



Statens vegvesen

# Drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner Teknologidagene 2007

**RAPPORT**

Teknologiavdelingen

Nr. 2497



Materialteknisk seksjon  
Dato: 2007-10-17





**Statens vegvesen**

## TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2497

Tittel

**Drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner  
Teknologidagene 2007**

Vegdirektoratet  
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep  
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Øyvind Bjøntegaard og Synnøve A. Myren

Dato:

2007-10-17

Saksbehandler

Øyvind Bjøntegaard og Synnøve A. Myren

Prosjektnr:

Kontrollert av

Kjersti K. Dunham

Antall sider og vedlegg:

### Sammendrag

Rapporten er en samling av foredrag som ble holdt i kurset "Drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner" arrangert av Materialteknisk seksjon, Vegdirektoratet, og som inngikk som en av flere sesjoner i Teknologidagene 2007, Tromsø. Tema som behandles i kurset er blandt annet material- og designmessige nøkkelparametrer for bestandighet, vedlikehold og reparasjonsmetoder og regelverk for betong i henhold til revidert Håndbok 026 "Prosesskode 2".

### Summary

The report is a compilation of speeches held during the course "Service and maintenance of concrete structures" arranged by the Materials section, The Road Directorate. The course was one of several sessions in the conference Teknologidagene 2007, Tromsø. Themes that are dealt with in the course are among others materials and design key parameters for durability, maintenance, methods for repair and new codes for concrete according to Handbook 026 "Process code 2".

### Emneord:

Betongkonstruksjoners bestandighet, dagens vedlikeholdssituasjon, design, levetidsprosjektering, inspeksjon, reparasjon, restlevetid, revidert Håndbok 026





# INNHALDSFORTEGNELSE

Presenterte foredrag under konferansen:

## **Drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner, 17-18 oktober 2007**

*Teknologidagene 2007, Rica Ishavshotell, Tromsø*

### **Betongbruer – historisk tilbakeblikk**

*- bruk av betong i bruer, hvordan og hvorfor kom vi til dagens vedlikeholdssituasjon*

Reidar Kompen, Materialteknisk seksjon Vegdirektoratet

### **Betongkonstruksjoners livsløp (inkl. skriftlig supplement)**

*- bestandighetsparametre, levetidsprosjektering*

Finn Fluge, Materialteknisk seksjon Vegdirektoratet

### **Betongbruer – forvaltning, drift og vedlikehold**

*- vedlikeholdsstrategier, inspeksjon, rengjøring/preventivt vedlikehold, utbedring, reparasjoner, forsterkning/ombygging, ta ut restlevetid, utskifting*

Knut A. Grefstad, Bruseksjonen Vegdirektoratet

### **Nyoppstartet FoU-prosjekt på betong: Concrete Innovation Center (COIN)**

Claus K. Larsen, Materialteknisk seksjon Vegdirektoratet

### **Endringer i Håndbok 026 "Prosesskode-2"**

Reidar Kompen

### **NS-EN 1504 serien og annet felleseuropeisk regelverk**

Jan-Magnus Østvik, Materialteknisk seksjon Vegdirektoratet

### **Overflatebehandling**

Eva Rodum, Materialteknisk seksjon Vegdirektoratet

### **Elektrokjemiske metoder (inkl. skriftlig supplement)**

Jan-Magnus Østvik





Statens vegvesen

# **Betongbruer**

## **Hvordan kom vi til dagens situasjon - på godt og vondt**

**Teknologidagene 2007 - Tromsø 15.-18. oktober**  
Reidar Kompen – Materialteknisk seksjon

## **Historie – Kulturhistorie**

**Vår bygging av bruer av armert betong  
startet for ca. 100 år siden**

### **Begivenheter**

<b>1914-1918</b>	<b>Fattig råvareleverandør</b>
<b>1929</b>	<b>1. verdenskrig</b>
<b>1940-1945</b>	<b>Krakket på New York børsen</b>
<b>1950-1965</b>	<b>2. verdenskrig</b>
<b>1970-</b>	<b>Gjenoppbyggingen</b>
<b>1990-</b>	<b>Oljealderen</b>
	<b>Norge et rikt land</b>



Statens vegvesen

## Starten



**Fakta og markedsføring ga sement  
renommé som et mirakelprodukt**

**Hardt og sterkt som fjell, - til og med  
i og under vann!**

**Maling for landbruket:**

**1 kg sement + 3 liter skummet melk**



Statens vegvesen



**Og enda bedre:**

**Alle kunne få det til!**

**Man var umåtelig stolt over å få det til!**

**Chr. F. Grøner beklaget seg på 1920-tallet:**

***"Enhver som kunde svinge en spade og rulle  
en sementtønde kunde lage betong!"***



Statens vegvesen



## **Vidundermaterialet som ikke krevde kunnskap og ferdigheter**

**Norge var ikke alene om denne holdningen, den var og er internasjonal**



Statens vegvesen



## **Prosjekterende – "Ingeniøren"**

**Stor prestisje – stor avstand**

**En god konstruktør tegnet slanke konstruksjoner**

**"Landets materialressurser er begrenset, men arbeidskraften kan reproduseres"**



Statens vegvesen

## Betongmaterialet



...har alltid fascinert,  
- og tiltrukket seg oppmerksomhet

**MEN...**

Kvalitetskriteriet var lenge stiv konsistens

### Armeringen

*Stålprodusenter – Konstruktører – Jernbindere*  
har vært og er separate grupper uten innbyrdes kontakt



Statens vegvesen

## Armeringsoverdekning



**Man har hele tiden hatt viten  
om betydningen, men ellers har  
det vært et ikke-spørsmål**



Statens vegvesen

## Forskalingen



...var tradisjonelt en rufsete bordforskaling

Overflatene ble påført en puss etterpå

**Dermed fikk armeringen også en overdekning**

**Framskrittet** da en tok i bruk finereforskaling var at en kunne sløyfe pussing av overflatene

Men overdekningsregler og armeringspraksis ble ikke endret



Statens vegvesen

## Gjenreisningsperioden



Tysk innflytelse måtte fortrenkes.  
Erstattet med hastetempo og rock'n roll.

**Hei hvor det går!**

(kfr. Filmavisen)

Oppgaven var å løse det akutte problemet, og det greide de.  
Morgendagens problem får vi ta i morgen...



Statens vegvesen

## Og så...



- fadesen i 1972

**NS 3473, 25 mm overdekning. En særnorsk beslutning**

### Praksis 1972-1989

i bransjen	B150-B250, 15 mm overdekning
Statens vegvesen	B350, 30 mm overdekning
FFB	B400, 30 mm overdekning

**Vegvesenet og vannkraft var kvalitetsledende**



Statens vegvesen

## I samme periode - Kystbruene



**Regler og erfaringer fra ikke-værharde strøk ble anvendt uendret i de mest værharde strøkene**

### **Klorider**

**Sjøvann som blandevann  
Tilsetningsstoff, akselerator  
Bergstrøms harselas  
Kunnskapen og innsikten mht.  
bestandighet fantes ikke**



Statens vegvesen



## Holdningene holdt seg lenge, og er tunge å endre



### Prosesskode-2 arbeidet, 1980

"Fraskriver meg alt ansvar hvis synkmål 12 og 16 cm tillates"  
"Armeringsoverdekning er et konstruksjonsspørsmål,  
og har ikke noe med utførelse å gjøre"

## Karbonatisering var frykten

### Prosjekterende 1987

Står 15 mm overdekning på tegningene,  
men ser gjerne at det blir mindre

### Arkitekt 1990

Demp ned betongbyggingen, de blir  
stående i mer enn 1 000 år!



Statens vegvesen

## Sannhetens øyeblikk, 1988-1990



Skadene kom for en dag, **panikktendenser**  
Armeringskorrosjon ble kalt betongskader



Systematikk i tilstandsundersøkelser

Vegvesenbetong  $m \leq 0,40$ , 1989

**Policy, 100 års levetid**

IR 1731, Armeringsoverdekning 1994

1996-97 HB 185 + Revidert 026, SV-40 og SV-30



Statens vegvesen



**Bransjen har (hatt) prestisje og begeistring,  
men vært lite tynget av selvkritikk**

**Hele byggebransjen er og har vært preget av  
kortsiktighet  
*Unntakene er få***

**Heller investere i *luksus* enn *kunnskap* og  
*sikkerhet***

**Betongbestandighet er en meget **ung  
vitenskap**, hvor mye arbeid står igjen?**

**Erkjennelsen av at **alt** må vedlikeholdes har  
bare delvis trengt inn**



Statens vegvesen

## **Vanskelig balansegang**



**Både trenge utvikling + FoU, og  
hevde at bransjen er seriøs/velutviklet**

**"Brua er 100 % sikker,  
men den må repareres NÅ!"**



Statens vegvesen

# TEKNOLOGIDAGENE 2007



Drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner

Betongkonstruksjoners livsløp  
Bestandighetsparametere  
Levetidsprosjektering

Dr. ing Finn Fluge



## Bestandighet/levetid



Bestandighet er et samspill mellom

- Miljøpåkjenninger
- Materialvalg
- Konstruktiv utforming
- Utførelse
- Vedlikehold



## Atlanterhavsveien



Statens vegvesen



## Pantheon



2000 år



Statens vegvesen



## Progreso Pier, Mexico



Ny bro 1972

Gammel bro 1938



Statens vegvesen

## Skademekanismer

Den dominerende skademekanismen for betongkonstruksjoner eksponert i norsk miljø er armeringskorrosjon.

### Armeringskorrosjon

- initiert av karbonatisering
- kloridinitiert



Statens vegvesen

## To tiårs bestandighetsforskning



omfatter

- Innsamling og systematisering av bestandighetsdata.
- Evaluere resultater fra eksisterende konstruksjoner, feltstasjoner, utførte reparasjoner etc.
- Utvikling av modeller for levetidsberegninger



Statens vegvesen



## "a-ha" opplevelser



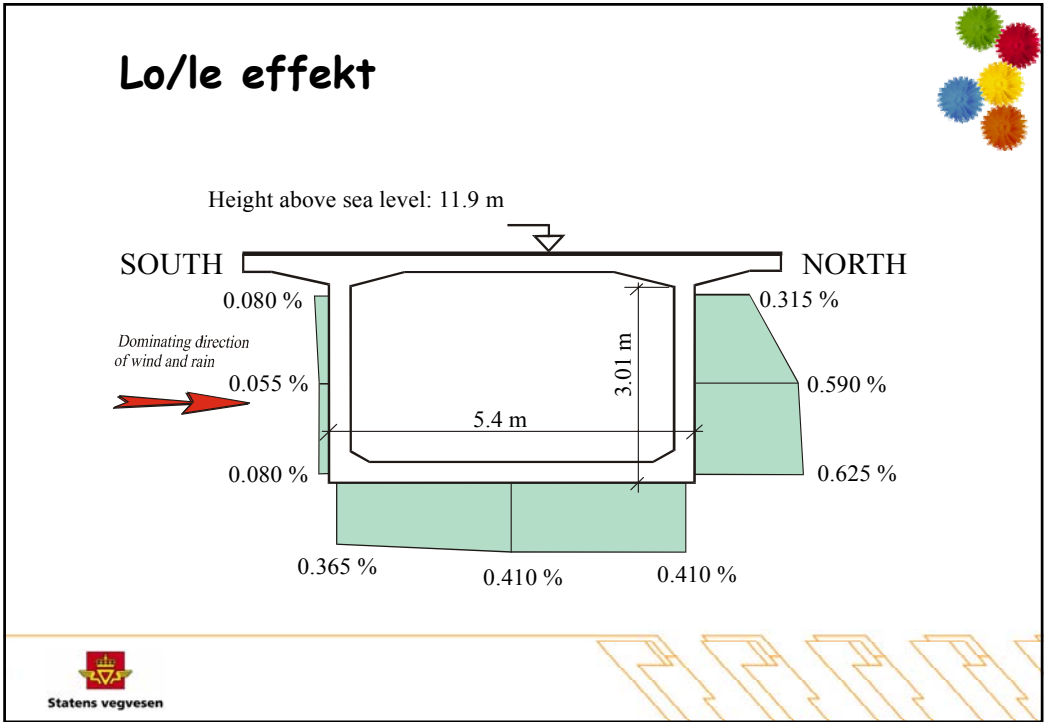
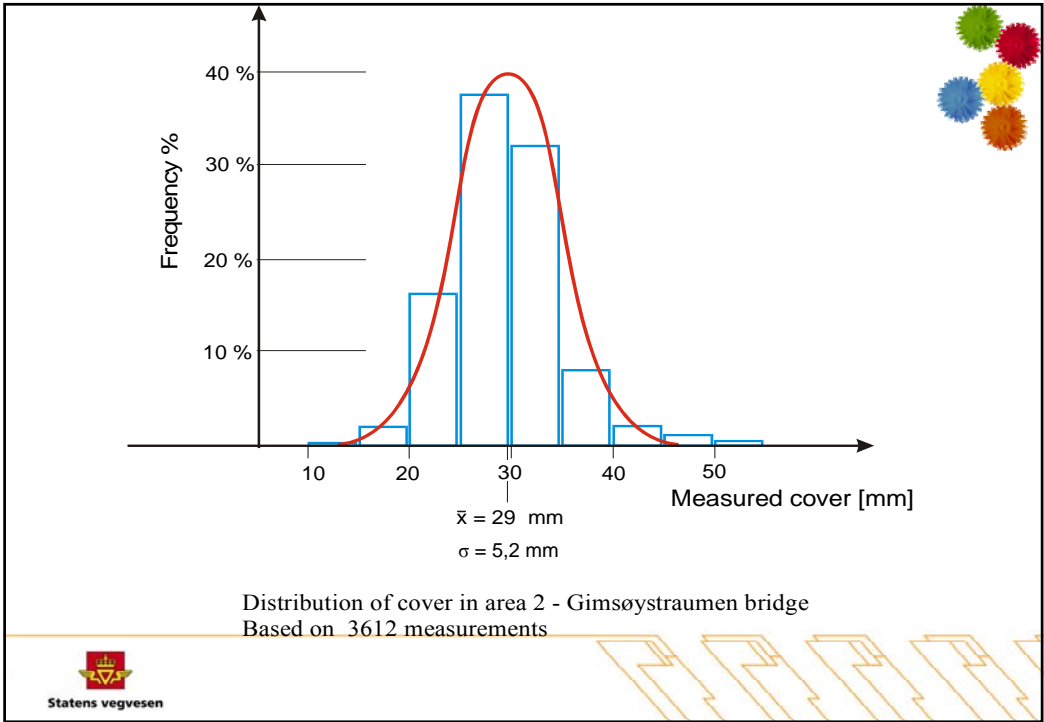
To eksempler

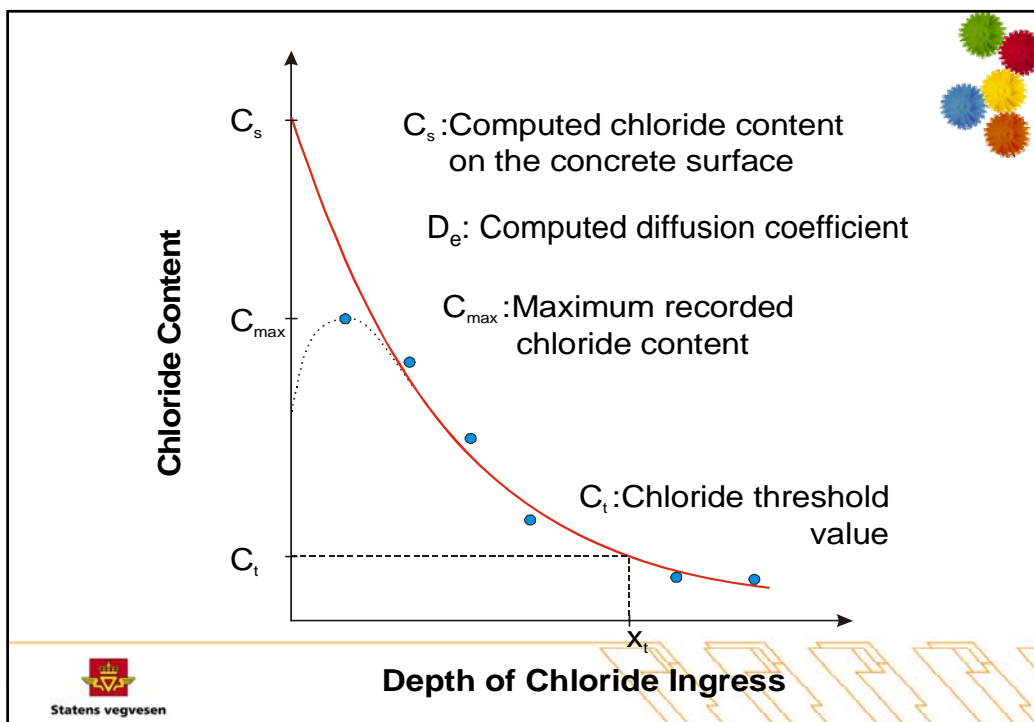
- armeringsoverdekning
- miljøbelastning



Statens vegvesen







### Inngangsparametere i levetidsberegninger

- Kloridlast - overflatekonsentrasjon
  - Betongkvalitet - diffusjonskoeffisient (inkl forholdet mellom v/c-tall og bulkdifusjon)
  - Kritisk kloridnivå
  - Armeringsoverdekning
- 
- Tidsparameter
  - Initiell kloridkonsentrasjon
  - Modell usikkerhet

$C_s$   
 $D_e$   
 $C_{crit}$   
 $X_{dim}$

$\alpha$   
 $C_{init}$



# Kloridlast

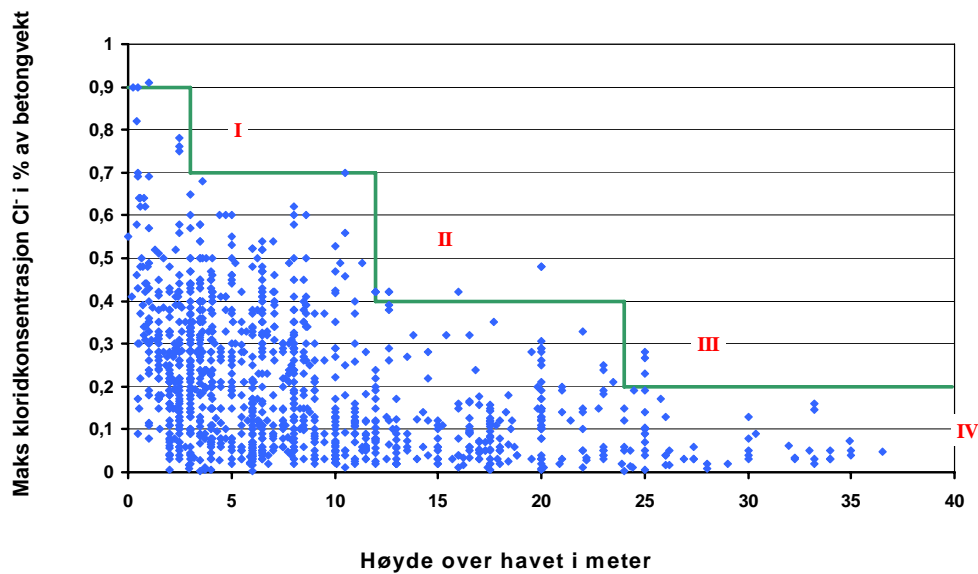


Kloridkonsentrasjonen på betongoverflaten varierer med:

- Høyde over sjø
- Størrelse og form på konstruksjonsdelen
- Lo/le effekt
- Vind/sjørokk
- Nedbør, regn og snø - sol og skygge

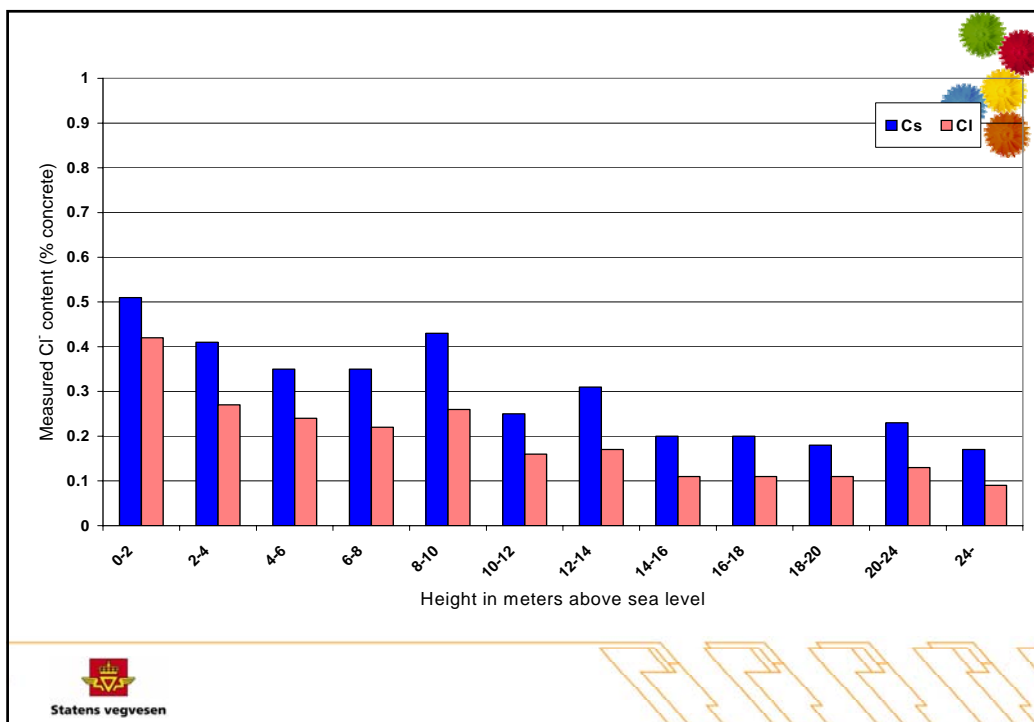


Statens vegvesen



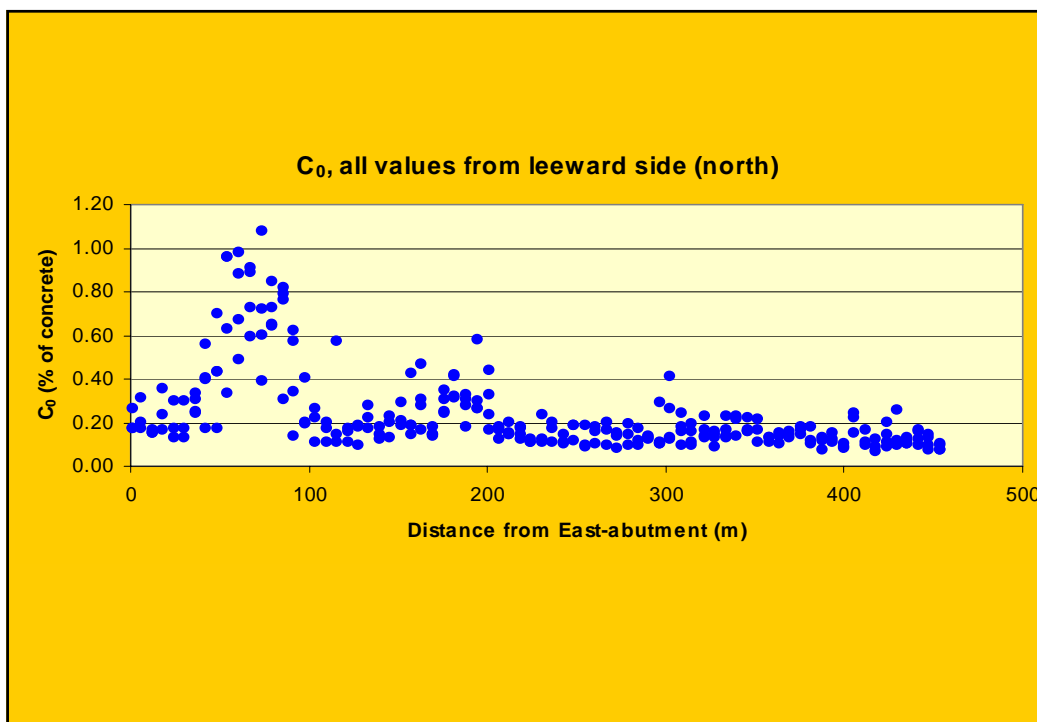
Statens vegvesen





**Kloridkonsentrasjon på betongoverflaten som Cl i % av betongvekt for soner i ulik høyde over havnivå.**

Høyde over havet	Kloridlast middelverdi $C_s$	Standard avvik $\sigma_s$	Karakteristisk verdi $C_{sk} = C_s + 1.3 \sigma_s$
0 – 3 m	0.51	0.23	0.81
3 – 12 m	0.36	0.24	0.67
12 – 24 m	0.22	0.19	0.47
> 24 m	0.17	0.10	0.30

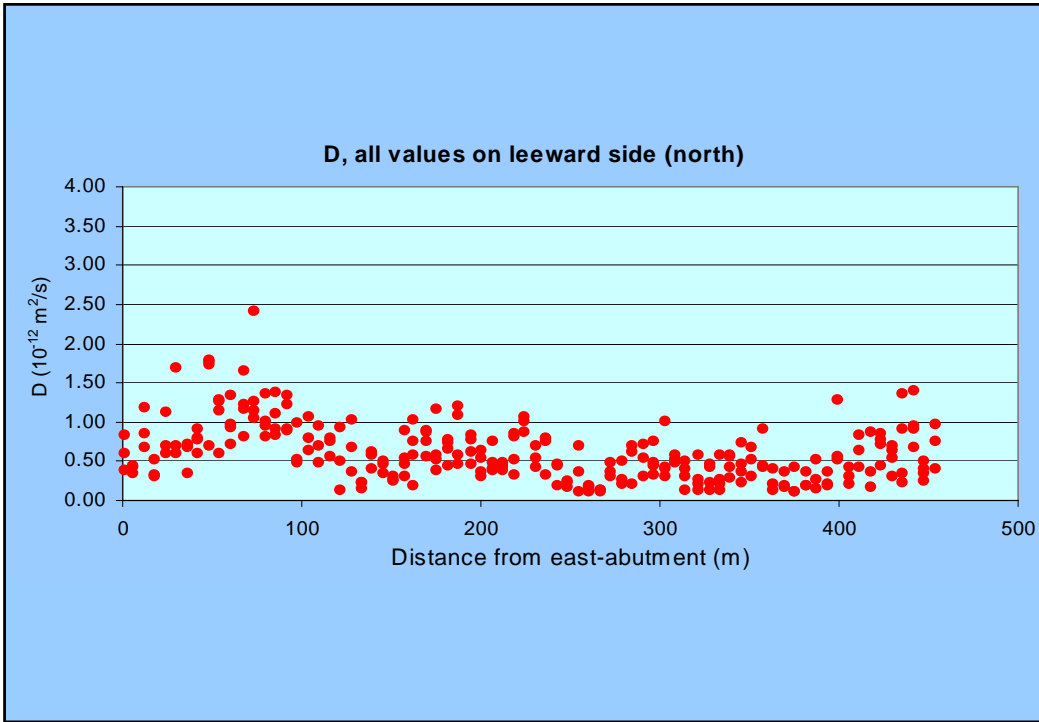
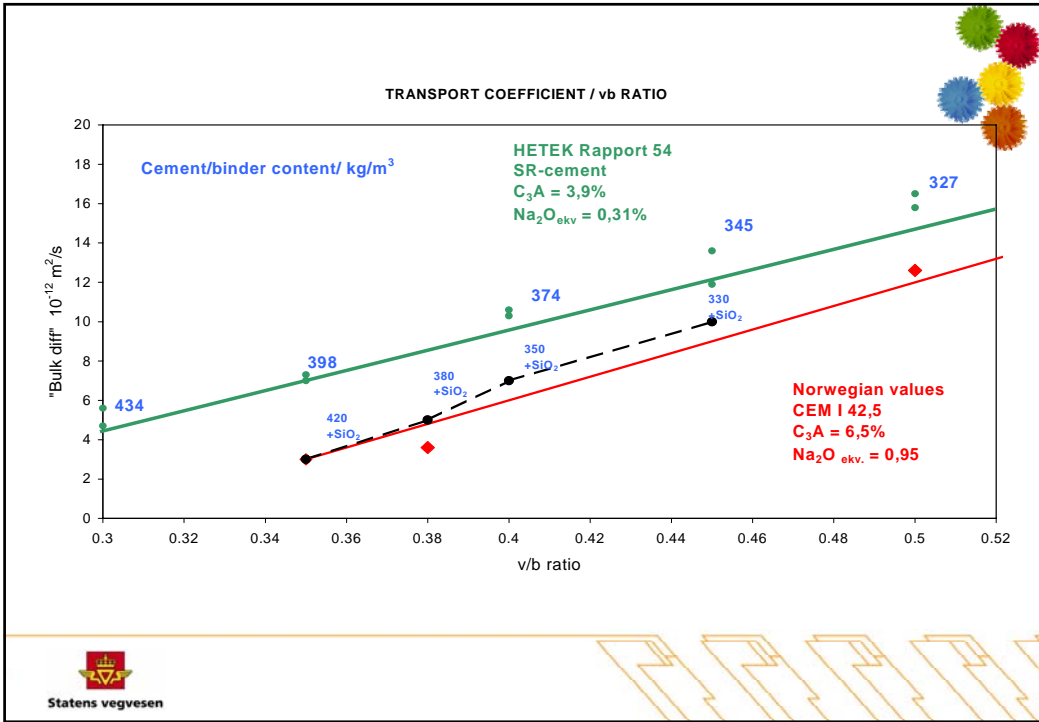


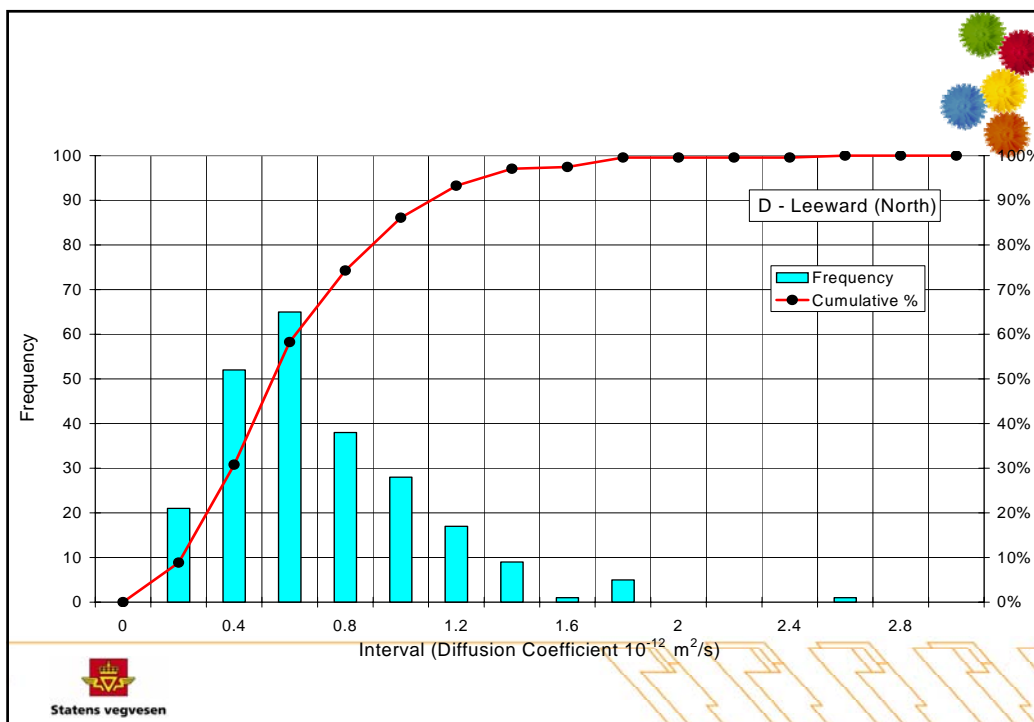
## Betongkvalitet



Diffusjonskoeffisienten  $D$  oppfattes som en materialelegenskap.

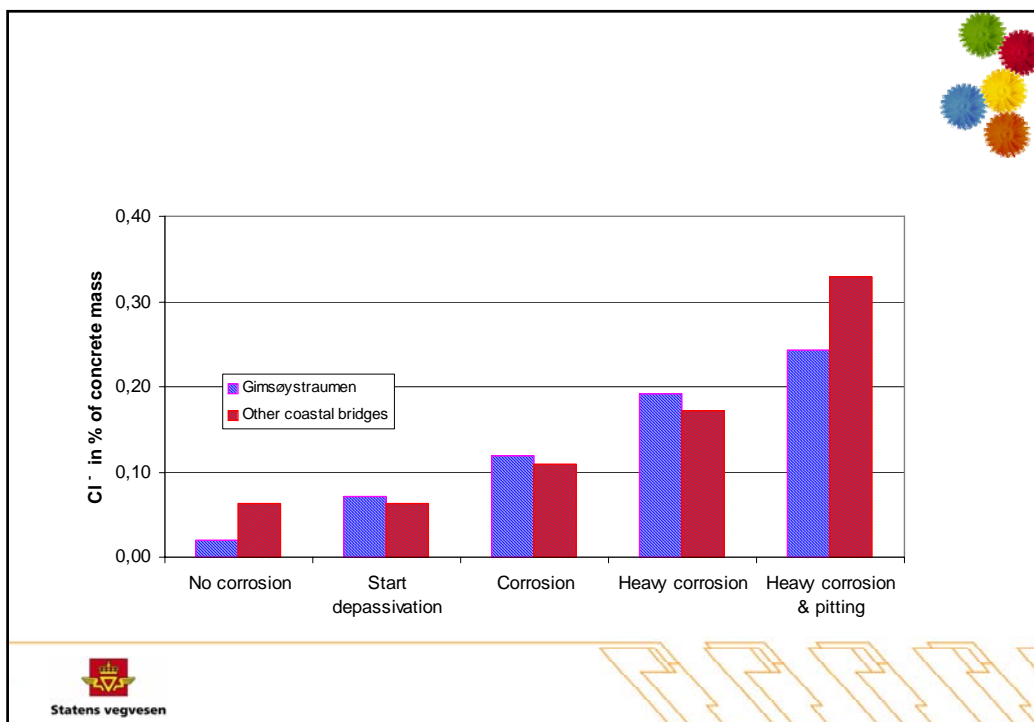
Gir en analyse hentet fra Gimsøystraumen





## Statistiske fordelingsfunksjoner

Model	Mean value $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Standard Deviation $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	R <sup>2</sup>
Normal			0.9452
Gamma			0.9548
Gumbel	0.61	0.37	0.9913
Weibull			0.9879
Lognormal			0.9817



## Terskelverdier

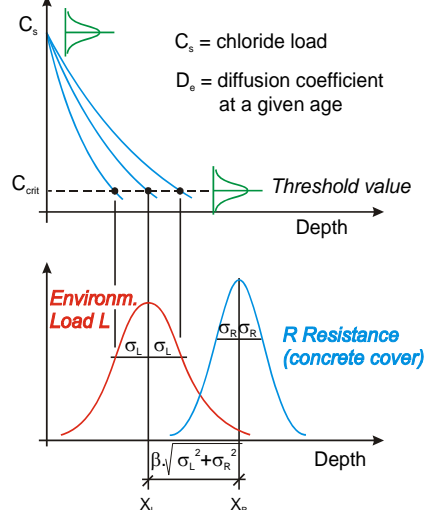
Kritisk kloridnivå Cl<sup>-</sup> i % av cement/betongvekt

Cl <sup>-</sup> % of cement	Cl <sup>-</sup> % of concrete assumed 440 kg cement/m <sup>3</sup>	Risk of corrosion
> 2.0	> 0.36	Certain
1.0 – 2.0	0.18 - 0.36	Probable
0.4 – 1.0	0.07 - 0.18	Possible
< 0.4	< 0.07	Negligible

## Inngangsparametere i levetidsberegninger

• Kloridlast – overflatekonsentrasjon	$C_s$	Log normal
• Betongkvalitet – diffusjonskoeffisient	$D_e$	Log normal
(inkl forholdet mellom v/c-tall og bulkdifusjon)		
• Kritisk kloridnivå	$C_{crit}$	Normal
• Armeringsoverdekning	$X_{dim}$	Log normal
• Tidsparameter	$\alpha$	Log normal
• Initiell kloridkonsentrasjon	$C_{init}$	Normal
• Modell usikkerhet		Normal

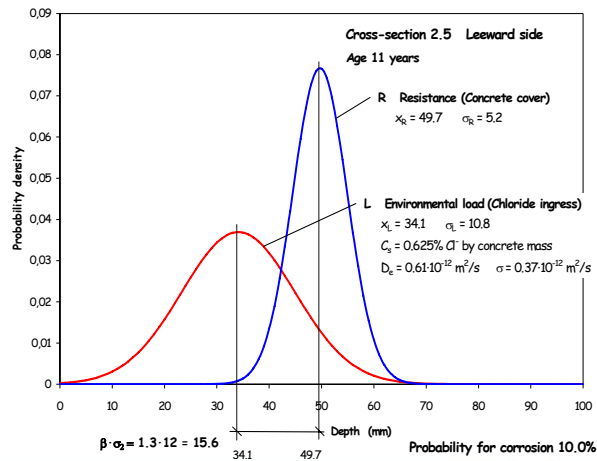
### TRANSFORMING CHLORIDE INGRESS TO ENVIRONMENTAL LOAD



$$Z = R - L$$

Where  
 $Z$  = reliability  
 $\beta$  = failure index  
 $P_f = \Phi(-\beta)$  failure probability

# Beregnet armeringsoverdekning



## Beregnet nominell overdekning $C_n$ – 50 års dimensjonerende levetid



Bestandighets klasse	Eksponeringsklasse			
	XS3		XS1	
	Miljøsoner			
	0-3 m mm	3-12 m mm	12-24 m mm	> 24 m mm
M-40 og MF-40	(79,8) <b>63.4</b>	(75.7) <b>59.3</b>	(68.8) <b>49.9</b>	(59.3) <b>38.1</b>
M-45 og MF-45	(94.4) <b>75.7</b>	(89.7) <b>70.2</b>	(81.2) <b>59.3</b>	(68.8) <b>43.3</b>





## Konstruktiv utforming



Konstruksjoner skal:

- bygges på sikker og forsvarlig måte
- være tilpasset stedlige forhold
- ha enkle detaljer
- være inspeksjonsvennlig
- være lite ømfintlig for endringer



Statens vegvesen



## Produksjonsforhold



Utførelseskravene er knyttet opp mot:

- Utforming av støpeskjøter
- Armeringsplassering NB! Toleranser
- Beskyttelse av utstøpt betong
- Etterarbeider



Statens vegvesen



## Vedlikeholdsstrategi



### Metodevurdering

- Erfaringer og sannsynlig langtidsoppførsel
- Ømfintlighet - riktig utførelse
- Mulighet for senere tiltak
- Levetid til reparasjonene



Statens vegvesen



- Takk for oppmerksomheten



Statens vegvesen



Supplement til foredraget:

## **Betongkonstruksjoners livsløp**

Finn Fluge, Vegdirektoratet

- *Bestandighetsparametere*
- *Levetidsprosjektering*

### **Innledning**

Vurderinger knyttet til betongkonstruksjoners bestandighet og levetid utgjør en naturlig del av alt prosjekteringsarbeid. I engelskspråklig litteratur er dette ofte betegnet som ”integrated design”, hvilket innebærer at man gjennom gunstige valg av materialer samt gjennom konstruktiv utforming og produksjonsmessige tiltak har mulighet til å påvirke den armerte betongkonstruksjonens levetid.

I denne presentasjonen konsentrerer jeg meg om forhold som påvirker bestandigheten og ser på hvordan man gjennom ulike tiltak kan øke levetiden.

En armert betongkonstruksjons bestandighet er et samspill mellom faktorer som

- miljøpåkjenninger
- materialvalg
- konstruktiv utforming
- utførelse
- vedlikehold

I tillegg kommer en del ikke tekniske forhold.

Atlantehavsveien illustrerer bedre enn mange ord de naturkreftene våre kystbruer utsettes for.

Betongmaterialet har i de fleste sammenhenger god holdbarhet, noe den mer enn 2000 år gamle lettbetongkuppelen i Pantehon viser.

Progreso Pier i Mexico viser betydningen av riktig materialvalg og konstruksjonsutforming. Mens den snart 70 år gamle ”broen” fremdeles er i bruk tok det bare 11 år før skadene på den nye ”broen”, bygget i 1972, ble så store at den ikke var brukbar lengre. Den gamle ”broen” hadde en konstruktiv gunstig utforming med buer og rustfri armering.

Feil under utførelse og bygging ofte er hovedårsaken til at det oppstår skader på konstruksjoner allerede i ung alder. Tilsvarende er utilstrekkelig vedlikehold ofte årsak til en akselererende skadeutvikling.

Armert betong er det viktigste konstruksjonsmaterialet som benyttes i våre byggverk. Den dominerende skademekanismen i konstruksjonene er armeringskorrosjon. Dette innlegget er konsentrert om kloridinitiert armeringskorrosjon.

Andre nedbrytningsmekanismer som frost, alkali-silika reaksjon, kjemiske angrep, nedbrytning pga sulfater etc. blir ikke behandlet.

## Milepeler.

De siste tiårs bestandighetsforskning har vært konsentrert om konstruksjoner i armert betong og har omfattet

- Innsamling og systematisering av bestandighetsdata
- Evaluering av resultater fra eksisterende konstruksjoner, feltstasjoner, utførte reparasjoner etc.
- Utvikling av modeller for levetids beregninger.

Underveis i forskningsarbeidet fikk vi noen ”a - ha” opplevelser - jeg skal nevne to knyttet til

- opptredende armeringsoverdekning
- miljøbelastning - lo/le effekter.

### *Armeringsoverdekning.*

Det ble tidlig klart at manglende eller for liten armeringsoverdekning var en vesentlig årsak til at man på noen av kystbroene kunne registrere korrosjonsskader allerede etter få år.

Den fulle betydningen av dette gikk ikke opp for oss før Reidar Kompen sammenstilte et sett måledata samlet inn i forbindelse med tilstandskontrollen på Gimsøystraumen bru.

Viser et eksempel hvor armeringsoverdekningen, basert på 3612 enkeltmålinger, er fremstilt som et histogram med tilhørende normalfordeling. Fremstillingsmåten ga et kvalitativt bilde av opptredende armeringsoverdekning som mest av alt illustrerte betydningen av korrekt utført armeringsarbeid. I tillegg dannet den grunnlaget for de statistiske fordelingsfunksjonene som senere ble brukt i levetidsmodellene.

Midlere armeringsoverdekning ble fastlagt til 29,0 mm med standardavvik på 5,2 mm. Minimum armeringsoverdekning var i produksjonsunderlaget satt til 30 mm. Kravet til betongfasthet i overbygningen var fasthetskklasse C 40.

De registrerte verdiene viste at armeringsarbeidet var utført med stor grad av nøyaktighet, standardavvik 5,2 mm. Armeringen var imidlertid plassert feil og ligger, sammenholdt med produksjonsunderlaget, minst 10 mm for langt ute.

Det ble raskt tatt grep for å sikre tilstrekkelig armeringsoverdekning, nevner i den forbindelsen.

- ”Sikring av overdekning for armering”  
Intern rapport 1731 fra Veglaboratoriet, september 1994
- Nye krav til armeringsoverdekning gitt i  
”Prosjekteringsregler for bruer”  
Håndbok 185, mars 1996

### *Miljølaster*

Fastlegging av miljøpåkjenningene og betongkonstruksjonens respons på disse har vært en viktig del av forskningsarbeidet. Det viste seg tidlig at de ytre kloridpåkjenningene varierte mye avhengig av hvor og hvordan konstruksjonen var plassert lokalt. Kloridlasten på lo og le side, den såkalte lo/le – effekten, fastlagt i et snitt av overbygningen på Gimsøystraumen bru, 24 meter vest for akse 2 med høyde 11,9 m over middelvannsstand, illustrerer variasjonene.

Som det fremgår av eksempelet er kloridpåkjenningene i snittet 7-8 ganger større på le-siden enn på lo-siden. Årsaken til denne forskjellen mellom de to sidene er at regn og vind i hovedretningen fra sør vasker bort klorider på konstruksjonens lo-side. På le-siden av konstruksjonen oppstår turbulens som fører til at salt fra sjørøkk avleires på betongflatene.

Med økende høyde over havflaten reduseres kloridpåkjenningene. Dette henger sammen med at mengden salt som transporteres gjennom luften varierer med vindhastigheten og at de lavest liggende delene av konstruksjonen derved oftere påkjennes av sjøsprøyt.

De viste kloridlastene er beregnet påkjenning på betongoverflaten fastlagt ved regresjonsanalyse av kloridmålinger basert, på Fick's 2. lov. Det interessante her er at betongmaterialets diffusjonskoeffisient tilnærmet er av samme størrelsesorden for alle tre sidene.

### **Inngangsparametere i levetidsprosjektering**

I denne delen behandles innsamling og kvantifisering av de bestandighetsparametere som benyttes som inngangsverdier i de matematiske levetidsmodellene. Rene sannsynlighets-teoretiske analyser blir for kompliserte og fører vanligvis ikke frem fordi man under prosjekteringsarbeidet mangler et sett av dimensjonerende verdier fastlagt med tilstrekkelig pålitelighet. For å møte kravet til pålitelighet må det legges inn så stor sikkerhet at beregnet levetid blir for konservativ.

Hvis man imidlertid benytter de probabilistiske modellene til kalibrering av dimensjonerende verdier hvor inngangsverdiene er statistiske fordelingsfunksjoner fastlagt for betong av ulik alder kan levetiden beregnes relativt nøyaktig. Prognosene for levetid blir mer treffsikre og beregningsresultatene kan verifisere krav i standarder og regelverk.

Kloridpåkjenningene kan formuleres matematisk ved Fick's 2. lov, hvor man med utgangspunkt i en kloridkonsentrasjon på betongoverflaten  $C_s$  og en betong med gitt diffusjonskoeffisient  $D_e$ , kan beskrive kloridinntrengningen i betongen.

Vanligvis fastlegges  $C_s$  og  $D_e$  ved regresjonsanalyser basert på kloridmålinger utført i snitt med ulik avstand fra betongoverflaten. Kloridmålingene er virkelige målte verdier som viser kloridinntrengningen i ulike deler av profilet. Verdiene, særlig maksimalverdien  $C_{max}$ , er viktig fordi den er en målt verdi som ikke er matematisk behandlet og som derved er en kontroll av kloridinntrengningen.

Terskelverdien  $C_t$ , angir kritisk kloridinnhold, dvs det kloridinnhold i betongen hvor armeringskorrosjon kan starte. Avstanden  $X_t$  er avstanden fra betongoverflaten til det snittet hvor kritisk kloridinnhold skjærer kloridprofilen.

Som inngangsparametere i levetidsberegningene går:

- |   |            |
|---|------------|
| • Kloridlast – overflatekonsentrasjon   | $C_s$      |
| • Betongkvalitet – diffusjonskoeffisient<br>(inkludert forholdet mellom v/c-tall og bulkdifusjonskoeffisient) | $D_e$      |
| • Kritisk kloridnivå  | $C_{crit}$ |
| • Armeringsoverdekning  | $X_{dim}$  |
| • Tidsparameter   | $\alpha$   |
| • Initiell kloridkonsentrasjon  | $C_{init}$ |
| • Modellusikkerhet  |            |

### ***Kloridlast***

Kloridpåkjenningen på betongoverflaten varierer med:

- Høyde over sjø
- Størrelse og form på konstruksjonsdelen
- Lo/le-effekt
- Vind/sjørøkk
- Nedbør, regn og snø - sol og skygge

Kloridkonsentrasjonen på betongoverflaten er et uttrykk for størrelsen på den kloridlasten som virker på konstruksjonen. Verdien kan fastlegges ved kloridmålinger på eksisterende konstruksjoner.

Kloridinnhold bestemt i 1200 punkt med ulik høyde over havflaten viser at maksimal målt kloridinnhold i profilet varierer fra 0,9 %  $Cl^-$  av betongvekt, 0-3 meter over havflaten, til 0,2 % når høyden over havflaten overstiger 25 meter. Det skal påpekes at kloridmålingene omfatter målinger både på lo- og på le-side og at de derfor vil variere.

Ved beregning av konstruksjoners levetid basert på erfaringstall må man legge til grunn omhyllingskurven hvilket i mange tilfeller vil være en konservativ antagelse. Det kan imidlertid i denne sammenhengen være på sin plass å peke på parallellen til styrkemessig prosjektering hvor det er maksimumlastene som legges til grunn for beregningene.

En annen tilnærming er å behandle mengden av kloridregistreringer, vist foran, statistisk. Midlere beregnet kloridkonsentrasjon på betongoverflaten for konstruksjonsdeler i området 0-2 meter over havoverflaten er 0,51 % med spredning 0,23 %. Tilsvarende verdier for konstruksjonsdeler som ligger høyere enn 24 meter over havflaten er henholdsvis 0,17 % og 0,10 %

Under forutsetning at kloridpåkjenningene skal ligge innenfor 90 % av dimensjonerende kloridlast blir den karakteristiske verdi som benyttes i beregningene 0,81 %. Dette er i god overensstemmelse med dimensjonering basert på omhyllingskurve.

Størrelsen på kloridlastene er avhengig av størrelsen på det betongarealet som blir eksponert. De store betongarealene ved aksene fører følgelig til høye kloridlaste i disse områdene og er på den mest belastede siden er 5-6 ganger større enn for de øvrige deler av konstruksjonen.

Vind og sjørokk fører med seg store mengder salt langt inn over land og kan føre til store kloridpåkjenninger.

### **Betongkvalitet**

I levetidsberegningene inngår betongmaterialets kloriddiffusjonskoeffisient  $D$  som en materialegenskap. Diffusjonskoeffisienten er en tidsavhengig funksjon som øker med økende  $v/c$ -tall, samt varierer for ulike sementer og innholdet av silika  $\text{SiO}_2$ .

Sammenholder man "bulk-diffusjonskoeffisienten" med  $v/c$ -tallene ser man at det er en entydig sammenheng. Betong fremstilt med SR-sement,  $\text{C}_3\text{A}$  innhold 3,9 %, gir for  $v/c$ -tall 0,40 en diffusjonskoeffisient i størrelsesorden  $9\text{-}10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Tilsvarende gir en betong fremstilt med norsk sement CEM I 42,5,  $\text{C}_3\text{A}$  innhold 6,5 %, en diffusjonskoeffisient i størrelsesorden  $6\text{-}7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Når man i levetidsberegninger velger en betong definert ved fasthetsklasse, alternativt ved bestandighetsklasse er det nødvendig å ta høyde for at materialusikkerheten øker sammenlignet med tilstanden i en konstruksjon hvor vi kjenner betongen. For å kunne gjennomføre realistiske beregninger må de betongegenskaper som legges inn derfor så vidt mulig knyttes opp mot erfaringer og kjente statistiske fordelingsfunksjoner.

Undersøkelsene på Gimsøystraumen bru, utført ca. 11 år etter ferdigstillingen, representerer et slikt omfattende grunnlagsmateriale som klargjør viktige faktorer.

Diffusjonskoeffisienten  $D_e$  fastlagt ved regresjonsanalyse av utførte kloridmålinger varierer for le-siden av overbygningen på Gimsøystraumen bru mellom 0,2 og  $1,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , et tilsynelatende stort spenn. Gjennom en statistisk tilpassing får man frem en glatt kurve. Ulike statistiske fordelingsfunksjoner gir alle god tilpassing, best er Gumbel med korrelasjonskoeffisient  $R^2 = 0,9913$ .

Midlere diffusjonskoeffisient  $D_e$  ved alder 11 år er for betongen i overbygningen fastlagt til  $0,61 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  med standardavvik  $0,37 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Overbygningen var prosjektert med betong i fasthetsklasse C40. Byggeplasskontrollen viste midlere fasthet på 43,2 MPa med variasjon fra 36,5 til 54,0 MPa. Betongen tilfresstilte derved ikke kravet til C40.

Under tilstandskontrollen av Gimsøystraumen bru ble det for etterprøving boret ut kjerner fra innsiden av kassen gjennom veggen. Midlere fasthet på de utborete kjernene var 49,1 MPa varierende fra 40,0 til 54,4 MPa. Sementmengden var  $385 \text{ kg/m}^3$  med  $v/c$ -tall i området 0,34 til 0,48. Etterkontrollen viser at kravet til C40 er oppfylt.

Bulkdiffusjonskoeffisienten, fastlagt til  $7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , ble bestemt på den delen av de utborete kjernene som var uten kloridinntrengning

### ***Kritisk kloridnivå***

Inspeksjon av korrosjonstilstand kombinert med måling av kloridinnhold viser svært sammenfallende for undersøkelsene utført på Gimsøystaumen bru og på andre kystbru.

Undersøkelsene viser at det ikke oppstår korrosjon når kloridinnholdet ligger under 0,07% av betongvekt (0,4 % av sementvekt). I området 0,12 % av betongvekt, 0,7 % av cementvekt, se man begynnende korrosjon.

### **Modell for beregning av levetid**

En fullstendig sannsynlighetsteoretisk beregning er vanskelig å gjennomføre og komplisert å beskrive. Tar derfor utgangspunkt i en forenklet modell hvor

- kloridlasten defineres som en fastlagt verdi – for eksempel en karakteristisk verdi
- betongegenskapene, valgt ut fra v/c-tall og bindemiddel beskrives ved kloridprofiler
- terskelverdien eller kritisk kloridnivå, settes inn som en fast verdi

Avhengig av diffusjonskoeffisientens statistiske fordeling vil det etableres et sett av kloridprofiler som skjærer terskelverdien i ulik avstand fra betongoverflaten.

Skjæringspunktene vil så i sin tur representere en statistisk fordeling som er et uttrykk for miljølasten  $L$

Armeringsoverdekningen  $R$  representerer korrosjonsmotstanden.

Avstanden mellom  $X_L$  og  $X_R$  er et uttrykk for sannsynligheten for at armeringskorrosjon kan oppstå ved et gitt tidspunkt.

Viser eksempel på beregning av nødvendig armeringsoverdekning. Tar utgangspunkt i verdiene fra Gimsøystaumen:

- kloridlast 0,625 % av betongvekt, gjennomgått foran
- diffusjonskoeffisient  $0,61 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , standardavvik  $0,37 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Transformering til miljølast  $L$ : Skjæringspunktene mellom kloridprofiler og kritisk kloridnivå gir en normalfordelt miljølast med følgende verdier

$$\text{middelverdi } X_L = 34,1 \text{ mm og standardavvik } \sigma_L = 10,8 \text{ mm}$$

Forutsettes det 10 % sannsynlighet for at det vil oppstå armeringskorrosjon etter 11 "leveår" må armeringen være lagt inn midlere overdekning 50 mm. Det forutsettes da at armeringen er montert med standardavvik  $\sigma_R = 5,2 \text{ mm}$ .

Legger man inn midlere armeringsoverdekning 29,0 mm er det mer enn 50 % sannsynlighet for at det pågår armeringskorrosjon. Dette er i overensstemmelse med hva man har registrert.



## **Erfaringer og basis for Norsk Standard**

Basert på de matematiske modellene har man beregnet nødvendig armeringsoverdekning for betongkonstruksjoner eksponert for ulike miljøpåkjenninger, fremstilt av betong i ulike bestandighetsklasser og beregnet for kritisk kloridnivå 0,40 og 0,72 % Cl av sementvekt.

Beregningene danner grunnlaget for kravene gitt i Norsk standard.

## **Prosjektering av bestandige betongkonstruksjoner.**

I tillegg til beregninger basert på modellene beskrevet foran stilles det følgende krav ved prosjektering av bestandige konstruksjoner. Rådene kan sammenfattes i begrepet ”byggbarhet”

### ***Konstruktiv utforming***

Konstruksjoner skal

- bygges på en sikker og forsvarlig måte
- være tilpasset stedlige forhold
- ha enkle detaljer
- være inspeksjonsvennlig
- være lite ømfintlig for endringer

### ***Produksjonsforhold***

Utførelseskravene er knyttet opp mot

- Utforming av støpeskjøter
- Armeringsplassering NB! Toleranser
- Beskyttelse av utstøpt betong
- Etterarbeider

### ***Vedlikehold***

Metodevurdering

- Erfaringer og sannsynlig langtidsoppførsel
- Ømfintlighet – riktig utførelse
- Mulighet for senere tiltak
- Levetid til reparasjonene

I tillegg er det en del **ikke tekniske forhold** som kan påvirke bestandigheten. Nevner erfaringsoverføring/formidling av erfaring og kunnskap, byggherrens vilje til å oppnå kvalitet og påta seg ansvar, være langsiktig etc.





Statens vegvesen

## Betongbruer

Forvaltning, drift og vedlikehold  
Ombygging og forsterkning  
Utforming for bestandighet  
Fagkoordinator Bruforvaltning & Vedlikehold  
Knut A. Grefstad  
Bruseksjonen, Teknologiavdelingen

## Bruforvaltning

- Totalt antall bruer i vegnettet: Ca 16,600
  - Inkludert ca 6000 Fylkesvegbruer og 363 ferjekaier
  - I tillegg: et stort antall støttemurer
  - Gjennomsnittsalder: 34 år
- Gjennomsnittslengde: 25.1 m
  - Antall bruer med total lengde over 100 m: 780 bruer
- Total lengde: 420,000 m
- Nyverdi: 75 mrd kroner
- Årlig budsjett: Ca 300 millioner på riksvegbruer
  - 100 millioner til ferjekaier
  - 200 millioner til bruer
- Vedlikeholdsetterlep: 2.1 mrd NOK i 2002 for 10,600 Riksvegbruer



Statens vegvesen

## Bruforvaltning



- Bemanning
  - Vegdirektoratet (1 hovedsak Bruseksjonen, 7 inklusive reservebruberedskap, 1-2 frå øvrige seksjoner)
  - Regioner og distrikter 10 på ferjekaier og 35 på bruer
- Kompetanse
  - ??????????
- Regelverk
  - Håndbøker (Retningslinje for forvaltning, drift og vedlikehold av bruer, Inspeksjonshåndbok, Klassifisering og dispensasjoner, Prosesskoden, øvrig relevant regelverk)
- Verktøy
  - BRUTUS, Arkiv, annet IT-verktøy



## Bruforvaltning



Land	Vedl. 2005	Omregnings faktor	Vedl. 2005 (EUR)	Vedl. i % av nyverdi	Vedl EUR/m <sup>2</sup> bruareal	OECD-anbef 1 % av nyverdi
Danmark	217 mio DKK	0,1341	29,1 mio.	0,84	22,7	0.84
Finland	36 milj. EUR	-	38,5 mil.	0,88	11	0.82
Norge*	186 mil NOK	0.1235	23.0 mil.	0,34	7.9	0.34
Sverige	750 mil SEK	0.1086	81.5 mil.	1,41	20.5	1.42

Sammenligning vedlikehold Nordiske land 2005, Riksvegbruer  
\*: Ferjekaier er ikke tatt med.



## Bruforvaltning

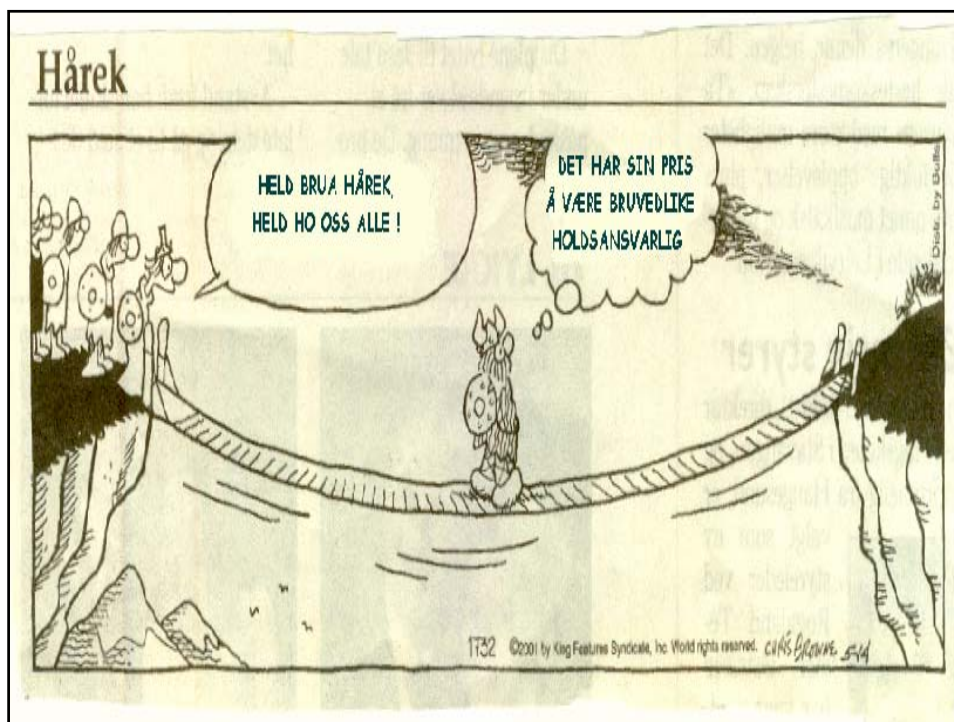


- Budsjet 2008
  - 280 millioner til vedlikehold, RV-bruer
  - Antatt fordeling:
    - Funksjonsavtaler 5 % (14 millioner)
    - Ferjekaier 30 % (84 millioner)
    - Inspeksjon 5 % (14 millioner)
    - Korrosjonsbeskyttelse, øvrig stål 15 % (42 millioner)
    - Bruutstyr 10 % (28 millioner)
    - Fuktisolering, slitelag 10 % (28 millioner)
    - Betong 20 % (56 millioner)
    - Øvrig 5 % (14 millioner)
  - 30 millioner investeringsmidler



## Bruforvaltning





## Bruinspeksjoner

- Inspeksjonstyper
  - Ferdigbefaring
  - Reklamasjonsbeskrivelse
  - Enkel inspeksjon
  - Hovedinspeksjon
  - Hovedinspeksjon av kabler
  - Hovedinspeksjon under vann
  - Spesialinspeksjon

## Bruinspeksjoner



- Mekanisk påvirkning
  - Belastning, flom, ras etc
- Fysisk påvirkning
  - Frost
  - Utvasking
- Kjemisk
  - AAR
  - Karbonatisering
  - Kloridinntrengning



## Vedlikeholdsstrategier



- Levetid:
  - Funksjon
    - Bæreevne
    - Geometri
    - Miljø
    - Estetikk
  - Tilstand
    - Teknisk mulig
    - Kostnader for vedlikehold



### B-2.6.3 Alternative strategier

Når kostnadsbehovet for tiltak, som fremkommer etter en hovedinspeksjon eller spesialinspeksjon, overskrider 20 % av bruas nyverdi eller kr. 2,0 mill. bør det utredes alternative strategier for tiltak.

Det skal utredes minst 2 forskjellige strategier avhengig av hva som er relevant. Disse strategiene skal i tillegg til vedlikeholdskostnader også omfatte trafikkant-kostnader og evt. andre samfunnskostnader dersom disse påvirker de enkelte strategiene.

Følgende strategier kan være aktuelle å vurdere:

1. Midlertidig tiltak: Mindre tiltak utføres i en periode for å utsette tidspunktet for et større tiltak eller utskifting av bruene.
2. Sterre tiltak: Omfattende tiltak foretas innenfor kort tid slik at bruens restlevetid forlenges vesentlig.
3. Nytt element/bru: Det utføres ingen tiltak, det eksisterende element/bru skiftes ut når dets levetid er brukt opp.

For hver strategi kan det være aktuelt å vurdere flere forskjellige tekniske løsninger.

For vedlikeholdskostnader som er større enn 50 % av bruas nyverdi skal strategi 3 vurderes. Elementer vurderes spesielt.

Det skal beregnes nåverdier for de valgte strategiene, det vises til Statens vegvesen håndbok 140: «Konskvensanalyser». Disse skal danne grunnlag for valg av optimal strategi. Faktorer som normalt ikke inngår i kostnadsberegningene skal også tas med før endelig valg av strategi foretas.

Slike faktorer kan være:

- Bruenes alder, restlevetid
- Bæreevne
- Brubredde/vegkurvatur
- Frihøyde
- Trafikksikkerhet
- Framkommelighet
- Framtidig bruk
- Estetikk og miljø
- Museal verdi



Statens vegvesen



## Kloridutsatte kystbruer

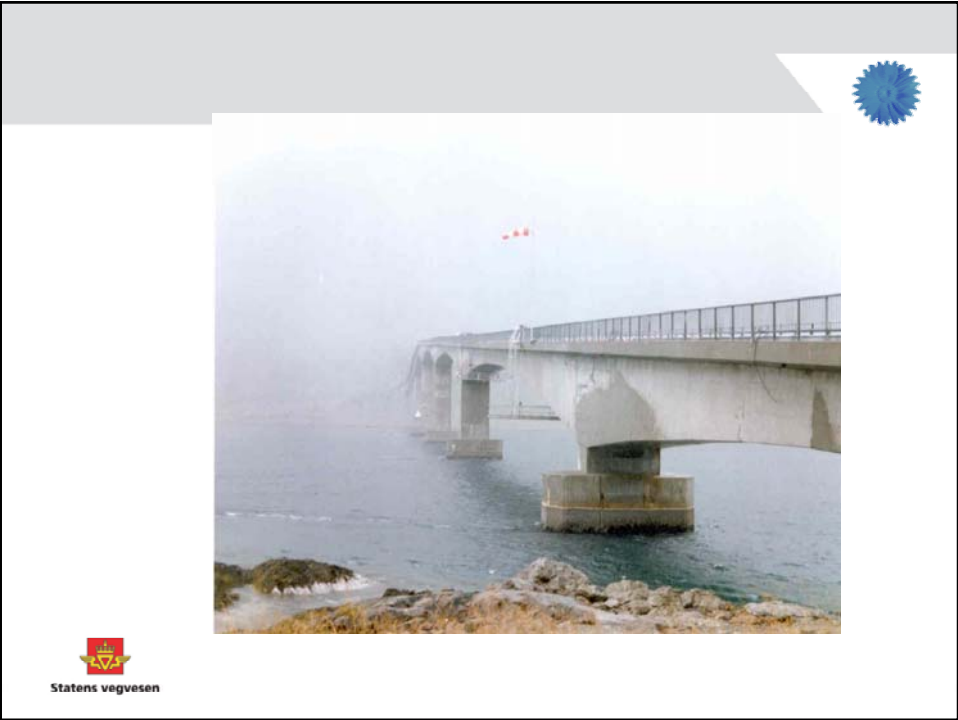
- **1989: Engeløybrua, Sortlandsbrua**
- **1991: Kartlegging av omfanget**
  - **Betongbruer med total lengde over 30 meter**
  - **Hengebruer med betongtårn**
  - **MU: Meget utsatt – Ytre fjord/kyststrøk**
  - **NU: Noe utsatt – Indre fjordstrøk.**
- **1993: Revisjon av registrerte bruer**
- **Totalt 277 bruer, 143 stk MU, 134 NU**
- **68 % av MU-bruer, 43 % av NU-bruer inspisert**



Statens vegvesen







## Strategi 1993



### Nye fremtidige bruer:

- Forbedre bestandigheten
- Øke kompetansen

### Eksisterende bruer:

- Få oversikt over skadeomfanget
- Trafikksikkerhet og bæreevne skal være tilfredsstillende
- Forebyggende vedlikehold
- Pilotprosjekt med ulike vedlikeholdsmetoder
- Øke kompetansen



Statens vegvesen

## Status eksisterende bruer



- Kun to større bruer er skiftet ut på grunn av kloridinitierte skader
- Forebyggende vedlikehold: Ulike vedlikeholdsmetoder er benyttet med ulik suksess
- Stor forskjell på vedlikehold av over- og underbygninger
- Konstruktive tiltak er et godt alternativ
- Katodisk beskyttelse er ikke problemfritt
- Det har vært en enorm utvikling i teknologi
- Kostnader for utførelse har gått ned



Statens vegvesen

## Forebyggende vedlikehold



- Rutinemessig rengjøring/opprensning (Funksjonsavtaler)
- Vannavrenning
- Fuktisolering
- Lokale skader
- Manglende overdekning
  - Kloridinntrengning
  - Karbonatisering



Statens vegvesen

## Nye utfordringer



- Brudekker, tinesalt
- "Eldre bruer"



Statens vegvesen

## Forebyggende vedlikehold



## Forebyggende vedlikehold



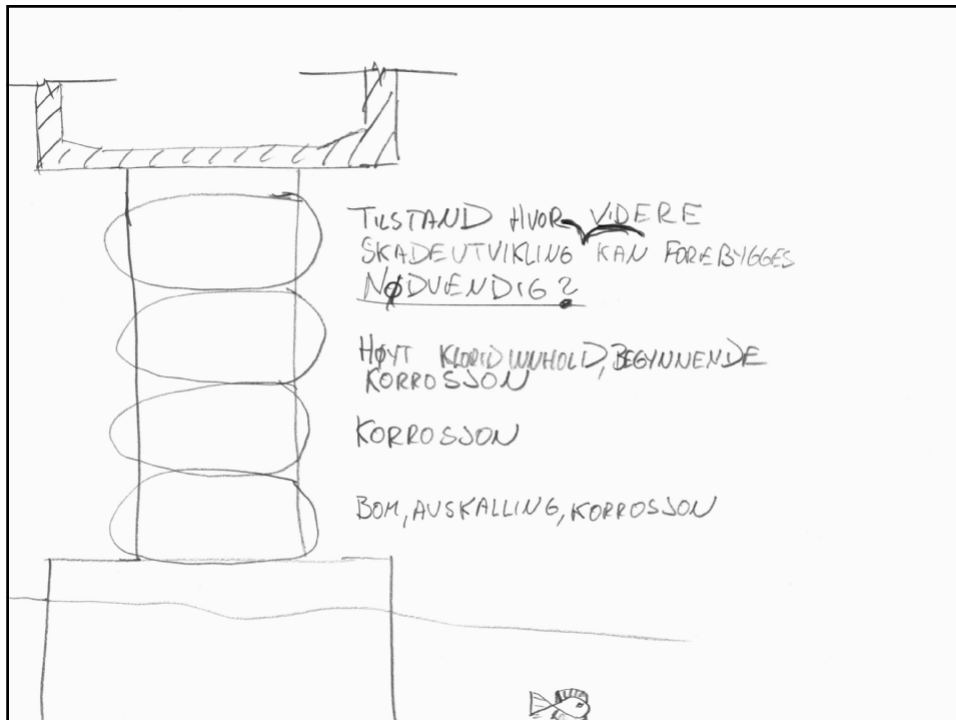
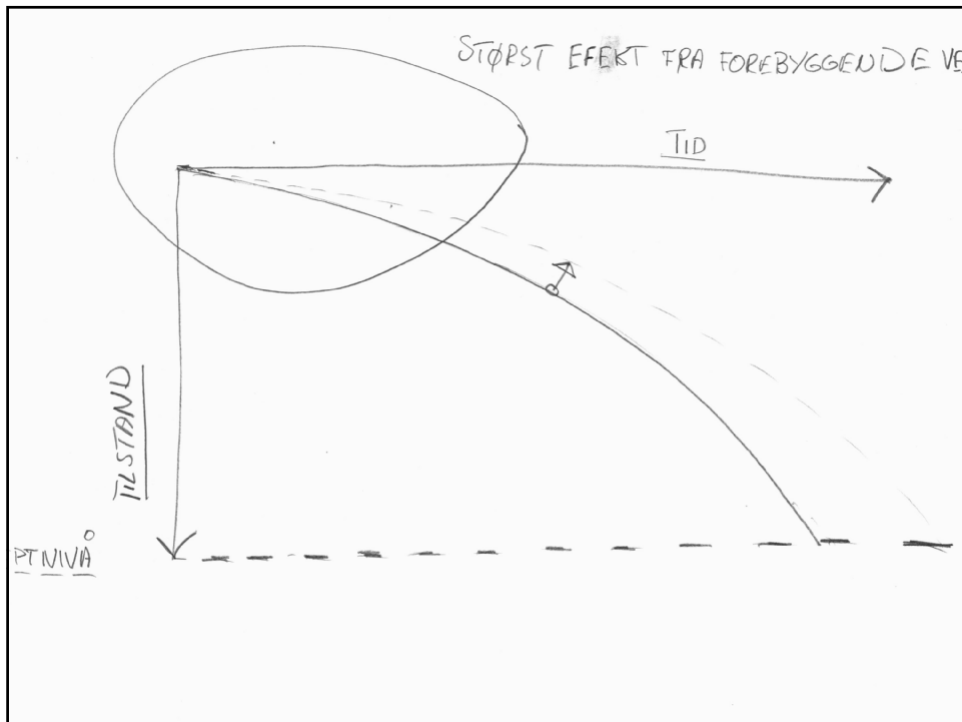
- Forbedre vannavrenning, vannavløp og fugekonstruksjoner
- Overflatebehandling og reparasjon av lokale skader
- Fuktisolering, slitelag



## Forebyggende vedlikehold



Antal broer med	DK	S	N	SF	Totalt
Monolitisk betonslidlag (nyanlæg)	≈ 20		≈ 1.690	≈ 280	
Påstøbt betonslidlag		≈ 490	≈ 300		≈ 2.780



## Forebyggende vedlikehold



- Dilemma med å forebygge:
  - Når, hva og hvor
- Inspeksjoner initierer
- Utføres på nye(re) bruer
- Ved bruksendringer
- Alt som kan forhindre senere omfattende tiltak som vil påvirke trafikkavviklingen
- Overbygninger



Statens vegvesen

## Vedlikehold/ombygging/forsterkning /utskifting



Statens vegvesen



  
Statens vegvesen

## Mekanisk reparasjon

- Best egnet ved lokale skader
- Ved flateskader kan krav til fjerning av betong føre til at metoden blir uøkonomisk
- Ved flateskader kan krav til fjerning av betong føre til at konstruksjonen skades mer enn den repareres
- Vanneisling og tørrsprøyting foretrekkes

  
Statens vegvesen



Ulla



Statens vegvesen



Statens vegvesen



Statens vegvesen



Statens vegvesen

## Realkalisering



- Tre prosjekt i regi av SVV
  - Rekkverket på Strømsbrua, Stavanger
  - Sveindal bru
  - Blakstad bru



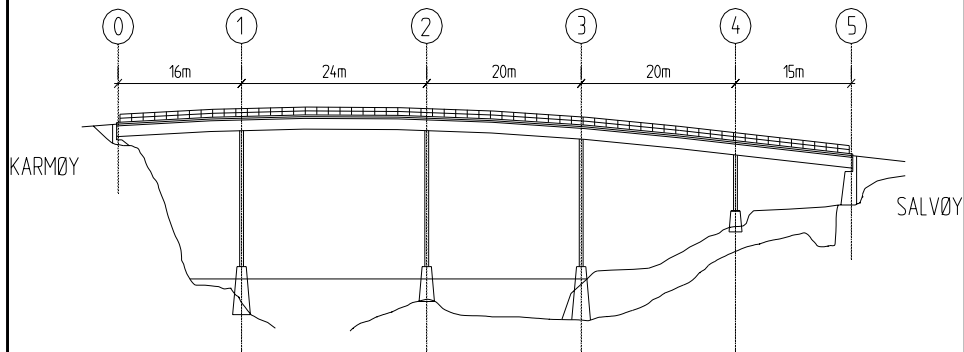
## Kloriduttrekk



- Brukt i tre prosjekter
- Engeløy lavbru 1990 mislykket
- Salvøy bru reduksjon i kloridinnhold **50 - 70 %**.
- Karmsund bru
- Må overflatebehandle etterpå
- Uegnet med store skader i form av avskallinger og armeringskorrosjon
- Kan være egnet med høyt kloridinnhold i overdekningen og lite skader pga korrosjon



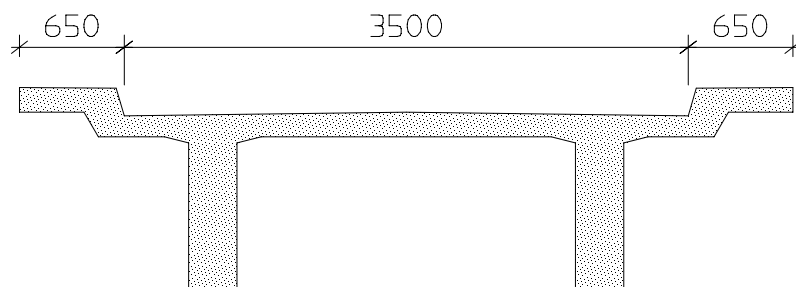
## Salvøy bru - Oppriss



SALVØY BRU  
OPPRISS FRA NORD



## Salvøy bru - tverrsnitt



TVERRSNITT

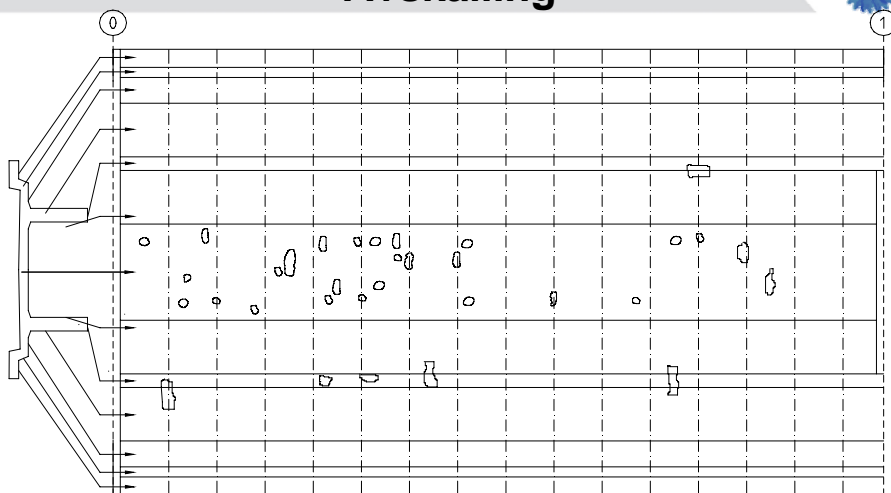


# Salvøy bru



  
Statens vegvesen

# Resultater - Inspeksjon 1993 Avskalling



  
Statens vegvesen

## Etterkontroll og vurdering 2004



- Visuell inspeksjon (hovedinspeksjon) av hele brua over vann
- Materialundersøkelser i prøvefelter i akse 0-1 som i 1994.
  - Kloridprofiler fra prøvefelt 3, 4, 5 og 6 i avstand 1, 2 og 3, totalt 12 profiler
  - EKP-målinger
  - Opphugninger for korrosjonsbedømming.
  - Avlesing av referanseelektroder
  - Måling av tykkelse på oksidfilm
  - PH/karbonatiseringsmålinger

 Statens vegvesen

## Etterkontroll og vurdering 2004



- Visuell inspeksjon
- Punktvis rustutslag gjennom overflatebehandlingen fra bindetråd eller armeringsstoler i stål.
- Vertikale riss med kalkutfelling i bjelke i felt i akse 0-1 og 3-4.
- Rustutslag gjennom overflatebehandlingen uk av bjelker fra akse 0 til 5.
- 5 stk avskallinger i uk dekke mellom bjelker fra akse 0-1 med korrodert armering
- 5 stk begynnende avskallinger.
- 2 stk avskallinger på høyre vinge i akse 0-1.
- 2 stk avskallinger i underkant av dekke i akse 1-2.
- 1 stk avskalling i uk dekke i akse 3 – 1,5 m

 Statens vegvesen

## Etterkontroll og vurdering 2004



Statens vegvesen

## Etterkontroll og vurdering 2004



Statens vegvesen



## Etterkontroll og vurdering 2004



  
Statens vegvesen

## Etterkontroll og vurdering 2004



### Sammenligning Kloridmålinger 1994-2003

Profiler	Lokalisering	0-20 mm % endring	20-40 mm % endring	40-60 mm % endring
3.1	Prøvefelt 3	-15 %	-1 %	-46 %
3.2		+12 %	-33 %	+ 2 %
3.3		+ 4 %	+18 %	+ 7 %
4.1	Prøvefelt 4	- 1 %	+42 %	+45 %
4.2		+50 %	+43 %	+42 %
4.3		+54 %	+35 %	-56 %
5.1	Prøvefelt 5	-33 %	-38 %	- 7 %
5.2		-22 %	+ 8 %	+77 %
5.3		-26 %	- 5 %	-3 %
6.1	Prøvefelt 6	-57 %	-55 %	-13 %
6.2		-42 %	- 39 %	-59 %
6.3		+81 %	+113 %	-39 %

  
Statens vegvesen



## Etterkontroll og vurdering 2004 Årsaker/konklusjoner



- Gjenstår å se om mulig tykkere oksydsjikt gir en bedre korrosjonsbeskyttelse av armering
- Lite aktuelt å gjennomføre kloriduttrekk på nye kystbruer på det nåværende tidspunkt
- Katodisk beskyttelse og konstruktive tiltak er metoder som kan brukes på kystbruer med kloridinntrengning over større områder og armeringskorrosjon



Statens vegvesen

## Katodisk beskyttelse



- Offeranoder, påtrykt strøm under vann
- Titannett i sprøytebetong
- Titannett innstøpt i kapper
- Innborede anoder
- Elektrisk ledende belegg



Statens vegvesen



## Siljanvegen bru, Skien



## Siljanvegen bru, Skien

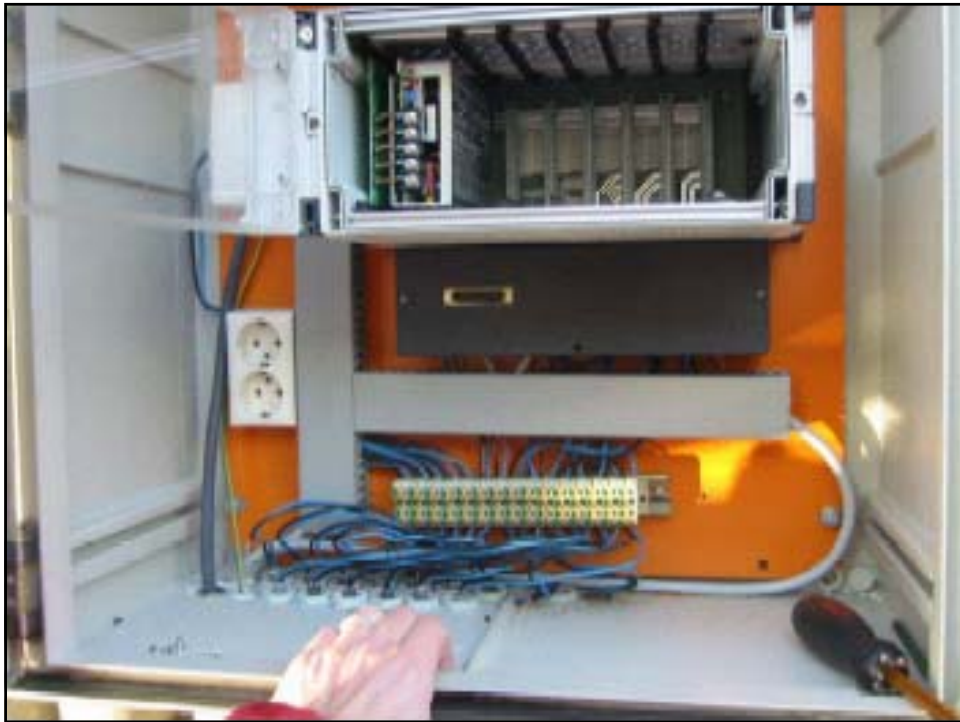


## Siljanvegen bru, Skien



- Kloridinntrengning og armeringskorrosjon
- Utbedret med KB ca 1985
- Raychemsystem
- Enkel oppfølging på stedet
- T/L-enhet slått ut av tordenvær ca 1986 ?
- Kontrollskjema i landkar signert jevnlig i ca 1.5 år
- Sannsynligvis ute av drift siden da.....











## Erfaring - KB-anlegg, Statens vegvesen Konklusjoner, Risøy bru



Ut fra den visuelle inspeksjonen, EKP-målinger og kontrollmålinger i utvalgte fordelingsbokser er det estimert at ca. 50 % av anodene er ute av drift pga. kabelbrudd.

For langbærerene mellom akse 10 og 19 har anlegget vært ute av drift siden våren 2000. Kretskortene ble da demontert for vedlikehold, men er senere ikke blitt remontert.

For sidespenet mellom akse 24 og 30 på Risøysiden går det nå minimalt med strøm. Dette skyldes feil på styringsenheten og kabelbrudd.

Det har i perioden mellom 1992 og 2000 vært stort omfang av driftsproblemer knyttet til strømforsynings- og styringsenheten.

Selv om KB-anlegget er ute av drift på store deler av brua er det kun registrert noen få områder med opprissing og enkelte utfelling av korrosjonsprodukter som følge av armeringskorrosjon på flater hvor det er montert KB-anlegg.

Statens vegvesen

## Erfaring - KB-anlegg, Statens vegvesen Konklusjoner, Risøy bru



I de få områdene hvor anodene fortsatt fungerer, oppnås det tilfredsstillende depolariseringsverdier.

I områdene som har vært ute av drift i 3 år, viser EKP-målingene at korrosjonstilstanden i hovedsak ikke er oppe på det nivå som ble registrert før KB-anlegget ble installert i 1991. På enkelte flater viser imidlertid EKP-målingene relativt høy sannsynlighet for at det er pågående korrosjonsaktivitet.

Det er store korrosjonsskader på dekkskinner og festebolter for kabelføring. Disse er utført i rustfritt stål. Dette skyldes mest trolig lekkstrømkorrosjon pga. utsivende anodemasse.

I områdene hvor det ikke ble montert katodisk beskyttelse er langbærer sør mellom akse 26 og 27 fulgt opp spesielt med EKP-målinger i driftsperioden for KB-anlegget. Langbæreren har nå potensialverdier som viser langt mer aktiv korrosjon enn i 1991. En god del korrosjonsskader har også oppstått i perioden.



Statens vegvesen

## Status - KB-anlegg, Statens vegvesen

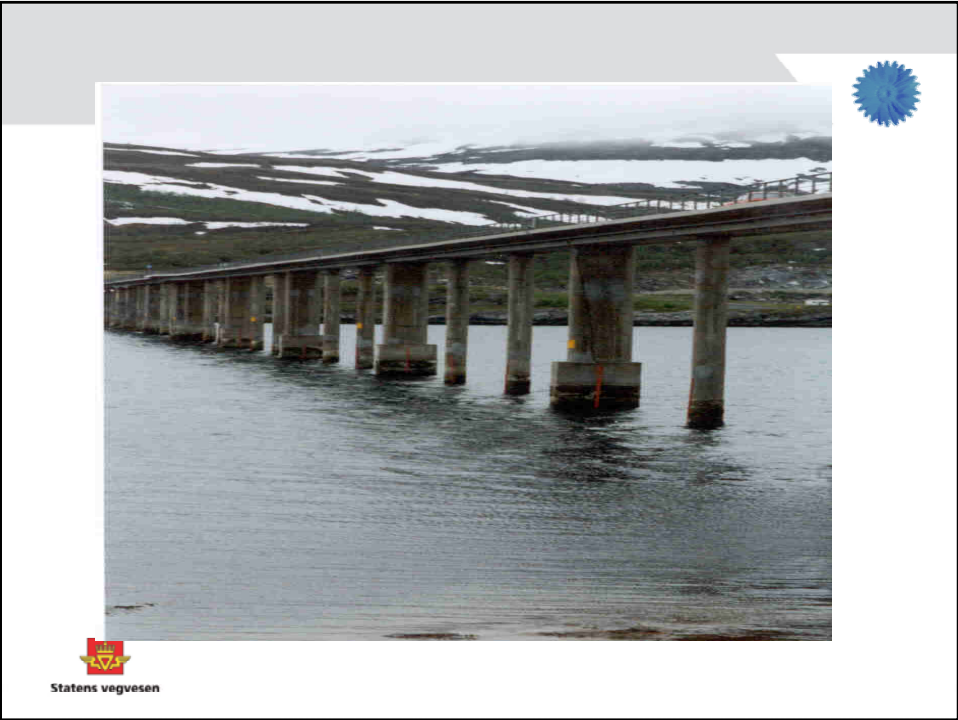


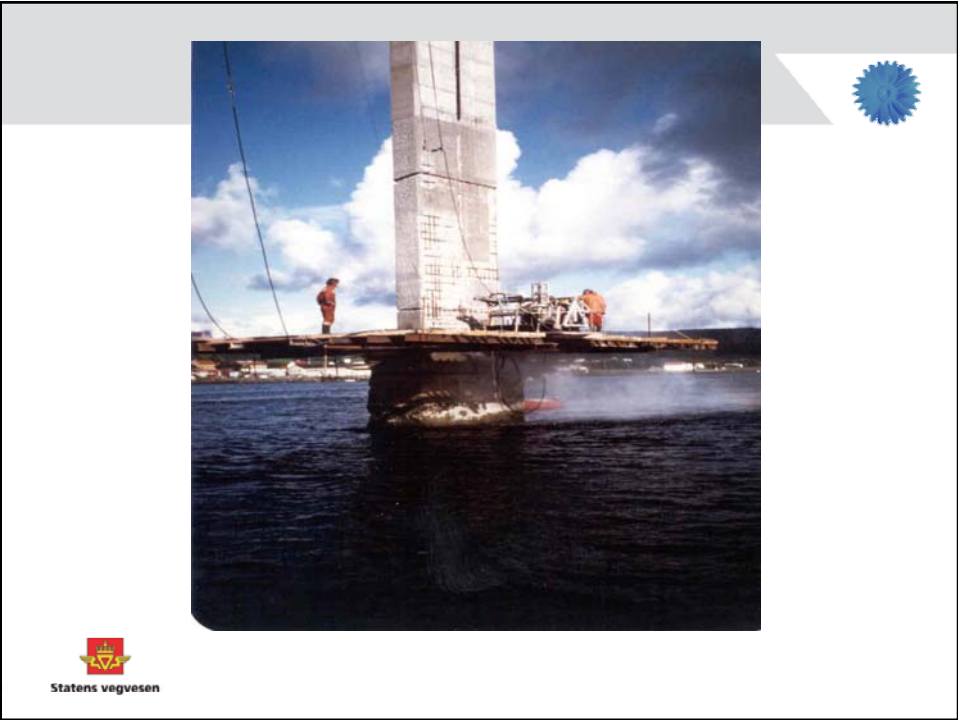
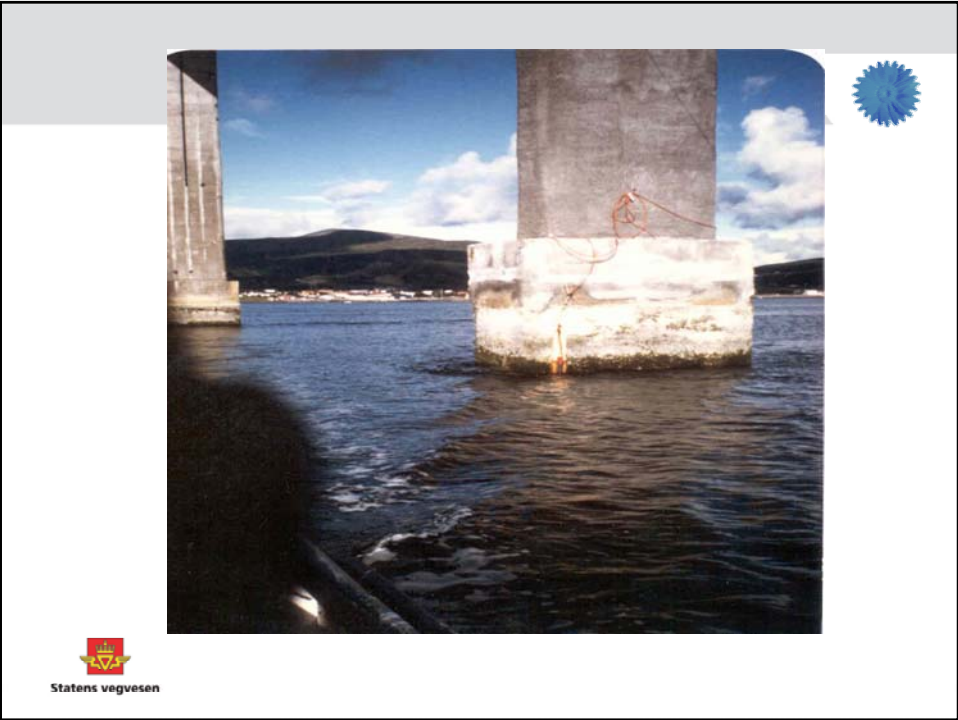
- (Omfatter kun anlegg over vann)
  - Raychem
  - Titannett
  - Innborede punktanoder
  - Titanbaserte båndanoder
  - Elektrisk ledende belegg
  - Carbocath



Statens vegvesen









  
Statens vegvesen



  
Statens vegvesen

## Erfaring – KB-anlegg, Statens vegvesen



- Heftsvikt
- Samspill mellom materialer

Utfordring: En kjede av viktige arbeidsoperasjoner som alle må bli vellykket.....



## Erfaring - KB-anlegg, Statens vegvesen



- Driftsproblemer
  - Elektronikk
    - Dårlig kvalitet på materialer og arbeider (både hos byggherre, konsulent og entreprenør)
    - Lynnedslag
    - Hærverk
  - Dokumentasjon
    - For dårlig dokumentasjon
  - Organisering
    - Omorganisering
    - Nøkkelpersoner får andre arbeidsoppgaver eller slutter



## Fremtiden - KB-anlegg, Statens vegvesen



- Kompetanse i alle ledd (byggherre, konsulent, entreprenør)
- Robuste løsninger, betale for kvalitet
- Fokus på dokumentasjon
- Entreprenør står for drift og vedlikehold 5-10 år etter ferdigstillelse
- Web-basert drift og dokumentasjon
- Mulighet til uavhengig kontroll av driften
- Mulighet til å kjøpe drift og vedlikehold



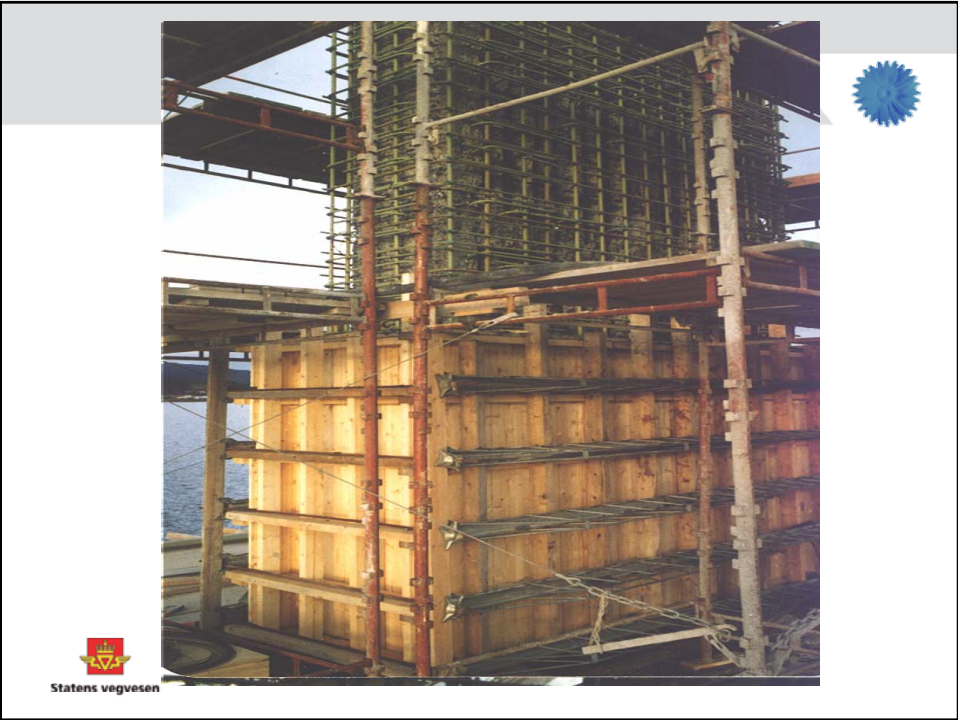
## Konstruktive tiltak



- Kappestøper
- Utskifting av skadde elementer
- Ombygging
  - Breddeutvidelse
  - Påhengte gangbaner
  - Kjørebane/GS-Bane
- Forsterkning







## Vedlikehold, Hadsel bru



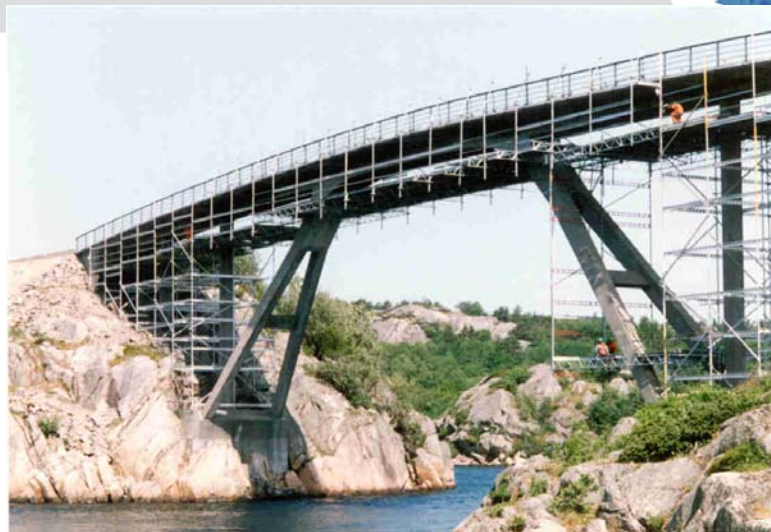
  
Statens vegvesen

## Vedlikehold, Hadsel



  
Statens vegvesen

## Vedlikehold, Hadsel





## Skjernøy bru



## Skjernøy bru



## Forsterkning Puttesund Bru



## Forsterkning Puttesund bru



## Frøystøl bru



## Vedlikeholdsvennlige løsninger



- Drifts- og vedlikeholdskommentarer:
- FDV – Dokumentasjon (Eorvaltning Drift Vedlikehold)
- Sikkerhet for brukere
- Estetisk tiltalende over tid med minimalt vedlikehold
- Legge til rette for fremtidig vedlikehold
- Fundamentering
- Utforming
- Materialer og detaljutforming (Både bruløsning og detaljer)



## Målsetting for D&V-kommentarer



- Skal prioriteres før alt annet for at:
  - Det ikke skal utføres prosjektering som er bortkastet
  - Det skal være tid til omprosjektering

Skal være dialog med byggherre og prosjekterende konsulent

Kvalitet og forutsigbarhet.....



## FDV – Dokumentasjon - Oversiktstegning



- **Håndbok 185 pkt 4.5.2:**
- **Plan, oppriss, snitt**
- **Geometri og hoveddimensjoner**
- **Seilåpning**
- **Mark-, bunn- og fjellprofil**
- **Fundamenttyper**
- **Utstyr**
- **Lager, ledd og dillatasjoner**
- **Ønsker også:**
- **Brunavn og brunummer i tittelfelt**
- **Henvisning til prosjekteringsregler med tillegg**
- **Henvisning til lastforskrifter med tillegg**
- **Brukategori**
- **Frihøyder, avstand til sidehinder (søyler etc)**
- **Dimensjonerende slitelagsvekt**
- **Type fuktisolering**



## FDV – Dokumentasjon



- Egen lagertegning som oppdateres til "som bygd"
- Dokumentasjon utarbeides for hvert brunummer:
  - Ikke samme tegningen for flere bruer, lag da identiske tegninger for hver bru !
  - Ikke samme dokument for flere bruer !
- Oppsamling av endringer i byggeprosessen og utarbeidelse av "Som bygd" tegninger som sendes inn for arkivering. Alle Rv-bruer skal arkiveres i Vegdirektoratet.
- Innspill til fremtidig forvaltning av brua (Oppmåling, obs-punkter, vedlikeholdsplan)



Statens vegvesen

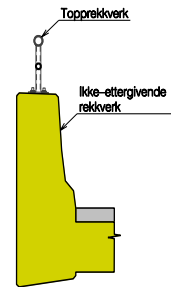
## Estetisk tiltalende over tid



## Legge til rette for fremtidig vedlikehold

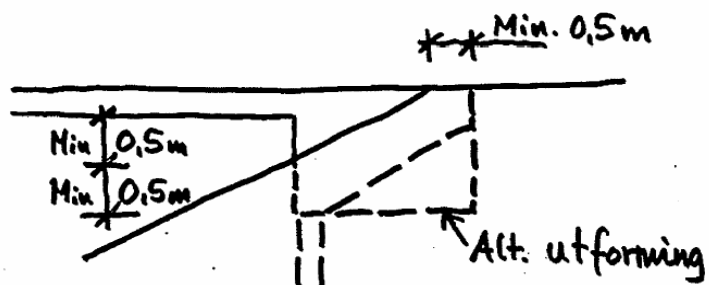


- I Norge har vi ingen kultur for vedlikehold, derfor bør det bygges vedlikeholdsfritt.....
- Alle bruelementer og deler av bruelementer som har mindre levetid enn 100 år må enkelt kunne skiftes ut eller vedlikeholdes.
- Tilkomst for inspeksjon og vedlikehold
- Alt vedlikehold i konflikt med trafikkavviklingen må holdes på et minimum.
  - Betong og overdekning
  - Fuktisolering/slitelag
  - Fugekonstruksjon
  - Rekkverk
  - Vannavløp



Statens vegvesen

## Fundamentering



Statens vegvesen

## Detaljforming og materialer



- Vis vann vekk
- Fuktisolering og membraner
- Føringskanter, kantdragere
- Armeringsoverdekning
- Betongkvalitet
- Bruavslutninger
- Bruutstyr
  - Vannavløp
  - Brulagre
  - Brurekkverk
  - Rissanvisende fuger, asfaltfuger
  - Fugekonstruksjoner



## Detaljforming og materialer



- Minimumsoverdekning på vertikale flater og under terrengnivå nær saltet vei skal være 60 mm !
- Støttemurer, landkar, tunnelportaler, søyler

Miljøklasse (iflg. NS 3473)	Eksponeringsforhold, produksjonsmetode, konstruksjonstyper osv.	Minimumsoverdekning
SA: Særlig aggressivt miljø	Konstruksjoner - utsatt for kjemiske angrep f.eks. ved kontakt med særlig aggressive kjemikalier - i slamskiver eller sterkt sulfidholdig grunnvann	Vurderes særskilt
MA: Meget aggressivt miljø	Undervannsstøp	100 mm
	I tidevannssonen (For slanke søyler kan overdekningen i tidevannssonen reduseres til 60 mm dersom søylene gis en ekstra beskyttelse i form av membraner, tette belegg eller ishud.)	100 mm
	Under tidevannssonen, utført som terrastøp	60 mm
	Over tidevannssonen til en høyde av minst 6 m i lite utsatte kyststrøk, og til minst 12 m i værharde kyststrøk. (Høyderegelen gjelder også inn over land der eksponeringsforholdene sieser det)	60 mm
	Søyler utsatt for saltsprut og saltsføyke fra hyppig og sterk trafikk	60 mm
NA: Nøe aggressivt miljø	Konstruksjonsdeler utsatt for saltbelastning og fuktighet hvor avvasking fra regnvær normalt ikke finner sted, og/eller der tilgjengeligheten for inspeksjon og vedlikehold er vanskelig (f.eks. i fugeområder og ved lagre)	60 mm
	Oversiden av bruktekket og kanter i friluft	40 mm
	Tørre og tilgjengelige hulrom, f.eks. kasseversnøtt, hule søyler eller landkar, med betongspesifikasjon SV-40 eller bedre	30 mm





## Fuktisolering og membraner



- Håndbok 145 vil sannsynligvis bli innarbeidet i ny prosesskode og prosjekteringsretningslinjene
- Husk på å dimensjonere for slitelagstykkelse ihht tabell i HB 145
- HB 145 gir føring for valg av fuktisolering
- Detaljering er dårlig i entreprisesammenheng uten tegninger eller SB
  - Tilslutning mot kantdragere/føringskanter
  - Tilslutning mot vannavløp
  - Tilslutning mot rekkverksstolper
  - Avslutning ved fugekonstruksjoner og i bruender



## Fuktisolering og membraner



- Membraner på konstruksjoner i fylling:
  - Høringsutgave til ny HB 163
  - Bentonitt er nei.....
  - Kontaktperson i Vegdirektoratet: Mona Lindstrøm
- Fuktisolering på brudekker:
  - Kontaktperson i Vegdirektoratet: Torbjørn Jørgensen





## Fugemasse....



## Kantbjelke eller ikke ?

- Vann, stein, snø og is må kunne slippes overkanten
- Takfall i tverretning, ved ensidig tverrfall blir det vannbasseng mot fuktisolering/slitelaget ved høyeste sidekant
- Rekkverksinnfestinger, avslutning av fuktisolering/slitelag i sidekant, utforming og armeringsoverdekning i brudekke i underkant ????

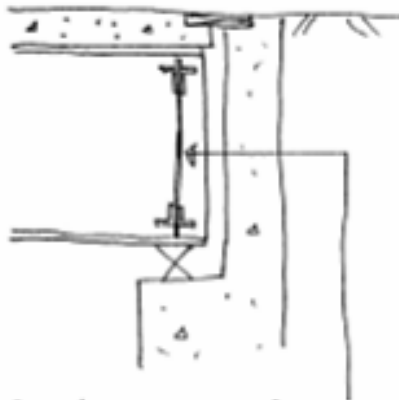
## Bruavslutninger



- Landkarløse bruer
- Avlastningsplate



Statens vegvesen



Er det mulig å  
overflatebehandle for eks  
tverknys med denne  
løsningen?



Statens vegvesen

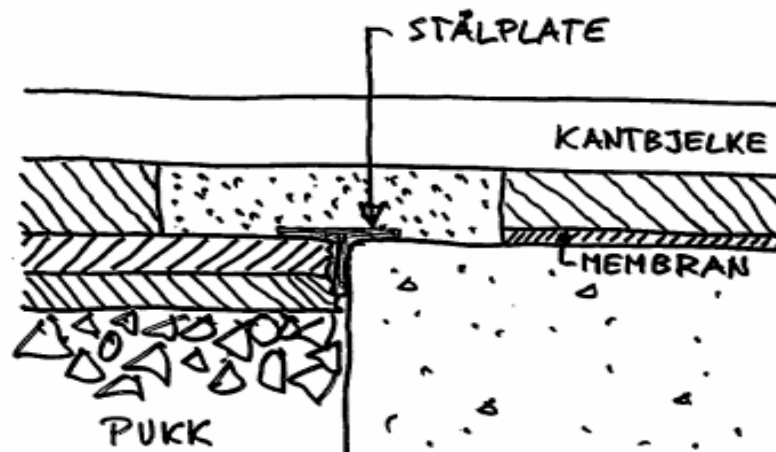
## Rissanvisende Fuge

- Brukes for å unngå nedbrytning av slitelaget i overgang mellom bru og tilstøtende veg

- Bevegelse tilnærmet 0



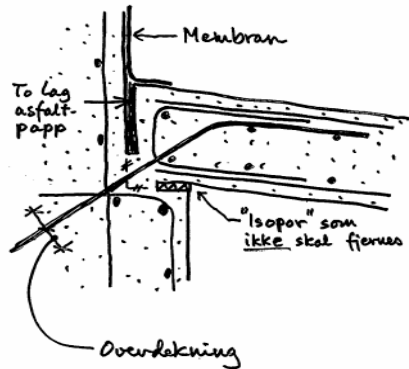
## Bruavslutninger



## Bruavslutninger



### OPPLEGG - OVERGANGSPÅTE



- "Skjøtarmoring":
- Vanlig armering w/krympeplac
  - Varmforsinket — " —
  - Rustfritt stål

Meest  
bestandig



Statens vegvesen

## Vannavløp



- Rustfri kvalitet
- Tilslutning med fuktisolering
- Utstikk, kaste vannet ut
- Oppstrøms fugekonstruksjoner

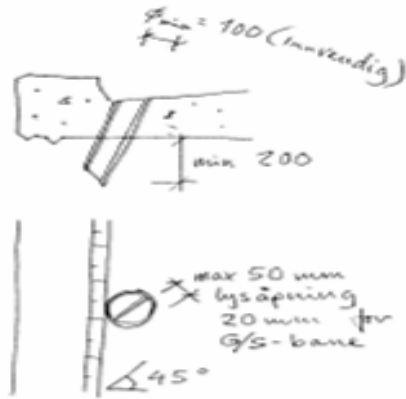


Statens vegvesen

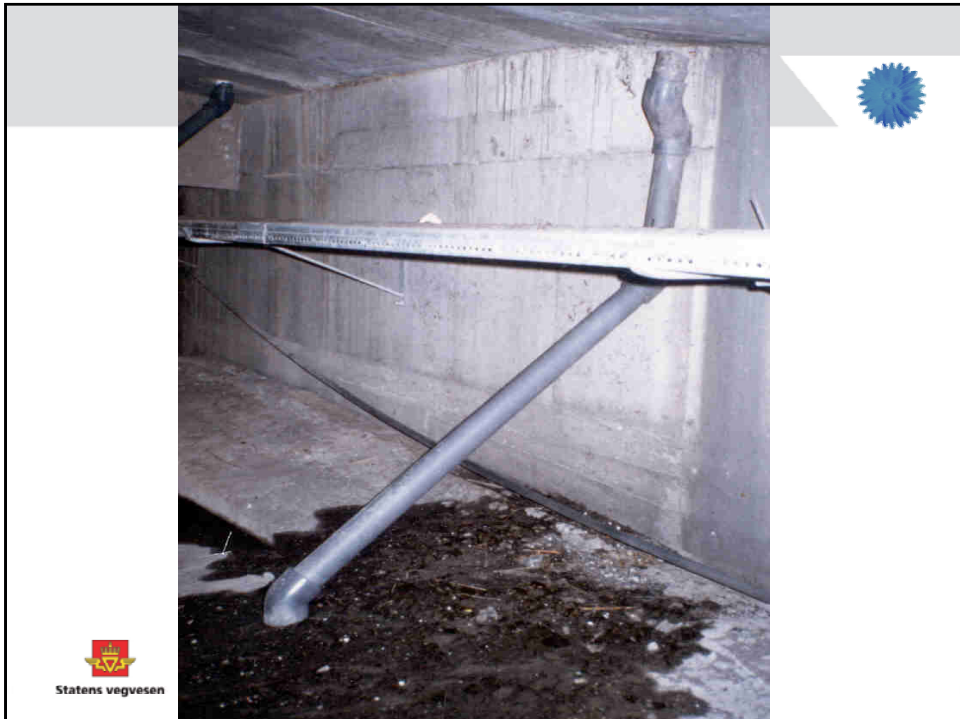
# Vannavløp



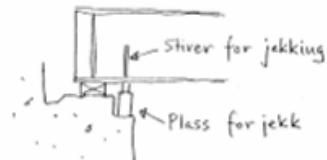
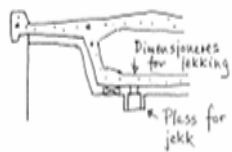
KOMBIKONSTR







## Brulagre

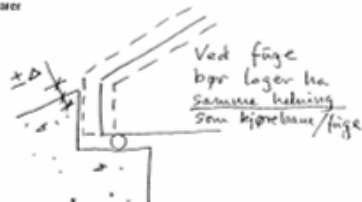






## Lagre/fuger

Kommentarer



Horisontalt bevegelig lager gir "vertikalbevegelse" i fuge med brn i stigning  
 Fare for brudeplog.

De fleste fugene tåler bare noen få mm sprang





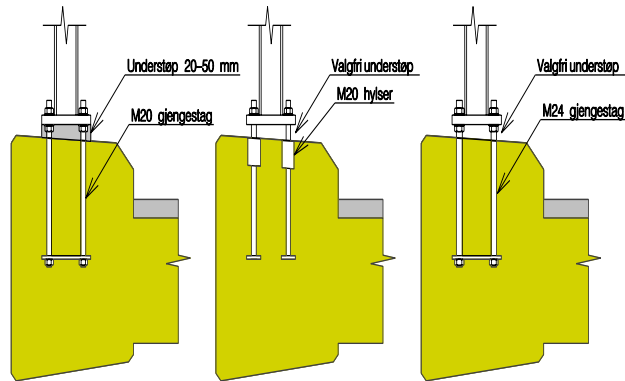


## Brurekkverk



- Mest mulig bruk av typegodkjente rekkverk
- Innfesting med innstøpte boltegrupper
- Dillatasjonsfuger, ikke stolper i konflikt med brufuge og mulighet for dillatasjon i rekkverket
- Rekkverksavslutninger, nedføringer og overgang til vegrekkverk

## Rekkverk



## Utforming av fugekonstruksjoner



- Så få fuger som mulig
- Så kort fuge som mulig
- El-kabler, vann- og avløpsledninger må ha dillatasjonsmuligheter og ligge godt unna fugeseng
- Pass på opplagring. Horisontale lagre og bruer med fall i lengderetning kan gi problemer.
- Skjeve fuger bli problem
- Fugekonstruksjon midt mellom rekkverksstolper
- Vannavløp nær fugekonstruksjon, oppstrøms hvis kantdrager  
Detaljer av fugeavslutning hvis kantdrager eller betongrekkverk.
- Fugeterskel av støpeasfalt eller kun asfalt !



## Utforming av fugekonstruksjoner



- Unngå skjevhet på ca 30-50 grader. Da tar pløgen fugekonstruksjonen !!!
- Rom under fugekonstruksjonen for inspeksjon, rengjøring og vedlikehold
- Utforming som minimaliserer støy
- Underliggende konstruksjon må utformes slik at vann ledes bort uten å tilsmusse konstruksjonen
- Underliggende konstruksjon må utformes slik at lekkasjevann i minst mulig grad kommer i kontakt med lekkasjevann
- Armeringsoverdekning i underliggende konstruksjon skal være minimum 60, nominell 75 med mer
- Armeringsoverdekning til armering for selve fugekonstruksjonen må bli som den blir. Kan eventuelt bruke rustfri armering



## Krav til Fugekonstruksjoner



- Gi god gå-/sykle-/kjørekomfort og ikke representere noen fare for trafikken eller brøyteutstyr
- Gi så lite støy som mulig
- Holde sand, grus, stein osv unna underliggende konstruksjoner
- Være vanntette
- Ha lang levetid og tilfredsstillende disse kravene i hele funksjonstiden
- Være enkle å vedlikeholde/skifte ut



## Asfaltfuge, Varierende Kvalitet



- Ikke krav til bindemiddel
- Ikke krav til tilslag
- Ikke krav til blanderesept
- Ikke krav til blandemetode
- Ikke dimensjonering i forhold til bevegelse.
  - Blanderesept
  - Geometri
- Ikke ensartet bruk av stålplate
- Problem ved kødannelse
- Problem i varme perioder
- Problem ved lave temperaturer
- Problem når bruene ligger i fall
- Problem når bevegelser pga temperatur varierer hurtig, dvs stålbruer



Statens vegvesen









## Avsluttende kjepphester



- Inspeksjoner må utføres
- Ha fokus på alt...
- Pass spesielt på alt som påvirker trafikkavvikling.....
- Det beste vedlikehold er å unngå feil når det bygges nytt.....





Nyoppstartet FoU-prosjekt på betong:  
Concrete Innovation Center (COIN)

*Claus K. Larsen, MAT*



Statens vegvesen



## Sentre for forskningsdrevet innovasjon SFI – et nytt initiativ fra Forskningsrådet

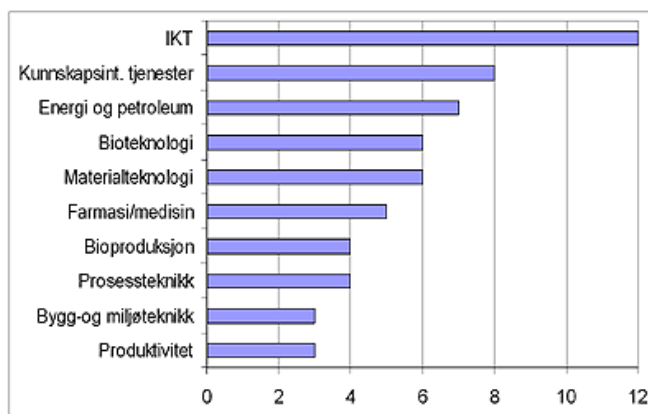


- det er etablert 14 SFI (58 søknader)
- varighet i 8 år

### Forskningsrådets mål med SFI-ordningen:

- stimulere til innovasjon gjennom langsiktig forskning
- gjøre det attraktivt å etablere FoU- virksomhet i Norge
- skape aktivt samarbeid mellom næringsliv og forskningsmiljøer
- fremme utvikling av miljøer i den internasjonale forskningsfronten
- stimulere til forskerutdanning på områder viktig for næringslivet

## SFI-tema det ble søkt om



## Hvorfor SFI til byggenæringen/betong?

- Byggenæringen har jobbet målrettet for å synliggjøre sin samfunnsnytte
- Det er dokumentert et stort potensial for verdiskaping gjennom innovasjon (19-gangeren)
- Byggenæringen er en av de største (mer enn 350 mrd. i årlig omsetning, ca 20% er betongarbeider)
- Betong er "stammen" og representerer et stort innovasjonspotensial (2,5-3 mill m<sup>3</sup> årlig)
- ... men også utfordringer i forhold til miljøkrav

## COINs mål



- Bringe utviklingen et stort sprang fremover gjennom grunnleggende forskning for å utvikle avanserte og miljøvennlige materialer kombinert med effektive og bærekraftige produksjonsmetoder og konstruksjonsløsninger
- Å øke anseelsen til betong som det naturlige og miljøriktige valget
- Å øke kompetansen og å styrke innovasjonsgraden i bransjen
- Å framstå som ledende i Europa
- Å få ledende europeiske bedrifter til å legge større andel av sin forskning til Norge
- Å bidra til økt forskerutdanning og masterutdanning

## Visjon: *Attraktive betongbygg !*



- estetisk
- funksjonelt
- fleksibelt
- robust
  
- miljøvennlig
- godt inn klima
- energieffektivt
  
- kostnadseffektivt
  
- bedre arbeidsmiljø
- industrialisert bygging

## Prosjektene

### 1) Avanserte sementmaterialer og tilsetningsstoffer

- CO<sub>2</sub>-utslipp
- høyere strekkstyrke
- bedre flyteevne og stabilitet
- lavere permeabilitet
- styre avbinding og fasthet

### 2) Forbedret byggeteknikk

- skreddersydde prod.egenskaper
- fiber
- forutsigbare overflater

### 3) Innovative konstruksjonskonsepter

- hybride konstruksjoner
- sandwich-elementer med superlett betong
- fiberarmert betong
- komposittmaterialer

### 4) Levetid

- Verktøy for levetidsberegning
- Forebyggende tiltak

### 5) Energi og innemiljø

- Utnyttelse av betongen som termisk masse - verktøy for design, samt effekt på inn klima

## Delprosjektene

Prosjekt	Delprosjekt	Tema
1 Avanserte sementmaterialer og tilsetningsstoffer	1.1	Sement med redusert CO <sub>2</sub> utslipp
	1.2	Styrt hydratasjonsforløp
	1.3	Redusert opprissing
	1.4	Alternative pozzolaner
	1.5	Lav permeabilitet
2 Forbedret byggeteknikk	2.1	Produksjonsegenskaper
	2.2	Fiber
	2.3	Bedre overflater
	2.4	Workability
3 Innovative konstruksjonskonsepter	3.1	Fiberarmerte konstruksjoner
	3.2	Super-lett lettbetong
	3.3	Hybride konstruksjoner
4 Levetid	4.1	Modellering av levetid
	4.2	Kritisk kloridinnhold
	4.3	Resistivitet i betong
	4.4	AAR
	4.5	Forebyggende tiltak
	4.6	Restlevetid og -kapasitet
5 Energi og innemiljø	5.1	Energieffektive bygninger
	5.2	Komfortable bygninger
	5.3	Case-studies

Statens vegvesen

## Deltagere



Teknologidagene, Oktober 2007

Side 10

## Budsjettene (ca-tall)

Partner	Kontanter	Egeninnsats	Sum
NFR	76 000	-	76 000
SINTEF Byggforsk	26 400	3 600	30 000
NTNU	0	17 400	17 400
Norcem	6 000	8 000	14 000
Statens vegvesen	4 000	5 600	9 600
Unicon	4 000	5 200	9 200
Rescon Mapei	1 200	7 200	8 400
Borregaard	2 400	5 600	8 000
Veidekke	0	8 000	8 000
Aker Kværner	2 000	400	2 400
Spenncon	?	?	?
<b>COIN samlet</b>	<b>66 000</b>	<b>125 000</b>	<b>191 000</b>





## Hva betyr dette for Statens vegvesen – hva vil vi med COIN?

### Begrunnelse for deltakelse

- forskning og undervisning innenfor temaet bestandighet av betong
- nært samarbeid med deltagerne i senteret
- aktivitetene i senteret vil bidra til å få til et tettere og bedre organisert samarbeid, som vil gagne alle parter
- det å kunne utnytte hele nettverket vil være en fordel for alle bedriftene

### Potensial for verdiskaping

- Vi har et ønske om at senteret skal bidra til en bedre ressursutnyttelse innen denne forskningen nasjonalt.
- Bedre materialer og forbedret levetid på Statens vegvesen sine konstruksjoner vil gi enorme besparelser for det norske samfunn.
- På lik linje med tidligere er det alltid et mål at nyvunnen viten legges inn i Statens vegvesens og nasjonalt regelverk, for å sikre rask implementering av ny kunnskap.

## Statens vegvesens fokusområder innen COIN

### 1) Avanserte sementmaterialer og tilsetningsstoffer

- CO<sub>2</sub>-utslipp
- høyere strekkstyrke
- bedre flyteevne og stabilitet
- lavere permeabilitet
- styre avbinding og fasthet

### 2) Forbedret byggeteknikk

- skreddersydde prod.egenskaper
- fiber
- forutsigbare overflater

### 3) Innovative konstruksjonskonsepter

- hybride konstruksjoner
- sandwich-elementer med superlett betong
- fiberarmert betong
- komposittmaterialer

### 4) Levetid

- Verktøy for levetidsberegning
- Forebyggende tiltak

### 5) Energi og innemiljø

- Utnyttelse av betongen som termisk masse - verktøy for design, samt effekt på inn klima

## Pågående aktiviteter der vi er deltagere

Prosjekt	Tema	Innhold
1 Avanserte sementmaterialer og tilsetningsstoffer	1.3 <b>Redusert opprissing</b>	"Rissfrie" overflater ved hjelp av bindemiddel/matriks. 3 STAR (matriks; fiber; internal curing)
	1.5 <b>Lav permeabilitet</b>	Bindemidler som gir lavere permeabilitet 2 STAR (part.pakking; hydrofobering)
2 Forbedret byggeteknikk	2.3 <b>Bedre overflater</b>	Hindre opprissing i tidlig alder, TSTM, estetikk 2 STAR (overflater; rissutvikling), PhD (?)
3 Innovative konstruksjonskonsepter	3.3 <b>Hybride konstruksjoner</b>	Prosjekteringsregler for rustfri armering 2 PhD (?)
4 Levetid	4.1 <b>Modellering av levetid</b>	Øke troverdigheten (presisjon) til levetidsberegninger 2 STAR (arm.korrosjon; AAR)
	4.2 <b>Kritisk kloridinnhold</b>	Bestemme $C_{krit}$ for ulike betonger 1 STAR, dr.grad (Ueli Angst), workshop
	4.3 <b>Resistivitet i betong</b>	Etablere sammenheng mellom levetid og resistivitet 1 STAR, TC i Rilem, PhD (?), workshop
	4.4 <b>AAR</b>	Øke forståelsen av AAR, beregninger, konsepttesting 1 STAR, PhD (Jan Lindgård)
	4.5 <b>Forebyggende tiltak</b>	Korrelere forebyggende tiltak med levetid 3 STAR (overflatebeh.; arm.kvalitet; inhibitorer)
	4.6 <b>Restlevetid og -kapasitet</b>	Etablere troverdige modeller for beregning 1 STAR, fullskala studier







Statens vegvesen

# Prosesskode-2

Teknologidagene 2007 - Tromsø 15.-18. oktober  
Reidar Kompen – Materialteknisk seksjon

## Prosesskoden godkjent!

**Pk-1 og Pk-2 godkjente uke 38-2007**

**Elektronisk tilgjengelig på [www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no)**

**Begge kommer i bokform**



Statens vegvesen



## Utgivelsen av reviderte Pk-1 og Pk-2 er begynnelsen på fortsettelsen

**HB 184 – HB 185**

**HB 018**

**Strømmen av CEN-standarder**




Statens vegvesen



## Det NYE

### Fundamentet er nytt

NS 3420            NS 3465, NS-EN 206-1, NS-EN 197-1, NS-EN 12620, NS-EN 1008, NS-EN 12350, NS-EN 12390

Kontrollrådet            sertifiseringsorgan

**Terminologien – nye ord og uttrykk**

**Regimet, ansvars plassering, dokumentasjon**

**NS-EN standarder obligatoriske**



Statens vegvesen

## Prosess 84



**Teksten er redusert 27 %, men hundrevis av nye standardsider i stedet. Start med NS 3465, deretter NS-EN 206-1**

- 84** De nye standardene  
Kontrollrådet sertifiseringsorgan  
Kontrollplaner  
Toleransene ikke endret
- 84.1** Brekke: Gangbane på hver side  
Nivellement av stillaser + stillas fundamenter  
+++ Nivellement etter støp og før asfalt
- 84.2 a)** Inkl. alle detaljer vist på tegningen  
Inkl. alle stillaser/understøtt/avstivn uten egen prosess
- 84.2614** Strøket/endret!!!



Statens vegvesen

## Prosess 84 (forts.)



- 84.3** B 500 NC  
Rustfrie/Rusttrege kval.  
IR 1731 gjelder
- 84.37** Spennarmering, kfr rev. NB 14  
Nye krav til injiseringsmassen  
Skjerpede krav til injisering
- 84.4** SV-40 og SV-30 beholdt, SV-50 strøket  
SV-40 = MF 40 med 4-6 % silika  
SV-30 = MF 40 med 8-11 % silika  
  
B35 = C45  
B45 = C55  
  
Krav til luftinnhold og kontroll av luft er beholdt  
  
Ny terminologi : Samsvars kontroll  
Identitets kontroll  
  
B45 : Alle prøver  $\geq$  50 MPa  
Alle 3 og 3 prøvegj.snitt  $\geq$  60 MPa



Statens vegvesen

## Prosess 84 (forts.)



- 84.541** Herding med herdemembran
- 84.545** Beskyttelse mot eksponering ved å utsette riving av forskaling
- 84.546** Herdetiltak for brudekker
- 84.8** Ryddet "hummer & kanari" prosesser



Statens vegvesen

## Men faget er det samme



**Behov for kurs, oppdatering fag + regelverk**

**Fagnettverk "Teknisk kvalitetskontroll"**

**Fagorientert kurs "Kontroll ved bygging med betong"**



Statens vegvesen

## Prosesskode-2



**81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88**

**Til dels store endringer i alle delprosesser,**

**84 er muligens den minst endrede**



## Viktigste endringer i 84



**SV-40 og SV-30 spesifikasjonen tilpasset  
Bestandighetsklasse MF40 i NS-EN 206-1**

**Revidert NB 14 Spennarmeringsarbeider (84.37)  
Ny injiseringsmasse, skjerpede krav til masse og  
injisering**

**Terminologi, ordbruk, begreper**

**Rydding av "hummer og kanari"-prosesser**



## Beholdt



**SV-40 og SV-30 benevnelsene**  
**C55 SV-40 → B45 SV-40**

**Krav til luftinnhold, kontroll av luftinnhold**

**IR 1731, armeringsarbeid**



Statens vegvesen

## MF40 innebærer...



**En skjerping av kravet til masseforhold**  
**0,40 → 0,39-0,38**

**Endring av silikagrenser**  
**SV-40; 4-6 % silika**  
**SV-30; 8-11 % silika**

**NS-EN 206-1's krav ifm. luft er uforsvarlige**

**Kloridklasse Cl 0,10 for alt**

**IR 1731 er fortsatt hyperviktig!**



Statens vegvesen

## Terminologi



### Samsvarskontroll

Den kontroll (og prøving) som en produsent utfører for å dokumentere samsvar med alle spesifiserte og/eller deklarererte egenskaper. f.eks. betongprodusentens egen kontroll

### Identitetskontroll

Den kontrollen kjøper (bruker) utfører for å verifisere at varen er det selgeren påstår f.eks. entreprenørens prøving av mottatt betong i "Utvidet kontr."



Statens vegvesen

## Terminologi



### Systematisk intern kontroll

En kontroll som entreprenøren er pålagt å planlegge, gjennomføre og dokumentere i Klasse Normal og Utvidet Kontroll. Ledes av en kontrollleder som har dokumentert kompetanse.

### Uavhengig kontroll

Kontroll utført av noen som ikke har noen tilknytning til den utførende organisasjonen (entreprenøren).



Statens vegvesen

## Terminologi



**Stikkprøvekontroll** – Et vegvesen-uttrykk

**Brukes for å fremme ønske om mer – eller mindre – omfang av byggherrens kontroll**

**Vi har en rydde- og konkretiseringsjobb her!**



Statens vegvesen



# NS-EN 1504 serien og annet felleseuropeisk regelverk

- noen konsekvenser for Statens vegvesen (og alle dere andre..)

Jan-Magnus Østvik

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Teknologiavdelingen, Materialseksjonen



## Hva snakker vi om her?

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 1: Definisjoner

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 2: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 3: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 4: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 5: Injeksjon i betong

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 6: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 7: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 8: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 9: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar

Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner  
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar  
Del 10: Bruk av produkter og systemer på byggeplass og kvalitetskontroll av utførelsen

10 (11) deler, med referanse til omtrent 65 material og prøvestandarder..

Statens vegvesen

## Før og nå...

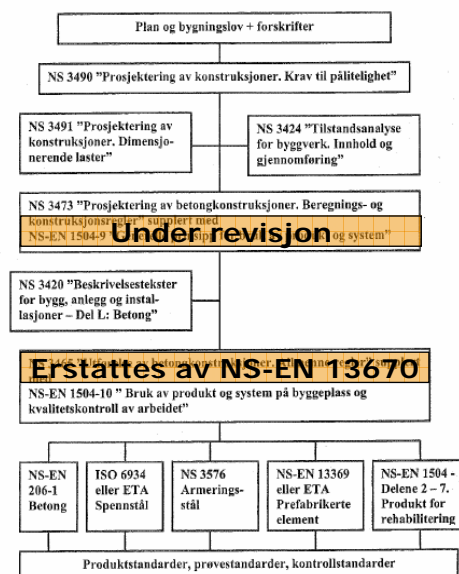
- Tidligere har vi hatt et (rimelig) oversiktlig regelverk å forholde oss til, og få standarder.
  - Stort sett NS 3420 og prosjekteringstandardene i tillegg til *Prosesskoden* og *RIF normen*.
  - Få standarder for "våre" tema
- Sannsynligvis for få standarder...?



- Omfattende regelverk som griper inn i alle ledd:
  - Prosjekteringsstandarder
  - Utførelsesstandarder
  - "Systemstandarder"
  - Kontrollstandarder
  - Produktstandarder
  - Materialstandarder
- Kanskje "litt i overkant" mange standarder å forholde seg til?

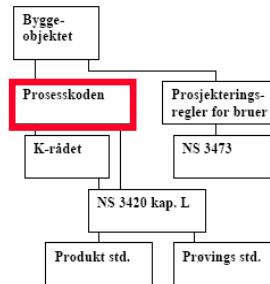


## Hierarkiet for lover, forskrifter og standarder for betongrehabilitering [Maage, 2004]



## Prosesskoden – hvor var den?

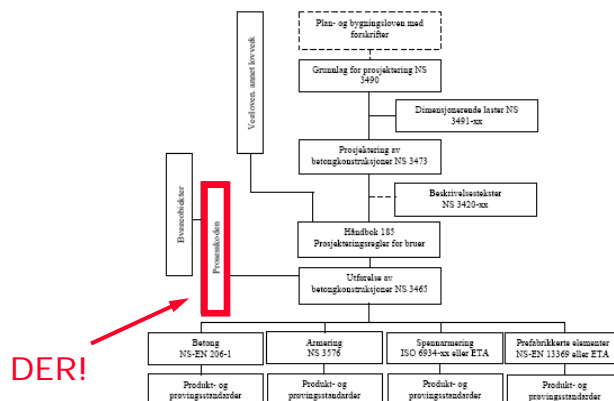
- Prosesskode 2 er Statens vegvesen som byggherre sine **TEKNISKE BESKRIVELSER** av byggverket de skal ha bygd eller rehabilitert
- Den er direkte knyttet opp mot objektet



Gammel "plassering" av prosesskoden [Kompen, 1996]



## Prosesskoden – Hvor er den nå?



## Utfordringer mht harmonisering

- Flere standarder er under revisjon
- Overgangsordning fra etablerte Norsk Standard til felleseuropeisk regelverk
  - NS 3465 skal erstattes med NS-EN 13670
  - NS 3420 endrer snart status (igjen)
  - Nasjonale tillegg revideres (fortløpende)
- Hovedparten av NS-EN foreligger kun på engelsk.
- Ikke minst mange nye materialstandarder... (som er ressurskrevende å oversette mht tidligere satte materialkrav)



## Revidert Prosesskode

- Prosesskode 1 og 2 er nå i trykken (forhåpentligvis)
- Mesteparten er harmonisert til det gjeldende regelverket
  - Men som tidligere sagt dette er i kontinuerlig endring..
- Nyheter for dere er at Prosess 87 og 88 er slått sammen, og gjelder både bruer og kaier... såkalt rasjonalisering...
- P2 er ikke ennå i full harmoni med det "gjeldende/kommende" regelverket av den enkle grunn at vi er redde for å lage en "bastard" som ikke fungerer.



## For å illustrere omfanget av nytt regelverk viser jeg et eksempel innenfor sprøytebetong..

....det vi har greid å oppdage til nå..



## Nytt sprøytebetongregelverk del 1

- Følgende standarder er i ferd med å komme, eller har allerede blitt vedtatt og er gjeldende :
  - NS-EN 13670 vil avløse NS 3465 om 1 – 2 år som tidligere nevnt.
  - NS-EN 206-1 vil om kort tid (sannsynligvis allerede i høst) få et revidert nasjonalt tillegg, hvor det henvises til NS-EN 14487-1. Henvisningen til NB 7 omformuleres og blir i kun informativ.
  - NS 3420 Kap LJ vil komme om ca 2 år, og vil inneholde sprøytebetong til alle formål. Denne vil erstatte de postene og tekstene som i dag finnes i kap G 75.
  - NS-EN 14487-1 Sprøytebetong Del 1 : Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar. Utgitt mars 2006, på engelsk.
  - NS-EN 14487-2 Sprøytebetong Del 2 : Utførelse. Ikke utgitt, foreligger som utkast..



## Nytt sprøytebetongregelverk del 2

- NS-EN 14488-1 Prøving av sprøytebetong Del 1 : Prøvetaking av fersk og herdnet betong. Utgitt oktober 2005, på engelsk
- NS-EN 14488-2 Prøving av sprøytebetong Del 2 : Trykkfasthet av ung sprøytebetong. Foreligger som 1.utgave oktober 2006.
- NS-EN 14488-3 Prøving av sprøytebetong Del 3 : Bøystrekkfasthet (rissfasthet, bruddfasthet og restfasthet) av fiberarmerte prøvebjelker. Utgitt august 2006, på engelsk.
- NS-EN 14488-4 Prøving av sprøytebetong Del 4 : Heftfasthet av kjerner ved direkte strekk. Utgitt oktober 2005, på engelsk.
- NS-EN 14488-5 Prøving av sprøytebetong Del 5 : Bestemmelse av energiabsorpsjonsevnen til fiberarmerte plateprøver. Utgitt august 2006, på engelsk.
- NS-EN 14488-6 Prøving av sprøytebetong Del 6 : Tykkelse av betong på et underlag. Foreligger som 1.utgave oktober 2006.
- NS-EN 14488-7 Prøving av sprøytebetong Del 7 : Fiberinnhold i fiberarmert betong. Utgitt august 2006 på engelsk.
- NS-EN 14889-1 Fiber for betong Del 1 : Stålfiber. Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar. Foreligger som 1.utgave desember 2006.
- NS-EN 14889-2 Fiber for betong Del 2 : Polymerfiber. Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar. Foreligger som 1.utgave desember 2006.



## Felleseuropeisk regelverk

- For å sitere en god kollega, Reidar Kompen:
  - *"...bare å holde seg oppdatert på endringer i det gjeldende regelverket vil kreve all min tid..."*
  - *"...det vil gå minst en generasjon før bransjen har tilpasset seg det nye regelverket..."*
- Dette bør vi ta alvorlig!



## Oppsummering

- Det å holde seg oppdatert på gjeldende regelverk vil kreve ressurser fra oss alle!
- Prosesskode 1 og 2 er forsøkt harmonisert, men for rehab-fagene er det ennå en vei og gå.
- Bransjen vil ha en utfordring med tanke på å tilpasse byggeskikk til det nye regelverket.







Statens vegvesen



## Overflatebehandling av betong

Eva Rodum

Teknologiavd, Materialteknisk seksjon

## Overflatebehandling av betong



- Formål
- Ulike produkttyper – prinsipper
- Dokumentasjon av egenskaper i laboratorium
- Erfaringer i felt
- Oppsummering

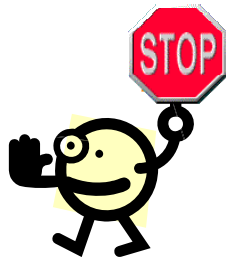


Statens vegvesen

## Overflatebehandling av betong



**Formål (her):** Beskytte betongen mot inntrenging av aggressiver (f eks klorider, CO<sub>2</sub> og væsker) og/eller vann



Dvs, iht følgende "prinsipper" (ENV 1504-9)

- Prinsipp 1: Beskyttelse mot inntrenging ➔ SVV: Klorider
- Prinsipp 2: Kontroll av fuktighet ➔ SVV: AR



## Kort om alkalireaksjoner (AR)



- En kjemisk-fysisk prosess hvor alkaliioner ( $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$ ) i betongens sementpasta reagerer med visse bergarter
- Reaksjonsproduktet, en alkaligel, sveller ved vannopptak
- Volumøkningen forårsaker opprissing når betongens strekkfasthet overskrides



## Betingelser for alkalireaksjoner



**Reaktivt  
tilslag**

**Nødvendige  
parametre**

**Alkalier**

**Vann**  
(RF > ca 80 %)



Statens vegvesen

## Tidspunkt for overflatebehandling



- **Alkalireaksjoner** -> tegn på skadeutvikling først etter mange år -> overflatebehandling av eldre konstruksjoner med relativt høyt vanninnhold
- **Klorider** -> før nevneverdig kloridinntrenging
  - Overflatebehandling stanser ikke pågående korrosjon
  - Det skjer en omfordeling av allerede inntrengte klorider, dvs fortsatt diffusjon, og økende kloridinnhold innover mot armering



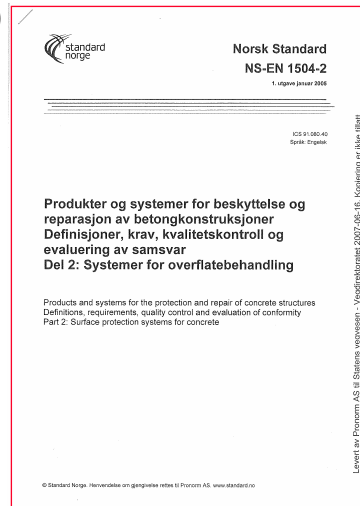
Statens vegvesen

## Produkttyper, hovedgrupper



("metoder" iht NS-EN 1504-2)

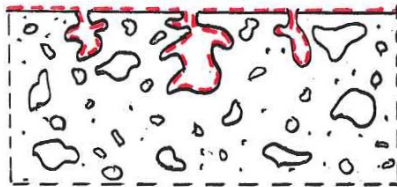
- **Vannavvisende impregnering**
- **Impregnering**
- **Belegg**



## Vannavvisende impregnering



- Stoffer som trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende



- Eks: **Silaner, siloksaner**



## Vannavvisende impregnering (forts)



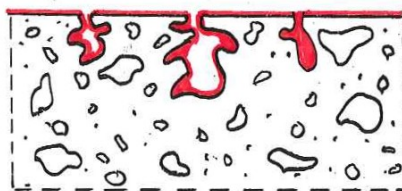
- **Silaner og siloksaner**
  - Siloksaner består av større molekyler enn silaner
- Silaner og siloksaner trenger inn i betongens poresystem og reagerer med det basiske miljøet slik at det fester seg godt på poreveggen
- Kan fortynnes i løsningsmiddel eller kombineres med andre forbindelser for å sikre god inntrenging ved å forsinke reaksjonen med sementpastaen og/eller øke kontakttiden med betongen.
- Inntrengingsdybden er avhengig av: Porøsitet, vanninnhold og kontakttid
- Ikke UV-bestandige



## Impregnering



- Stoffer som trenger inn i betongen og fører til tettende utfellinger i porene når de møter kalsium



- Eks: **Silikater**, oftest **vannglass** (natriumsilikat)



## Impregnering (forts)



- En rekke ulike vannglassbaserte produkter på markedet
- Forskjellen mellom produktene er typisk de komponentene som er tilsatt, f eks retardere og akseleratorer
- For at vannglass skal reagere trengs fritt kalsiumhydroksid. Store mengder silikastøv, flyveaske o.l kan redusere reaksjonsgraden
- pH i porevæsken kan økes ved påføring av vannglass -> kan akselerere alkalireaksjoner!



## Belegg



- Filmdannende produkter av varierende tykkelse og beskaffenhet



- Eks: **Epoksy, slemmemasser**



## Belegg (forts)



- **Epoksy**
  - Volumstabil og kjemisk stabil i basisk miljø
  - Svært liten mikroporøsitet -> diffusjonstett
- **Slemmemasser**
  - Sement, vann og lateks
  - Mer diffusjonsåpen enn epoksy, men **store** variasjoner mellom ulike produkter!
  - Typen lateks er bestemmende for egenskapene (elastisitet, diffusjonsåpenhet,...), viktig å benytte en som er stabil i basisk miljø



- Hvordan vurdere effekten og egnetheten av de ulike produkter?

- NS-EN 1504-2
- Prosesskode-2





## NS-EN 1504-2



- Krav til egenskapstesting avhengig av **prinsipp** (f eks beskyttelse mot inntrenging) og **produkttype** (f eks vannavvisende impregnering)
- F eks: **Beskyttelse mot inntrenging, vannavvisende impregnering**
  - Inntrengingsdybde (i betong  $v/b=0,70$ )
  - Vannabsorpsjon og alkalibestandighet (NS-EN 13580)
  - Tørkehastighet (NS-EN 13579)
  - Fryse/tine motstand (hvis relevant)
  - Kloriddiffusjon (iht nasjonale standarder/reguleringer)



*Totalt ca 20 prøvingsstandarder for overflatebehandling*

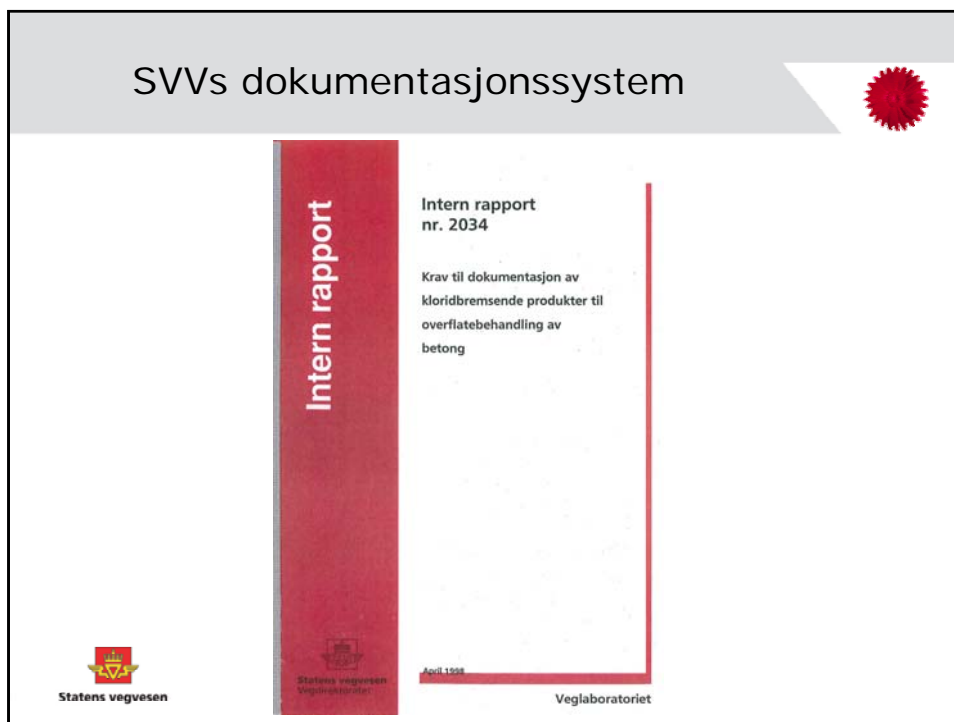
## Prosesskode - 2, prosess 88.37



- Krav til egenskapstesting avhengig av **produkttype** (f eks vannavvisende impregnering) -> egen "Dokumentasjonsordning", **samt krav til resultater!**
- F eks: **Vannavvisende impregnering**
  - Inntrengingsdybde (SINTEF MB, i betong  $v/b=0,45$  – min 1 mm)
  - Løsningsevne for asfalt (SINTEF KS e.l. – ingen oppløsning)
  - Kloriddiffusjon (SINTEF MB, - min 75 % reduksjon)
- I tillegg gis krav til oppnådde resultater under utførelse



## SVVs dokumentasjonssystem



## SVVs dokumentasjonssystem (forts)



### Resultater (grovt oppsummert):

- **Impregneringer (vannglass)**
  - Liten kloridbremsende effekt på betonger med v/b ~ 0,40
- **Vannavvisende impregneringer**
  - Liten inntrengingsdybde i fuktmettet betong (typisk < 1-2 mm)
  - Stor reduksjon av kloridinntrengingen (typisk 80-95 %)
- **Belegg (her: sementbaserte slemmemasser)**
  - Kraftig reduksjon av kloridinntrengingen (typisk >95 %)

## SVVs erfaringer i felt



- **Hvilke erfaringer finnes fra reelle prosjekter og feltstasjoner?**

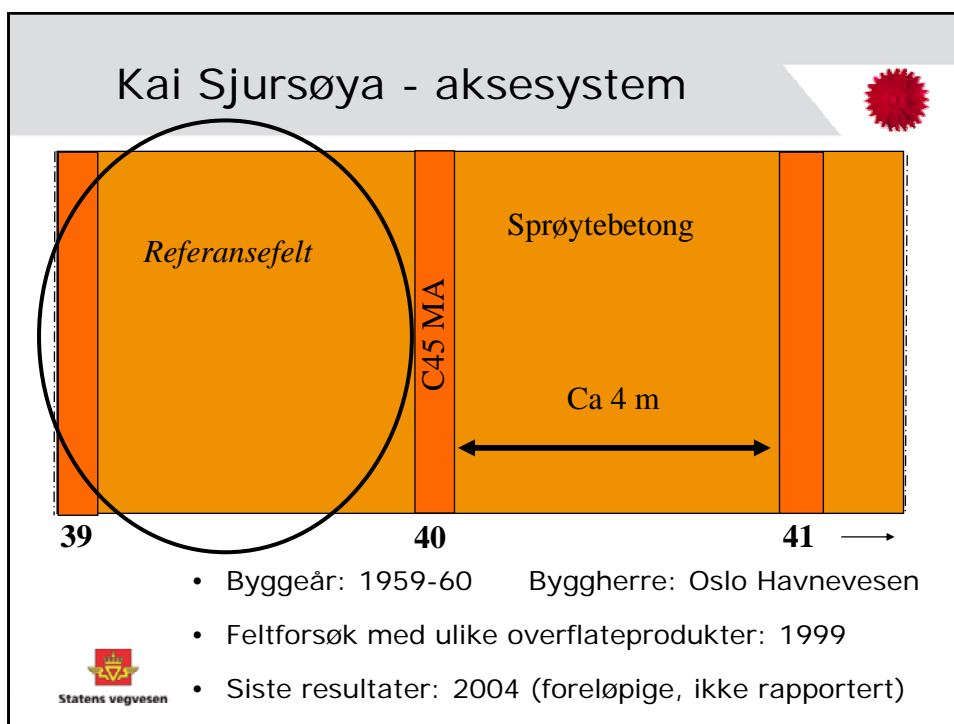
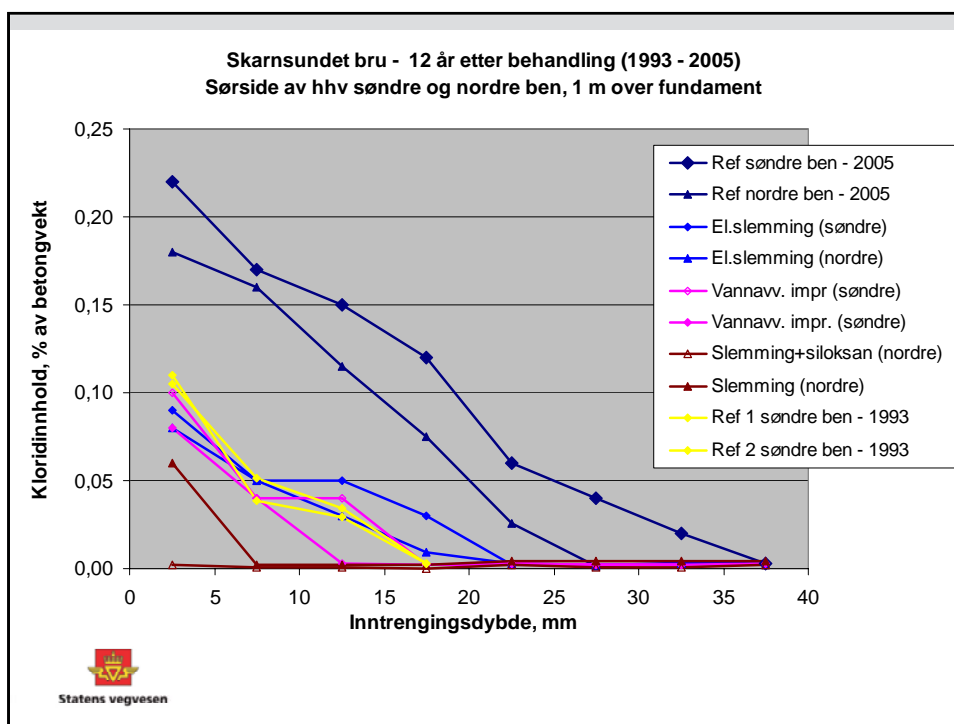
- Vannavvisende impregnering
- Belegg

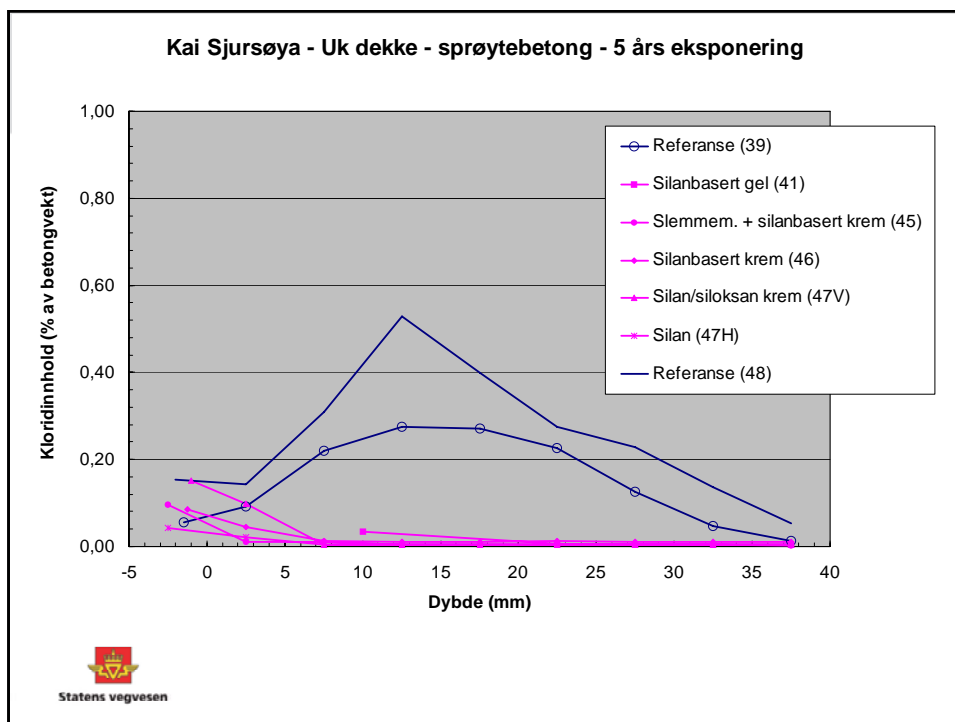
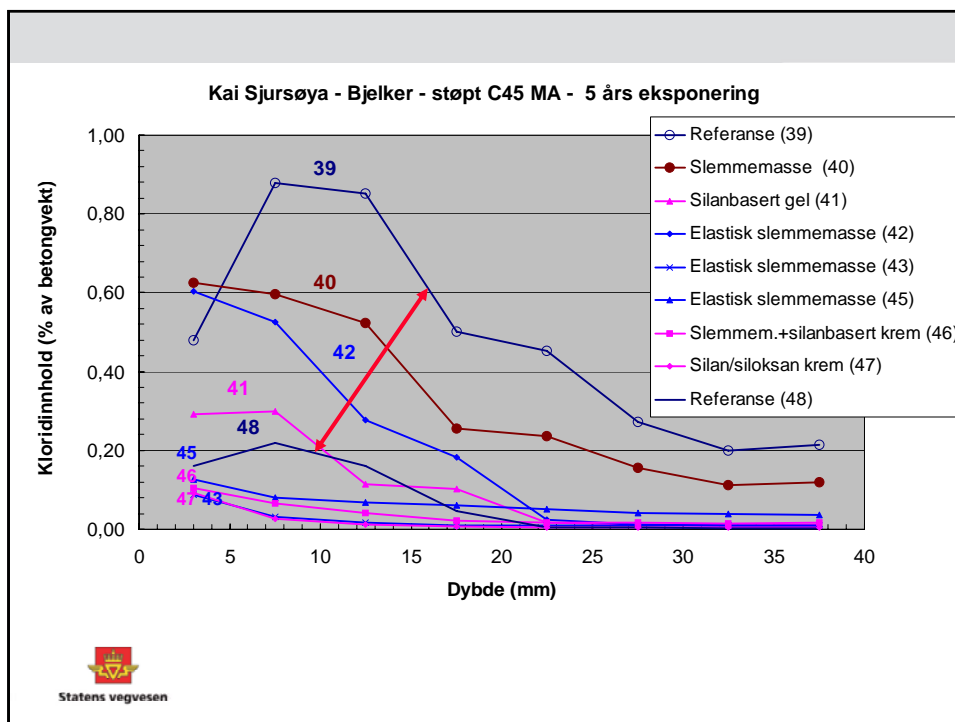
- ➔ • Skarnsundet bru
- Gimsøystraumen bru (inkl helleprosjektet)
- ➔ • Kai Sjursøya
- +++
- OPS E39 – kantdragere (Skanska)



## Skarnsundet bru

- Støpeår hovedtårn: 1990
- Feltforsøk med ulike overflateprodukter: 1993
- Siste resultater: 2005 (foreløpige, ikke rapportert)





## SVVs erfaringer i felt (forts)



- **Vannavvisende impregnering**
  - Liten inntrenging av produktet i SV-40 betong
  - Kan bremse kloridinntrengingen betydelig på kort sikt (3-5 år) \*)
  - To produkter har vist betydelig effekt på kloridinntrengingen også etter 12 år (Skarnsundet, lav klorideksponering)
  - Effekt ved AR (fukt, ekspansjon) ikke undersøkt
  - Ingen bieffekter (evt visuelt, fargemessig?)



\*) Foreløpige resultater fra Skarnsundet bru, Helleprosjekter (Gimsøystraumen), Kai Sjursøya + Liu Guofei: "Control of Chloride Penetration into Concrete Structures at early age", Doctoral Thesis NTNU, 2006.

## SVVs erfaringer i felt (forts)



- **Belegg (her: sementbaserte slemmemasser)**
  - Effektiv kloridbrems når intakt
  - Effekt ved AR (fukt, ekspansjon) ikke dokumentert (ett feltprosjekt) -> elastisitet nødvendig
  - utfordringer mhp effekt/langtidsbestandighet, eks
    - Heft: Høyt vanninnhold ved påføring -> flassing pga vanndamptrykk. NB! Store variasjoner i tilsynelatende like produkters vanndampdiffusjon
    - Frostskafer?
    - Rissoverbyggende evne



## Oppsummering



- **Beskyttelse mot kloridinntrenging**
  - Både vannavisende impregneringer og sementbaserte slemmemasser kan ha god kloridbremsende effekt i felt
  - Store produktforskjeller innen hver gruppe
  - Produktenes levetid og gjenbehandlingsbehov er sentrale tema
- **Kontroll av fuktighet - effekt på AR**
  - Lite undersøkt
  - Bør undersøkes nærmere?



## Oppsummering (forts)



- Flere feltprosjekter er rapporteringsklare.
  - Data må viderebehandles mhp å vurdere effekten på levetid -> input i COIN?
  - Nye målinger?
  - Nye feltprosjekter?
  - Nye produkter?
- } → Løpende dokumentasjonsbehov



## Oppfordring



Ved utførelse av overflatebehandling



Legg opp til langtidsdokumentasjon av effekt  
(forhåndsdokumentasjon+referanser)



Ta gjerne kontakt for diskusjon/assistanse!



# Elektrokjemiske reparasjonsmetoder

Dr. Ing. Jan-Magnus Østvik

Teknologiavdelingen

Materialteknisk Seksjon



Bare et kort spørsmål først....

- Her er det vel ingen som har mV og mA – skrekk?

**BRA** 😊



## Elektrokjemiske reparasjonsmetoder

- Realkalisering
  - Gjenvinne betongens høye pH slik at armeringsstålet repassiveres
- Kloriduttrekk
  - Fjerner klorider fra betongen til under kritisk grense slik at armeringsstålet repassiveres
- Katodisk beskyttelse
  - Motvirker korrosjonsprosessen ved å påføre en strøm som hindrer stålet i å ruste videre...



## Elektrokjemiske reparasjonsmetoder

- Med noen få (hederlige) unntak er det katodisk beskyttelse som er den mest aktuelle elektrokjemiske reparasjonsmetoden i Statens vegvesen.
- Derfor vil jeg konsentrere meg om denne metoden.



## Hvorfor Katodisk beskyttelse?

- Ved å bruke katodisk beskyttelse kan man uten store ulemper for brukerne (og eiers økonomi) forlenge levetiden til en konstruksjon eller konstruksjonsdel dersom den er infisert av klorider
- **følg med nå!**









## Hva er katodisk beskyttelse?

- En elektrokjemisk reparasjonsmetode som forhindrer ytterligere skader ved å stoppe eller begrense korrosjon
- Den eneste (økonomiske forsvarlige) måten å reparere en kloridinfisert armert betongkonstruksjon uten massiv fjerning av den infiserte betongen
- Og ofte eneste alternativ til utskifting av konstruksjonen eller konstruksjonsdelen.

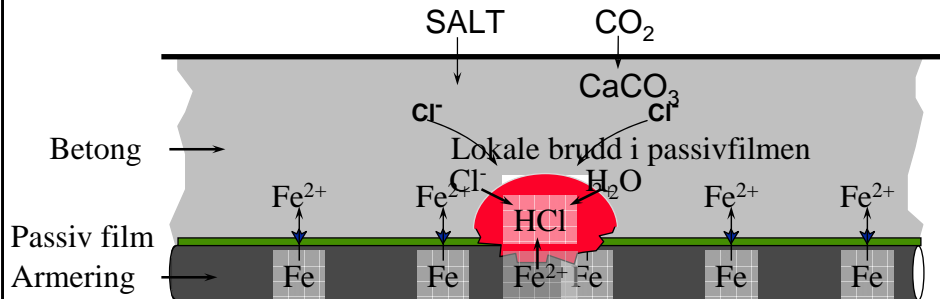


## Hvordan virker det?

- For å vite hvordan det fungerer må vi ta utgangspunkt i hvordan armeringskorrosjon foregår.



## Armeringskorrosjon

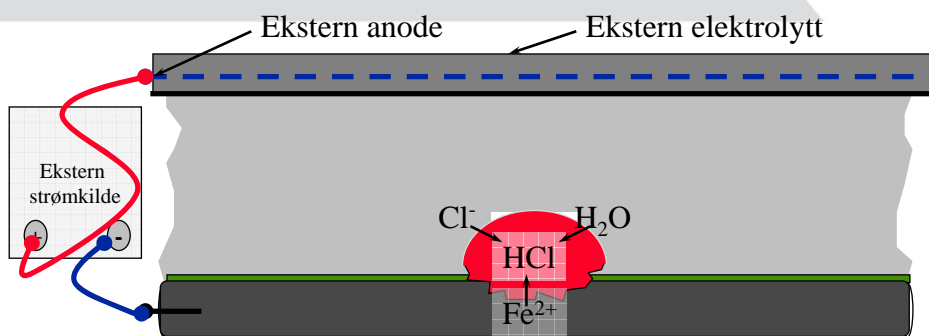


- Stål korroderer normalt ikke i betong pga høy pH - Lokale brudd i passivfilmen er "selvreparerende"
- Klorider og karbonatisering bryter ned passivfilmen permanent og fører til armeringskorrosjon



Statens vegvesen

## Katodisk beskyttelse



- Ved hjelp av en ekstern anode reverseres korrosjonsstrømmen, dermed stopper armeringskorrosjonen opp



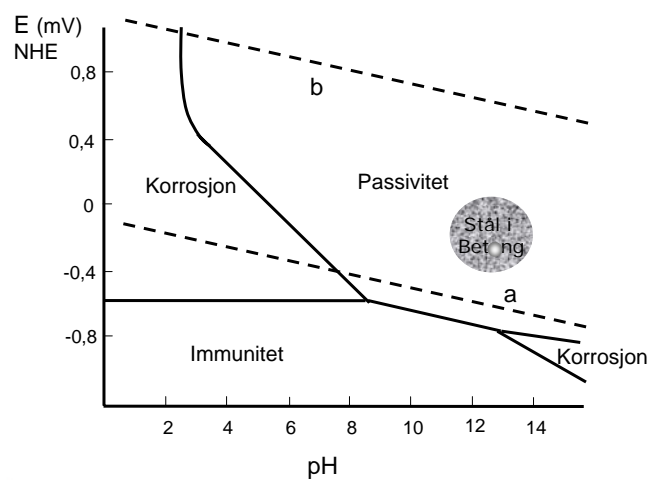
Statens vegvesen

## Pourbaix-diagram

- Viser stabilitetsområder som funksjon av pH og potensial
- Stabilitetsområder
  - Korrosjon
  - Passivitet
  - Immunitet

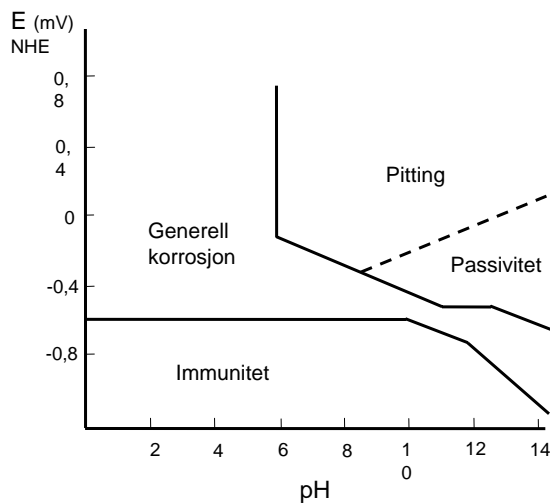


## Pourbaix-diagram (uten klorider)



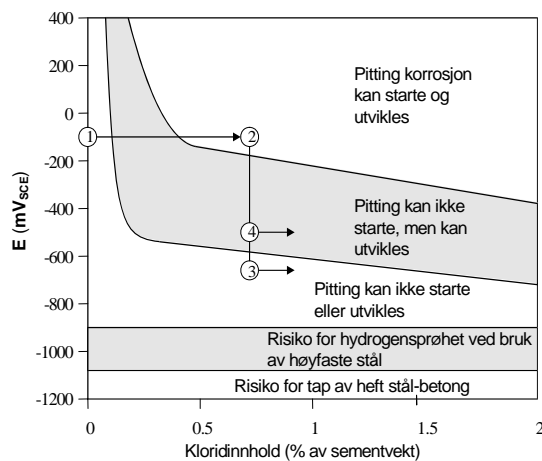


## Pourbaix-diagram (1 M klorider)



## Katodisk beskyttelse – prinsipp

Norsk oversettelse av NS-EN 12696:2000 Figure A.3 p. 32



1 → 2 → 4

Katodisk forebygging

1 → 2 → 3

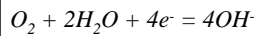
Katodisk beskyttelse

- Forskyver armerings potensial til et nivå hvor det termodynamisk sett ikke kan korrodere
  - Korrosjonshastigheten blir meget lav (akseptabel)
  - Det er "fysisk umulig" for stålet å korrodere

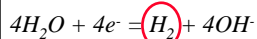


## Elektrodereaksjoner

Katodereaksjoner (på armeringen)



Reduksjon av oksygen

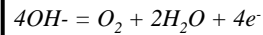


Vannspalting ved elektrolyse

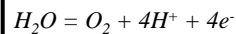
**NB!! Hydrogensprøhet**

- Min. potensial for vanlig stål: -1100 mV
- Min. potensial for spennstål: -900 mV

Anodereaksjoner (på elektroden)



Produksjon av oksygen



Vannspalting ved elektrolyse



Oppløsning av anodemetall

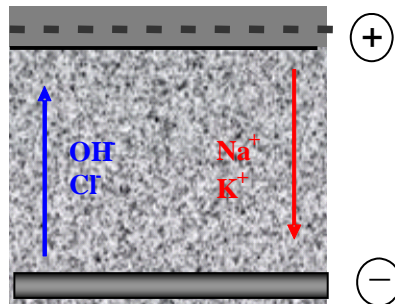


## Metodikk

- Det påtrykkes en likespenning mellom armeringen og en elektrode på betongoverflaten eller inne i betongen
  - Ved katodisk beskyttelse benyttes en liten strømtetthet (2 - 20 mA/m<sup>2</sup>) og lav spenning (<8 V)
    - Katodisk vern har betydelig lavere strømtetthet (0,2 - 2 mA/m<sup>2</sup> ved spenninger omkring 0,5 - 2 V)
  - Til sammenligning benyttes en høy strømtetthet (0,5 - 2,0 A/m<sup>2</sup>) ved kloriduttrekk og realkalisering. Spenningen er også høyere (>12 V)
- Alternativt benyttes det et mindre edelt metall enn stål (Al, Mg, Zn) som offeranode.



## Elektromigrasjon



- Ionene i porevannet er elektrisk ladet og påvirkes av det elektriske feltet
- Negative ioner beveger seg fra den negative polen (armeringen) og mot den positive polen (anoden)
- Positive ioner beveger seg mot den negative polen (armeringen) og fra den positive polen (anoden)

Denne mekanismen er bakgrunnen for kloriduttrekk (og delvis også realkalisering), men bidrar positivt også ved katodisk beskyttelse



Statens vegvesen

## Hvordan kontrollere effekten?

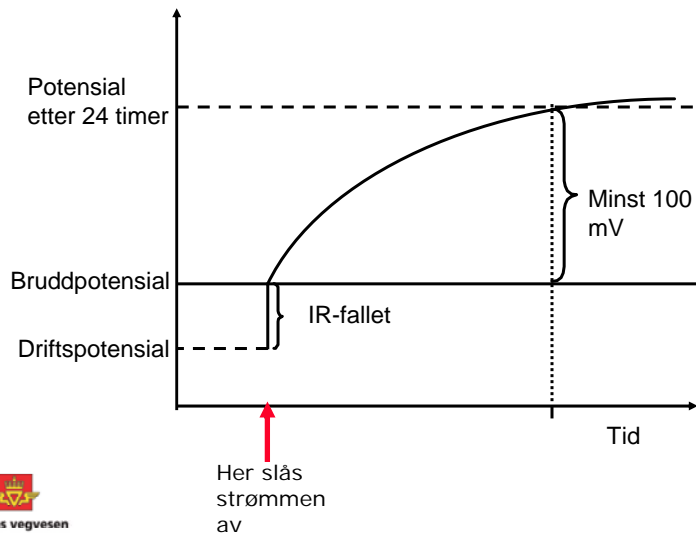
- Makroceller
  - Strømmen måles mellom armeringen og en innstøpt elektrode
- Empiriske kriterier basert på potensialendring
  - Depolariseringskriteriet
  - Potensialendringskriteriet
- Måles med referanseelektroder NS-EN 12696:2000 Chapter 6. CP system components p. 8-18



Statens vegvesen

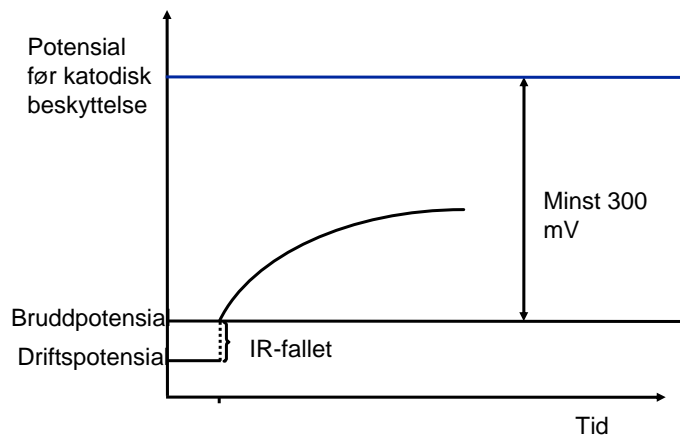
## Depolariseringskriteriet

NS-EN 12696:2000 pkt. 8.6 Criteria of protection p. 24

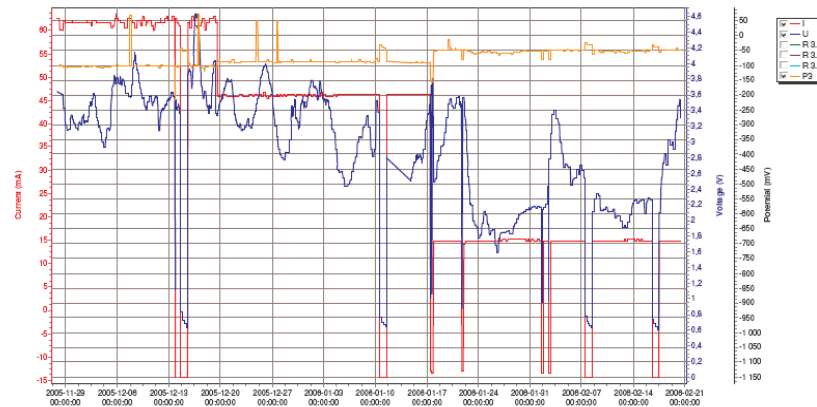


## Potensialendringskriteriet

NS-EN 12696:2000 pkt. 8.6 Criteria of protection p. 24

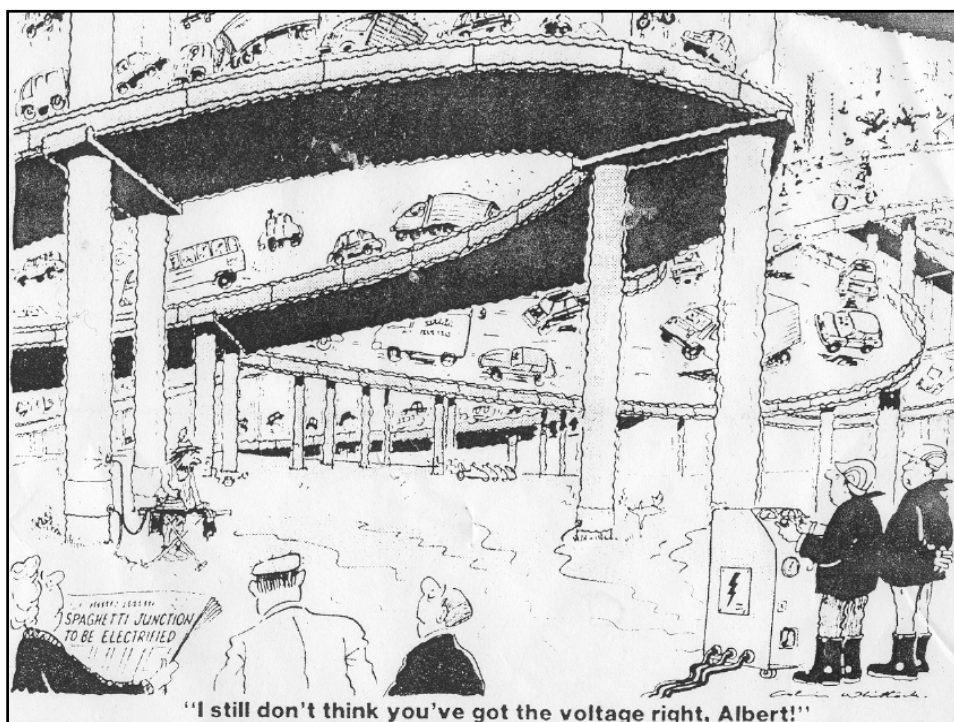


## Depolariseringer fra det virkelige liv..



## Oppsummering

- Katodisk beskyttelse er ofte det eneste økonomisk forsvarlige alternativ til utskifting av klordinfiserte betongkonstruksjoner
- Metoden baseres på å endre potensialet til armeringen til et slikt nivå at korrosjon ikke lenger utgjør en trussel for konstruksjonens bæreevne
- Det er begrensninger med metoden, og man skal være varsom dersom man ønsker å beskytte en spennarmert konstruksjon – Hydrogensprøhet
- For å kontrollere effekten angir NS-EN 12696 to empiriske kriterier:
  - Depolariseringskriteriet (som er mest brukt)
  - Potensialendningskriteriet



Dere trodde jeg var ferdige nå??  
Der tok dere feil, ja!

# Katodisk beskyttelse

## Erfaringer fra Norge

Av Jan-Magnus Østvik

som har stjelt mesteparten av dette fra  
Trond Østmoen, Aas-Jakobsen AS



# Katodisk beskyttelse

## Fallgruver / erfaringer fra Norge

- Titansystemer
  - titannett for innstøping på konstruksjonens overflate
  - stripe/båndanoder
  - stavanoder
- ledende maling/primer
- ledende mørtel
- grafittsystemer
- Elektroarbeider



## Titannett

- Anodenettet må innstøpes i en sementbasert påstøp som må tilfredsstillte følgende krav:
  - god heft til konstruksjonsbetongen
  - god elektrolytisk kontakt mellom anode og armering
  - beskytte anodene mot fysiske skader



## Titannett

### Fordeler

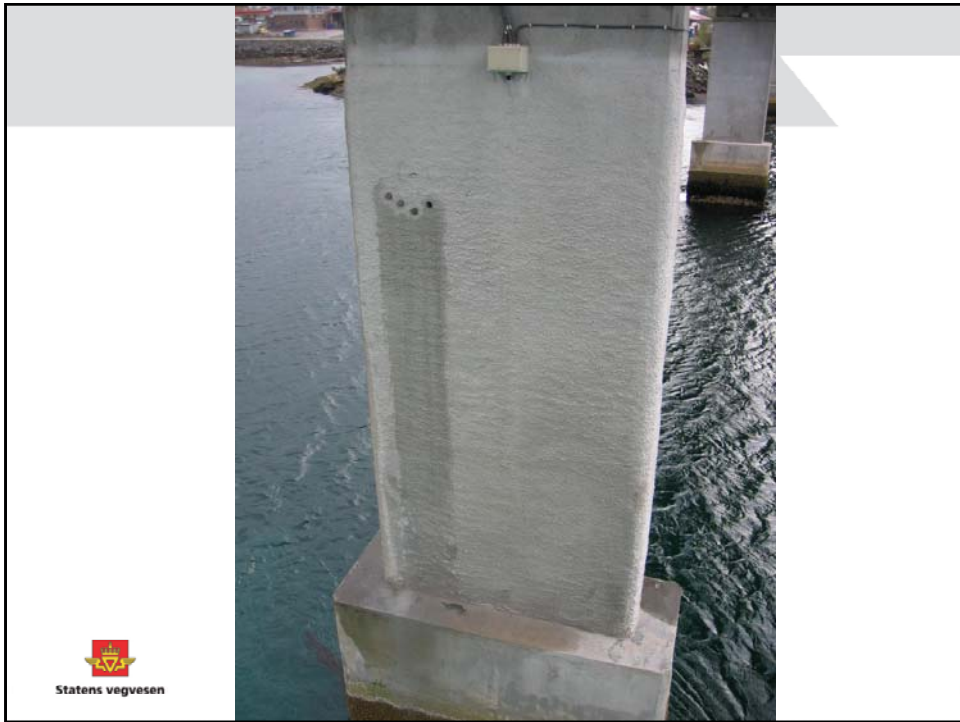
- God bestandighet mot mekaniske skader
- Jevn strømfordeling
- Lang levetid
- Tåler spenninger opp mot 10 Volt
- Det systemet man har lengst driftserfaring med
- Maksimal strømleveranse ligger på ca. 30 mA/m<sup>2</sup> betongoverflate

### Usikkerheter / ulemper

- Utførelsen av sprøytebetongarbeidene og heft
- Stort antall plastplugger for å presse nettet tett inntil overflaten (arbeidskrevende)
- Gir vektøkning på konstruksjonen













## KB Ormsund Kai

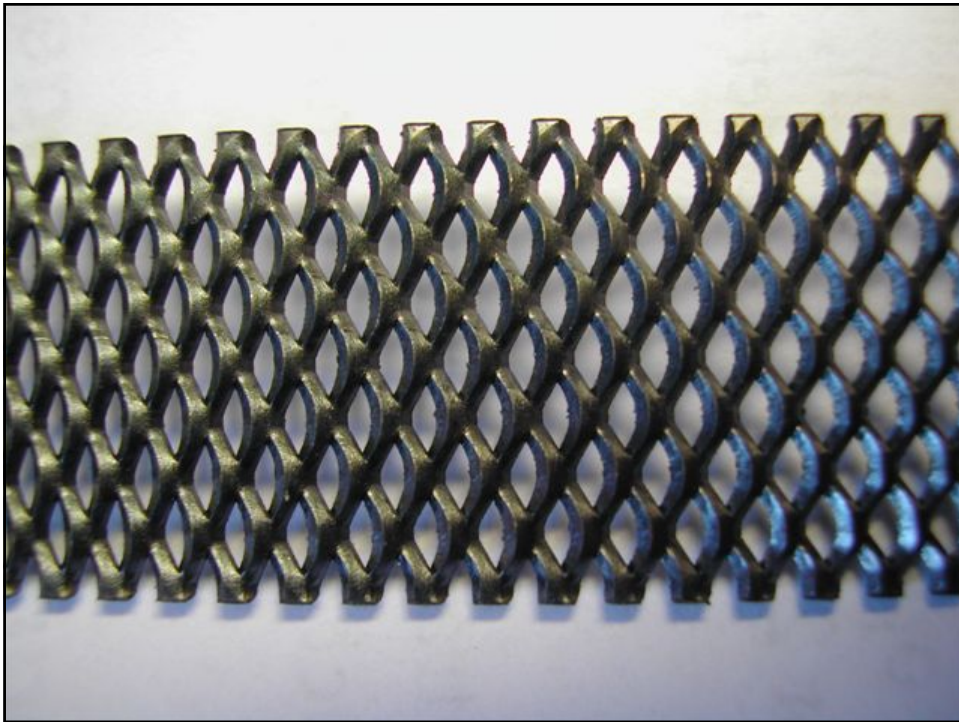
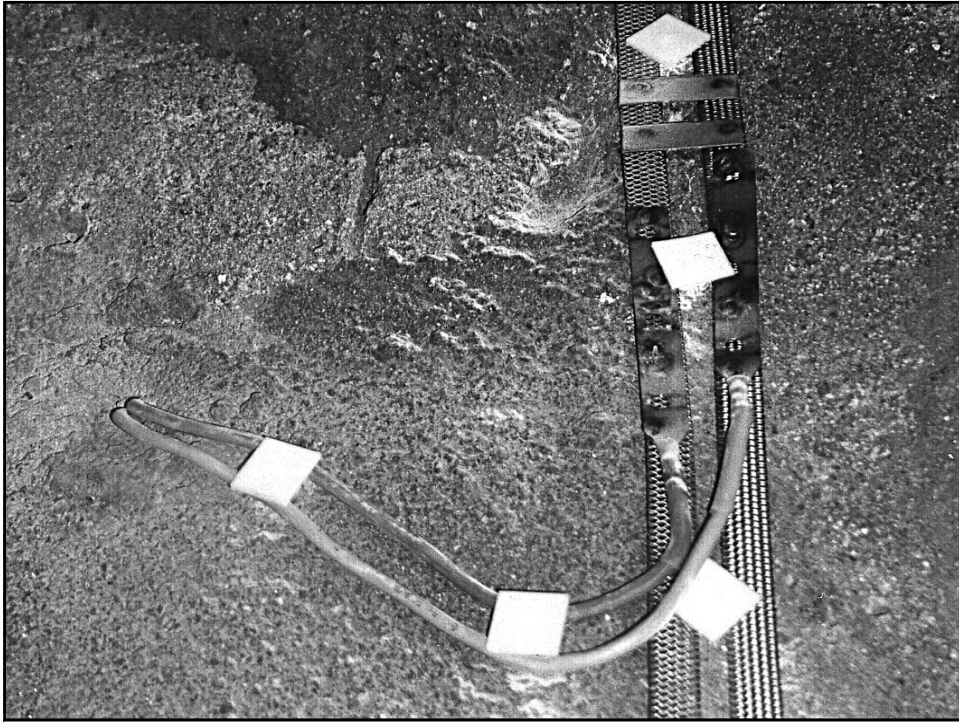


Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Titannett dekket med sprøytebetong



Statens vegvesen







  
Statens vegvesen



Statens vegvesen

## Titanbånd



Statens vegvesen

## Titanbånd

### Fordeler

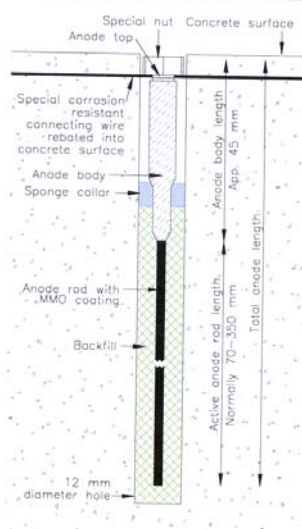
- God bestandighet mot mekaniske skader
- Enklere montering enn for nett
- Lokale skader enklere å utbedre enn heldekkende nett da kun bånd kan sprøytes inn

### Usikkerheter / ulemper

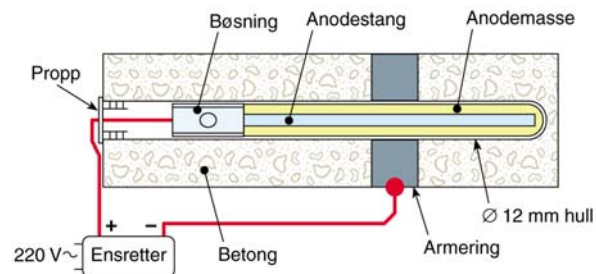
- Utførelsen av sprøytebetongarbeidene og heft. Utfordring å få sprøytemørtel gjennom finmasket nett
- Ujevn strømfordeling



## Stavanoder



## Duranoden







## Innborede stavanoder



## Innborede stavanoder



## Innborede stavanoder

### Fordeler

- Lett å montere ved oversiktlige armeringsforhold
- Relativt lett å bytte ut anoder ved vedlikehold
- Ingen vektøkning
- Ikke behov for påstøp med delamineringsfare

### Usikkerheter / ulemper

- Ujevn strømfordeling
- Uttørring av anodemassen øker kretsmodstanden (tidligere utgaver)
- Kabelbrudd på tidligere utgaver
- Problem med hullboring ved tett armering

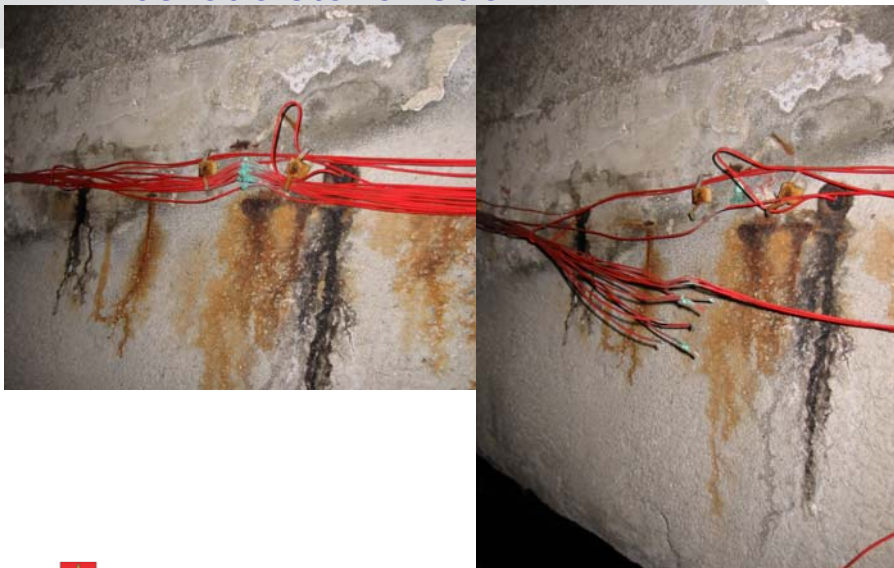


## Innborede stavanoder

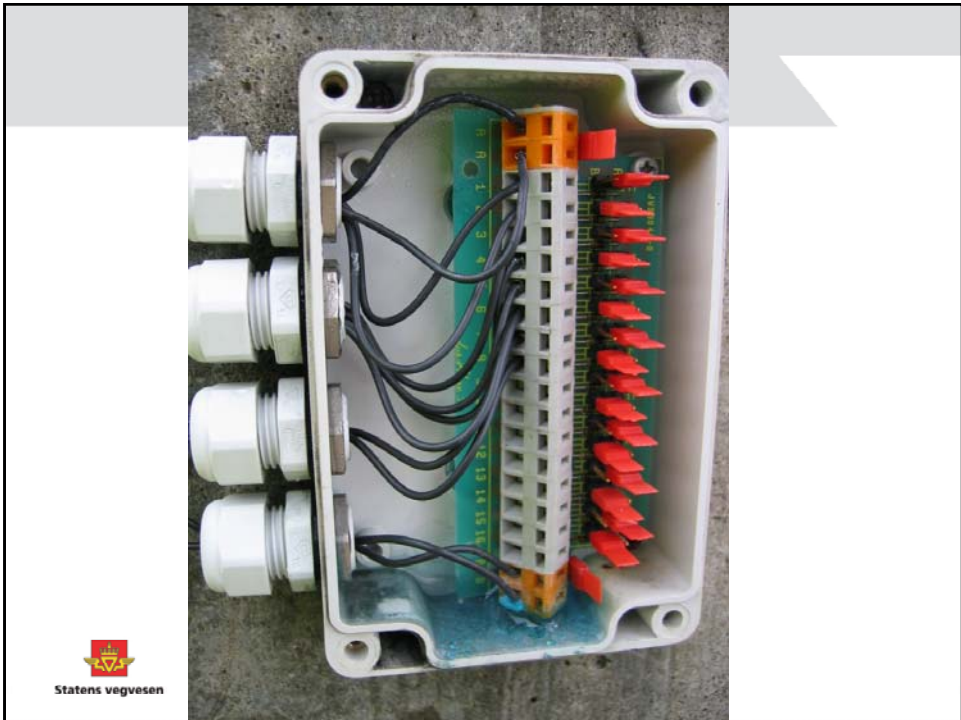


  
Statens vegvesen

## Innborede stavanoder

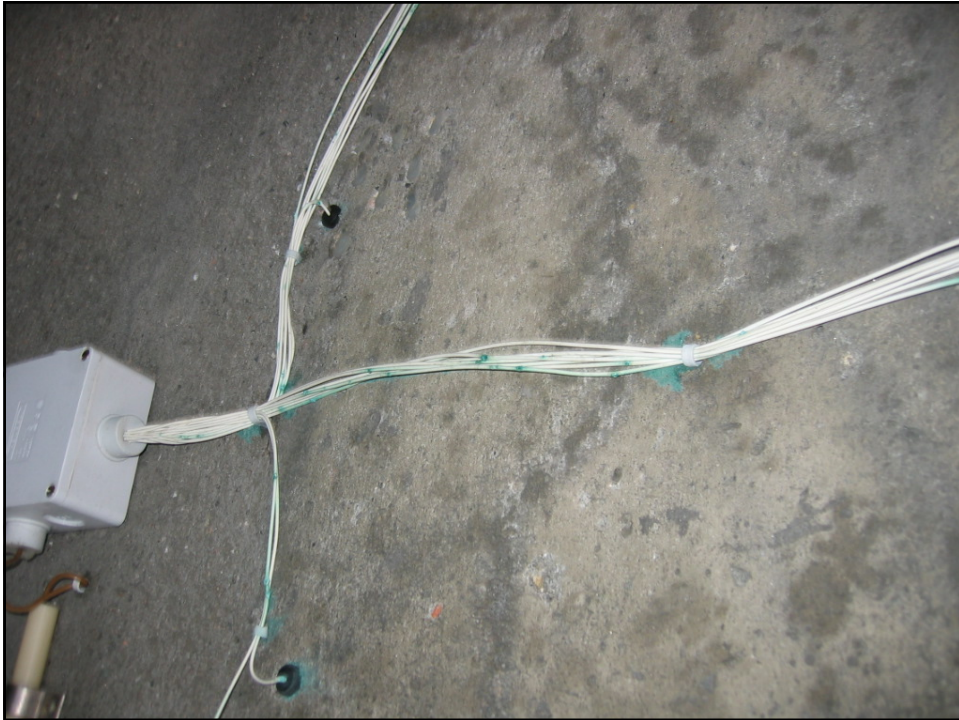


  
Statens vegvesen















## Ny type stavanoder







## Hulltaking – tett armering



## Ledende maling/belegg



## Ledende maling/belegg

### Fordeler

- Ingen vektøkning
- Pent utseende

### Usikkerheter / ulemper

- Påføring av malingssystemer er relativt klimaømfintlige for å oppnå et godt resultat. Dette gjelder temperaturforhold, duggpunkt, luftfuktighet og vindforhold.
- I driftsfasen vil høy fuktbelastning kunne påvirke levetiden. Ømfintlige for avlassing.
- Spenningsbegrensning

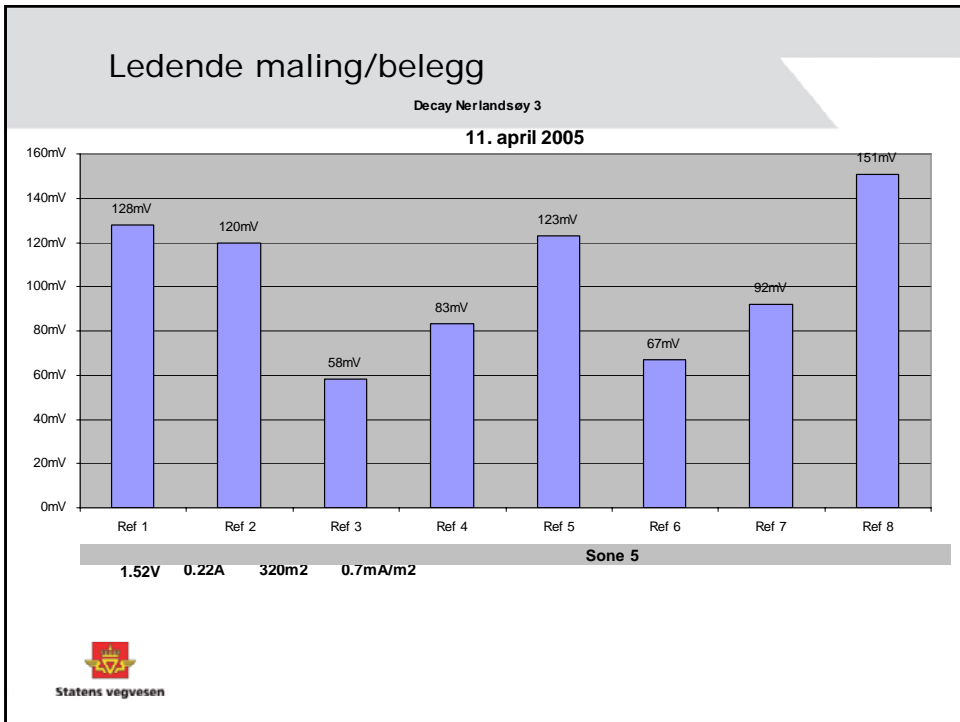
Ledende maling/belegg

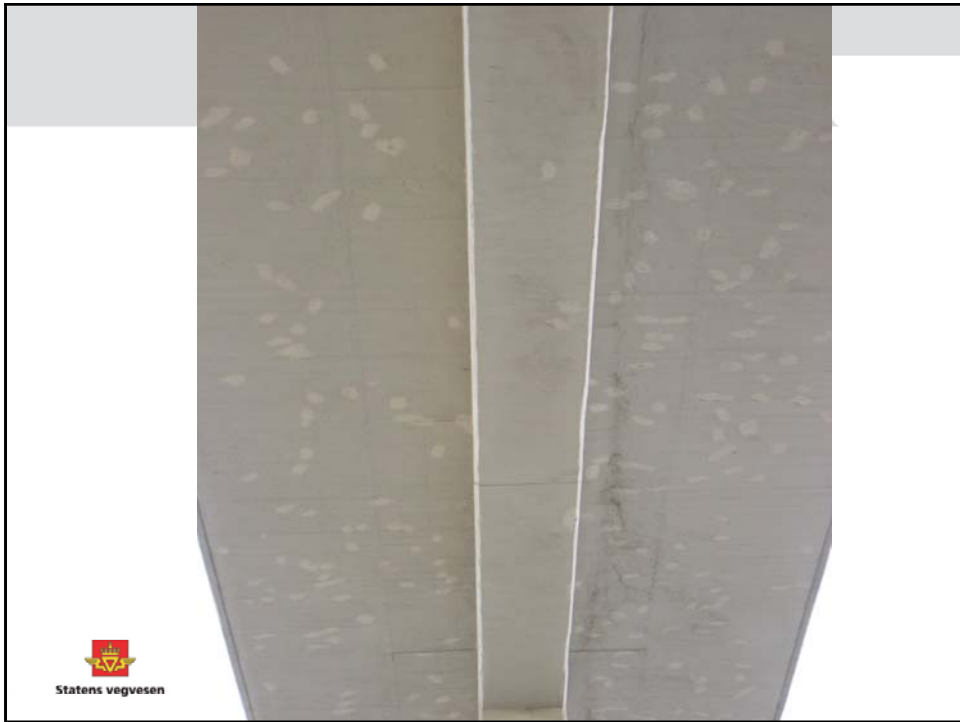




Ledende maling/belegg









### Ledende maling/belegg





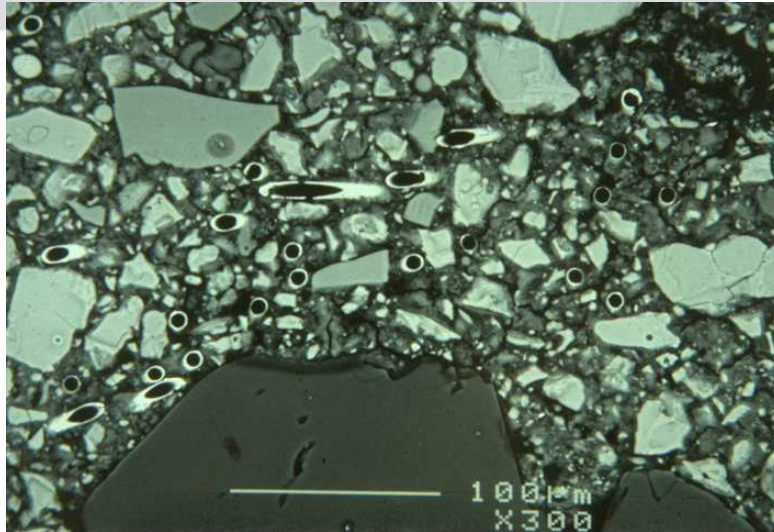
Ledende maling/belegg



Ledende maling/belegg



## Elektrisk ledende mørtel



Statens vegvesen

## Elektrisk ledende mørtel

- **Fordeler**
  - God bestandighet mot mekaniske skader
  - Liten vektøkning med kun 8 mm tykkelse
  - God seighet mhp. tøyninger
  - Meget bra heft og frostbestandighet
- **Usikkerheter**
  - Utførelsen av påføring ved sprøyting
  - Foreløpig ikke erfaring med levetider utover 15 år.



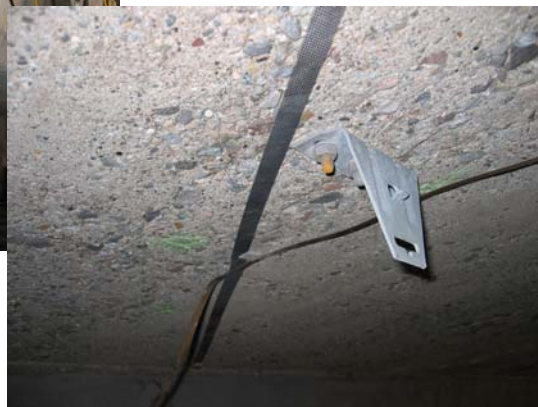
Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Elektrisk ledende mørtel



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Elektrisk ledende mørtel



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Elektrisk ledende mørtel



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Elektrisk ledende mørtel



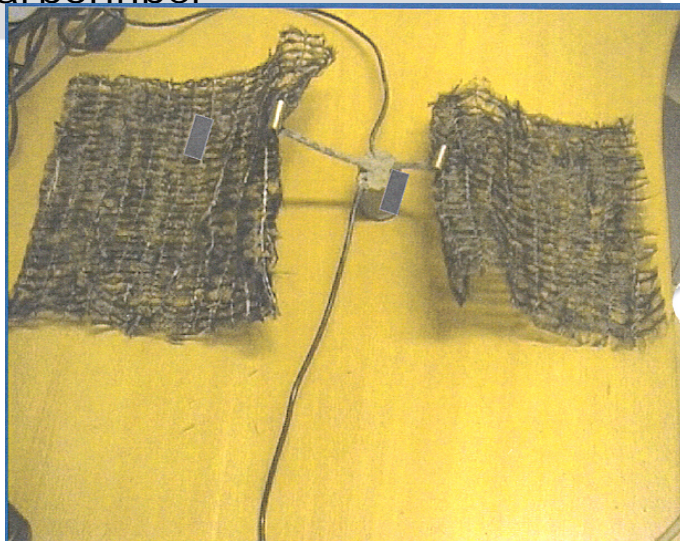
Statens vegvesen



## KB Ormsund Kai Elektrisk ledende mørtel

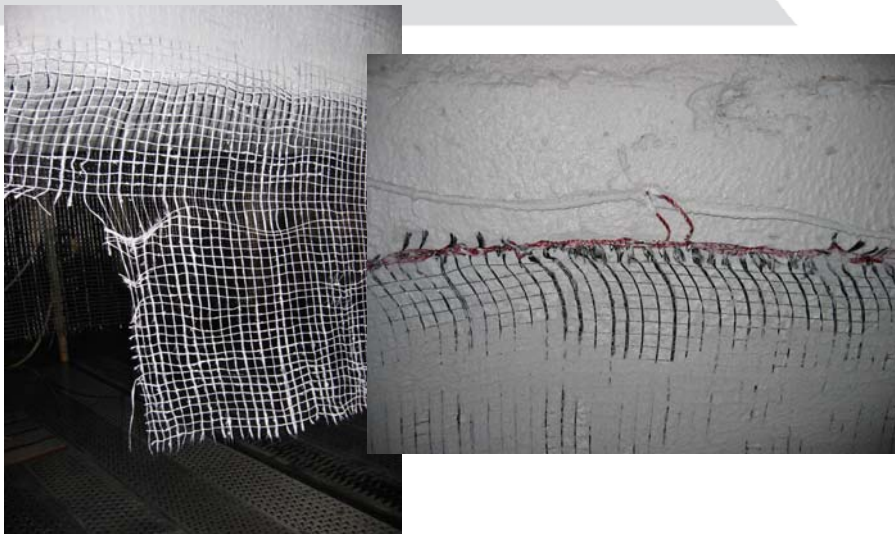


## Karbonfiber





## KB Ormsund Kai - Karbonfibernatte



## KB Ormsund Kai - Karbonfibermatte



  
Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai - Karbonfibermatte



  
Statens vegvesen







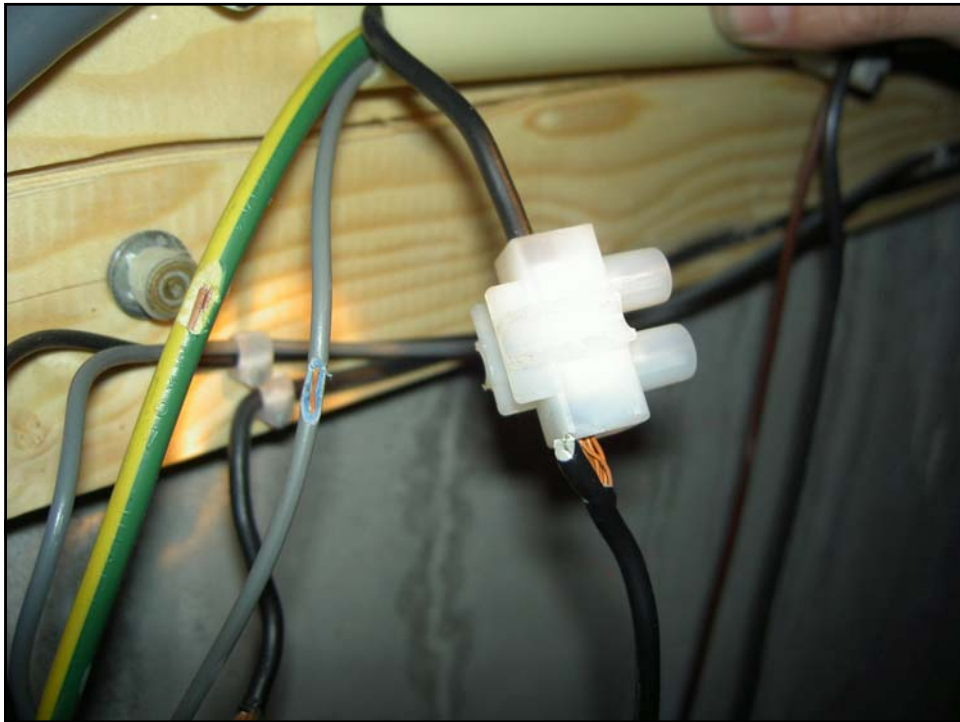


KB - elektroinstallasjoner









## KB Ormsund Kai



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai



## Viktige momenter KB

- Kyndig elektropersonell!!!!!!!
- Kortslutninger / kontinuitet
- Ikke skader på strømkabler og tilkoblinger hvor kobber er frilagt
- Heftfasthet
- Som bygget tegninger av kabling
- Drift og oppfølgingsavtaler



## Vassås bru



Statens vegvesen

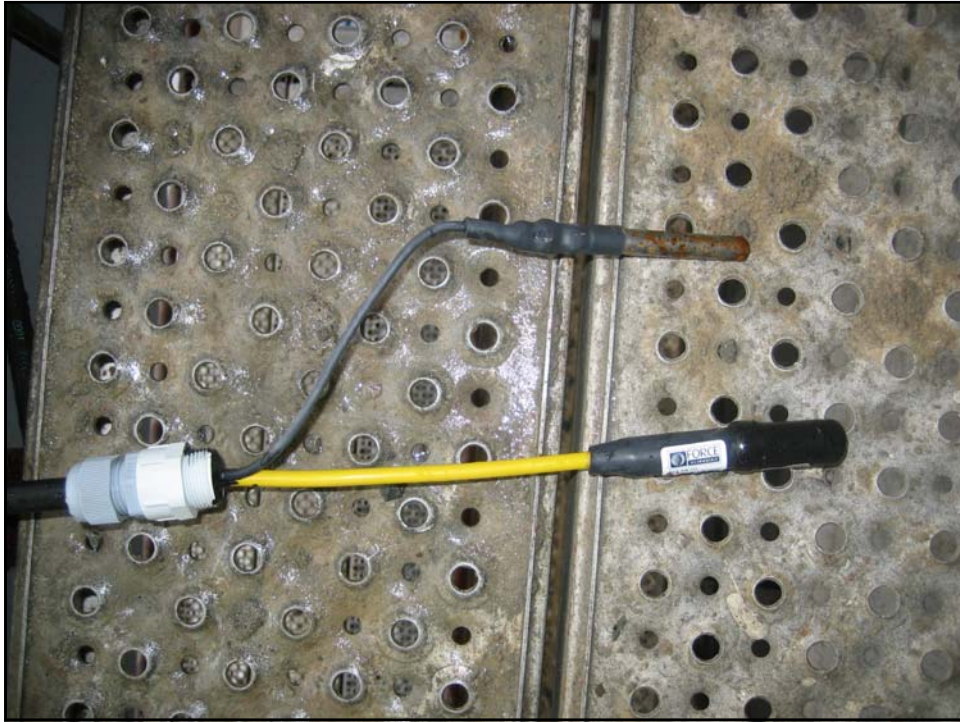


KB - elektroinstallasjoner



KB - elektroinstallasjoner

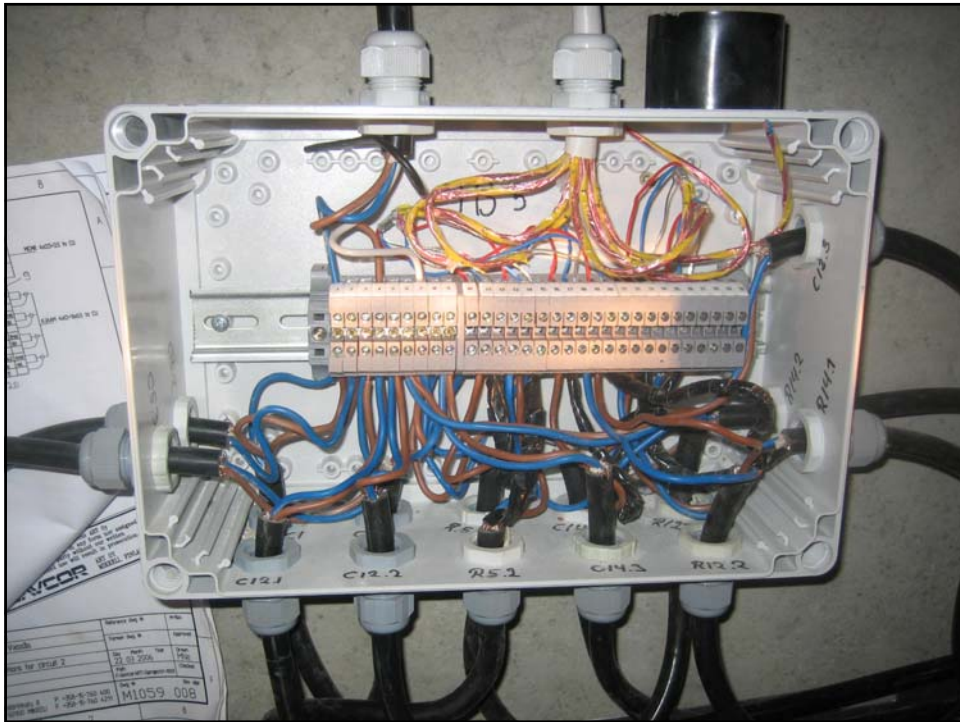




KB - elektroinstallasjoner







## KB - elektroinstallasjoner



Statens vegvesen

## KB - elektroinstallasjoner



  
Statens vegvesen

## KB - elektroinstallasjoner



  
Statens vegvesen

## KB - elektroinstallasjoner

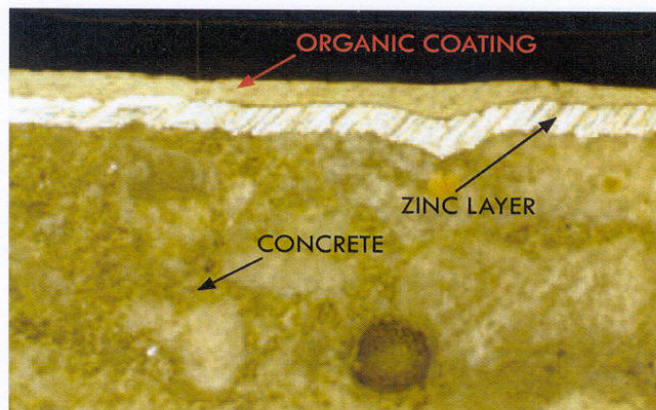


## KB - elektroinstallasjoner





## Sprøytet sink som offeranode



Cross-section of arc-sprayed zinc anode covered with organic coating.



## Sprøytet sink som offeranode

### Lysbue sprøyting

- Det benyttes ren sink 99.9% (krav for å virke som offeranode) Krever at det stilles krav til dokumentasjon på materialet
- Sprøyteutstyr for stålkonstruksjoner kan benyttes
- Levetid styrt av høyde over havet og fuktbelastning
- Organisk overflatebehandling øker levetiden



## Sprøytet sink som offeranode

### Fordeler

- Benyttet som offeranodesystem er systemet selvregulerende og det er ikke behov for et omfattende kablings og likerettssystem
- Kan som offeranodesystem legges direkte på frilagt armering der det er vanskelig å få utført reparasjoner
- Enkelt å vedlikeholde ved pålegging av ny sink

### Usikkerheter

- Levetid før påføring av ny sink
- Levetidserfaring fra Florida (Høy temp. og høyt saltinnhold)
  - 4-5 år i splashsonen
  - 10 år - 3-4 meter over vannstand
- Få erfaringer i marint miljø i Norden



**KB Ormsund Kai**  
**Sprøytet sink som offeranode**



Statens vegvesen

**KB Ormsund Kai**  
**Sprøytet sink som offeranode**



Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Sprøytet sink som offeranode



 Statens vegvesen

## KB Ormsund Kai Sprøytet sink som offeranode



 Statens vegvesen

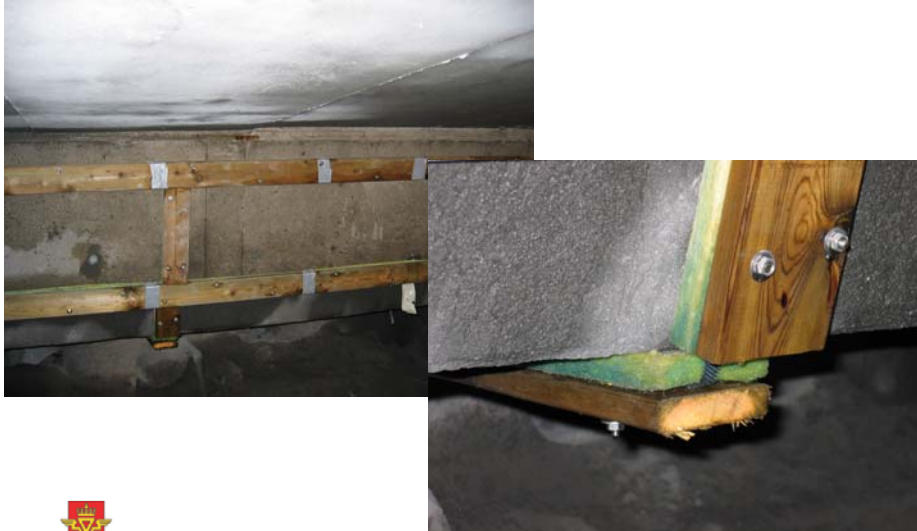
## KB Ormsund Kai Sprøytet sink som offeranode



## KB Ormsund Kai Kassett system på overflaten



## KB Ormsund Kai Kassett system på overflaten



  
Statens vegvesen

**TAKK FOR MEG**

  
Statens vegvesen

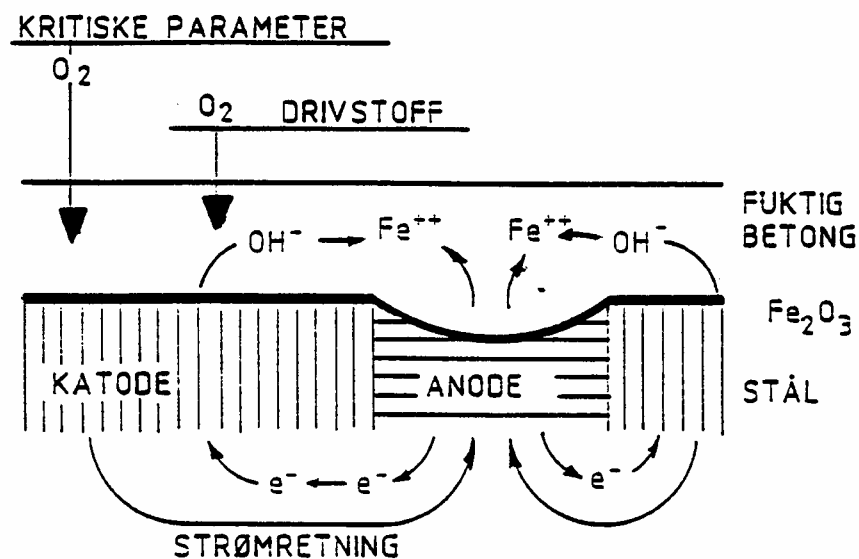


# ELEKTROKJEMISKE REPARASJONSMETODER FOR ARMERTE BETONGKONSTRUKSJONER

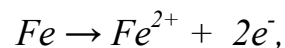
AV JAN-MAGNUS ØSTVIK ([jan-magnus.ostvik@vegvesen.no](mailto:jan-magnus.ostvik@vegvesen.no))

---

Alle bør nå kjenne til korrosjonsprosessen for stål innstøpt i betong.

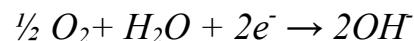


På anoden oppløses jernet;

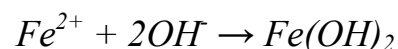


og sender ut jernioner og elektroner (dvs. jernet oksideres)

På katoden brukes disse elektronene under forutsetning av at det er vann og oppløst oksygen tilgjengelig, og løser ut hydroksidioner;



Hydroksidionene transporteres til anoden slik at det dannes rust (jernoksider);



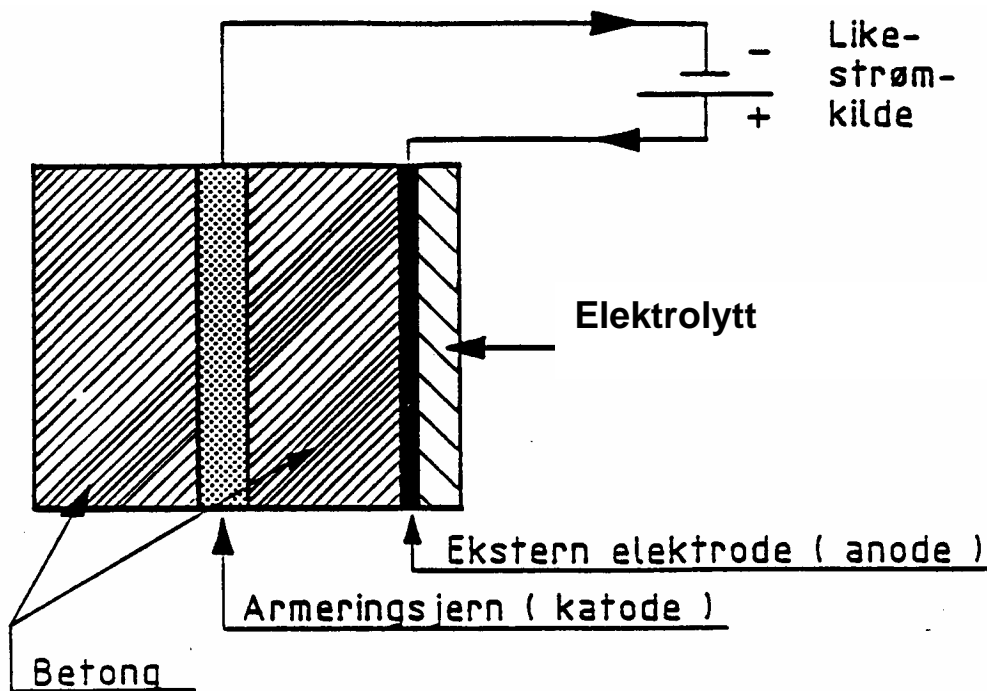
Disse kjemiske prosessene danner en elektrisk krets, ergo: ELEKTROKJEMI!!



I og med at korrosjonsprosessen danner elektrisk strøm må man kunne reversere denne ved å sette på en motsatt rettet elektrisk strøm?!

Dette er grunnlaget for alle elektrokjemiske reparasjonsmetoder for innstøpt stål i betong.

### Grunnprinsipp:



Alle metodene baseres på samme grunnprinsipp. Armeringskorrosjonen stoppes eller begrenses ved at man påtrykker en strøm gjennom betongen til armeringen slik at prosessen reverseres eller bremses.

3 hovedtyper finnes:

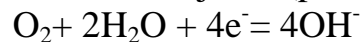
Metode	Varighet	Typisk strømtetthet
Katodisk beskyttelse	Permanent	10 mA/m <sup>2</sup>
Elektrokjemisk Realkalisering	dager til uker	1 A/m <sup>2</sup>
Elektrokjemisk Kloriduttrekk	uker til måneder	1 A/m <sup>2</sup>

Kort fortalt består Elektrokjemisk Realkalisering og Elektrokjemisk Kloriduttrekk i at miljøet som omgir armeringen forbedres med tanke på korrosjon. Man fjerner rett og slett årsaken til at armeringen ikke lenger er passiv.

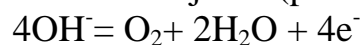
- Realkalisering hever pH omkring armeringen ved at alkalier trekkes fra en alkalierik elektrolytt som er lagt på overflaten inn til armeringen.
- Kloriduttrekk fjerner kloridioner inne ved armeringen slik at armeringsstålet igjen blir passivt.

Elektrodereaksjonene er som følger:

Katodereaksjoner (på armeringen)



Anodereaksjoner (på elektroden)

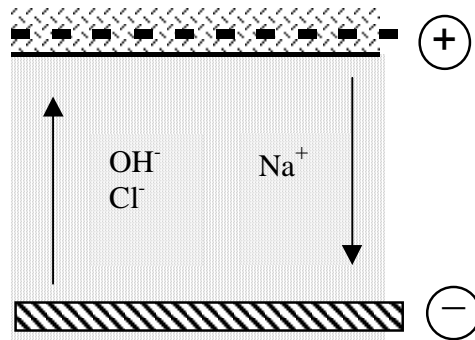


Katodisk beskyttelse er en permanent installasjon, og man begrenser/stopper korrosjonsaktiviteten på armeringsstålet ved å påtrykke en lav, men permanent strøm.

For å kunne gå videre må noen begreper om hvordan transport av partikler foregår i betong.

I hovedtrekk er det tre transportprosesser som er aktuelle:

- **Diffusjon** – forflytning av anioner (for eksempel kloridioner) fra overflaten og betongen og innover gjennom vannfylte eller delvis vannfylte porer. Hastigheten for denne inntregningen er en funksjon av betongens egenskaper som avhenger av blant annet v/c, sementtype, porøsitet etc. Dette kan uttrykkes som diffusjonskoeffisienten for betongen. Diffusjonen er også svært avhengig av det ytre miljø (overflatekonsentrasjon, temperatur, fukt etc). I tillegg avhenger inntrengningshastigheten av hvilket kation som bærer anionet som trenger inn. Diffusjonen følger Ficks lover.
- **(Elektro)Migrasjon** – forflytning av ladete partikler i væskefase. Kort fortalt går negative ioner i retning den positive elektroden, og motsatt for positivt ladde partikler. (motsatte poler tiltrekkes).



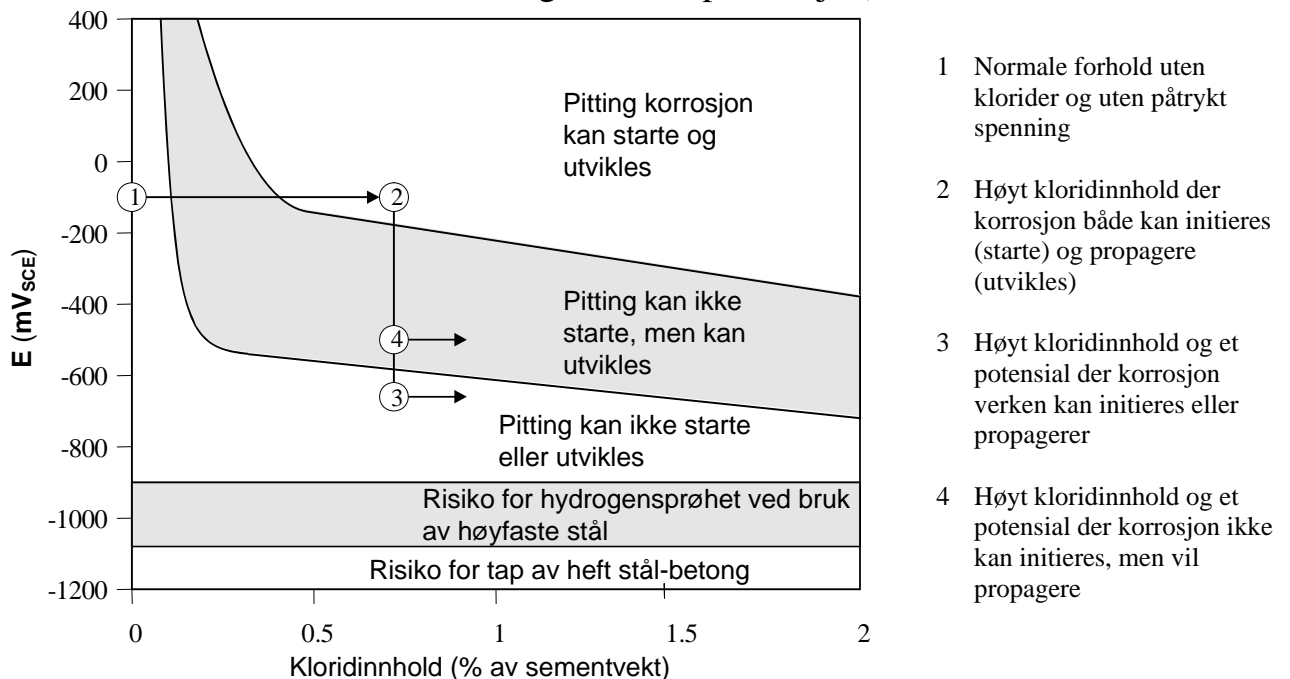
- **Elektroosmose** – massetransport av en væske i et porøst materiale på grunn av forskyvninger av dobbeltlaget under påvirkning av et elektrisk felt. Transporthastigheten avhenger av egenskapene til væsken, egenskapene til det faste materialet og til potensialdifferensen

### Katodisk beskyttelse

Metoden er vel utprøvd for betongkonstruksjoner, og har vist at den egner seg spesielt til bekjempelse av kloridinitert armeringskorrosjon.

En videreutvikling av metoden for nyere konstruksjoner er katodisk forebygging der man benytter en lav beskyttelsesstrøm.

Prinsippet bak katodisk beskyttelse, og katodisk forebygging (andre uttrykk som er brukt om dette er katodisk vern og katodisk prevensjon).



Katodisk beskyttelse er område 3 på figuren, og katodisk forebygging er angitt i område 4.

For å sikre at man lykkes er det noen generelle krav en må stille til et anodesystem for katodisk beskyttelse av innstøpt stål. Systemet må:

- enkelt kunne festes til betongoverflaten
- kunne brukes på alle typer overflate
- ha mekaniske egenskaper som egner seg ved installasjon og vedlikehold
- være bestandig og ha lave installasjonskostnader
- ikke påføre konstruksjonen uakseptabel vektøkning
- innebære akseptable endringer i utseende og dimensjoner

Når betong brukes som dekk sjikt er kravene:

- God heftfasthet til underbetongen
- Karakteristikk mest mulig lik underbetongen
  - Dvs: Mekanisk styrke og egenskaper mest mulig lik tilsvarende for underbetongen
- God ionisk ledningsevne som i minst mulig grad påvirkes av ytre faktorer

Anoden kan være:

- Utformet som et nett som formes etter betongoverflaten og som dekkes med en mørtel som fungerer som elektrolytt
- Et ledende og elektroaktivt sjikt som dekker hele betongoverflaten
- Wire eller strimler i hull eller utsparinger med gjenfylling med sementbaserte eller elektrisk ledende materialer.

Det eksisterer svært mange forskjellige anodesystemer og løsninger, hvor alle har både sterke og svake sider. Valg av anodetype og utforming av anlegget varierer fra prosjekt til prosjekt. Jeg vil kort oppsummere de mest vanlige anodetyperne.

### **Systemer basert på aktivert titan**

Generelt: Titanoverflaten gjøres elektrokjemisk aktiv ved at det påføres et mikroskopisk tynt sjikt av forskjellige edelmetaller (mixed metal oxides (MMO), iridium, ruthenium, kobolt, etc.).

1. Anodenett: Overflaten dekkes med et "hønsenett" av titan. Denne anodetypen har gode mekaniske egenskaper og kan festes til alle typer overflater, kan formes og kuttes for å fordele nødvendig strøm. På eksisterende konstruksjoner må metallet dekkes med sprøytebetong.

Fordeler	Ulemper
Høy kapasitet (kan levere mye strøm)	Påfører konstruksjonen ekstra vekt
Lett å forme	Dyr metode
Jevn strømforeling	Krever kompetanse i alle ledd

2. Båndanoder- mikronett: Anodebåndene legges utenpå overflaten eller i utfreste spor. Denne anodetypen har gode mekaniske egenskaper og kan festes til alle typer overflater, kan formes og kuttes for å fordele nødvendig strøm. På eksisterende konstruksjoner må metallet dekkes med sprøytebetong.

Fordeler	Ulemper
Høy kapasitet (kan levere mye strøm)	Arbeidskrevende ved utfresing av spor som gjør at metoden blir dyr.
Installasjonen kan tilpasses hvert enkelt prosjekt.	Krever kompetanse i alle ledd
Lett å forme	
Rimelig metode	
Jevn strømfordeling	

3. Punktanode: Punktanodene plasseres i forborrede hull med en dybde som passer strømleveringsbehovet til det aktuelle prosjektet. Mellom anoden og betongen må det fylles en elektrolyttisk ledende masse (vanligvis grafittbasert)

Fordeler	Ulemper
Høy kapasitet	Avhengig av en ledende elektrolytt
Kan beskytte flere armeringslag	Ved karbonmasse kan denne brytes ned ved høy spenning
Forholdsvis rimelig	Fare for overbeskyttelse (overdekning)
Velutprøvd metode	Krever kompetanse i alle ledd

## Prosessparametere

Nødvendig strømtetthet for å redusere/stanse armeringskorrosjon på konstruksjoner i luft er opp mot  $20 \text{ mA/m}^2$  ståloverflate. Strømbehovet avhenger av kloridinnholdet i betongen og øker med økende kloridinnhold. Dette strømbehovet minsker med tiden og typiske langtidsverdier er  $10 \text{ mA/m}^2$  for systemer med aktivert titan og  $2 \text{ mA/m}^2$  eller mindre for systemer med ledende belegg.

Situasjonen er annerledes hvis oksygentransporten er en begrensende faktor – som f.eks. for vannmettet betong (betong i vann). I dette tilfellet er nødvendig strømtetthet for å oppnå tilstrekkelig polarisasjon i området  $0,2 - 2,0 \text{ mA/m}^2$  armeringsareal. I slike tilfeller vil potensialet være meget negativt.

Kriteriet for beskyttelse er et potensial mer negativt enn  $-720 \text{ mV}$  mot Ag/AgCl.

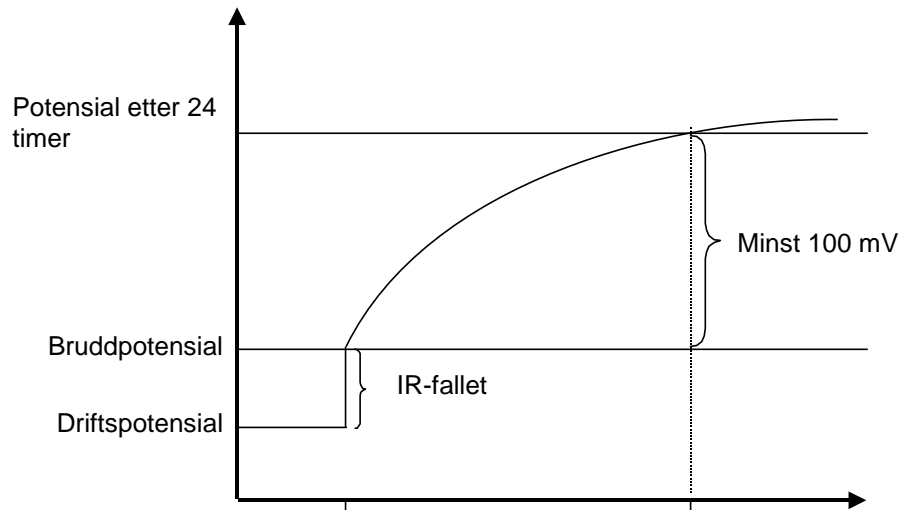
Elektrode	Potensial (mV, NHE)
Kalomel	+244
Sølv/sølvklorid	+199
Kobber/kobbersulfat	+316
Mangandioksid	+365
Grafitt	+150 +/-20
Aktivert titan	+150 +/-20
Syrefast stål	+150 +/-20
Bly	- 450 +/-20

Elektrode	Oppbygging	Kommentar
Sølv/sølvklorid	En sølvstav i en pasta av sølvklorid omgitt av mettet eller 0,5 molar kaliumklorid	En klassisk referanseelektrode som brukes mye i betong
Mangandioksid (ERE 10 eller ERE 20)	En grafittstav i en pasta av mangandioksid omgitt av mettet eller 0,5 molar kaliumhydroksid	En meget utbredt referanseelektrode for innstøping i betong
Oksygenelektroder - Grafitt - Aktivert titan - Rustfritt stål	Lages ved å isolere alle sider unntatt endeflaten av små lengder av materialet	Potensialverdien avhenger av oksygeninnholdet og pH i betongen. Bør bare brukes for kortvarige målinger, f.eks. kontroll av katodisk beskyttelse
Blyelektrode	Lages ved å isolere alle sider unntatt endeflaten av små lengder av bly	En korroderende elektrode

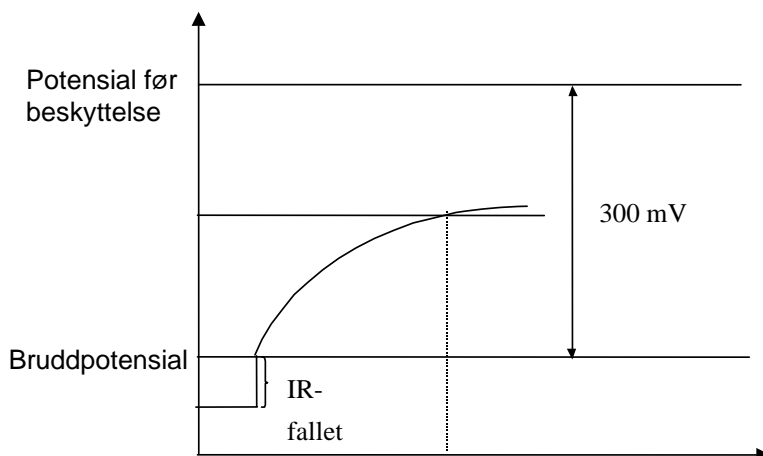
Kravene (kriteriene for oppnådd beskyttelse) er vanligvis:

- Bruddpotensialet skal enten være minst 100 mV mer negativt enn potensialet målt i samme punkt 24 timer etter at anlegget er slått av (depolariseringskriteriet).
- Bruddpotensialet skal være minst 300 mV mer negativt enn potensialet før anlegget ble satt på (potensialendringskriteriet).

Kriteriene er illustrert i figurene nedenfor:



Depolariseringskriteriet ved katodisk beskyttelse av betongkonstruksjoner



Potensialendringskriteriet ved katodisk beskyttelse

Kravene er i henhold til NS EN 12696-1 (europeiske standard for katodisk beskyttelse). Det kan vurderes om det skal brukes mindre strenge krav ved



relativt lave kloridinnhold og ved spesielt høyt fuktinnhold i konstruksjonen. For å unngå å komme i konflikt med NS EN 12696-1 må godkjenningskravet tilpasses lokale forhold på forskjellige soner på konstruksjonen.

Ved fastsettelse av beskyttelseskriterier skal det være angitt antall referanseelektroder, målefrekvens samt krav til godkjenning av akseptkriteriene.

Godkjenningskravet kan være basert på %-vis andel av referanseelektroder som tilfredsstillt kravet, %-vis andel av enkeltmålingene for hver elektrode som tilfredsstillt kravet eller en kombinasjon av disse. Beskyttelseskriteriene fastsettes endelig etter at prøvefelt er montert og utprøvd.

Dette kontrolleres ved å slå av strømmen og registrere endringen i potensialet som funksjon av tid som vist i figurene. Denne overvåkingen utføres ved hjelp av referanseelektroder som er innstøpt i representative områder på konstruksjonen.

Når strømmen slås av endres armeringens potensial fra polarisert til ikke-(eller mindre) polarisert.

Det er empirisk påvist at en depolarisering på minimum 100 mV innebærer tilstrekkelig beskyttelse for betongkonstruksjoner over vann. For neddykkede eller nedgravde konstruksjoner brukes andre kriterier.

I noen tilfeller, for eksempel i plaskesonen (og selvsagt i vann) kan mer absolutte kriterier være hensiktsmessig: f eks beskyttelse er oppnådd når potensialet er mer negativt enn -720 mV målt mot Ag/AgCl.

**For å unngå overbeskyttelse må potensialet ikke være mer negativt enn -1100 mV målt mot Ag/AgCl for vanlig armering eller -900 mV for spennarmering.**







**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Postboks 8142 Dep  
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN 1504-5005