

# **Intern rapport nr. 2167**

**Vern av betong mot alunskifer**

**Juli 2000**

**Vegteknisk avdeling**

# Intern rapport nr.

## Vern av betong mot alunskifer

### Sammendrag

I Norge er alunskifer betegnelsen på svarte skifre som gir svart strek ved stryking på ru porselensplate. De forekommer i et ca 50 m tykt lag i den kambrisk/ordoviciske lagrekken og inneholder noe karbon, svovelkis, magnetkis og kalkspat i tillegg til skifer materialet.

I 1930-årene ble man klar over at alunskifer forårsaket skader på betong, og "Alunskiferutvalget" ble etablert for å utrede problemet. Et innhold på 0.001 vekts-% svovel i form av magnetkis ble funnet å være skadelig. Dessuten førte drenering og lufttilgang til at skiferen svullet og forårsaket skader på bebyggelse.

Utvalgets arbeid førte til en praksis med sprøyting av asfalt på alunskiferen som beskyttelse før kontaktstøp med betong, samt bruk av sulfatresistent sement. Nye krav til kvalitet og levetid gjør det nå nødvendig å innføre retningslinjer for beskyttelse av betong mot skadevirkninger av alunskifer. Det kreves et utviklingsarbeid for å finne frem til et bedre klassifiseringsgrunnlag for skadevirkningen

Emneord: *Betong, alunskifer, forvitring, sulfat, kisminerale, bygningskader*

Kontor: *Geologi og tunnel*

Saksbehandler: *Arne Grønhaug*

*/ AG*

Dato: *Juli 2000*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

**Vegteknisk avdeling**

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

# Innhold

Bakgrunn

Hva er alunskifer

Alunskifer-utvalgets resultater

Klassifisering av alunskiferens reaktivitet

Byggetekniske konklusjoner

Behov for nye undersøkelser

Supersulfatbetong

Vern/Isolering av betong

Referanser

## Bakgrunn

I 1930-årene ble man klar over at alunskifer forårsaket skader på, enten som tilslag i eller kontakt med betong. Men det gikk helt til 1943 før problemet ble tatt opp. Holmenkollbanen A/S bestilte da en utredning fra Mineralogisk/Geologisk Museum i forbindelse med planer om forlengelse av T-banen østover fra Nationalteateret.stasjon.. Ved siden av den geologisk/geokjemiske ekspertise som fantes der ved Tom F. W. Barth og Christoffer Oftedahl, representerte Museet et av de verste eksempler på slike betongskader.

I 1947 ble det etablert en prosjektgruppe, kalt "Alunskifer-utvalget", for å "bidra til belysning av visse byggetekniske problemer ved Oslo-områdets alunskifere". I dette arbeidet deltok NGI, NSB, Universitetet i Oslo, Geologisk Museum og Veglaboratoriet. Resultatene av arbeidet ble lagt frem i en rekke rapporter i NGI's serie, og prosjektet ble avsluttet i 1973.. Se Bastiansen, R., Moum, J., Rosenqvist, I. Th., 1957; Fiskaa, O., Hansen, H., Moum, J. 1971 og Fiskaa, O.M. 1973.

I forbindelse med bygging av tunneler gjennom alunskifer i Oslo i 1999 ble spørsmål om utførelse igjen aktualisert. Det synes som om lærdommen fra 30 år tilbake er glemt, og det er kommet forespørsler om hvilke retningslinjer som er gjeldende på området. Det viste seg at det ikke fantes retningslinjer, men derimot en gammel hevdvunnet praksis. Det bør imidlertid nå stilles spørsmål om de gamle løsninger er i pakt med nye og strengere krav til kvalitetssikring og levetid av konstruksjoner. Spørsmålet bør derfor tas opp igjen i lys av dette.

## Hva er alunskifer

I Norge er alunskifer betegnelsen på svarte skifre som gir svart strek ved riping med kniv eller, mere spesifikt, ved stryking på uglasert porselensplate. Betegnelsen kommer av at alunskifer på 1700-tallet ble benyttet til fremstilling av alun, et sulfatsalt som bl.a ble brukt til garving. Alunskiferen forekommer i et ca 50 m tykt lag i den Over-kambriske til Under-ordoviciske lagrekke. For utbredelsen i overflaten i Oslofeltet se kart, *fig 1*, side 7. Enkelte steder kan den dekke store områder av bergoverflaten på grunn av flat lagstilling, eller fordi foldingen har ført til fortykninger av lagpakken.

Alunskiferlagene kan inndeles i tre komponenter, 1) finkrystallinsk grunnmasse, 2) kalkspat og 3) sulfidminerale. Grunnmassen består av metamorf (omvandlet) leirskifer og inneholder illitt, kvarts, noe feltspat, karbon, og som regel kalkspat. Kalkspaten forekommer også i form av konkresjoner (Bolle- eller diskosformete, kjemisk utfelte anrikninger), lag, linser og boller. Sulfidminerale forekommer finfordelt, i linser eller konkresjoner. Det ble ikke funnet andre kisminerale enn svovelkis og magnetkis. Innholdet ligger i gjennomsnitt på 6-10 vekts-%, målt som svovel.

I overflaten eller i drenerte områder er alunskiferen betydelig forvitret. Her kan det forekomme betydelige mengder sekundære minerale som jarositt, gips, hydroksider og oksider, mest i form av rust. Dette viser seg ved hvit (gips) og rødbrun (rust) utfelling på bergoverflaten.

Den svarte fargen kommer av innhold av karbon, som i Oslo-området alunskifer foreligger i form av antrasitt. I den norske fjellkjeden, utsatt for høyere grad av metamorfose, foreligger karbonet som grafitt. I Sverige og Estland har Kambro-silurlagene vært lite utsatt for metamorfose, og her finnes endel av karboninnholdet i form av bitumen. Således har de svenske alunskiferne brunlige fargenyanser (kfr. brunkull), og betongskader tilsvarende dem i Oslo-området har vært av mindre betydning. Dette viser at det er kis i alunskiferens metamorfosegrad som er skadelig.

Karbon-innholdet kan i alunskiferen variere fra et par prosent opp til 50, som funnet i en forekomst ved Gjøvik, men med et gjennomsnitt på 7-8vekts-%. Dessuten inneholder alunskiferen flere mere sjeldne grunnstoffer. Mest bemerkelsesverdig er uran, som med et innhold på 30-180 g pr tonn kan ha interesse for utvinning. Dette faktum bør også få oppmerksomhet for HMS-arbeidet i forbindelse med anlegg i alunskifergrunn, der radoninnholdet i tillegg vil bidra til radioaktivitet som kan komme opp i skadelige konsentrasjoner.

## Alunskifer-utvalgets resultater

Utvalget satte igang innsamling av informasjon og laboratorieundersøkelser av prøver av betong og alunskifer. Omfattende skader på store bygg i den sentrale del av Oslo ble registrert i løpet av arbeidet. Et antall betongprøver av ulik sammensetning ble satt ned i en tunnel i alunskifer under Wessels plass ved Stortinget ("Blindtarmen"). Undersøkelsene og analysene av dette materialet ga verdifulle bidrag til å klarlegge fysisk/kjemiske betingelser for skadene og graden av skader på ulike betongblandinger.

Det ble fastslått at innholdet av magnetkis (pyrrhotite, monoklin varietet) er avgjørende for reaktiviteten. Andre typer av kiser, som svovelkis (pyritt) ble funnet i liten grad skadelige i ren tilstand. Men et lite innhold av magnetkis viste seg å ha en katalytisk virkning på reaktiviteten av kismineralene. Således viste det seg at kisholdig skifer med innhold av bare 0.001 vekts-% svovel i form av magnetkis ble funnet å føre til skader, og innhold på 0,005 vekts-% ble funnet meget skadelige.

Skadene ble funnet å bestå i at vann fra forvitrende alunskifer, som inneholder sulfat og 2-verdig jern, trenger inn i betongen. Sementpastaen vil reagere kjemisk med denne oppløsningen og danne mineralet ettringitt. Dette fører til en volumutvidelse på 330 %, og videre til at betongen delvis sprenges istykker og delvis omdannes til et pulver.

Endel av skadene på store bygg i den sentrale del av Oslo besto i hevinger av byggene fundamentert på alunskifer. Hevingen ble forklart med at alunskiferen ble utsatt for forvitring som medførte betydelig svelling av berggrunnen. Forvitringen startet med en senkning av grunnvannsstanden i forbindelse med utspregning av skjæringer og byggegroper. Når grunnvannsstanden synker slipper luften til, og kismineralene oksideres i flere trinn med dannelsen av hydroksider og sulfater med volumøkning som resultat.

Prøver av betong viste stor variasjon mht skadeomfang. Betong av vanlig Portland-sement ble sterkt skadet. Det samme var tilfelle med prøver som inneholdt kalktilslag og poredannende tilsetninger. Betongprøver med amerikansk "type V High sulphate resistant",

Finsk ferrisement, og med innhold av pozzolaner som silikastøv (Fiskaa), moler (fra Danmark) og trass (fra Eifel, Tyskland) ble funnet mest motstandsdyktige.

## Klassifisering av alunskiferens reaktivitet

Magnetkis er så reaktiv at behandling som knusing og sliping i kontakt med luft eller oksygenholdig vann fører til at den oksideres. Påvisning av magnetkis krever derfor spesialbehandling både ved prøvetagning og preparering. Alunskiferutvalget benyttet differentialtermisk analyse (DTA) for påvisning av skadelig magnetkis, og demonstrerte at den forårsaker en klar eksoterm reaksjon ved ca 100 - 200 °C. Utvalget la imidlertid ikke frem foreslag om å anvende denne metoden for klassifisering av skadelighet.

Alunskiferutvalget forutsatte at det ikke bare er nødvendig å registrere innholdet av svovel i alunskiferen, men også innholdet svovel i form av magnetkis. Dette forutsetter en meget komplisert undersøkelsesmetode. Videre ble det ikke fastlagt totalt innhold av kis som fører til skader. Klassifisering av alunskiferens reaktivitet mot betong er etter utvalgets metode således vanskelig, og det er behov for et bedre grunnlag for klassifisering av den potensielle skadevirkning alunskiferen har på det enkelte anleggssted.

Alunskifer av samme type som den norske ikke er så vanlig, slik at det ikke er arbeidet så mye med problemet internasjonalt. Et par metoder er imidlertid benyttet for testing av reaktiviteten. For betongtilslag er registrering ved hjelp av DTA allerede innført. En mineralogisk metode går ut på ved mikroskopering å kvantifisere magnetkismengden i polerslip av alunskifer. Dette krever spesialpreparering ved sliping og analyse utført av en mineralog med erfaring i pålysmikroskopering.

Behandling av alunskiferpulver med saltsyre produserer hydrogensulfid-gass, og mengden som dannes er foreslått benyttet som klassifikasjon på reaktiviteten. En mere relevant metode er behandling av alunskiferpulver med hydrogenperoksid og kvantifisering mengden av jernoksid (rust) som dannes. Utvikling av ny testmetode på dette feltet er nødvendig.

## Byggetekniske konklusjoner

Det ble ikke utformet forslag til hvorledes betong skulle beskyttes for å unngå skader, og dette inngikk da heller ikke i mandatet til "Alunskiferutvalget". Men påsprøyting av asfalt ble nevnt som et middel til å stoppe forvitring av utsprengte skjæringer i alunskifer. I tillegg ble det anbefalt bruk av vanntett (kvalitet minst B20) og sulfatresistent betong for beskyttelse av betongkonstruksjonene.

De deltagende institusjonene utarbeidet imidlertid ikke egne retningslinjer for beskyttelse av betong utsatt for alunskifer. Men byggebransjen hadde merket seg at det fantes såkalt sulfatresistent betong og slike ble anbefalt brukt på utsatte steder. I tillegg ble det innarbeidet en praksis med påsprøyting av oksidert asfalt på alunskifer før støping i kontakt.

## Behov for nye undersøkelser

Problemer vedrørende alunskiferens sammensetning og skadevirkning ble i hovedprinsipp løst av Alunskiferutvalget. Det fremkom imidlertid ikke tilstrekkelig egnede kriterier og tester for å karakterisere den enkelte alunskiferforekomst med hensyn til potensiale for skader. Andre kriterier er forsøkt brukt, men en enkel og signifikant testmetode synes å mangle på dette området.

Praksis med beskyttelse av betong ved påsprøyting av asfalt, ble etterhvert utsatt for kritikk fra enkelte konsulenter og byggherrer. Det er åpenbart at der det forekommer rennende vann på sprekker i alunskiferen, har en slik påsprøyting liten hensikt. Dette dekket revner raskt der det oppstår vannblemmer mellom påsprøytingen og bergoverflaten, slik at betongen like fullt blir utsatt for angrep av sulfatholdig vann.

Videre kan neppe "High sulphate resistant" type V eller tilsvarende, og såkalt "vanntett" betong ansees for å være tilfredsstillende for bruk mot reaktiv alunskifer etter dagens krav til levetid for konstruksjoner. Slik betong vil kunne forlenge levetiden, avhengig av størrelsen på angrepet, men det vil være knyttet en usikkerhet til slike konstruksjoner.

I de siste årene er det videre påvist at såkalt sulfatresistent betong er utsatt for dannelse av mineralet thaumasitt ved angrep av sulfatholdig vann. Dette har samme virkning som dannelse av ettringitt (Longworth 1999). Omfanget av skader fra denne prosessen er ikke klarlagt i Norge.

Det finnes imidlertid tilgjengelig teknikk for beskyttelse av skader som forårsakes av aggressivt vann. Dette kan motvirkes ved utarbeidelse av retningslinjer for materialer og utførelser og kvalitetssikring av utførelsen.

## Supersulfatbetong

Sulfatresistente betongtyper tilbyr endel lenger levetid enn vanlig betong, men ingen varig beskyttelse. Det fantes imidlertid såkalte supersulfatsementer med betydelig bedre motstandsdyktighet mot sulfatangrep. Et av disse produktene var Belgisk slaggsement, som for 20-30 år siden ble markedsført under navnet Silithor. Den besto hovedsakelig av slagg fra stålverk, og inneholdt ca 20 veks-% gips og ca 10 veks-% portlandsement. Denne supersulfatbetongen hadde øvrige egenskaper som vanlig betong, men var imidlertid ikke mere bestandig mot oppløsning av vann enn denne.

## Vern/Isolering av betong

Det finnes idag materialer som er meget motstandsdyktige mot kjemikalier, og som derfor anvendes i stor utstrekning til avfallsdeponier. En rekke plasttyper er lite påvirket av slike forurensninger, og benyttes i stor utstrekning til isolering av søppelfyllinger. Betongkonstruksjoner i alunskifermiljø bør utformes med beskyttelse av en membran av slike folier. Typer som polyetylen, polypropylen, PVC og bytylgummi (EPDM) er velegnet til

slike formål. Et tilfredsstillende resultat krever imidlertid en gjennomarbeidet løsning og spesifisert, kvalitetssikret utførelse.

## Referanser

- Bastiansen, R., Moum, J., Rosenqvist, I. Th., 1957. Bidreg til belysning av visse bygningstekniske problemer ved Oslo-området alunskifer. NGI Publ. nr 22
- Moum, J., Rosenqvist, I. Th., 1957. Sulfate attack on concrete in the Oslo Region NGI Publ. nr 37
- Fiskaa, O., Hansen, H., Moum, J. 1971. Betong i alunskifer. NGI Publ. nr 86
- Fiskaa, O.M. 1973 Betong i alunskifer. NGI Publ. nr 101
- Longworth, I. 1999. Responding to thaumasite form of sulfate attack. Ground engineering April 1999.

NGI Publ.: Norges Geotekniske Institutt. Publikasjoner.



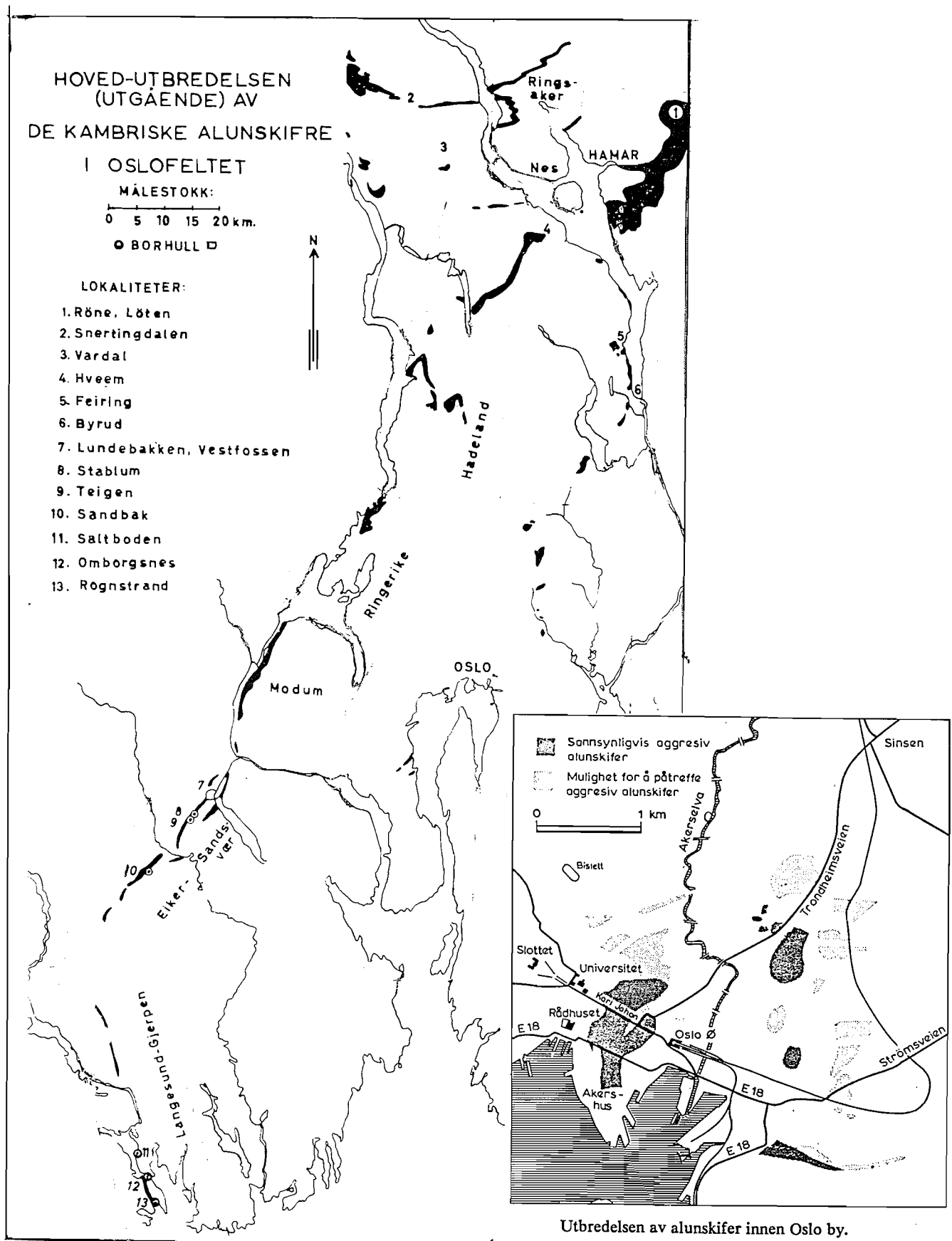


Fig. 1. Kambrisk alunskifer i Oslofeltet og tilgrensende områder.