

**KORTREIST  
STEIN**

# Notat

## Bruk av tynnslipanalyser sett opp mot andre undersøkelser av steinmaterialer

### Forfattere

Roar Nålsund (Bane NOR)

Marit Haugen (SINTEF Community)

Dato	Versjon	Dokumentnummer
2019-11-13	3.0	016

Prosjektet Kortreist steins publikasjoner er utarbeidet av fagfolk hos partnerne i prosjektet. Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunktet prosjektet ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme.

Prosjektet Kortreist stein, forfattere og prosjektledelsen har intet ansvar for feil eller mangler i publikasjoner og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes at publikasjonen benyttes av kompetente og fagkyndige personer med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag norsk.....	3
Summary in English .....	4
1 Innledning.....	5
2 Erfaringer fra doktorgradsarbeidet til Roar Nålsund; veg- og jernbaneformål.....	5
3 Oppsummering og konklusjon .....	7
3.1 Konklusjon 1 .....	7
3.1.1 Betongformål.....	7
3.2 Konklusjon 2 .....	8
3.2.1 Ingeniørgeologiske formål.....	8
4 Referanser .....	9

## BILAG/VEDLEGG

Ingen.

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2019-03-07	Endelig notat.
2.0	2019-10-08	Mindre revisjon ifm. Korrigert notatmal.
3.0	2019-11-13	Mindre revisjon ifm. supplering i sammendrag.



## Sammendrag norsk

Tynnslipanalyse av bergarter kan være et nyttig hjelpemiddel for å evaluere målte bergartsegenskaper, men det krever minimum 2-6 tynnslip fra hver forekomst for å dekke mulig variasjoner i bergarten. Viktige egenskaper for en bergarts mekaniske styrke er blant annet mineralkornstørrelse og -fordeling, innhold og orientering av glimmer, tilstedeværelsen av mikrosprekker, innhold av bløte mineraler totalt og kontaktflaten mellom de ulike mineralkornene. Korrelasjon mellom mekaniske styrkeparametere, slik som Los Angeles-verdi og Micro-Devalverdi, krever en kvantifisering av de nevnte egenskapene, noe som ofte er vanskelig og tidkrevende. Tynnslipanalyse fungerer derfor best som støttefunksjon til arbeidet med å vurdere en bergarts kvalitetsegenskaper.

I henhold til norsk regelverk skal tynnslipanalyse utføres for alt tilslag som skal benyttes i betong, der sand, singel og pukk fra produsert materiale skal undersøkes. Tynnslipanalyse er spesielt viktig med tanke på å vurdere potensiell alkalireaktivitet i bergartene, der kornstørrelsen, teksturen og mengden kvartsmineraler ( $\text{SiO}_2$ ) er avgjørende for reaktiviteten. Tynnslipmikroskopi brukes i Norge stort sett som eneste metode for å klassifisere tilslagsreaktivitet, i motsetning til i de fleste andre land der det benyttes ulike ekspansjonstester. To supplerende ekspansjonsmetoder er imidlertid også inkludert i det norske regelverket.

Tynnslipanalyse kan også gi en indikasjon på glimmerinnholdet i bergarten. Høyt glimmerinnhold i sandfraksjonen vil gjøre betongen mer vannkrevende.

Svovelinholdet i bergarter er en kritisk parameter for om tilslaget kan benyttes i betong, og dette bestemmes våtkjemisk. Tynnslipteknikken kan imidlertid bidra til å vise hvilke bergartstyper som har høyt svovelinhold. Dette kan gi viktig forskningsmessig informasjon, i tillegg til at det kan muliggjøre selektiv drift i et pukkverk.

Tynnslipanalyse brukes også som et støtteverktøy ved ingeniørgeologiske undersøkelser, og analysemetoden har vist seg å være nyttig i denne sammenheng. Dette gjelder for eksempel ved forundersøkelser av potensielle nye pukkverk eller av tunneltraseer med tanke på bruk av tunnelmasser til betongformål. Tynnslipanalyser kan i mange tilfeller også være med på å forklare årsaker til/underbygge oppnådde laboratorieresultater for bergartsprøver.

Samlet sett er undersøkelser i mikroskop et meget godt, kvalitativt verktøy. Ved bruk av ulike typer slip, for eksempel ved å supplere med polerte tynnslip for opake faser/kismineraler og kombinasjons-slip med fluoriserende epoksy som får fram blant annet mikroriss og tegn på forvitring, kan man få svar eller indikasjoner på en rekke materialtekniske og bestandighetsmessige forhold.



## Summary in English

Thin section analysis of rock materials can be a useful tool for evaluating measured rock properties, but it requires a minimum of 2-6 thin sections from each deposit, to cover possible variations in the rock. Important properties for the mechanical strength of a rock are, among other things, the size and distribution of the mineral grains, the content and orientation of mica, the presence of micro cracks, the total content of soft minerals and the contact surface between the various mineral grains. The correlation between mechanical strength parameters, such as Los Angeles value and Micro-Deval value, requires a quantification of the properties mentioned above. This is often both difficult and time-consuming. Thin section analysis therefore works best as a supplement to the work of assessing a rock's quality properties.

According to Norwegian ASR (Alkali-Silica Reactivity) regulations thin section analysis must be performed for all concrete aggregates for evaluating the potential alkali-silica reactivity of the rock materials. The reactivity is controlled by the amount, the texture and the grain size of the quartz minerals ( $\text{SiO}_2$ ). The alkali-silica-reactivity of most Norwegian aggregates is only documented by this "first step" in the testing regime (also two expansion tests are described in the Norwegian regulations). However, other countries primarily use expansion tests for classification of potential alkali-silica reactivity.

Thin section analysis gives an indication of the content of mica in the rock material, as well. A high amount of mica in the sand fraction will increase the water demand in the concrete.

The content of sulphur is a critical parameter for use of various rocks types as concrete aggregates. This parameter is analysed by wet chemistry. However, by using the thin section technique rock types with a high amount of sulphur can be identified. This can exclude or give an indication of rock types which are not suitable for concrete purposes.

Thin section analysis can also be used for supporting engineering geology examinations as well, for example during assessment of the potential rock quality of new quarries or rock material from new tunnels. Furthermore, thin section analysis can contribute to explain or support results from other laboratory analysis of rock materials.

As a general remark, petrographical/microscopical investigations represent a very good, quantitative tool. The utilization of various thin sections, like polished thin sections giving valuable information about opaque minerals, i.e. ore minerals, and thin sections impregnated with fluorescence epoxy giving information about micro fracturing, weathering issues etc., will reveal valuable information about material technical and durability issues.



## 1 Innledning

Som en del av arbeidet i IPN-prosjektet "Kortreist stein" er det i foreliggende notat gjort noen betraktninger rundt nytten av tynnslipmikroskopi sett opp mot andre undersøkelser av bergarter som skal brukes til tekniske formål.

Tynnslipanalyse av bergarter kan være et nyttig hjelpemiddel for å evaluere målte bergartsegenskaper, både med tanke på veg- og jernbane-, betong- og ingeniørgeologiske formål. Erfaringer med bruk av tynnslip er stor innenfor de to sistnevnte fagfeltene, og tynnslipanalyse ble også benyttet ved doktorgradsarbeidet til Roar Nålsund i 2014 [1].

I forbindelse med utarbeidelse av dette notatet er det gjort nærmere undersøkelser av noen av bergartstynnslipene fra ovenfornevnte doktorgradsarbeid. Alle de undersøkte bergartene kommer fra pukkverk som tilfredsstillende styrkekravene til jernbaneballast. I doktorgradsarbeidet ble det hovedsakelig benyttet finkornede, lavmetamorf bergarter, og de fleste av disse kommer fra Trøndelag. Bergarter fra Sørlandet, Østlandet og Nordland er imidlertid også representert.

## 2 Erfaringer fra doktorgradsarbeidet til Roar Nålsund; veg- og jernbaneformål

Det dukker ofte opp spørsmål ved undersøkelser av bergarter om hvor representativ en tynnslipsanalyse vil være for vedkommende bergart. Under doktorgradsarbeidet viste det seg at det som var forventet å være homogene, isotrope bergarter blant det innsamlede materialet, ofte ikke var det allikevel. Derfor var ett tynnslip med vanlig størrelse ca. 30 mm x 45 mm ikke tilstrekkelig for å avdekke alle synlige variasjoner i bergarten i steinbruddet, og det ble nødvendig å få framstilt 2-6 tynnslip fra hver forekomst for å dekke mulige variasjoner. Variasjonene innebar hovedsakelig forskjellige fargesammensetninger, noe som kunne skyldes variasjon i mineralsammensetning. Hvis man skal finne ut hvor stor del av bergartsmaterialet ett tynnslip representerer, må det legges ned en god del arbeid i å sortere prøvematerialet (for eksempel håndstykker) etter utseendet. Det kan stilles spørsmål ved om dette er riktig framgangsmåte, dersom målet er å oppnå størst mulig representativitet.

Når bruksområdet er veg- eller jernbaneformål er blant annet følgende egenskaper viktige for bergartens mekaniske styrke:

- Gjennomsnittlig mineralkornstørrelse
- Mineralkornstørrelsesfordeling
- Innhold og orientering av glimmerkorn
- Tilstedeværelsen av mikrosprekker
- Totalt innhold av bløte mineraler
- Utformingen av kontaktflaten mellom mineralkorn.

For å kunne lage korrelasjoner mellom mekaniske styrkeparametere, som for eksempel Los Angeles- eller Micro-Devalverdier og de ovenfor nevnte egenskaper, må disse egenskapene kunne kvantifiseres. Noen egenskaper er det mulig å kvantifisere (eksempelvis mineralkornstørrelsesfordelingen), men dette innebærer et betydelig manuelt arbeid ved mikroskopet i form av punktmålinger. Det samme gjelder kontaktflaten mellom mineralkornene. En annen vanskelig kvantifiserbar egenskap er mineralkornenes orientering (foliasjonen), men dette er mulig ved bruk av bildeanalyse av tynnslip.

Den store svakheten er at det praktisk talt ikke er funnet gode korrelasjoner for parameterne som er nevnt ovenfor, og regresjonskoeffisientene har en tendens til å bli ganske lave. Det er vanligvis for mange egenskaper (variable) som virker inn på sluttresultatet (bergartskvaliteten), spesielt når flere prøver fra ulike pukkverk er med i undersøkelsen. Dette betyr at tynnslipanalyser fungerer best som



støttefunksjon til arbeidet med å vurdere en bergarts kvalitetsegenskaper. Tynnslipanalysene kan på den ene siden være med på å forklare og underbygge et resultat, samtidig som de på den andre siden kan gi grunnlag for å trekke påliteligheten til et laboratorieresultat i tvil.

Når bergarter blir vakuumimpregnert med fluorescerende epoksy, er tynnslipteknikken egnet til å vise forekomsten av mikrosprekker i bergarten. Hulrom kan opptre i form av sprekker, porer og/eller massiv porøsitet. Mikrosprekkene er svakhetsplan og bruddanvisere, men gode sammenhenger mellom omfang av mikrosprekker og mekanisk styrke ble ikke funnet i undersøkelser knyttet til doktorgraden til Nålsund [1]. Det finnes imidlertid enkelte unntak ved sterkt mekanisk forvitrede bergarter hvor bredden til mikrosprekkene er en god del større enn vanlig.

Mikrosprekker gir vanntilgang til bergarten. Få sprekker gir lav vannabsorpsjon, mens mange sprekker gir høy vannabsorpsjon. Vanlig bredde hos mikrosprekker i friske og sterke bergarter ligger i området 0,005 -0,010 mm. Denne informasjonen kan indikere om bergarten er mekanisk sterk, eller om frostforvitring motstanden er lav. Vannabsorpsjonsverdier mellom disse ytterpunktene sier lite om bergarten er fysisk sterk eller svak. Eksempelvis vil et normalområde for friske granitter/granittiske bergarter ligge mellom ca. 0,2 – 0,4 vekt% målt på utsagete kuber av bergarten med sidekant 5 cm. Granitter og lignende som har vannopptaksevne over eks. 0,7 vekt% kan tyde på en svekket mikrostruktur [2]. Bestemmelse av vannabsorpsjon kan med fordel tas i bruk som en standard analyse for veg- og jernbanematerialer, da denne undersøkelsen er enkel å utføre og den kan representere en indikasjonsmetode både med hensyn til styrke- og bestandighetsforhold.

Noen pukkverk drives i bergarter med relativt svak mekanisk styrke. Noen av disse bergartene har vært utsatt for en eller annen form for forvitring, og tilhører den øverste delen av berget nær terrengoverflaten og kalles dagfjellsonen. I Norge er det normalt at en bergarts styrke ikke påvirkes når den utsettes for repetert knusing. To bergarter i doktorgradsarbeidet [1] avviker fra dette ved at materialet gjenvinner styrke. Dette er bergarter fra Sefrivatn i Grane kommune i Nordland (granittisk gneis) og Freste utenfor Tønsberg (monzonitt). Disse bergartene antas å tilhøre dagfjellsonen i disse steinbruddene, som anslås til å være minst 10-15 meter tykk. Under dagfjellsonen finnes en friskere og sterkere variant av bergartene som er tilsynelatende upåvirket av forvitring. Tynnslipene fra disse to bergartene (materiale fra dagfjellsonen) ble undersøkt i mikroskop uten at det ble funnet tydelige tegn til forvitring, men det var imidlertid usikkert om denne forvitringen ble "fanget" i tynnslipene. Én analysemetode som er egnet til å avsløre om en bergart har vært utsatt for forvitring, og om den kan bli bedre ved repetert knusing (omslag) er fallhammermetoden. Denne metoden ble imidlertid fjernet fra regelverket for ca. 10 år siden, men prøvingsutstyret eksisterer fremdeles i NTNU-SINTEF-systemet hos Institutt for bygg og miljøteknikk og Institutt for geovitenskap og petroleum.



## 3 Oppsummering og konklusjon

### 3.1 Konklusjon 1

Med tanke på veg- og jernbaneforhold, kan tynnslipanalyse ikke alene forutsi hvilke egenskaper et steinmateriale har. Tynnslipmikroskopi kan imidlertid bidra til å forklare og underbygge et litt avvikende laboratorieresultat, samtidig som det kan gi grunnlag for å trekke påliteligheten til et laboratorieresultat i tvil.

Under forundersøkelser av steinmaterialer fra tunnel eller steinbrudd som skal brukes til veg- og jernbaneforhold, er det svært viktig at ingeniørgeologer/personell med geologisk kompetanse er med. Geologene vil da ha mulighet til å påvirke prøvetakingen, slik at den blir mest mulig representativ for forekomsten.

#### 3.1.1 Betongformål

I henhold til norsk regelverk [2] skal tynnslipanalyse [3] utføres for alt tilslag som skal benyttes i betong; både sand, singel og pukk fra produsert materiale skal undersøkes. Tynnslipanalyse er spesielt viktig med tanke på å vurdere potensiell alkalireaktivitet til bergartene, der kornstørrelsen, teksturen og mengden kvartsmineraler ( $\text{SiO}_2$ ) er avgjørende for reaktiviteten. Dette kan undersøkes ved hjelp av tynnslipmikroskopi.

Tynnslipmikroskopi brukes i Norge stort sett som eneste metode for å klassifisere tilslagsreaktivitet, i motsetning til i de fleste andre land der det benyttes ulike ekspansjonstester. Kun et fåtall norske tilslag er dokumentert ved slike ekspansjonstester.

Glimmerinnholdet er også en viktig tilslagsparameter, spesielt innholdet av fri glimmer i sandfraksjonen. Glimmerinnholdet påvirker betongens støpelighet i negativ retning, da fri glimmer gjør tilslaget vannkrevende. For større tilslagskorn er ikke glimmerinnholdet like viktig, men mye glimmer er gjerne knyttet til mekanisk svake bergarter. Tynnslipanalyser kan gi en indikasjon på glimmerinnholdet i bergarten.

For betongtilslag er det imidlertid mange andre egenskaper enn de mineralogiske som er av betydning, men disse egenskapene undersøkes ved hjelp av andre metoder enn tynnslipmikroskopi. Noen viktige parametere, eksempelvis kornform og siktekurve, kan styres ved produksjon av tilslaget.

Kravet til mekanisk styrke for betongtilslag er spesielt viktig dersom det skal framstilles betong med høyere fasthet. For lavere betongkvaliteter vil sementpastaen styre mye av betongens fasthet. Man ønsker imidlertid ikke svake og forvitrede bergarter i betongen, noe som også er ugunstig for frostbestandigheten. Istiden for ca. 10 000 år siden har "høvlet av" mye av overflateforvitringen i fjellet, så dette kan være et mindre problem i Norge enn i mange andre land. Ved produksjon av tilslag (for eksempel knusing) vil svakt bergartsmateriale ikke "overleve" i grove fraksjoner, men derimot anrikes i de finere fraksjonene. I naturlig sand kan mekanisk svake korn opptre i varierende mengder.

For betongtilslag er innholdet av total svovel en meget essensiell parameter. Dersom svovelverdien overskrider gitte grenseverdier, kan ikke tilslaget benyttes i betong. Toleransene for svovelkis er mye høyere enn for magnetkis. Svovelkis gir vanligvis problemer med rustflekker på betongoverflater, mens den kjemisk ustabile magnetkisen reagerer med luft og danner sulfat. Sulfationer reagerer så med bestanddeler i sementen og danner gips og ettringitt. Sistnevnte tar opp vann og sveller, noe som kan gi opphav til riss og sprekker i betongen. Thaumassitt kan også dannes, og dette mineralet bryter ned sementlimet i betongen.



I enkelte steinbrudd varierer svovelinnholdet gjennom bruddet, noe som medfører at svovelverdiene i tilslaget kan variere fra prøve til prøve. Noen steinbrudd har problemer med høye svovelverdier, slik at pukken ikke kan selges som betongtilslag.

Dersom tunnelmateriale skal benyttes som betongtilslag kan det på grunn av variasjoner i bergmassen være tilsvarende store utfordringer. Seinere tids tunneldriving har vist dette til fulle. Langs en tunneltrasé kan svovelinnholdet variere mye, og høye svovelverdier kan i mange tilfeller være knyttet til bestemte bergarter. Alkalireaktiviteten til bergarter langs en tunneltrasé kan også variere, og her er tynnslipanalyse en viktig metode for å avdekke slike variasjoner.

Svovelinnholdet bestemmes våtkjemisk. Tynnslipteknikken, som brukes til å klassifisere bergarter, kan bidra til å vise hvilke bergartstyper som har høyt svovelinnhold. Dette kan gi viktig forskningsmessig informasjon, i tillegg til at det kan muliggjøre selektiv drift i et steinbrudd/pukkverk.

Dersom tunnelstein skal benyttes som betongtilslag er det blant annet svært viktig med nøyaktige forundersøkelser for å undersøke om det forekommer store forskjeller i svovelverdier. I mange tilfeller er det ikke det, og tunnelmaterialet kan tas ut og benyttes som sams masse. I andre tilfeller vil det være nødvendig å være selektiv, slik at en ekskluderer materiale som er i faresonen. Dette kan medføre store geologiske utfordringer. Man kommer imidlertid ikke utenom at det må tas prøver for tynnslipframstilling under forundersøkelsene, slik at en vet hvilke bergarter en vil treffe på langs tunneltraseen. Det er her viktig at prøvene tas ved reelt tunnelnivå, eksempelvis ved kjerneboring, slik at man i så stor grad som mulig kan forutsi forventede bergarter.

## **3.2 Konklusjon 2**

Tynnslipanalyse er et viktig verktøy for å vurdere hvilke bestandighetsmessige- og mekaniske egenskaper et betongtilslag kan ha. Analysen er spesielt viktig for å vurdere alkalireaktivitet. Andre parametere som for eksempel gradering og kornform er imidlertid også viktige parametere, og prøvestøping i betong vil gi svar på hvordan et tilslag "oppfører" seg med hensyn til støpelighet og fasthet.

### **3.2.1 Ingeniørgeologiske formål**

Tynnslipanalyse brukes også som et støtteverktøy ved ingeniørgeologiske undersøkelser, og analysemetoden har vist seg å være nyttig i denne sammenheng. Mineralogiske analyser kan i mange tilfeller være med på å forklare årsaker til oppnådde prøvingsresultater for bergarter. Her er det imidlertid også de mekaniske testene som gir endelig svar.

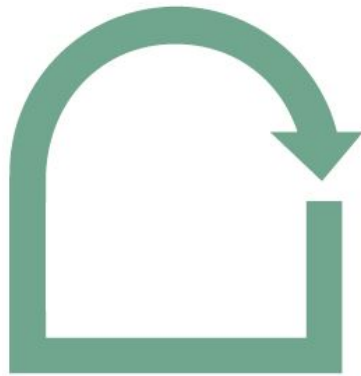




## 4 Referanser

- [1] R. Nålsund, «Railway ballast characteristics, selection criteria and performance,» Doktorgradsavhandling ved NTNU, Trondheim, 2014.
- [2] SINTEF Community, *Byggforskserien. Byggedetaljer: 571.105 Naturstein. Egenskaper og bruksområder*, 2016.
- [3] Norsk betongforening, «Publikasjon nr 21: Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag,» 2017.
- [4] Norsk betongforening, «Publikasjon nr 32: Alkalireaksjoner i betong. Prøvingsmetoder og krav til laboratorier,» 2005.





# KORTREIST STEIN



Statens vegvesen



HORDALAND  
FYLKESKOMMUNE



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
- NGU -



BERGEN  
KOMMUNE

Multiconsult



BANE NOR



Støttet av Norges forskningsråd

