



Denne artikkelen er gjengitt i
Norsk vegmuseums årbok for 2023

1990-tallet, da betongskader herjet med bruene

AV ELISABETH SCHJØLBERG



Tjeldsundbrua som gjør Lofoten landfast er en av mange bruer som passes godt på for å unngå betongskader. Brua er bygd i 1967. (Foto: Håkon Aurlien)

1990-tallet, da betongskader herjet med bruene

AV ELISABETH SCHJØLBERG

På 90-tallet kunne den norske befolkningen gjennom mange avisoverskrifter høre om «betongsyken» som rammet både bruer og bygg. En hel næring tro til for å finne årsaker og tiltak i noe som må kunne kalles en dugnad. Også Statens vegvesen hadde utfordringer på sine betongbruer, og som en av landets største konstruksjonseiere, ble etaten en viktig aktør, kanskje den mest sentrale aktøren, i næringens og forsknings- og utdanningsinstitusjonenes innsats for å sikre levetiden på betongkonstruksjoner. I denne artikkelen belyses årsaker til at disse skadene oppsto og noen av de aksjonene som ble gjennomført i regi av Statens vegvesen i samspill med næringen og academia. Aksjoner som skulle sikre at bruer kan ha en trygg levetid på minst 100 år.

Bruene er en særdeles viktig del av det norske vegnettet, som på de fleste moderne vegnett. Steder uten omkjøringsmuligheter, som det er ganske mange av i Norge, er helt avhengig av at brua faktisk kan brukes døgnet og året rundt uten avbrudd. I veldig mange år. En brukollaps har konsekvenser. Lenge. Vi regner ikke med at konstruksjoner skal falle ned i Norge. Likevel skjer det fra tid til annen, som i 2015 (Skjeggstadbrua), 2022 (Tretten) og 2023 (Randklev jernbanebru). Tre bruer kollapset på spektakulært vis, men av nokså ulike tekniske årsaker.

ALARMEN GÅR

Betong hadde et omdømme som et vedlikeholdsfritt materiale. Enkelte rapporter på 80-tallet om verandaer i betong som hadde falt ned i Sverige, hadde riktignok gitt en viss beredskap i de norske fagmiljøene, men så sent som i 1988 var oppfatningen i Statens vegvesen at

*Elisabeth Schjølb
berg arbeidet i Sta-
tens vegvesen fra
1990–2007, de første
årene hovedsakelig
med inspeksjoner og
skadevurderinger på
brukonstruksjoner.
De siste fem årene
var hun regionveg-
sjef i Statens vegvesen Region Midt. Siden
2007 har hun arbeidet som seniorrådgiver i
Multiconsult.*



Denne artikkelen er skrevet sammen med
- Hilde Rannem Isaksen, siv.ing/seksjonsleder i Norconsult, overingeniør ved Bruavdelingen i Vegdirektoratet 1989-1998
- Trond Østmoen, siv.ing/seniorrådgiver i Aas Jacobsen, overingeniør ved Bruavdelingen i Vegdirektoratet 1987-1995
- Knut Grefstad, siv.ing/sjefingeniør i Vegdirektoratet fra 1989-dd.

Betongskader

De vanligste skadetypene på armert betong i Norge er:

- Korrosjon på armering
- Frostskader i betongen
- Alkalireaksjoner mellom sement og tilslag

Alle tre typene finnes på norske betongbruer.

Armeringskorrosjon gir skade både på armering og betong. Tverrsnittet på armeringen reduseres og dermed også styrken.

Korrosjonen skjer fra overflaten av armeringen – og bidrar til å bryte heften mellom betong og armering – som er vesentlig for konstruksjonens bæreevne. Videre har korrosjonsproduktene større volum

enn rent stål. Betong mellom armering og overflate vil derfor kunne skalle av.

Korrosjonen har oftest to ulike bakenforliggende årsaker: Salt – klorider – trenger inn i betongen fra sjøvann eller vegsalting. Saltet gir korrosjon. Eller CO₂ trenger inn i betongen og reduserer betongens evne til å beskytte armering. Fuktighet og oksygen er det som skal til for at stål rustet. Det vil alltid være fuktighet tilstede i betong som står utendørs i Norge.

Betong kan utsettes for frostskader. Is har som kjent større volum enn vann og kan resultere i oppsprekking av betongen. I Norge er det også konstruksjoner som har skader

fordi enkelte bergarter i tilslaget reagerer kjemisk med alkalier i sementpastaen og forårsaker reaksjoner kalt alkalireaksjoner (AR). Også disse reaksjonsproduktene har større volum enn utgangsproduktene, og de bidrar til opprissing av betongen samt forkvninger og deformasjoner av konstruksjonsdeler.

Hvor fort salt trenger inn til armeringen, har sammenheng med hvor tett betongen er, hvor stor avstand det er mellom armering og betongens overflate og hvor mye salt betongen utsettes for. På værutsatte sider av en konstruksjon, lo side, vil salt kunne bli vasket bort. Korrosjonsskader er derfor mer utbredt på le side av en brukonstruksjon.

korrosjonsproblemer ikke var noe omfattende problem på norske bruer.¹ Ett år senere hadde alarmen gått. Både Norge og Europa opplevde da at «betongsyken» nærmest var som en pandemi å regne på 1990-tallet. Nokså nye, uforholdsmessig nye, bygningskomplekser og bruer i betong fikk omfattende korrosjonsproblemer. Skader som det var forventet at det skulle ta flere 10-år før dukket opp.

Dette fikk betydelig oppmerksomhet, det ble endog tema i Stortingets spørretime i mars 1993, da samferdselsminister Kjell Opseth (Ap) måtte svare på følgende spørsmål fra Ingvar Sverdrup (H): «Det er avdekket betydelige korrosjonsskader på en rekke betongbruer i landet. Det er anslått at det kan koste mange hundre millioner kroner å utbe-

dre skadene. Hva er årsakene, og hvordan vurderer statsråden ansvarsforholdet?».

Opseth svarte at det ikke foreligger full oversikt, så man kan ikke si så mye om ansvarsforholdene, men at det nå var om å gjøre å finne de rette tiltakene mot skadene og sikre kvaliteten på både utbedringer og på nye bruer.

Vi var i gang! Med tiltak som har bidratt til at brukonstruksjoner som ble bygget på et senere tidspunkt, har hatt en helt annen (og bedre) kvalitet enn de som var blitt bygget frem til da. Og som bidro til at mange av brukadene kom under kontroll. Saken om ansvarsforholdene ble ikke forfulgt, men vi synliggjør at det ikke var en enkel årsak, men kombinasjoner av flere, så det var kanskje like greit.



Skader på betongbruer hadde på 90-tallet stor oppmerksomhet i media.

BETONG, BETONGKONSTRUKSJONER OG BETONGSKADER

Betongkonstruksjoner et helt dominerende som byggemateriale verden over. De fleste har et begrep om hva betong og betongkonstruksjoner er. Betong er en blanding av tilslag (sand og stein), sement og andre bindemidler som eksempelvis silika, samt vann og eventuelle tilsetningsstoffer. Blandingsforholdet mellom delmaterialene kan variere. Spesielt forholdet mellom vann og sement/bindemidler har stor betydning for betongens kvalitet.

Betong tåler store trykklaste, men strekker du på dette materialet, vil det raskt sprekke opp. Betongkonstruksjoner har derfor armering, vanligvis av stål, som tåler strekkbelastning. Mengde armering bestemmes av den belastningen konstruksjonen skal utsettes for.

Stål utsatt for vær og vind rustet/korroderer. Det spesielle med «vanlig» betong, er at den har en kjemisk egenskap som gjør at den beskytter armeringen mot korrosjon, når alt er som det skal.

Vær og vind kan imidlertid skape endringer i denne kjemiske balansen. CO₂ og salter kan trenge inn og ødelegge den korrosjonsbeskyttende egenskapen slik at armeringen begynner å ruste. Det finnes også skademekanismer som angriper selve betongen, som alkalireaksjoner og frostnedbrytning. Gode retningslinjer og standarder er siden 1990 utviklet for å redusere risikoen for disse skadene.

Kloridinitiert armeringskorrosjon, det vil si skader knyttet til salt, er hovedfokus i denne artikkelen.

ØYEÅPNEREN ENGELØY LAVBRU

Engeløy lavbru ble åpnet i 1978. Bare 10 år senere hadde den store skader. Så store at mange mente den burde rives. Å rive ei bru etter så kort tid? Den måtte være mulig å reparere. Ulike tiltak ble drøftet i mars 1989 i et møte initiert av Nordland vegkontor. Dette ble starten på mange år med ulike forsøk på å finne en bestandig reparasjon på brua, og i praksis også starten på en omfattende forsknings- og innovasjonsaktivitet landet rundt. For da

fokuset først ble rettet mot skadene, ble det klart at det ikke bare var problemer på Engeløya. Sortlandsbrua (åpnet 1975), var en av disse.

Høsten 1989 arrangerte Vegdirektoratets sin brukonferanse med hovedfokus på skader, bestandighet og muligheter for tiltak med utgangspunkt i skadene som var avdekket på Engeløya og Sortlandsbrua. Strategi for videre prosess ble presentert av overingeniør Knut Næss. Med denne konferansen var alle som arbeidet med bruforvaltning i Statens vegvesen orientert om situasjonen som etter hvert viste seg å kunne oppsummeres i følgende behov:

1. Penger til alle reparasjonene
2. Raske endringer i konstruksjonspraksis for bruer under planlegging
3. Hensiktsmessige rehabiliteringstiltak
4. Sikre at de retningslinjer og metoder som ble utviklet ble tatt i bruk så raskt som mulig
5. En hensiktsmessig overvåking av bruene

Det kom tilleggsmidler over statsbudsjettet i hundremillionersklassen. I tillegg gjorde forskningsprogrammet «Teknisk utvikling innen bru- og tunnelbygging» det mulig å ansette Reidar Kompen, som var en ledende ekspert på bygging av betongkonstruksjoner. Det generelle fokuset på betongskader nasjonalt muliggjorde flere bransjeprojekter med støtte fra Norges forskningsråd og Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (dagens Innovasjon Norge). Det ble tenkt og testet, det ble lett etter eksisterende kunnskap, også internasjonalt, og det ble utviklet ny kunnskap. Ikke minst ble kunnskap formidlet – til tusenvis.

Men hvordan var vi kommet i denne situasjonen?

ET KOMPLEKST ÅRSAKSBILDE!

Det var ikke en enkeltårsak bak betongskadene. Det var et komplekst bilde, som også varierte litt over tid, men der viktige poeng var salt, regelverk og kultur og kompetanse.

Da Engeløybrua ble undersøkt, viste den seg å ha et høyt saltinnhold. Hypotesen i dag er at hovedårsakene til skadene var en kombinasjon av en uheldig konstruktiv utforming, at betongen var plassstøpt og dermed fikk en tidlig eksponering mot sjøsalt, der den lå utsatt til ved inngangen til Vestfjorden i Lofoten, en betong produsert med materialer som inneholdt salt, og en betong med for lav kvalitet. I tillegg ligger brua så lavt over havnivået at ved høyvann kan det være vanskelig å passere under i en liten robåt.

Saltbruk ved produksjon av betongbruer har sannsynligvis ikke vært noe omfattende problem, uten at vi har eksakt kjennskap til dette, men det var en uheldig praksis. Det er likevel et poeng å dvele ved det som antakelig generelt var for lav oppmerksomhet på risikoen knyttet til «salt» ved betongproduksjon. Det er antatt at det var kjent at salt i betong ikke var bra alt da forskriften om «Jernbetongkonstruksjoner og betongkonstruksjoner» utkom i 1926, men i den grad kunnskapen var kjent på 20-tallet, så var dette trolig glemt av «de mange» da man i etterkrigstiden skulle bygge det nye Norge. Det skulle bygges mye og raskt.

Kalsiumklorid (CaCl) hadde den egenskapen at den bidro til at betongens fasthet utviklet seg raskere og ga mulighet for en rask og industriell produksjon av betongelementer. Det ble riktignok i 1962 introdusert krav til maksimalt kloridinnhold i Norsk Standard², sånn at

Det ble snart klart at det ikke bare var problemer på Engeløya. Sortlandsbrua, åpnet i 1975 og her under bygging, var en av flere bruer som tidlig viste seg å få betongskader.



noe fokus hadde det vært på de negative effektene, men det kan ha utviklet seg en kultur i bransjen som ikke i tilstrekkelig grad var oppmerksom på, eller kjente til, at dette faktisk innebar en risiko. Noe eksempelvis en del borettslag opplevde.³

Det var en rekke endringer over tid som til sammen skapte den situasjonen som i praksis oppsto i hele Europa, men som hadde noen spesielle utfordringer i Norge. For det første var bruken av salt på vegnettet i ferd med å ta av. Samtidig var det etter krigen en samfunnsforventning at øysamfunnene langs kysten skulle knyttes tettere til transportinfrastrukturen. Dette var grunnlag for kystbruene, konstruksjoner som ble bygget i et mer krevende klima enn tidligere, slik at miljøpåkjenningen økte. Saltinntrengeing var en kontinuerlig risiko.

STØRRE UTNYTTELSE

Samtidig hadde materialene endret seg over tid. Kostnader har til all tid vært i fokus når noe skal bygges. Noe som kjennetegnet etterkrigstiden, var at materialene var dyrere relativt sett enn de er i

dag, og det foregikk utviklingsarbeid som hadde som effekt at materialkostnadene ble redusert. To eksempler på konsekvenser av dette skal utdypes, men det krever en forklaring på hvordan betongkvalitet blir vurdert.

Betongkvalitet har fra den ble tatt i bruk på 1920-tallet blant annet blitt vurdert ut ifra den trykkfastheten betongen har ved 28 døgn. Sement var over tid blitt finere malt. Dette ga en økt samlet overflate på sementkornene – større areal som kunne reagere med vann. Noe som bidro til en raskere reaksjon og at betongfastheten utviklet seg raskere. Det krevdes dermed mindre sement for å oppnå fasthetskravet ved 28 døgn. Som imidlertid har som resultat at betongens egenskaper til å beskytte armeringen blir dårligere.

Et annet poeng var slanke konstruksjoner, som enkelte var opptatt av, for å redusere kostnader. På byggsiden resulterte det i en del slanke skallkonstruksjoner, og også et par bruer ble bygget med slanke tverrsnitt, som dermed bidro til en begrenset betongoverdekning på armeringen. Ett eksempel er Nerlandsøy bru.



Reduksjon av kostnader har alltid vært i fokus når samferdselsprosjekter skal bygges, og i en periode resulterte det i nokså slanke konstruksjoner, også bruer – som Dale bru i Hordaland fra 1956. (Foto fra Vegvesenets bruregister Brutus)

Armering og armeringsoverdekning er en viktig faktor når man snakker om korrosjon. Alt i den første standarden fra 1926 foreskrev man at spesielle hensyn måtte tas for konstruksjoner der «betonen er utsatt for skadelige paavirkninger». Rent konkret ble det foreskrevet for konstruksjoner som står i sjøvann, at avstanden fra betongens overflate og inn til armeringen måtte være 5 cm. I motsetning til plater der kravet var 1 cm. Med andre ord: Tanker om å sikre bestandige konstruksjoner har vi hatt siden betong ble tatt i bruk i stort omfang i Norge.

Standardkravene har imidlertid variert over tid – og dette har vært en sterkt medvirkende årsak til omfanget av skader som etter hvert ble avdekket, for i kravet fra 1926 var i 1939 redusert til 40 mm og i 1973 til 25 mm. Da hadde riktignok Statens vegvesen et noe skjerpet krav: 30 mm.⁴ Dog med en presisering av at dersom det var utsatt for angrep fra blant annet væsker, så skulle «betongoverdekningen økes hvis det ikke treffes andre tiltak som beskytter armeringen».⁵ Det er nok produsert en del konstruksjoner med svært liten overdekning.

Det var etablert en generell oppfatning om at betong var et bestandig materiale. Betong var tatt i bruk i hele Norge, og det var ikke forbeholdt spesialister å

bygge med betong. Kombinasjonen «alle-mannseie» og troen på bestandighet innebærer en risiko for at ikke alle utøvere har full oversikt over mulige utfordringer. Og dermed ikke alltid er så nøye med å følge kravene til materialkontroll som etter hvert ble krevet i standarden.

Mange betongkonstruksjoner var blitt levert fra entreprenør med støpesår, og dette var blitt akseptert av byggherren, som på bildet nedenfor. Det å følge kontraktens krav var med andre ord ikke alltid i fokus. Det kunne gjelde hos både byggherrer og utførende entreprenør. Det var ikke helt uvanlig å bli møtt med argumenter som at «det faller ikke ned» når man påpekte at riss-skader burde bli utbedret. Og i særdeleshet kunne yngre kontrollingeniører bli møtt med argumentet at «jeg har holdt på med dette siden før du ble født», når en skade ble påpekt.

Nei, det falt kanskje ikke ned, men det ville gi dyrere vedlikehold og av og til faktisk også et behov for kostbare tiltak for å styrke konstruksjonene. Så hva ble gjort?

Det kunne bli levert mangelfull kvalitet – som byggherren hadde akseptert. Her fra en blokk i Oslo. (Foto: Elisabeth Schjøberg)



SMÅ OG STORE TILTAK

Mange store bruer var under utvikling i 1989. Det var stort behov for raskt å sikre materialkvaliteten i de kommende prosjektene.

Man trengte nye retningslinjer, men et vel så viktig skritt var å sikre at aktørene i næringen faktisk forholdt seg til de retningslinjene som alt gjaldt. Det ble eksempelvis avdekket at kravene til bruk av godkjente betongleverandører fra 1977 relativt ofte ikke hadde vært fulgt opp, hverken av Statens vegvesen eller av mange entreprenører. Reglene ble raskt skjerpet inn. En kartlegging av kultur, holdninger og praksis i forhold til betongstandarden ble gjennomført.

Denne dokumenterte mangelfull etterlevelse av enkelte krav i prosesskodene, og ble derfor etterfulgt av «betongkampanjen» i 1992, som var et samarbeid med bransjen⁶ der betongleverandører, entreprenører og Statens vegvesen møttes for å diskutere hvordan det praktiske betongarbeidet kunne bedres. Tre dager i hvert fylke med informasjon, samtaler og diskusjon. I samme periode utviklet Fabeko betongleverandørenes system for kvalitetssikring som ga nødvendig grunnlag for sertifisering i Kontrollrådet for betongprodukter. To omfattende tiltak rettet mot eksisterende kunnskap og holdninger og som ikke var direkte avhengig av kunnskapsutvikling.

Vi måtte selvfølgelig se på betongkvaliteten. Når det gjaldt forhold til produksjonen var det flere små og store tiltak som ble gjennomført. I tillegg til betongkampanjen ble det gjennomført en omfattende serie interne kurs i Statens vegvesen. Hovedhensikten var at byggeledere og kontrollingeniører skulle ha økt fokus på levert kvalitet – og dessuten

ha bedre forutsetninger for å ha en konstruktiv dialog med entreprenørene når det ble diskusjoner om kvalitet.

BRANSJEN VAR ENGASJERT...

Samarbeidet med bransjen rommet både smått og stort. Smått volummessig kunne ha stor betydning i den store sammenheng. En bedrift fra Ørskog i Møre og Romsdal la mye innsats i å utvikle et konsept for avstandsklosser i betong. De benyttes for å ha avstand mellom armering og forskaling under støpeprosessen, og er fortsatt gjeldende praksis.

Bransjeengasjement fikk trolig litt ekstra trøkk fordi nybyggbransjen opplevde en kollaps i 1988. Mange søkte nok nye forretningsmuligheter. Fundia i Mo i Rana hentet eksempelvis ideer fra USA og satset på å kunne levere epoxy-belagt armering. På en studietur til USA i 1992 kunne jeg imidlertid konstatere at erfaringene ikke var entydig positive, og Statens vegvesen besluttet at dette ikke skulle være en foretrukket løsning. Fundia i Mo i Rana ble nedlagt i 1996.

En vesentlig premiss for å få til rask innskjerping av regler, var at behovet for endring var kjent og i rimelig grad forstått både i egne rekker og blant leverandørene. Man kan si at det ikke burde vært noen problemstilling – krav er krav. Men en byggeprosess har mange ledd med mange muligheter for kommunikasjonssvikt.

En vesentlig suksessfaktor i denne sammenheng har vært bransjesamarbeidet gjennom Norsk betongforening. Både for å dele informasjon og kunnskap i bransjetreff og gjennom kursing. Etter en lang periode der man hadde søkt å utvikle et omforent opplegg for kursvirksomhet, fant Betongopplæringsrådet (BOR)

Utvikling av kloridbestandig betong

Betongens evne til å hindre inntrenginger av klorider ble i Kystbruprojektet testet ut i laboratoriet og i felt. Til sammen 31 ulike betongresepter ble testet ut. Reseptene var designet for å teste faktorer man mente hadde innvirkning på kloridinntrengningen i betong, blant annet:

- Sementens evne til å binde klorider kjemisk
- Betongens tetthet (pore-

struktur og riss)

- Betongens elektriske motstand
- Høyere terskelverdi for kloridinntrenging før korrosjon starter

I 1993 ble 17 elementer utplassert i fire sterkt kloridbelastede miljøer: langs saltet veg (Ring 3 i Oslo), i skvalpesonen ved sjøen (Helgelandsbrua i Nordland, og på en flytebrygge på Sørlandet (hos Elkem i Kristiansand). De siste, som var påførte spen-

ningsbelastning, ble montert på en nedlagt kai i Sandnessjøen. Erfaringen resulterte i endringer i Statens vegvesens spesifikasjoner i 1997.

I 1997 ble ytterligere 14 betongresepter testet, og bjelker ble hengt ut på ei ferjekai i Solsvik på Sotra. Her brukte man erfaringene fra første fase til å studere mer inngående faktorer som lavt v/c-tall, bruk av tilsetningsstoffer og bruk av flyveaske, silika og slaggesement.

sin form i oktober 1992. BOR utsteder kompetansebevis, og godkjenner kursopplegg. Statens vegvesen har bidratt vesentlig til opplæringsrådets legitimitet. Et systematisk arbeid over tid har senere gjennom dette samarbeidet bidratt til at kompetansekrav nå stilles i Norsk standard til alle som skal ha praktiske oppgaver i produksjon, transport, støping og kontroll av betong.

Standardisering og bransjearbeid tar imidlertid tid. En omforent standard må basere seg på anerkjent kunnskap. Dette kunne ikke Statens vegvesen vente på, og flere pilotprosjekter ble gjennomført. Ett eksempel var Aursundbrua i Møre og Romsdal, som var pilot for uttesting av nye krav til overdekning – som Vegvesenet nokså raskt innførte i sine retningslinjer. Det var også uttesting av betongkvalitet og utførelsesprosedyrer der erfaringer gikk inn som ett av flere bidrag til utvikling av ny kunnskap.

Et bransjesamarbeid knyttet til kursing i praktisk betongrehabilitering var testet ut i Møre og Romsdal. Det ble fundamentet for bransjens kurs i betongre-

habilitering og også for en håndbok i betongrehabilitering, som først for få år siden ble erstattet.

I 1991 startet Kystbruprojektet med Trond Østmoen som leder. Innledningsvis ønsket man å få en generell oversikt for bruer over 30 meter med ulik eksponering. I en fase 2 av prosjektet ønsket man spesielt å undersøke gode bruer for å kunne få en formening om hva som ga en god bestandighet. Kartleggingen dokumenterte tvert imot at kloridinntrengning i betongen var et sentralt bestandighetsproblem. Dette åpnet for prosjektet «Utvikling av kloridbestandig betong» som ble ledet av Hilde Isaksen, og der ulike betongkvaliteter ble eksponert i felt. Målsettingen var å utvikle en robust og utførelsesvennlig betong med en god evne til å holde klorider ute og vekk fra armeringen.

Prosjektet baserte seg på felt- og labforsøk med større prøveelementer i betong som ble plassert ut i ulike miljøpåkjenninger, der effekter er målt etter 1,5 år, 2,5 år, 10 år og 15 år. Allerede etter 2,5 år i felt viste resultatene klare tenden-

Som del av Kystbruprojektet ble bjelkeelementer i 1991 koplet sammen og hengt opp under en nedlagt kai ved Sandnessjøen. Elementene er satt i spenn med en mellomliggende kloss. (Foto: Hilde Rannem Isaksen)



ser til at noen resepter skilte seg positivt ut. Dette var betong med lavt forhold mellom vann og sement (v/c-forholdet), samt betong med høy tilsetning av silika eller flyveaske.

Prosjektet resulterte i at Statens vegvesen alt i 1997 innskjerpet kravene til betong. De nye kravene var ulik annen betong, og «vegvesenbetong» fikk det formelle navnet SV-betong, et begrep som fortsatt er i bruk i 2023. Denne betongen hadde krav til v/c-forhold som var avhengig av miljøbelastningen, og skulle i tillegg være tilsatt silika. I dag er miljøklasse noe som alltid skal vurderes når betong prosjekteres. Tilstanden til elementene i felt er i den senere tid analysert etter nesten 30 år i tjeneste. Resultatene fra de siste testene er inkludert, sammen med alle tidligere resultater, i et Vegvesen-finansiert prosjekt ved NTNU som skal gå ut i 2025.⁷

PRODUKSJON AV BETONG

Kravene til den tette SV-betongen innebar betongresepter med et lavt forhold mellom vann og sement/bindemiddel.

Dette gir en mindre støpelig betong, med risiko for at det oppstår uønskede riss og støpesår. For å bedre betongens støpelighet, var den avhengig av plastiserende tilsetningsstoffer.

Artikkelen «Oldtidens byggematerialer: En steinhard gåte»⁸ forteller at forskere har funnet at betong i romertiden ble iblandet trebark, vulkansk aske, ris, ostemasse, øl og til og med urin. Tanken på å bruke tilsetningsstoffer er altså ikke spesielt ny.

I «moderne» betongteknologi startet imidlertid utviklingen med lignosulfonat som plastiserende stoff i 1937 i USA.⁹ P-stoff ble introdusert i Norge tidlig på 70-tallet, og brødrene Tjugum (Rescon, nå Mapei) startet produksjonen i 1976 basert på materiale fra Borregaard. Grunnlaget var med andre ord lagt for den utviklingen av tilsetningsstoffer som det reduserte vanninnhold i betongen krevde. Disse helt nye betongtypene som ble tatt i bruk på 90-tallet oppførte seg annerledes enn mange var vant med, og skapte en god del faglige diskusjoner blant betongteknologene, til dels heftige.



Nye armeringsregler resulterte i en tett armering som sammen med krav til tett betong skapte utfordringer ved støpearbeider. (Foto: Kjell Tore Fosså)

Utbedring ved hjelp av kappestøp på Hadsel bru, Vesterålen. (Foto: Knut Grefstad)

For å hindre opprissing av betong i tidlig fase, var kravene til armeringsmengde økt i 1988. Dette hadde som bifeffekt at armeringen kunne bli så tett, at det skapte problemer med betong-utstøping, med risiko for støpesår og mangelfull heft mellom armering og betong som resultat. Slik er det fortsatt, og plastiserende tilsetningsstoffer er i dag en nødvendighet i alle kompliserte betongkonstruksjoner.

Betong støpes i en forskaling, som det tar tid å montere og demontere. Glideforskaling, som er en krevende metode, men som er tidsbesparende når den utføres av kompetent personell, har derfor vist seg spesielt hensiktsmessig ved støp av plattformer, heissjakter eller brutårn. Konstruksjonene støpes kontinuerlig fra bunn til topp. Et fenomen som på tidlig 90-tall ble observert var at betong i brutårn der man hadde benyttet glideforskaling, fikk betydelig mengder riss. I 1995 kom derfor en rapport fra Statens vegvesen som i praksis innebar restriksjoner knyttet til bruk av glidestøp.



Dette var ett av mange tiltak som fikk betydning for utviklingen. Bransjen har med utgangspunkt i denne rapporten utarbeidet en beskrivelse for «beste praksis» i en publikasjon i Norsk betongforening.

SKADDE KONSTRUKSJONER

Broene måtte repareres. Det var ikke frykt for at de skulle falle ned, men for at reparasjons- og vedlikeholdskostnader ville utvikle seg uten kontroll.

En enkel og nærliggende innfallsvinkel kunne være å hugge bort betong med mye klorider og støpe ny og beskyttende betong. Hvor mye måtte i så fall hugges bort?

En særdeles utakknemlig jobb, spesielt når betong skulle hugges bort manuelt i underkant av brudekker. Praksis viste at dette kunne bli en veldig stor og kostbar oppgave, som faktisk ødela mer enn det reparerte. Dessuten var metoden ofte ikke tilstrekkelig for å redde armeringen. Selv rengjøring med høytrykksspyling kan være utilstrekkelig for å fjerne alt

salt. Korrosjon kan dermed fortsette etter at reparasjoner er utført.

Flere måter å forenkle arbeidet med å hugge bort armering ble testet ut, men den mest vanlige metoden i dag er bruk av vannmeisling, en metode utviklet i Sverige. Også her fikk Statens vegvesen bistand fra engasjerte utøvere, blant annet av Anleggsmaskin AS v/Torstein Larsen, som var pioner på selektiv vannmeisling med helautomatisert vannmeislingsrobot.

For konstruksjoner der man kunne ha en risiko knyttet til bæreevnen under rehabiliteringsarbeider, eller der man fryktet en fortsatt utvikling av korrosjonen, valgte man metoden kappestøp. Som navnet tilsier, er dette en betongkonstruksjon utenpå den opprinnelige konstruksjonen, som i tillegg til å styrke bæreevnen også beskytter mot videre kloridinntrengning. Metoden er benyttet ved reparasjoner av flere store kystbruer som eksempelvis Hadselbrua og Sortlandsbrua.

Noen steder var det også nødvendig å bytte enkelte søyler helt ut. Dette skjedde blant annet på Engeløya lavbru.

Tiltakene som ble testet ut, var kostnadskrevede. Det ble derfor gjort mange bestrebelsler på å finne metoder som kunne gjøre rehabilitering bedre og billigere. I selskapet Noteby¹⁰ ble det utviklet og patentert elektrokjemiske metoder for å trekke ut klorider av betong og for å reversere effekten av CO₂-inntrengningen i betong (realkalisering). Kloriduttrekk er testet, men i praksis ikke tatt i bruk på brukonstruksjoner, mens realkalisering er en anerkjent metode i Norge i dag. Karbonatisering er imidlertid bare unntaksvis et problem på bruer, og omtales derfor ikke videre.

ENHETLIG INSPEKSJONSSYSTEM

Inspeksjoner. Det høres så enkelt ut. Men for å få gjennomført de årlige tilstandsvurderingene er det mange som skal ut i felt. Sannheten er at det er særdeles krevende og fordrer både et system for en enhetlig forståelse av hva som observeres, samt en rapportering som er enhetlig.

Statens vegvesen hadde allerede i 1989 fått etablert et brutilstandsregister. Den første bruinspeksjonshåndboka kom i 1991. Den beskrev hva man skulle inspisere og hvordan observasjoner skulle tolkes og beskrives inn i tilstandsregisteret. Innholdet var testet ut i felt. Alle med ansvar for bruinspeksjoner hadde vært samlet i Ålesund og inspisert Steinvågbrua.

Bruinspeksjonsboka var såpass banebrytende at Federal Highway Administration fikk den oversatt til engelsk og tok den med seg hjem til USA.

Brutilstandsregisteret ble etter hvert til bruvedlikeholdssystemet Brutus gjennom et prosjekt ledet av Børre Stensvold. Begrepet tør være kjent for alle som har fulgt VGs oppslag om tilstanden på bruene de siste årene. Alle inspeksjoner på riks- og fylkesvegbruer skal i dag rapporteres i Brutus.

Også metodene for å undersøke betongen ble videreutviklet. Var det mulig å vurdere om det foregikk korrosjon uten å hugge opp betongen for å sjekke? Testmetoder var under utvikling blant annet ved Norges tekniske høgskole (NTH) og i utlandet, men det var spesielt Betec v/Jan Sælensminde som introduserte Statens vegvesen for noen av disse metodene, blant annet måling av elektrisk potensial som kunne gi en indikasjon på at det foregikk korrosjon. Disse metodene er helt sentrale i dag.



For ti år siden ble den da 39 år gamle Sundklakk bru i Lofoten sikret ved å montere galvanisk beskyttelses-anlegg. Denne lille enheten ble koblet til et titannett montert inn mot armeringen under brua, og tilfører noen få watt strøm som hindrer videre ione-overgang, det vil si rust. Fra venstre (i juni 2013) Vegdirektoratets bruseksjonsleder Børre Stensvold, Knut Einar Riise fra leverandøren Corroteam AS, og Vegvesenets byggeleder Linda Hansen. (Foto: Håkon Aurlien)

KATODISK BESKYTTELSE

Katodisk beskyttelse har utviklet seg til å bli en sentral metode for å hindre skadeutvikling på betongkonstruksjoner. Kort fortalt innebærer dette at man setter strøm på konstruksjonen, mellom armeringen og en ekstern anode. Armeringen blir da negativt ladet, dvs. blir en katode, og korrosjonen stopper eller bremser.

Katodisk beskyttelse, som var en velkjent metode på stålkonstruksjoner, hadde vært testet ut internasjonalt, blant annet i Danmark og USA. Den var testet ut i Norge på andre typer konstruksjoner på 80-tallet, men var ukjent for Statens vegvesen frem til testingen på Engeløya. Dette ble imidlertid starten på et større uttestingsopplegg både hos Statens vegvesen og i FoU-prosjektet «Armeringskorrosjon initiert av klorider» (1989-1992) ledet av Øystein Vennesland. Flere ulike systemer ble testet ut på til sammen 13 bruer i perioden 1989 til 2001 med Trond Østmoen og Knut Grefstad som sentrale aktører i Statens vegvesen.

Spesielt tre miljøer i Statens vegvesen ledet an i arbeidet: Vegdirektoratet,

Møre og Romsdal vegkontor med Per Austnes som ildsjel og Nordland vegkontor med Arnfinn Pettersen i spissen. Også NTH/SINTEF og resten av bransjen stilte opp. Av helt nye systemer som ikke hadde tradisjon i andre land og som ble testet ut, kan nevnes «ledende beleg». Dette ble første gang testet på Nerlandsøy bru i Møre og Romsdal. Dette var som nevnt en slank bru der man ønsket å unngå tilleggslaster som ordinære KB-anlegg kunne medføre. Helt i mål kom man ikke med metoden den gang, men den er fortsatt aktuell, og ildsjelen i Protector, Jan Eri, er fortsatt engasjert i dette arbeidet.

Knut Grefstad oppsummerte fordeler og ulemper ved bruk av katodisk beskyttelse ved en konferanse i Lisboa i 2006.¹¹ Den viktigste fordelen var at metoden kan benyttes ved flere skadegrader, fra begynnende skade til mer alvorlig omfang av korrosjon, og den gir samtidig lavere behov for å fjerne betong. På den andre siden krever metoden kontinuerlig overvåking og involverer behov for et velfungerende opplegg for strøm. Den krever også tilgang på tverrfaglig



Gimsøystraumen bru i Lofoten er bygd i 1981, og er blant bruene som har fått katodisk beskyttelse mot armeringskorrosjon. Et forskningsprosjekt gikk fra 1991 til 1997 og ga mye lærdom om hvordan man skulle sikre lang levetid for 1970- og 1980-tallsbruene. (Foto: Håkon Aurlien)

kompetanse, som ikke alltid er tilgjengelig. Dessuten kreves spesielle tiltak på spennarmerte bruer – som veldig mange bruer er.

FORSKNING OG INNOVASJON

Det var ikke noen tvil om at mange så spennende faglige utfordringer i de beskrevne prosjektene. Blant mange forskningsprosjekter, vil vi spesielt trekke frem to store prosjekter der Statens vegvesen var en sentral aktør: Repcon og OFU Gimsøystraumen. Repcon var et bredt anlagt bransjeprojekt finansiert av deltakerne og NFR. De ulike aktørene hadde fokus på sine produkter, eksempelvis realkalisering/kloriduttrekk som alt er nevnt. En metode Vegvesenet var opptatt av, var hvordan man enkelt kunne satse på forebyggende vedlikehold eller skadereduserende tiltak, ved å bruke overflatebehandling. Mange produsenter var kommet på banen med forslag til løsninger, uten at det fantes gode meto-

der for å dokumentere effekter over tid. Man ønsket både å sjekke effekt over tid, men også å utvikle metode for å kunne teste effekt for å kunne utvikle en form for godkjenningssordning.

Ett eksempel på tiltak var gjennomføringen av forsøk på Skarnsundet bru i 1993, der 10 produsenter/leverandører var invitert til å teste ut sitt mest egnede prosjekt. Effekter ble testet ut, målt og rapportert.¹² Mange av produktene fungerte, men utfordringen var behovet for å følge opp over tid. Flere av leverandørene forsvant derfor ut av prosjektet etter hvert. Overflatebehandling ble også testet ut på Gimsøystraumen bru, der Claus Kenneth Larsen tok sin Ph.d. Han var pådriver for forsøkene knyttet til overflatebehandlinger.

OFU Gimsøystraumen var et prosjekt finansiert av SND, der Rescon og Statens vegvesen samarbeidet om utvikling av rehabiliteringsmetoder.¹³ Gimsøystraumen bru ligger i Lofoten i Nord-

land, og prosjektet, som startet i 1992, ble avsluttet med en stor, internasjonal konferanse i 1997. Ambisjonen var å øke innsikt, fremskaffe ny kunnskap om skademekanismer og utvikle retningslinjer for reparasjoner, samtidig som brua skulle repareres. For Rescon var ambisjonene produktutvikling og å bli sertifisert i henhold til ISO-9000-serien samt øke konkurransekraften.

Ulike forhold ble dokumentert for å kunne bli benyttet i vitenskapelig arbeid samtidig som reparasjonene på brua ble instrumentert slik at de kunne bli overvåket over tid. Dette har gitt verdifull kunnskap i ettertid og gjort det mulig å bruke brua som objekt for senere forsknings- og utviklingsprosjekter. Tre ph.d.-prosjekter ble gjennomført samt åtte ulike masteroppgaver. Mer enn 20 studier ble publisert i Europa, USA, Australia og i Midtøsten.

En konklusjon som ble trukket i avslutningskonferansen, var at vi i og for seg kunne beskrive nedbrytingsmekanismer mer nøyaktig, men at det sentrale likevel var at vi visste mer om hva vi ikke visste. Dette belyser imidlertid et viktig poeng for ingeniører: Ingeniører må forholde seg til erfaringer – også om de ikke er bekreftet vitenskapelig. Noe som altså resulterte i mange konkrete tiltak som gjør at bruene som hadde skader med få unntak fortsatt står, og at bruer som ble bygget etter denne perioden har en kvalitet som forventet.

FORTSETTELSEN

Mange som arbeidet med problemstillingene som er omtalt i artikkelen er fortsatt dedikert til arbeid med å forebygge skade og sikre en hensiktsmessig levetid på konstruksjoner. Det oppleves meningsfylt for mange i en tid da bærekraft får økende

fokus. Mange problemstillinger ble ikke drøftet den gang, men er i søkelyset idag, eksempelvis hvordan man kan teste om spennkabler i betong er ok.

Dette temaet ble satt på dagsorden i Statens vegvesens FoU-program Bedre bruvedlikehold (2017-2021) og har blitt høyaktuelt i disse dager, når Herøysundet bru på Herøy i Nordland må rives på grunn av skader på spennkablene. Bransjeprosjektet Excon, som ble etablert i 2023, belyser dette problemet. Kulturen for felles løft lever fortsatt.

Det er vemodig å tenke på at Engeløya lavbru skal rives i 2024 – bare 46 år gammel. Kostnadene til vedlikehold ble for store. Tilvarende skal Nerlandsøy bru rives i 2025, hvis byggingen av ny bru går etter planen. Den ble åpnet i 1968, og rekker å bli 57 år. Når den nå rives, er det ikke på grunn av skader, men fordi den ikke har en kapasitet som egner seg for dagens trafikk. Disse bruene tenker neppe på bidraget de har gitt i utvikling av kunnskap og kompetanse som har kommet andre bruer til gode. Men Gimsøystraumen bru står videre, har fått stadig mer katodisk beskyttelse de siste ti årene, og er fortsatt en arena for forskning og utvikling.

Det er i dag enormt fokus på videreutvikling av materialene. Det vil ta tid før man vet om de nye materialene egentlig er gode nok. Vi vet jo ikke om de laboriemetodene som er blitt utviklet for å teste levetid på gårdsdagens materialer, er like velegnet for morgendagens materialer. Den politiske utviklingen av store prosjekter har gjort at krevende og komplekse brukonstruksjoner ikke får det fokuset i prosjektene som den gangen prosjektet kun handlet om bru – og dagens store behov for å redusere kostna-

-Det er vemodig å tenke på at Engeløya lavbru skal rives i 2024 – bare 46 år gammel, skriver Elisabeth Schjølberg. (Foto fra bruregisteret Brutus)

der vil helt sikkert bety noe for de valgene som blir tatt fremover. Dessuten kan man ikke se bort fra at den elleville utviklingen av ny teknologi kan bidra til at viktig forståelse for praktiske detaljer kan gå tapt. Innsikt som bare erfaring kan bidra til. Og sist, men ikke minst. Standarden og håndbøkens detaljeringer har blitt ekstrem. Kan hende ordtaket: «De så ikke skogen for bare trær» vil få fornyet aktualitet før man vet ordet av det. Spørsmålet man kan stille seg er om vi har lært noe av forhistorien til skadeutviklingen på 1980-1990-tallet.

TAKK

Forskning viser at man ikke skal stole 100 % på husken. På dette området der mange var involvert, har det vært helt nødvendig å være flere som kunne bidra til tilstrekkelig korrekt minnesbilde. Flere enn hovedforfatterne har bidratt med å fremskaffe informasjon til artikkelen, enten i form av dokumentasjon eller med andre korrigerende innspill.

Mange deltok i arbeidet den gangen. Noen er nevnt ved navn i artikkelen eller i endenotene, de fleste ikke. Men det er ikke tvil om at engasjementet og innsatsen til de mange har vært helt sentralt for at man nokså raskt fikk oversikt og kontroll på kvaliteten. Det var en inspirerende fase for mange av oss, så takk til alle som bidro den gangen.

Spesiell takk til medforfatterne Hilde Rannem Isaksen, Trond Østmoen og Knut Grefstad. Videre til Lise Bathen, Eva Rodum og Karla Hornbostel i Statens vegvesen, Lise også fordi hun bidro til at vi fikk reddet to store pappesker med dokumentasjon fra disse prosjektene fra å bli kastet. Dessuten takk til kollega Kåre Reknes og Kjell Tore Fosså for innspill.



NOTER

- 1: Informasjon fra Trond Østmoen
- 2: Svein Bjørberg: Rapport om historiske skader i forbindelse med rehabilitering av Sundbygget i Bergen
- 3: Eksempelvis Sameiet Kattem Ust i Trondheim. 1400 boenheter bygget på 1970-tallet fikk omfattende rehabilitering i perioden 1987-1990. Informasjon fra Eva Rodum.
- 4: Informasjon fra Reidar Kompen, foredrag på fagdag i FoU-prosjektet «Varige konstruksjoner» i 2014
- 5: NS 3473: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Beregning og dimensjonering.
- 6: I praksis gjennomført av Trine Tveter i Fabeko, Reidar Kompen og Elisabeth Schjølberg
- 7: Informasjon fra Eva Rodum
- 8: Bygg.no 23/10-2023
- 9: Informasjon fra Kåre Reknes
- 10: Øystein Vennesland og John B. Miller
- 11: Knut Grefstad: «Cathodic protection applied on Norwegian concrete bridges. Experiences and recommendations», innlegg på Eurokodeseminar 2006
- 12: Claus Larsen. SVV-Internrapport 1926 og Østvik J-M (2013): Overflatebehandling av betongkonstruksjoner. Feltforsøk Skarnsundet bru. Sluttrapport. Statens vegvesen rapport nr. 116
- 13: OFU-prosjekter var og er en type samspillsprosjekter mellom offentlig og privat aktører der den offentlige kunden har en tydelig utfordring som den private aktøren kan bidra til å løse og samtidig øke sin konkurransekraft.