

# Forskning på bruk av lokale steinmaterialer

Foredragsholdere: Elena Scibilia, Marit Fladvad  
Også på vegne av: Diego M. Barbieri, Karlis Rieksts, Benoit Loranger

# Drømmevegen



Vi ønsker:

- God kvalitet
- God drenering
- God bæreevne
- Ingen teleskader
- Ingen sprekker

Samtidig:

- Lave kostnader
- Rask bygging



Denne vegen er et godt eksempel på en vegkonstruksjon med et komplisert skadebilde

Vegen er skadet av

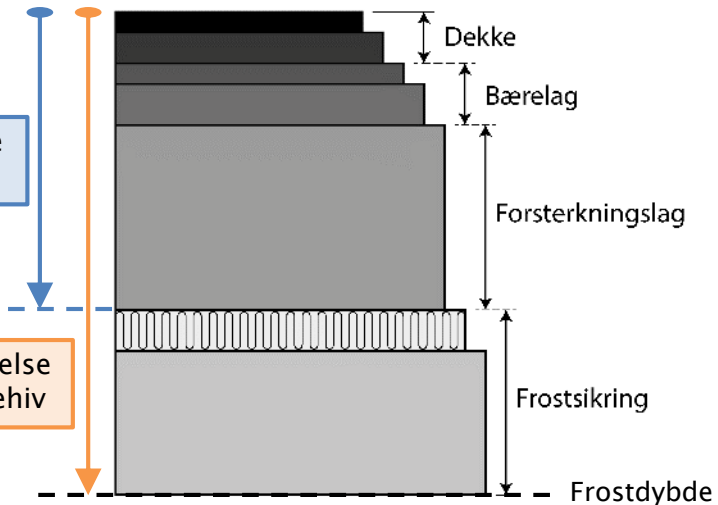
- spordannelse
- frostproblemer
- dårlig drenering

# Lagoppbygging



Nødvendig tykkelse for bæreevne

Nødvendig tykkelse for å unngå telehiv



# Transport av steinmaterialer

Fra uttaksstedet...



...til bruksstedet



## Fakta fra NGU:

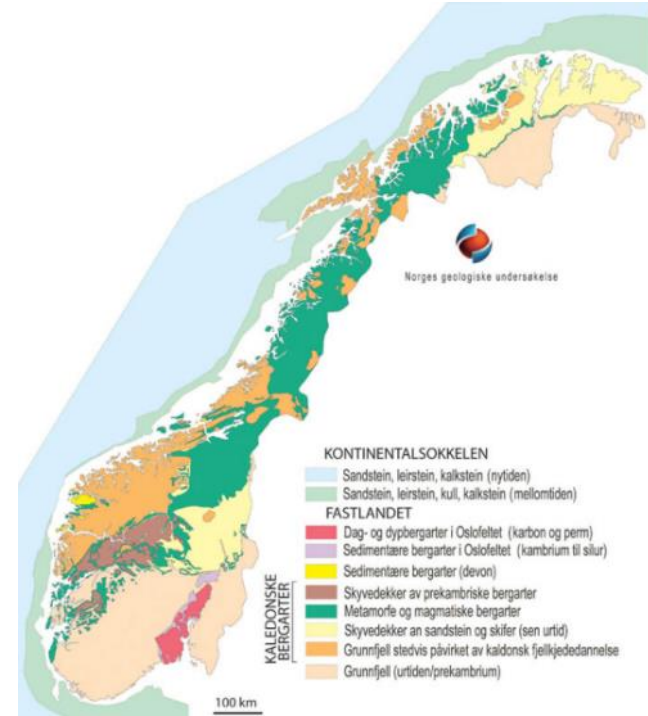
- Hver nordmann bruker 11 tonn pukk, grus og sand i året
- Hvert tonn pukk, grus og sand som brukes i Norge transporteres i gjennomsnitt 19 km
- Dersom pukk transporteres lenger enn 30 km koster transporten mer enn materialet i seg selv

# Overskuddsmaterialer fra anlegg

1. Dagens retningslinjer stiller strenge krav til hvilke materialer som kan brukes i vegkonstruksjonen
2. Nye anleggsprosjekter, f.eks. ferjefri E39, genererer store masseoverskudd av sprengt stein



# Variierende geologi i Norge



# Krav til vegkonstruksjonen

## Bæreevne

- Mekaniske egenskaper ←
- Gradering ←
- Deformasjonsegenskaper

## Frostsikring

- Telefarlighet ←
- Varmestrøm (konveksjon)



## Bruk av lokale steinmaterialer



PhD nr. 1  
**Marit Fladvad**



PhD nr. 2  
**Diego M. Barbieri**

## Frostsikring av vei og jernbane



PhD nr. 3  
**Benoit Loranger**

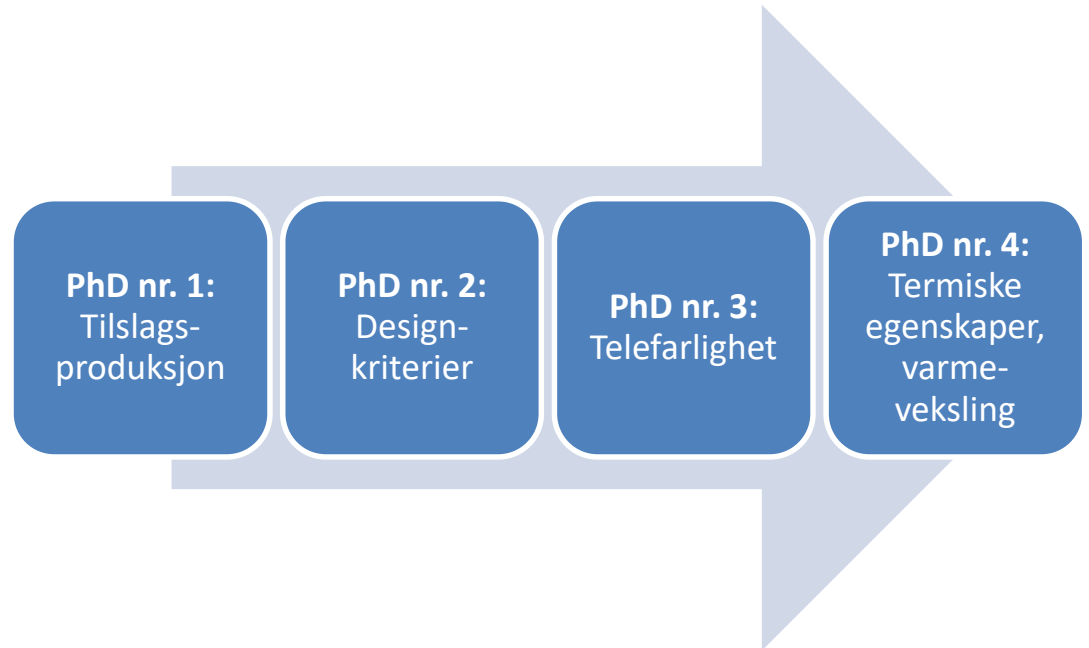


PhD nr. 4  
**Karlis Rieksts**

# Konseptet med fire PhD-oppgaver

Forskningen dekker fire aspekter av materialegenskaper:

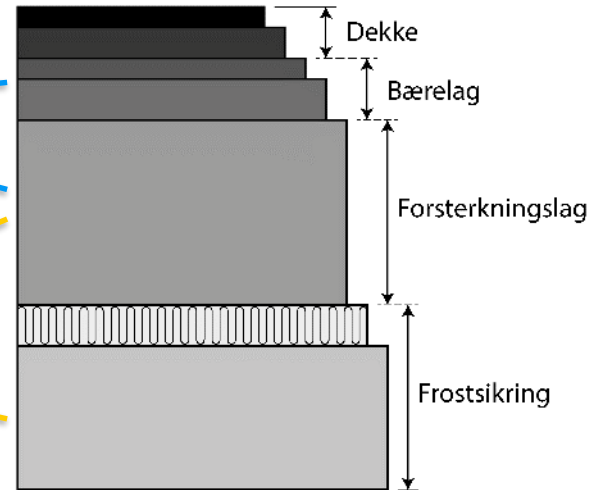
- a) geologiske egenskaper
- b) mekaniske egenskaper
- c) telefarlighet
- d) termiske egenskaper



# Utnyttelse av lokale materialer – Kortreist stein

Diego M. Barbieri:  
Bærelag og forsterkningslag

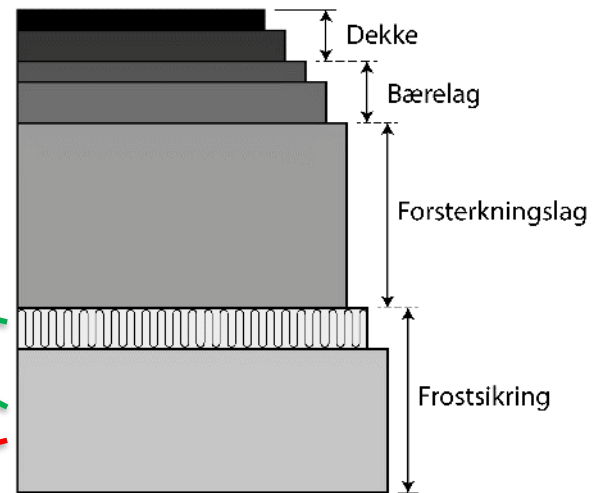
Marit Fladvad:  
Forsterkningslag og frostsikringslag



# Frostsikring

Karlis Rieksts:  
Frostsikringslag

Benoit Loranger:  
Frostsikringslag



# **Utnyttelse av lokale materialer**

## **– Kortreist stein**

*Marit Fladvad*

# Like materialer – ulikt fokus

## Forbedre svake materialer

Kan vi gjøre tiltak for å få svakt tilslag til å bli sterkere?

- Blande sterkt og svakt materiale
- Tilsetningsstoffer

Diego M. Barbieri

## Produsere sterke materialer

Hvordan kan vi produsere sterkest mulig tilslag fra den steinen vi har tilgjengelig?

- Forbedre knuseprosessen
- Relevant kvalitetskontroll

Marit Fladvad

# Forbedre svake materialer

Hvordan kan vi forbedre kvaliteten til svake materialer nok til at de kan brukes i vegkonstruksjonen?

# Testmaterialer fra tunnelanlegg

## Sterkt materiale



### Materiale M1

LA-verdi:	17,3
Micro-Deval-verdi:	10,2

## Svake materialer



### Materiale M2

LA-verdi:	30,0
Micro-Deval-verdi:	23,6

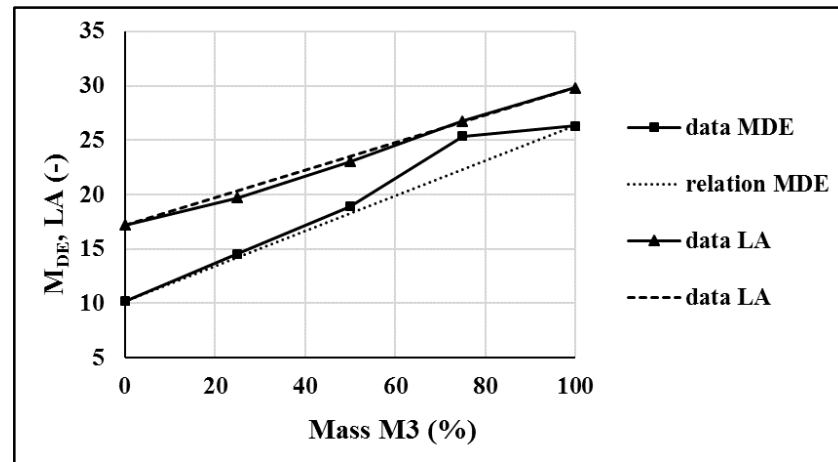
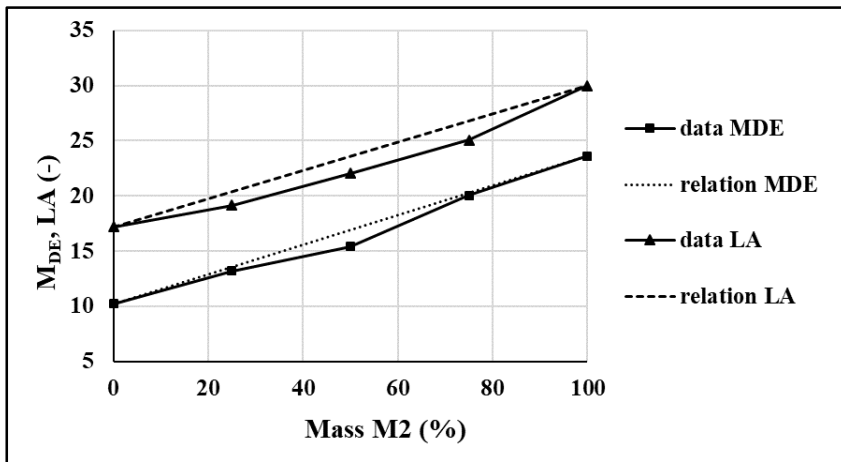


### Materiale M3

LA-verdi:	29,8
Micro-Deval-verdi:	26,3



# Blanding av sterkt og svakt materiale



Sterkt materiale	<b>M1</b>	LA = 17,2	$m_{DE} = 10,2$
Svake materialer	<b>M2</b>	LA = 30,0	$m_{DE} = 23,6$
	<b>M3</b>	LA = 29,8	$m_{DE} = 26,3$

# Forsterke svake materialer med tilsetningsstoff

Kan tilsetningsstoffer

- gjøre steinmaterialet sterkere?
- gjøre det mulig å utnytte mer av de svake materialene?

To tilsetningsstoffer er undersøkt for effekt på

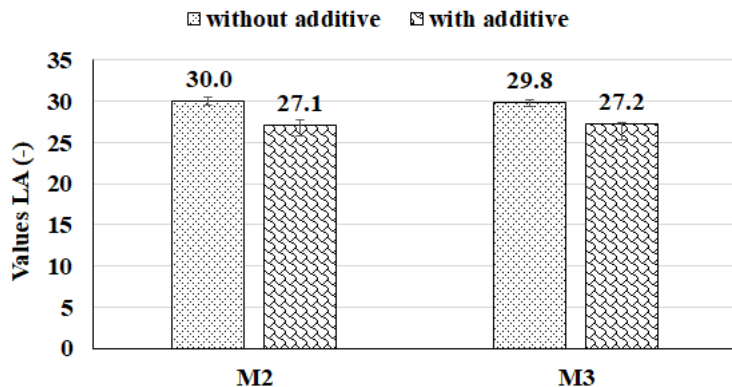
- mekanisk styrke
- stivhet



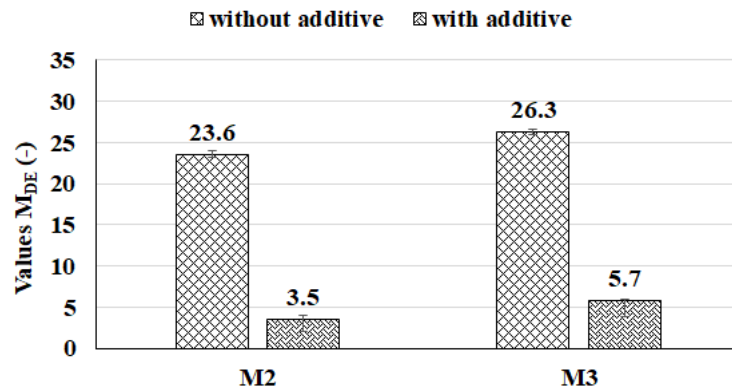
# Tilsetningsstoff 1: Mekanisk styrke

Sammenligning av mekanisk styrke for materialene med og uten tilsetningsstoff 1:

## Los Angeles



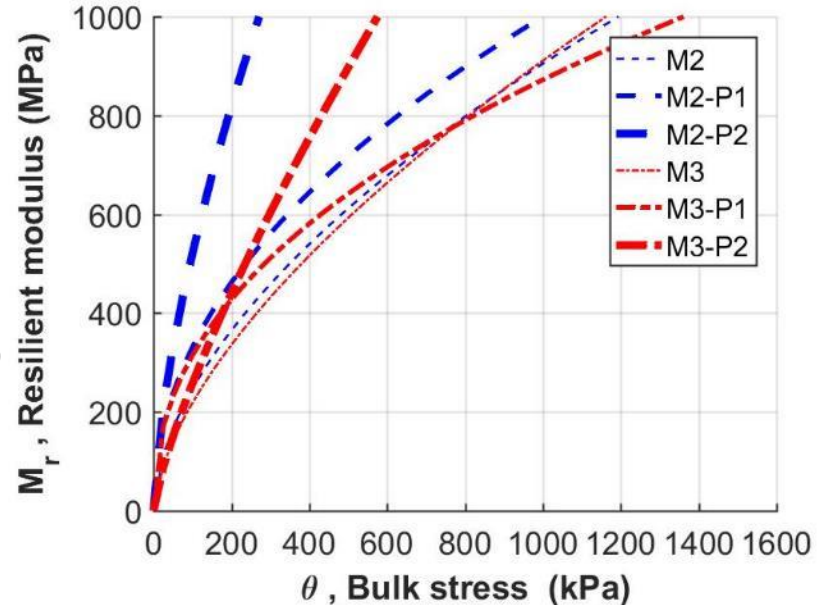
## micro-Deval



# Tilsetningsstoff 1: Stivhet

Materialets stivhet er beregnet på grunnlag av treaks-test

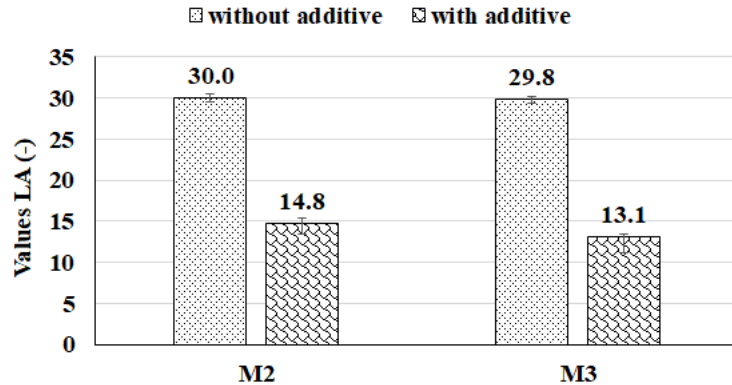
To ulike konsentrasjoner av tilsetningsstoff 1 er testet på de to svake materialene M2 og M3



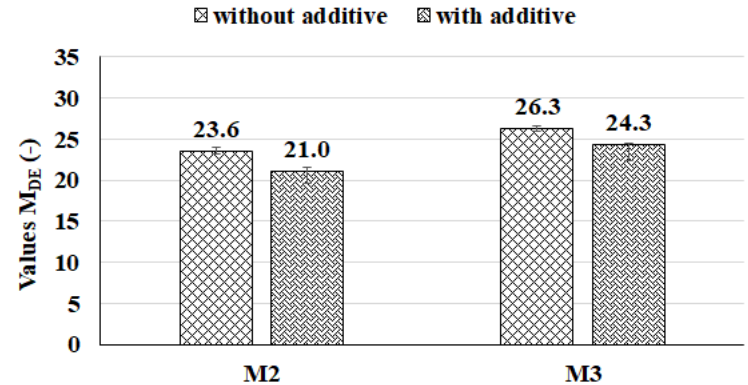
# Tilsetningsstoff 2: Mekanisk styrke

Sammenligning av mekanisk styrke for materialene med og uten tilsetningsstoff 2:

## Los Angeles

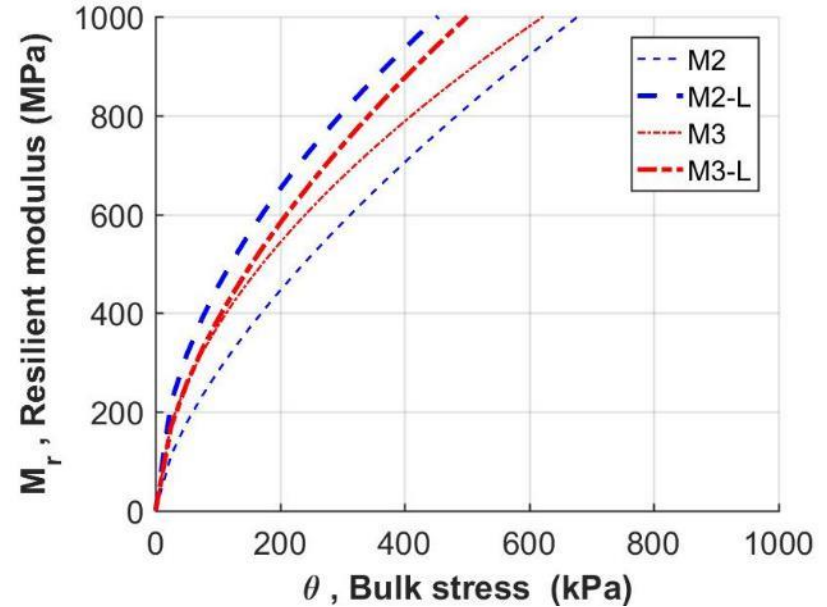


## micro-Deval



# Tilsetningsstoff 2: Stivhet

Materialets stivhet er beregnet på grunnlag av treaks-test



# Produsere sterke materialer

Hvordan få best mulig kvalitet ut fra den bergmassen vi har tilgjengelig?

# Er det forskjell på å produsere i pukkverk og på anlegg?

## I pukkverk

- Jevn, kontrollert geologi
- Stabil knuseprosess tilpasset materialet i bruddet

Vi kan si "fra dette bruddet får vi denne kvaliteten"

## På (tunnel)anlegg

- Stor variasjon i geologi
- Usikkert om variasjonene fanges opp
- Knuseverket er ikke optimalt tilpasset til alle variasjonene

Usikkert hvilken kvalitet som produseres

Hvor store kvalitetsvariasjoner kan vi få bare ved å endre på knuseprosessen?



# Hvor representativ er kvaliteten vi måler?

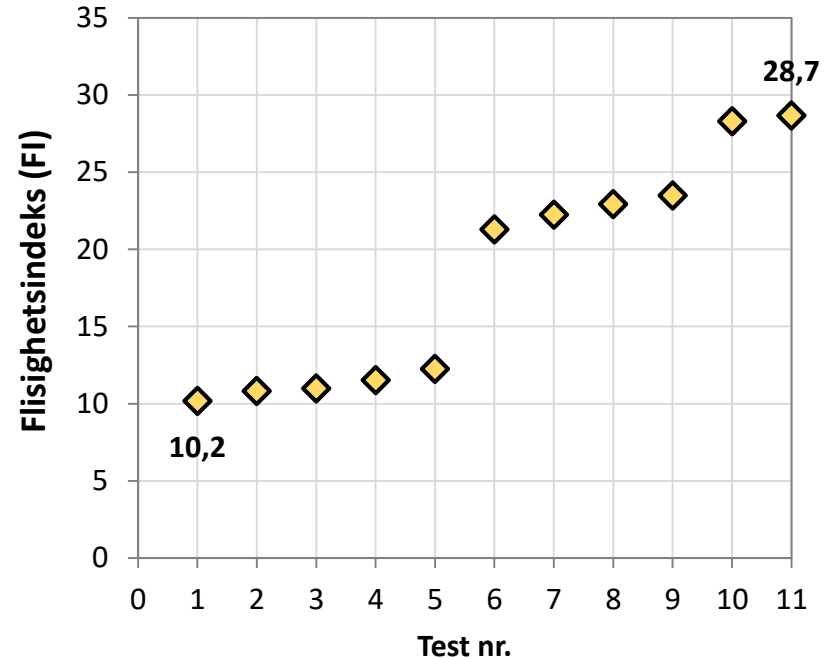
Ett materiale testet:

Granodioritt,  $LA = 26$ ,  $M_{DE} = 9$

Variasjoner i knuseprosessen:

- Knuseråpning
- Fyllingsgrad
- Hastighet på knuseren

Store variasjoner i kornform:



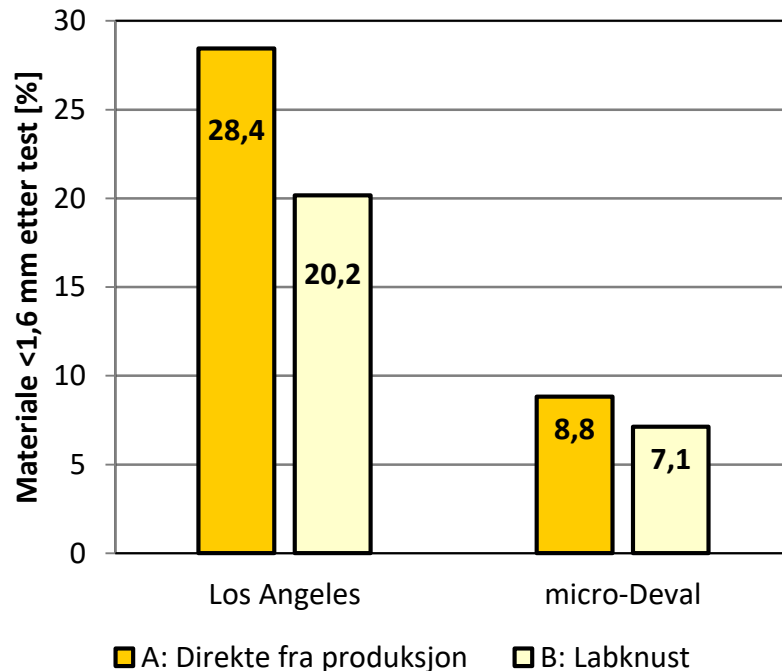
# Dokumenterer vi riktig kvalitet?

## Mekaniske egenskaper:

Den tradisjonelle kvalitetskontrollen kjøres på materiale i størrelsen 10-14 mm, mens materialet vi bruker i forsterkningslag ofte er 22/120 mm.

Sammenligning:

- A:** Tester 10-14 mm direkte fra produksjon
- B:** Tester 10-14 mm labknust fra 32-63 mm



## Ett testmateriale – store kvalitetsvariasjoner

Deklarert LA-verdi: 26,0

Høyeste målte LA-verdi: **31,0** (direkte fra produksjon)

Laveste målte LA-verdi: **17,5** (labknust)

Variasjoner også når materialet er “forbedret” med labknusing:

Høyeste LA-verdi 22,0

Laveste LA-verdi 17,5

# **Frostsikring**

– Frostsikring av veg og jernbane

*Elena Scibilia*

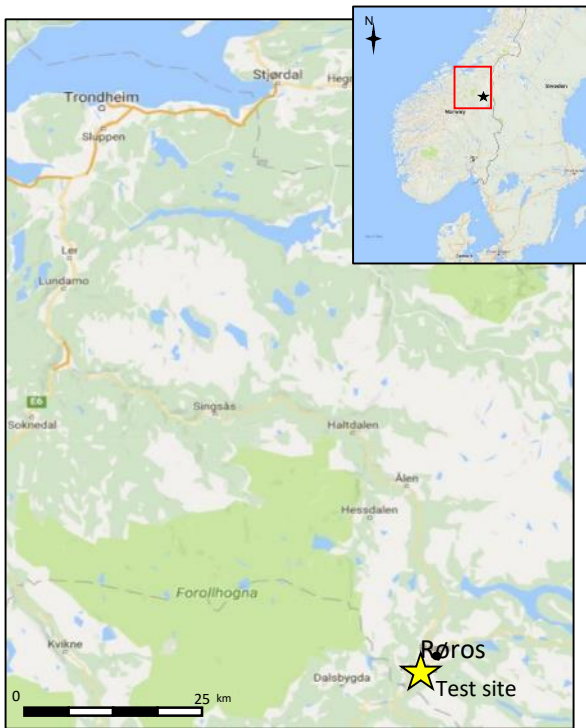
# Fv26, Alta



Foto: Lars Andreas Solås

# Feltundersøkelser

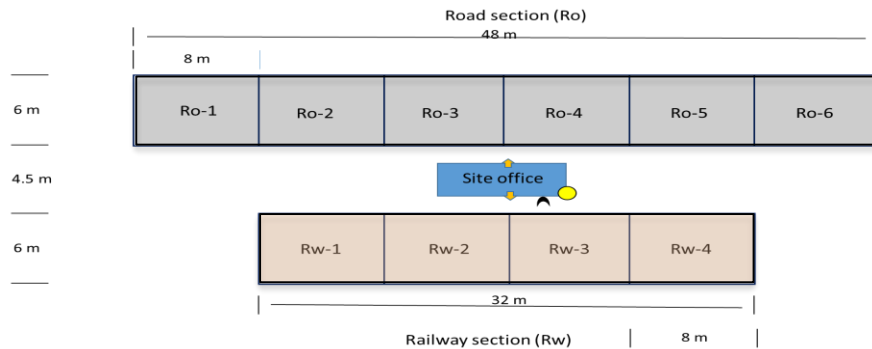
# Feltforsøk på Røros



Vegseksjoner



Jernbaneseksjoner



# Ulik gradering: Vegseksjon Ro-1 – Ro-3

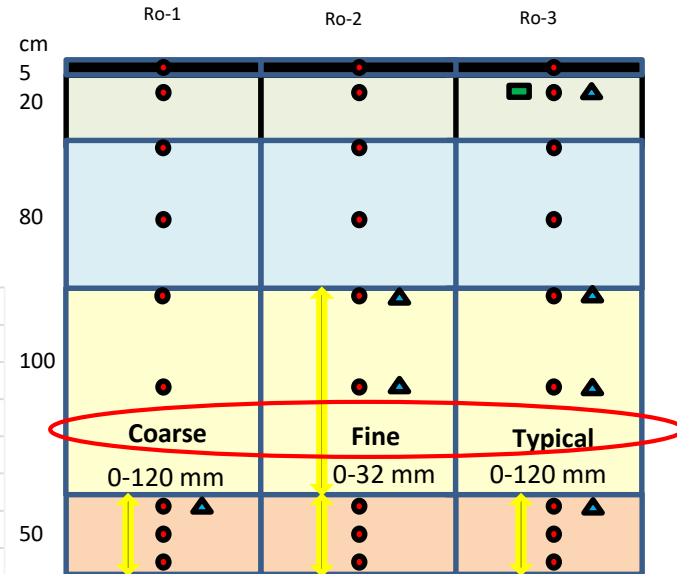
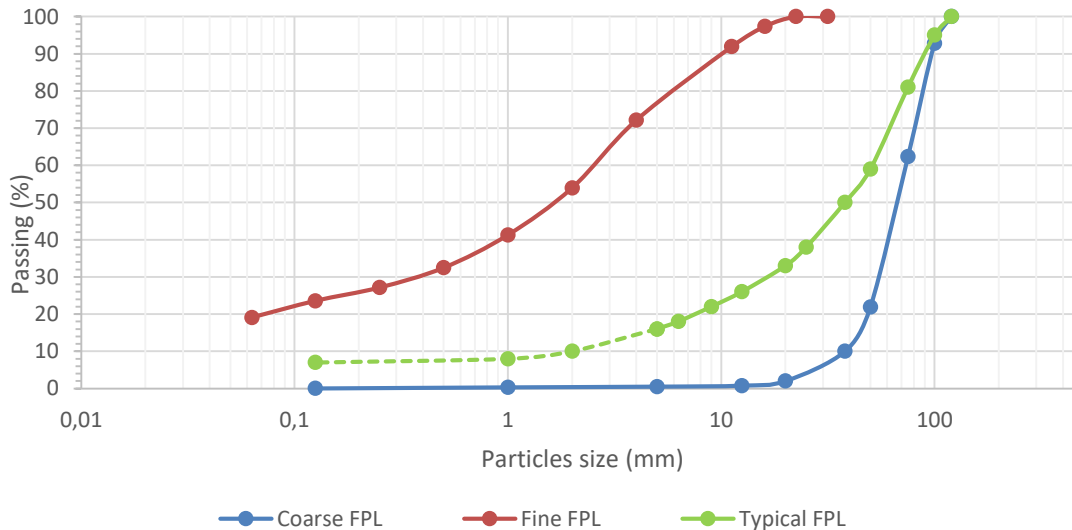
Tre ulike graderinger i frostsikringslaget:

Ro-1: 0-120 mm, 'Coarse'

Ro-2: 0-32 mm, 'Fine'

Ro-3: 0-120 mm, 'Typical'

Grading Curves of Frost Protection Layer, Rørørs Test Site

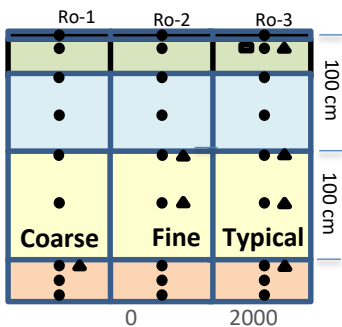


● - Temperature sensors

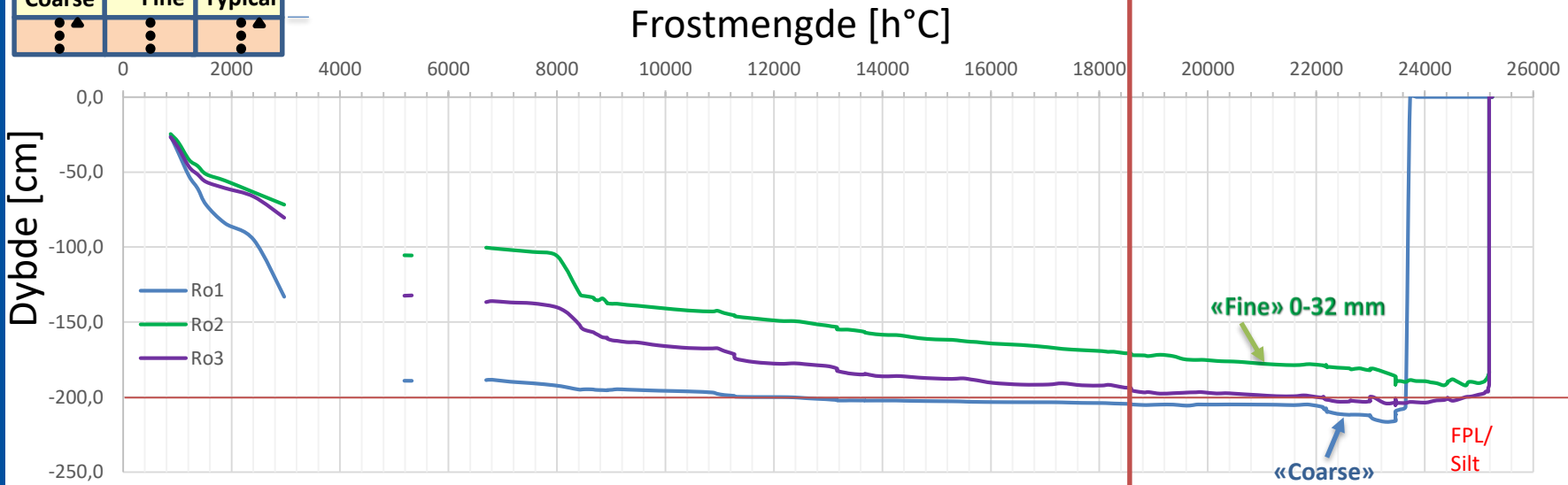
Overbygningstykkelse: 200 cm



# Frostnedtrengning vegseksjon Ro-1 – Ro-3



!!! I januar nådde frosten gjennom vegoverbygningen og ned til silten i undergrunnen

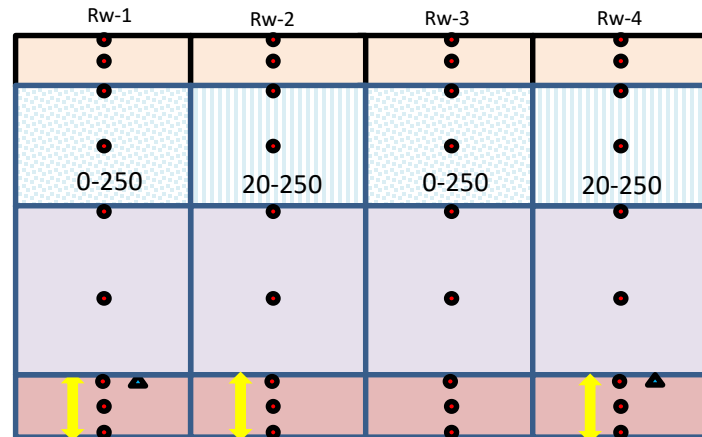
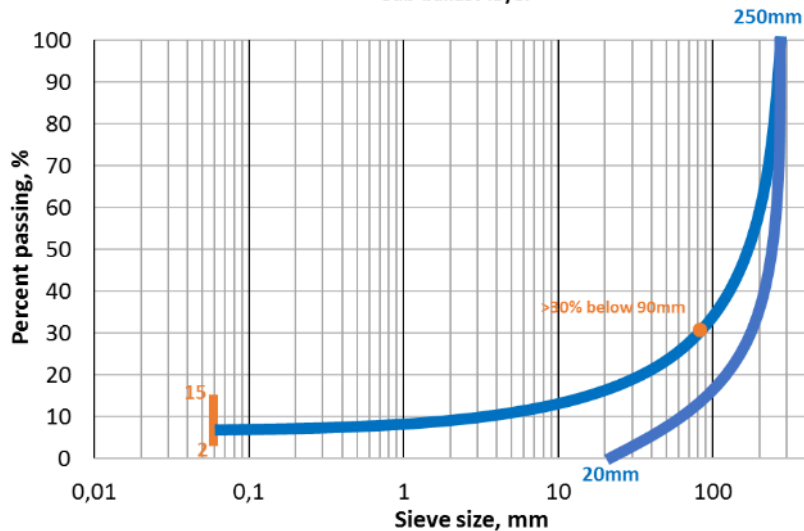


Maksimal frostnedtrengning (januar) Ro1: -216,5; Ro2: -192,3; Ro3: -204,3

# Ulik gradering: Jernbaneseksjoner (Rw1 – Rw4)

To ulike graderinger i forsterkningslag for jernbaneseksjonene:

- **0-250 mm** (Rw1 og Rw3)
  - **20-250 mm** (Rw2 og Rw4)
- Sub-ballast layer



Ulik mineralogi



Overbygningstykkelse 200 cm

# Forsterkningslag RW1 – RW4: Varierende gradering og mineralogi

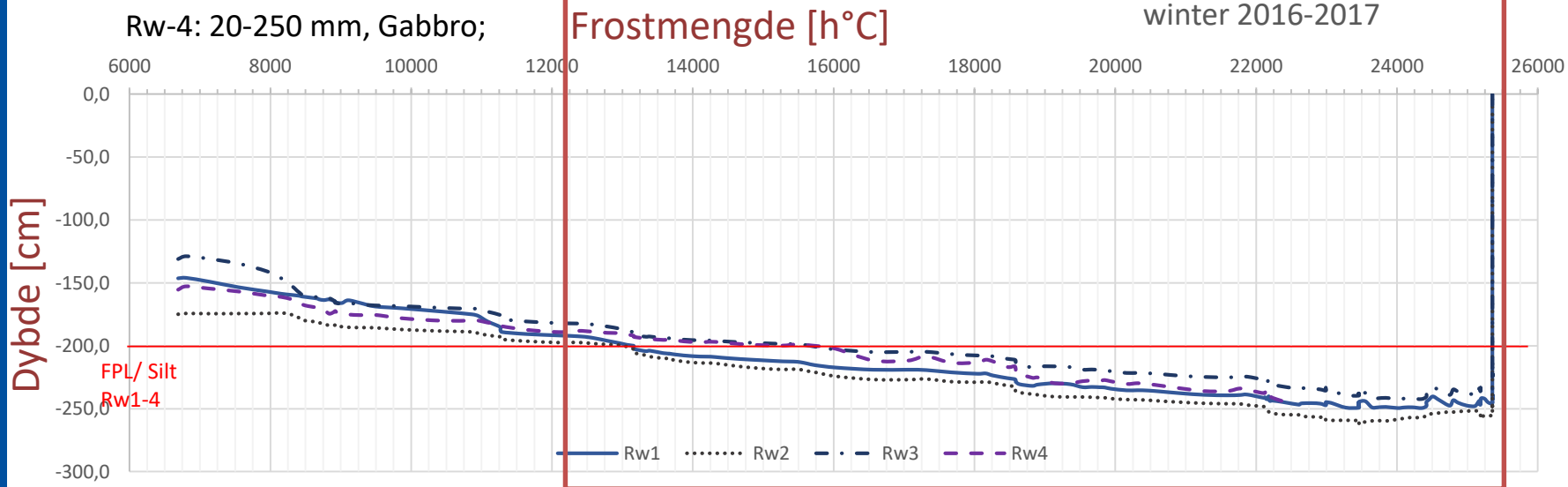
Rw-1: 0-250 mm, Quartzite;

Rw-2: 20-250 mm, Quartzite;

Rw-3: 0-250 mm, Gabbro;

Rw-4: 20-250 mm, Gabbro;

!!! I desember nådde frosten ned til siltlaget under underbygningen



# Laboratorieundersøkelser

## To hovedtema:

### Telehivproblemer

- Telehivpotensial (SP)

### Varmeoverførings- mekanismer

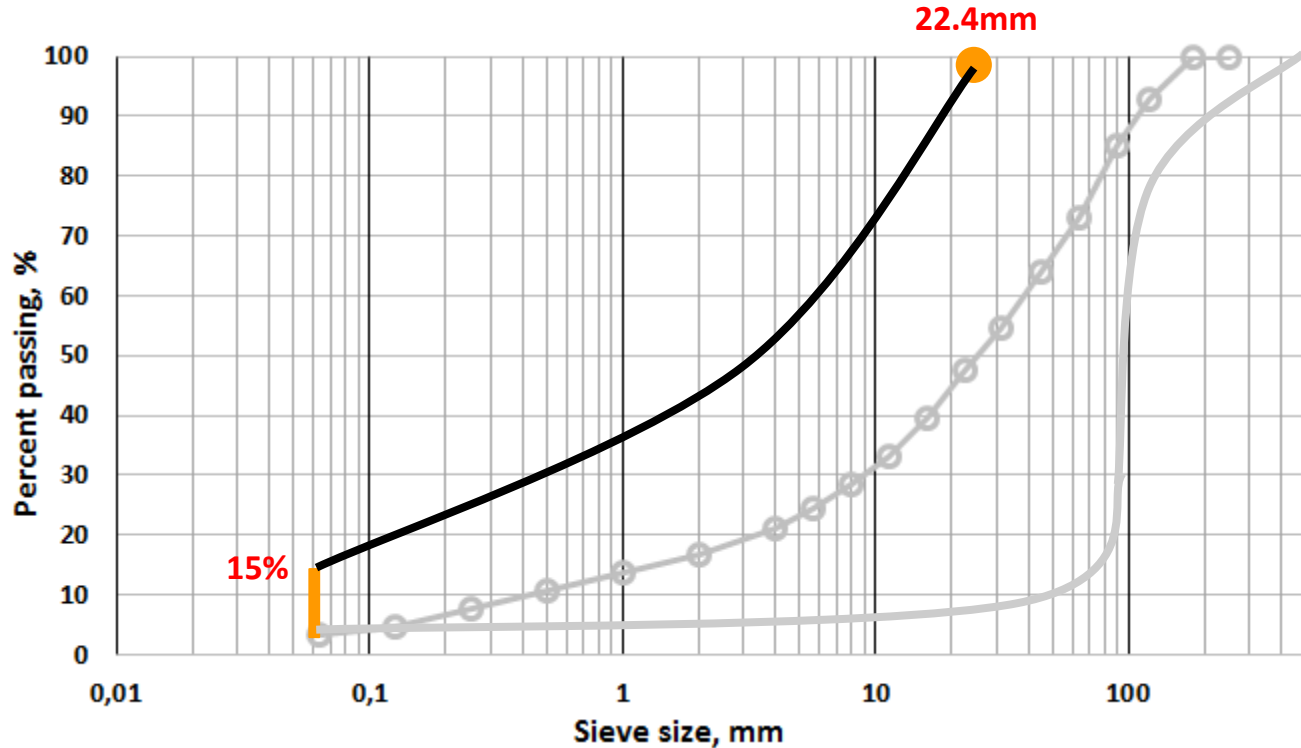
- Liten skala (termisk ledningsevne)
- Stor skala (konveksjon, varmeledning, stråling)

# Tema N3

Finstoffinnhold vil være vanskelig å kontrollere på grunn av variasjon i bergarter fra sted til sted.

Doktorgradsprosjekt N3 (gjort av Benoit Loranger) skal derfor undersøke effekten av økende finstoffmengde og finstoffets mineralogi på teleproblemer under frysing og tining.





Største sidekant  $D_{\max}$  500 mm.

Andelen materiale  $\leq 90$  mm skal minst være 30 %.

Andelen finstoff: 2-15 % (dvs. andel materiale  $< 0.063$  mm i forhold til materialet  $< 22.4$  mm)

# Frysetest: telehivpotensial



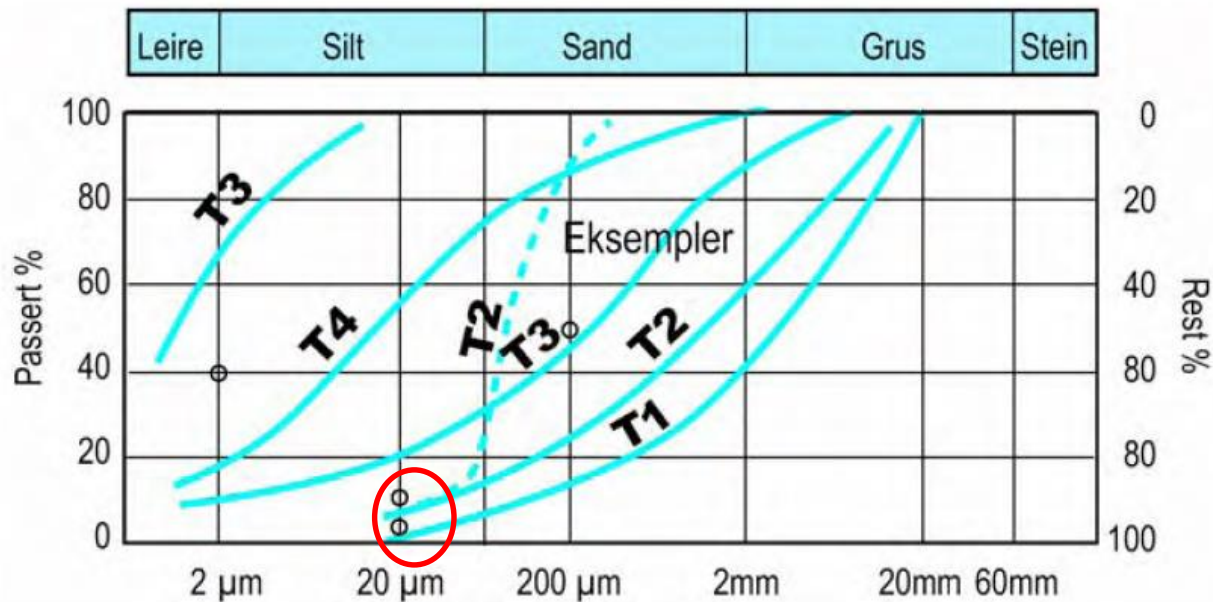
Trykk

vannforsyning





# Behov for å evaluere telefarlighetsklassifiseringen



- T1 – ikke telefarlig
- T2 – litt telefarlig
- T3 – middels telefarlig
- T4 – meget telefarlig

Basert på materiale <22,4 mm, opprinnelig for <19 mm

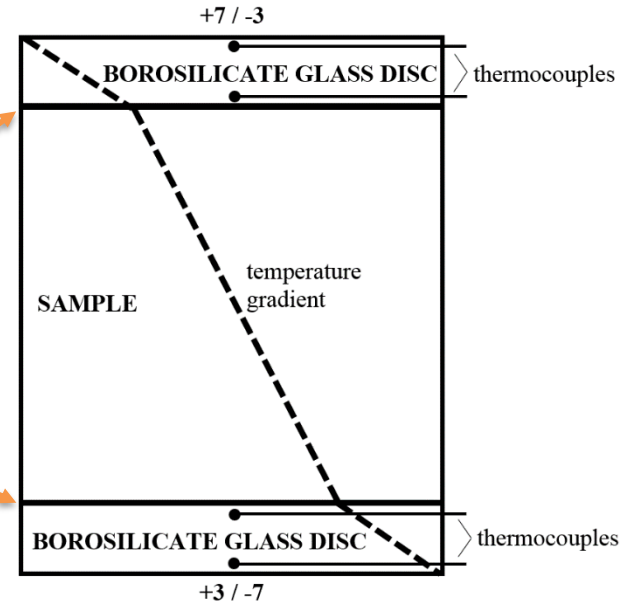
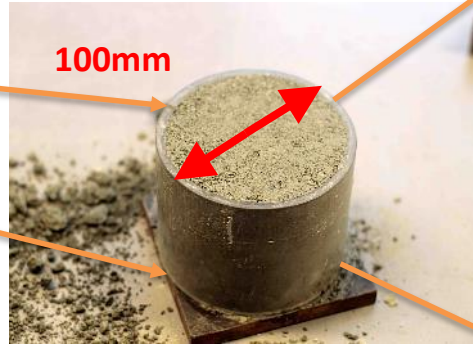
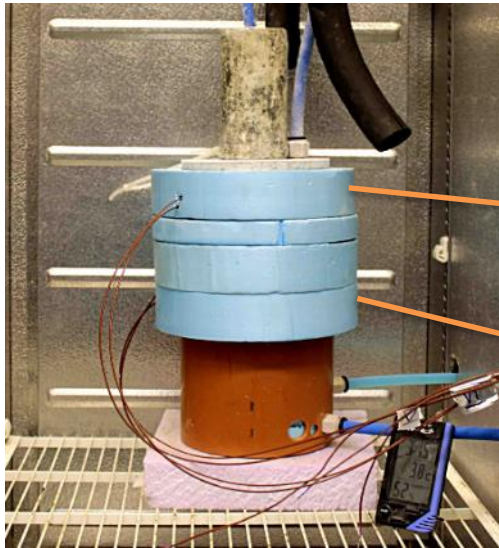
# Tema N4

Doktorgradsprosjekt N4 (gjort av Karlis Rieksts)

Undersøker hvordan gradering og mineralogi i pukkmaterialer påvirker varmetransport gjennom granulære lag, og hvor dypt frosten trenger ned i konstruksjonen.

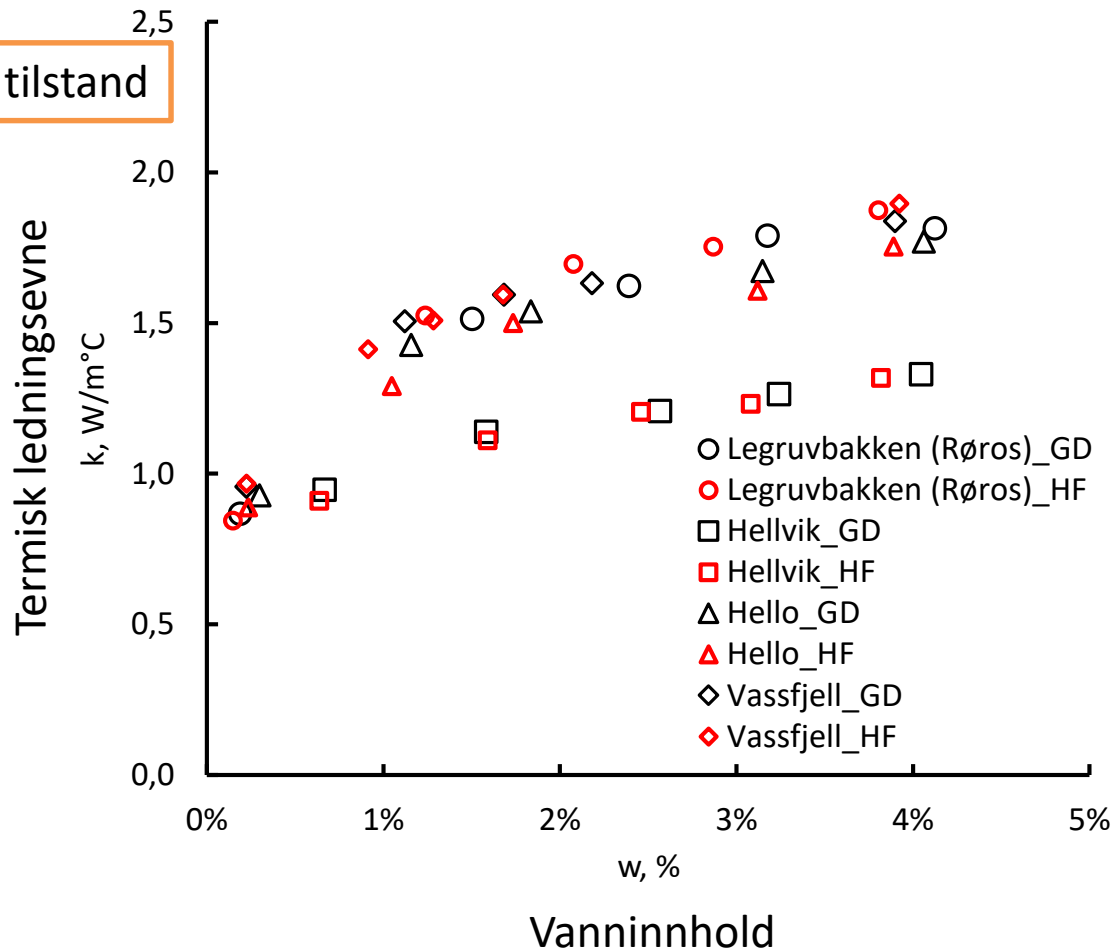


# Labforsøk i liten skala (termisk ledningsevne)

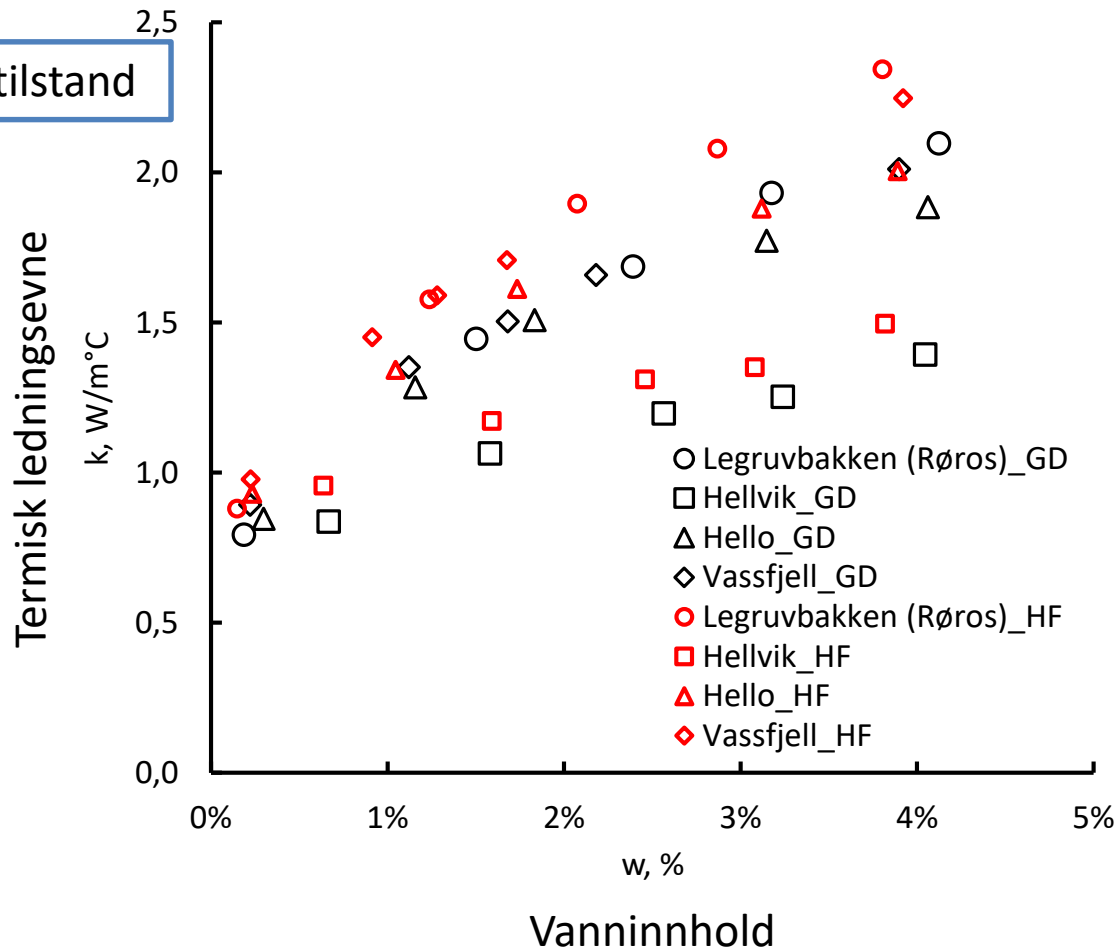


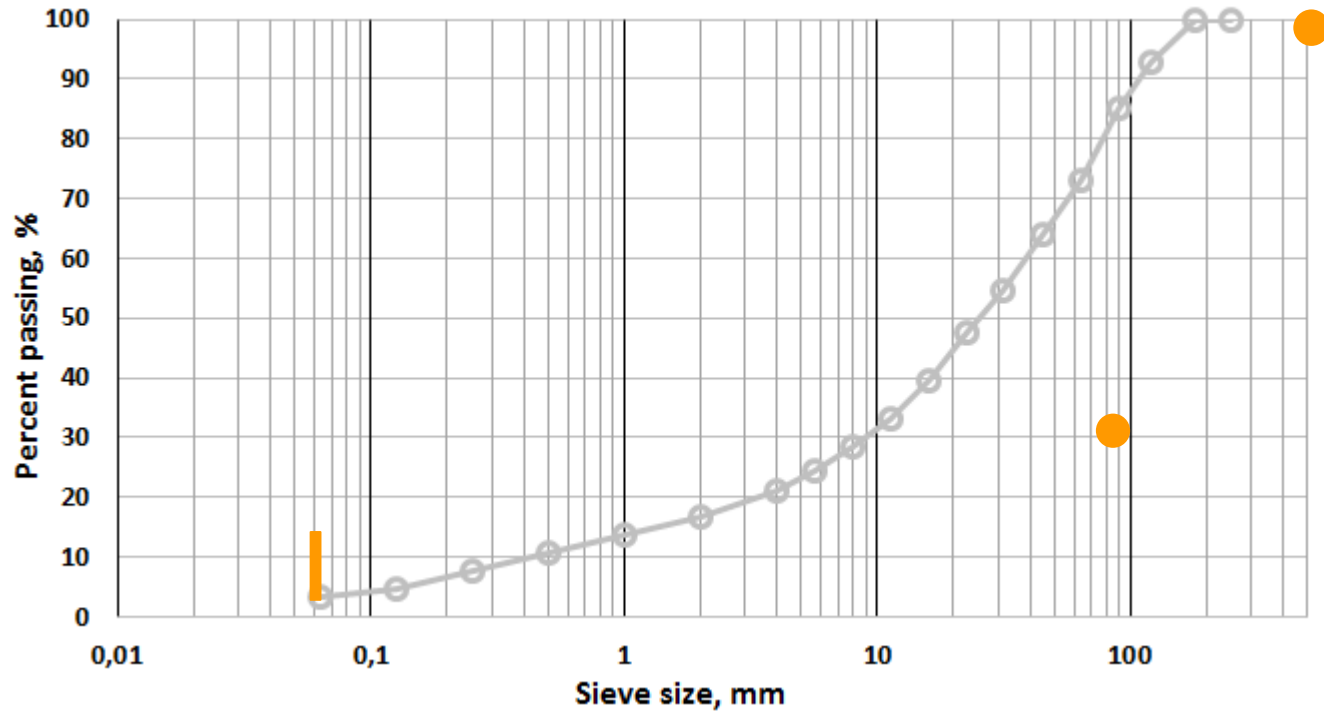
Kornstørrelse 0-16 mm

Ufrossen tilstand



Frossen tilstand

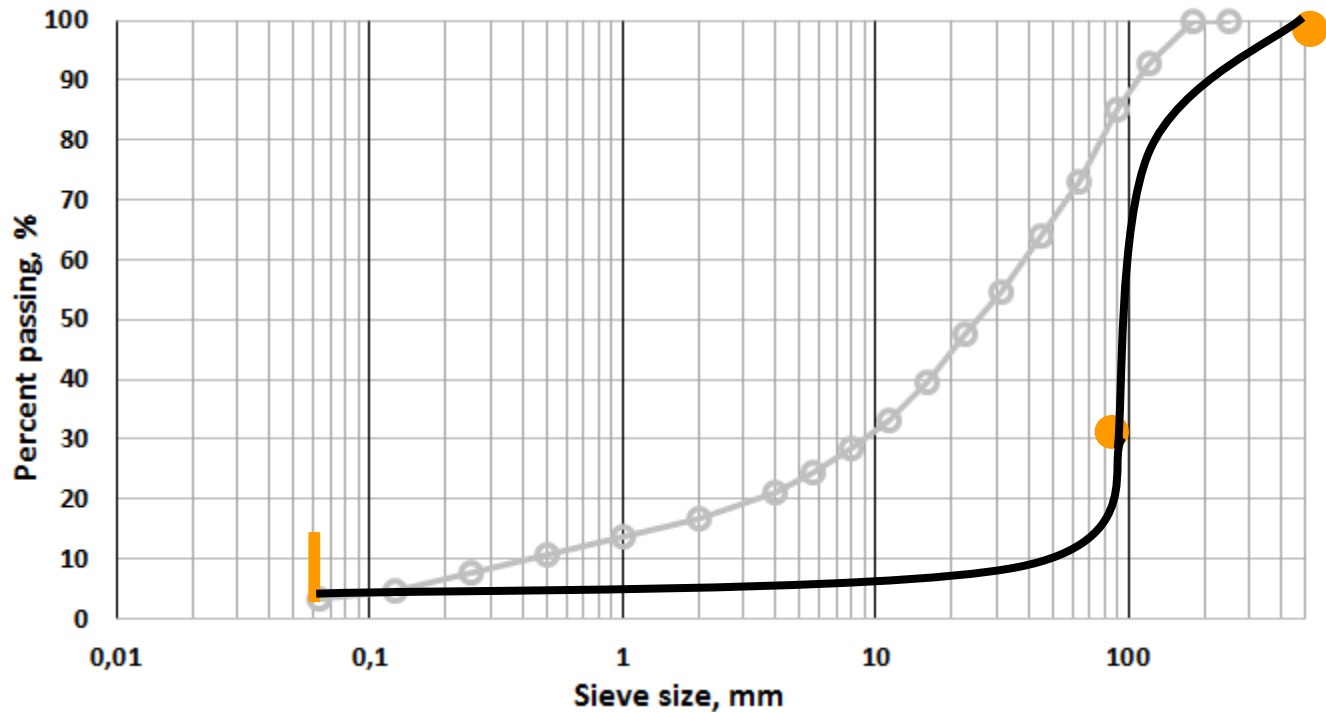




Største sidekant  $D_{\max}$  500 mm.

Andelen materiale  $\leq 90$  mm skal minst være 30 %.

Andelen finstoff: 2-15 % (dvs. andel materiale  $< 0.063$  mm i forhold til materialet  $< 22.4$  mm)



Største sidekant  $D_{\max}$  500 mm.

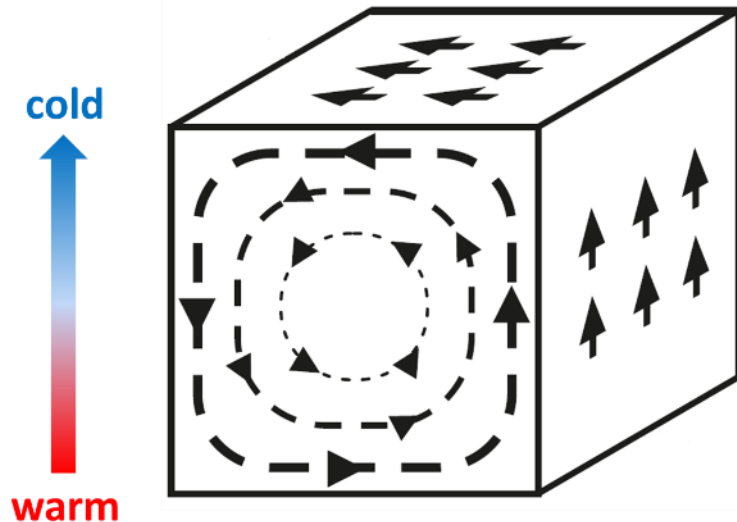
Andelen materiale  $\leq 90$  mm skal minst være 30 %.

Andelen finstoff: 2-15 % (dvs. andel materiale  $< 0.063$  mm i forhold til materialet  $< 22.4$  mm)

# Konveksjon - «varmestrøm»

Når et materiale er kaldt på toppen og varmt på bunnen, som når et frostsikringslag fryser, oppstår det en varmestrøm gjennom materialet.

I åpne materialer vil dette føre til at frosten trenger fortere ned i materialet.

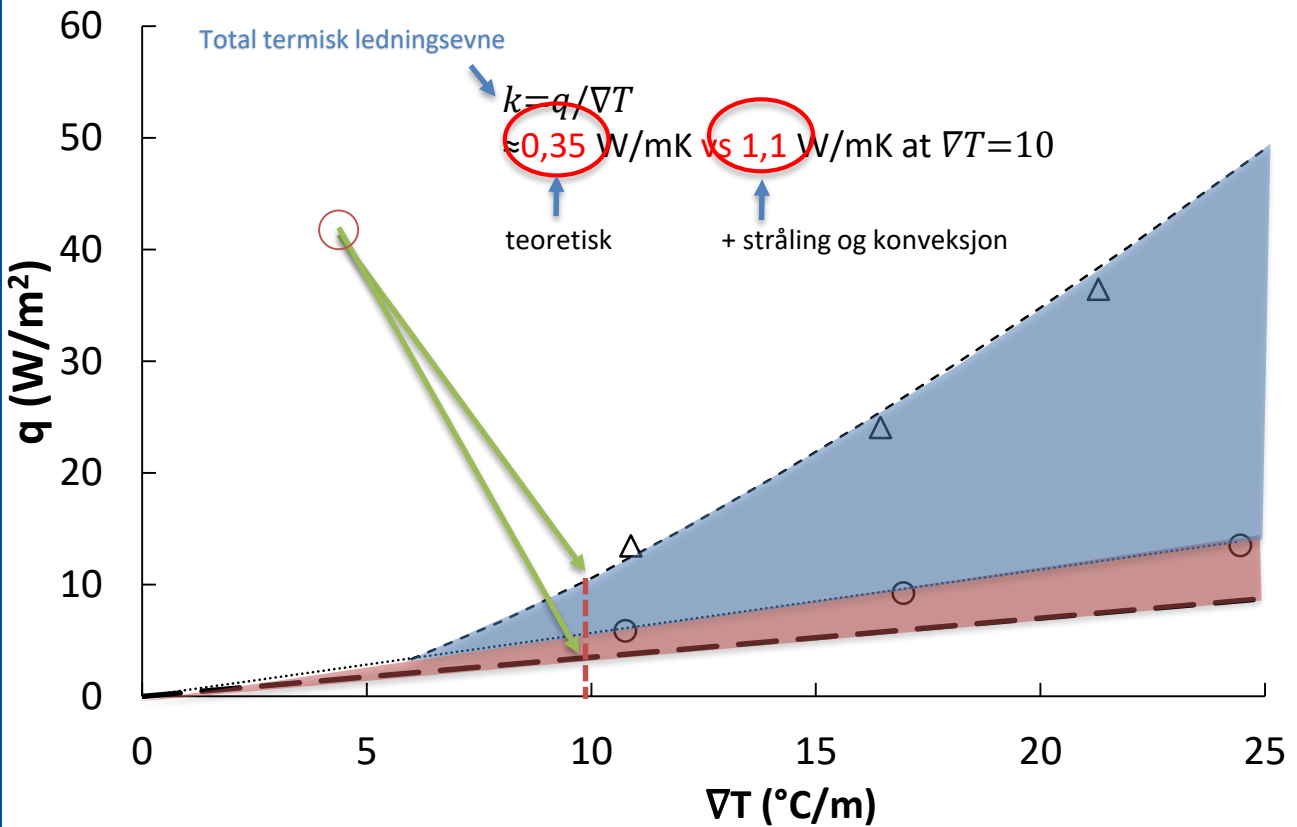




Varmeoverføringsmekanismer:

- konveksjon
- ledning
- stråling



# Effekten av konveksjon og stråling



-  Beregnede/teoretiske verdier
-  Bidrag fra ledning, stråling og konveksjon
-  Bidrag fra ledning og stråling

Stefan Equation

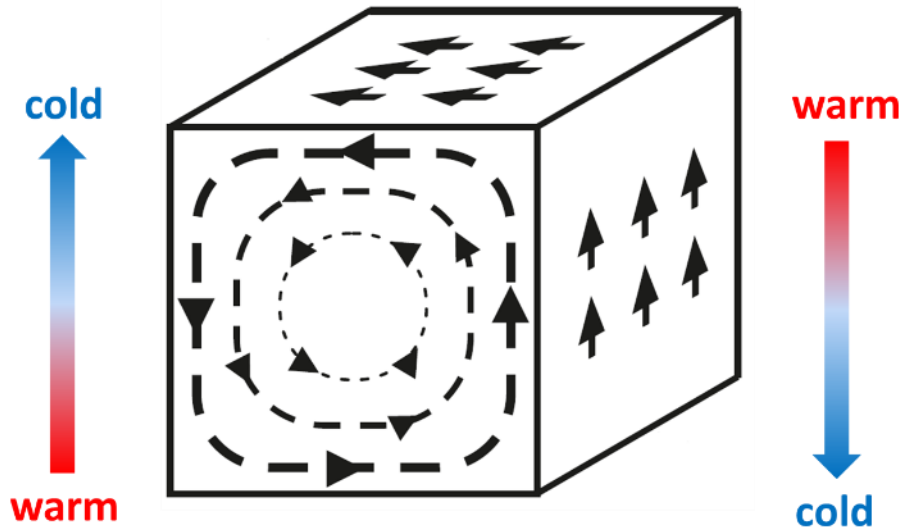
$$X = \sqrt{\frac{2k_f n_f I_G}{L_s}}$$

Frost penetration depth

# Labforsøk i stor skala



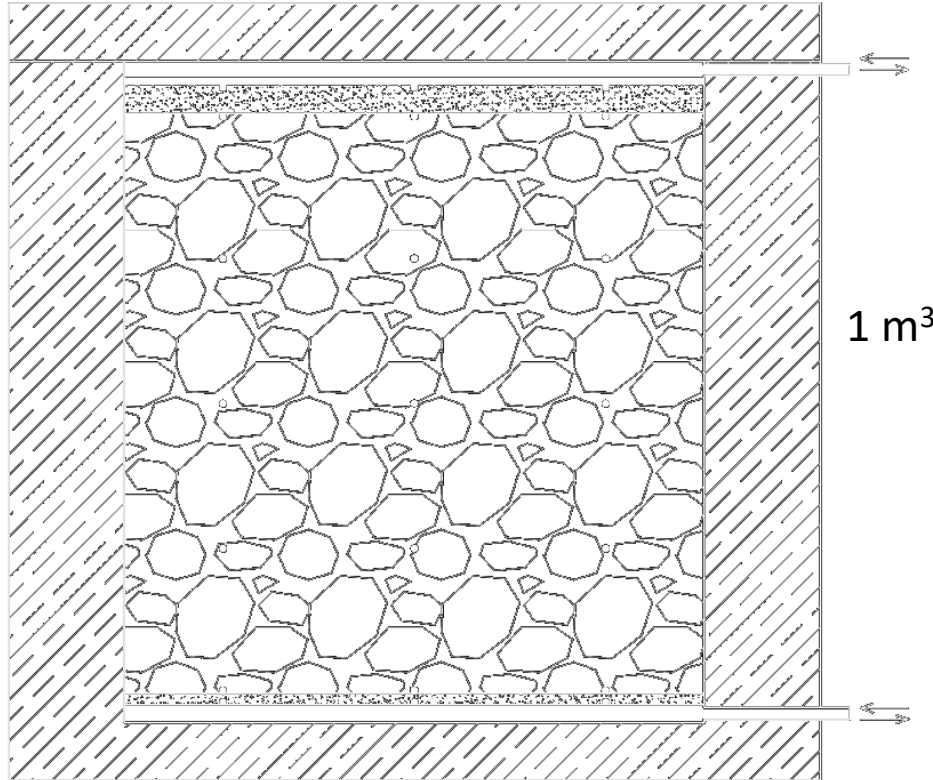
materiale: 0 - 200 mm



Varmeoverføringsmekanismer:

- konveksjon
- ledning
- stråling

# Labforsøk i stor skala



# Konklusjoner:

## Bæreevne:

- Kvalitet er ikke en konstant verdi gitt fra de geologiske forutsetningene
- Det er mulig å få høyere utnyttelsesgrad på tunnelmasser på veganlegg
- Vi bør kontrollere kvalitet på andre måter enn i dag

## Frostsikkerhet:

- Vi burde bruke mer finkornig materiale i frostsikringslag enn det som er dagens praksis
- Materialet bør være finkornig nok til at vi unngår konveksjon, og grovkornig nok til å unngå islinser

# Vegen videre

De fire PhD-oppgavene nærmer seg slutten, men vi ønsker å bruke den nye kunnskapen fra PhD-prosjektene videre i nye forskningsprosjekter.

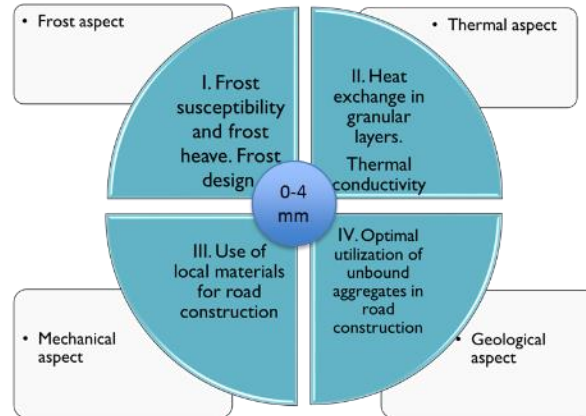
# «Utnyttelse av overskuddsmaterialer»

Vi leter etter partnere til et nytt prosjekt, der fokusområdet er bruk av overskuddsmaterialer (f.eks. 0/4 mm) til frostsikringslag.

Vi ønsker å undersøke

- telefarlighet,
- vannømfintlighet,
- ulik knuseteknikk
- mekaniske egenskaper

for slike materialer og prøve ut mulige løsninger for å forbedre disse egenskapene.





**TAKK FOR OSS!**

Elena Scibilia, NTNU Institutt for bygg og miljø, [elena.kuznetsova@ntnu.no](mailto:elena.kuznetsova@ntnu.no)

Marit Fladvad, Statens vegvesen & NTNU Institutt for geovitenskap og petroleum