra rigel i Nautesund bru

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Marit Haugen

BEHANDLING
 UTTALELSE
 ORIENTERING
 ETTER AVTALE

GÅR TIL

Eva Rodum, Statens vegvesen Vegdirektoratet

x

Jan Lindgård, SINTEF

x

PROSJEKTNR / SAK NR
 102000722

DATO
 2015-02-17

GRADERING
 Fortrolig

SINTEF Byggforsk har etter avtale med oppdragsgiver beregnet risstall i planslip fra betong som er boret ut fra østre rigel (akse 3, flate mot vest) i Nautesund bru /1/. Kjernene ble boret ut i november 2009, etter riving av brua og transport av tilsagede elementer til SINTEF Byggforsk i Trondheim (se Figur 1). Kjernene ble boret gjennomgående gjennom rigelen med en diameter på 94 mm og en lengde på 410 mm (med unntak av en kjerne som var 330 mm lang). Etter utboring ble kjernene pakket i plast og oppbevart på kjølerom ved + 5 °C i SINTEFs laboratorium. Ved tildanning av planslip var det av prepareringstekniske årsaker nødvendig å kutte lengden på kjernene til ca 320 mm, og de bakre ca 90 mm (fra flate mot øst ble saget fra). Planslipene ble tildannet i januar 2014. Undersøkelsen foretas på fluorescensimpregnerte planslip som bestråles med UV-lys.

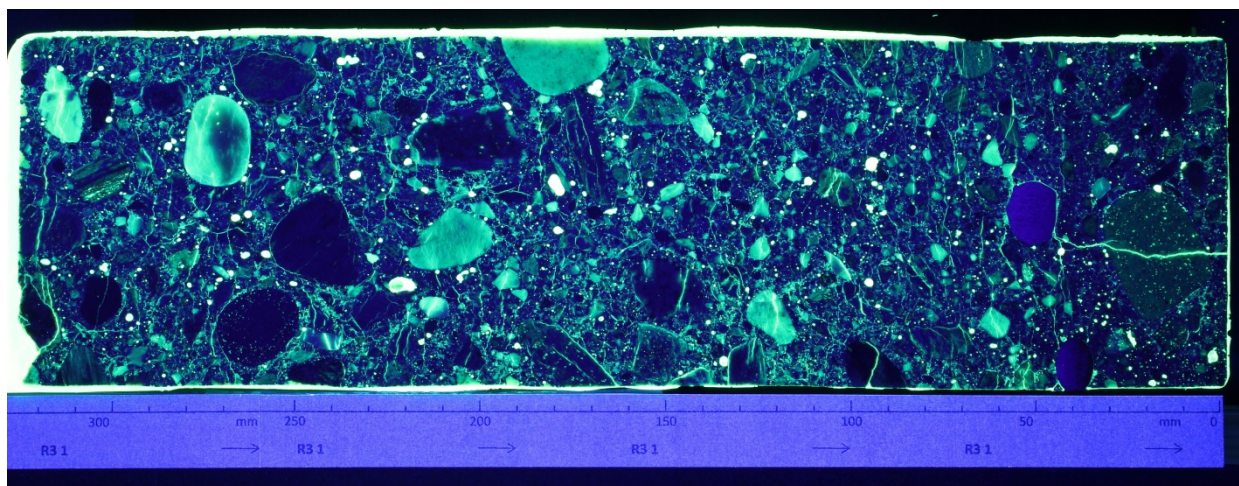
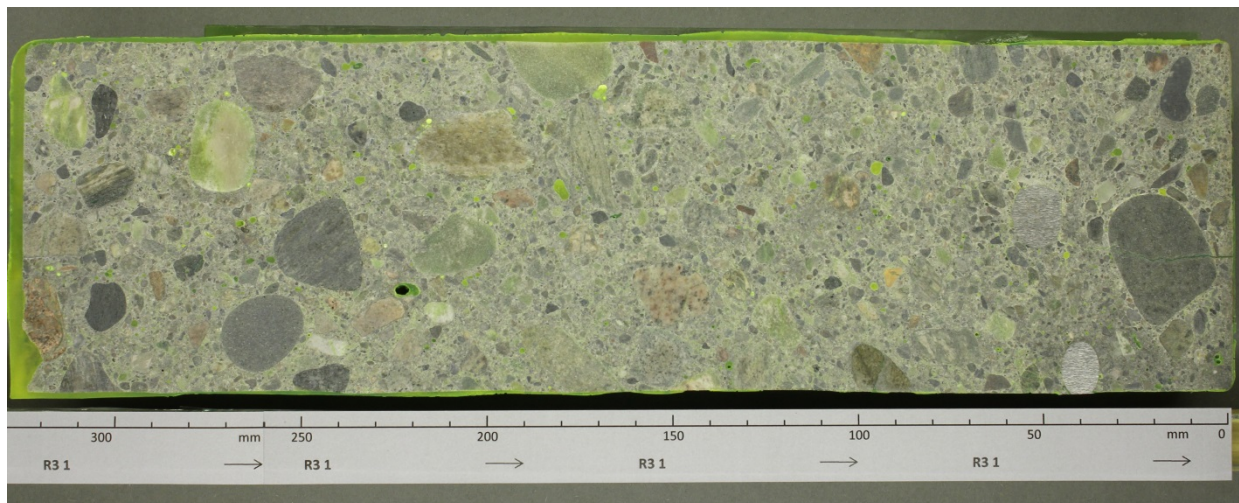
Risstallet ble beregnet i henhold til en prosedyre som ble benyttet i FoU-prosjektet ”Optimal utnyttelse av tilslagsressurser i Norge. Alkalireaksjoner i betong – oppfølgende feltprosjekt”, som ble gjennomført i regi av SINTEF i perioden 2000-2002 /1/. Ved undersøkelse av risstall registreres totalt antall stein større enn 4 mm med riss samt stein med riss ut i pasta. Antall partikler med henholdsvis riss og med riss ut i pasta beregnes som % av totalt antall stein. Deretter registreres riss i pasta (antall pr cm²). Ved hjelp av en formel vektet disse parametrene, og risstallet beregnes /2/.

Resultatene er presentert for hver enkelt kjerne på de neste sidene. For alle prøvene er overflaten til høyre på bildene. Til slutt i notatet (Figur 2) er risstallet presentert grafisk for hvert delareal som planslipet ble delt inn i under risstillingen (4-7 delarealer).



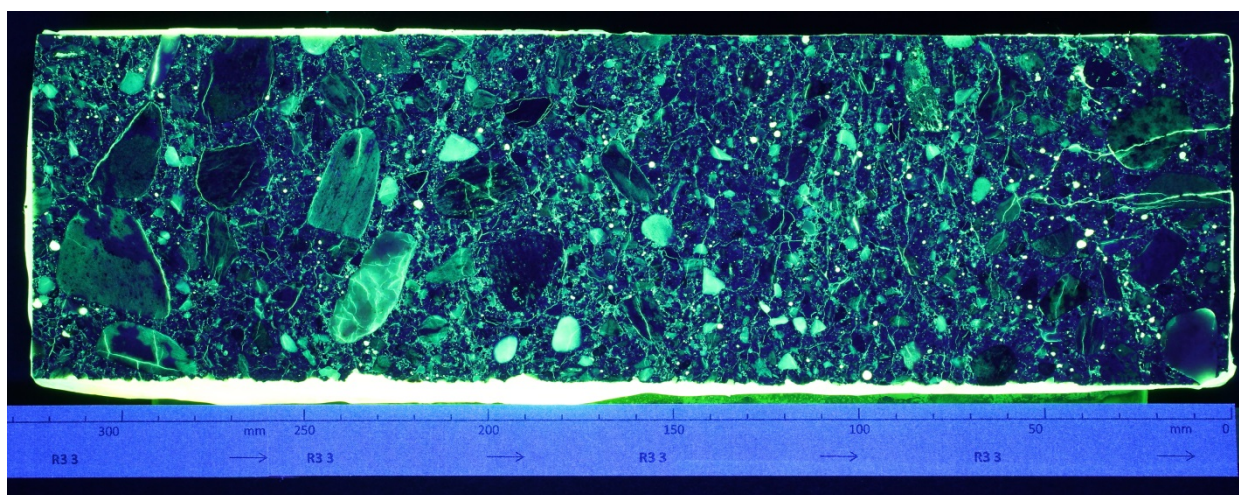
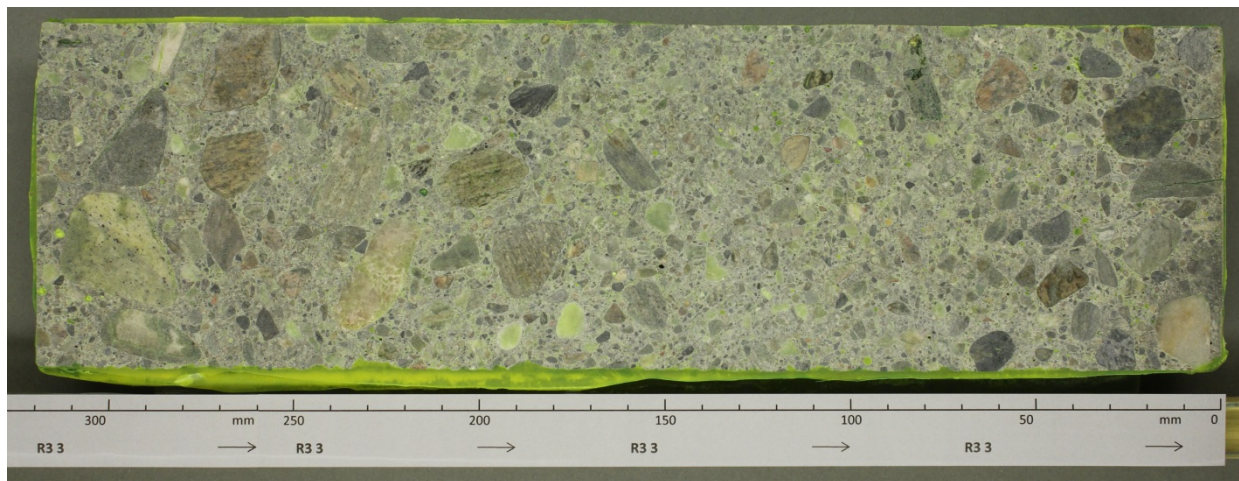
Figur 1. Lokalitet og merking av kjerner boret fra rigel i akse 3, flate mot vest. Påtegnede piler markerer retning mot toppen av rigel.

Prøve R3 1



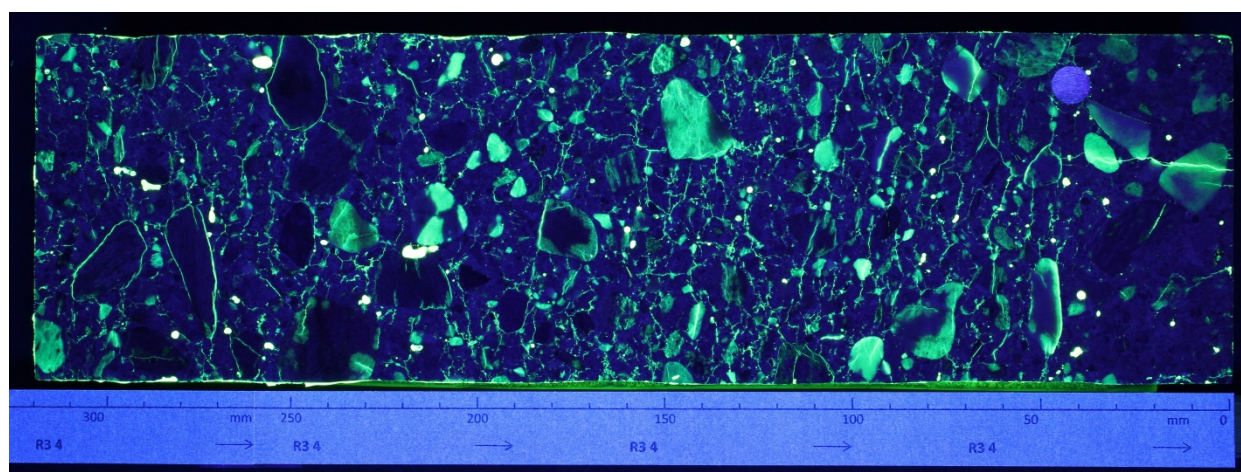
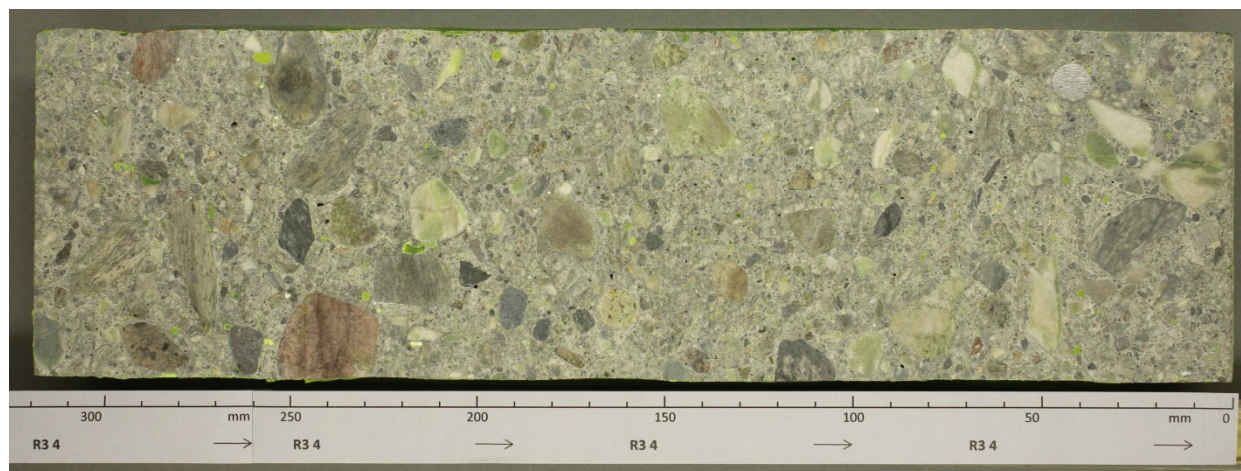
Risstell: 29,8

Prøve R3 3



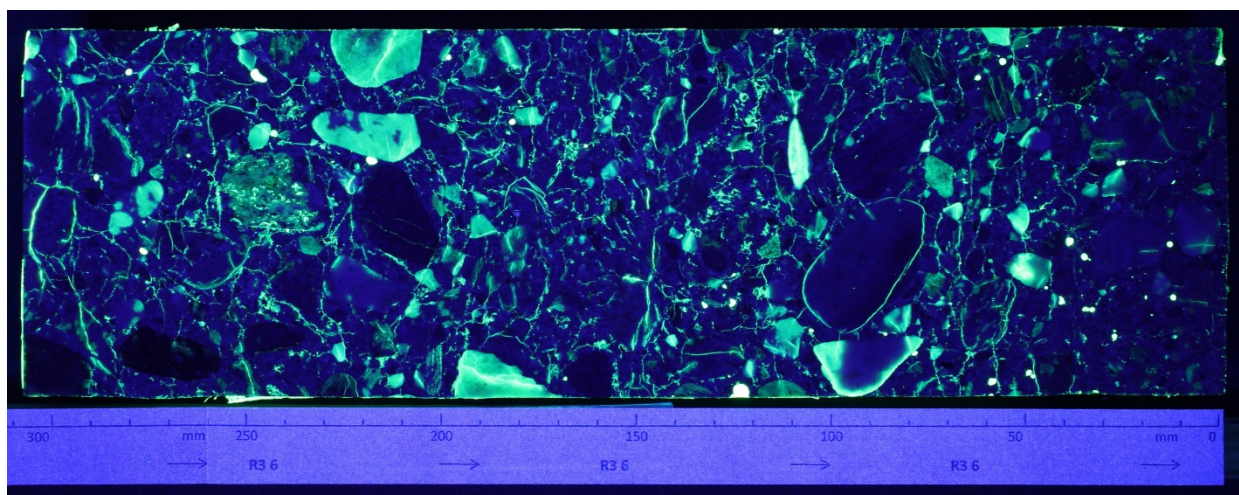
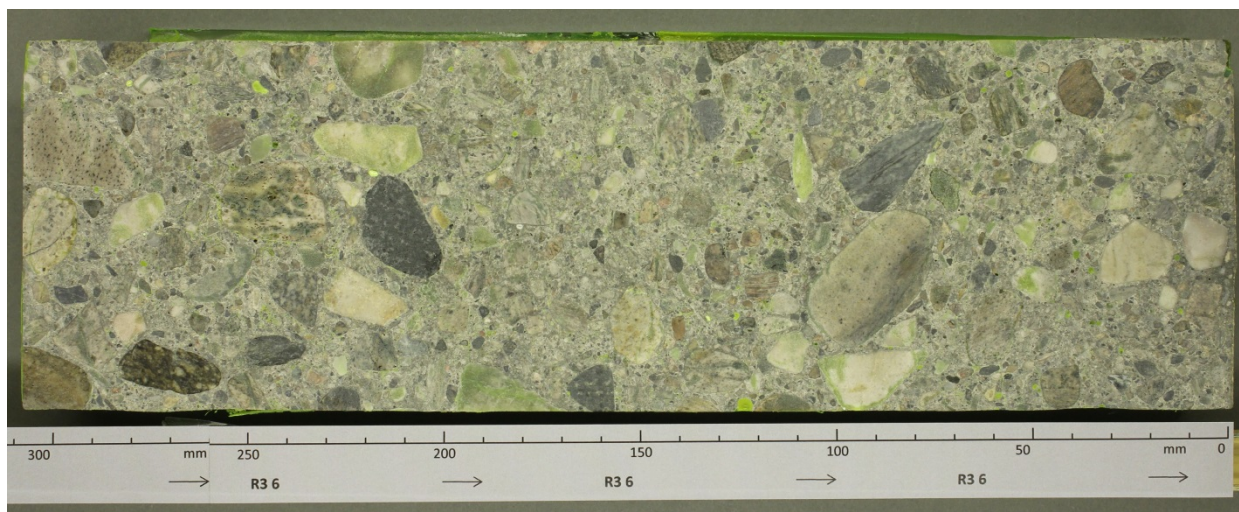
Risstall: 34,0

Prøve R3 4



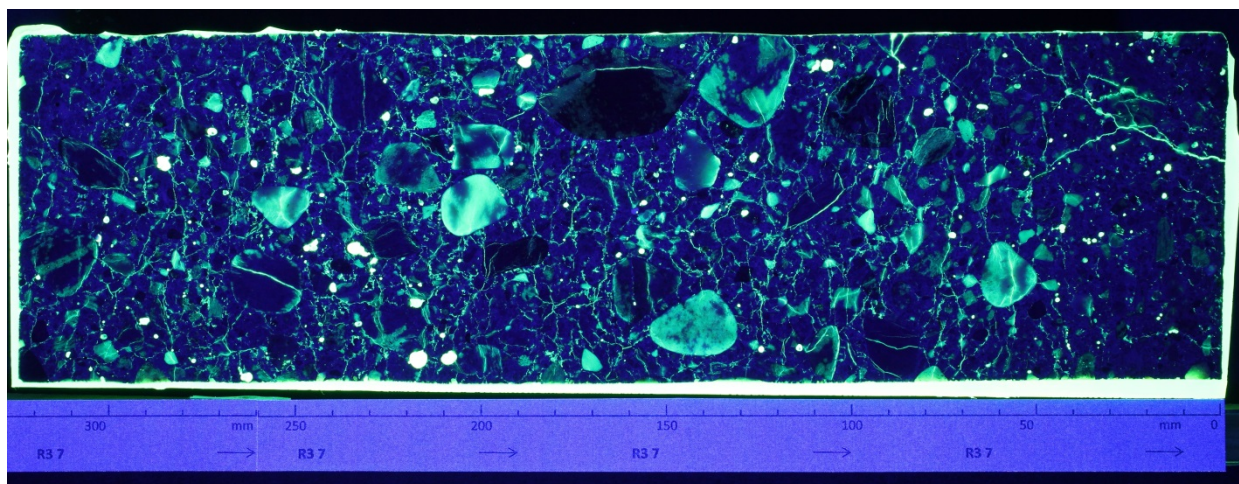
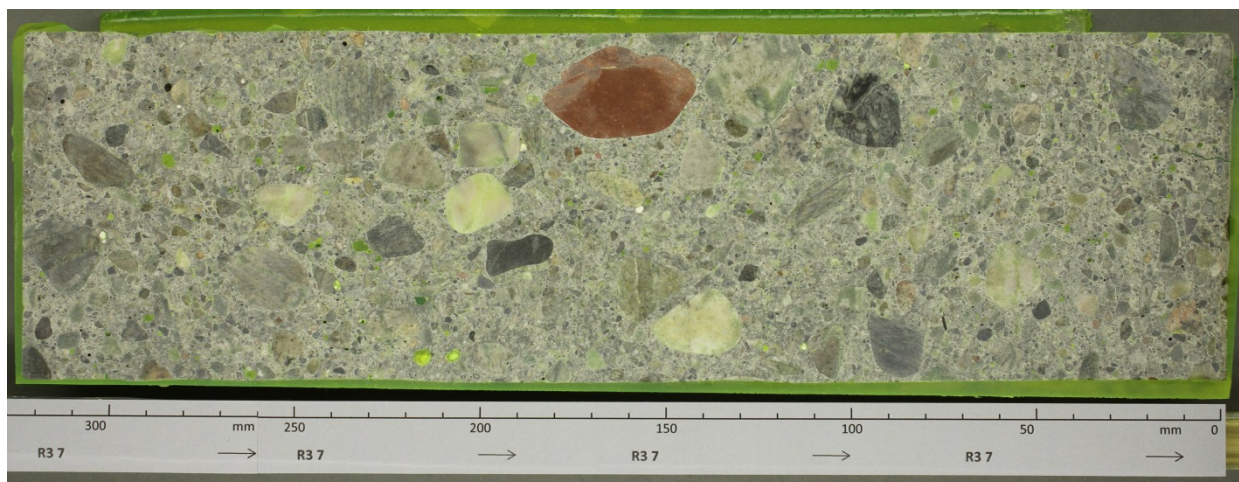
Risstall: 35,0

Prøve R3 6



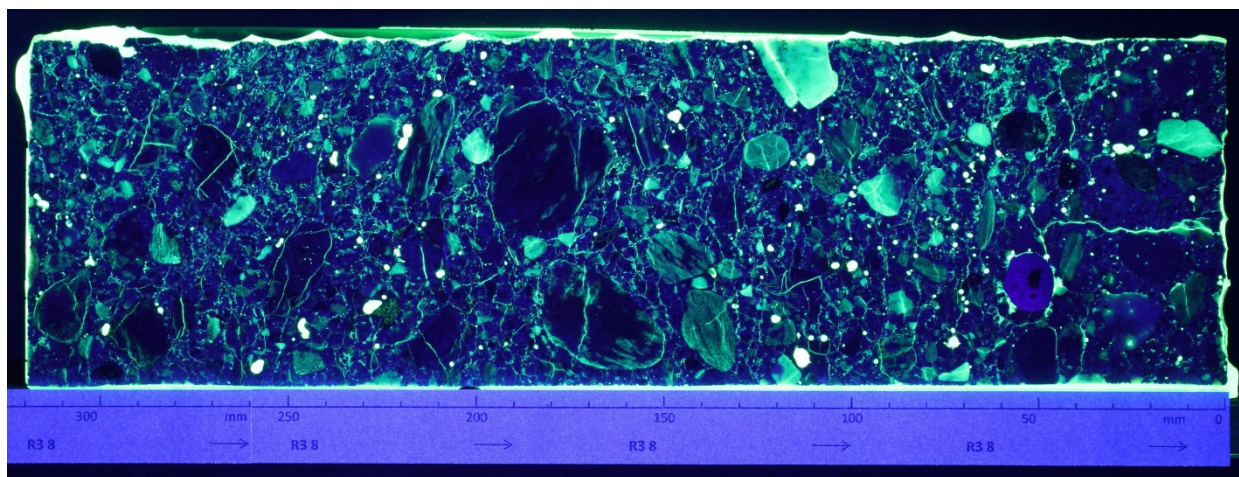
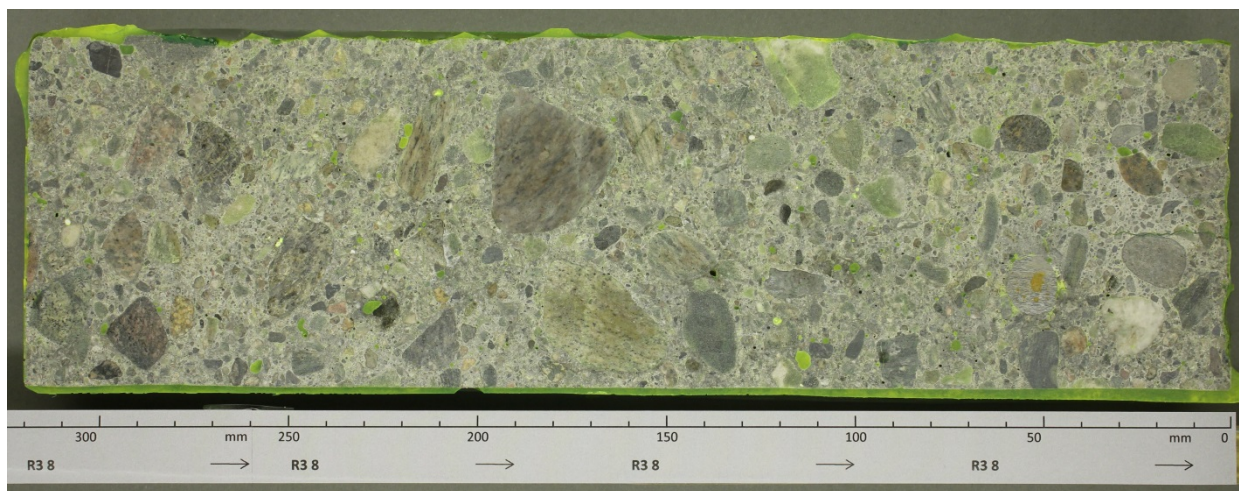
Risfall: 28,4

Prøve R3 7



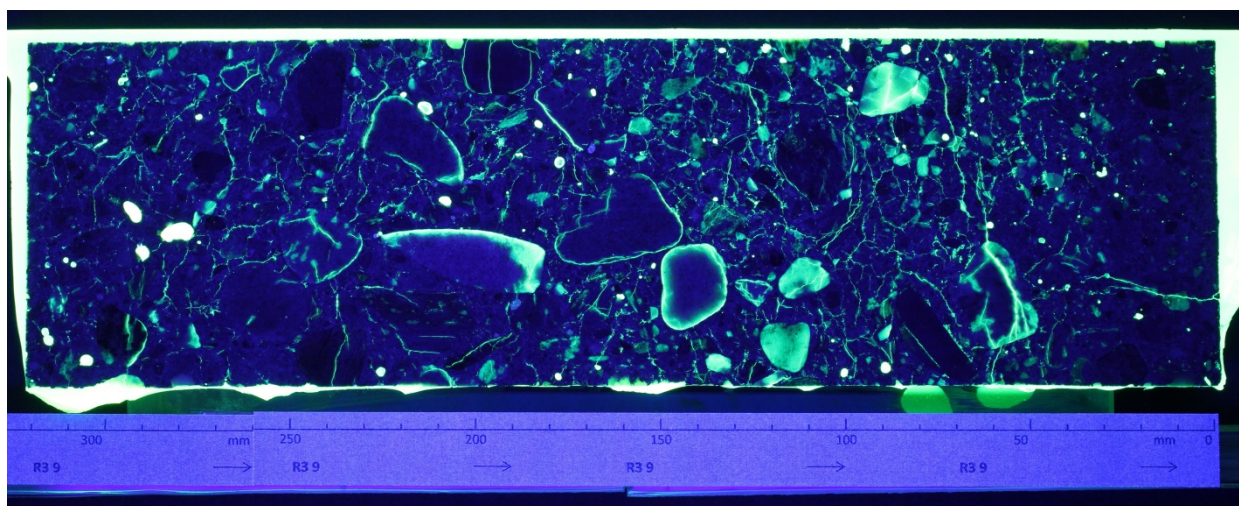
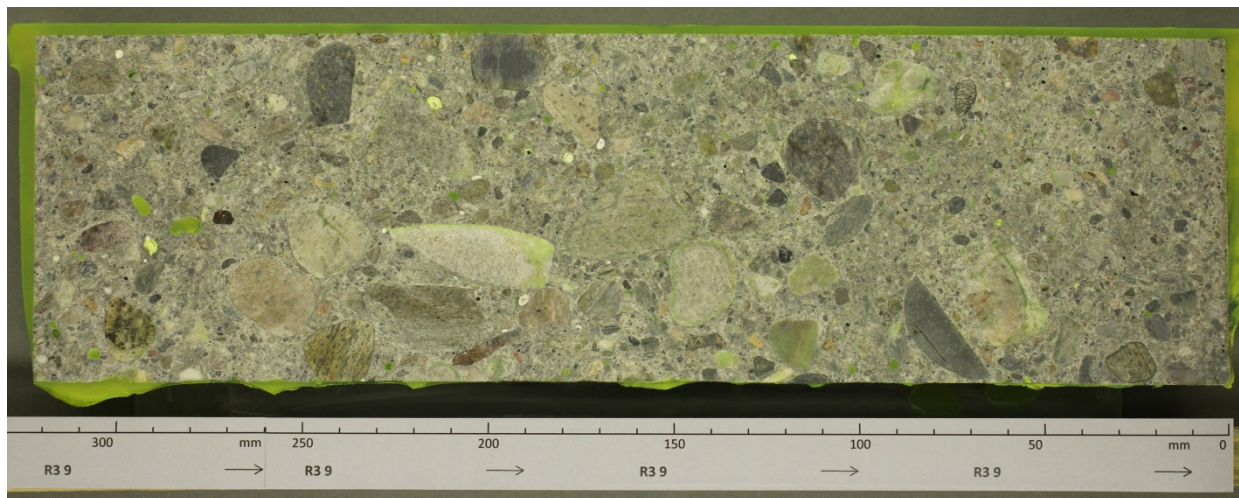
Risstell: 29,4

Prøve R3 8



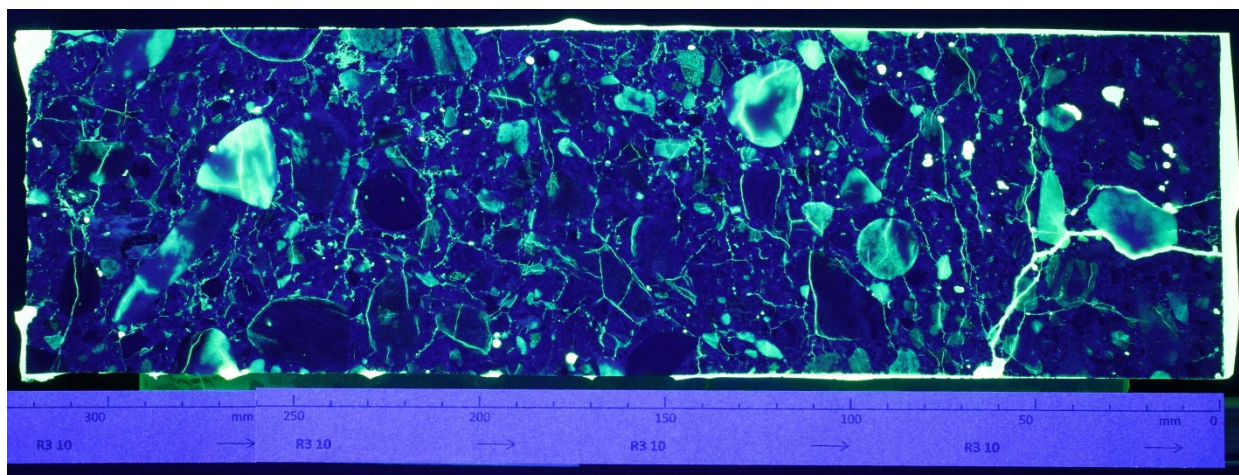
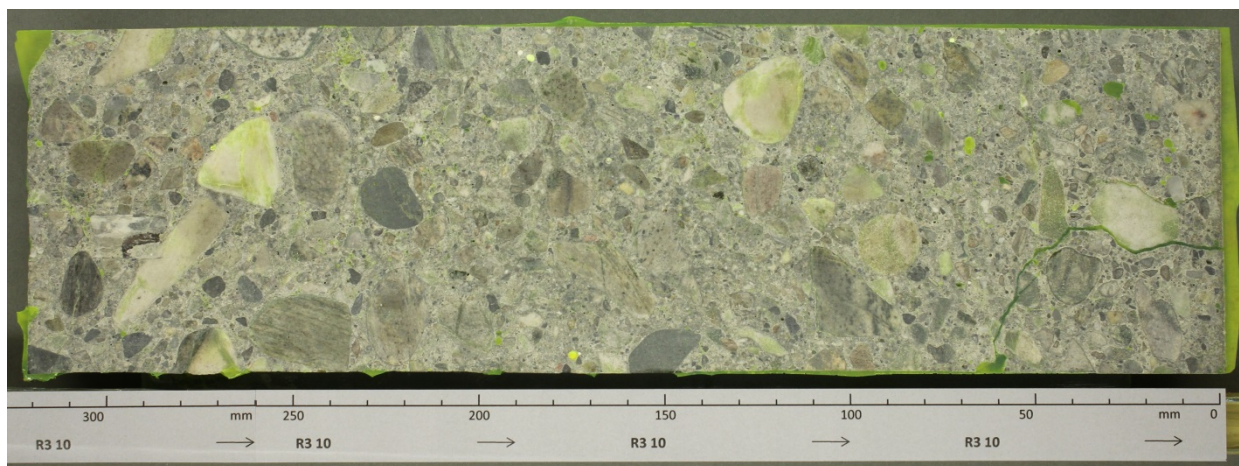
Risstell: 32,7

Prøve R3 9

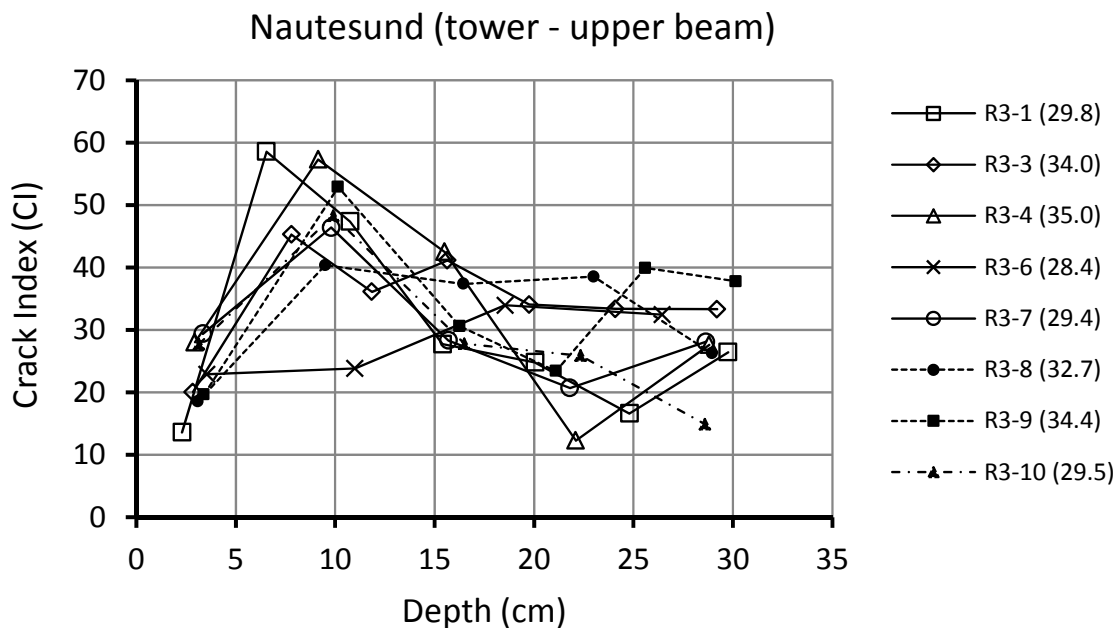


Risstell: 34,4

Prøve R3 10



Risfall: 29,5



Figur 2. Risstall i hvert delareal som planslipene ble delt inn i under risstillingen. For hvert delareal er midlere risstall plottet mot midlere dybde for det aktuelle delarealet. Det samlede risstallet for hvert enkelt planslip er gitt i parentes.

Referanse

1. Rodum, E. og Stemland, H.: «Alkalireaksjoner - Undersøkelser av Nautesund bru etter 50 år. Felt- og laboratorieundersøkelser og belastningsprøving av armerte elementer», Statens vegvesen rapport nr. 306, Juni 2014
2. Lindgård, J. og Wigum, B.J.: »Alkalireaksjoner i betong – felterfaringer», SINTEF-rapport STF22 A02616, mars 2003



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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen