

FoU-programmet Varige konstruksjoner 2012-2015

Sluttrapport

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 606



Illustrasjon: Grafisk senter

Tittel

FoU-programmet Varige konstruksjoner
2012-2015

Undertittel

Sluttrapport

Forfatter

Aktivitets- og prosjektledere

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og
teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 606

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling bruer,
tilstandsutvikling tunneler, fremtidens bruer,
fremtidens tunneler

Sammendrag

FoU-programmet Varige konstruksjoner ble gjennomført i perioden 2012-2015, under Tunnel- og betongseksjonen på Trafikksikkerhet-, miljø-, og teknologiavdelingen i Vegdirektoratet. Programmet har hatt totalt 26 aktiviteter fordelt på de fire prosjektene; Tilstandsutvikling bruer, Tilstandsutvikling tunneler, Fremtidens bruer og Fremtidens tunneler.

Formålet med programmet var å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for bruer og tunneler. For å kunne realisere formålet har programmet hatt som mål å bidra til oppdatering av regelverk, gi økt kunnskap om miljøbelastninger og nedbrytingsmekanismer for bruer og tunneler, samt gi konkrete forslag til gode løsninger.

Denne rapporten beskriver de ulike aktivitetene, hvilke resultater og funn som er frembrakt, hva som allerede er implementert og hva som bør implementeres, videre anbefalinger og arbeid, samt oversikt over publikasjoner.

Antall sider 97

Dato Mai 2016

Title

The R&D programme Durable structures
2012-2015

Subtitle

Final report

Author

Activity- and project managers

Department

Traffic Safety, Environment and Technology
Department

Section

Tunnel and Concrete

Project number

603242

Report number

No. 606

Project manager

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Durable structures, existing bridges, existing
tunnels, future bridges, future tunnels

Summary

The R&D programme Durable structures was run in the period 2012-2015, under supervision by the Tunnel and Concrete Section in the Traffic Safety, Environment and Technology Department of the Directorate of Public Roads. The R&D programme included 26 activities in four projects: Existing bridges; Existing tunnels; Future bridges; Future tunnels.

The main objective of the programme was to contribute to more predictability in operations and maintenance of bridges and tunnels. In order to realize the objective, several aims were established: to update relevant regulations, to provide greater knowledge about environmental impacts and degradation mechanisms of bridges and tunnels, and to provide standardized solutions to specific problems.

This report describes the various activities, the results and findings obtained, what has already been implemented and what should be implemented, further recommendations and work and a list of publications.

Pages 97

Date May 2016



1 Innhold

2	Sammendrag	3
3	Summary	6
4	FoU-programmet Varige konstruksjoner	9
4.1	Innledning	9
4.2	Bakgrunn	9
4.3	Formål og mål	10
4.4	Prosjekter	10
4.5	Gjennomføring	11
4.6	Implementering	11
5	Tilstandsutvikling bruer	13
5.1	Innledning	13
5.2	Tilstandsutvikling for nyere betongbruer	14
5.3	Alkalireaksjoner	17
5.4	Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer	23
5.5	Riss og korrosjon	26
5.6	Asfaltfuger	29
6	Tilstandsutvikling tunneler	31
6.1	Innledning	31
6.2	Tilstandsutvikling for bolter	32
6.3	Miljøbelastinger i vegtunnelar	34
6.4	Tilstandskartlegging av vann- og frostsikringsløsninger	37
6.5	Bestandighet av sprøytebetong	39
6.6	Tilstandsutvikling for tekniske installasjoner	43
7	Fremtidens bruer	46
7.1	Innledning	46
7.2	Fremtidens brubetonger	47
7.3	Overflatebehandling av betong	52
7.4	Brudetaljer	55
7.5	Optimal lengde for landkarløse bruer	57
7.6	Fugeutforming	59

7.7	Fiberarmering	61
7.8	Skadekatalog for trebruer	63
8	Fremtidens tunneler	65
8.1	Innledning	65
8.2	Kvalitet av tunnelkontur	66
8.3	Helstøpt tunnelhvelv.....	70
8.4	Tunnelbelysning	73
8.5	Drift- og vedlikeholdsrevisjoner, VEGRAMS	75
8.6	Dristige tunneler – utfordringer og grenser	77
8.7	Gode løsninger for vegtunneler	80
8.8	Gode vann- og frostsikringsløsninger	82
8.9	Energieffektive tunneler.....	84
8.10	Nye materialer for bru og tunnel	86
9	Prosjektorganisering og prosjektdeltagere	88
9.1	Intern organisering	88
9.2	Samarbeidspartnere.....	90
10	Publikasjoner	92
10.1	Rapporter	92
10.2	Artikler	96

2 Sammendrag

FoU-programmet Varige konstruksjoner ble gjennomført i perioden 2012–2015, under Tunnel- og betongseksjonen på Trafikksikkerhet-, miljø-, og teknologiavdelingen i Vegdirektoratet. Formålet med programmet har vært å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for bruer og tunneler, og dermed også til å gi lavere kostnader. For å kunne realisere formålet har programmet hatt som mål å bidra til oppdatering av regelverk, gi økt kunnskap om miljøbelastninger og nedbrytingsmekanismer for bruer og tunneler, samt gi konkrete forslag til gode løsninger. Programmet har også hatt mål om at resultater skal bli implementert fortløpende, både som oppdatert regelverk og delt kunnskap.

FoU-programmet Varige konstruksjoner har hatt totalt 26 aktiviteter fordelt på de fire prosjektene; *Tilstandsutvikling bruer*, *Tilstandsutvikling tunneler*, *Fremtidens bruer og Fremtidens tunneler*. Det store spennet i aktiviteter – både faglig, i størrelse og detaljeringsgrad, samt i type leveranser – gjør at programmet ikke har én konklusjon. Hver aktivitet har sine funn og resultater som kan tas i bruk på ulike måter både internt i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig. Faglig sett omfatter programmet detaljundersøkelser av betong, stål, og til dels også tre, i både bru og tunnel, detaljtegninger og valg av konstruksjonsløsninger og strategier for hvordan vi bør bygge fremtidens konstruksjoner. Noen av de mindre aktivitetene tar for seg enkelte detaljer, f.eks. hvordan utføre mekaniske brufuger eller hvilken effekt riss har på armeringskorrosjon, mens andre, større aktiviteter går hele veien fra tilstandskartlegging av eksisterende konstruksjoner til forslag til gode løsninger for nye. Et eksempel på det siste er aktivitetene som omhandler vann- og frostsikringsløsninger i tunneler. Type leveranse spenner fra at vi har fått mer kunnskap om et tema, som det kan bygges vider på i senere undersøkelser, til konkrete forslag til løsninger som allerede er innarbeidet i regelverket og i praksis.

Hoveddelen av denne rapporten er satt av til å beskrive de ulike aktivitetene, hvilke resultater og funn som er frembrakt, hva som allerede er implementert og hva som bør implementeres, videre anbefalinger og arbeid samt oversikt over publikasjoner.

For de to bruprojektene, *Tilstandsutvikling bruer* og *Fremtidens bruer*, kan vi trekke frem aktivitetene *Alkalireaksjoner*, *Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer*, *Fremtidens brubetonger og Brudetaljer*. Aktiviteten om alkalireaksjoner er en av de største aktivitetene i hele programmet, og det er gjennomført litteraturstudier, felt- og laboratorieundersøkelser og konstruktive analyser. Resultatet fra arbeidet er bl.a. prosedyrer for oppfølging av bruer med alkalireaksjoner, prosedyrene vil bli implementert i revidert utgave av *håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer*. I tillegg er det utarbeidet en veiledning i konstruktiv analyse og evaluering av brukonstruksjoner med alkalireaksjoner. Dette temaet er det få i Norge som har kunnskap om, og veiledningen vil være et nyttig verktøy for bruforvaltningen. Aktiviteten om *korrosjonsbeskyttelse av stålbruer* har gitt oss økt kunnskap om korrosjonskader på stålbruer, og årsakene til disse. Arbeidet har resultert i skjerpede krav til korrosjonsbeskyttelse for stålbruer i de mest korrosive miljøene i *håndbok R762*

Prosesskode 2 og *håndbok N400 Bruprosjektering*, samt at det er utarbeidet forslag til reviderte rutiner for inspeksjon til implementering i *håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer*. Skjerpede krav vil gi lengre levetid for korrosjonsbeskyttelsen, og det blir mindre behov for betydelige og kostbare reparasjoner. Aktiviteten *Fremtidens brubetonger* er også en av de mest omfattende i programmet, og målet har vært å skaffe mer kunnskap om hvordan bruk av flygeaske- og slaggsementer vil påvirke betongkonstruksjoner som stedvis er utsatt for hard eksponering av sjøvann og tinesalter. Aktiviteten har hatt et FoU-samarbeid med den nederlandske forskningsinstituttet TNO om slaggbetong, og det er satt i gang et FoU-samarbeid med den svenske forskningsinstituttet CBI der bestandighetsegenskaper til betonger med flygeaske og slagg blir undersøkt både i felt og i laboratorium. Resultatet fra arbeidet har, sammen med resultater fra tidligere FoU-prosjekter, bidratt til en nylig, grundig revisjon av betongspesifikasjonene i *håndbok R762 Prosesskode 2*. Aktiviteten *Brudetaljer* er en av aktivitetene i Varige konstruksjoner som det er lettest å se den direkte nytten av. 21 kontrollerte og godkjente tegninger av brudetaljer som typisk er sårbare i et vedlikeholdsperspektiv ligger nå fritt tilgjengelig i både dwg- og jpg-format på Statens vegvesens nettsider, og flere er under utarbeidelse. Resultatet er bedre kvalitet på produksjonsunderlaget, enklere og mer effektiv kontroll og godkjenning, samt bedre kvalitet på detaljene på de bygde bruene. Mer enhetlige løsninger vil trolig også være en fordel for entreprenørene. De resterende bruaktivitetene er *Tilstandsutvikling for nyere betongbruer*, *Riss og korrosjon*, *Asfaltfuger*, *Overflatebehandling av betong*, *Optimal lengde for landkarløse bruer*, *Fugeutforming*, *Fiberarmering* og *Skadekatalog for trebruer*.

Flere av aktivitetene i prosjektet *Tilstandsutvikling tunneler* henger sammen. Aktiviteten *Miljøbelastninger i vegtunneler* gir viktige innspill om hvilke miljølaster som virker nedbrytende på både bergsikring og tekniske installasjoner, i tillegg har aktivitetene *Tilstandsutvikling for bolter* og *Tilstandsutvikling for tekniske installasjoner* bidratt til mer kunnskap om korrosjon i tunneler samt forslag til endrede krav om korrosjonsbeskyttelse til den pågående revisjonene av *håndbok N500 vegtunneler*. En av de største tunnelaktivitetene er *Bestandighet av sprøytebetong*. Denne aktiviteten bygger på flere tidligere undersøkelser av sprøytebetong i regi av Statens vegvesen, og har, sammen med disse vist at nedbryting av sprøytebetong brukt som bergsikring i tunneler blir påvirket av både materialegenskaper, grunnforhold i tunnelene og forhold i tunnelrommet. Aktiviteten har bidratt med viktig kunnskap om bestandighet av stålfiberarmert sprøytebetong, og dermed gitt bakgrunn for revisjon av *håndbok R761 Prosesskode 1*. Det er nå krav om stålfiberarmering i sprøytebetongen i undersjøiske tunneler, slik at problemet med forurensinger med plastfiber unngås. Videre er *vann- og frostsikringsløsninger* tema i både *Tilstandsutvikling tunneler* og *Fremtidens tunneler*. Det er utført tilstandskartlegging av ulike typer vann- og frostsikringshvelv, der resultatene har bidratt til en oppdatering av kravgrunnlaget for dimensjonering av hvelv i *håndbok N500 Vegtunneler* og *håndbok R510 vann- og frostsikring i tunneler*. Arbeidet har også resultert i viktige innspill til arbeidet med *Gode vann- og frostsikringsløsninger*. I denne aktiviteten er det utarbeidet tegninger med beskrivelser for tre typer hvelvkonstruksjoner som ligger fritt tilgjengelig som dwg- og jpg-

filer på Statens vegvesens nettsider. Ingen tunneler er like, og tegningene blir derfor et utgangspunkt for videre prosjektering, ikke en mal. På samme måte som brudetaljene vil tegningene føre til mer enhetlig prosjektering, og dermed bedre kvalitet på de bygde konstruksjonene. Aktiviteten *Drift- og vedlikeholdsrevisjoner, VEGRAMS* i prosjektet *Fremtidens tunneler* skiller seg fra de andre aktivitetene ved at resultatet er en prosess. Prosessen er basert på RAMS-metodikken (Pålitelighet, Tilgjengelighet, Vedlikeholdbarhet og Sikkerhet) tilpasset vegtunneler. Det er gjennomført tre pilotprosjekter i aktiviteten, der et av de viktigste resultatene er at det er skapt en formell arena der drifts- og vedlikeholdsmiljøene får bidratt med sine erfaringer til nye tunnelprosjekter. Ved at erfaringer fra drift, vedlikehold og rehabilitering blir tatt hensyn til på et tidlig planstadium, kan uheldige løsninger som kan medføre økte levetidskostnader og redusert oppetid unngås. Aktivitetene har levert innspill til *håndbok N500 Vegtunneler* bl.a. om at RAMS-prosessen skal gjennomføres for alle vegtunneler, samt at det er utarbeidet et forslag til veiledning som kan inngå i Statens vegvesens håndbokserie. De resterende tunnelaktivitetene er *Konturkvalitet, Helstøpt tunnelhvelv, Tunnelbelysning, Dristige tunneler – utfordringer og grenser, Gode løsninger for vegtunneler, Energieffektive tunneler* og *Nye materialer for tunnel og bru*.

FoU-programmet Varige konstruksjoner er gjennomført med bistand fra regionene i Statens vegvesen, og fra bransjen for øvrig. Særlig har regionene spilt en viktig rolle i programmet; ved at de var med på å bestemme hvilke aktiviteter det skulle jobbes med, gjennom aktiv deltagelse i mange aktiviteter, gjennom undersøkelser av eksisterende konstruksjoner, samt gjennomføring av pilotprosjekter under bygging av nye konstruksjoner. Uten dette engasjementet hadde programmet vært vanskelig å gjennomføre. Gjennom samarbeidet med regionene, FoU-samarbeid med nasjonale og internasjonale institutter og universiteter og kjøp av konsulenttenester fra både nasjonale og internasjonale bransjeaktører har programmet fått samlet, opparbeidet og spredd ny kunnskap som vil bidra til at vi i fremtiden bygger mer varige konstruksjoner.

3 Summary

The R&D programme *Durable structures* was run in the period 2012–2015, under supervision by the Tunnel and Concrete Section in the Traffic Safety, Environment and Technology Department of the Directorate of Public Roads. The main objective of the programme was to contribute to more predictability in operations and maintenance of bridges and tunnels, and thus reduce costs. In order to realize the objective, several aims were established: to update relevant regulations, to provide greater knowledge about environmental impacts and degradation mechanisms of bridges and tunnels, and to provide standardized solutions to specific problems. The programme also aimed for an ongoing implementation of results, both as updated regulations and shared knowledge.

The R&D programme included 26 activities in four projects: *Existing bridges*; *Existing tunnels*; *Future bridges*; *Future tunnels*. The large variation of activities – in subject, size and level of detail, as well as the type of delivery – leads to multiple conclusions. Each activity has its findings and results that can be implemented both within the Norwegian Public Roads Administration (NPRA) and the industry in general. The programme includes detailed investigations of concrete, steel, and partly also wood, in both bridges and tunnels; drawings of various details; and design and strategies for how to build future structures. Some activities deals with details, e.g. how to build structural joints or what effect cracks has on reinforcement corrosion, while some activities include general aspects like condition assessment of existing structures and design of new structures. An example of the latter is the activities concerning linings for water and frost protection of tunnels. Deliverables range from increased knowledge about a topic to specific solutions already incorporated in the legislation and in practice.

The main part of this report describes the various activities, the results and findings obtained, what has already been implemented and what should be implemented, further recommendations and work and a list of publications.

For the two bridge related projects, *Existing bridges* and *Future bridges*, we can highlight the activities *Alkali silica reaction (ASR)*, *Corrosion protection of steel bridges*, *Concrete for future bridges* and *Bridge details*. *Alkali silica reaction (ASR)* is one of the main activities of the programme, and includes literature reviews, field and laboratory investigations and structural analysis. The main deliverable is procedures for monitoring bridges with alkali silica reactions implemented in the revised *manual V441 Inspection Manual for Bridges*. In addition, a guide on structural analysis and assessment of bridges affected by alkali silika reactions was written. The level of knowledge on this topic in Norway is low, thus the guide will be a useful tool in bridge management. The activity on *corrosion protection of steel bridges* has increased the knowledge about corrosion of steel bridges, and has resulted in stricter requirements for corrosion protection of steel bridges in the *manuals N400 Bridge design* and *R762 General Specifications 2*. Revised procedures for inspection of steel bridges has been submitted to *manuals V441 Inspection Manual for bridges*. Stricter requirements

will provide longer service life for the corrosion protection, thus less need for costly repairs. *Concrete for future bridges* is one of the most extensive in the programme, and the goal has been to gain more knowledge about how the use of fly ash and slag will affect concrete structures exposed to severe chloride environments. The activity established research collaboration with the Dutch research institute TNO on slag concrete and a research collaboration with the Swedish research institute CBI on durability properties of fly ash and slag concrete. The output of the work was revised concrete specifications in the *manual R762 General Specifications 2. Bridge details* is one of the activities that has provided easy to use solutions for design. Twenty-one approved drawings of bridge details typically vulnerable for maintenance are now freely available in both .dwg and .jpg format at the NPRA website; and more drawings are being prepared. The result is better design, more efficient approval, and higher quality of execution. Standardized solutions will probably also be an advantage for contractors. Other bridge related activities: *Condition assessment of newer concrete bridges; Cracks and corrosion; Asphalt joints; Surface protection of concrete; Optimal length of bridges without abutments; Design of joints; Fiber reinforcement; and Damage catalog for wooden bridges.*

Several of the activities in *Existing tunnels* are interrelated. The activity *Exposure environment in tunnels* provide key input on the detrimental effect of environmental loads on both rock support and technical installations. *Condition of rock support bolts* and *Condition of technical installations* provided more knowledge about corrosion in tunnels as well as proposed requirements for corrosion protection to the ongoing revision of the *manual N500 Road tunnels*. One of the biggest activities is *Durability of shotcrete*. The activity is based on several previous studies of shotcrete conducted by NPRA, and has shown that deterioration of shotcrete for rock support is influenced by concrete properties, rock and soil properties and the environment inside the tunnel. The activity has provided significant knowledge on durability of steel fiber reinforced shotcrete, and thus provided the basis for revision of the *manual R761 General Specifications 2*. As a result, steel fiber reinforcement in shotcrete for rock support of tunnels is mandatory, and this avoids the problems with pollution by plastic fibers. Furthermore, linings for water and frost protection of tunnels was a topic in Existing tunnels and Future tunnels. Condition assessments of various types of water and frost protection linings has been performed, resulting in revised design requirements in the *manuals N500 Road tunnels* and *R510 Water and frost protection in tunnels*. The work has also contributed with important input to the activity *Proper design of tunnel linings*, where drawings and descriptions of three types of linings are freely available as .dwg and .jpg files on the NPRA website. Tunnels are most often different in design and standardized drawings are therefore a good starting point for proper design. This will lead to more uniform design, thereby improving the quality of the tunnel linings. The activity *Operation and Management, VEGRAMS* in Future tunnels differs from the other activities in that the outcome is a procedure. The procedure adopts the RAMS methodology (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) to be used for tunnels. Three pilot projects were run in the activity; one of the main outputs is that operation and management

experiences are easily transferred to new tunnel projects. This will probably lead to decreased life cycle costs and increased availability. The activities have provided input to the design *manuals N500 Road tunnels*. Other tunnel related activities: *Perimeter control quality, Solid cast tunnel lining, Tunnel lighting, Extreme tunnels – challenges and limits, Proper design of road tunnels, Energy efficient tunnels, and New materials for tunnels and bridges.*

The R&D programme Durable structures was conducted with assistance from the regions in NPRA and the industry at large. In particular, the regions played an important role in the programme; they were involved in determining what activities to include; by active participation in many activities; through surveys of existing structures; and by running pilot projects during construction of new structures. Without this engagement, the programme had been difficult to complete. Through cooperation with the regions, R&D collaboration with national and international institutes and universities, domestic and international consultants and industry partners, the programme has developed and disseminated new knowledge that will contribute to structures that are more durable.

4 FoU-programmet Varige konstruksjoner

4.1 Innledning

Forsknings- og utviklingsprogrammet Varige konstruksjoner ble vedtatt gjennomført av etatsledelsen i Statens vegvesen i november 2011. Gjennomføringstiden ble satt til fire år, med oppstart i januar 2012. Den totale kostnadsrammen ble anslått til 23 mill. kr, men med årlige bevilgninger via Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingens FoU-budsjett. Etter økte bevilgninger ble den totale rammen for programmet like i underkant av 26 mill. kr.

Et forprosjekt til Varige konstruksjoner, *Bestandige materialer*, ble gjennomført i 2011. Hensikten med forprosjektet var å beskrive innholdet i det kommende FoU-programmet som skulle ha som mål å gi konkrete innspill til forbedringer i bruken av materiale og løsninger i Statens vegvesens konstruksjoner. Forprosjektet skulle utarbeide en programbeskrivelse for FoU-programmet med relevante aktiviteter, og sørge for at programforslaget hadde tilslutning og forankring i driftsenhetene og i etatsledelsen. Forprosjektet ble i hovedsak gjennomført internt på Tunnel- og betongseksjonen, men med gode innspill fra regionene, Veg- og transportavdelingen i Vegdirektoratet, samt fra Jernbaneverket. Arbeidet i forprosjektet dannet grunnlag for saksfremlegg for etatsledelsen.

Det er opprettet en egen nettside for prosjektet på vegvesen.no/varigekonstruksjoner med informasjon om programmet, arrangementer med presentasjoner.

4.2 Bakgrunn

I 2011 omsatte Statens vegvesen for omkring 35 milliarder kr, og de største postene var ny infrastruktur og drift og vedlikehold. Forfallet på vegnettet hadde vært en utfordring lenge, og det var grunn til å se på ulike tiltak for å optimalisere hvordan vi bygger konstruksjonene. Hovedvekten ble lagt på materialer og materialkvalitet, og hvordan drifts- og vedlikeholdstiltakene gjennomføres.

Statens vegvesen forvalter i dag et vegnett på i størrelsesorden 10 500 km riksveg og 44 500 km fylkesveg på vegne av fylkeskommunene. På vegnettet er det nærmere 18 000 bruer og i underkant av 1200 tunneler i tillegg til vegnære konstruksjoner som støttemurer, ras-/skredsikringstiltak, midtdelere, master med mer. Antall konstruksjoner øker, og samtidig gir strengere krav til teknisk utrustning/ITS, krav til trafikksikkerhet, fremkommelighet og miljøhensyn økt kompleksitet. Materialene som benyttes i ulike konstruksjonsløsninger er premissgivende for utviklingen av levetidskostnadene for Statens vegvesen sine konstruksjoner. I tillegg kan feil materialbruk i kritiske konstruksjonselementer medføre redusert trafikksikkerhet og negativ miljøpåvirkning. Bestandigheten av en konstruksjonsdel er avhengig av:

- Materialenes egenskaper
- Miljøpåkjeningen lokalt på konstruksjonsstedet
- Konstruksjonsutforming og detaljløsninger
- Utførelsen, samt kontroll av utførelse og leverte materialer og produkter

- Systematisk drift og vedlikehold

Eksempler fra konstruksjoner bygget på 1970-, 1980-, og 1990-tallet viser at kravene som var gitt til bl.a. materialer ikke alltid var tilstrekkelig til å oppnå den tiltenkte levetiden. Som et eksempel nevnes de omfattende problemene vi har hatt og fortsatt har med armeringskorrosjon på betongbruer bygget i den nevnte tidsperioden. Årsaken til problemene er knyttet opp mot for liberale krav til materialkvalitet og armeringsoverdekning, i tillegg til for dårlig kontroll av utførelsen. Dette har medført, og vil også i fremtiden medføre, høye vedlikeholds- og reparasjonskostnader og periodevis redusert fremkommelighet. Det er en viktig oppgave å undersøke tilstanden til disse og nyere eksisterende konstruksjoner, for dermed å lære hvordan fremtidens konstruksjoner kan bygges slik at de får den tiltenkte levetiden.

4.3 Formål og mål

FoU-programmet Varige konstruksjoner har hatt tre fokusområder som gjelder, i først rekke, for konstruksjonsløsninger i bruer og tunneler:

- Å oppnå ønsket kvalitet
- Å bidra til mer forutsigbart vedlikehold
- Å gi en mer definert levetid

Dette innebærer spesifisering av krav til materialeegenskaper, konstruksjonsutforming, detaljløsninger, utførelse og kontroll. Selv om programmet ikke har hatt aktiviteter som er direkte knyttet til levetidskostnader og levetidsberegninger, kan resultater fra programmet være med å danne grunnlag for levetidsberegninger.

Formålet med FoU-programmet har vært å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene, og dermed også lavere kostnader, samt å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger både i Statens vegvesen og bransjen for øvrig.

FoU-programmet har hatt tre mål:

1. Bidra til oppdatering av Statens vegvesens regelverk
2. Sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler
3. Gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger

Resultatene fra FoU-programmet har i hovedsak vært løpende implementert, i den hensikt at gode løsninger skal komme raskt til utførelse. Dette har omfattet deltagelse ved pågående revisjoner av regelverket, presentasjoner på konferanser o.l., samt at resultater legges åpent tilgjengelig på internett.

4.4 Prosjekter

FoU-programmet Varige konstruksjoner har bestått av fire prosjekter, og totalt 26 aktiviteter. Aktivitetene i programmet spenner vidt, både i tema, størrelse og type leveranser. De fire prosjektene er:

- Tilstandsutvikling bruer
- Tilstandsutvikling tunneler
- Fremtidens bruer
- Fremtidens tunneler

Tanken bak denne inndelingen er at kunnskap om tilstanden til de eksisterende konstruksjonene, og ikke minst hva som er grunnen til tilstanden, gir viktig input til hvordan vi bør bygge i fremtiden.

Alle aktivitetene er presentert under de respektive prosjektene i kapitlene 5, 6, 0 og 8. Her er det gitt en kort beskrivelse av bakgrunn for aktiviteten, mål og hva som er gjort. Videre vises resultater/funn fra aktiviteten, hva som er implementert og hva som bør implementeres, hva som er planlagt av videre arbeid, og hva som anbefales utført. Til slutt er rapporter og artikler listet opp.

4.5 Gjennomføring

FoU-programmet Varige konstruksjoner foregikk i perioden januar 2012 til desember 2015, og med avsluttende rapportering våren 2016.

I februar 2012 ble det arrangert en to-dagers oppstartsamling der rundt 50 personer fra regionene og Vegdirektoratet deltok. Målet med samlingen var å bestemme hvilke aktiviteter de ulike prosjektene skulle arbeide med. Særlig viktig var det med innspill fra regionene, både fordi det var de som hovedsakelig visste om behovene, men også med tanke på videre engasjement i programmet. I tillegg er regionene helt sentrale for å lettere kunne spre kunnskapen som ble opparbeidet. En rekke deltagere fra alle regionene har vært sterkt delaktige både i innledende fase hvor det ble besluttet hvilke aktiviteter som skulle være en del av programmet, og ikke minst i selve gjennomføringen ved aktiv deltagelse i mange av aktivitetene.

En detaljert programplan ble utarbeidet og presentert for styringsgruppen i mai 2012. Basert på innspill fra styringsgruppen ble planen justert i august 2012. Det har blitt gjort endringer i form av at noen nye aktiviteter har kommet til, ved at aktiviteter har blitt slått sammen eller at aktiviteter ikke har blitt gjennomført. Alle slike endringer har blitt gjort i tett dialog mellom programledelsen og styringsgruppen. I et FoU-program av denne størrelsen er det en forutsetning at man har tilstrekkelig grad av fleksibilitet til å kunne gjennomføre justeringer underveis. Det er nettopp en del av forskningens natur at det oppstår behov for å justere kursen etter hvert som man får ny kunnskap.

4.6 Implementering

FoU-programmet har jobbet for at resultater skulle implementeres fortløpende, og på den måten enklere oppfylle de tre målene og på den måten realisere formålet raskere. Resultater har blitt implementert på følgende måter:

1. Oppdatering av regelverk: Programmet har jobbet parallelt med pågående revisjoner av aktuelt regelverk, og har fortløpende gitt innspill til disse. Samtidig har pågående

revisjoner og andre hendelser vist behov for ny kunnskap som programmet har gitt svar på.

2. Økt kunnskap: Programmet har spredd ny kunnskap gjennom å arrangere årlige fagdager, arrangere egne delkonferanser under de årlige Teknologidagene, arrangere seminarer og workshops for mange av aktivitetene, samt fortelle om programmet og aktivitetene på andre konferanser o.l. Arrangementene har også gitt nyttig innspill tilbake til programmet. Kunnskapen er også delt gjennom rapporter i Statens vegvesens rapportserie, artikler til konferanser, i vitenskapelige tidsskrifter og i fagpressen.
3. Gode løsninger: Konkrete forslag til gode løsninger for både bru og tunnel er lagt fritt tilgjengelig på internett, i form av tegninger, beskrivelser og rapporter.

Det ble opprettet en egen nettside for prosjektet på vegvesen.no/varigekonstruksjoner. Her finnes informasjon om programmet, opplysninger om arrangementer med nedlastbare presentasjoner, samt alle rapporter.

5 Tilstandsutvikling bruer

5.1 Innledning

Hensikten med prosjektet Tilstandsutvikling bruer har vært å generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og samtidig gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Prosjektet har også frembragt ny kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader.

Prosjektet har gitt viktig input til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og har således hatt leveranser av stor betydning til prosjektet Fremtidens bruer.

5.2 Tilstandsutvikling for nyere betongbruer

5.2.1 Beskrivelse

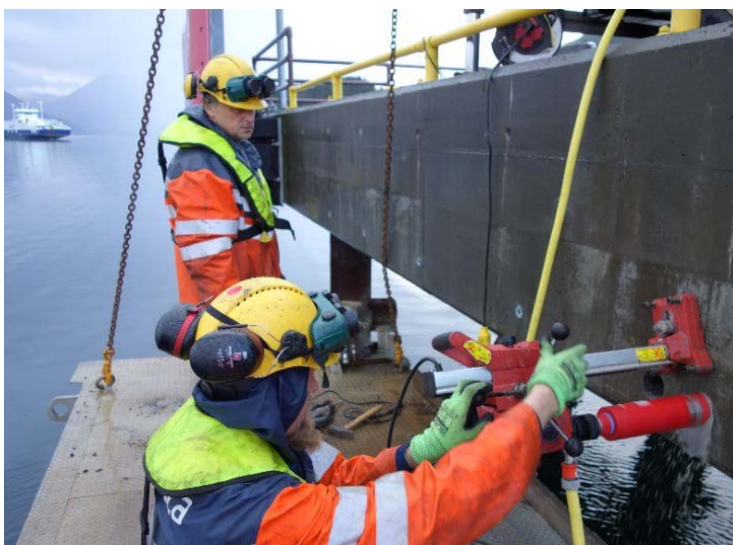
Statens vegvesen har et stort antall bruer som er utsatte for meget høy kloridbelastning som følge av plassering langs kysten med værhardt marint klima. Kloridinntrengning inn til armeringen fører til korrosjonsskader som nedsetter bæreevnen, øker vedlikeholdskostnadene og forkorter bruens levetid.

Kravene til ny betongspesifikasjon med masseforhold $< 0,40$ (klasse MA) som kom i den reviderte *håndbok 026 Prosesskode 2* i 1988, med ytterligere modifisering og innføring av spesifikasjonene SV-30 og SV-40 fra 1997 var et viktig tiltak for å øke betongbruers motstand mot kloridinntrengning og tilhørende skadeutvikling. I tillegg kom endringer i *håndbok 185 Bruprosjektering*, med krav til økt overdekning for utsatte konstruksjonsdeler. Hovedmålet med aktiviteten har vært å verifisere hvilken effekt disse tiltakene har hatt for betongbruers levetid.

For å svare på disse spørsmålene ble det gjennomført undersøkelser av et lite utvalg av 10–15 år gamle kloridutsatte betongbruer for å dokumentere kloridinntrengning og andre relevante egenskaper.

Sommeren 2013 ble det gjennomført uttak av prøver fra Bakkasundbrua som ligger i Austevoll kommune i Hordaland. Senere samme år ble det også tatt ut prøver fra Solavågen fergekai som ligger i Sula kommune i Møre og Romsdal. I 2014 ble det tatt ut prøver fra Stokkøybrua. Stokkøybrua ligger i Åfjord kommune i Sør-Trøndelag.

I tillegg til undersøkelse av de nevnte bruer har det vært gjennomført et begrenset samarbeidsprosjekt med NTNU. Hensikten med samarbeidet har vært å studere hvordan betonger med ulike bindemidler påvirkes ved sjøvannseksposering, og derigjennom få økt innsikt i de fundamentale forhold rundt kloridinntrengning. I tillegg har det blitt utarbeidet en state-of-the-art rapport om kloridinntrengning i flygeaskebetong, hvor den danske erfaringen er oppsummert.



Bildet viser uttak av betongkjerne på Solevågen fergekai

5.2.2 Resultater/funn

Betongen i prøveuttakene fra begge bruene var beskrevet som betongkvalitet C55–SV40 og C55–SV30. Målt overdekning i områdene det ble gjennomført prøveuttak på var 70–80 mm. Basert på målt kloridinntrengning og beregnede modelldata ble det gjennomført beregninger for å estimere fremtidig kloridinntrengning. Beregnet forventet tid før kloridene når inn til armeringen i tilstrekkelig mengde til at den begynner å ruste ble beregnet til å være rundt 100 år, noe avhengig av modell som ble benyttet.

Dette er en dramatisk økning i forventet levetid sett i forhold til bruer bygget rundt 1980. Det best dokumenterte objektet fra denne perioden er Gimsøystraumen bru, som allerede etter 15 år viste tydelige tegn til pågående armeringskorrosjon. Årsaken til økningen i forventet levetid er sammensatt av 2 komponenter; betydelig forbedring av betongens evne til å motstå kloridinntrengning samt en økning i prosjektert armeringsoverdekning fra 40 til 75 mm (60 mm minimumsoverdekning + 15 mm toleranse).

For fergekaien som ble undersøkt er tilstanden tilfredsstillende. Betongkvaliteten var her også beskrevet som C55–SV40. Fra analysene av tilstanden kan det forventes at det vil ta like over 50 år før armeringen vil begynne å korrodere, en stor forskjell i forhold til det som ble funnet på bruene. Kloridbelastningen er altså vesentlig høyere på de mest utsatte delene på en fergekai sammenlignet med bro. Armeringsoverdekningen ble dokumentert å være drøyt 70 mm på undersiden av fergekaien ved prøveuttakene. Prosjektert levetid på fergekaier etter dagens regelverk er 50 år, mot 100 år for bruer.

Aktiviteten har bekreftet at innføring av nye betongtyper fra 1988 har hatt stor effekt, ved at de nye betongtypene har vesentlig større motstand mot kloridinntrengning. Samtidig har arbeidet bekreftet at det økte kravet til prosjektert armeringsoverdekning har vært nødvendig. Kravet til minimum armeringsoverdekning i de mest kloridutsatte sonene er nå på 100 mm, og toleranse på 20 mm gir 120 mm prosjektert overdekning.

5.2.3 Implementering

Under prosjektets gang ble noen av de foreløpige resultatene fra Bakkasundet bru benyttet til vurderinger under revisjon av *håndbok R762 Prosesskode 2* og *håndbok N400 Bruprosjektering*. Funnene bekreftet at betongkvaliteten var langt på vei tilstrekkelig til å oppnå en levetid nær 100 år med dagens regler for overdekning, men at det var behov for ytterligere tiltak for å gi tilstrekkelig sikkerhet. Det ble innført krav om flygeaske eller slagg i all brubetong for å ytterligere forbedre bestandighetsegenskapene. Se ellers beskrivelse av aktiviteten Fremtidens brubetonger under Fremtidens bruer.

Prosjektet har gitt verdifull informasjon og tilført kunnskap om konsekvensene av tidligere endringer av håndbøkene. Prosjektet har i tillegg bidratt til økt kunnskap rundt levetidsberegninger, samt gitt god beskrivelse av tilstanden til de undersøkte værutsatte konstruksjonene. Videre har prosjektet bekreftet at bindemiddelsammensetningene til betongkvaliteten SV–40 hvor silikastøv var eneste pozzolane bindemiddel kan gi en god levetid, men at det er behov for enda tettere og mer kloridbestandige betonger for

fremtiden. Bruk av flygeaske og slagg i kombinasjon med silikastøv vil være et egnet virkemiddel.

5.2.4 Videre anbefalinger og arbeid

Prosjektet har gitt gode data fra de tre utvalgte konstruksjoner. Beslutningsgrunnlaget kan likevel gjøres bedre ved å utvide undersøkelsene til å omfatte enda flere konstruksjoner.

Denne undersøkelsen har tatt for seg konstruksjoner bygget med ren Portlandsement (CEM I) kombinert med silikastøv. Fra slutten av 1990-tallet og fremover har det økende grad blitt benyttet flygeaske-sementer (CEM II/A–V), og etter hvert også sementer med innblanding av slagg (CEM II/B–S). Spesielt for slaggbetonger har vi mangelfulle data fra felt. I den sammenheng er det verdt å nevne Austvollbruene; Storholmenbrua og Hundvåkøybrua i Hordaland, som var ferdige i 2006–2007. Disse ble vurdert som aktuelle objekter i prosjektet, men hadde for lav alder. Til disse bruene ble det benyttet Cemex Miljøsement, en sement det tidligere ikke er samlet noe felldata fra. Denne sementen skiller seg vesentlig ut fra andre sementer i det norske markedet med sin tilsats av slagg, og et tilsvarende prøvingsopplegg vil kunne gi verdifull informasjon om noen år.

Å kunne utføre levetidsberegninger på samme måte som under prosjektet er et kraftig verktøy til å følge opp konstruksjoner som er utsatt for salt-miljø. Resultat som genereres ved slike analyser, kan inngå som grunnlag for å treffe gode beslutninger på tiltak som kan forlenge levetiden for konstruksjoner, der det er behov for dette. Det er en økonomisk fordel å gjennomføre preventive tiltak, før skader oppstår og behovet for rehabilitering melder seg. Det bør legges ned en fremtidig innsats på å dokumentere effekten av produkter til beskyttelse av betong, for å vite forventet effekt av riktige tiltak.

5.2.5 Rapporter

De Weerd K., Geiker M. og Orsakova D.: *Undersøkelse av betonger fra Solsvik feltstasjon. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 353, 2015

Geiker M. (NTNU): *Fly ash in concrete, Danish experience. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 370, 2015

Helgestad, S.: *Tilstandsutvikling for nyere betongbruer. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 579, 2016.

5.2.6 Artikler

De Weerd, K., Orsáková, D., Müller, A.C., Larsen, C.K., Pedersen, B., Geiker, M.R. (2016): *Towards the understanding of chloride profiles in marine exposed concrete, Impact of leaching and moisture content*, Construction and Building Materials (akseptert for publisering).

5.3 Alkalireaksjoner

5.3.1 Beskrivelse

Statens vegvesen har et stort antall bruer med skadeutvikling som følge av alkalireaksjoner i betongen. Foreløpig er alkalireaksjoner mest framtreddende på brukonstruksjoner bygd på 1950- og 1960-tallet, men omfanget forventes å øke i årene framover. Alkalireaksjoner er en skadeårsak som skyldes kjemiske reaksjoner mellom alkalireaktive bergarter i tilslaget og alkaliene i betongens sementpasta. Alkalireaksjoner medfører volumøkning av betongen, som kan gi etterfølgende problemer med klemming av fuger, forskyvning av lagre, opprissing, deformasjoner og tvangskrefter. Alkalireaksjoner i betong er en skadeårsak som har vært godt kjent i Norge siden slutten av 1980-tallet. Gjennom ulike FoU-prosjekter utover 1990-tallet ble det fremskaffet kunnskap om skademekanismene, hvilke bergarter som er alkalireaktive og hvordan man skal unngå alkalireaksjoner i nye brukonstruksjoner. Fram til nå har det vært lite forskning på bæremessige konsekvenser av de skader som utvikles som følge av ekspansjoner og hvilke vedlikeholds-/reparasjonstiltak som kan være aktuelle.

Hovedmålsetningen med aktiviteten har vært å:

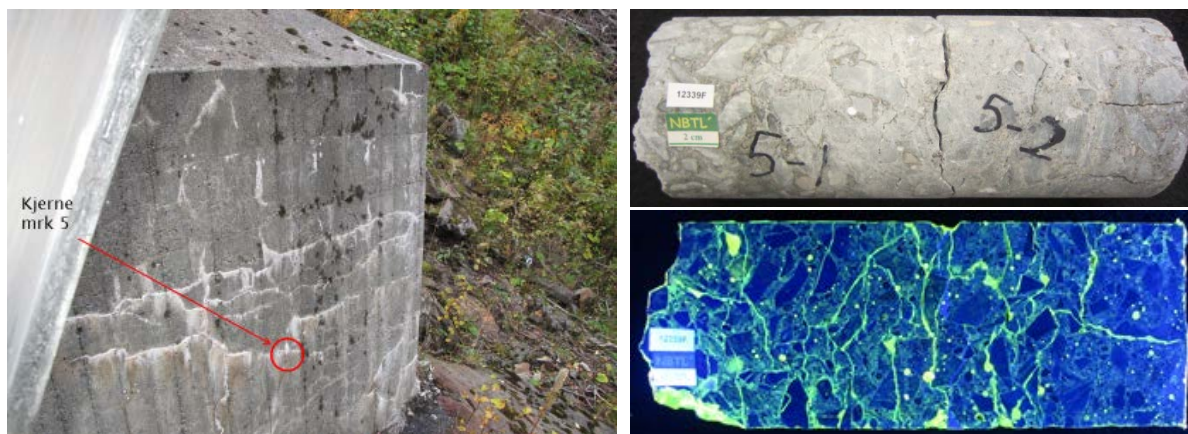
- Etablere et system for kartlegging, dokumentasjon og oppfølging av bruer med alkalireaksjoner
- Belyse de konstruktive konsekvensene av alkalireaksjoner og mulige forsterkningstiltak
- Undersøke mulighetene for preventivt vedlikehold, spesielt effekten av overflatebehandling

I prosjektperioden er det gjennomført mange delaktiviteter, de viktigste er oppsummert i avsnittet under.

5.3.2 Resultater/funn

Felt- og laboratorieundersøkelser av bruobjekter:

Det er gjennomført studier av nyere internasjonale retningslinjer på området tilstandsregistrering/-vurdering og gjennomført feltundersøkelser av sju bruer i prosjektet. Det ble gjennomført systematisk risskartlegging i felt og boret ut et stort antall kjerner for ulike typer laboratorieundersøkelser. Erfaringene vil danne utgangspunkt for utarbeidelsen av prosedyrer for registrering, prøvetaking, diagnostisering, estimering av skadeomfang og oppfølging over tid. Prosedyrene vil bli implementert i revidert utgave av *håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer*.

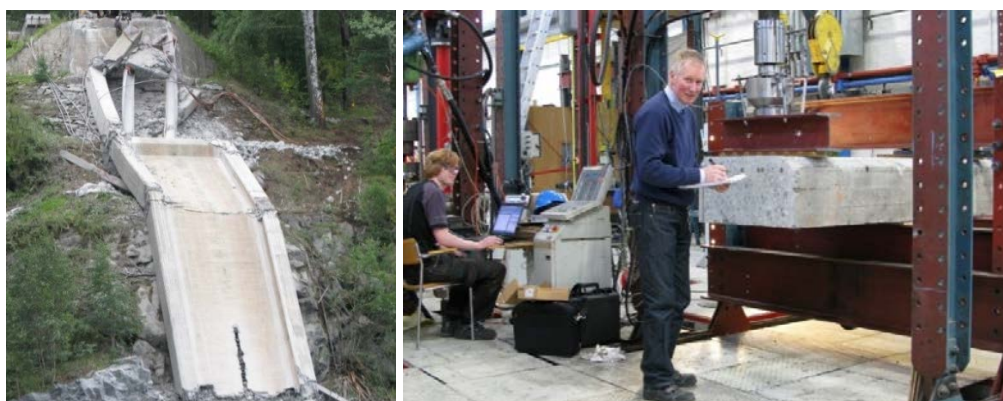


Bildet til venstre viser søylefundament på Folda bru i Region midt, merket for kjerneboring (foto: Eva Rodum), men bildet til høyre viser utboret kjerne og tilhørende planslip fotografert i UV-lys (foto: Viggo Jensen, NBTL)

Konstruktive konsekvenser av alkalireaksjoner:

Hovedmålet med aktiviteten har vært å utarbeide en veiledning i konstruktiv analyse og evaluering av brukonstruksjoner med alkalireaksjoner. Elgeseter bru i Trondheim ble valgt som objekt og det er gjennomført konstruktive vurderinger av bruas overbygning, basert på resultater fra utførte tilstandsundersøkelser og tilhørende beregninger og prosjekterte tiltak. Arbeidet er utført av Hans Stemland i SINTEF. I tillegg til veiledningen er det utarbeidet to tilliggende rapporter, som omhandler følgende tema:

- Belastningsprøving av tilsagede armerte elementer fra Nautesund bru i Telemark (1958–2009). Ved riving hadde brua utviklet langt framskredne alkalireaksjoner og det ble gjennomført omfattende prøving og dokumentasjon av betongen, både i felt og i laboratorium. Belastningsprøving av større armerte prøveelementer viste at forankringskapasiteten til armeringen ikke var vesentlig redusert. Ved belastning ble det observert en videre opprissing i form av utvidelse av eksisterende alkalireaksjonsriss. Først ved høy belastning ble det dannet nye riss. Arbeidet er utført i samarbeid med SINTEF.
- Forsøk med karbonfiberomvikling på søyler på Elgeseter bru. Forsøkene ble startet i 2003 og målinger utført fram til 2011. Gjennomføringen og resultatene er rapportert av SINTEF, innenfor Varige konstruksjoner.



Bildet til venstre viser Nautesund bru etter riving, østre brutårn, mens bildet til høyre viser tilsaget element fra brutårn under belastningsprøving ved SINTEF. Foto: Eva Rodum

Overflatebehandling og andre preventive tiltak på konstruksjoner med alkalireaktiv betong:

Mannvit har gjennomført et litteraturstudium på effekten av overflatebehandling og andre preventive tiltak på betongkonstruksjoner med alkalireaksjoner. Rapporten viser til forsøk hvor det er dokumentert positiv effekt av hydrofoberende impregneringer i dybder 125–200 mm. Effekten er best hvis impregneringen påføres ved beskjeden opprissing. Ved silanimpregnering oppnås rask effekt, men det er rapportert varierende varighet/levetid av tiltaket. Effekten av belegg er rapportert best ved påføring før betongen har fått opprissing, videre best på slanke konstruksjonsdeler. Det er påpekt risiko for innbygging av fuktighet i betongen bak belegget og økt nedbrytning som følge av dette.

Resultater fra felt- og laboratorieundersøkelser utført i Varige konstruksjoner viser en tydelig sammenheng mellom fuktinnhold og opprissingsgrad i betongen. Dette indikerer at det er en betydelig potensiell effekt av fuktreduserende tiltak. Det ble igangsatt et eget langtids feltforsøk med overflatebehandling for å studere effekten på fuktinnhold og ekspansjon under kontrollerte feltforhold. Arbeidet gjennomføres i samarbeid med SINTEF. I oktober 2014 ble det støpt ut prøveelementer med alkalireaktiv betong, ett sett mindre (Ø150 mm x 300 mm) og ett sett større (Ø400 mm x 800 mm) sylindre. Sylindrene ble pre-eksponert i akselerert klima (96–98 % RF og 40 °C) for å oppnå en ekspansjon på ca 1 %. Sylindrene ble deretter overflatebehandlet og utplassert på SINTEFs feltstasjon i Trondheim. Sylindrene skal følges opp med målinger av ekspansjon, vektendring, fuktinnhold m.m. over flere år. Alt arbeid fram til utplassering på feltstasjonen er rapportert.



Bildet til venstre viser utstøping av store sylindre med alkalireaktiv betong (foto: Ola Skjølsvold, SINTEF), mens bildet til høyre viser store og små sylindre utplassert på SINTEFs felstasjon i Trondheim (foto: Eva Rodum)

Akselerert laboratorieprøving – sammenheng lab–felt:

Originaltilslaget som ble brukt i Nautesund bru (1959–2009) ble lokalisert og originalresepten rekonstruert. Det er støpt ut betongprøver iht rekonstruerte resepter, samt en tilsvarende resept med flygaskesement, som er prøvd ved akselerert laboratorieprøving iht. revidert RILEM AAR–4.1–metode (60°C) og norsk betongprismemetode (38°C). For betongene med ren Portlandsement viser 1–årsresultatene ekspansjonsverdier som er hhv 8 og 3 ganger høyere enn kritisk grenseverdi. Betongen med flygaskesement viser ubetydelig ekspansjon etter 1 år og betraktes iht regelverket som ikke–alkalireaktiv. Det er også støpt

ut feltkuber, samt saget til kuber fra tårnene i brua, som eksponeres under feltforhold hhv i Trondheim og Lisboa. Det er videre gjennomført restekspansjonsprøving (se nedenstående avsnitt) av tilsagede betongprøver fra Nautesund bru, iht samme akselererte laboratoriemetoder som nevnt over. Ekspansjonene etter 1 år er betydelig lavere enn for rekonstruert betong, men ligger noe over de kritiske grenseverdiene. Arbeidet er gjennomført i et samarbeid med SINTEF og alle resultater fram til 2015 er rapportert. Flere undersøkelser fortsetter fram til 2018.

Mannvit hf har gjennomført et litteraturstudium på metoder for bestemmelse av restekspansjon. Restekspansjonsmålinger gjennomføres på utborede/tilsagede prøver for å få et grunnlag for å estimere videre ekspansjonsutvikling i felt. Det benyttes i utgangspunktet samme prosedyrer som ved akselerert prøving av nystøpt betong. Det er i hovedsak 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 rapporten argumenteres det for metoder som ikke innebærer tilsetning av alkalier og hvor temperaturen er moderat. Det påpekes at den største utfordringen med testing av restekspansjon ligger i tolkningen av resultatene.

Lettbetong og alkalireaksjoner:

Lettbetong ble introdusert i Norge på slutten av 1980-tallet. Utover 1990-tallet ble det bygd en rekke bruer med konstruksjonselementer i lettbetong og det ble gjennomført flere store forskningsprosjekter ved SINTEF for å dokumentere både materialtekniske og konstruktive egenskaper ved høyfast lettbetong. Alkalireaksjoner var imidlertid ikke blant de bestandighetsparametere som ble undersøkt, og det er i de senere år sett nærmere på om dette kan være en potensiell nedbrytningsmekanisme for lettbetong. Det er utarbeidet en rapport som gir en oversikt over alle bruer bygd med lettbetong i perioden 1987–2003, resultater fra akselerert alkalireaksjonsprøving av ulike lettilslag (SINTEF 2006–07) og resultater fra strukturanalyser av feltekspionert betong med ulike lettilslag (NBTL 2014). Det er påvist alkalireaksjoner i laboratorieeksponert lettbetong, men ikke i den feltekspionerte betongen. Det er anbefalt videre laboratorieundersøkelser av ulike lettilslag.

5.3.3 Implementering

Håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer er under revisjon i 2016 og et hovedmål for aktiviteten er å implementere de erfaringer som er gjort vedrørende tilstandsregistrering av brukonstruksjoner med alkalireaksjoner inn i håndboka – i form av prosedyrer for registrering, prøvetaking, diagnostisering, estimering av skadeomfang og oppfølging over tid. Disse prosjektresultatene er i tillegg løpende implementert i flere kurs og foredrag. Spesielt nevnes EVU-kurset KT 6004 ved NTNU (2014 og 2016): Betongteknologi for bruer – drift og vedlikehold.

Når det gjelder resultater knyttet til konstruktive konsekvenser og vedlikeholdstiltak, så er foreliggende resultater også implementert i ovennevnte EVU-kurs.

Det pågår et stort FoU-prosjekt ved SINTEF¹, hvor Statens vegvesen er FoU-partner. Resultatene fra Varige konstruksjoner vil danne grunnlag for videre arbeid der.

Regler for produksjon av ikke-reaktiv betong i Norge er gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr 21 (NB 21), ved henvisning fra NS-EN 206. Alle resultater som er fremkommet i Varige konstruksjoner vil gå inn i erfaringsgrunnlaget som vil ligge til grunn ved framtidig revisjon av NB 21.

5.3.4 Videre anbefalinger og arbeid

Flere av aktivitetene i Varige konstruksjoner er startet opp i samarbeid med SINTEF og vil fortsette innenfor SINTEFs FoU-prosjekt¹ ut 2018. Dette gjelder: Felteksponering av sylindre med overflatebehandling, restekspansjonsprøving av Nautesundbetongene (akselerert og i felt) og diverse laboratorieprøving av kjernemateriale fra diverse bruer (petrografisk analyse av utseparert tilslag, alkaliinnhold, relativ fuktighet og karakterisering av internt rissomfang). Videre laboratorieprøving av lettbetonger ved betongprismemetoden vil bli utført i KPN-prosjektet¹ i 2016.

Det er et stort behov for å se videre på de konstruktive effekter av alkalireaksjoner.

5.3.5 Rapporter

Publiserte rapporter:

Guðmundsson, G og Einarsson, G.J. (Mannvit): *Alkalireaksjoner – Overflatebehandling og andre tiltak. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 237, 2013

Wigum, B.J. (Mannvit): *Alkalireaksjoner – Metoder for restekspansjon. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 238, 2013

Rodum, E. og Stemland, H. (SINTEF): *Alkalireaksjoner – Nautesund bru etter 50 år. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 309, 2014

Thorenfeldt, E.V. (SINTEF): *Alkalireaksjoner – Karbonfiberforsøk Elgeseter bru. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 339, 2014

Skjølsvold, O. (SINTEF) og Rodum, E.: *Alkalireaksjoner – Feltforsøk med overflatebehandling. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 465, 2015

Rodum, E., Lindgård, J. (SINTEF) og Skjølsvold, O. (SINTEF): *Alkalireaksjoner – Prøving av materiale fra Nautesund bru. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 469, 2015

Rodum, E. og Pedersen, B.: *Alkalireaksjoner – Erfaringer med lettbetong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 499, 2015

¹ SINTEFs KPN-prosjekt «Alkali-silica reaction in concrete – reliable concept for performance testing», et fireårig FoU-prosjekt (2014–2018) støttet av Forskningsrådet (prosjektnummer 236661).

Stemland, H. (SINTEF), Rodum, E.: *Alkalireaksjoner – Veiledning for konstruktiv analyse. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 601, 2016

Rapporter/kursmateriell som ikke er publisert:

Haugen, M. (SINTEF): *Sammenstilling av resultater fra tidligere strukturanalyser av betongbruer utført for Statens vegvesen*. SINTEF-rapport SBF 2012 F0361, 2013

Jensen, V. (NBTL): *Folda bru: Strukturanalyser og bestemmelse av tilslagssammensetning og alkaliinnhold i borekjerner. Laboratorieundersøkelser iht. avrop 13*. NBTL-rapport nr. 12339, 2013

Jensen, V. (NBTL): *Nærøysund bru: Strukturanalyser og bestemmelse av tilslagssammensetning og alkaliinnhold i borekjerner. Laboratorieundersøkelser iht. avrop 13*. NBTL-rapport nr. 12340, 2013

Haugen, M.: *Laboratorieundersøkelser av utborede betongkjerner fra Tromsøbrua*, SINTEF prøvingsrapport nr. 7752–7A, 2015–01–30

Haugen, M.: *Laboratorieundersøkelser av utborede betongkjerner fra Elgeseter bru*, SINTEF prøvingsrapport nr. 7752–8, 2015–06–03

Befaringsnotater fra Elgeseter bru (2014–2015)

Befaringsnotater fra Tromsøbrua (2014)

Befaringsnotater Region øst 2015 (*Uthus o Rv 24, Kroksund og Fredrikstad bru*)

Pedersen B.M., Stemland, H. og Rodum, E.: Totalt 6 forelesninger i EVU-kurs KT 6004: Betongteknologi for bruer – drift og vedlikehold, NTNU, 2014 og 2016 (*Mekanismer og styrende parametre, Skadetyper, Tilstandsregistrering, Tilstandsvurdering, Vedlikehold og Reparasjon*)

Lindgård, J. og Rodum, E.: *Alkalireaksjoner – dokumentasjon av skadeårsak og omfang, Tilstandskontroll av betongkonstruksjoner*, Kursdagene NTNU 2015

5.3.6 Artikler

Rodum, E., Pedersen, B.M. and Relling R.H.: *Field and laboratory examinations of an ASR-affected bridge – variation in crack extent and water content*. 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016

Justnes, H., Lindgård, J., Haugen, M., Rodum, E., Pedersen, B. and Myong-Soo, S.: *Can light weight aggregate (LWA) lead to harmful ASR in the field?*, 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016

5.4 Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer

5.4.1 Beskrivelse

Det norske veinettet har et stort antall bruer med hovedbæresystem av stål, i tillegg er mange sekundære bruelementer, som eksempelvis rekkverk, i stål. Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer har siden slutten av 1960-tallet vært utført som såkalt Duplex-system, dvs. med termisk sprøytet sink + malingsystem. Eldre bruer har grunnmaling av blymønje.

Bestandighetsproblemer for stålbruer synes langt mindre enn for betongbruer, men bildet er nyansert. Eksempelvis har levetiden for Duplex-belegget på våre to flytebruer Bergsøysundbrua og Nordhordlandssbrua vært vesentlig kortere enn forventet.

Hovedmålsetningen med aktiviteten har vært å:

- Få bedre oversikt over tilstanden for stålbruer i ulike miljøer
- Få økt forståelse for miljøbelastninger og nedbrytningsmekanismer
- Gi reviderte anbefalinger mht. nybygg og drift og vedlikehold av stålbruer, gi input til revisjon av *håndbok R762 Prosesskode 2* og *håndbok N400 Bruprosjektering*
- Få reviderte rutiner for inspeksjon i *håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer*

Aktiviteten har vært gjennomført i samarbeid med Ferjefri E39, og forventes å gi viktig input til de store fjordkrysningene.

5.4.2 Resultater/Funn

Korrosjonsskader er funnet i ulik grad på de ulike bruene som er inspisert. Årsak til skadene er trolig:

1. Punktvis korrosjonsskader der malingsbelegget har spesifisert filmtykkelse antas å skyldes nålestikk. Det er imidlertid ikke mulig å fastslå for sikkert at angrepene skyldes nålestikk, siden korrosjonsangrepet har ødelagt den opprinnelige skaden i malingsfilmen. En alternativ forklaring kan være "spytting" under termisk sprøyting. Dette er en lokal topp/forhøyning i TSZ belegget, trolig som følge av ufullstendig smelting av sprøytetråden. Malingsbelegget vil få for lav filmtykkelse over slike topper. Begge typer feil vil medføre at malingsbelegget er svekket lokalt og det oppstår punktkorrosjon i sinkbelegget.
2. I områder med mye korrosjon eller mange punktangrep er det målt lav filmtykkelse for malingsbelegget. Det er dermed ikke i stand til å beskytte sinkbelegget mot korrosjon. Kontroll av filmtykkelse gjøres i dag kun med magnetisk tykkelsesmåler, hvilket betyr at tykkelsen til både sinkbelegget og malingsbelegget måles samtidig. Hvis sinkbelegget har for høy tykkelse vil dermed ikke lav filmtykkelse på malingsbelegget oppdages.
3. På to bruer har toppstrøket flaket av med påfølgende korrosjonsangrep, trolig som følge av reduserte barriere-egenskaper til malingsfilmen. Flakingen skyldes at toppstrøket ble påført på stedet, lang tid etter at epoksystrøket ble påført i verkstedet.

Spesielt store skader er funnet på bruer der overbygningen står nær havflaten.



Imarsundbrua (Foto: Ole Øystein Knudsen, SINTEF)

5.4.3 Implementering

Følgende endringer er implementert i *håndbok R762 Prosesskode 2* og *håndbok N400*

Bruprojektering:

- Sealer skal påføres til maksimalt 25 µm og må fortynnes tilstrekkelig
- Filmtykkelsen til malingsbelegget skal kontrolleres bedre og måles separat, det vil si tykkelsen til malingsbelegget over sinkbelegget
- Det innføres System 2 for svært korrosivt miljø, der beleggsystemet har et ekstra strøk epoksy

Følgende forslag er levert for implementering i *håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer:*

- Skadekatalog for skader i overflatebehandling
- Forslag til bedømming av skadegrad og konsekvensgrad for de ulike skadene
- Forslag til levetid for de ulike beleggsystemene som er beskrevet i *håndbok R762 Prosesskode 2*, både for nybygg og vedlikehold

5.4.4 Videre anbefalinger og arbeid

- **Kartlegging av korrosivitet:** Vegbruer står i mange forskjellige typer miljø med ulik korrosivitet. Vegvesenets har fire miljøklasser: Værutsatt kyststrøk, kyststrøk, indre kyststrøk og innland. Vi vet imidlertid ikke hvordan disse kategoriene forholder seg til standardiserte korrosjonsklasser gitt av *NS-EN ISO 12944-2 Maling og lakk – Korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner med beskyttende malingsystemer – Del 2: Klassifisering av miljøet*. Høyde over havet er en annen parameter som vil påvirke korrosiviteten og som vi heller ikke kjenner effekten av.
- **Metoder for tykkelsesmåling av belegg:** Flere av de observerte korrosjonsskadene skyldes for lav filmtykkelse for malingsbelegget. Som beskrevet over er det sannsynlig at måten filmtykkelsen kontrolleres på i dag medfører risiko for lav filmtykkelse i områder. Et annet moment er at filmtykkelsen kun måles ved stikkontroller og i et begrenset antall målepunkter. Det er derfor usannsynlig at alle

områder med for lav filmtykkelse vil oppdages på en stor konstruksjon som en hengebru. SINTEF har ideer for hvordan begge disse problemene kan møtes i en ny type tykkelsesmåler. Et prosjektforslag er under utarbeidelse.

5.4.5 Rapporter

Publiserte rapporter:

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Inspeksjoner. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 453, 2015.

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Vedlikehold av beleggsystem av blymønje og alkyd. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 503, 2016.

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Vurderinger. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 505, 2016.

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Erfaringer med høysink primer på bruer i Finnmark. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 513, 2016.

Rapporter som ikke er publisert:

Norconsult (2013): *Analyse av data fra BRUTUS*

Aas-Jakobsen (2013): *15-2338 Mjosundbrua. Rapport fra spesialinspeksjon 2013 med fokus på overflatebehandling av stål*

Aas-Jakobsen (2014): *17-1354 Nordsundet bru. Rapport fra spesialinspeksjon 2013 med fokus på overflatebehandling av stål.*

Rambøll Norge (2014): *Rapport fra spesialinspeksjon bruer på Stord og Bømlø. (12-2222 Stordabrua, 12-2708 Klubbasundbrua, 12-2756 Brandasundbrua, 12-2757 Djupasundbrua)*

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Anbefalinger. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*.

5.4.6 Artikler

Knudsen O.Ø, Djuve, G. and Hasselø, J.A.: *Corrosion protection of road bridges with a 100 years lifetime*. Eurocorr, Graz, Østerrike, September 2015.

Knudsen O.Ø, Djuve, G. and Hasselø, J.A.: *Coating Systems with Long Lifetime – Paint on Thermally Sprayed Zinc*. Paper No. 7383, CORROSION/2016, Vancouver, NACE, 2016.

Knudsen O.Ø, Djuve, G. og Hasselø, J.A.: *Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer – hva er optimal påføring av dupleksbelegg?*, Rust og Råte, 2015

5.5 Riss og korrosjon

5.5.1 Beskrivelse

Kravene til ny betongspesifikasjon med masseforhold $< 0,40$ (klasse MA) som kom i den reviderte *håndbok 026 Prosesskode 2*, med ytterligere modifisering og innføring av spesifikasjonene SV-30 og SV-40 fra 1997 var et viktig tiltak for å øke betongbruers motstand mot kloridinntrengning og tilhørende skadeutvikling. I tillegg kom endringer i *håndbok 185 Prosjekteringsregler for bruer* i 1996 med krav til økt overdekning for utsatte konstruksjonsdeler, med minimumsoverdekning 100 mm for konstruksjonsdeler i tidevannssonen og 60 mm for konstruksjonsdeler opp til 12 m over tidevannssonen i værharde kyststrøk.

SV-40 betonger har imidlertid økt tendens til opprissing grunnet høy sementmengde, silikastøv og relativt lavt masseforhold. Det ble innført tiltak for å redusere denne opprissingstendensen, men det er flere bruer med riss inn til og forbi armering som er eksponert for klorider.

Aktiviteten har samlet nåværende kunnskap om betydningen av riss for korrosjon på armeringen, og dermed i hvilken grad riss bidrar til redusert levetid for betongruer. Arbeidet har resultert i en state-of-the-art rapport (STAR), utgitt som en forlenget journalartikkel i *Materials and Structures*.

I tillegg til STAR er det gjennomført to feltundersøkelser på armerte bjelkeelementer i betong med og uten riss. Bjelkeelementene er fra FoU-prosjektet «Kloridbestandig betong» i Statens vegvesen, og hadde på undersøkelsestidspunktet vært eksponert 16 og 20 år i tidevannssonen på feltstasjonene Solsvik og Leinesodden.

Arbeidet ble utført som et FoU-samarbeid med ETH i Zürich som sitter på oppdatert kunnskap på temaet ved Dr. Ueli Angst og Prof. Bernhard Elsener.

5.5.2 Resultater/funn

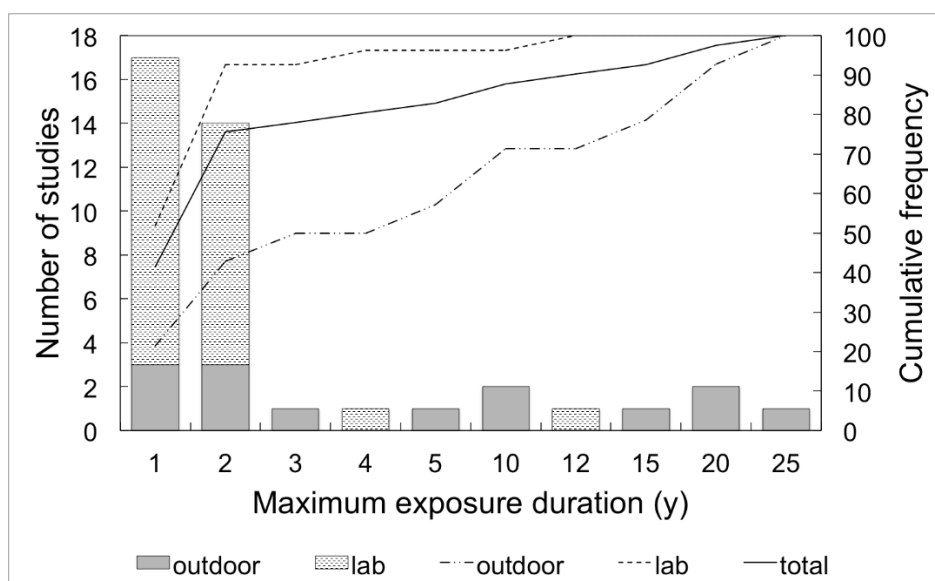
Litteraturgjennomgangen er basert på 68 publiserte artikler og rapporter fra 1947 til 2015. De fleste rapporterte undersøkelsene har et relativt kort tidsforløp, de er gjennomført som laboratorieforsøk og riss er introdusert som belastningsriss etter 3- eller 4-punkts bøyning:

- ca 3/4 med 2–3 år eller kortere eksponeringstid, med lengste eksponeringstid 25 år (1 art.)
- ca 2/3 av forsøkene er eksponert i laboratoriet, resten i felt
- ca 3/4 av rissene er bøyeriss, resten som følge av ren strekkbelastning eller rissanviser (shims)

De fleste publikasjonene har effekt av riss på korrosjon som hovedtema, men mange har rapportert effekt av riss som «bieffekt» og da ikke som hovedhensikt for forsøket. I de tilfellene der riss ikke er hovedhensikten i forsøkene, kan det være sparsomt med målinger og detaljerte resultat som i noen tilfeller ikke underbygger konklusjonene i artiklene.

Hovedkonklusjonene i STAR-artikkelen er:

- Riss kan føre til redusert tid før kloridinitiert korrosjon på armering begynner, sammenlignet med urisset betong. Det er imidlertid ingen enighet om hvor mye tidligere korrosjon starter eller hvordan korrosjonsprosessen utvikler seg sammenlignet med urisset betong.
- Det er ingen enighet om i hvilken grad riss fører til økt korrosjonshastighet. I noen korttids-forsøk førte riss til økt korrosjon og økt rissvidde til økt korrosjonshastighet, mens i andre forsøk var dette ikke tilfelle. I langtidsforsøkene var det ingen sammenheng mellom riss og økt korrosjon (omfang og hastighet).
- I flere studier var det tegn på at riss tettet seg selv over tid, enten som følge av utfelling av korrosjonsprodukt eller sementmineraler (ettringitt, kalsitt), og at dette var årsaken til at korrosjon i opprisset betong over tid utviklet seg tilsvarende som i urisset betong.
- Det er ikke mulig basert på den gjennomgåtte litteraturen å anbefale eller angi en kritisk rissvidde, hverken for initiering av korrosjon eller for korrosjonshastighet, ei heller for selv-reparasjon av riss.
- Det er eksperimentelle bevis for at korrosjon i opprisset betong foregår ved at jern går i oppløsning (anodereaksjon) i nærhet av risset og at oksygen reduseres (katodereaksjon) på det passive stålet mellom rissene. Det er imidlertid også bevist at groptæring (pitting) ikke alltid skjer i/ved risset, men heller at det er svakheter i sonen mellom stål og betong som bestemmer hvor korrosjon oppstår.
- Den foreslåtte korrosjonsmekanismen (punktet over) antyder at korrosjonshastigheten i opprisset betong påvirkes i stor grad av betongen mellom rissene. Viktige parametere er betongens resistivitet (ledningsevne) og overdekningens tykkelse (oksygenpermeabilitet).
- Effekten av riss på korrosjon ser ut til å avta over tid, og kan muligens på lang sikt neglisjeres. Det er imidlertid for få langtidsforsøk med gode korrosjonsdata til å verifisere den observerte trenden.



Figuren viser fordelingen av de gjennomgåtte undersøkelsene på eksponeringstid og -miljø

5.5.3 Implementering

Resultatene danner viktig bakgrunnsmateriale for:

- Ferjefri E39-prosjektet i post doc-aktiviteten «Dimensjonering i bruksgrensetilstanden og for lang levetid av store armerte betongkonstruksjoner» ved NTNU
- BIA-prosjektet Durable advanced Concrete Solutions (DaCS) der Statens vegvesen er partner
- Forprosjektet «Reduksjon av forfallet» og et mulig FoU-program fra 2017
- Fremtidige revisjoner av *håndbok N400 bruprosjektering* og *håndbok R762 prosesskode 2*, samt eventuelt NS-EN standarder der krav til rissvidder og utbedring av riss fremsettes

5.5.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det er et klart behov for langtidsforsøk med opprisset armert betong der korrosjonsaktivitet måles kontinuerlig med nøyaktige metoder og utstyr. På den måten kan effekten av riss på levetid og fremtidige vedlikeholds- og reparasjonsbehov klarlegges.

Det anbefales å:

- Etablere et eller flere feltforsøk der opprissede armerte betongelement med realistiske dimensjoner eksponeres i lang tid (typisk 20 år) i kloridholdig miljø (marint og vegsøling)
- Benytte betonger som tilfredsstillende kravene i R762
- Instrumentere elementene for ikke-destruktiv kontinuerlig måling av korrosjon med elektrokjemiske metoder
- Undersøke spesielt rissfrekvens (antall og avstand mellom riss), rissgeometri (årsak til riss), risstilstand (åpen, lukket, dynamisk) og selv-reparasjon

5.5.5 Artikler

Käthler, C.B., Angst, U.M., Wagner, M., Larsen, C.K., Elsener, B.: *Effect of cracks on chloride-induced corrosion of reinforcing steel in concrete*, Materials and Structures (submitted), 2016

5.6 Asfaltfuger

5.6.1 Beskrivelse

Gjennom årene har det blitt prosjektert og bygget en lang rekke asfaltfuger på norske bruer. I forbindelse med vegåpninger har asfaltfugene ofte fått mye skryt ettersom de har bedre kjørekraft enn andre brufuger når de er helt nye. Det har imidlertid vist seg at gleden over kjørekraften har vært kortvarig. Mange asfaltfuger har vist seg å ha kort levetid og etter hvert ha dårlig kjørekraft.

Statens vegvesen legger ned betydelige ressurser på vedlikehold av asfaltfuger, og fugene ser ikke ut til å fungere spesielt bra i sin nåværende form. En bredt sammensatt gruppe har derfor sett på problemet.

Andre fugetyper og forbedrede asfaltfuger er vurdert, og det er tatt materialprøver av bindemiddel i forskjellige asfaltfuger.

5.6.2 Resultater/funn

Det er gjennomgående dårlig kvalitet på asfaltfugene, og så mye usikkerhet knyttet til disse at det ikke anbefales at fugetyper prosjekteres på nye bruer. Fugefrie løsninger har ikke behov for asfaltfuge da en sprekk i asfalten inn mot bruenden ikke vil få konsekvenser for brua. Kloridholdig avrenningsvann som renner ned i sprekkene vil bli ledet ut i tilløpsfyllinga av membranen i bruenden og overgangsplata. Det er heller ingen spalter på en fugefri bru som eventuelt vann vil renne inn i. For bruer med så stor lengde at de ikke kan være fugefrie vil ikke en asfaltfuge ha kapasitet nok for å ta opp bevegelsen.



Asfaltfuge med stor skade (foto: Gaute Nordbotten)

Det vil være behov for en tett «asfaltfuge» på eksisterende bruer der lekkasje i en sprekk i asfalten vil føre til at kloridholdig avrenningsvann vil renne inn på konstruksjon og tilhørende utstyr.

Tradisjonell asfaltfuge mellom bruoverbygning i betong og bærelag i asfaltgrus ser ikke ut til å fungere.

Aktiviteten har også fulgt med på en konkurranse gjennomført av Nederlandske vegmyndigheter og utvikling av en alternativ løsning til fugetype utført i region øst. Disse fugene er nå lagt på enkelte steder og bør følges opp videre.

Et mislykket forsøk på å erstatte asfaltmaterialet i fugene med sprøytet gummi ble også gjennomført i region sør.

5.6.3 Implementering

Resultatene så langt er innarbeidet i *håndbok N400 Bruprosjektering* og *R762 Prosesskode 2* som kom ut i 2015. *Håndbok N400 Bruprosjektering* setter krav til at fugefrie bruer ikke skal ha noen form for fuge og i *håndbok R762 Prosesskode 2* er prosessen om asfaltfuge tatt ut fra prosess 87 Belegning og utstyr, men beholdt i prosess 88 Inspeksjon, drift og vedlikehold.

Gjennom kontroll og godkjenningsordningen for bruer er prosjekteringen av asfaltfuger på nye bruer fjernet for flere år siden. Dette gikk helt smertefritt og uten særlig diskusjon. Hele prosjekteringsmiljøet så nok at fugetypen ikke fungerte.

Region sør prøver for tiden ut «vinnerfugen» fra prosjektet i Nederland og region øst prøver ut en fuge de har vært med på å utvikle. Så langt ser resultatene bra ut. Løsningene har ulik grad av nye materialer og nye måter å bruke materialene på.

5.6.4 Videre anbefalinger og arbeid

Fugene som er under uttesting nå i region sør og øst må følges opp videre i håp om at disse fungerer. Det er helt klart et behov for en velfungerende «asfaltfugetype» på et stort antall eksisterende bruer. Dersom ikke de fugene som testes nå fungerer, vil det være behov for ytterligere utvikling.

5.6.5 Rapporter

Nordbotten, G: *Asfaltfuger. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nummer 549, 2016.

6 Tilstandsutvikling tunneler

6.1 Innledning

Prosjektet Tilstandsutvikling tunneler har fremskaffet kunnskap om den tekniske tilstanden på tunnelers konstruksjon og utrustning og økt kunnskapen om nedbrytningsmekanismer.

Formålet med prosjektet har vært å utvikle bedre verktøy for tilstandsutvikling, noe som er viktig for planlegging av drift og vedlikehold av eksisterende tunneler. Prosjektet har også etablert kunnskap som kan bidra til at fremtidige tunneler bygges og innredes slik at ønsket kvalitet og levetid oppnås.

6.2 Tilstandsutvikling for bolter

6.2.1 Beskrivelse

Bakgrunnen for aktiviteten er å lære mer om bestandighet til bolt av ulike stålkvaliteter og korrosjonsbeskyttelse.

Hovedmålsetningen med aktiviteten har vært å tilrettelegge for å undersøke tilstandsutviklingen til bolter i et aggressivt miljø over tid. Det er etablert et testfelt i Oslofjordtunnelen hvor det er plassert ut bolter med ulike stålkvaliteter og korrosjonsbeskyttelse, bolter som er omhyllet av boltemørtel og bolter som er påført mekaniske skader. Det er også videreført et lignende testfelt i Vardøtunnelen som opprinnelig ble etablert i 1981. Delen av aktiviteten som går på rapportering av testfeltet i Vardøtunnelen har vært gjennomført med bistand fra Mannvit.

Aktiviteten har i tillegg inkludert prøving av tidligfasthet til boltemørtel med ulike herdebetingelser.

6.2.2 Resultater/funn

I testfeltet i Vardøtunnelen er kun tre av de åtte testboltene fra 1981 gjenstående; én rustfri bolt og to kamstålbolter. Disse tre boltene har klart seg veldig bra, tatt i betraktning at de har vært eksponert for et aggressivt miljø i 30 år. Mer spesifikt kan det ut fra et svært begrenset grunnlagsmateriale se ut til at tykkelsen på pulverlakken har innvirkning på levetid, der tykkere pulverlakk gir bedre korrosjonsbeskyttelse.

Resultater fra testfeltet for bolt i Oslofjordtunnelen og det videreførte testfeltet i Vardøtunnelen vil komme etter avslutning av Varige konstruksjoner.



Bildet til venstre viser etablering av testfelt for bolt i Oslofjordtunnelen, mens bildet til høyre viser kamstålbolt med varmforsinking og pulverlakkering i testfelt i Vardøtunnelen, hvor den har stått i 30 år

Når det gjelder tidligfasthet til boltemørtel ser en ut fra trykkprøving av mørtelprismer at temperatur har stor innvirkning på fasthet ved 1–2 døgn, men at ulikhetene jevner seg ut med tid. Det er videre store forskjeller på ulike mørtelprodukter ved herding i lavere temperaturer.

6.2.3 Implementering

På bakgrunn av resultat fra denne aktiviteten sammen med resultater fra aktiviteten *Tilstandsutvikling for tekniske installasjoner* er det sendt inn forslag til revisjon av *håndbok N500 Vegtunneler* om en skjerping av krav til pulverlakktykkelse på festebolt og festedetaljer. Forslaget innebærer spesifisering av minimumstykkelse på pulverlakken i enkeltpunkter. Tidligere har det kun vært minimumskrav til et gjennomsnitt av fem enkeltpunkter. Det er videre spesifisert når og hvordan eventuelle skader i pulverlakken skal utbedres.

6.2.4 Videre anbefalinger og arbeid

Testfeltene i Oslofjordtunnelen og i Vardøtunnelen følges opp for å undersøke boltene tilstandsutvikling over tid. Det er foreløpig ikke planlagt å videreføre forsøkene med tidligfasthet for boltemørtel.

6.2.5 Rapporter

Klemetsrud, K: *Korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 464, 2016

Klemetsrud, K: *Korrosjonsforsøk på bolter i Oslofjordtunnelen. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 466, 2016

Klemetsrud, K og Helgestad, S.: *Prøving av tidligfasthet for boltemørtel, Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 510, 2016

6.3 Miljøbelastningar i vegtunnelar

6.3.1 Beskrivelse

Aktiviteten omfattar karakterisering av miljølaster som verkar på bergsikringa og andre materialar i vegtunnelar. Undersøking av miljøbelastningar er ein føresetnad for å forstå tilstandsutviklinga i konstruksjonsmateriala. Aktiviteten har vore nært knytta til aktivitetane om tilstandsutvikling for boltar, bestandigheit av sprøytebetong og tilstandsutvikling for tekniske installasjonar. Aktiviteten Miljøbelastningar i vegtunnelar har formidla miljødata til dei andre aktivitetane.

Samanheng mellom definerte miljølaster og tilstandsutvikling er spesifikt for det enkelte konstruksjonsmateriale, og derfor dokumenterte i fagrapportane frå dei aktuelle aktivitetane.

Det er kjent at nedbrytings- og korrosjonsfart i stor grad er styrt av tunnelmiljøet. Målet med aktiviteten har vore å:

- Skaffe betre oversikt over miljølaster som verkar nedbrytande på bergsikring og installasjonar i vegtunnelar
- Avklare kva type prøver og data som gir mest informasjon i samband med levetidsundersøkingar knytta til det systematiske tunnelvedlikehaldet
- Legge fram tilrådingar for vidare innsamling av miljødata i samband med det systematiske tunnelvedlikehaldet

Det er lagt størst vekt på prøvetaking og analyse i samband med aktiviteten bestandigheit av sprøytebetong, men har også deltatt i aktiviteten om tilstandsutvikling for tekniske installasjonar med faglege råd, samt skaffa fram relevante data for aktiviteten om tilstandsutvikling for boltar. I aktiviteten om tilstandskartlegging av vann- og frostsikringsløysingar har ein skild mellom påverknad frå ferskvatn og saltvatn utan særskild prøvetaking.

Hovudvekta har vore lagt på prøvetaking og analyse av vatn, partiklar og biofilm, blant anna ved oppfølging av testfeltet for sprøytebetong Oslofjordtunnelen og testfeltet for bergboltar på same stad. Opphavlege planar om systematiske analysar av luft i nokre tunnelar blei derimot skrinlagt.

Det er vidare lagt ned eit stort arbeid med å få etablert eit PhD program for mikrobiologiske undersøkingar av skadeleg biofilm i undersjøiske tunnelar. Det har i dei siste åra vore forska mykje internasjonalt på dette. Biologisk aktivitet fører i bestemte tilfelle til rask nedbryting av bl.a. stål og betong. Arbeid utført av Statens vegvesen har vist merkbar nedbryting av sprøytebetong og stålfiberkorrosjon i kontakt med biofilm i nokre undersjøiske tunnelar. Men det er også registrert eksempel på tilsynelatande ikkje-skadeleg biofilm. I tillegg har Statens vegvesen lenge hatt problem med tetting av dren i undersjøiske tunnelar på grunn av akkumulasjon av mikroorganismar. Det er også registrert helsefarlege sopptypar i ein senketunnel.

Det er behov for å kunne skilje mellom skadeleg og ikkje-skadeleg biofilm samt auka kunnskap om årsakene til bioakkumulasjon generelt. I 2015 blei det starta opp eit doktorgradsarbeid med vekt på skadeleg biofilm på sprøytebetong i undersjøiske tunnelar. Arbeidet omfattar identifikasjon av alle involverte mikroorganismar ved moderne DNA teknikkar og vil kaste lys over biokjemiske reaksjonar som fører til nedbryting av sprøytebetong og fiberarmering. Grunnforskning av dette slag er nødvendig for å finne mottiltak. PhD-studenten arbeider i Gøteborg og blir finansiert av samarbeidsprosjektet mellom Chalmers og Statens vegvesen.



Mikrobiologisk prøvetaking gjennom biofilm og ytre del av sprøytebetong i Oslofjordtunnelen. Foto: Statens vegvesen.

6.3.2 Resultat/funn

Arbeidet i aktiviteten har vist at eksponeringsforholda mht. vatn og bioakkumulasjon i tunnelar endrar seg noko over tid, for eksempel i Oslofjord testfelt for sprøytebetong. Det er vidare registrert både skadeleg og ikkje-skadeleg biofilm overfor sprøytebetong. Begge slag er rustfarga, og det er ikkje muleg å sjå forskjell på desse. Og i Karmsundtunnelen er det registrert jernoksidierende bakteriar/biofilm som kan føre til skade på installasjonar.

Aktiviteten konkluderer med at systematisk innsamling og analyse av vatn, partiklar, biofilm m.m. gir betre grunnlag for riktige vurderingar av tilstandsutviklinga i tunnelar. Statens vegvesen har i for liten grad lagt slike analysar til grunn med tanke på forvaltningsmessige prioriteringar.

6.3.3 Implementering

For å seinke nedbrytinga av både sprøytebetong og andre materialar brukt i tunnel bør ein spyle bort eventuell biofilm der ein kjem til. Vidare bør ein, ved oppgradering av gammal sprøytebetong i undersjøiske tunnelar vere særleg merksam på å fjerne utfellingar som kan vere skadelege for ny betong (gips, biofilm). Resultata frå aktiviteten har blitt formidla i kurs og foredrag, blant anna EVU-kurset KT 6004 ved NTNU (2014 og 2016): Betongteknologi for bruer – drift og vedlikehold.

6.3.4 Vidare tilrådingar og arbeid

Testfeltet for sprøytebetong i Oslofjordtunnelen skal følgast opp over fleire år for å sjå på langtidseffektar av aggressivt undersjøisk grunnvatn med og utan biofilm. Det er nødvendig å registrere endringar i eksponeringsmiljøet med tanke på bioakkumulasjon og vasskjemi minst ein gong i året. Etter planen skal det utførast 10 års test med analyse av både sprøytebetong og utplasserte prøver i 2020. Testfeltet bør følgjast opp med tanke på endringar.

PhD-studenten ved Chalmers skal etter planen levere avhandlinga i 2020, og har behov for både vegleing og logistikk i Oslofjordtunnelen og 1 til 2 andre undersjøiske tunnelar.

Det er viktig å få ei avklaring av behovet for meir systematisk dokumentasjon av miljøbelastningar som grunnlag for meir kostnadseffektivt vedlikehald innan tunnelforvaltninga.

6.3.5 Rapportar

Luke, J. (Norconsult): *Kartlegging av miljøbetingelser i tunnelar. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 236, 2013

Hagelia, P.: *Miljøbelastningar i vegtunnelar – oppsummering. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 577, 2016

6.3.6 Artiklar

Homleid, Å (2014): *Bakterier angriper sprøytebetong*. Byggeindustrien nr 11–2014, s 10–11 (Intervju med Per Hagelia)



Korrosjon på bolt er ofte mest markert i overgangen mot berg. Foto: Statens vegvesen.

6.4 Tilstandskartlegging av vann- og frostsikringsløsninger

6.4.1 Beskrivelse

I norske vegtunneler er det over lang tid benyttet mange ulike typer av hvelvkledninger for vann- og frostsikring. Hovedmålsettingen i denne aktiviteten var å foreta en tilstandsvurdering av utvalgte hvelvtyper, som del av grunnlaget for oppdatering av regelverket for vann- og frostsikring.

Revisjon av *håndbok N500 Vegtunneler* og *håndbok R510 Vann- og frostsikring i tunneler* har pågått parallelt. Under denne aktiviteten er det utført en oppdatering av kravgrunnlaget for dimensjonering av hvelv.

Det er gjennomført systematiske observasjoner av hvelvløsninger i til sammen 12 tunneler, både undersjøiske og oversjøiske, med vurdering av materialer, konstruksjonsdeler og korrosjonsbeskyttelse.

Hvelvtypene er:

- Tunnelduk, lett hvelv som er brukt i relativt stort omfang i lav trafikk – lav frost – tunneler over en periode på ca. 20 år. Hvelv med både eldre og ny type duk er undersøkt.
- Platehvelv – prøvelfelt fra 2005.
- Hvelv av membran og sprøytebetong, som benyttes i strøk med relativt lave frostmengder. Tre ulike typer er undersøkt. Dette er forholdsvis nye løsninger – fra 2009, og det er tidligere ikke utført en systematisk gjennomgang av tilstand og erfaringer.

Tilstandsbefaring i tunnelene og rapportering er utført av Aas-Jakobsen AS.

Tilknyttet aktiviteten er også et PhD-arbeid utført av Karl Gunnar Holter (2015) med tittel *Permanent waterproof sprayed concrete tunnel lining* (Vanntett permanent bergsikring og tunnelkledning for underjordsanlegg basert på sprøytbar membran og sprøytebetong). Oppgaven var et samarbeid mellom NTNU, Statens vegvesen og Jernbaneverket. Det ble i tillegg fullført to mastergradsoppgaver under dette arbeidet.

6.4.2 Resultater/funn

En fagdag med tema vann- og frostsikring i vegtunneler ble gjennomført 15.05.2014. Presentasjonene, med erfaringer fra alle regionene, og diskusjoner ga innspill til både tilstandskartlegging og forslag til gode løsninger for vann- og frostsikring under Fremtidens tunneler.

Den utførte tilstandsbefaringen viser at vann-/frotsikringshvelvene generelt tilfredsstillende funksjonskravene. Basert på visuelle observasjoner og feltmålinger er det gitt en vurdering av hvilke konstruksjonsdeler som har betydning for en anslått redusert gjenværende brukstid. I korthet er dette:

- Blæredannelse i pulverlakk og korrosjon på festebolter/festesystem montert i saltvannsonen i undersjøiske tunneler

- Korrosjonsbeskyttelse på platehvelv tæres bort
- PVC-materiale i Tunnelduk og membraner forringes over tid
- Festesystem for lette hvelv har i noen tunneler skader som skyldes trafikkbelastning

I andre aktiviteter under *Tilstandsutvikling tunneler* er det utført mer detaljerte undersøkelser samt gitt anbefalinger som gjelder stålqualität og korrosjonsbeskyttelse på festebolter og utstyr.



Bildet til venstre viser hulrom under blærende lakk i saltvannssonen i Bjorøytunnelen, mens bildet til høyre viser blæring og flassing i lakk i saltvannssonen i Ellingsøytunnelen.

6.4.3 Implementering

Kapitlet om laster og dimensjonering for vann- og frostsikringshvelv, inngår etter revisjonen i *håndbok N500 Vegtunneler* (ikke utgitt pr. nå). Aktiviteten har gitt innspill underveis i forbindelse med revisjon og høring av *håndbok N500 Vegtunneler*, samt gitt innspill til *håndbok R761 Prosesskode 1*, prosess 34, blant annet om hvelv av membran og sprøytebetong.

6.4.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det er ikke planlagt videre arbeid eller utredninger av lette hvelvløsninger.

Det må utarbeides innspill, veiledende beskrivelser og anbefalinger for vann- og frostsikring, som del av arbeidet med *håndbok V520 Tunnelveiledning*.

6.4.5 Rapporter

Rønneberg, C. og Østmoen, T.A. (Aas-Jakobsen AS): *Tilstand og tilstandsutvikling av ulike typer vann- og frostsikringshvelv. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 470, 2016.

6.5 Bestandighet av sprøytebetong

6.5.1 Beskrivelse

Aktiviteten har lagt vekt på å undersøke bestandighetsutviklinga i sprøytebetong brukt som bergsikring i undersjøisk miljø, alunskifermiljø og ferskvassmiljø. Hovudmålet har vore å skaffe fram ny kunnskap om kor rask nedbryting i aggressivt miljø er, samt vurdere om dagens krav er gode nok. Ein viktig føresetnad for å oppnå dette er at tilstandsutviklinga i dei undersøkte sprøytebetongprøvene blir sett i samanheng med miljølaster som verkar lokalt på prøvestaden. Det er utført omfattande laboratorieundersøkingar av kjerneprøver frå tunnel og laboratoriebetong.

Arbeidet bygger på fleire tidlegare prosjekt i Statens vegvesen, inklusive «Riktig bruk av sprøytebetong i tunnelar», «Moderne vegtunnelar», doktorgradsavhandling om nedbrytingsmekanismer i sprøytebetong, samt nye undersøkingar i Varige konstruksjonar. Mannvit AS har utført detaljerte undersøkingar i Baneheiatunnelen, Flekkerøytunnelen, Frøyatunnelen, Gruatunnelen, Sløverfjordtunnelen, Ekebergtunnelen og Svartdalstunnelen. Det er også utført enkle tilstandsregistreringar av brannsikringa. To masteroppgåver blei også knytta til etatsprogrammet (Nesttuntunnelen, Hopstunnelen og lokalitetar i Operatunnelen). Statens vegvesen har følgd opp Oslofjord testfelt for sprøytebetong (etablert i 2010) med betongprøving etter fem års eksponering i aggressivt undersjøisk miljø, og undersøkingar av tilstandsutvikling i 16 år gammal sprøytebetong like ved testfeltet. Årsakene til avskaling og nedfall av sprøytebetong som brannsikring i Nesttunnelen er undersøkt og avklara.

Resultata er samanstillt med dei mest detaljerte tidlegare undersøkingane, med tanke på følgjande hovudtema:

- Nedbryting over tid, inklusive identifikasjon av nedbrytingsmekanismer som føregår i tunnelar med ulike miljølaster
- Spesiell vekt på tilstandsutvikling av stålfiberarmering og effekten av ulike betongtykkelse

Undersøkingane er utført i samsvar med tilrådingar frå International Tunnel and Underground Space Association (ITA). Utvalet av tunnelar representerer moderne sprøytebetong. Tilstandsutviklinga i tunnelar eldre enn 1983–1985 representerer gammal teknologi og er ikkje rekna som relevant med tanke på vurdering av dagens krav.

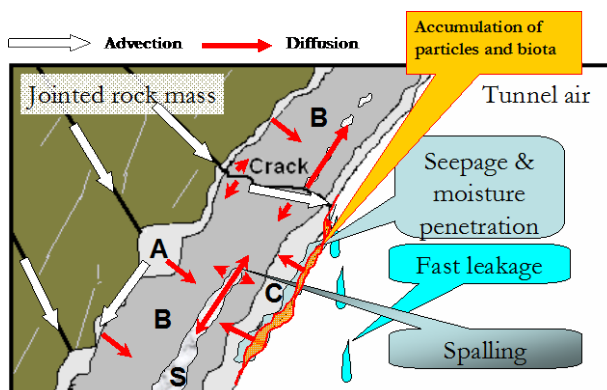
Analysane av sprøytebetong frå tunnelar har omfatta trykkfastheit, fiberinnhald, PF, fukt D/S, kloridinnhald, karbonatisering og fiberkorrosjon, samt strukturanalyse med betongpetrografi og Scanning elektronmikroskop for dokumentasjon av nedbrytingsreaksjonar. Aktiviteten har også omfatta laboratorieundersøkingar der sprøytebetong er samanlikna med basisbetong (kapillær absorpsjon, luftporestruktur, frostbestandighet, samt mekanisk prøving i form av trykkfasthet og E-modul).

6.5.2 Resultat/funn

Sprøytebetong brukt som bergsikring i tunnelar er påverka av svært mange variablar, og langt fleire enn brubetong. Nedbrytingsfarta er styrt av følgjande:

- Materialeigenskapar (betongresept, styrke, E-modul, tykkelse, hefteigenskapar.)
- Grunnforhold (hydrogeologi, bergmassestabilitet, mineralstabilitet, vasskjemi, biofilm)
- Forhold i tunnelrommet (fuktnivå, fordamping, tinesalt, partiklar, eksos, m.m.)

Aktiviteten har lagt vekt på analyse av tilstandsutviklinga på tunnellokalitetar der innverknaden av alle desse variablane er forholdsvis godt dokumenterte. Tilstanden til sprøytebetong er på kvar undersøkt lokalitet dokumentert i lys av grad av nedbryting mot berg, ytre nedbryting mot tunnelrommet og avskalingar sett i forhold til gjenverande intakt betong. Tilstanden på kvar lokalitet er så vurdert ut frå kjennskap til a) materialeigenskapane inklusive tykkelse og heftforhold, b) dei lokale grunnforholda med vekt på vasskjemi, innverknad av biofilm og vasstrykk, c) type nedbrytingsmekanisme (raske eller saktegåande) og d) muleg påverknad frå tunnelrommet.



Sprøytebetongkjerner er vurderte med tanke på omfanget av nedbryting: A–nedbryting mot berg, B intakt betong, C–ytre nedbryting og S–avskaling.

Tilstandsutviklinga i dei undersøkte tunnelane er hittil ikkje alarmerande, men observert nedbryting i undersjøisk miljø og alunskifermiljø viser at levetida til sterkt påkjent sprøytebetong neppe vil overskride 50 år. Tilstandsutviklinga for sprøytebetong i ferskvassmiljø tyder derimot på lang levetid.

Stålfiberkorrosjon i undersjøiske tunnelstrekningar er atskillig mindre problematisk enn tidlegare antatt, og særleg der sprøytebetongen er over 10 cm tykk og laga som M40.

Aktiviteten viser tydeleg at heftforholda er svært viktig for bestandigheitsutviklinga i aggressive miljø. Dårlig heft, og spesielt på strekningar der det er relativt høge vasstrykk, fører til lekkasjevatnet på bergsprekkar får godt tak på heftsona og i enkelte tilfelle påverkar ei større flate som gir omfattande omvandling av sone A. Motsett ser vi at sprøytebetong med god heft ofte kan vere lite eller ikkje påverka under elles same forhold.

Når det gjeld underskingane som samanliknar sprøytebetong med basisbetongen vart teoriane i forkant i stor grad bekrefte. Tilsetjing av akselerator samt sjølve sprøyteprosessen

har innverknad på resultatene i form av lågare trykkfastheit, høgare sugporøsitet, mindre luftporevolum, lågare PF og lågare frostmotstand for sprøytebetongen. Sprøytebetong med pp-fiber hadde grovare kapillærporer og litt større kapillært porevolum enn sprøytebetong med stålfiber.

6.5.3 Implementering

Aktiviteten har gitt bakgrunn for revisjon av *håndbok R761 Prosesskode 1*, ved igjen å krevje bruk av stålfiberarmering i undersjøiske sprøytebetong. Aktiviteten har samstundes bidrege til å løyse problemet med forureinande plastfiber. Det er nyleg også sett krav til minimum tykkelse på 10 cm og M40 for sprøytebetong i aggressivt miljø i *håndbok N500 Vegtunneler*.

Vidare bør ein i samband med rehabilitering og forsterking av bergsikringa sikre seg om at skadelege utfellingsprodukt i undersjøiske tunnelar (gipsbelegg m.m.) blir nøye fjerna, då desse i seg sjølv vil kunne føre til tidleg nedbryting, for eksempel avskaling. Og i tillegg foreslår oppsummeringsrapporten at ein heretter legg auka vekt på hydrogeologi i samband med framtidig tunnelprosjektering.

6.5.4 Vidare tilrådingar og arbeid

Erfaringsdata frå moderne sprøytebetong representerer opp til 30 års tilstandsutvikling. Vi manglar empirisk kunnskap frå moderne sprøytebetong designa for 100 års levetid. Det er derfor behov for å følgje opp fleire av dei undersøkte tunnelokalitetane med same undersøkingsmetodikk på nytt innan 5–10 år. Dette må omfatte:

- Tunnelar i alunskifermiljø, undersjøisk miljø og ferskvassmiljø
- Oslofjord testfelt for sprøytebetong, som planlagt i 2020

Det er også behov for å etablere nye monitorlokalitetar i nye tunnelar bygde etter revidert regelverk, samt å dokumentere langtidseffektar etter rehabilitering og oppgradering av gamle tunnelar.

6.5.5 Rapportar

Publiserte rapportar:

Hagelia, P.: *Oppsummering av tilstandsutvikling i sprøytebetong som bergsikring i ulike tunnelmiljø. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 566, 2016

Hagelia, P.: *Oslofjord testfelt for sprøytebetong – etablering og fem års testresultat. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 570, 2016

Hagelia, P.: *Internt sulfatangrep i lettbetong med perlitt – Nesttunnelen E16. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 582, 2016

Wigum, B.J.: (Mannvit): *Tilstandskontroll av sprøytebetong i sju tunneler. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 475, 2016

Fjose, A.: *Nedbryting av sprøytebetong i E39 Hopstunnelen og Nesttuntunnelen. Masteroppgåve NTNU, 2015*

Gulland, J.: *Sprøytebetong testet med destruktiv og ikke-destruktiv metode*. Masteroppgåve NTNU, 2015

Rapportar som ikkje er publiserte:

Wigum, B.J. og: Guðmundsson, G. (Mannvit): *Tilstandskontroll sprøytebetong, Sløverfjordtunnelen*. Mannvit rapport MV-2015-007, 2015

Wigum, B.J. og: Guðmundsson, G. (Mannvit): *Tilstandskontroll sprøytebetong, Frøyatunnelen*. Mannvit rapport MV-2015-011, 2015

Wigum, B.J. og: Guðmundsson, G. (Mannvit): *Tilstandskontroll sprøytebetong, Gruatunnelen*. Mannvit rapport MV-2015-012, 2015

Wigum, B.J. og: Guðmundsson, G. (Mannvit): *Tilstandskontroll sprøytebetong, Svartdals- og Ekeberg tunnelene*. Mannvit rapport MV-2015-013, 2015

Wigum, B.J. og: Guðmundsson, G. (Mannvit): *Tilstandskontroll sprøytebetong, Baneheiatunnelen*. Mannvit rapport MV-2015-014, 2015

Wigum, B.J. og: Guðmundsson, G. (Mannvit): *Tilstandskontroll sprøytebetong, Flekkerøy tunnelen*. Mannvit rapport MV-2015-015, 2015

6.5.6 Artiklar

Amundsen, B.O.: *Aggressive tunneler trenger mer sprøytebetong*. Intervju med Per Hagelia i Våre vegar nr. 10-2015

Hagelia, P.: *Sprayed concrete in aggressive subsea environment - The Oslofjord test site*. 6th International Symposium on Sprayed Concrete, Tromsø, 2011

Hagelia, P.: *Interaction of abiotic and biochemical reactions and their role in concrete deterioration*. Concrete, July/August 2013

Hagelia, P.: *Spalling of sprayed perlite concrete caused by popcorn calcite deposition and internally derived sodium sulfate under influence of water leakage, frost action and dynamic loads*. 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Delft, Nederland, 2015

Myren, S. & Bjøntegaard, Ø.: *Fiber reinforced sprayed concrete - mechanical properties and pore structure characteristics*. 7th International Symposium on Sprayed Concrete, Sandefjord, 2014

6.6 Tilstandsutvikling for tekniske installasjoner

6.6.1 Beskrivelse

Bakgrunnen for aktiviteten er erfaringer med at korrosjon opptrer tidligere enn nødvendig på tekniske installasjoner i tunneler; ofte på grunn av feil materialkvalitet, feil sammensatte materialer, og ikke tilstrekkelig korrosjonsbeskyttelse. Erfaringene viser at det er nødvendig med økt kunnskap om korrosjon og korrosjonsbeskyttelse i tunneler

Hovedmålet med aktiviteten har vært å samle korrosjonstekniske data fra ulike tunneler, og deretter utarbeide en rapport som tar for seg korrosjon generelt i tunnel og med forslag til materialkvaliteter og korrosjonsbeskyttelse.

Aktiviteten har hatt utstrakt samarbeid med Region vest og derigjennom Carl Lewin fra Cacon. Samarbeidet har omfattet undersøkelser i Bømlafjordtunnelen, undersøkelser i forbindelse med bygging av Karmøytunnelen, og i tillegg er det gjort mindre undersøkelser i flere andre tunneler. Mye av arbeidet har vært viet ventilatorer, men det er også gjort undersøkelser av andre metalliske installasjoner og opphengssystemer, samt at det er utført analyser av veistøv. Det er utarbeidet flere rapporter og notater fra undersøkelsene som vil bli samlet og utgitt i en felles rapport i løpet av 2016.

SINTEF Materialer og kjemi vært engasjert for å utarbeide rapporten om korrosjon i tunneler, og mange av funnene fra Carl Lewin er innarbeidet i denne rapporten. Rapporten har også fått verdifulle innspill fra undersøkelsene utført i forbindelse med aktiviteten

Tilstandskartlegging av vann- og frostsikringsløsninger. Rapporten omfatter følgende:

- Ulike korrosjonsmekanismer som er relevante for tunnel
- Ulike typer korrosjonsbeskyttelse
- Eksponeringsmiljø i tunneler
- Erfaringer med korrosjon på materialer som er aktuelle for bruk i tunneler
- Forslag til materialvalg og korrosjonsbeskyttelse for bolter og tekniske installasjoner

6.6.2 Resultater/funn

Rapporten gir en innføring i korrosjonstypene uniform /generell korrosjon, galvanisk korrosjon, spaltkorrosjon, gropkorrosjon, spenningskorrosjon, filiformkorrosjon, mikrobiell korrosjon og korrosjon i betong for ikke-metallurger. I tillegg blir ulike typer korrosjonsbeskyttelse gått gjennom.

Eksponeringsmiljøene i tunnel varierer med type tunnel; landtunneler, undersjøiske tunneler og tunneler i alunskifer og kisholdige bergarter, samt trafikkmengde. Det mest korrosive miljøet finnes trolig bak vann- og frostsikringshvelv i undersjøiske tunneler, i tillegg vil også tunneler i alunskifer og kisholdige bergarter, samt i trafikkrommet i undersjøiske tunneler har høy korrosivitet.

Det er videre gjort følgende erfaringer:

- Bergbolter som er gyst eller er i sprøytebetong korroderer ikke

- Varmforsinkede og pulverlakkerte festbolter står stort sett godt også i undersjøiske tunneler, men bør inspiseres etter 30 år. Eventuelt kan pulverlakken forsterkes
- Rustfritt stål EN 1.4404 er ikke bestandig i bak hvelv undersjøiske tunneler
- Opphengsmerker og skader i pulverlakk øker sannsynligheten for korrosjon
- Lysarmaturer og kabelbruer i EN 1.4404 og videre varmforsinket og pulverlakkert vil trolig stå godt
- Viftehus i ubehandlet cortenstål og varmforsinket og malt karbonstål har hatt lang levetid
- Aluminium egner seg godt til komponenter i trafikkrommet, men må ikke direkte kobles til stål
- Pumpehus i rustfritt stål EN 1.4404 vil korrodere. Disse vil måtte skiftes ut etter en tid, eller lages i svært edle (og kostbare) stållegeringer

Rapporten avsluttes med en tabell som oppsummerer anbefalte materialer og korrosjonsbeskyttelse for ulike komponenter i ulike miljø.



Korrodert bolteplate på bolt som stikker ut mellom to knøler

6.6.3 Implementering

På bakgrunn av resultat fra denne aktiviteten sammen med resultater fra aktiviteten *Tilstandsutvikling for bolter* er det sendt inn forslag til revisjon av *håndbok N500 Vegtunneler* om en skjerping av krav til pulverlakktykkelse på festbolt og festedetaljer. Forslaget innebærer spesifisering av minimumstykkelse på pulverlakken i enkeltpunkter. Tidligere har det kun vært minimumskrav til et gjennomsnitt av fem enkeltpunkter. Det er

videre spesifisert når og hvordan eventuelle skader i pulverlakken skal utbedres. Videre er følgende innspill gitt:

- Der utstyr av rustfritt materiale monteres til varmforsinka, pulverlakkerte bolter bør det rustfrie materialet males i avstand ca 30 cm fra bolten (f.eks. to strøk epoksymaling på tilsammen 300 µm) for å unngå galvanisk korrosjon. Eller det etableres et galvanisk skille mellom rustfritt materiale og bolt. Selve skjøten, evt. gjengepartiet, bør forsegles
- Valg av materialer for sjøvannsystemer bør spesifiseres. 1.4404 vil korrodere, og 1.4410 el. 1.4547 bør benyttes
- Kabelbruer, festebolter og lysarmatur kan godt leveres i 1.4404, men det bør åpnes for å bruke varmforsinket og pulverlakkert stål også
- For nødstasjoner, skilt, dører og rammer anbefales det å bruke anodisert aluminium, selv om 1.4404 trolig også vil fungere

For bedre kontroll med kvalitet bør mottakskontroll av materialer intensiveres.

For å unngå korrosjonsproblematikken helt i svært korrosive tunneler kan det benyttes superduplex stål (EN 1.4410) eller høylegert austenittstål (EN 1.4547). Disse vil være bestandige i hele tunnelens levetid, men er kostbare.

På bakgrunn av undersøkelsene i forbindelse med byggingen av Karmøytunnelen ble det utarbeidet en forbedret ventilatorspesifikasjon som ble brukt i konkurransegrunnlaget for T-forbindelsen.

6.6.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det er satt i gang et arbeid for å måle korrosivitet på bru og i tunnel i henhold til NS-EN-ISO 12944-2, ISO 9226 og ISO 8565. Arbeidet utføres av SINTEF Materialer og kjemi i samarbeid med Statens vegvesen Sentrallaboratoriet.

Undersøkelsene utført i Region vest skal sammenstilles og rapporteres, og forslaget til ventilatorspesifikasjoner må bearbeides slik at de kan gis som innspill til fremtidig revisjon av *håndbok R761 Prosesskode 1*.

6.6.5 Rapporter

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse i tunneler – revidert. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 410, 2015.

7 Fremtidens bruer

7.1 Innledning

Prosjektet Fremtidens bruer har gitt kunnskap som bidrar til at fremtidige bruer bygges med materialer bedre tilpasset det miljøet konstruksjonene skal stå i.

Prosjektets resultater skal bidra til at fremtidige bruer oppnår forutsatt levetid med reduserte og mer forutsigbare drift- og vedlikeholdskostnader. Arbeidet har bygget på etablert kunnskap om skadeutvikling og de sårbare punktene som er identifisert i prosjektet Tilstandsutvikling bruer.

7.2 Fremtidens brubetonger

7.2.1 Beskrivelse

De siste årene er bruk av flygeaske- og slaggsementer blitt mer og mer vanlig. Betonger med høy andel flygeaske og slagg kan ha mye langsommere egenskaps-/tetthetsutvikling, men kan også utvikle svært gode egenskaper på lang sikt. Det er imidlertid noen usikkerheter knyttet til bestandighetsegenskaper som kloridmotstand i tidlig alder, kloridbindingsevne og kritisk kloridnivå for armeringskorrosjon, motstand mot karbonatisering samt salt/frost-motstand. I tillegg er det også noe mer usikkerhet om tradisjonelle/akselererte laboratoriemetoder gir samme relasjon som før til langtidsoppførselen for en konstruksjon utsatt for naturlig eksponering i felt.

Hovedmålsettingen med aktiviteten har vært å skaffe kunnskap om hvordan slike sementers/bindemidler vil påvirke bestandigheten til betongkonstruksjoner i vårt klima, med stedvis hard eksponering fra sjøvann og tinesalter.

Aktiviteten har omfattet: Arrangering av et nordisk miniseminar på bestandighetseffekter av flygeaske og slagg, litteraturstudium på bestandighet av betong med høye doseringer av flygeaske og slagg, supplerende laboratorieforsøk og sammenfatning av alt utført laboratoriearbeid i prosjektet «samarbeidsprosjektet Anl-FA», egne korrosjonsforsøk i laboratorium, FoU-samarbeid med Statens vegvesen Region Midt og NCC i prosjektet Møllenberg betongtunnel, FoU-samarbeid med TNO Nederland, og FoU-samarbeid med CBI Betonginstituttet i Sverige.

7.2.2 Resultater/funn

I et **litteraturstudie** (nasjonal og internasjonal litteratur) er effekten av flygeaske og slagg på bestandighet i betong oppsummert. Funnene fra studien viser at:

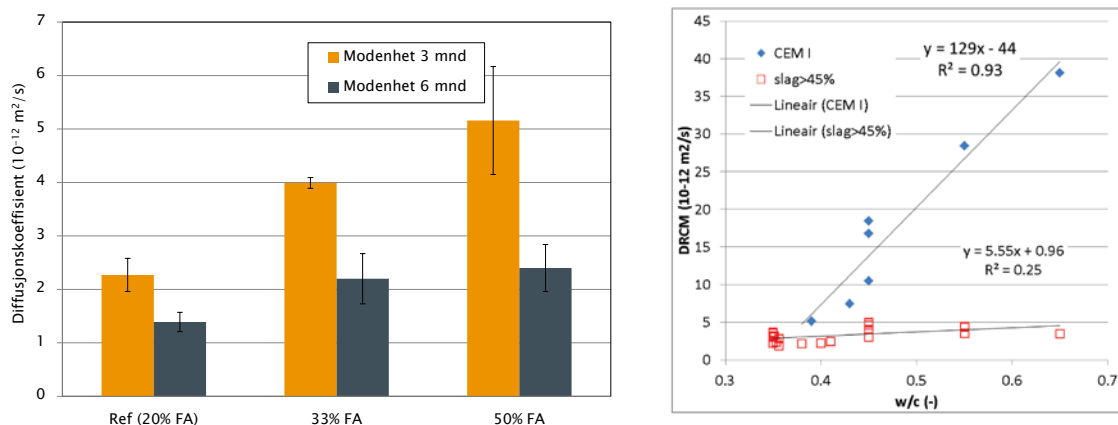
- Flygeaske og slagg gir generelt svært tette betonger, med god kloridmotstand.
- Flygeaske gir langsom egenskapsutvikling, mens slaggbetonger er relativt raske.
- Kritisk kloridnivå er noe uavklart, men mye tyder på redusert terskelverdi for flygeaske og slagg.
- Tilstrekkelige mengder av flygeaske og slagg gir sikkerhet mot alkalireaksjoner.
- Høye doseringer av flygeaske og slagg kan gi god kjemisk bestandighet.
- Høye doseringer av flygeaske og slagg gir redusert frostmotstand, særlig i nærvær av salt.

Studien oppsummerer også noen av de viktigste norske utviklingsprosjektene rundt bruk av flygeaske og slagg i betong. Erfaringene fra litteraturstudiet er i stor grad i tråd med inntrykket vi fikk i forbindelse med en **internasjonal workshop** vi arrangerte i 2012 og som besto av 16 foredrag og samlet 40 deltagere fra 9 nasjoner.

Egne akselererte kloriddiffusjonsforsøk viste at høye flygeaskedoseringer ikke gir større kloridinntrengning enn tradisjonell betong når betongen eksponeres for klorider i moden alder, men at tidlig klorideksponering ga økt kloridinntrengning i denne tidlige fasen. På grunn av svært god aldringseffekt ga ikke vedvarende realistisk klorideksponering fra tidlig

alder mer kloridinntrengning i betong med økende flygeaskeinnhold. Det ble også påvist at tidlig overflatebehandling markant reduserte kloridinntrengningen i tidlig fase; for betonger både med og uten flygeaske. Det er målt at både flygeaske og slag bidrar til høy elektrisk motstand i betongen over tid, noe som også er en generell erfaring. Økt flygeaskedosering i betongen ga også systematisk mindre herdevarme og redusert trykkfasthet.

I prosjektet **Møllenberg betongtunnel** ble det tatt ut kjerneprøver av betong med ulik andel flygeaske, lavest 20 % og høyest 50 %. Laboratorieundersøkelser viste at etter 6 mnd modenhet alder var kloriddiffusjonen (akselerert) bare moderat høyere i betongene med høyest flygeaskeinnhold. De samme betongene fikk mest frostavskalling i akselererte salt/frostforsøk, selv om luftporestrukturanalysene viste meget god luftporestruktur. Når rent vann ble benyttet som frysemedium i frostforsøket viste de samme betongene svært god frostmotstand. Akselererte karbonatiseringsforsøk (i relativt tidlig alder) ga stor karbonatiseringsdybde for høyt flygeaskeinnhold. Alkalireaktivitet (over 2 år) ble undersøkt bare for to betonger med høyt flygeaskeinnhold (33% og 50%); disse forsøkene viste at betongene var ikke-reaktive (det ble benyttet reaktivt tilslag).

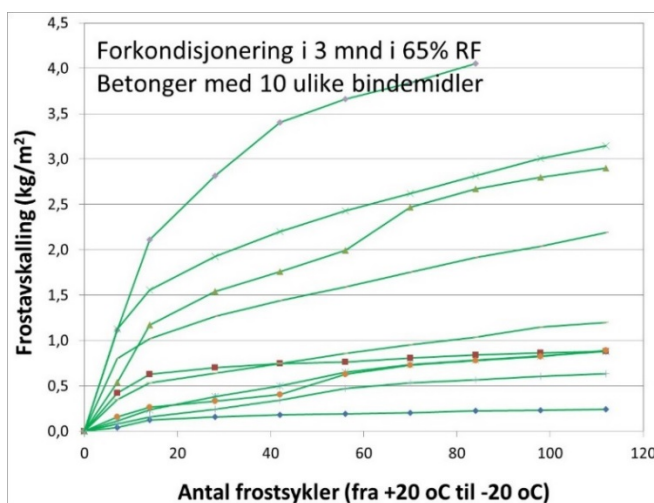


Figuren til venstre viser diffusjonskoeffisienter (D) for tre betonger med ulike FA-innhold etter akselerert kloriddiffusjon på utborede kjerner fra Møllenberg (Ref. SVV-rapport 415), og til høyre er vist D ved 28 døgn (RCM) for betonger med ulike w/c -tall og henholdsvis CEM I- og slagsegment (Ref. SVV-rapport 270)

Nederlandske erfaringer med slagsegment (50–70 % slag) strekker seg tilbake til 1920-tallet, og kan oppsummeres slik: Feltundersøkelser på konstruksjoner opp til 60 år gamle har vist at betongene har svært god motstand mot kloridinntrengning sammenlignet med CEM I (se høyre del av figur over), og betydelig høyere elektrisk motstand. Slagmengder > 50 % eliminerer problemer med alkalireaksjoner, gir noe dårligere salt/frost-motstand, men slaggbetonger fungerer godt i nederlandsk klima. Det er gjennomført egne forsøk på mørtel med tysk og nederlandsk CEM III/B, i tillegg til tysk CEM III/A og referanser med CEM I og CEM II/A–V (begge de siste med silikastøv). Testing har omfattet kloridmotstand, elektrisk motstand og karbonatisering. Ett-års resultater er rapportert, og bekrefter at slaggbetonger har svært god kloridmotstand allerede etter 7 døgn, mens CEM I og CEM II/A–V henger etter i tidlig fase. Kraftig reduksjon i kloriddiffusivitet fra 28–365 døgn for alle blandingene, og tilsvarende økning i elektrisk motstand. Etter 1 år har slaggbetongene like eller noe bedre

egenskaper enn CEM II/A–V, videre testing opp til 3 år vil gi ytterligere svar på langtidsegenskapene.

Høsten 2014 ble det inngått et 4-årig **FoU-samarbeid med CBI**, om undersøkelser av totalt 10 betonger med ulike sementtyper og ulike doseringer av FA (20–50%) og slagg (49–75%). Hovedintensjonen er å studere tinesalt/frostmotstand ved naturlig frosteksposering i felt i relasjon til akselererte frostforsøk i laboratoriet. I tillegg gjøres det porestrukturanalyse, kloridmigrasjon, elektrisk motstand, naturlig karbonatisering, samt fasthet og varmeutvikling. Feltforsøket har pågått for kort tid til å kunne gi interessant informasjon i dag, men med årene vil vi få nyttig informasjon om relasjonen mellom salt/frostmotstand ved felt- og ved laboratorieforhold. Feltforsøket (se venstre del av figur under) skal fortsette lenge og registreringer senere avgjøres på årlig basis. Laboratorieprogrammet går over 4 år, og resultater hittil viser som forventet at betonger med høye doseringer av flygeaske eller slagg har store problemer med å bestå akselererte frostforsøk, som har en mye hardere frostbelastning enn den naturen gir i felt. Videre gjøres det undersøkelser med ulike kondisjonering før frostprøving, for å se effekten av karbonatisering. Foreløpige resultater viser at alle betongene presterer dårligere ved økende alder/kondisjoneringstid/karbonatiseringsgrad (se Figur 2–høyre). Resultatene viser også her at det ikke eksisterer noen tradisjonell sammenheng mellom målt luftporestruktur i betongene og deres frostmotstand i laboratorieforsøkene.



Bildet til venstre viser utplassering av feltprøver ved CBI's feltstasjon ved Rv40 i desember 2014, mens figuren til høyre viser frostavskalling under akselerert frosteksposering i CBI-laboratoriet (start frostforsøk er etter 3 mnd med forkondisjonering) for alle 10 betongene

For å undersøke om det er markerte forskjeller i kritisk kloridnivå for armeringskorrosjon for ulike sementtyper, er det gjennomført egne **korrosjonsforsøk ved Sentrallaboratoriet**. I alt 19 betonger med ulike bindemidler og sammensetninger har blitt eksponert for kloridløsninger inntil korrosjon på innstøpt armering er initiert. Forsøkene er gjennomført med i alt tre oppsett i perioden fra sommeren 2011 og frem til i dag. Det er fremkommet en del resultater, men ikke tilstrekkelig mange til at klare konklusjoner kan trekkes. Forsøkene følges en tid fremover, og vil rapporteres på et senere tidspunkt.

7.2.3 Implementering

Implementert krav i *håndbok R762 Prosesskode 2* om bruk av kun spesifikke sementprodukter og ikke generelle sementklasser. En videre implementering av dette er et nylig igangsatt laboratedokumentasjonsprogram (se neste kapittel)

Implementerte funksjonskrav i *håndbok R762 Prosesskode 2* til betongspesifikasjonen SV–Lavvarme.

Gjennomført internkurs for Region Øst våren 2015: «Nybygging med vegvesenbetong i praksis; Kontrollingeniørens hverdag». Her ble blant annet både nytt betongregelverk og funksjonskrav til SV–Lavvarme gjennomgått.

7.2.4 Videre anbefalinger og arbeid

Fullføre FoU-samarbeidet med CBI (til 2018), deretter videre oppfølging av betongene ved feltstasjonen ved Rv40/Borås med registrering av frostskafer og saltinntrengning, med en hyppighet hvert 3.–5. år.

Omfattende laboratedokumentasjon (standardiserte laboratiemetoder) er nylig igangsatt og innbefatter alle bindemiddeltypene som i dag er godkjente i *håndbok R762 Prosesskode 2*; dette for å etablere en referansedatabase for vurdering av nye bindemidler i framtiden.

Utarbeidelse av veiledning til det nylig reviderte betongregelverket i *håndbok R762 Prosesskode 2*, inklusive krav for godkjenning av nye sementer/bindemidler. Arbeidet er påbegynt.

Etablere ny feltstasjon i marint miljø for langtids eksponering av dagens godkjente betonger og kandidater for framtidig godkjenning.

7.2.5 Rapporter

Publiserte rapporter:

Durability aspects of fly ash and slag. Workshop proceedings fra et Nordisk miniseminar. Oslo, Norway, 15.–16. Nordic Concrete Research, 2012

Pedersen, B. (redaktør): *Bestandighetsaspekter ved bruk av flygeaske og slagg i betong; presentasjoner fra Nordisk workshop*. Statens vegvesens rapport nr. 149, 2012

Pedersen, B.: *Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og feltefaringer*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 517, 2016

Polder, R.B., Nijland, T.G. og de Rooij, M.R. (TNO, Nederland): *Slag cement concrete – the Dutch experience*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 270, 2014

Bjøntegaard, Ø. og Rodum, E.: *Effekt av flygeaske på betongegenskaper*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 275, 2014

Bjøntegaard, Ø.: *Møllenberg betongtunnel – FoU bestandighet*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 415, 2015

Polder, R.B. (TNO, Nederland): *Chloride resistance of slag cement mortars. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 500, 2016

Gabrielsson, I., Ewertson C. og Utgenannt P. (CBI, Sverige) og Bjøntegaard Ø.: *Motstand mot tinesalter og frostskaider i betong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 515, 2016

Rapporter som ikke er publisert:

Gabrielsson, I. (CBI, Sverige): *Uppdragsrapport 4P00511 Delrapport A Omgang 1: Feltprøver til Rv40 og laboratorieprøvning*, 2015

Gabrielsson, I. (CBI, Sverige): *Uppdragsrapport 4P00511 Delrapport B Omgang 2: Laboratorieprøvning*, 2015

Gabrielsson, I. (CBI, Sverige): *Uppdragsrapport 4P00511 Delrapport C Omgang 3: Varmeutvikling*, 2016

Faglig beslektede rapporter fra andre aktiviteter:

De Weerd, K., Geiker, M. og Orsakova, D.: *Undersøkelse av betonger fra Solsvik feltstasjon. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapporter nr. 353, 2015

Rodum, E.: *Tidlig overflatebehandling av lavvarmebetong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapporter nr. 421, 2015

Geiker, M. (NTNU): *Fly ash in concrete, Danish experience. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapporter nr. 370, 2015

7.2.6 Artikler

Bjøntegaard, Ø. and Rodum, E.: *Concrete properties in young and mature age – Effect of fly ash*. Proc. of the Concrete Innovation Conference CIC2014, Oslo, June 11–13, 2014

Polder, R., Nijland T., de Rooij, M., Larsen, C.K., Pedersen, B.: *Innovation based on tradition: Blast Furnace Slag Cement for Durable Concrete Structures in Norway?* Proc. of the Concrete Innovation Conference CIC2014, Oslo, June 11–13, 2014

Polder, R.B., Rooij, M.R. de, Larsen, C.K., Pedersen, B.: *Chloride transport testing of blast furnace slag cement for durable concrete structures in Norway: from 2 days to one year age*, Proc. of the fib symposium, Performance-based approaches for concrete structures, Cape Town, November, to be published, 2016

7.3 Overflatebehandling av betong

7.3.1 Beskrivelse

Statens vegvesen har i spesielle tilfeller behov for betonger med lav varmeutvikling, såkalte lavvarme-betonger. Dette gjelder konstruksjoner med store, massive tverrsnitt og stor risiko for fastholdingsriss pga. interne temperaturforskjeller. Lavvarmebetonger kjennetegnes av høye doseringer av flygeaske eller slagg. Resultater fra senere års undersøkelser av bestandighetsegenskapene til betong med ulike flygeaskeinnhold viser at betonger med høyt flygeaskeinnhold har en langsommere fasthets- og bestandighetsutvikling enn betonger med ren Portlandsement. Lavvarmebetonger som eksponeres for kloridholdig miljø i ung alder (få dager) vil derfor få en større kloridinntrenging i tidlig fase enn en standardbetong.

Hovedmålsetningen med aktiviteten har vært å:

- Undersøke den kloridbremsende effekten av hydrofobere impregnering påført lavvarmebetong umiddelbart etter avforskaling.

Aktiviteten er gjennomført i tilknytning til byggingen av Tresfjordbrua i Møre og Romsdal. Brua er et pilotprosjekt i Statens vegvesen med kombinasjon av lavvarmebetong og tidlig hydrofobere impregnering. Det ble benyttet lavvarmebetong (masseforhold 0,39 og 39 % flygeaske) og tidlig overflatebehandling med hydrofobere impregnering (StoCryl HG 200, ca 200 g/m²) på landkar, fundamenter og søyler. Formålet med impregneringen var å ivareta betongens bestandighet det første året etter utstøping. I samarbeid med byggeledelsen og entreprenøren Bilfinger Berger ble det støpt mange små og ett stort prøveelement(er) for dokumentasjon av overflatebehandlingens kloridbremsende effekt på kort og lang sikt. Utstøping av prøveelementer, påføring av hydrofobere impregnering og utplassering av elementene i kloridholdig miljø ble utført i desember 2013. Elementene ble avformet ved 3 døgn alder og impregnert umiddelbart etterpå. Elementene ble eksponert ved neddykking i sjøvann fra 3, 7 og 14 døgn etter impregnering. For hver variant ble det også eksponert ubehandlede referanseelementer.

7.3.2 Resultater/funn

Det er gjennomført to prøveterminer for de små elementene, henholdsvis etter 6 mnd og 13 mnd eksponering i sjøvann. Det store elementet er undersøkt etter 13 mnd eksponering. I tillegg er det gjennomført trykkfasthetsprøving på utstøpte terninger og bestemmelse av inntrengingsdybde av den hydrofobere impregneringen før eksponering.

Resultatene viser:

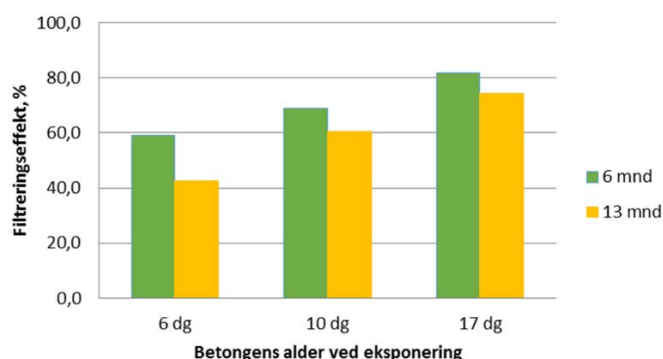
- Inntrengingsdybden av den hydrofobere impregneringen er målt fra 2,5 til 4,8 mm, med et gjennomsnitt av alle målinger for alle elementer på 3,7 mm. Det er ikke registrert en signifikant endring i inntrengingsdybde over prøveperioden. Den kloridbremsende effekten av overflatebehandlingen er betydelig. Effekten er økende med økende betongalder/polymeriseringstid før eksponering, dog noe avtagende fra 6 mnd til ett års eksponering. Filtreringseffekten varierer fra 45 % (elementer

eksponert ved 6 døgns betongalder i 13 mnd) til 80 % (elementer eksponert ved 17 døgns betongalder i 6 mnd).

- Betongen har en terningtrykkfasthet på 55,8 MPa etter 28 døgn og 75,5 MPa etter 90 døgn.

I beskrivelsen for Tresfjordbrua var det forutsatt at impregnerte flater skulle beskyttes ved tildekking i minimum 14 døgn før eksponering for marint klima. Dersom man antar at dette er representativt for prøveprosjektets variant med $3+14=17$ døgns eksponeringsalder, så tilsier det at det er et potensial for å filtrere vekk ca 75 % av kloridene i løpet av det første året. Det er imidlertid registrert en tilnærmet stopp i kloridinntrengingen i ubehandlet betong fra 6 mnd til 13 mnd eksponering, hvilket indikerer en relativt tidlig og markant tetting av betongen som vil kunne bety mye for videre kloridbestandighet og levetid. Det er godt mulig at betongen selv utvikler så gode bestandighetsegenskaper at tidlig ekstra beskyttelse er unødvendig.

Produksjon av prøveelementene er utført i vinterhalvåret med dagtemperaturer like over 0°C, og spesielt de små elementene har lite volum. Dette har gitt betongen tøffe herdeforhold i startfasen, samtidig som inntrengings- og polymeriseringsforholdene for den hydrofobere impregneringen har vært langt fra optimale. Værforholdene under utførelsen har imidlertid bidratt til at resultatene har høy grad av realisme, og viser at løsningen er robust. Dog vil det på kystbruprosjekter kunne oppleves værforhold som er langt verre enn de prøveprosjektet har erfart, for eksempel langvarige perioder med regnvær eller frost.



Bildet til venstre viser påføring av StoCryl HG 200 på stort element (halve elementet). Produktet påføres med rull. Figuren til høyre viser filtreringseffekt etter 6 mnd og 13 mnd. (Filtreringseffekten uttrykker andelen klorider som er filtrert vekk i impregnert betong i forhold til kloridinntrenging i ubehandlet betong)

7.3.3 Implementering

Resultatene fra prosjektet og de oppfølgende undersøkelsene i de nærmeste årene vil inngå i beslutningsgrunnlaget for hvilke retningslinjer som skal gjelde ved bygging av kystbruer med lavvarmebetong, eventuelt også for andre særlig kloridutsatte eller særlig kompliserte konstruksjonsdeler i betong. Resultatene vil bli implementert i *håndbok R762 Prosesskode 2*.

7.3.4 Videre anbefalinger og arbeid

Restene av de små elementene ble beholdt i sjøvann etter 1-årsprøvingen og det er igangsatt nye undersøkelser etter ca 2 års eksponering (februar 2016). Det store elementet er planlagt fulgt opp over flere år for å se på langtidseffekten av tidlig overflatebehandling.

7.3.5 Rapporter

Rodum, E.: *Tidlig overflatebehandling av lavvarmebetong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 421, 2015.

7.3.6 Artikler

Rodum, E.: *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner (2012–2015) – Nytt fra forskningsfronten*. Betongrehabiliteringsdagene 8–9. mars 2016

Herskedal, K.: *Tresfjordbrua et pilotprosjekt: Tester lavvarmebetong med tidlig impregnering*. Våre vegger 09/2015

7.4 Brudetaljer

7.4.1 Beskrivelse

Målsetningen med aktiviteten var å få utarbeidet en samling tegninger av detaljer som viser «beste praksis» der erfaringer viser at det er et stort behov for bedre detaljering eller endret praksis. Det er typiske detaljer som er sårbare sett fra et vedlikeholdsperspektiv og som ikke direkte kan knyttes til dimensjonering av konstruksjonen. *Håndbok N400 Bruprosjektering* setter en rekke krav til detaljering på tegninger slik at detaljene også er med på å implementere håndboken.

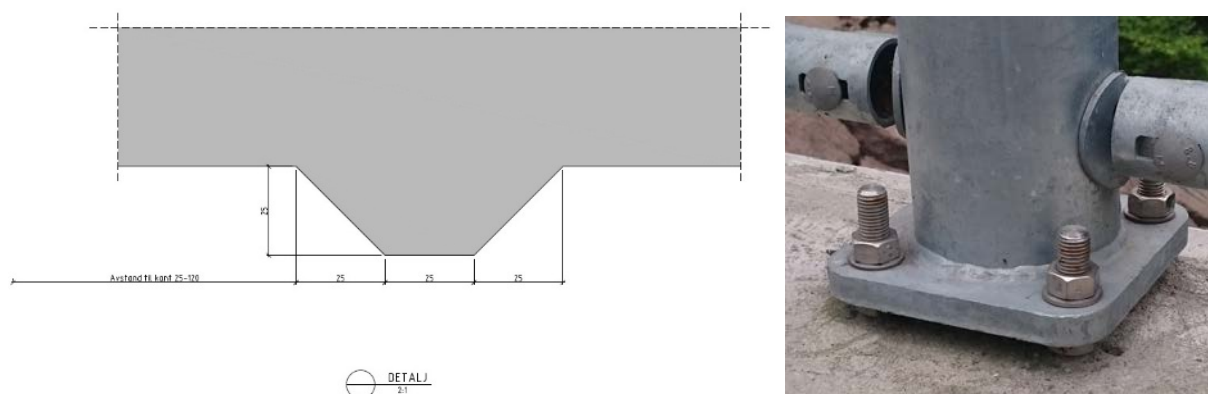
Detaljene har blitt kontrollert og godkjent på samme måten som arbeidstegninger for bruer. Dette fører til bedre kvalitet på produksjonsunderlaget, enklere kontroll og godkjenning og bedre kvalitet på detaljene på de bygde bruene. Mer enhetlige løsninger vil trolig også være en fordel for entreprenørene.

Som følge av eksempler på uheldig tverrsnittsutforming, ble den upubliserte rapporten *Prosjektering for bestandighet – med omtale og eksempler fra bruer* fra 1994 gått igjennom og kommentert. Temaet ble vurdert så viktig at det er skrevet en ny rapport med bakgrunn i den fra 1994, men sett med dagens øyne.

7.4.2 Resultater/funn

24 brudetaljer ble utarbeidet i 2013. Detaljene er fritt tilgjengelige i dwg- og jpg-filer på Statens vegvesens nettsider. Detaljene ble revidert i 2015 for å tilpasses *håndbok N400 Bruprosjektering* versjon 2015. Etter revideringen følger nå detaljene nummereringen i håndboka. Antall detaljer tilgjengelige nå er 21.

For prosjektering med tanke på bestandighet er det tatt store skritt siden 1994. Veldig mye av det som ble påpekt den gangen er tatt hensyn til og er nå praksis i bransjen. Et eksempel er at innstøpte stolper for rekkverk er erstattet med innstøpt gruppe av gjengestenger i rustfritt stål.



Figuren til venstre viser brudetalj K07.9.1 a) Dryppnese. Bildet til høyre viser rekkverksinnfesting

7.4.3 Implementering

Detaljene er i daglig bruk hos de aller fleste bruprosjekterende, det vises når tegninger kommer til kontroll og godkjenning.

I forbindelse med revisjon av *håndbok N400 Bruprosjektering* og *R762 Prosesskode 2* er detaljene tatt hensyn til og delvis henvist til. En del punkter er tatt ut av håndbøkene ettersom detaljene angir det som er nødvendig. Videre har deler av detaljene dannet grunnlag for ny tekst i håndbøkene. Detaljene gjør det enklere å ta i bruk ny kunnskap fordi de er lettere å revidere enn håndbøkene.

Detaljene blir omtalt flere ganger på kurset i *håndbok N400 Bruprosjektering* som Bruseksjonen har gjennomført i februar og mars i 2016. Rundt 300 personer har deltatt på kurs.

7.4.4 Videre anbefalinger og arbeid

Arbeidet med brudetaljene fortsetter som eget prosjekt på Bruseksjonen. Det tas sikte på å doble antallet detaljer samt å utarbeide noen eksempeltegninger. Ledelsen på bruseksjonen ønsker å utgi detaljene som *håndbok V450 Brudetaljer*.

7.4.5 Rapporter

Brudetaljene: <http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Bruer/Bruprosjektering/Brudetaljer>

Nordbotten, G: *Bruprosjektering med tanke på bestandighet. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 545, 2016

7.4.6 Artikler

Aurlien, H.: *Vil bygge varige konstruksjoner*. Veggen og vi, 02/2013 (Intervju med Gaute Nordbotten og Knut Grefstad)

7.5 Optimal lengde for landkarløse bruer

7.5.1 Beskrivelse

De siste femten årene har Statens vegvesen prosjektert og bygget et stort antall fugefrie bruer. Tidligere praksis med diverse andre landkarløsninger uten fugerom har vist seg å ikke fungere særlig bra. Kloridholdig vann fra tinesalting har trengt inn i spalter og gir fare for armeringskorrosjon på steder som ikke er inspiserbare. Det samme vannet har også rent ned på lagre og lageravsatser. Landkarløsninger uten fugerom er således ikke noen god løsning.

Aktiviteten har i hovedsak vært en studie av eksisterende fugefrie bruer, og det er forsøkt å sammenstille en del fakta om hvordan fugefrie bruer med ulike lengder ser ut til å fungere i vegnettet. Målet var å komme fram til en optimal, maksimal lengde for fugefrie bruer. Det er ikke en målsetning å erstatte alle brufuger, men å innføre fugefrie løsninger der det ikke er nødvendig med fuge.

Parallelt med dette arbeidet har komitéen som jobbet med *håndbok N400 Bruprosjektering* gjort en litteraturstudie rundt temaet. Håndboka ble utgitt i 2015.

7.5.2 Resultater/funn

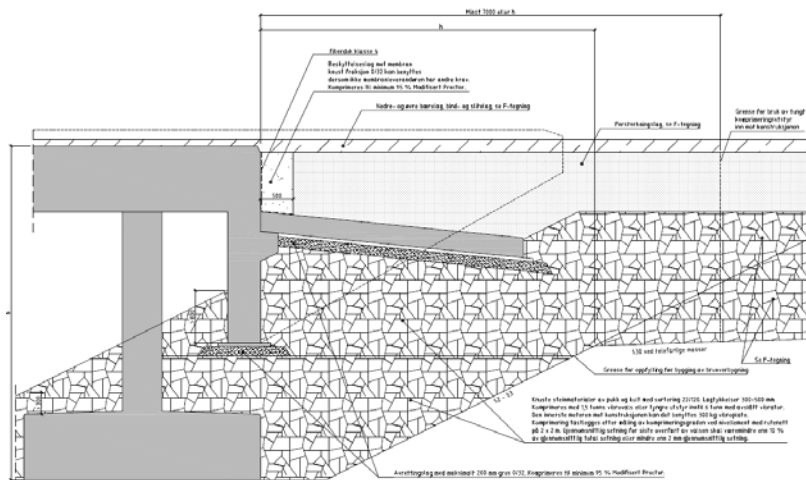
Det kan ikke trekkes entydige konklusjoner på hva som er en optimal maksimal lengde på fugefrie bruer med bakgrunn i de observasjoner som er gjort.

Bruer med fugefri løsning i ene enden og fuge i den andre fungerer bra. Fugefrie bruer med fastholding på midten og fugefri løsning i begge ender fungerer gjennomgående bra for brulengder opp til opp til rundt 70 meter. For bruer med lengde opp til 100 meter ser det også greit ut. Lengder mellom 100 og 150 meter kan heller ikke sies å ikke fungere, men det må her regnes med litt mer ujevnheter og sprekker i asfalten inn mot bruendene. Det blir da en avveining mellom reparasjoner av asfalten med noen års mellomrom og vedlikeholdet av en brufuge. Reparasjon med asfalt kan gjøres på en kort natt, mens bytte av fuge kanskje tar en uke.

Følgende punkter er viktige for fugefrie bruer:

- Riktig tilbakefylling rundt vingemurer og endeskjørt ser ut til å være av avgjørende betydning. Dette gjelder spesielt der det er inspiserbart område mellom endeopplag og endeskjørt.
- Bruk av lette masser i ene enden og tunge i andre bør unngås.
- Det bør legges bind- og slitelag over bruene samtidig med at vegen asfalteres slik at det ikke blir skjøter i asfalten i nærheten av bruenden.
- Det bør benyttes polymermodifisert bitumen i bindemiddelet i bind- og slitelag.
- Overgangsplate bør benyttes.
- For bruer med større lengde enn angitt av heltrukken linje i figur 3.1 i *håndbok N400 Bruprosjektering*, bør de termiske forholdene på brustedet kartlegges bedre enn med isotermkartene i *NS-EN 1991-1-5*.

Det er også laget en brudetalj som viser tilbakefylling inntil en typisk fugefri løsning.



Tilbakefylling inntil fugefri bruende (fra brudetaljer)

7.5.3 Implementering

Med unntak av termiske forhold, er strekpunktene i foregående punkt innarbeidet i *håndbok N400 Bruprosjektering*. Krav til termiske undersøkelser bør innarbeides i neste versjon.

De nye punktene som er innarbeidet i *håndbok N400 Bruprosjektering* blir påpekt spesielt på kurset som holdes i håndboka. Punktene bør også formidles videre til de som kontrollerer bruer.

7.5.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det anbefales at fugefrie bruer med lengde over 70 meter og prosjektert etter *håndbok N400 Bruprosjektering* versjon 2015 følges opp framover. For de bruene som allerede er observert anbefales ingen ytterligere observasjoner da det er for mange faktorer som virker inn og for mye som er ukjent.

Brutypen med fuge i ene enden og fugefri i den andre fungerer bra og bør benyttes der det blir for langt med fugefri løsning.

7.5.5 Rapporter

Nordbotten, G.: *Optimal lengde for fugefrie bruer*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr 548, 2016

7.6 Fugeutforming

7.6.1 Beskrivelse

Statens vegvesen har gjennomgående utfordringer knyttet til vedlikehold av brufuger. På sentrale deler på Østlandet er dette en av de problemstillingene som bruvedlikeholdet arbeider mest med, og som krever mest ressurser. Arbeider med fuger er kostnadskrevende og gir ulemper for trafikanter i form av stengte bruer eller bruer med redusert framkommelighet.

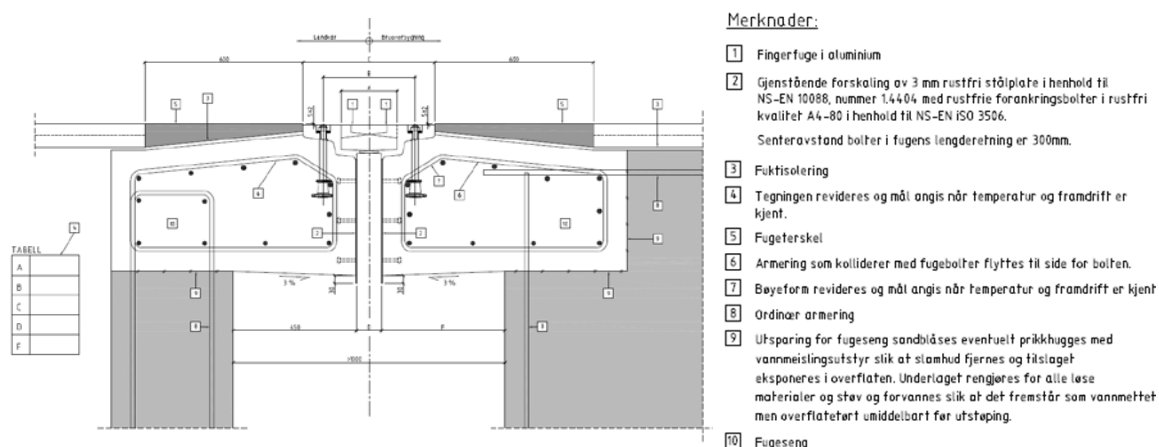
Arbeidet i aktiviteten har omfattet å samle erfaringer knyttet til prosjektering og utførelse av mekaniske brufuger. Hensikten var å foreslå forbedringer, og dermed bidra til mindre feil i forbindelse med fuger.

7.6.2 Resultater/funn

Resultatene fra undersøkelsene, sammen med erfaringer fra kontroll og godkjenningsordningen av nye bruer, viser at det er overveiende sannsynlig at mangelfull prosjektering er en sterkt bidragende årsak til at det er mye feil i forbindelse med fuger. Prosjektering av fuger krever en helhetsforståelse av bruas virkemåte, hvordan den bygges og spesiell forståelse for faktorer som innvirker i fugeområdet under bygging. Mye tyder på at prosjekterende ofte er av den oppfatning at nesten alle fugerelaterte ting er egne produkter, og at entreprenører og leverandører vil løse utfordringene på byggeplassen på en god måte. Tegninger blir derfor ofte ikke tilpasset valgt produkt før produksjonen starter.

I tillegg til dette har ikke regelverket vært godt nok og krav til fugeprosjektering har vært delt opp i to håndbøker; *N400 Bruprosjektering* og *R762 Prosesskode 2. Håndbok R762 Prosesskode 2* er ikke et naturlig sted for krav til prosjektering da denne brukes som generell beskrivelse i kontrakter med entreprenørene.

Det er også utarbeidet en brudetalj om fuger og flere vil bli utarbeidet.



Brudetalj av fingerfuge (fra brudetaljer)

7.6.3 Implementering

Parallelt med arbeidet med fuger har *håndbok N400 Bruprosjektering* og *håndbok R762 Prosesskode 2* blitt revidert, og håndbøkene er nå oppdatert i henhold til rapportens

anbefalinger. Videre er det ryddet opp slik at krav til prosjektering er innarbeidet i *håndbok N400 Bruprosjektering* og krav til bygging er innarbeidet i *håndbok R762 Prosesskode 2*.

Høsten 2015 ble det gjennomført en temadag om brufuger i Oslo der rapporten *Mekaniske brufuger* ble presentert. I tillegg til dette fikk vi to fugeleverandører til å presentere sine produkter og være med i diskusjoner rundt fuger. Det kom rundt 50 personer på temadagen, noe som var langt over forventet. Det er stor grunn til å tro på at vi kommer en bit på vegen mot bedre fuger ved å få bransjen opp på nivået beskrevet i rapporten *Mekaniske brufuger*.

7.6.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det anbefales at det fortsatt settes stor fokus på fuger i forbindelse med kontroll av bruer. Kontrollen er viktig i både i prosjekterings- og byggefasen.

7.6.5 Rapporter

Nordbotten, G.: *Mekaniske brufuger. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr 400, 2015

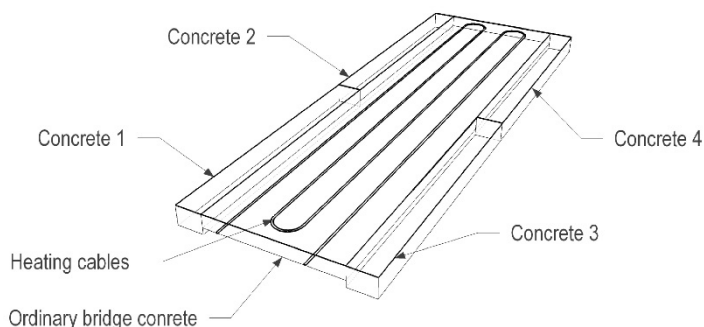
7.7 Fiberarmering

7.7.1 Beskrivelse

Fiberarmering har i en årrekke vært et fokusområde innen FoU både i Norge og internasjonalt. Konstruktiv bruk av fiberarmering er imidlertid i lite praktisk bruk i Norge, imotsetning til fiberarmering av spørtebetong, samtidig som forsøk har vist at fiber er godt egnet til enkelte formål; for eksempel til rissbegrensning og for opptak av skjærkrefter. Kantdragere på bruer er ofte utsatt for fastholdingsriss, grunnet temperaturforskjeller mellom det herdede dekket og kantdrageren, samt svinnsforskjeller. Det arbeides også med en publikasjon i regi av Norsk betongforening om fiberarmerte betongkonstruksjoner, samt at det er planer om at neste generasjon Eurokoder vil åpne for bruk av fiber som bærende armering i kombinasjon med tradisjonell armering.

Målet med aktiviteten var å undersøke hvilken effekt ulike typer fiber har på rissutvikling i kantdragere. Arbeidet har i sin helhet vært utført på NTNU, med både en masterstudent og en post doc involvert. Post doc-arbeidet har omfattet beregninger i forkant av laborieforsøkene, mens masterstudenten har utført rissmålinger på kantdragere på bruer i Trondheimsområdet, samt deltatt på laborieundersøkelsene.

Feltundersøkelsene omfattet registrering av hyppighet og omfang av rissdannelse i kantdragere på 4 bruer. Laborieforsøkene omfattet støping av en plate, og når den var herdet ble det støpt på kantdragere med det som i utgangspunktet skulle være fire ulike fibertyper; uten fiber, 0,5 % basaltfiber, 0,7 % polymerfiber og 0,4 % stålfiber. Blandingen med basaltfiber måtte utgå på grunn av feilstøp. For å oppnå maksimal temperaturforskjell mellom platen og kantdragerne, ble kantdragerne isolert under herding, mens platen ble isolert under oppvarming.

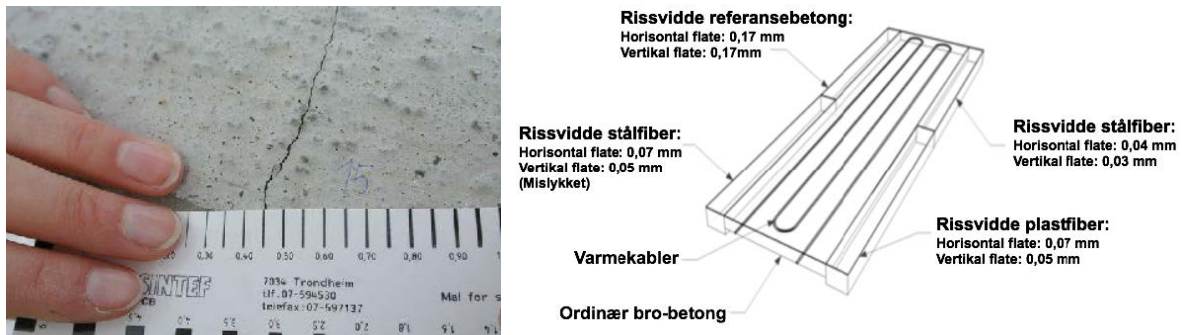


Skisse som viser plate med påstøpte kantdragere (fra fordypningsoppgave NTNU)

7.7.2 Resultater/funn

Feltundersøkelsen viste at alle bruene overskred den maksimalt anbefalte rissvidden på 0,3 mm for armerte betongkonstruksjoner i eksponeringsklasse XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XS2 og XS3 gitt i eurokode 2. Dette viser at fastholdingsriss er et utbredt problem.

Laboratorieundersøkelsene viste at bruk av fiberarmering hadde svært positiv virkning på rissutviklingen, der bruk av stålfiber reduserte gjennomsnittlig rissvidde med en faktor på 4–5, mens polymerfiberne reduserte rissvidden med en faktor 2–3



Venstre: Måling av rissvidde, høyre: Registrerte rissvidder (begge fra fordypningsoppgave NTNU)

7.7.3 Implementering

De utførte forsøkene med fiberarmering er kun innledende forsøk, og gir ikke grunnlag for endring av regelverk. Resultatene gir imidlertid godt grunnlag for videre utprøving av fiberarmering som konstruktiv armering.

7.7.4 Videre anbefalinger og arbeid

Arbeidet blir videreført i BIA (brukerstyrt innovasjonsarena)–prosjektet DaCS, Durable advanced Concrete Structures. Her skal fiberarmering i kantdragere prøves ut i full skala på en gangbru i Sandnes. I tillegg til en referanse med tradisjonell armering, skal det prøves ut vanlig stålfiber, galvanisert stålfiber, rustfri stålfiber, polymerfiber og basaltfiber.

7.7.5 Rapporter

Skare, E. L. (NTNU): *Virkning av fiberarmering på rissutvikling i kantdragere: laboratorieforsøk med fastholdingsriss*. TKT4530 Betongteknologi, fordypningprosjekt, NTNU, 2015

7.8 Skadekatalog for trebruer

7.8.1 Beskrivelse

Det er i dag ca. 120 trebruer i det offentlige vegnettet, de aller fleste bygd i løpet av de siste 20 årene. Riktig utforming påvirker bruas levetid i stor grad, der levetiden er svært avhengig av å ikke sperre vann inne, hindre oppfukning, og samtidig finne løsninger som gjør brua enkel å inspisere.

I bruforvaltningssystemet Brutus blir registrering av skader håndtert på en ny måte, der det skilles på skadegrad og skadekonsekvens. Arbeidet i aktiviteten har omfattet å samle og systematisere skader på trebruer, og målet er å få det implementert i *håndbok V441 Bruinspeksjoner* som for tiden er under revisjon. Arbeidet i aktiviteten er utført av Region øst.

7.8.2 Resultater/Funn

Rapporten *Inspeksjonserfaring på trebruer* omfatter praktisk erfaring rundt detaljering av trebruer. Det gis en innføring i fuktproblematikken og prinsipper for utforming, med eksempler på anbefalte løsninger.

Kilder til fukt i trebruer er:

- Nedbør, hovedsakelig regn, men også snøsmelting
- Kondens; som følge av varmeutstråling fra andre materialer, temperaturtregheten i materialet, påvirkning fra omliggende materialer, samt at konstruksjon ligger over vassdrag
- Oppvirvling av fuktighet fra trafikken
- Andre kilder; begroing, smuss og kontakt med våt betong



Avrenning av vann inn mot knutepunkt

For å øke trebruers bestandighet kan man enten benytte kjemisk trebeskyttelse, eller gi god konstruktiv beskyttelse og sikre gode tørkemuligheter. Konstruktiv beskyttelse, som rapporten konsentrerer seg om, handler om å sikre god vannavrenning, unngå

fuktkonsentrasjon, samt å gi treet mulighet til å tørke ut. Rapporten gir eksempler på detaljer etter kategoriene utforming av veglinje, landkar, rekkverk, beslag, forbindelser, treoverflate og annet.

7.8.3 Implementering

Arbeidet utført i aktiviteten gir innspill til revidering av *håndbok V441 Bruinspeksjon*.

7.8.4 Videre anbefalinger og arbeid

Arbeidet med revidering av *håndbok V441 Bruinspeksjon* fortsetter. Skadekatalog for trebruer må bearbeides ytterligere og tilpasses registrering av skader i bruforvaltningssystemet Brutus der man skiller på skadegrad og konsekvens.

I videre arbeide med brudetaljene vil det også bli utarbeidet detaljtegninger for trebruer

7.8.5 Rapporter

Burkhart, H.: *Inspekjonserfaring på trebruer*. Statens vegvesens rapport nr 468, 2016. (Rapporten er utgitt i Region øst, ikke som en del av Varige konstruksjoner.)

8 Fremtidens tunneler

8.1 Innledning

Prosjektet Fremtidens tunneler har bidratt til at fremtidige tunneler bygges med materialer, utførelse og kontroll bedre tilpasset det miljøet konstruksjonene er utsatt for.

Prosjektet har bygget videre på arbeidet i Moderne Vegtunneler, samt innspill fra Prosjektet Tilstandsutvikling tunneler, med hovedfokus på tunnelkonstruksjonen i et levetidsperspektiv. Prosjektets resultater vil bidra til at installasjoner i fremtidige tunneler oppnår tiltenkt levetid med reduserte og mer forutsigbare drift- og vedlikeholdskostnader.

8.2 Kvalitet av tunnelkontur

8.2.1 Beskrivelse

I august 2008 ble det av etatsledermøtet (ELM) bestemt at det skal utarbeides en helhetlig strategi for vegtunneler. Utformingen av strategien ble gjort i etatsprogrammet *Moderne vegtunneler* i perioden 2008–2011. *Forslag til strategi for bygging av bergtunneler (del 1)*, som bl.a. innebærer såkalt «helstøpt tunnelhvelv» som konsept for framtidige tunnelkonstruksjoner med lang levetid og bedre kvalitet som overordnet målsetning, ble lagt fram for ELM 23. juni 2011 hvor forslaget fikk tilslutning. *Forslag til strategi for øvrige områder av tunnelvirksomheten (del 2)* ble oversendt Veg- og transportavdelingen (VT) 11. november 2011.

Som følge av ELMs tilslutning til tunnelstrategien, skal konseptet *helstøpt tunnelhvelv* testes ut i full skala og i en hel tunnels lengde. Forberedelser til slik gjennomføring gjøres gjennom utredning av valgt aktuell tunnel på reguleringsplanstadiet. VT velger prosjekt hvor tunnelen er av en slik lengde at det gjenspeiler en riktig kostnad for denne type tunnelbygging.

Et slikt prosjekt er ennå ikke valgt. En viktig kostnadmessig forutsetning for konseptet *helstøpt tunnelhvelv* er optimalisering av den utsprengte tunnelkonturen slik at en oppnår lengre levetid og høyere kvalitet på bergkonstruksjonen i nye vegtunneler. I aktiviteten *Konturkvalitet* inngår følgende underaktiviteter, som både er gjennomført og til dels allerede implementert i *håndbok R761 Prosesskode 1* under mellomrevisjonene i 2012 og 2015: *Oppfølging Ulvintunnelen på Fellesprosjektet* (2013–2014), *Erfaringsinnhenting internasjonalt* (2013) og *Krav til boring og tennere* (2013).

Aktiviteten har resultert i en oppsummeringsrapport basert på innhentede erfaringer fra utførte veg- og jernbaneprosjekter og fra pågående FoU-prosjekt på forbedret utførelse av tunnelkontur i både Sverige og Norge. Rapporten er tenkt konvertert til en veileder for konturkvalitet i tunnel.

8.2.2 Resultater/funn

Basert på innhentede erfaringer fra Fellesprosjektet E6–Dovrebanen, Skillingsmyr-entreprisen på Vestfoldbanen, Kvivsvegen, E16 Bjørnegårdstunnelen, Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF), Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) og Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo), kan følgende oppsummeres i henholdsvis en situasjonsbeskrivende del og en del som beskriver mulige forbedrende tiltak:

Dagens situasjon:

1. Konturkvaliteten i norske samferdselstunneler slik de sprenges ut i dag, er et godt stykke fra å være optimal i forhold til ønsket om lengre levetid og høyere kvalitet på bergkonstruksjonen.
2. Forutsetningene for en kostnadsoptimal utførelse av konseptet *helstøpt tunnelhvelv* er dermed ikke til stede med dagens utførte tunnelkontur og praksis for utførelse og oppfølging av tunnelsprengning. Dette medfører unødvendig høyt spesifikt

sprengstofforbruk, unødvendig store utslipp av nitrogen og ammonium til miljøet, unødvendig mye rensk, unødvendig utkjøring og deponering av masser som gjerne inneholder miljøfiendtlig plast, – og ikke minst unødvendig stort volum av bergsikring.

3. Hovedårsaken til den ikke-optimale tunnelkonturen er hovedsakelig knyttet til en kontraktsutforming som gir framdriftsorienterte entreprenører nærmest frie tøylar og dels til manglende oppfølging av kontraktskrav fra byggherren side.
4. Kontraktsutformingen for vegtunneler i Norge legger stor vekt på tidsfrister for ferdigstilling og dette har bidratt til, og fortsetter å bidra til, at vi har en kultur både hos byggherre og entreprenør hvor maksimal inndrift til lavest mulig pris er styrende. Tidsfristene er gjerne satt ut fra bransjens tidligere oppnådde kapasiteter hvor kvalitet har vært lite vektlagt. Ferdigstilling før tidsfrist anses følgelig som svært positivt.
5. Kvaliteten på produktet tunnelkontur er lite spesifikt definert i kontrakt da det i gjeldende utgave av *håndbok R761 Prosesskode 1* heter: Bergsprengningen skal utføres slik at unødvendig svekkelse av den endelige bergkontur unngås. Kontursprengning skal utføres slik at en får jevnest mulig vegger og heng. Konturhull skal ansettes med en nøyaktighet på 100 mm (les: i forhold til entreprenørens teoretiske boreplan) og ikke innenfor prosjektert kontur. Retningsavviket (les: i forhold til teoretisk retning/stikning i entreprenørens boreplan) ved ansett skal ikke overstige 6 %. Omfatter også tiltak for skånsom sprengning av kontur.
6. Derimot angir *håndbok R761 Prosesskode 1* klart definerte krav til boremønster, boring og lading. Ladningskonsentrasjon skal sågar dokumenteres. Det er gjerne på disse punktene, som er de eneste kontrollerbare, at det skinner i gjennom at kvalitet ikke anses som så viktig da det ytterst sjelden rapporteres om tunnelanlegg hvor byggherren både kontrollerer disse kontraktspunktene og samtidig ikke ser gjennom fingrene på kontraktsbrudd her.
7. I kontraktene har vi i tillegg til de diffuse konturkravene, lagt inn en håndsrekning til entreprenører som har en romslig fortolkning av kvalitet og skånsom sprengning av kontur, og som kun prioriterer framdrift, nemlig begrepet «geologisk betinget utfall». I prinsippskisse for volum av overberg/utfall ved sprengning under dagen defineres dette begrepet som utfall av berg utover en avstand på en halv meter utenfor prosjektert sprengningsprofil. I den seinere tid har det stadig oftere dukket opp krav fra entreprenører i forhold til «geologisk betinget utfall», sågar også i sålen, som ikke er vist i prinsippskisse og som byggherren vanligvis ikke har vært så strikt på å definere som tunnelkontur.

Mulig forbedrende tiltak:

8. Kontraktskravene må endres ved at de enten vris mot a) funksjonskrav for den endelige bergkontur, hvor kontroll av produkt gjøres med laserskanning og det innføres en form for incitament-/strafferegime ved positivt/negativt avvik, eller b) at kontraktskravene for både utlasting og bergsikring gjøres opp etter kun prosjekterte

mengder samtidig som begrepet «geologisk betinget utfall» skrotes. Forsøk med bonusordninger for minimering av overberg har bl.a. på Fellesprosjektet vist seg å ikke ha tilsiktet virkning. Det synes da mer hensiktsmessig å låse mengdene (som det gjøres i Mellom-Europa) mot prosjekterte lengder, arealer eller volum slik at det blir i entreprenørens egeninteresse å minimere mengder det ikke vil bli betalt for, selv om dette vil gi høyere (men kanskje kvalitetsmessig riktigere) enhetspriser. Dette nødvendiggjør utstrakt bruk av laserskanning for å dokumentere at levert leveranse av bl.a. bergsikring er i tråd med bestilt.

9. Det er erfaring for at en rekke tekniske tiltak vil bedre kvaliteten av tunnelkonturen. Dersom slike tiltak legges inn som utførelseskrav i tillegg til endringene foreslått i punkt 8. over, er det viktig at disse kravene overholdes til punkt og prikke ute i prosjektene for å sikre rettferdig konkurranse i en situasjon hvor minimering av mengder også er i entreprenørens interesse.
10. Tekniske tiltak tilknyttet boring utover allerede implementerte krav:
 - a. Autoboring
 - b. Min. borehullsdiameter i kontur og ev. innerkontur
 - c. Skjerpet krav til ansett av konturhull
 - d. Stikning på konturhull og hull i innerkontur
 - e. Stikning på hull i tredjerast
 - f. Avgraving og rensk av såle
 - g. Ansett og stikning på liggerhull
 - h. Boring av liggerhull og grøftehull
 - i. Plassering av ev. kuttgrøft i profilet
 - j. Navigering av tunnelrigg
 - k. Trådløs overføring av MWD-data til BPT-program, MEMU og injeksjonsrigg
 - l. Avviksmåling der kontrakt stiller krav til nøyaktighet/parallelitet
11. Tekniske tiltak tilknyttet lading utover allerede implementerte krav:
 - a. Overholdelse av makskrav til ladningsmengde
 - b. Valg av sprengstoff
 - c. Sentrerte, dekkede ladninger i liggerhull
 - d. Begrensning av ladningslengde
 - e. Fordemming av ladehull
 - f. Optimalisering av bunnladning
 - g. Bruk av strengladning i hele salva
 - h. Bruk av slangetrommel ved automatisk slangetrekk
 - i. Ladekorg/bommer med automatisk slangetrekk på MEMU
 - j. Ladeplan på dataskjerm i ladekorg
 - k. Trådløs overføring av MWD-data fra borerigg
12. Tekniske tiltak tilknyttet initiering/tenning utover allerede implementerte krav:
 - a. Valg av tennsystem
 - b. Vibrasjonskrav sett mot ladningskonsentrasjon og enhetsladning
 - c. Krav til hullvis, rastvis og total forsinkertid. Innerkontur og kontur slettsprenges.



Bildet til venstre viser en ikke uvanlig kontur i en norsk samferdselstunnel (foto: Per Ivar Nikolaisen, mens bildet til høyre viser en god kontur i en svensk forsøkstunnel (foto: Anders Bouvin)

8.2.3 Implementering

Krav til ladningskonsentrasjon uttrykt i effekt (MW/m), krav om parallellitet mellom kontur- og innerkonturhull, og krav til uthuling av stoff ved at konturhull og innerkonturhull holdes avtrappet igjen, er krav som har til hensikt å bedre tunnelkonturkvaliteten og som allerede er implementert i *håndbok R762 Prosesskode 1* under mellomrevisjonene i 2012 og 2015.

8.2.4 Videre anbefalinger og arbeid

Utover endring av de generelle kontraktskrav til at mengder for både utlasting og bergsikring foreslås gjort opp etter kun prosjekterte mengder, og begrepet «geologisk betinget utfall» skrotes, må tekniske tiltak vurderes hver for seg og sett i sammenheng med faren for konkurransevridning og begrensning av entreprenørens kreativitet.

Videre bør det gjennomføres FoU på alternativer til plast i tennerproduksjon eller bruk av alternative plasttyper som er biologisk nedbrytbare, samt FoU på automatisert posisjonering av ladeslange og automatisert ladeprosess ved bruk av strengladet bulkemulsjon.

8.2.5 Rapporter

Neby, A.: *Kvalitet av tunnelkontur – forbedrende tiltak. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 437, 2016

8.3 Helstøpt tunnelhvelv

8.3.1 Beskrivelse

I august 2008 ble det av etatsledermøte (ELM) bestemt at det skal utarbeides en helhetlig strategi for vegtunneler. Utformingen av strategien ble gjort i etatsprogrammet *Moderne vegtunneler* i perioden 2008–2011. *Forslag til strategi for bygging av bergtunneler (del 1)*, som bl.a. innebærer såkalt «helstøpt tunnelhvelv» som konsept for framtidige tunnelkonstruksjoner med lang levetid og bedre kvalitet som overordnet målsetning, ble lagt fram for ELM 23. juni 2011 hvor forslaget fikk tilslutning. *Forslag til strategi for øvrige områder av tunnelvirksomheten (del 2)* ble oversendt Veg- og transportavdelingen (VT) 11. november 2011.

Som følge av ELMs tilslutning til tunnelstrategien, skal konseptet *helstøpt tunnelhvelv* testes ut i full skala og i en hel tunnels lengde. Forberedelser til slik gjennomføring gjøres gjennom utredning av valgt aktuell tunnel på reguleringsplanstadiet. VT velger prosjekt hvor tunnelen er av en slik lengde at det gjenspeiler en riktig kostnad for denne type tunnelbygging. Et slikt prosjekt er ennå ikke valgt. Aktivitetene «Etablere prosjektorganisasjon i samarbeid med VT (2013–2014)» og «Bidra til utarbeidelse av spesifikasjoner og detaljløsninger (2014–2015)» som var lagt inn i aktiviteten *Helstøpt tunnelhvelv*, har derfor blitt lagt på vent.

Jernbaneverket har imidlertid gjennomført et slikt tunnelkonsept i hhv. Ulvintunnelen og Molykkja-tunnelen på Fellesprosjektet E6–Dovrebanen ved Mjøsa i perioden 2012–2015. Erfaringer fra bruken av konseptet under fullskala bygging er innhentet gjennom samarbeid med Jernbaneverket og eget evalueringsarbeid. Spesiell fokus har vært knyttet til konturkvalitet, støping, drenering og detaljløsninger som kan overføres til vegtunnel med tilhørende kostnadsestimater.

Aktiviteten har resultert i en oppsummeringsrapport på utførelse av kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv (V/F-hvelv) med membran i full skala, altså et *helstøpt tunnelhvelv* i tråd med Statens vegvesens tunnelstrategi.

8.3.2 Resultater/funn

Erfaringene som er gjort fra byggingen av Ulvintunnelen kan oppsummeres følgende:

1. I Hovedrapporten fra *Moderne vegtunneler* anslås det at *helstøpt tunnelhvelv* vil innebære en økning i byggekostnadene på 15–30 % grunnet økt tidsforbruk ved driving og økte investeringskostnader i forhold til dagens tunnelutforming og vann- og frostsikringskonsept med frittstående V/F-hvelv. Innkommende tilbudspriser på Ulvintunnelen indikerte ved sammenligning med justert tilbud på vegtunnelene i samme entrepris, at denne estimerte økningen i kostnader kunne være noe høy. Tilbud på en helt sammenlignbar jernbanetunnel mellom Farriseidet og Porsgrunn med betongelementer (44.000,- kr/lm) indikerte 17 % høyere pris for kontaktstøpt V/F-hvelv med membran (51.500,- kr/lm).
2. Ved ferdigstilling, etter at alle tillegg og krav er tatt med i kostnadene, er kostnadene økt til 57.800,- kr/lm (31 %) for betongelementer og 62.000,- kr/lm (20 %) for kontaktstøp

med membran. Forskjellen i byggekostnader mellom de to konseptene utgjør da ved ferdigstillelse kun 7 %.

3. Årsakene til kostnadsøkningen for kontaktstøpkonseptet er flere, men merforbruk av betong og mange kompliserte armerte nisjeløsninger har bidratt til økningen. Økt betongforbruk skyldes stort avvik mellom teoretisk sprengningsprofil (men også avvik ift. teoretisk salveplan) og faktisk utsprengt volum. Årsakene til dette beror dels på ikke praktisk sprengbart prosjektert grøftetverrsnitt, dels selve utførelsen av kontursprengningen, dels byggherrens oppfølging av kontrakt, og ikke minst uklare fortolkning og registrering av geologisk betinget utfall.
4. I siste revisjon 27.01.2016 av *Jernbaneverkets Teknisk regelverk, Tunneler, Prosjektering og bygging, Vannsikring*, angis det at kun følgende konstruksjonstyper for vannsikring skal benyttes:
 - a) Betongsegmenter for TBM
 - b) Kontaktstøpt betonghvelv med membran
 - c) Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran

Dette innebærer at begge de frittstående hvelvløsningene med betongelement og PE-skum tas bort fra Teknisk regelverk da det er funnet at disse løsningene innehar en rekke komponenter som kan feile, og det må påregnes et visst behov for tilsyn og utskifting i løpet av teknisk levetid. Elementene er dessuten store og tunge, og dette er krevende sett i et sikkerhet-, helse- og arbeidsmiljø-perspektiv. Sett disse løsningene opp mot hverandre, kommer kontaktstøp bedre ut totalt sett.

5. Det standardiserte konseptet fra dagens jernbanetunneler med nisjer for alle jernbanetekniske installasjoner og VA, ble dessverre videreført inn i konseptet for den kontaktstøpte Ulvintunnelen. Ikke mindre enn 350 nisjer for installasjoner ga kompliserte utsparinger i hvelvet og bidro kraftig til at hastigheten på støpearbeidene ble redusert.
6. De første togene rullet gjennom de tre kontaktstøpte jernbanetunnelene i desember 2015. Erfaringene så langt viser at tunnelene er tørre og fine. På tre forskjellige profilnummer er betongkonstruksjonen og berget blitt instrumentert med sanntidssensorer for parameterstudier av vanntrykk, temperatur og tøyning i konstruksjonen. Etter noe over to hele års måletid viser de høyeste vanntrykkmålingene lengst ut i berget, vekk fra konstruksjonen, et vanntrykk på maksimalt litt over 1 bar (0,1 MPa). Temperaturen i måleseksjonen nærmest tunnelpåhuggene, 170 m inn fra portal Nord, har nå sist vinter, etter at tog har begynt å transportere tunnelen, så vidt krøpet under 0 °C i den ytterste delen av støpen mot trafikkrommet. De andre seksjonene har ingen frostinntrengning. De målte deformasjonene er små og induisert av temperaturvariasjon.

8.3.3 Implementering

Håndbok R761 (tidligere 025) Prosesskode 1 har siden 1994 inneholdt prosesser som muliggjør en løsning med kontaktstøpt VF-hvelv med membran. Prosess 34.2 har med mindre justeringer på krav til betongkvalitet og membran hatt nær identisk ordlyd i 22 år. Jernbaneverket har brukt de samme prosessstekstene i sine kontrakter på Fellesprosjektet

uten omfattende spesiell beskrivelse. Behov for oppdatere prosesskodene går i så tilfelle på krav til volum og overflate av tunnel, samt måleregler for både utført masseuttak og utførte betongmengder, både sprøytet og utstøpt.

Noen krav som har til hensikt å bedre tunnelkonturkvaliteten er allerede implementert i Prosesskoden under mellomrevisjonene i 2012 og 2015. Dette går på krav til ladningskonsentrasjon uttrykt i effekt (MW/m), krav om parallellitet mellom kontur- og innerkonturhull, og krav til uthuling av stuff ved at konturhull og innerkonturhull holdes avtrappet igjen. Ytterligere innspill som det ikke ble tid til å se på ved 2015-revisjonen, er krav til tennere og bruk av automatisk slangetrekk ved strengladning. Erfaringer fra bl.a. Fellesprosjektet sier oss at vi må lage regelverket vårt slik at det er i utførendes egeninteresse å ikke få for store bergvolum som skal erstattes med betong. Essensielt her blir da måleregler som går på prosjekterte areal snarere enn utførte volum. Geologisk utfall er også punkt som bør revurderes da disse utfallene i kanskje større grad enn geologien skyldes den anvendte sprengningsteknikken.



Bildet til venstre viser sikret og avjevnet bergoverflate med sprøytebetong, montering av membran og støp (Foto Reynir Georgson). Bilet til høyre viser montering av armering (gitterdragere) (Havik Hermanstad 2015)

8.3.4 Videre anbefalinger og arbeid

Med bakgrunn i de positive resultatene fra Fellesprosjektet anbefales det at fullskala utprøving av helstøpt tunnelhvelv også gjennomføres i et vegtunnelprosjekt så snart som mulig, og i tråd med ELMs tilslutning fra 2011. Ved innføring av kontaktstøpt betonghvelv med membran i vegtunneler, vil man i tillegg til nisjer også måtte ta hensyn til havarilommer. Tanken om et gjennomgående havarifelt bør derfor tas opp igjen.

8.3.5 Rapporter

Drevland Jakobsen, P. og Neby, A.: *Kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran, Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 435, 2016

8.4 Tunnelbelysning

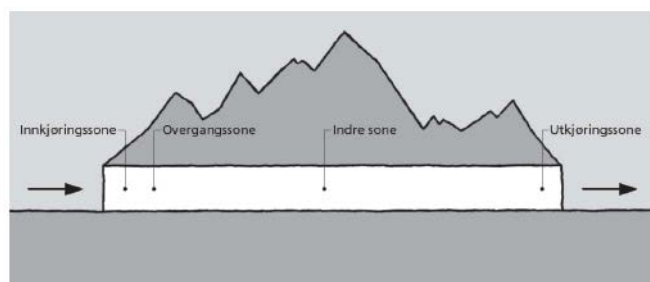
8.4.1 Beskrivelse

Mange norske tunneler har gammelt, teknisk utstyr som har overskredet den teknisk-økonomiske levetiden. Det er også utfordringer med tanke på lysstyring, samt drift og vedlikehold av teknisk utstyr. For å tilfredsstille tunnelsikkerhetsforskriften og elektroforskriftene må Statens vegvesen bl.a. oppgradere belysningen i mange tunneler. Driftskostnadene til tunnelbelysningen er meget høye, og ved oppgradering er det viktig å vurdere hvilken nytte man kan ha av å ta i bruk ny teknologi og nye systemer for å redusere strømforbruket samtidig som man sørger for god belysning.

Målet med denne aktiviteten har vært å samle og bearbeide informasjon om status og utvikling innen fire temaer:

- Forsøk med LED til tunnelbelysning
- Forsøk med lysstyring
- Forsøk med lyse tunnelvegger
- Tunnelrenhold og konsekvens for belysning

Det er gjennomført feltmålinger for å kartlegge status, samt at nye installasjoner er fulgt opp, i totalt 10 tunneler. Arbeidet ble utført av Norconsult.



Bildet til venstre viser Presturatunnelen med LED-belysning i indre sone, mens figuren til høyre viser belysningssoner i tunnel (håndbok N500 Vegtunneler)

8.4.2 Resultater/Funn

Lystteknisk sett er det ikke noe som tilsier at en må vente med å introdusere LED som belysning i tunneler, men samtidig er det utfordringer med tanke på opplevd blinding. Videre bør det gjøres en prosjektspesifikk analyse over levetidskostnader før LED velges, der levetidskostnader reduseres ved hjelp av god styring. Tilfeller der LED-belysningen i tunneler har skapt elektrisk støy på tunnelenes nødsamband hadde opphav fra tilhørende lysstyringsutstyr, og ikke selve LED-teknologien. Det er derfor viktig at EMC-direktivet oppfylles for alle komponenter, samt at også ferdig installasjon skal tilfredsstille alle krav.

Med korrekt lysstyring kan det spares mye energi, men ikke alle løsninger er kostnadsbesparende. LED-belysning er også spesielt godt egnet for dimming.

8.4.3 Implementering

Følgende anbefales tatt inn i *håndbok N500 Vegtunneler* og *håndbok V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning*:

- Det bør åpnes opp for en vurdering av varierende vedlikeholdsfaktor for å utnytte potensialet i styring og dimming
- Nye systemer med innebygget konstant «lumen output» bør omtales i belysningsveilederen for tunneler
- LED-belysning bør velges på bakgrunn av prosjektspesifikke LCC-analyser
- Kravet til fysisk blending er tilpasset tradisjonelle armaturer, men det arbeides med krav tilpasset LED. Frem til dette er på plass bør det orienteres i V124 om at kravet ikke er tilpasset LED
- En prosedyre for prosjektering og etterprøving av belysning av tunnelvegger må på plass. Denne bør baseres på prosedyre angitt i ANSI RP-22.
- Deteksjon av tilstedeværelse ved trafikkstyrt belysning bør gjøres slik at belysning tennes tidsnok. Avstand fra portal baseres på fartsgrense
- Vask av armatur bør inkluderes i alle kontrakter omfattende «halvvask» og renhold av armaturer bør inngå som et skjerpet krav i alle fremtidige vedlikeholdskontrakter (renhold) for tunnel.
- Lyse vegger gir gode synsforhold men tilsmussingen skjer raskt. Det må benyttes produkter og metoder som gir god opprettholdt lyshet og god

8.4.4 Videre anbefalinger og arbeid

Aktiviteten anbefaler videre arbeid inne følgende temaer:

- Luminanskamera til kontinuerlig måling av adaptasjonsluminans må følges opp.
- Styringssystemer for LED-armaturer må følges opp, og det må gis bedre anbefalinger for valg av styringssystem
- Igangsatte nordiske forsøk med å korte inn lengden på innkjørings- og overgangssonen, i regi av NMF, må følges opp. Resultatet kan bli betydelig strømsparing.
- Forsøket med solcelleanlegg til belysning i avsidesliggende strømløse tunneler bør følges opp og evalueres.
- Metoden for å fastsette riktig belysningsnivå i tunnelens innkjøringszone må forbedres.

8.4.5 Rapporter

Larsen, P.J. (Norconsult): *Tunneler i Norge – Kunnskapsstatus belysning Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 560, 2016

Larsen, P.J. (Norconsult): *Fremtidens tunnelbelysning. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 562, 2016

8.4.6 Artikler

Aurlien, H.: *Tester langtidslys*. Vegen og vi, 02/2013 (Intervju med Per Ole Wanvik)

8.5 Drift- og vedlikeholdsrevisjoner, VEGRAMS

8.5.1 Beskrivelse

Statens vegvesens strategi for vegtunneler gir drifts- og vedlikeholdsfunksjonen en premissgivende rolle for planlegging, prosjektering, bygging og rehabilitering av vegtunneler. Dette innebærer i praksis at drifts- og vedlikeholdsorganisasjonen skal være en aktiv premissgiver for nye tunnelprosjekter og for tunnelrehabiliteringsprosjekter. RAMS-metodikken (Pålitelighet, Tilgjengelighet, Vedlikeholdbarhet og Sikkerhet) videreutvikles for å identifisere kritiske feil med hensyn til konsekvenser for fremtidig drift og vedlikehold av vegtunneler.

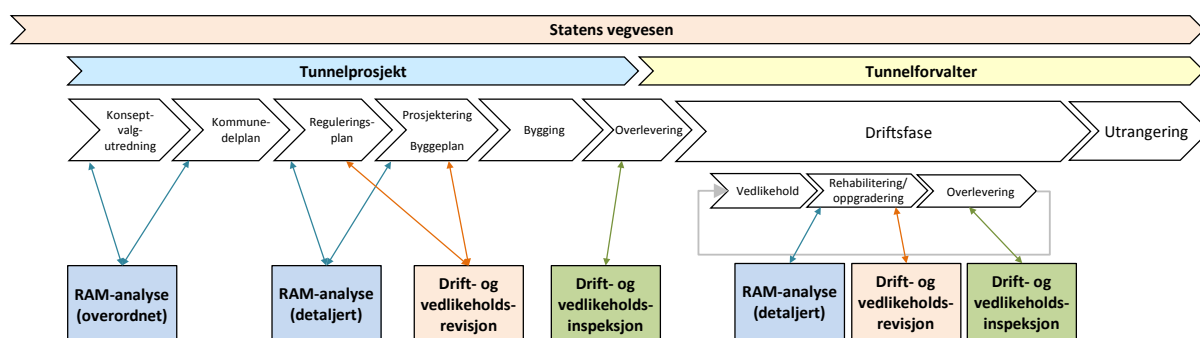
Formålet med RAM-prosess, drifts- og vedlikeholdsrevisjon og -inspeksjon for vegtunnelprosjekter er å utforme vegtunneler ved nybygging og rehabilitering slik at levetidskostnadene blir lavest mulig samtidig som vegtunnelen får en god tilgjengelighet for trafikantene, det vil si en høy oppetid.

RAM-prosess, drifts- og vedlikeholdsrevisjon og -inspeksjon skal sikre at

- Premisser fra drift og vedlikehold og rehabilitering legges til grunn for planlegging, prosjektering, bygging og rehabilitering av vegtunneler
- Uheldige løsninger, som medfører økte levetidskostnader og redusert oppetid for vegtunnelen, blir oppdaget og endret på de ulike plannivåene før byggingen starter
- Erfaring med ulike løsninger blir dokumentert og dermed overførbare til andre prosjekter og til normaler og retningslinjer

Aktiviteten har gjennomført tre pilotprosjekter med VEGRAMS:

- «Svegatjørn – Rådal» hvor det ble gjort en oppetidsanalyse
- «Rogfast» hvor det ble gjort alternative profilvalg som løsning
- «Møreaksen» hvor det ble gjort kostnadsanalyse, oppetidsanalyse og analyse av spesielle temaer



Prosessdiagram for VEGRAMS

8.5.2 Resultater/Funn

Et av de viktigste resultatene fra aktiviteten er at det er skapt en formell arena hvor drifts- og vedlikeholdsmiljøene kan få bidratt med erfaringer til nye tunnelprosjekt og få kvalitets-sjekket planforslagene ut i fra rene drift og vedlikeholdspremisser.

Aktiviteten har levert blant annet:

- Beskrivelse av RAM(S)–analyser, inkludert prosessbeskrivelse
- Beskrivelse av drift- og vedlikeholdsrevisjoner av tunnelplaner, inkludert prosessbeskrivelse
- Forslag til kursopplegg for RAM(S)–analyser og drift- og vedlikeholdsrevisjoner av tunnelplaner (for prosessleder/ revisjonsleder)

Pilotprosjektene var kommet ulikt i forhold til planleggingen av prosjektene; Tidlig planfase, reguleringsplan eller ferdig byggeplan. Dette var også bestemmende for hvilke analyser som det var praktisk mulig å gjøre med tanke på å «implementere» konsekvensene av de ulike analysene. Samtlige piloter viste hvilken betydning praktisk drift- og vedlikeholdskompetanse har i de ulikeplanfasene og som igjen påvirker resultatet av fremtidig kostnader til drift og vedlikehold.

8.5.3 Implementering

Følgende innspill er levert til revisjonsarbeidet i *håndbok N500 vegtunneler*:

RAMS–prosess, drifts- og vedlikeholdsrevisjon og drifts- og vedlikeholdsinspeksjon skal:

- Gjennomføres for alle vegtunneler. Kravet gjelder også ved rehabilitering av vegtunneler.
- Bestilles av prosjekteier ved vegavdeling eller regionvegkontor.
- Gjennomføres under ledelse av godkjent RAM–prosessleder og i henhold til veiledningen, *forslag til håndbok V729*.

8.5.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det er utarbeidet forslag til kursopplegg for prosessledere i VEGRAMS analyser. Dette er forutsatt gjennomført i regi av RAMS–avdelingen hos NTNU og det er videre foreslått å bruke samme malen som er utviklet og gjennomført med stort hell for Trafikksikkerhetsrevisjoner.

8.5.5 Rapporter

Johansen, J. (Vianova): *VEG–RAMS – Premisser for planlegging, prosjektering, bygging og rehabilitering av vegtunneler*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 563, 2016

8.6 Dristige tunneler – utfordringer og grenser

8.6.1 Beskrivelse

Vi bygger og planlegger flere tunneler enn mange andre land i verden, og mange av våre tunneler er også lengre enn i de fleste andre land. Dette betyr at vi strekker våre kunnskaper og erfaringer utover det en ville kunne kalle god faglig praksis. Det som i Norge for noen år siden var sett på som dristig, kanskje umulig, er i dag under planlegging og bygging.

Dagens kunnskap innen norsk tunnelbygging gir knapt noen begrensninger hvor lang en tunnel kan være. Dagens lengste tunnel er 24,5 km. Faglig sett er selve byggeprosessen uproblematisk, og bergsikringsprosessen er den samme uavhengig av lengde. Gjennom «Tunnelsikkerhetsforskriften» er stigningsgraden i vegtunneler begrenset til 5 % og i henhold til NA rundskriv 2014–06 gjelder dette nå også for undersjøiske vegtunneler som tidligere har hatt unntak for dette. Hvor lang stigningen/fallet med 5 % kan være sies det imidlertid ingenting om.

Hvor lang en tunnel kan være eller hvor lang sammenhengende stigning/fall en tunnel kan ha er styrt av den sikkerhetsmessige utfordringen for trafikantene. Kjøring med tunge kjøretøy og evakuering ved en hendelse er eksempel på slike utfordringer. En skadesituasjon som krever redningsinnsats blir mer utfordrende jo mer man strekker grensene for lengde.

Arbeidet i aktiviteten baserer seg på en studie fra sveitsiske HBI Haerter, og har i tillegg brukt følgende kilder som grunnlagsdata for videre studier av tematikken «dristige tunneler – utfordringer og grenser»:

- Buvik, H: *Grensesprengende tunneler – lange og dype, går det en grense? Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008–2011*. Statens vegvesen rapport nr 136, 2012
- Nævestad, T.-O. og Meyer, S. F. (TØI): *Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008–2011*. TØI rapport 1205/2012
- Rapporter fra NordFoU-prosjektet *Evakuering i vegtunneler*

8.6.2 Resultater/funn

Det forutsettes at trafikkfordelingen innebærer at 2/3 av trafikken i dimensjonerende time kjører i en retning og 1/3 i den andre retningen. Det ventileres alltid i den mest ugunstige retningen, det vil si imot retningen med 2/3 av trafikken.

Det antas at brannen blir detektert etter 15 minutter og at tunnelportalene på dette tidspunkt stenges for innkjørende trafikk.

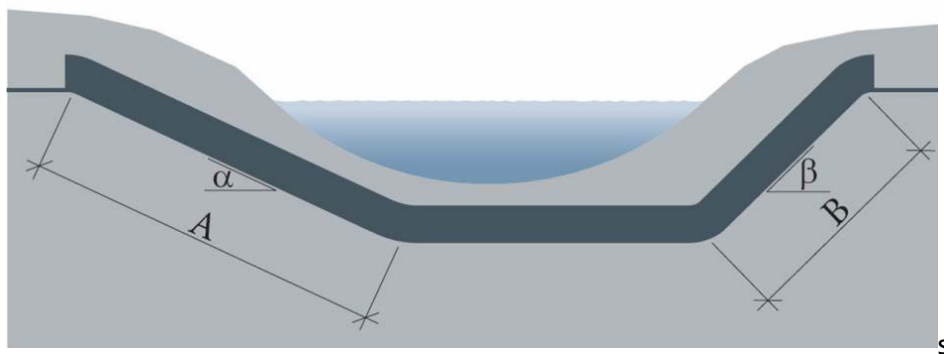
For tunnelklasse C og E krever *håndbok N500 Vegtunneler* at brannventilasjonen dimensjoneres for en branneffekt på 50 MW og ventilasjonshastighet på opp til 3,5 m/s. Undersøkelser har vist at det er mulig å installere tilstrekkelig antall impulsventilatorer til å oppfylle dette kravet.

Det nylig avsluttede NordFou-prosjektet anbefaler derimot for tunneler som er lengre enn 3 km å dimensjonere for en 100 MW brann og for en ventilasjonshastighet på 5 m/s; idet

fortynning av røyken bidrar til å forbedre evakueringsbetingelsene. Et parameterstudie har konkludert med at det ikke umiddelbart synes mulig å oppfylle dette krav. Derimot er det mulig hvis kravet til ventilasjonshastighet blir redusert til ca. 4,5 m/s. Utføres tunnelen derimot med utstøpt betongvegg kan dimensjoneringskravet for brannventilasjonen (100 MW branneffekt og ventilasjonshastighet på 5 m/s) oppfylles.



Økt brannfare i tunge kjøretøyer i lange ett-løps tunneler (foto: Monika Blikås, NRK)



Lange og bratte tunneler – krevende for tunge kjøretøyer

8.6.3 Implementering

Aktiviteten gir følgende anbefalinger for evakuering av ett-løpstunneler med toveistrafiikk. Anbefalingene vil bli brukt som input til FoU-arbeid om sikkerhetsstyring i vegtunneler og selvredning ved evakuering. Videre samlet utredning styrer mot implementering i *håndbok N500 Vegtunneler*.

Generelt:

- Branneteksjon med installert utstyr til målinger av luftkvaliteten (CO og sikt).
- Utstyr til automatisk stengning: rødt lys og bommer.
- Forbedret ledelys/evakueringslys med LED lyslist/-bånd.
- Strategi for evakuering og styring av det tekniske utstyret planlegges i detalj som en del av utarbeidelsen av beredskapsplaner for den enkelte tunnel.

Spesielt for tunneler under 3 km og med ÅDT <4000:

- Ventilasjonsanlegg som gir en ventilasjonshastighet på 5 m/s for 50 MW brann, styring av ventilasjon på bakgrunn av statistiske opplysninger.

- Konstant ventilasjon 1,5 m/s, inntil deteksjonsutstyr installeres.

Spesielt for tunneler over 3 km, eller med ÅDT >4000:

- Ventilasjonsanlegg som gir en ventilasjonshastighet på 5 m/s for 100 MW brann, styring av ventilasjon på bakgrunn av trafikketning og brannposisjon.
- Utstyr til trafikkteiling eller lign. til å bestemme trafikken fremherskende retning
- Branndeteksjonskabler og video-overvåkning samt CO- og siktmålere forbundet til en automatisk stedfestelse av brann
- Evakueringsrom uten utgang til det fri. Dette tiltaket må gis en omfattende utredning.

8.6.4 Videre anbefalinger og arbeid

Forslag til videre arbeid basert på flere eksterne studier:

- Hvilke undersjøiske tunneler er spesielt risikoutsatte og hvorfor?
- Finnes det kritiske stigningsgrader i kombinasjon med kurvatur som øker eller reduserer risikoen for brann?
- Hvor stor andel av utenlandske kjøretøyer er involvert i branner?
- Årsak til at det oppstår brann i tunge kjøretøyer.
- Hva er kritisk lengde med stigning/fall på >5% med tunge kjøretøyer i forhold til brannrisiko og trafiksikkerhetsrisiko?

8.6.5 Rapporter

Buvik, H: *Styring av brannventilasjon. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015.*
Statens vegvesen rapport nr 575, 2016

8.7 Gode løsninger for vegtunneler

8.7.1 Beskrivelse

Mange delkomponenter og tekniske løsninger i vegtunneler er ikke detaljert beskrevet i normaler og håndbøker, og har derfor fått ulik utforming opp igjennom årene. Noen løsninger har stått seg bra i forhold til levetid og drift og vedlikehold, mens andre har vært mindre heldige.

Kunnskapen om de gode løsningene finnes ofte hos enkeltpersoner, og målet med aktiviteten har vært å samle, dokumentere og formidle kunnskap og erfaringer med gode tekniske og konstruksjonsmessige løsninger. Med gode løsninger menes løsninger som er holdbare, enkle å vedlikeholde eller skifte ut, og som bidrar til en sikker og solid vegtunnel, og omfatter både de løsningene som allerede er tatt i bruk og de som er på idéstadiet

8.7.2 Resultater/Funn

Resultatet fra denne aktiviteten er en rapport som beskriver 18 ulike løsninger. Løsningene er av varierende detaljeringsgrad, fra hvordan merke tekniske komponenter til beskrivelse av kabelkulvert som forbinder teknisk bygg ute i dagen med tunnelen. Beskrivelsene av de enkelte løsningene omfatter:

- Henvisning til regelverk
- Beskrivelse (hensikt, mål, problem som løses)
- Bilde og/eller tegning
- Materialvalg
- Hensyn til vedlikehold
- Hensyn til tilgjengelighet
- Erfaringer med løsningen så langt
- Hva bør/kan forbedres



Kabelkulvert (Strindheimtunnelen) og merking av tekniske komponenter (Norra Länken)

8.7.3 Implementering

Kunnskap om hva som er gode løsninger for vegtunneler var spesielt etterspurt i oppstartfasen av det pågående tunnelutbedringsprosjektet, og rapporten ble derfor ferdigstilt og levert før selve utbedringsarbeidene startet. Samtidig er kunnskap om de gode løsningene like aktuell for nybygg, og rapporten har ble trykket opp og delt ut i forbindelse med Varige konstruksjoners fagdag i 2015.

8.7.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det anbefales at dette arbeidet blir en kontinuerlig aktivitet som kan bidra til at smarte løsninger blir gjort tilgjengelige for hele tunnelmiljøet.

8.7.5 Rapporter

Hofseth, M.: *Gode løsninger for vegtunneler. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 334, 2014

8.8 Gode vann- og frostsikringsløsninger

8.8.1 Beskrivelse

Bakgrunnen for aktiviteten er et ønske om å samle og dele den kompetansen som fins på vann- og frostsikringshvelv til vegtunneler. Hovedmålsetningen med aktiviteten har vært å få produsert tegninger og beskrivelser av anbefalte vann- og frostsikringsløsninger i betong ut fra den kunnskapen vi har i dag.

Det er utarbeidet tegninger og supplerende beskrivelse for tre hvelvkonstruksjoner; nettarmert sprøytebetong med nedre føringskant i betong, nettarmert sprøytebetonghvelv med veggelementer og betongelementhvelv. Den første hvelvløsningen i tunnelverrsnitt T9,5 og de to andre i tunnelverrsnitt T10,5.

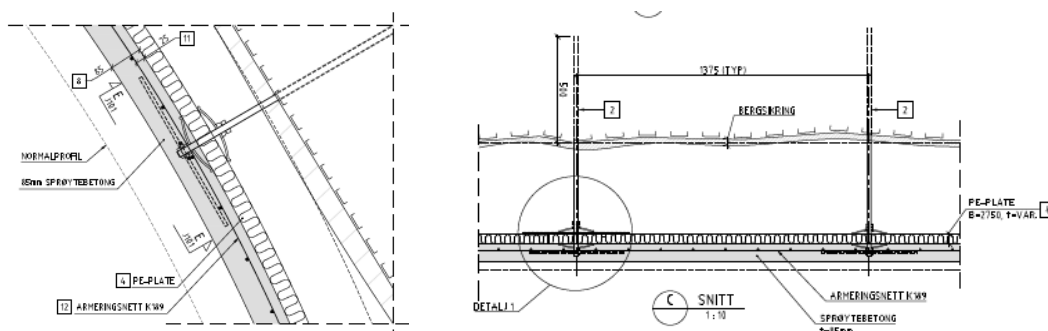
Aktiviteten har også startet et arbeid med dimensjonering av armeringen i betongelementhvelv med tunnelverrsnitt T10,5, og utarbeidelse av tilhørende armeringstegninger for dette tunnelverrsnittet.

Det ble i startfasen av aktiviteten arrangert en fagdag der alle regionene i Statens vegvesen var representert. Dette resulterte i verdifulle innspill og erfaringsoverføring som ble tatt inn i aktiviteten.

Aktiviteten har vært gjennomført i samarbeid med Aas-Jakobsen AS og med noe bistand fra Sweco.

8.8.2 Resultater/funn

Tegninger og tilhørende beskrivelser er utarbeidet som et hjelpemiddel for de prosjekterende. Ingen tunneler er like og tegningene er derfor kun tenkt brukt som et utgangspunkt, og ikke som en mal. På samme måte blir armeringstegninger til betongelementhvelv med tunnelverrsnitt T10,5 utarbeidet som et hjelpemiddel til utførende entreprenører. Når tegningene tas i bruk vil de føre til mer enhetlig prosjektering av nye vann- og frostsikringskonstruksjoner.



Snitt fra hvelv med nettarmert sprøytebetong

8.8.3 Implementering

Tegninger og supplerende beskrivelser til de tre betonghvelvene er tilgjengelig på Statens vegvesens nettsider. Tegningene finnes i både dwg- og pdf-filer.

Resultater fra aktiviteten vil videre bli implementert i *håndbok V520 Tunnelveiledning*, som blir gitt ut som en veiledning til *håndbok N500 Vegtunneler*.

8.8.4 Videre anbefalinger og arbeid

Arbeidet med armeringstegninger og tilhørende rapport for betongelementhvelv med tunnelverrsnitt T10,5 må slutføres. Videre bør tegninger og supplerende beskrivelse holdes oppdatert. På sikt kan det utvides med flere tunnelverrsnitt og nye hvelvløsninger.

8.8.5 Rapporter

Gode vann- og frostsikringsløsninger: www.vegvesen.no/fag/Teknologi/Tunneler

8.9 Energieffektive tunneler

Varige konstruksjoner har engasjert seg i to internasjonale prosjekter som begge omhandler energieffektive tunneler; et i regi av CEDR (Conference of European Directors of Roads), et samarbeidsorgan for europeiske vegdirektører og prosjektet *ENERTUN* i regi av EEA GRANTS, en samarbeidsorganisasjon der EØS-landene Norge, Island og Lichtenstein gir midler og tilskudd (via Innovasjon Norge) til 16 EU-land i Sentral- og Sør-Europa.

CEDR-programmet heter *Transnational Road Research Programme*, og Varige konstruksjoner har vært engasjert i Call 2013: *Energy efficiency*. Vi har også hatt en representant i Program Executive Board. Programmet avsluttes i juni 2016, og rapporten *Assessment of technologies with potential for energy reduction* blir publisert på www.cedr.fr etter det. Arbeidet ble også presentert på 6th European Transport Research Conference 2016 i regi av TRA (Transport Research Arena). Rapporten omhandler følgende områder for energibesparelser:

- Reducing tunnel threshold luminance
- LED lighting with ‘closed loop’ feedback
- Integrated tunnel monitoring systems
- High voltage distribution incorporating voltage optimisation, dynamic uninterruptible power supply (UPS) and avoiding dynamic oscillation
- Incentivising energy efficiency

Videre har Varige konstruksjoner innledet et to-årig FoU-samarbeid med det spanske engineering-selskapet Geocontrol. Samarbeidet er rettet mot utvikling av energieffektive tunneler gjennom prosjektet *ENERTUN* som Geocontrol leder. Vi vil først og fremst bidra med erfaringsdata om energiforbruk i norske tunneler. Eventuelle prototyper av utstyr og/eller teknologi i utviklingsarbeidet vil bli forsøkt testet i en norsk tunnel. Vi vil få full tilgang til alle resultater som blir produsert i prosjektet, og rapportene blir utgitt i Statens vegvesens rapportserie.

ENERTUN har hatt følgende delprosjekter:

- WP1: Benchmarking on technology and energy efficiency measures deployed in tunnels around the world (February 2014–April 2014)
- WP2: Survey on electric energy consumption for Norwegian and Spanish Road Tunnels (February 2014–December 2014)
- WP3: Design of ad-hoc means of energy efficiency for tunnels (August 2014–December 2014)
- WP4: Feasibility study for developing innovative technology prototypes (January 2015–June 2015)
- WP5: Development of feasible prototypes (November 2014–December 2015)

Hittil er det publisert seks rapporter fra ENERTUN-prosjektet:

de Toledo, D.O. (Geocontrol): *Deliverable D1.1. – Benchmarking on technology and energy efficiency for road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 551

de Toledo, D.O. (Geocontrol): *Deliverable D2.1. – Mathematical Model for electrical consumption in road tunnels in Norway and Spain. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015.* Statens vegvesen rapport nr 552

de Toledo, D.O. (Geocontrol): *Deliverable D2.2. – Investigation on electrical consumption in road tunnels in Norway and Spain. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015.* Statens vegvesen rapport nr 555

Gonzalo, L.M. (Geocontrol): *Deliverable D3.1. – Measures to increase the energy efficiency in road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015.* Statens vegvesen rapport nr 556

Gonzalo, L.M. (Geocontrol): *Deliverable D4.1. – Viability study for the development of prototypes with innovative technology in road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015.* Statens vegvesen rapport nr 558

Gonzalo, L.M. (Geocontrol): *Deliverable D5.1. – Prototype to increase the energy efficiency in road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015.* Statens vegvesen rapport nr 559



8.10 Nye materialer for bru og tunnel

8.10.1 Beskrivelse

Det har i Varige konstruksjoner vært høy fokus på materialer og løsninger, og programmets hovedmål har vært å legge til rette for at riktige materialer og produkter benyttes på riktig måte. En stor del av materialene som brukes i bruer og tunneler er basert på «moden materialteknologi», eksempler på dette er bruer med hovedbæresystem enten i armert betong eller stål. Materialer i denne kategorien forventes brukt videre i uoverskuelig framtid i bruer og tunneler. Samtidig kan man forvente at mer moderne materialtyper som for eksempel ulike typer fiberarmerte plastkompositter etter hvert vil gjøre seg gjeldende.

Hensikten med denne aktiviteten har vært å gå gjennom aktuelle fremtidige materialer for ulike komponenter i tunneler og bruer. Vurderingene for materialer i tunnel bygger videre på *Statens vegvesen rapport nr. 410, Korrosjonsbeskyttelse i tunneler*. Arbeidet har vært utført av Sintef materialer og kjemi.

Følgende komponenter og materialer inngår i vurderingen for tunnel:

- Bergsikringsbolter
- Bolter og beslag for montering av vann- og frostsikring
- PE-skum for vann- og frostsikring
- Lysarmaturer og kabelstiger
- Vifter
- Nød-kiosker, skiltbokser og skiltrammer
- Pumpesystemer for sjøvann

For bruer er det sett på komponenter og materialer til bruoverbygning. Hovedvekten er lagt på fiberarmerte polymerkompositter, men aluminium, tre, stål og betong er også diskutert.

8.10.2 Resultater/Funn

For tunnel viser denne gjennomgangen i all hovedsak at de materialene som brukes i dag også vil bli de mest brukte i tiden fremover. Alternative materialer finnes i markedet, men ofte til en langt høyere kostnad som det kan være vanskelig å forsvare. For flere av materialene er det uavklarte forhold rundt mekaniske egenskaper, levetid i ulike miljøer og branntekniske egenskaper.

For bruer pekes det i rapporten på at fremtidens bruer i enda større grad enn tilfellet er i dag vil bli en blanding av ulike materialer. Rapporten tar blant annet for seg bruk av fiberarmerte polymerer og aluminium. Blant fordelene med disse materialene er lav vekt og mulighet for prefabrikering i fabrikk og dermed rask installasjon. Disse materialene har betydelig høyere kostnader enn tradisjonelle materialer, i tillegg til høy pris er mangel på prosjekteringsregler og mangel på kunnskap om materialene blant bruingeniører en hindring for økt bruk. Rapporten peker på at videreutvikling av kjente materialer som betong og stål er et viktig område hvor det pågår betydelig forskningsinnsats. Eksempler på dette er økende bruk av rustfri armering i betong, samt arbeide med å modifisere egenskaper i betong ved hjelp av grafen.

8.10.3 Implementering

Arbeidet i aktiviteten gir ikke grunnlag for endringer i dagens regelverk, men gir et innspill om hva som kan være mulig materialbruk i bruer og tunneler i fremtiden.

8.10.4 Videre anbefalinger og arbeid

Det er generelt viktig å følge med på den videre utvikling av nye materialer og nye konstruksjonstyper. I tillegg til at nye materialer er aktuell i nybygg, kan de også være aktuelle i forbindelse med reparasjoner av eldre konstruksjoner eller i forbindelse med oppgradering av bæreevne for eldre bruer.

8.10.5 Rapporter

Knudsen, O.Ø., Nolte, D., Hammer, T.A. (SINTEF Materialer og kjemi): *Nye materialer for bruk i tunnel og bru. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 557, 2016.

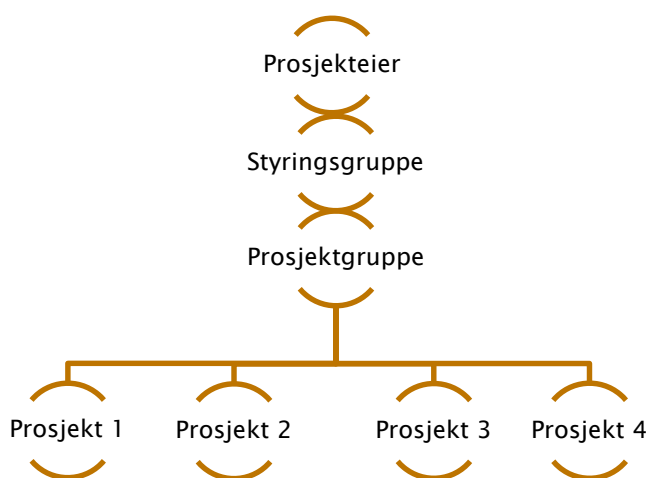


Forsmo bru i aluminium

9 Prosjektorganisering og prosjektdeltagere

9.1 Intern organisering

FoU-programmet Varige konstruksjoner har vært tilknyttet Tunnel- og betongseksjonen på Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Vegdirektoratet. Som organisasjonskartet under viser har FoU-programmet vært organisert med en prosjekteier, en styringsgruppe og selve prosjektgruppen. På grunn av den store spredningen i aktiviteter ble det ansett som lite hensiktsmessig å opprette en referansegruppe. Oppgavene til en referansegruppe ble ivaretatt gjennom møter, seminarer, workshops o.l. der fagfolk utenfor programmet kunne gi sine innspill og tilbakemeldinger.



Organisasjonskart for FoU-programmet Varige konstruksjoner

Prosjekteier for programmet har vært Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen ved avdelingsdirektør Marit Brandtsegg. Styringsgruppen har bestått av:

- Berit Brendskag Lied, Region midt, leder
- Marit Brandtsegg, Vegdirektoratet, leder i perioden mai–desember 2013
- Gunnhild Beate Nes Vangsnes, Region vest
- Eirik Øvstedal, Vegdirektoratet, til august 2014, deretter Jan Eirik Henning, Vegdirektoratet

Seksjonsleder ved Tunnel- og betongseksjonen har også deltatt på styringsgruppemøtene. Seksjonsleder var Kjersti K. Dunham fram til februar 2015, Mona Lindstrøm var fungerende seksjonsleder fra september 2012 til og med april 2013, og deretter Claus K. Larsen fra februar 2015. Videre har hele prosjektgruppen, bestående av programleder og prosjektledere deltatt i disse møtene.

De fleste prosjektledere og aktivitetsledere har vært fra Tunnel- og betongseksjonen, men også Bruseksjonen ved samme avdeling og Veg- og transportavdelingen har vært engasjert. Prosjektledere og aktivitetsledere er listet opp i det følgende:

Varige konstruksjoner

Programleder: **Synnøve A. Myren**, fra august 2012, før det **Jan Magnus Østvik**. **Bård Pedersen** vikarierte i perioden mai 2014 til januar 2015. Assisterende programleder: **Bård Pedersen**

Alle fra Tunnel- og betongseksjonen.

Tilstandsutvikling bruer

Tilstandsutvikling for nyere betongbruer

Alkalireaksjoner

Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer

Riss og korrosjon

Asfaltfuger

Prosjektleder: **Bård Pedersen**, Tunnel- og betongseksjonen

Stig H. Helgestad (Claus K. Larsen), Tunnel- og betongseksjonen

Eva Rodum, Tunnel- og betongseksjonen

Bård Pedersen, Tunnel- og betongseksjonen (Anne Margit Fjeldstad, Region vest)

Claus K. Larsen, Tunnel- og betongseksjonen

Gaute Nordbotten, Bruseksjonen

Tilstandsutvikling tunneler

Tilstandsutvikling for bolter
Miljøbelastninger i vegtunneler

Tilstandskartlegging av vann- og frostsikringsløsninger

Bestandighet av sprøytebetong

Tilstandsutvikling for tekniske installasjoner

Prosjektleder: **Alf T. Kveen**, fra mars 2013, før det **Marius Hofset**, begge Tunnel- og betongseksjonen

Karen Klemetsrud, Tunnel- og betongseksjonen

Per Hagelia, Tunnel- og betongseksjonen

Mona Lindstrøm, Tunnel- og betongseksjonen

Per Hagelia, Tunnel- og betongseksjonen

Alf Kveen (Marius Hofset), Tunnel- og betongseksjonen

Fremtidens bruer

Fremtidens brubetonger

Overflatebehandling av betong

Brudetaljer

Optimal lengde for landkarløse fuger

Fugeutforming

Fiberarmering

Skadekatalog for trebruer

Prosjektleder: **Sølvi Austnes**, fra oktober 2013, før det **Helge Brå**, begge Bruseksjonen

Øyvind Bjøntegaard, Tunnel- og betongseksjonen

Eva Rodum, Tunnel- og betongseksjonen

Gaute Nordbotten, Bruseksjonen

Gaute Nordbotten, Bruseksjonen

Gaute Nordbotten, Bruseksjonen

Sølvi Austnes, Bruseksjonen

Sølvi Austnes, Bruseksjonen

Fremtidens tunneler

Konturkvalitet	Prosjektleder: Harald Buvik , Tunnel- og betongseksjonen
Helstøpt tunnelhvelv	Arild Neby , Tunnel- og betongseksjonen
Tunnelbelysning	Arild Neby (Pål Drevland Jacobsen), Tunnel- og betongseksjonen
Drift- og vedlikeholdsrevisjoner, VEGRAMS	Per Ole Wanvik , Trafikkforvaltning, Veg- og transportavdelingen
Dristige tunneler – utfordringer og grenser	Arild Petter Søvik , Vegforvaltning og utvikling, Veg- og transportavdelingen
Gode løsninger for vegtunneler	Harald Buvik , Tunnel- og betongseksjonen
Gode vann- og frostsikringsløsninger	Marius Hofset , Tunnel- og betongseksjonen
Energieffektive tunneler	Karen Klemetsrud , Tunnel- og betongseksjonen
Nye materialer for bru og tunnel	Harald Buvik , Tunnel- og betongseksjonen

9.2 Samarbeidspartnere

Regionene i Statens vegvesen har deltatt på de fleste av aktivitetene i Varige konstruksjoner; gjennom aktiv deltagelse og gode innspill, og gjennom undersøkelse av eksisterende konstruksjoner og gjennomføring av pilotprosjekter under bygging av nye. Programmet kunne ikke vært gjennomført uten deres bidrag. Videre har Varige konstruksjoner samarbeidet med følgende prosjekter i Statens vegvesen:

- Fergefri E39
- FoU-programmet Lavere energi i Statens vegvesen (Leiv)
- FoU-programmet Norwat

FoU-programmet Varige konstruksjoner har i tillegg hatt en rekke eksterne samarbeidspartnere, både nasjonale og internasjonale, som har bidratt med egeninnsats på en rekke aktiviteter:

- ETH (Eidgenössische Technische Hochschule), Sveits
- TNO (Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek), Nederland
- CBI betonginstituttet AB, Sverige
- Jernbaneverket
- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU
- Chalmers tekniska högskola, Sverige
- Geocontrol, Spania

- CEDR (Conference of European Directors of Roads)
- SINTEF Byggforsk
- Universitetet i Oslo

Videre har programmet kjøpt konsulenttenester fra følgende firmaer:

- SINTEF Byggforsk
- SINTEF Materialer og kjemi
- Dr Ing A Aas-Jakobsen AS
- Norconsult AS
- Sweco Norge AS
- Mannvit hf, Island/ Mannvit AS Norge
- Transportøkonomisk institutt, TØI
- ViaNova AS
- Teknologisk institutt, TI
- Reinertsen
- Cacon
- Norsk Betong og Tilslagslaboratorium AS, NBTL
- Institutt for energiteknikk, IFE

10 Publikasjoner

10.1 Rapporter

Pedersen B. (redaktør): *Bestandighetsaspekter ved bruk av flygeaske og slagg i betong; presentasjoner fra Nordisk workshop*. Statens vegvesens rapport nr. 149, 2012

Luke, J. (Norconsult): *Kartlegging av miljøbetingelser i tunneler*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 236, 2013

Guðmundsson, G og Einarsson, G.J. (Mannvit): *Alkalireaksjoner – Overflatebehandling og andre tiltak*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 237, 2013

Wigum, B.J. (Mannvit): *Alkalireaksjoner – Metoder for restekspansjon*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 238, 2013

Polder R.B., Nijland T.G. og de Rooij M.R. (TNO, Nederland): *Slag cement concrete – the Dutch experience*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 270, 2014

Bjøntegaard Ø. og Rodum E.: *Effekt av flygeaske på betongegenskaper*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 275, 2014

Rodum, E. og Stemland, H. (SINTEF): *Alkalireaksjoner – Nautesund bru etter 50 år*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 309, 2014

Hofseth, M.: *Gode løsninger for vegtunneler*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 334, 2014

Thorenfeldt, E.V. (SINTEF): *Alkalireaksjoner – Karbonfiberforsøk Elgeseter bru*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 339, 2014

De Weerdt K., Geiker M. og Orsakova D.: *Undersøkelse av betonger fra Solsvik feltstasjon*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 353, 2015

Geiker M. (NTNU): *Fly ash in concrete, Danish experience*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 370, 2015

Nordbotten, G.: *Mekaniske brufuger*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr 400, 2015

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse i tunneler – revidert*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 410, 2015.

Bjøntegaard Ø.: *Møllenberg betongtunnel – FoU bestandighet*. *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 415, 2015

- Rodum, E.: *Tidlig overflatebehandling av lavvarmebetong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 421, 2015.
- Drevland Jakobsen, P. og Neby, A.: *Kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran, Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 435, 2015
- Neby, A.: *Kvalitet av tunnelkontur – forbedrende tiltak. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 437, 2016
- Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Inspeksjoner. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 453, 2015.
- Klemetsrud, K.: *Korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 464, 2016
- Skjølsvold, O. (SINTEF) og Rodum, E.: *Alkalireaksjoner – Feltforsøk med overflatebehandling. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 465, 2015
- Klemetsrud, K.: *Korrosjonsforsøk på bolter i Oslofjordtunnelen. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 466, 2016
- Burkhart, H.: *Inspeksjonserfaring på trebruer*. Statens vegvesens rapport nr 468, 2016. (Rapporten er utgitt i Region øst, ikke som en del av Varige konstruksjoner.)
- Rodum, E., Lindgård, J. (SINTEF) og Skjølsvold, O. (SINTEF): *Alkalireaksjoner – Prøving av materiale fra Nautesund bru. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 469, 2015
- Rønneberg, C. og Østmoen, T.A. (Aas-Jakobsen AS): *Tilstand og tilstandsutvikling av ulike typer vann- og frostsikringshvelv. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 470, 2016.
- Wigum, B.J.: (Mannvit): *Tilstandskontroll av sprøytebetong i sju tunneler. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 475, 2016
- Rodum, E. og Pedersen, B.: *Alkalireaksjoner – Erfaringer med lettbetong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 499, 2015
- Polder R.B. (TNO, Nederland): *Chloride resistance of slag cement mortars. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 500, 2016
- Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Vedlikehold av beleggsystem av blymønje og alkylid. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 503, 2016.
- Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Vurderinger. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 505, 2016.

Klemetsrud, K og Helgestad, S.: *Prøving av tidligfasthet for boltemørtel, Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 510, 2016

Knudsen, O.Ø. (SINTEF Materialer og kjemi): *Erfaringer med høysink primer på bruer i Finnmark. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 513, 2016.

Gabrielsson I., Ewertson C. og Utgenannt P. (CBI, Sverige) og Bjøntegaard Ø.: *Motstand mot tinesalter og frostskafer i betong. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 515, 2016

Pedersen B.: *Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og felterfaringer. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 517, 2016

Nordbotten, G: *Bruprosjektering med tanke på bestandighet. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 545, 2016

Nordbotten, G.: *Optimal lengde for fugefrie bruer. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 548, 2016

Nordbotten, G: *Asfaltfuger. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 549, 2016.

de Toledo, D.O. (Geocontrol): *Deliverable D1.1. – Benchmarking on technology and energy efficiency for road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 551

de Toledo, D.O. (Geocontrol): *Deliverable D2.1. – Mathematical Model for electrical consumption in road tunnels in Norway and Spain. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 552

de Toledo, D.O. (Geocontrol): *Deliverable D2.2. – Investigation on electrical consumption in road tunnels in Norway and Spain. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 555

Gonzalo, L.M. (Geocontrol): *Deliverable D3.1. – Measures to increase the energy efficiency in road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 556

Knudsen, O.Ø., Nolte, D., Hammer, T.A. (SINTEF Materialer og kjemi): *Nye materialer for bruk i tunnel og bru. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 557, 2016.

Gonzalo, L.M. (Geocontrol): *Deliverable D4.1. – Viability study for the development of prototypes with innovative technology in road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 558

Gonzalo, L.M. (Geocontrol): *Deliverable D5.1. – Prototype to increase the energy efficiency in road tunnels. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 559

Larsen, P.J. (Norconsult): *Tunneler i Norge – Kunnskapsstatus belysning Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 560

Larsen, P.J. (Norconsult): *Fremtidens tunnelbelysning. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 562

Johansen, J. (Vianova): *VEG-RAMS – Premisser for planlegging, prosjektering, bygging og rehabilitering av vegtunneler. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 563

Hagelia, P. (2016a): *Oppsummering av tilstandsutvikling i sprøytebetong som bergsikring i ulike tunnelmiljø. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 566, 2016

Hagelia, P.: *Miljøbelastningar i vegtunneler – oppsummering. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 577, 2016

Hagelia, P.: *Oslofjord testfelt for sprøytebetong – etablering og fem års testresultat. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr. 570, 2016

Buvik, H.: *Styring av brannventilasjon. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 575, 2016

Helgestad, S.: *Tilstandsutvikling for nyere betongbruer. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 579, 2016.

Hagelia, P. (2016): *Internt sulfatangrep i lettbetong med perlitt – Nestunnelen E16. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015*. Statens vegvesen rapport nr 582, 2016

Stemland, H. (SINTEF), Rodum, E.: *Alkalireaksjoner – Veiledning for konstruktiv analyse. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015*. Statens vegvesens rapport nr. 601, 2016

Brudetaljene: <http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Bruer/Bruprosjektering/Brudetaljer>

Gode vann- og frostsikringsløsninger: www.vegvesen.no/fag/Teknologi/Tunneler

Fjose, A.: *Nedbryting av sprøytebetong i E39 Hopstunnelen og Nesttuntunnelen*. Masteroppgåve NTNU, 2015

Gulland, J.: *Sprøytebetong testet med destruktiv og ikke-destruktiv metode*. Masteroppgåve NTNU, 2015

Skare, E. L. (NTNU): *Virkning av fiberarmering på rissutvikling i kantdragere: laboratorieforsøk med fastholdingsriss*. TKT4530 Betongteknologi, fordypningsprosjekt, NTNU, 2015

Durability aspects of fly ash and slag. Workshop proceedings fra et Nordisk miniseminar. Oslo, Norway, 15.–16. Nordic Concrete Research, 2012

10.2 Artikler

De Weerd, K., Orsáková, D., Müller, A.C., Larsen, C.K., Pedersen, B., Geiker, M.R.: *Towards the understanding of chloride profiles in marine exposed concrete, Impact of leaching and moisture content*, Construction and Building Materials (accepted for publication), 2016

Rodum, E., Pedersen, B.M. and Relling R.H.: *Field and laboratory examinations of an ASR-affected bridge – variation in crack extent and water content.* 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016

Justnes, H., Lindgård, J., Haugen, M., Rodum, E., Pedersen, B. and Myong-Soo, S.: *Can light weight aggregate (LWA) lead to harmful ASR in the field?*, 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016

Knudsen O.Ø, Djuve, G. and Hasselø, J.A.: *Corrosion protection of road bridges with a 100 years lifetime.* Eurocorr, Graz, Østerrike, September 2015.

Knudsen O.Ø, Djuve, G. and Hasselø, J.A.: *Coating Systems with Long Lifetime – Paint on Thermally Sprayed Zinc.* Paper No. 7383, CORROSION/2016, Vancouver, NACE, 2016.

Käthler, C.B., Angst, U.M., Wagner, M., Larsen, C.K., Elsener, B.: *Effect of cracks on chloride-induced corrosion of reinforcing steel in concrete*, Materials and Structures (submitted), 2016

Hagelia, P.: *Sprayed concrete in aggressive subsea environment – The Oslofjord test site.* 6th International Symposium on Sprayed Concrete, Tromsø, 2011

Hagelia, P.: *Interaction of abiotic and biochemical reactions and their role in concrete deterioration.* Concrete, July/August 2013

Hagelia, P.: *Spalling of sprayed perlite concrete caused by popcorn calcite deposition and internally derived sodium sulfate under influence of water leakage, frost action and dynamic loads.* 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Delft, Nederland, 2015

Myren, S. & Bjøntegaard, Ø.: *Fiber reinforced sprayed concrete – mechanical properties and pore structure characteristics.* 7th International Symposium on Sprayed Concrete, Sandfjord, 2014

Bjøntegaard, Ø. and Rodum, E.: *Concrete properties in young and mature age – Effect of fly ash.* Proc. of the Concrete Innovation Conference CIC2014, Oslo, June 11–13, 2014

Polder, R., Nijland T., de Rooij, M., Larsen, C.K., Pedersen, B.: *Innovation based on tradition: Blast Furnace Slag Cement for Durable Concrete Structures in Norway?* Proc. of the Concrete Innovation Conference CIC2014, Oslo, June 11–13, 2014

Polder, R.B., Rooij, M.R. de, Larsen, C.K., Pedersen, B.: *Chloride transport testing of blast furnace slag cement for durable concrete structures in Norway: from 2 days to one year age,*

Proc. of the fib symposium, Performance-based approaches for concrete structures, Cape Town, November, to be published, 2016

Rodum, E.: *Etatsprogrammet Varige konstruksjoner (2012–2015) – Nytt fra forskningsfronten.* Betongrehabiliteringsdagene 8–9. mars 2016

Aurlien, H.: *Vil bygge varige konstruksjoner.* Veggen og vi, 02/2013 (Intervju med Gaute Nordbotten og Knut Grefstad)

Aurlien, H.: *Tester langtidslys.* Veggen og vi, 02/2013 (Intervju med Per Ole Wanvik)

Hasle, G.: *Varige konstruksjoner – kan de bli bestandige?* Byggfakta, november 2014 (Intervju med Bård Pedersen)

Homleid, Å.: *Bakterier angriper sprøytebetong.* Byggeindustrien nr 11–2014 (Intervju med Per Hagelia)

Homleid, Å.: *Flyveaske skal gjøre bruene mer solide.* Byggeindustrien/Bygg.no, mars 2015 (Intervju med Synnøve A. Myren)

Knudsen, O.Ø, Hasselø, J.A. og Djuve, G.: *Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer – hva er optimal påføring av dupleksbelegg?* Rust og Råte, 2015

Herskedal, K.: *Tresfjordbrua et pilotprosjekt: Tester lavvarmebetong med tidlig impregnering.* Våre vegger 09/2015 (Intervju med Eva Rodum)

Amundsen, B.O. (2015): *Aggressive tunneler trenger mer sprøytebetong.* Våre vegger nr 10–2015 (Intervju med Per Hagelia)



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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen