

# Intern rapport

## Intern rapport nr. 2252

Strukturanalyse og tynnslip-  
mikroskopi for riktig diagnose  
av "betongsjukdommar"



**Statens vegvesen**  
Vegdirektoratet

20.12.2001

**Vegteknisk avdeling**

## Strukturanalyse og tynnslipmikroskopi for riktig diagnose av "betongsjukdommar"

### Samandrag

Denne rapporten gir ein kortfatta oversikt over strukturanalyse, tynnslipmikroskopering og andre analysar som nyttast i samband med undersøkingar av betong. Slike analysar er svært viktige med tanke på å avdekke årsaker til betongskade, og er i utstrakt bruk i utlandet. Vegteknisk avdeling har utført slike analysar sidan 1996.

Rapporten er ein litt omarbeidd versjon av foredrag holdt på SK-kurset "Bestandige betongkonstruksjoner og erfaringstilbakeføring", 7-8 November 2000, Quality Airport Hotell Gardermoen.

Emneord: *Betong, erfaringsoverføring, skade, strukturanalyse, tynnslip, kjemisk analyse*

Kontor: *Geologi og tunnelkontoret*

Saksbehandler: *Per Hagelia*

*/perhag*

Dato: *20.12.2001*

# Innhold

<b>1 Innleiing</b>	s. 2
<b>2 Erfaringstilbakeføring</b>	s. 2
<b>3 Diagnose av «betongsjukdom» : auka behov for struktur- og tynnslipanalyse</b>	s. 3
<b>4 Eksempel</b>	s. 5
<b>5 Konklusjonar</b>	s. 6

**Vedlegg 1** Foto av sulfatangrep på sprøytebetong i Oslo

---

## 1 Innleiing

Vegvesenet har ansvar for bygging, forvaltning og vedlikehald av eit utal vegkonstruksjonar der betong går inn som eit meir eller mindre viktig byggematerial. I samfunnsøkonomisk perspektiv er det avgjerande at ein heile tida har god kontroll over summen av alle kostnader; frå planlegging, via anlegg til vedlikehald. Dette er ikkje mogleg utan stor vekt på formidling av både etablert- og ny kunnskap. I tillegg gjer folk nye erfaringar kvar dag, både ute i praktisk arbeid og gjennom forskning og utvikling.

Betong blir brukt i svært mange samanhengar. Trass i eit godt rykte som fleksibelt byggematerial har det likevel vist seg at ein del betong ikkje alltid held mål på kort eller lang sikt. Kloridinntrenging og armeringskorrosjon på bruer er eit velkjent eksempel på dyrkjøpte erfaringar.

Grunn- og fundamenteringsforhold: inklusive berggrunn-/ lausmassetype, sjø- og grunnvatn, verkar direkte eller indirekte inn på betongkvalitet og levetid. Betongreseptane (tilslag, sementtype, tilsetningsstoff, v/c -tal m.m.) må derfor lokalt tilpassast desse forholda for å lage ein bestandig betong. Nokre kombinasjonar av delmaterial og byggegrunn er skadelege og kostnadsdrivande.

## 2 Erfaringstilbakeføring

Viktige erfaringar er nedfelte i standardar, normalar, retningslinjer og kvalitetssystem. Dette skal idéelt sett danne grunnlag for å sikre betongen tilstrekkeleg levetid. Fordi dette ikkje alltid er tilfelle er det naturleg å stille følgjande spørsmål:

- 1) Kva slags erfaringar er viktige med tanke på bestandigheit og levetid?
- 2) Kva er årsakene til at betong i blant svekkast eller bryter ned?
- 3) Bruker vi riktige metodar for å finne årsakene?

Foredraga på dette kurset vil til saman gje gode svar på desse spørsmåla, og idear om korleis ein på best måte kan sette erfaringane ut i livet.

Dette innlegget tar sikte på å vise at ein i Statens vegvesen bør legge større vekt på strukturanalyse og tynnslipmikroskopering (betongpetrografi). Desse metodane har vore nytta i for liten grad hos oss, og potensialet er illustrert med fleire eksempel.

---

### 3 Diagnose av «betongsjukdom» : auka behov for struktur- og tynnslipanalyse

Underteikna vil hevde at struktur- og tynnslipanalyse av betong er underkjent som undersøkingsmetode i Statens vegvesen. Ein nyttar ikkje det potensialet som finst fullt ut. Hb 136. Inspeksjonshåndbok for bruer gir i kap. 7.3.6 ei kortfatta oppsummering av metoden og vanlege bruksområde. Endå fleire bruksområde finst likevel.

På side 115 i denne handboka står det følgjande (mi understreking) :

«Plan og tynnslip er gode metoder for bestemmelse av betongens kvalitet, men er destruktive, kostbare og tidkrevende. De er bare aktuelle å bruke når eventuelle skader og skadeårsaker ikke kan fastslås på annen måte, eller når det er viktig å finne betongens sammensetning. Det er bare en liten bit av hele konstruksjonen som analyseres. Det er derfor viktig å ta ut representative borkjerner og ikke trekke for omfattende konklusjoner basert på analysen.»

Generelt er det utan tvil slik at mange andre metodar også er destruktive. Det er ikkje utan vidare riktig at undersøking av ei kjerne med 1-2 tynnslip er så dyrt. Det er riktig at ein del analysar kan vere tidkrevjande, men i mange tilfelle er dette ein rask metode, særleg når det gjeld å finne skadeårsak.

Ein bør i tillegg vite at svært mange årsaker til betongskade IKKJE kan oppdagast utan tynnslip. Underteikna vil ofte velge å gå rett til tynnslip av typisk og representativt materiale. På denne måten blir skaden oftast identifisert direkte, og vi unngår omvegar og lange diskusjonar.

Så lenge ein har tatt ut representative prøver av skadd område (ei kjerne og 1-2 tynnslip er ofte nok) kan skadeårsaka i dei fleste tilfelle avdekkast. Det er faktisk mindre risiko for å trekke for omfattande eller feil konklusjonar enn ved bruk av andre metodar.

Fordelen med denne type analyse er at vi ser skaden, omfanget og måten den utviklar seg på. I nokre tilfelle kan skaden ha klar samanheng med tilslaget: i andre tilfelle har skaden sitt utspring i sementpastaen eller miljølastar.

Det viktigaste er faktisk å forsikre seg om at prøvetakinga (kjerner m.m) er representativ. Men representativ prøvetaking er eit generelt problem ved all prøvetaking, og utfordringa er derfor den same uansett kva metode vi skulle velge.

Dersom ein ønsker å unngå mange kjerner (diameter 100 mm; lengde ca. 20-40 cm) med gjennomboring av armeringsjern, er det fullt mogleg å hald dette på eit minimum. Lokalisering av armeringsjern er vanleg i praktisk bruinspeksjon, og gir rom for utboring mellom armeringsjerna. Om nødvendig kan ein ta ut små kjerner med mindre diameter berre for tynnslip og skadeidentifikasjon. Dette kan vere ein stor fordel ved prøvetaking av konstruksjonsdelar som alt har mista mykje av bærevna.

Internasjonalt står betongpetrografi og strukturanalyse sterkt, og har fått stadig aukande betydning. Metodane har vore etablerte ved Vegteknisk avdeling sidan 1996/1997, og vi har

etter kvart skaffa oss verdfulle erfaringar og vil utvikle reportoaret av analysemetodar etter behov.

Strukturanalyse utførast på planslipa som er impregnerte med eit fluorescerande stoff. Dette stoffet fyller i porer og riss, og i ultrafiolett lys (UV-lys) kjem porøsitet og rissmønster tydeleg fram. Planslipa gir informasjon om:

- \* Porer og riss generelt
- \* Fordeling av tilslag e.t.c.
- \* Luftinnhald/avstandsfaktor og frostbestandigheit
- \* Oppsprekking/rissutvikling: Dette kan vere karakteristisk for ulike skadetypar.
- \* m.m.

Tynnslip (ei tynn ca.25 mikrometer tjukk flis av betongen montert på lita glasplate) Tynnslipet er impregnert på same måte som planslipet, og her kjem mikroporane og mikroriss tydeleg fram. Tynnslipet gir informasjon om:

- \* Mikrostruktur (porer og riss, blødning etc)
- \* v/c tal (omtrentleg)
- \* Karbonatisering
- \* Hydratiseringsgrad
- \* Tilslagstype
- \* Kjemiske reaksjonar (skadelege eller ikkje skadelege; alkalireaksjonar, sulfatangrep etc).
- \* Dispergeringsgrad av silikastøv

Betongkjernene kappast på langs, og den eine halvdelan preparerast som planslip (ser på flate som er 10 cm x ca. 20-40 cm). Det er ein stor fordel å reservere den andre halvdelan for tynnslip. Vegteknisk avdeling utfører rutinemessig prepareringsarbeidet.

I mange tilfelle er det mogleg å finne svar på skademekanisme ved hjelp av små prøver. Og dette er ofte eit viktig supplement til borkjærnene.

*Røntgendiffraksjon* er i denne samanhengen ein svært nyttig metode. Det er ikkje behov for meir enn 1-2 gram prøve for å finne samansetningen til for eksempel produkt danna ved nedbryting. På denne måte kan ein ofte lett skilje mellom ulike slag kvite utfellingar på betongoverflater. Ein enkelt analyse kostar som regel berre nokre få hundre kroner.

Det også nyttig å utføre *kjemiske mikroanalysar* (mikrosonde, scanning elektronmikroskopi e.t.c). Desse analysane utførast direkte på polerte tynnslip utan dekkglas, og nyttast dersom det er vanskeleg å identifisere nedbrytingsprodukt og skadeårsak ved tradisjonelle metodar. Metodikken er nødvendig dersom det er behov for å undersøke samansetninga til f.eks sementhydrat, klinker eller avdekke detaljar om kjemiske reaksjonar som har ført til betongskade. Analysane er ikkje så veldig dyre (ein kjem langt med 2000-3000 kroner).

I mange tilfelle vil det vere nyttig å analysere samansetning, pH-verdi m.m i *vatn* (og jord) som står i kontakt med betongkonstruksjonen. Det er berre på denne måten ein kan får oversikt over dei faktiske miljøløstene. Det er skjeldan behov for mange prøver, og prisen ligg i praksis på rundt 500-1500 kroner per prøve.

I neste kapittel går vi kort gjennom eit utval av eksempel. Merk bl.a. at metodane også kan nyttast til kvalitetskontroll av ny betong.

## 4 Eksempel

Undersøking av betongskader krev at ein skil mellom hovudårsak og følgjeskader. Tiltak (reparasjon eller overføring av erfaring på nye konstruksjonar) er avhengig av at vi kjenner hovudårsaka.

### Kloridinntrenging

*Typisk eksempel:* Sjøvatn trenger inn i betong og når fram til armeringsjerna (korrosjon)

*Årsak:* Overdekning ofte for snau eller for høg porøsitet

*Tiltak/reparasjon:* Auke overdekninga ( bortmeisling av dårleg betong og påføring av sprøytebetong,og evt membran). Sikre god overdekning og låg porøsitet i ny betong.

*Effekt av tiltak:* Riktig utført, varig

*Struktur og tynnslip:* Undersøke korrosjon av armering/stålfibrar m.m. Kan vere behov for å sjekke om det er andre skademekanismar.

### Karbonatisering

*Typiske eksempel:* I god betong “problemfritt” overflatefenomen. I opprissa betong trenger karbonatiseringa under overflata og kan nå armeringsjerna (korrosjon)

*Årsak:* Sementhydrata i betongen reagerer med karbondioksid i lufta. Det blir danna kalsiumkarbonat og pH verdien til porevatnet blir senka til 8-9, og stålet vil då begynne å ruste.

*Tiltak/reparasjon:* Tilsvarande kloridinntrenging.

*Struktur og tynnslip:* Viser eintydig kor langt karbonatiseringa har nådd.

### Alkalireaksjonar

*Typisk eksempel:* Omfattande krakelering på betongoverflata.

*Årsak:* Alkalier i sementpasta og tilslag reagerer med reaktiv kvarts og det dannast gelar som sveller under variabelt høge trykk (overskrider strekkstyrken til betong): Indre prosess, som også er avhengig av fuktnivået. Svellinga fortsetter vanlegvis etter reparasjon.

*Tiltak/reparasjon:* Tiltak for nybygging. Bruke ikkje-reaktivt tilslag, eller der det er reaktive bergartar bruke silikastøv eller flyveaske. Reparasjon; tilsvarande over, men med vekt på å redusere fuktnivå (om mogleg ved dreneringstiltak m.m. ) og påføring av membranar som lukkar rissa; Dersom mebrana er fleksible/elastiske kan ein redusere omfanget av framtidig reparasjon.

*Struktur og tynnslip;*

Nye bygg: Mikroskopering av aktuelle tilslag med tanke på alkalireaktivitet, evt kontroll av dispergeringsgrad for silikastøv i prøvestøyp.

Gamle betongkonstruksjonar: Dokumentasjon av alkalireaksjon, omfang inklusive effektar av følgjeskader (frost etc.).

---

## Sulfatangrep

*Typisk eksempel i Norge:* Oppsmuldring og nedbryting av sementpasta.

*Årsak:* Sulfatmineralet ettringitt (tradisjonell tolking). Nye undersøkingar ved Vegteknisk avdeling tyder på at sulfatmineralet thaumasitt også er viktig. Ettringitt dannast på porer og riss, og sveller under krystallvekst. Thaumasitt kan derimot delvis erstatte sementpastaen "frå kant", og er ikkje hindra av vanleg sulfatresistent sement. Tilsetning av veldispersert silikastøv kan derimot hindre at denne reaksjonen utviklar seg raskt.

*Tiltak/reparasjon:* Manglar eintydig erfaringsgrunnlag og regelverk, SR -sement hindrar ettringitt, men favoriser truleg thaumasitt.

*Struktur og tynnslip;* Store porøse område i sementpasta. Tynnslip viser ein del, men sikkert skilje mellom thaumasitt og ettringitt krev kjemiske mikroanalyser,

## Eksempel på kvalitetskontroll

*-Dispergeringsgrad - silikastøv.* Dersom silikastøvet klumpar seg vil berre ein del av totalt tilsett silika verke som planlagt (mindre tett betong, alkalireaktive tilslag vil reagere lettare, e.t.c). Klumpar av silikastøv kan i seg sjølv gje lokale alkalireaksjonar, men denne type alkalireaksjon er neppe svært skadeleg.

*Tynnslip:* Ikkje dispersert silikastøv trer tydeleg fram.

I tillegg er det mogleg å etterprøve om porestrukturen blei som venta; svinnriss?; uregelmessig fordeling av luftporer?; varierer vatn/sement forholdet i betongen? (undersøking i ultrafiolet lys); er betongen frostbestandig? (måle avstandsfaktor) m.m.

## **5 Konklusjonar**

1) Kvar gong vi ikkje skaffar sikker dokumentasjon av årsaka til betongskade («unødvendig, vi skal jo likevel erstatte dette med ny betong») så står vi i fare for systematisk å skjere vekk dei mest verdfulle erfaringane.

2) Strukturanalyse og tynnslip m.m. har eit stort potensiale, men må alltid sjåast i lys av storskala trekk og meir tradisjonelle undersøkingar.

3) I blant kan det vere behov for å vite meir om grunn- og fundamenteringsforhold, grunnvasskjemi etc.

Dette har betydning for både framtidig bygging såvel som reparasjon. Vi skal hugse på at kjente nedbrytingsmekanismer som alkalireaksjonar, ettringittskade og svært mange andre skadetyper *aldri* ville ha blitt oppdaga utan strukturanalyse, mikroskopi og kjemisk/mineralogisk analyse. Analysemetodane er ikkje dyre.

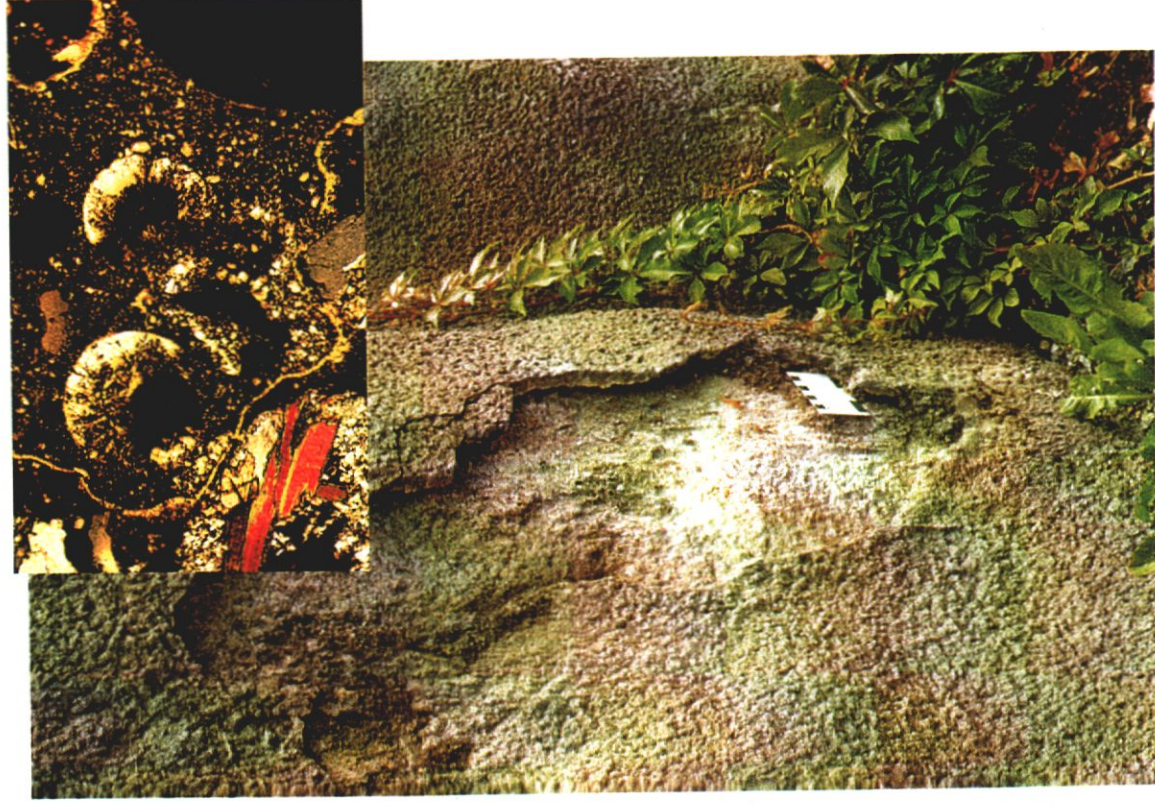


## Vedlegg 1

*Foto av sulfatangrep på sprøytebetong i Oslo*

*(i felt og i tynnslip)*

---



Sulfat-angrep i 13 år gammel sprøytebetong med SR sement (på alunskifer)

Effekt: Avskaling p.g.a. pulverisering i eit 1-2 cm tjukt lag.

Fiberkorrosjon pga karbonatisering

Hovudårsak: Thaumasiitt. Kan ikkje identifiserast sikkert utan tynnslip og kjemisk mikroanalyse (innfelt mikrofoto: minner om ettringitt)

SR sementen er ikkje fullt ut effektiv  
Ikkje alt kvitt er «kalkutfelling»