

# SLAGG I MIDDELALDERENS KALKMØRTLER

Se også artikkel om temaet:

Slag in Norwegian medieval lime mortars

<https://per-storemyr.net/2024/10/07/slag-in-norwegian-medieval-lime-mortars/>

Per Storemyr







En gang kjørte vi temperaturen i  
kalkovnen for høyt opp



Avfall på gamle  
kalkovnsplasser vitner  
om høy temperatur



Smilla (1890-1950)







ELSEVIER

Materials Characterization 53 (2004) 181–186

---

**MATERIALS  
CHARACTERIZATION**

---

## High-temperature slag formation in historic Scottish mortars: evidence for production dynamics in 18th–19th century lime production from Charlestown

Alick B. Leslie<sup>a,\*</sup>, John J. Hughes<sup>b</sup>

<sup>a</sup>British Geological Survey, Murchison House, West Mains Road, Edinburgh, Scotland EH9 2LA, UK

<sup>b</sup>Advanced Concrete

# Sölve Johansson

Slutrapport postdocforskning 2006-16:

## HYDRAULISKA BRUK I NORDEN

- FRÅN 1000-TALET TILL NUTID

2017

## Blast furnace slag in historic mortars of Bergslagen, Sweden

Jan Erik Lindqvist<sup>1</sup>, Kristin Balksten<sup>2</sup>, Birgit Fredrich<sup>1</sup>

(1) RISE CBI, Ideon Lund, [janerik.lindqvist@ri.se](mailto:janerik.lindqvist@ri.se), [birgit.fredrich@ri.se](mailto:birgit.fredrich@ri.se)

(2) Conservation, Uppsala University, Campus Gotland, [kristin.balksten@konstvet.uu.se](mailto:kristin.balksten@konstvet.uu.se)

### Abstract

Water cooled granulated blast furnace slag is today commonly used as a binder mixed with cement. Since the late 18<sup>th</sup> century blast furnace slag was used as an additive in



# Ovnstemperaturer og urene kalker

Temperaturer i kalkovner og kalkmiler i gamle dager:

+/- **600-700** til **1200-1400** grader

På de **høye** temperaturene:

- Rene kalker smelter ikke (...men de blir ikke nødvendigvis gode...)
- Bestanddeler i urene kalker sintrer og smelter, med hjelp av kalk
- Det skapes ulike slag- og klinkermineraler

Urene kalker inneholder:

- Silikatmineralene kvarts, feltspat, glimmer, amfibol o.a.
- I kalkstein: Skiferlag og «leire» mellom fossiler o.a.
- I marmor: Skiferlag, årer og mineraler mellom kalkkrystaller o.a.



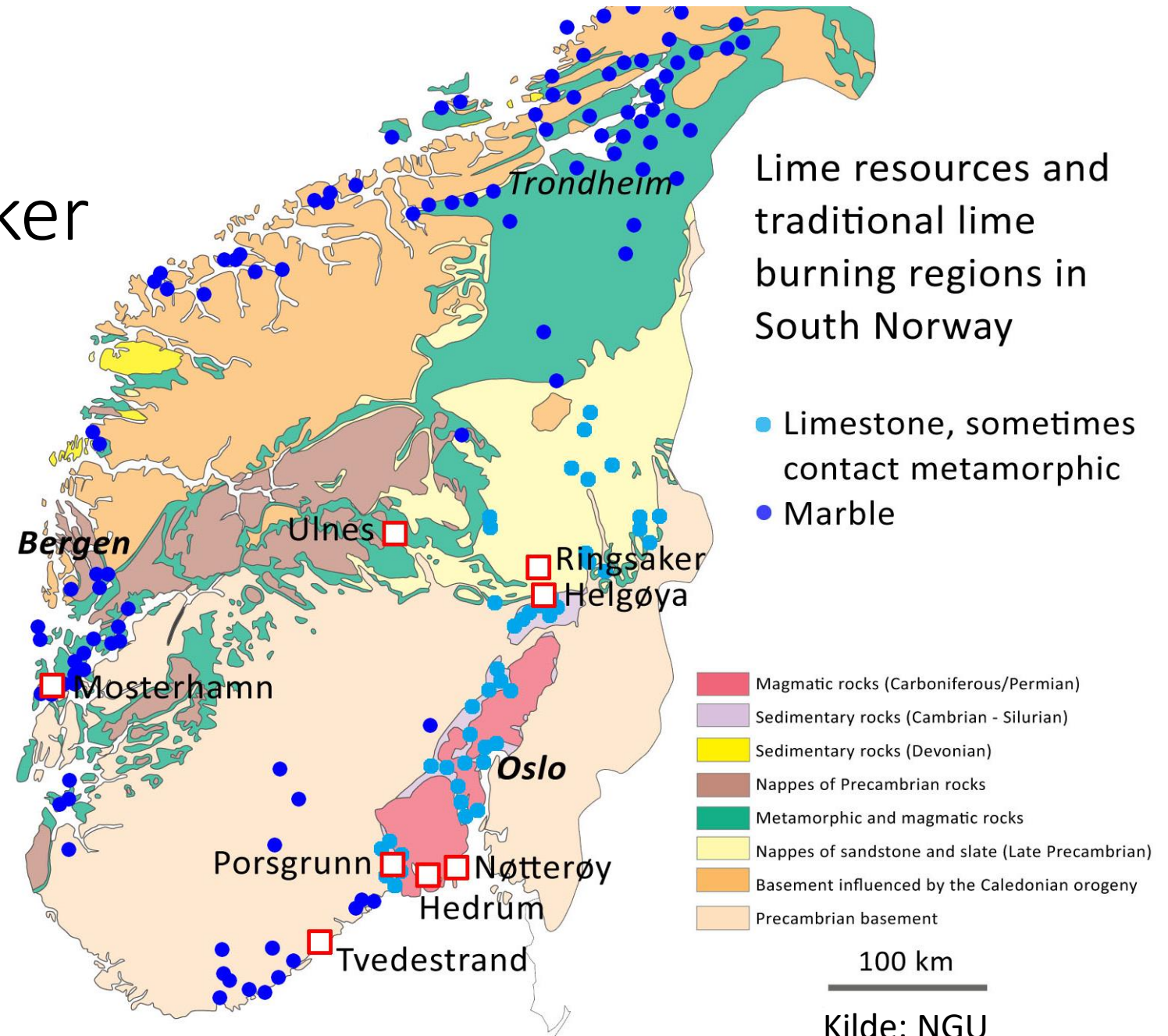


Uren kalkstein og marmor er regelen i Norge



Det finnes ikke veldig mange svært rene kalker

- De reneste har drøyt 90 til 98%  $\text{CaCO}_3$  (evt. med Mg)
- Typisk de få som forble i drift til moderne tid – industrien etterspurte rene kalker.
- **De hundrevis i drift fra middelalderen av var sjelden rene – de hadde 60-90%  $\text{CaCO}_3$  (evt. Mg)**





# 12 undersøkte middelalderbygninger 2021-2024

## Middelaldermørtler med slagg:

- Hedrum kirke (1100-t)
- Ulnes kirke (1200-t)
- Nøtterøy kirke (1100-t)

## Middelaldermørtler med sannsynlig slag:

- Tingvoll kirke (1100-t)
- Nikolaikirken (1100-1400-t)
- Oslo bispegård (1200-t)

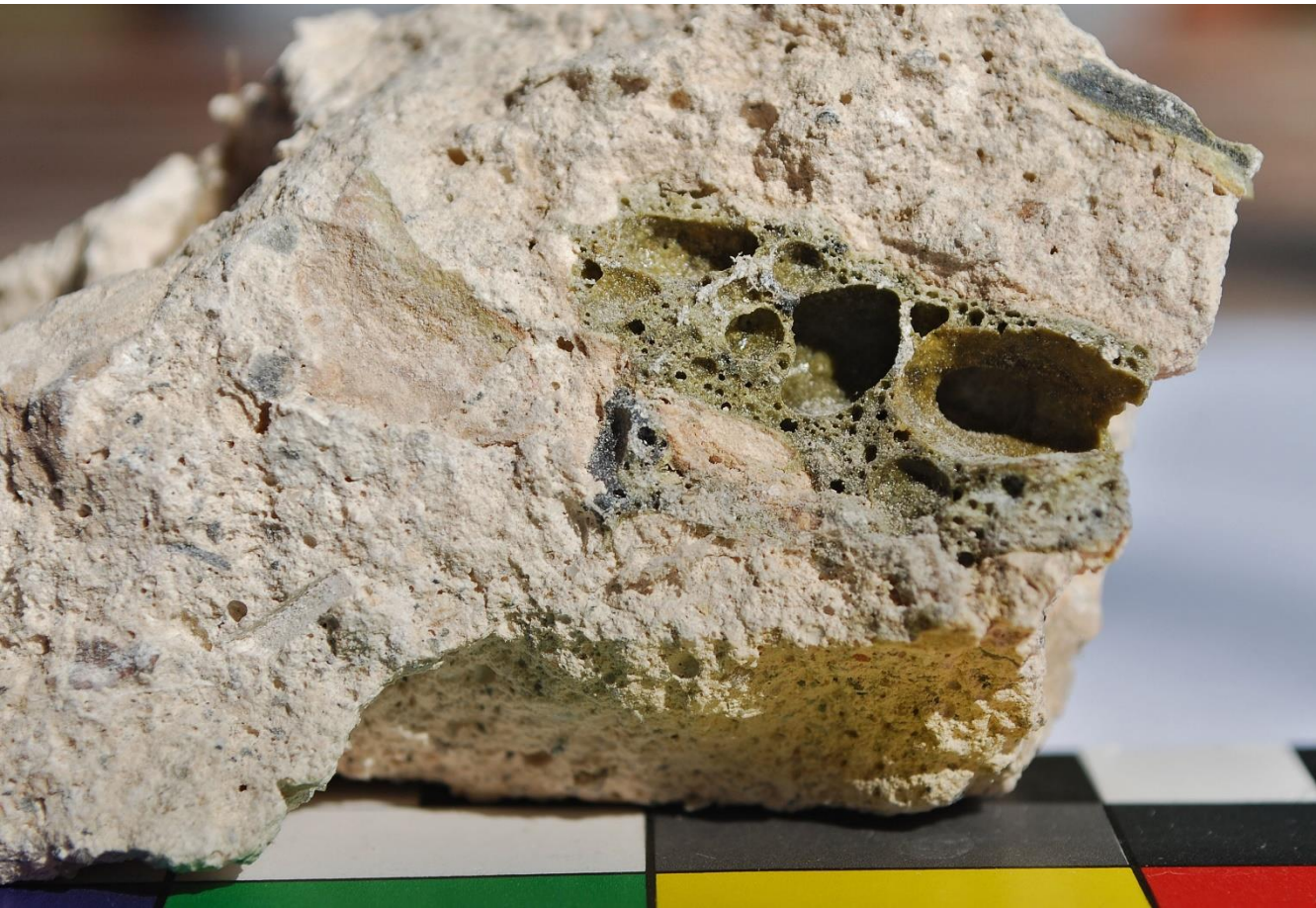




# Hedrum kirke ved Larvik, Vestfold (1100-tallet)

## Murkjerne:

Hard, porøs kalkmørtel med mye slagg



## Utefuger:

BEINHARD kalkmørtel med mye slagg.  
Ødelagt av frost/fukt (dels pga. sement)





Tynnslip  
Mørtel med slag  
Hedrum kirke, skipet  
1100-tallet

SI

SI

SI

SI

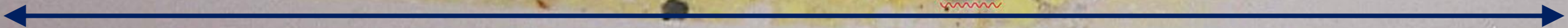
SI

SI

SI

SI

4 cm





# Slagg og «brente silikater»

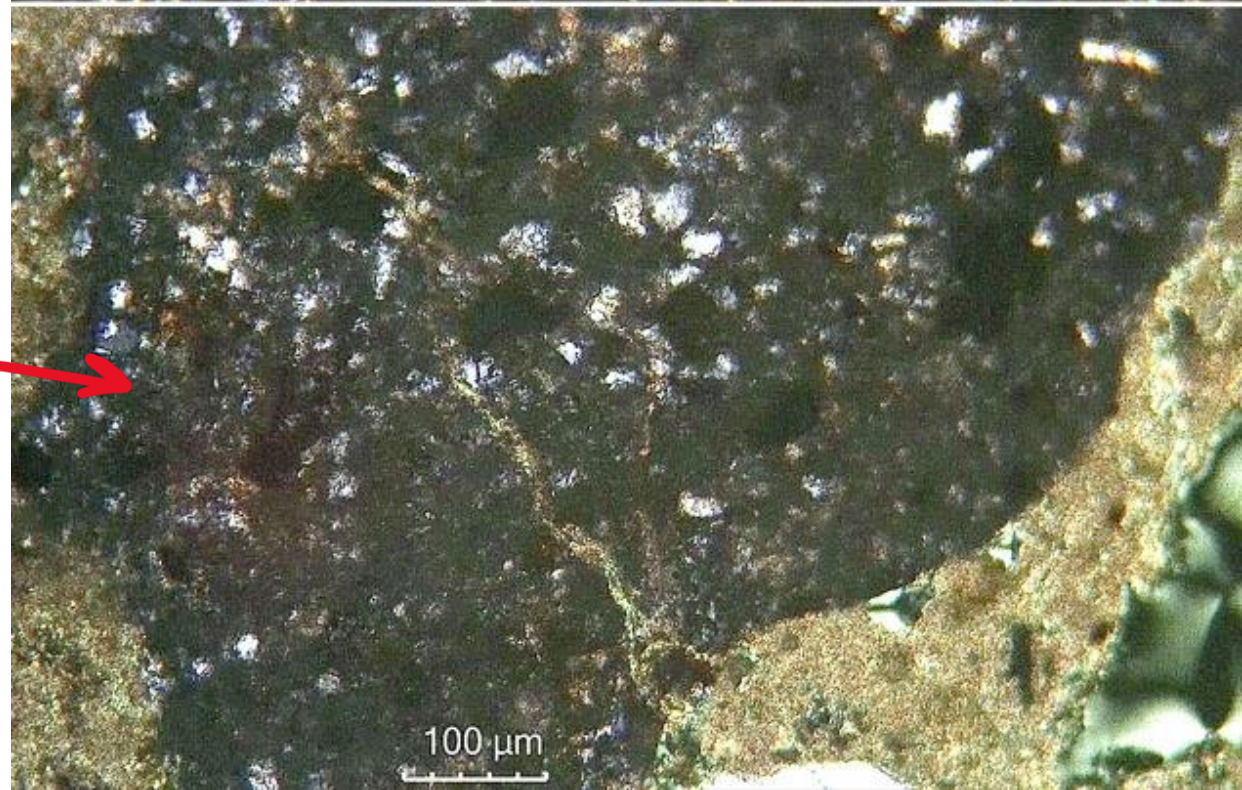
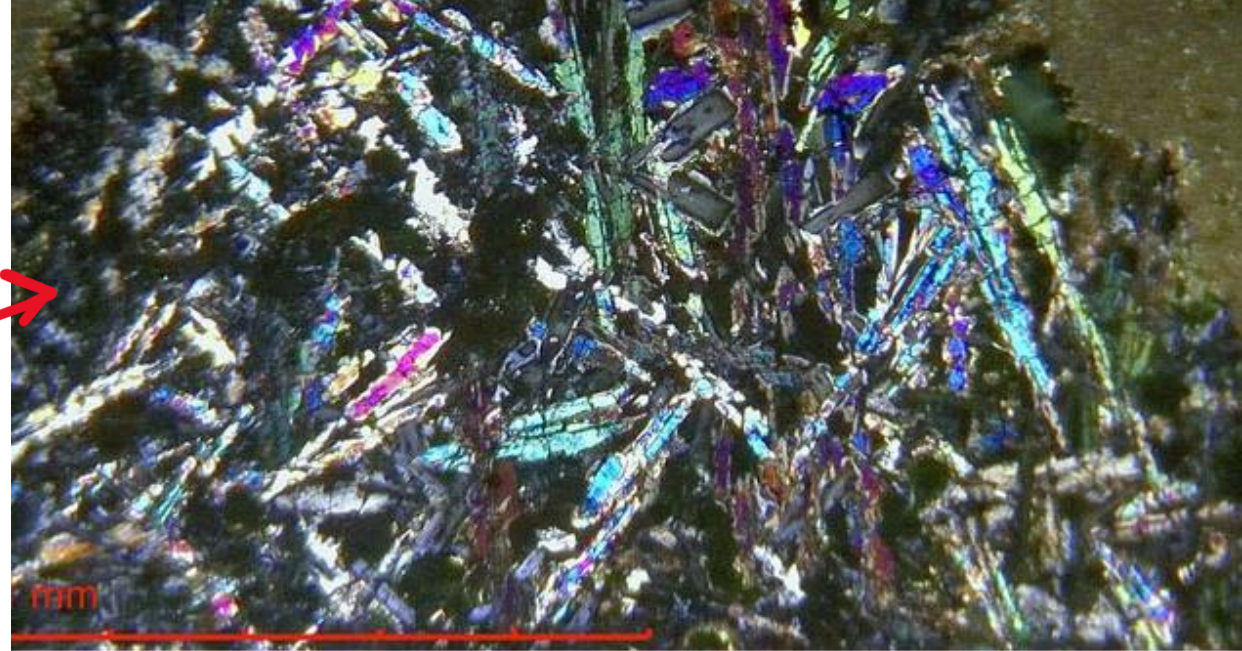
## Kalsium-rikt slagg:

- Glassaktig grunnmasse
- Pyroksen (Ca-Mg-Fe-Al-+-silikat)
- Melilitt (Ca-Mg-silikat)

## Brent/sintret silikat-rik «klump»

- Fra skifer/leire-komponenter
- Innhold er uklart
- Erfaring: Kilde til klinker-mineraler

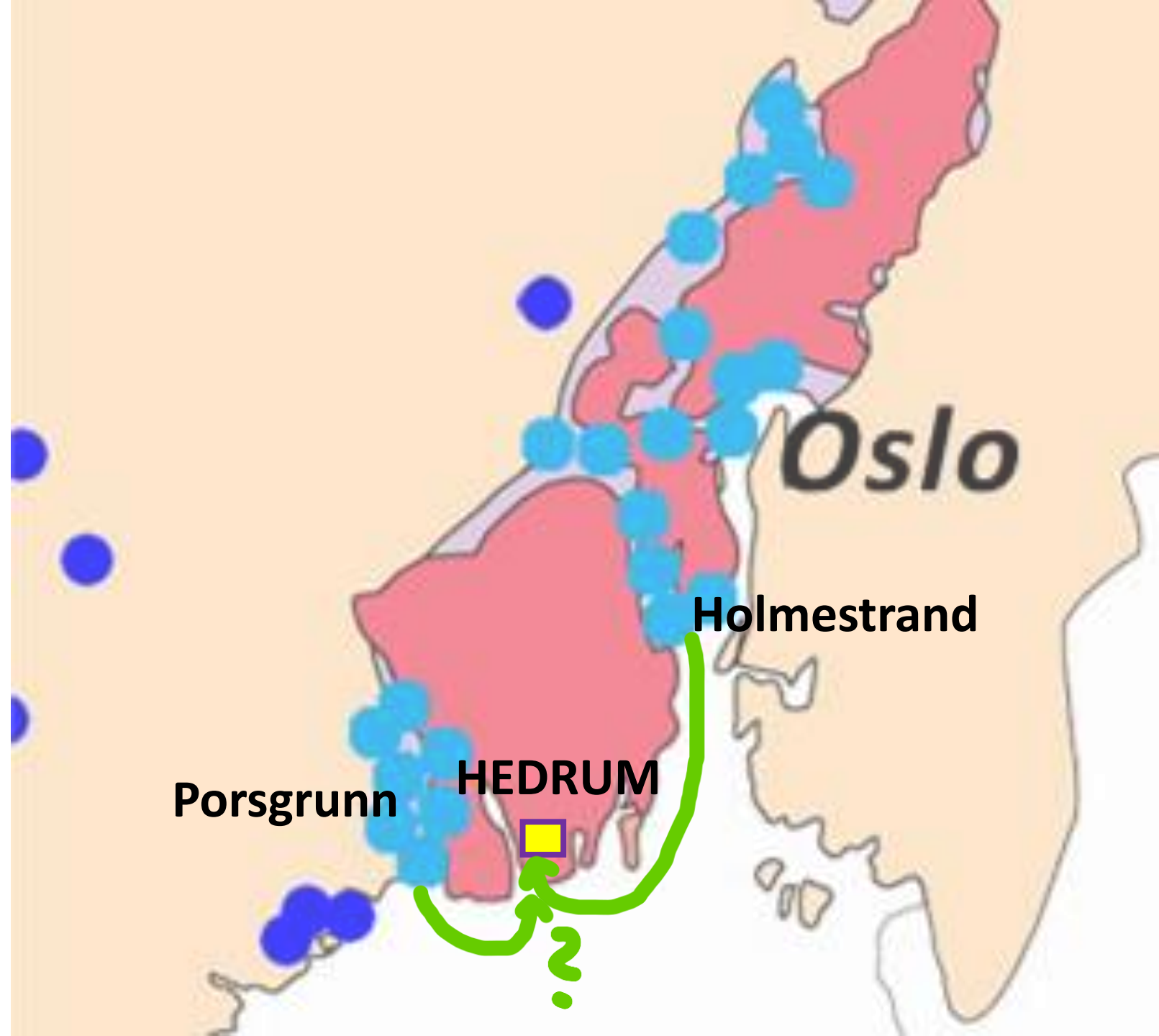
Slagg også analysert med røntgendiffraksjon (XRD)





# Proveniensen

- For små underbrente kalkkorn for bestemmelse
- Grenland-distriktet?  
(Kalker brukt til sementfremstilling)
- Holmestrand-distriktet?  
(Langøya kjent for hydrauliske kalker)





# Ulnes kirke i Valdres (1200-tallet)

**Inne og ute:**

**Hard, men porøs, brun mørtel med mye slagg**







Ulnes-mørtelen:  
En mørtel uten tilført sand  
Slagg og andre ikke-leskbare urenheter var nok som tilslag!



# Slagg og «brente silikater»

## Kalsium-rikt slagg:

- Glassaktig grunnmasse
- Pyroksen
- Melilitt



## Brent skifer

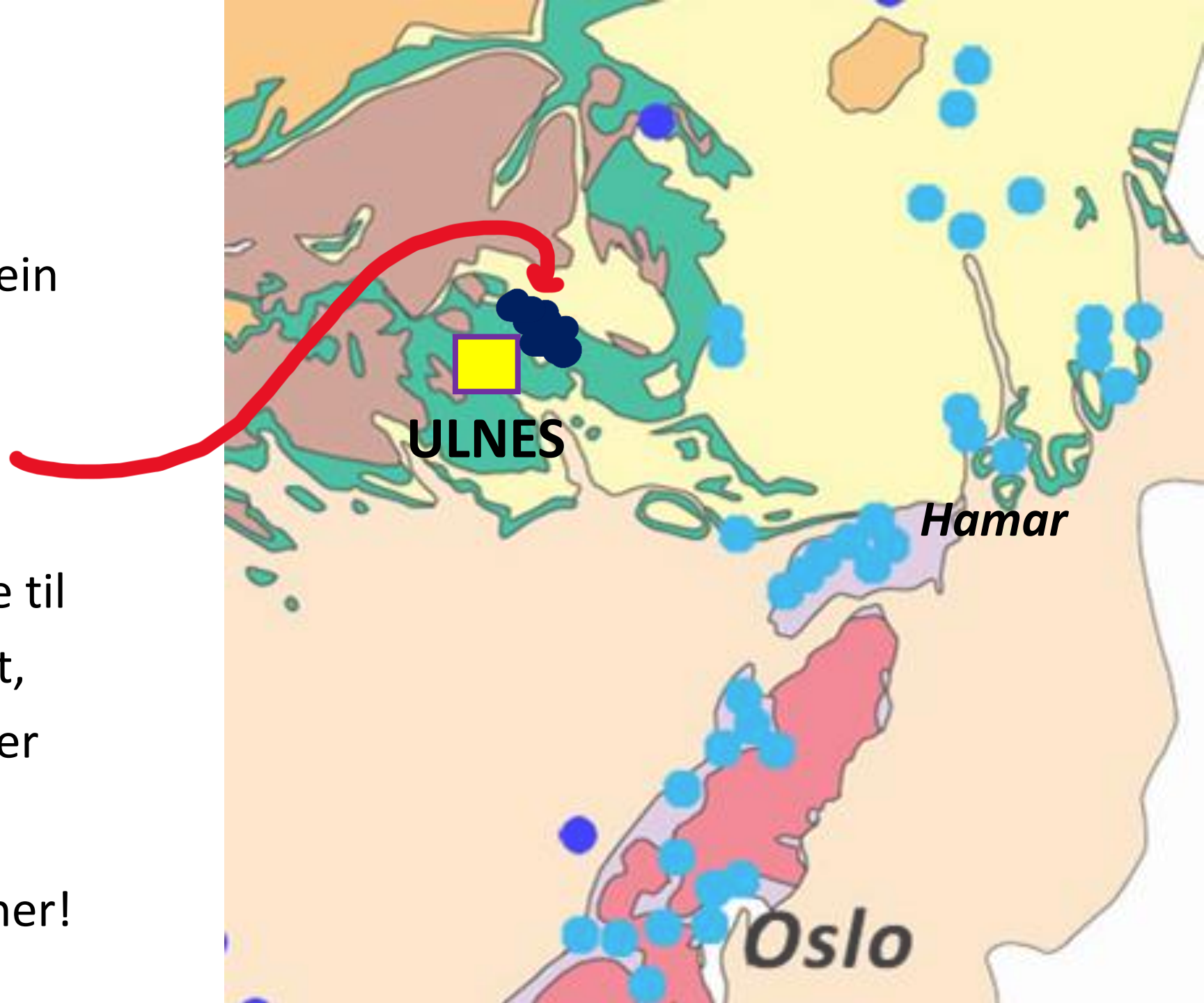
- Kalkholdig skifer
- Silikatene er brent/sintret
- Erfaring: Kilde til klinker-mineraler





# Proveniensen

- Lav-metamorf kalkstein sammen med skifer
- Mulig Nord-Etnedal, mini-kalkdistrikt
- Brent kalk på setrene til slutten av 1800-tallet, man hadde problemer med urenheter
- Lokal, lange tradisjoner!





# Konklusjoner I

- Ca-rik silikatslagg – fra brenning av uren kalkstein
- Ikke tilført slagget fra jernvinne!
- Brente/sintrede skifer-fragmenter
- Betydelige hydrauliske egenskaper
- Ikke tette kalker, ganske porøse
- Langvarig fukt kan gi svært hard, men også sårbar kalk (Hedrum)
- Kalken kan være hard, og meget holdbar, uten langvarig fukt (Ulnes)
- Uklart hva slags typer klinkermineraler. Belit og Ca-Al-feritt?
- Uklart om slagget gir en pozzolan-effekt over tid. Er det for grovt?
- Hvor høy temperatur trengs? Kan en lage slik kalk i dag?





• text

Kalkovnen i Tvedestrand

- Halvttonns produksjonsovn
- Kalk for restaurering, 900-1000 grd.  
90%  $\text{CaCO}_3$  – «subhydraulisk» kalk
- **Velegnet for eksperimenter**







# Skru opp temperaturen I: Brenning av Porsgrunnkalk

- Uren, fossilrik, silurisk kalkstein, 70-80%  $\text{CaCO}_3$
- 11-1200 grader nede i ovnen gir slagg
- To pyroksentyper + Al-silikater (XRD)





# Skru opp temperaturen II

## Brenning av Ringsakerkalk på 1100++ grader

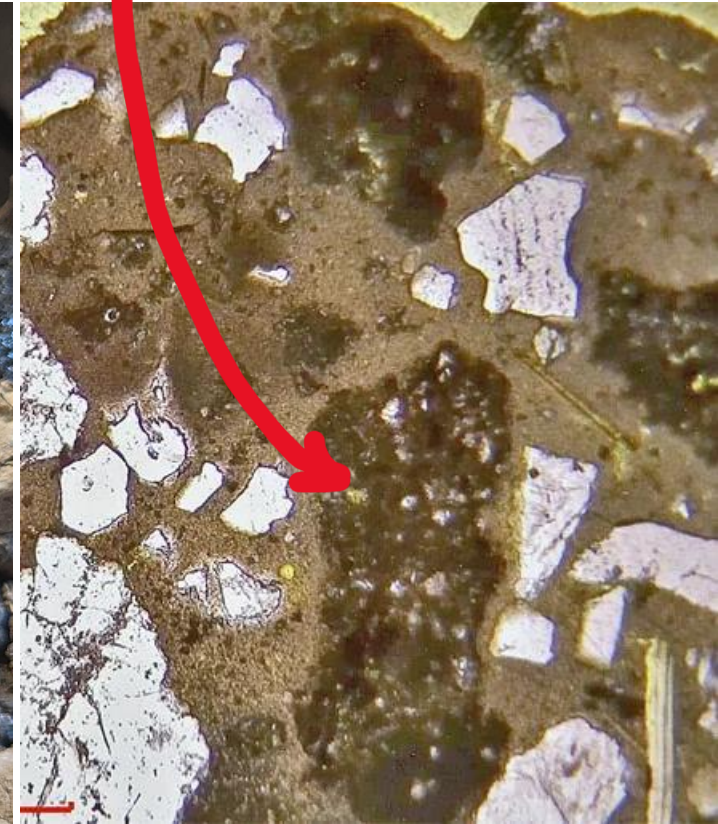
Ordovicisk, uren kalk, ca.  
70%  $\text{CaCO}_3$ , men kan være  
renere (Ortocerkalk)



Gir slag med Ca-silikater  
(melilitt, wollastonitt).  
Sideritt også tilstede (XRD).



Gir også brent/sintret  
skifer (også ved lavere  
temp.)



Renere varianter brennes ved  
passe temperatur av Tore  
Granmo på Helgøya ved Hamar



# Mørtel av slaggekalk



Mye slag, men ikke dødbrent kalk, grei å leske med ørlite sand,  
gir hard, men ganske porøs, beige mørtel



# Konklusjoner II

- 11-1200 grader kan være nok for å danne slaggg fra urene kalksteiner
- Sammensetning av slaggg tilsvarende som i eldre mørtler
- Det dannes også brente/sintrede skiferfragmenter o.a.
- Kalkene blir ikke dødbrente
- Greie å leske og bruke (men selvsagt vanskeligere enn luftkalker)
- Kan brukes uten ekstra tilslag om en vil
- Blir harde, betydelige hydrauliske egenskaper, men nokså porøse
- Trenger tid for å se hvordan de utvikler seg



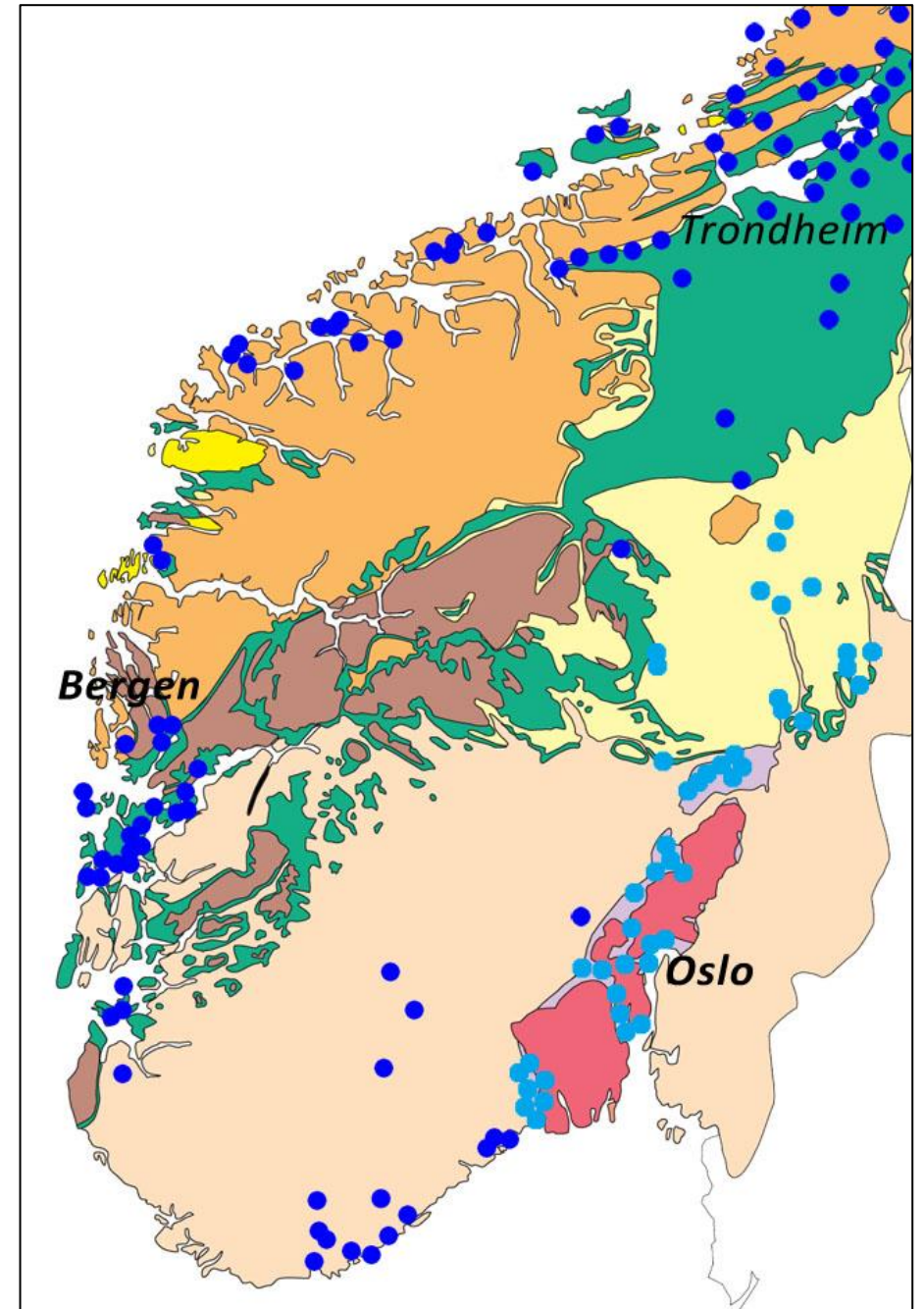
# Konklusjoner III

## Mangfold

- Vist 2 av sannsynlig 6 tilfeller med slag i mørtel, av 12 undersøkte bygninger
- Vet ikke om dette reflekterer alle de 170 middelalderkirkene...
- Mange er mye «mykere»
- Geologien og brenntemperaturen bestemmer!

## Konsekvenser for restaurering?

- Bruke tilsvarende harde/sterke?
- Nei – bruke kalker tilpasset hver enkelt situasjon!





Flere detaljer og videre lesning:

[Slag in Norwegian medieval lime mortars](https://per-storemyr.net/2024/10/07/slag-in-norwegian-medieval-lime-mortars/)

<https://per-storemyr.net/2024/10/07/slag-in-norwegian-medieval-lime-mortars/>

Tips om og erfaringer med slaggg mottas med takk!

## Per Storemyr Archaeology & Conservation

*For the joy of old stone!*

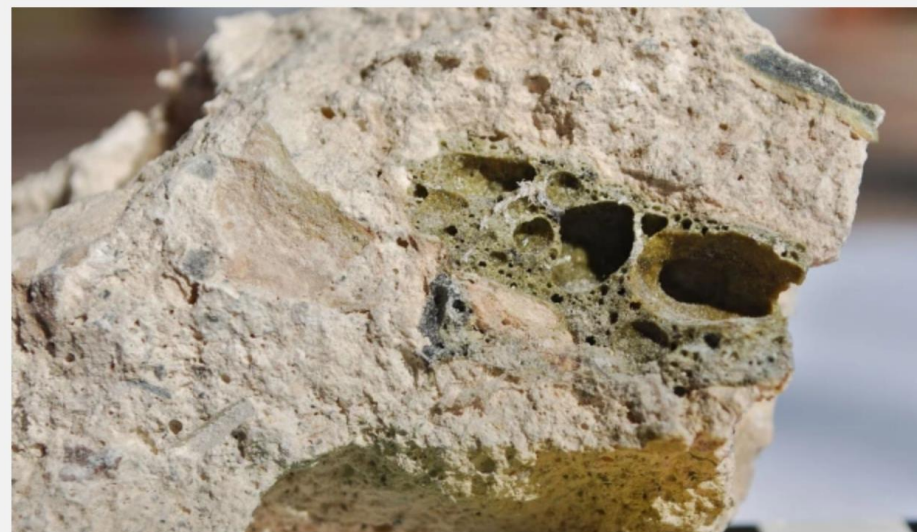


[Home](#) [About](#) [Services & Research](#) [Clients & Partners](#) [Publications](#) [Reports](#) [Thematic maps](#) [Contact](#)

← The Stones and Mortars of the Medieval Cathedral on the Faroe Islands

### Slag in Norwegian medieval lime mortars

Posted on [September 27, 2024](#) by [Per Storemyr](#)



Search this site

Search

#### Welcome!

I work with the geoarchaeology of old stone: quarries, monuments, rock art. And I try to figure out about their weathering, and conservation using traditional crafts. I also burn lime the traditional way. My domestic services are managed through FABRICA, a registered Norwegian company established with good partners. On this website I publish articles on many aspects of cultural heritage. For the joy of old stone! Per Storemyr

Visit FABRICA's website!



#### Recent posts

- [The Stones and Mortars of the Medieval Cathedral on the Faroe Islands](#)