

Grunnlag for ny NS 8141-3

Standard Morgen: Ny utgave av NS 8141-3 med
grenseverdier for vibrasjoner i kvikkleireområder

Jörgen Johansson, NGI, 2025-06-04

Basert på FoU-rapport (forfattere: Jörgen Johansson,
Karin Norén-Cosgriff, og Knut Andersen)

Innhold

- Bakgrunn
- Fou-prosjektet
 - Litteraturstudie
 - Feltnmålinger
 - Labforsøk
 - Numeriske beregninger
- Ny grenseverdiformel og formel for jordstivhet (skjærbølgehastighet)

Kvikkleire er et material som bør håndteres varsomt



1-2cm leirlag ? Lag med silt, fin sand 1-3 mm?

Photo: Harald Sveian, NGU



Namsos veibygging 2009

Photo: Leif Arne Holme Adresseavisen



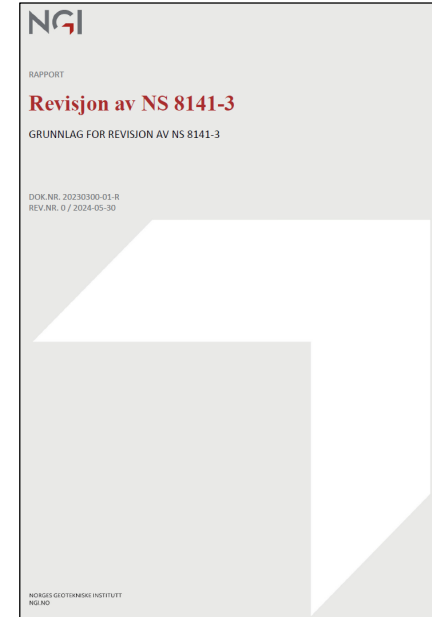
Steinvika, Tana veibygging 2021

Landslide catalogue blasting possible triggering agent

Location:C=Canada, N=Norway, S=Sweden	Year	Consequences	Reference
La Baie (C)	1910	6 casualties	Dion (1986) , Bouchard et al.
Hawkesbury (C)	1955	Damages to the road in construction	Eden (1956)
Toulnostouc (C)	1962	9 casualties	Conlon (1966), Evans (2001)
Sandnessjøen (N)	1967	-	NGI rapporter (1967, 1968), Karlsrud (1979)
Fröland, Uddevalla (S)	1973	-	Bjurström (1982)
Finneidfjord (N)	1978	Damages to road	L'Heureux et al. (2010)
Ladehammeren	1990	Large submarine slide 3 million cubic meters, road damage	FoU-report
Port-Saguenay (C)	2003	None (preventive evacuation) (~130 mm/s)	Bouchard (2015)
Finneidfjord (N)	1996	4 casualties, 3 houses destroyed	Longva et al. (2003)
Ytterby (N)	1991	Road damage and closure-	Oset (2015)-
Finneidfjord (N)	2006	Slide into ocean. Damages to road	L'Heureux et al. (2010)
Kattmarka (N)	2009	County road, permanent dwellings and 6 summer residences.	NTNU (2009)
La Romaine (C)	2009	Damages to road in construction	Locat et al. (2010), Bouchard et al. (2015)
Lödöse (S)	2011	-	Johansson et al. (2013)
Steinvika, Tana, (N)	2021	Slide into ocean. Damages to existing road.	Troms/Finnmark fylkes kommune (2022), SVV (2022)

Forskningsprosjekt for å innhente bakgrunnsmateriale

- Utført av NGI i 2023
- Finansiert av SVV, Bane NOR og NVE. Nye Veier har bidratt med måledata
- Litteraturstudie av tidligere skredhendelser og tilbakeberegning av vibrasjoner
- Analyse av vibrasjons- og poretrykksmålinger fra sprengning i områder med kvikkleire
- Statiske og sykliske laboratorietester på kvikkleire fra forskjellige steder.
- Numeriske analyser for knytte vibrasjoner mot belastning i skråninger
- Helhetlig vurdering og forslag til formel for grenseverdi



Skredet i Steinvik,
Tana 2021

Artikkel i IWLSC 2025
Degago et al. (2025)

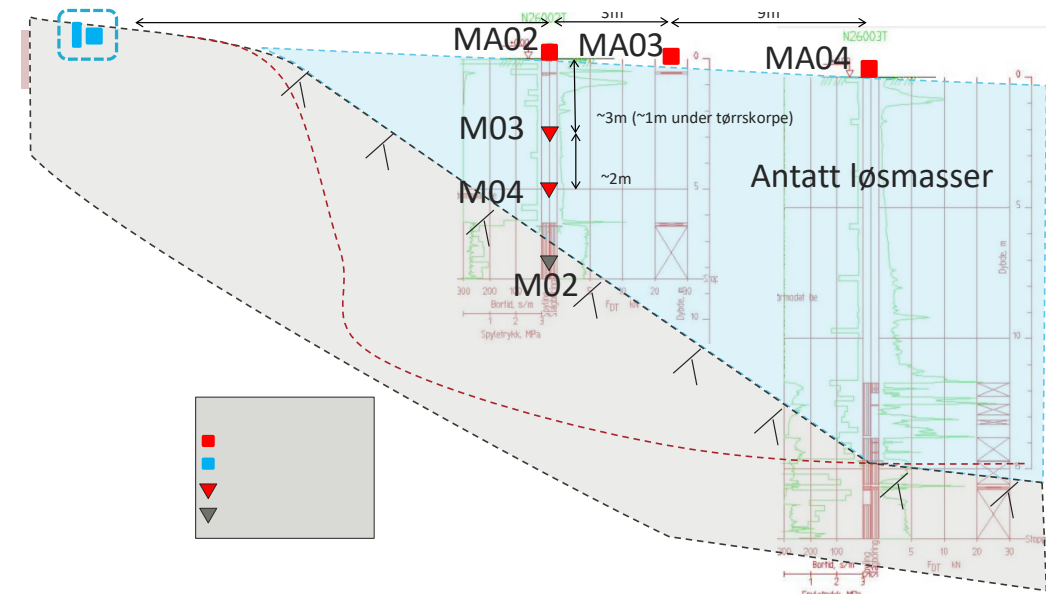
Litteratur studie

- Flere skred i kvikkleire i Canada, Norge og Sverige er knyttet til sprengningsaktivitet
- Sprengning var ofte ikke den eneste årsaken
- Studien viser at skred i kvikkleire vanligvis utløses av en kombinasjon av forhold som lav stabilitet, grunnvannsforhold, erosjon, belastning fra masser, kast eller forskyvning av bergmasser på eller inn i løsmasser.
- Alle studerte skred i kvikkleire, hvor sprengvibrasjoner kan ha bidratt, hadde utløp mot vann.
- Ofte løst avsatt materiale («sprøbrudd material) rundt vann som er vibrasjonsfølsomt. Dette er tatt hensyn til i ny formel for grenseverdi og skjærbølgehastighet med hjelp av faktor for plastisitetsindeks og en utløpsfaktor.

Analyse av måledata

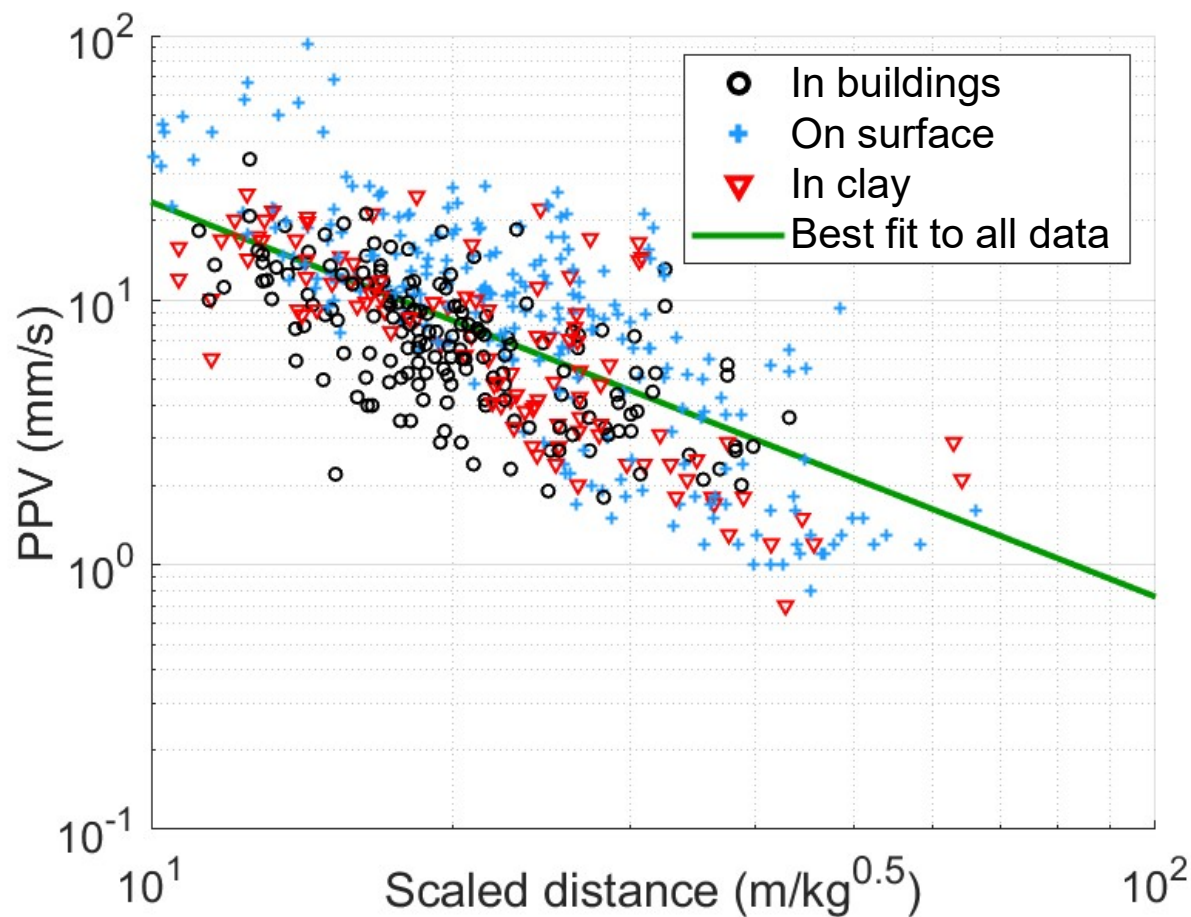
- Målinger på tre forskjellige steder med kvikkleire
- To lokasjoner med tunnelsprengning og en med pallsprengning
- Instrumentert med geofoner og piezometre
- Geofoner på overflaten, på forskjellige dyp i leire, på bygninger og i berg (ett sted)
- 1586 kurveforløp med målt vibrasjon.

Foto Frekventia



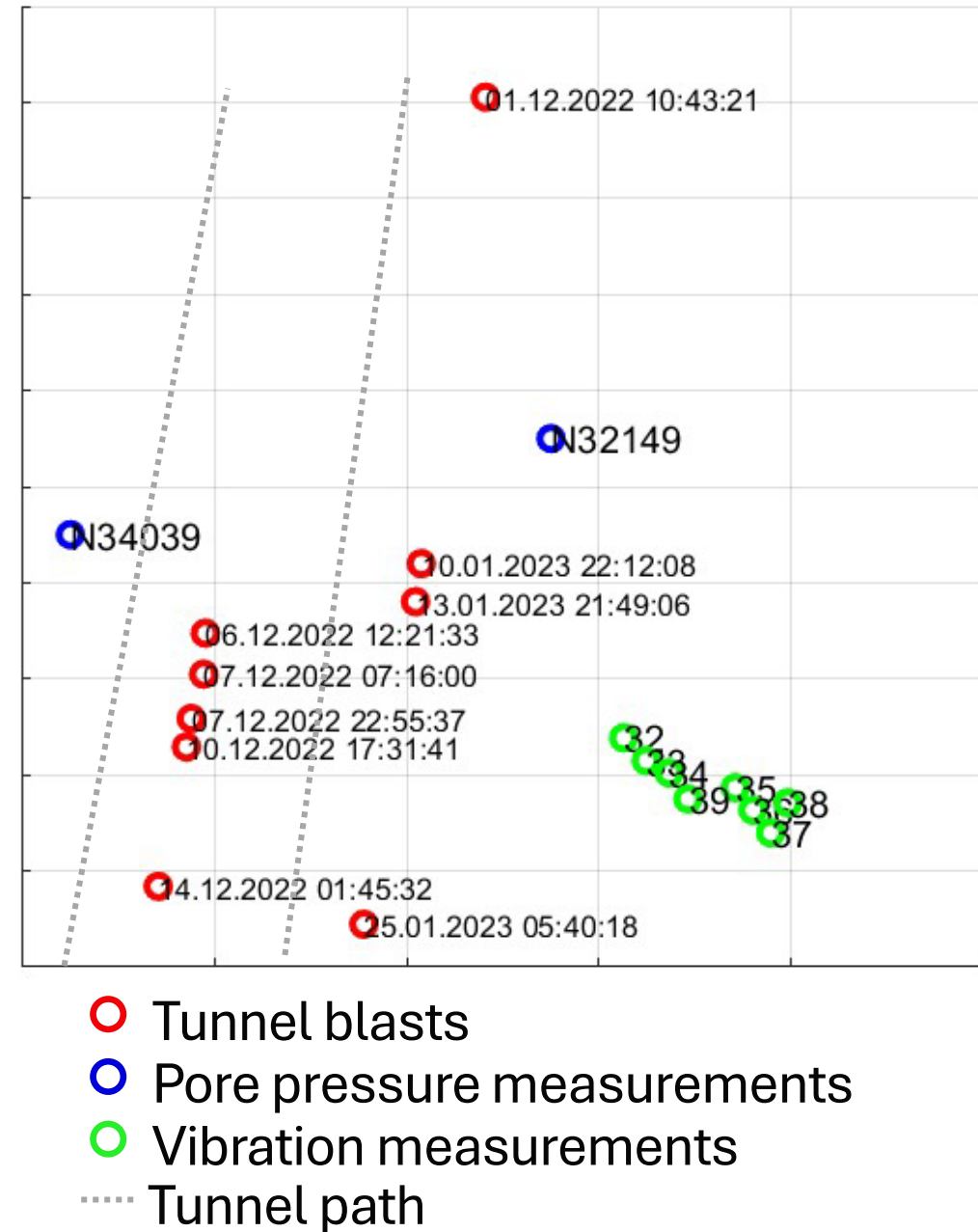
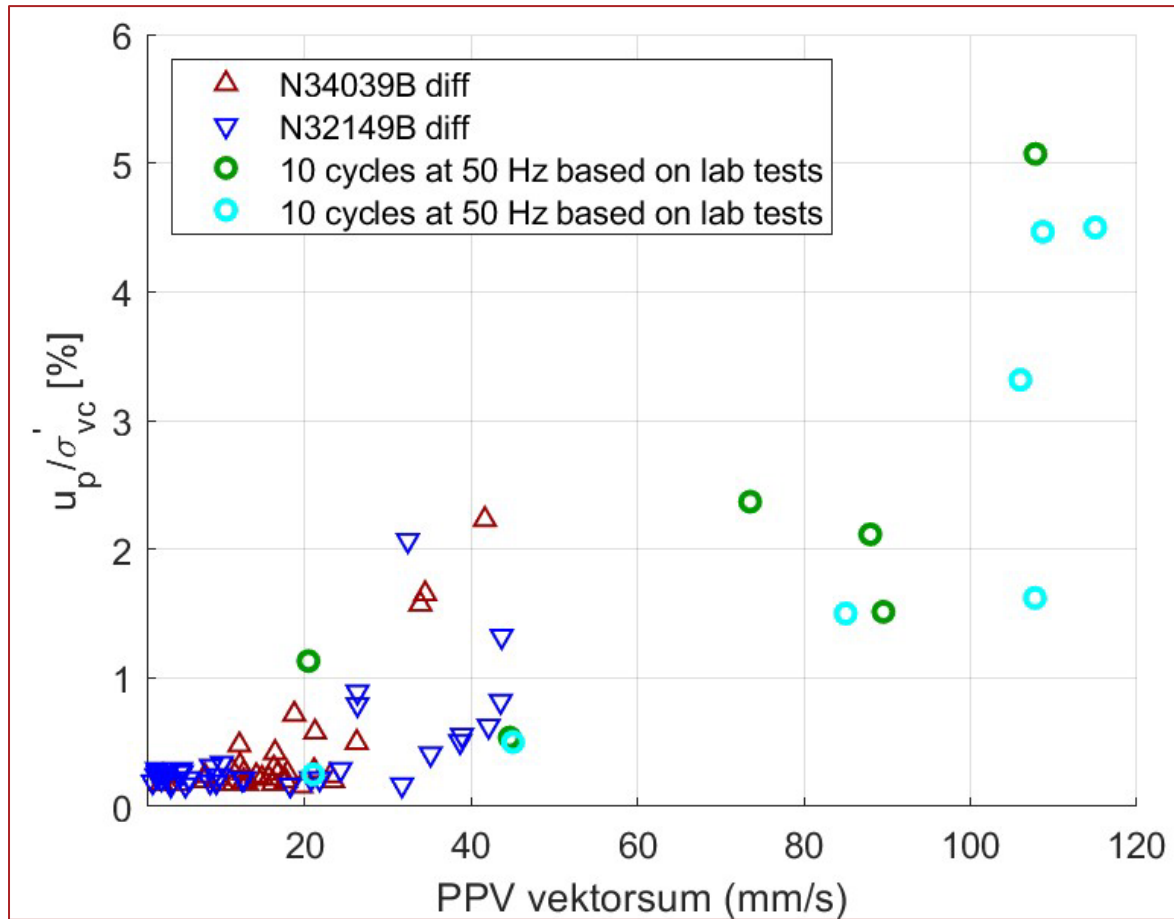
Sammenligning av vibrasjonsmåledata

- Sammenligning av målinger i leire, på terrengoverflate og på bygninger
- Generelt høyeste verdier på overflate og lavest på bygninger
- Stor spredning i måledata
- Basert på resultatene, ble måling i flere målepunkter på overflaten anbefalt

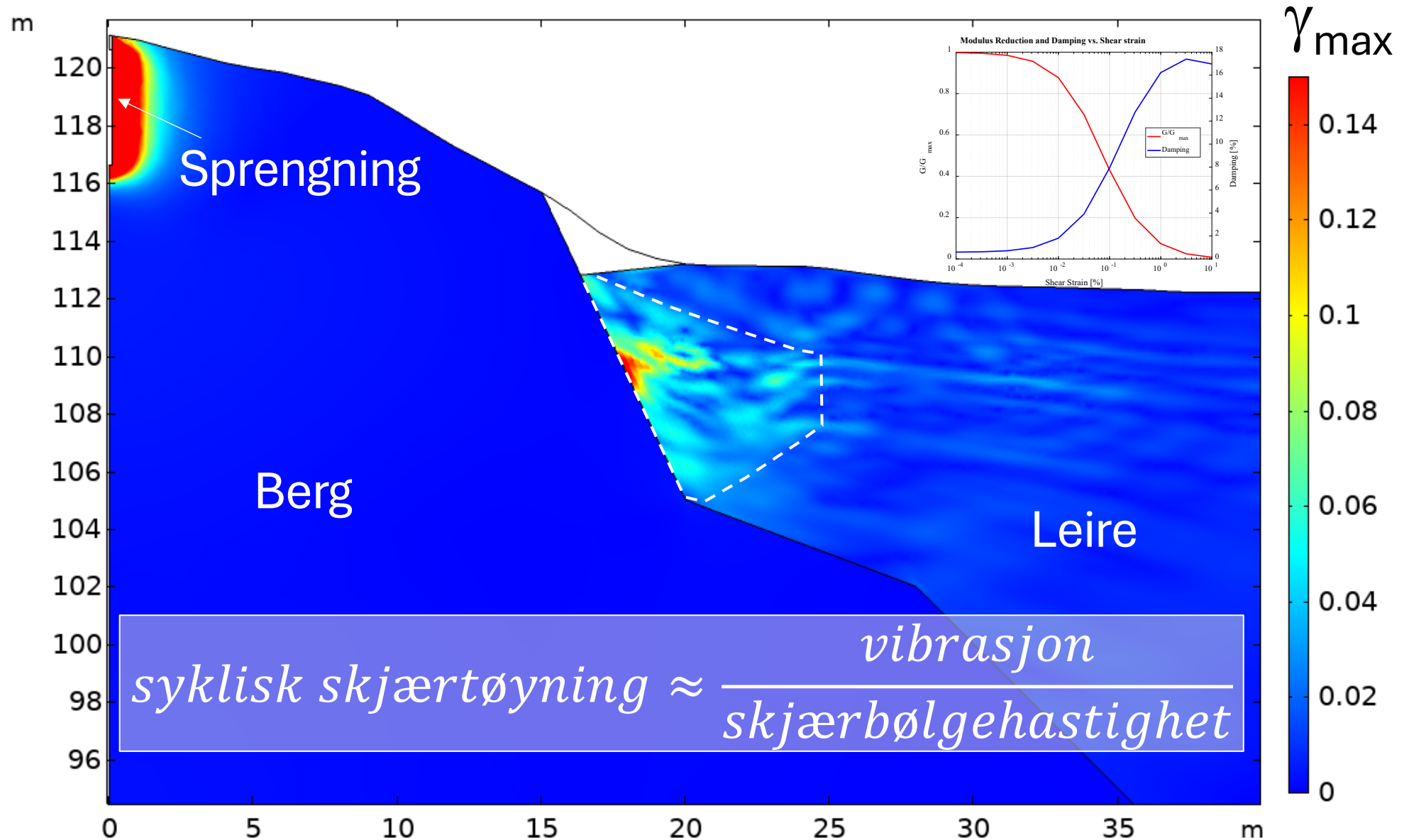


Poretrykk i felt og labforsøk mot vibrasjoner

- Labforsøk på kvikkleire fra Moss på 12 m dybde
- Feltnålinger i sand/leire på 4-5 dybde i Trøndelag
- “Vibrasjoner” i lab skalert mht til frekvens og antall sykler grunnet rate-effekt. Leire tål mere ved høyere frekvens



Sprengning ovenfor/ved siden av skråning



Formel for beregning av grenseverdi

$$v = v_0 \cdot 0,9 \cdot F_k \cdot F_p \cdot F_s \cdot \frac{V_s}{V_{s,ref}} \cdot \left(1 + \frac{I_p}{I_{p,ref}} \right)$$

der

v_0 er 10 mm/s;

F_k er kildefaktor

F_p er målepunktsfaktor

F_s er skråningens beregnede sikkerhetsfaktor

V_s er skjærbølgehastigheten

$V_{s,ref}$ er 100 m/s;

I_p er plastistietsindeks;

$I_{p,ref}$ er 10 %.

Formelen er begrenset oppover til 200 mm/s og nedover til $v_0 \cdot 2 \cdot F_k \cdot F_p \cdot F_u$, der F_u avhenger av om skråningen har utløp på land eller i vann

Estimering av skjærbølgehastighet

$$V_s = F_u \cdot V_{s,\text{ref}} \cdot \left(\frac{D}{D_{\text{ref}}} \right)^{0,25}$$

der

F_u er utløpsfaktoren

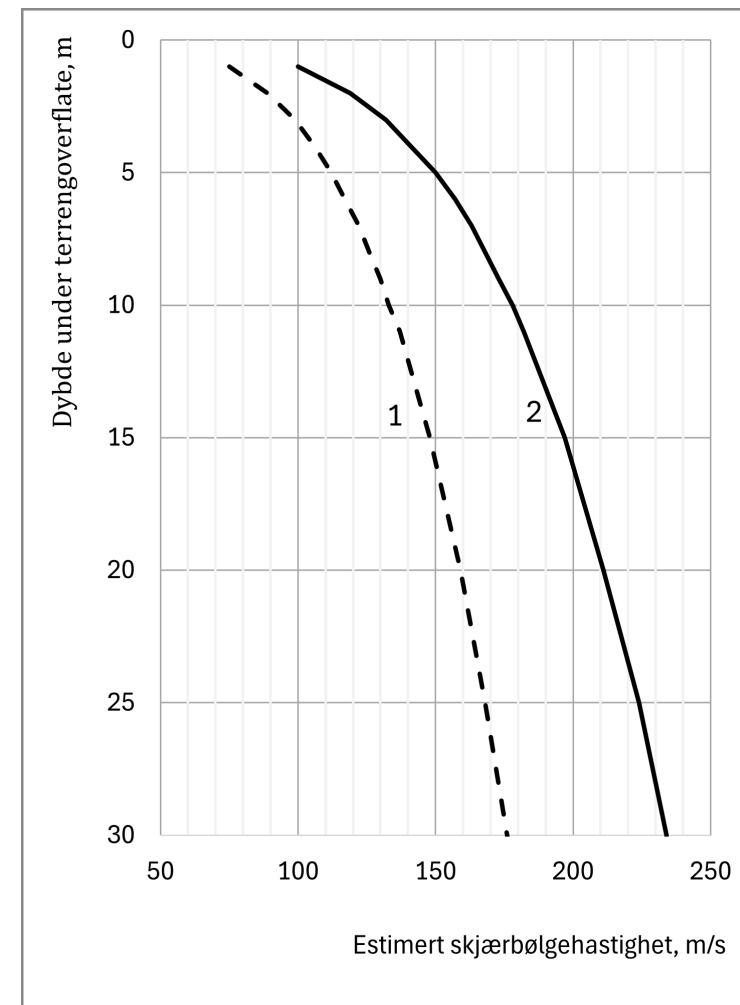
$V_{s,\text{ref}}$ er 100 m/s;

D er dybde under terrengoverflaten

D_{ref} er 1 m.

En forenklet tilnærming basert på flere målinger av V_s i bløte **norske** leirer. Ikke nødvendigvis riktig for andre land.

L'HEUREUX, J.-S., LONG, M. Relationship between Shear-Wave Velocity and Geotechnical Parameters for Norwegian Clays. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 143, no. 6, Jun. 2017. doi: 10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001645



Takk for oppmerksamheten!

Takk til alle som har bidratt til arbeidet!

NGI

On safe ground

NS 8141-3 Virkning av vibrasjoner på utløsning av skred i kvikkleire

- Veiledende grenseverdier ble først innført i NS 8141 – 3:2014
- Reaksjon på skredet i Kattmarka, Namsos 2009
- Grenseverdien var basert på en forskningsstudie som foreslo $v = 25 \text{ mm/s}$.
- For å harmonisere med de øvrige delene av NS 8141 ble den omgjort til en frekvensveid grenseverdi på $v_f = 45 \text{ mm/s}$



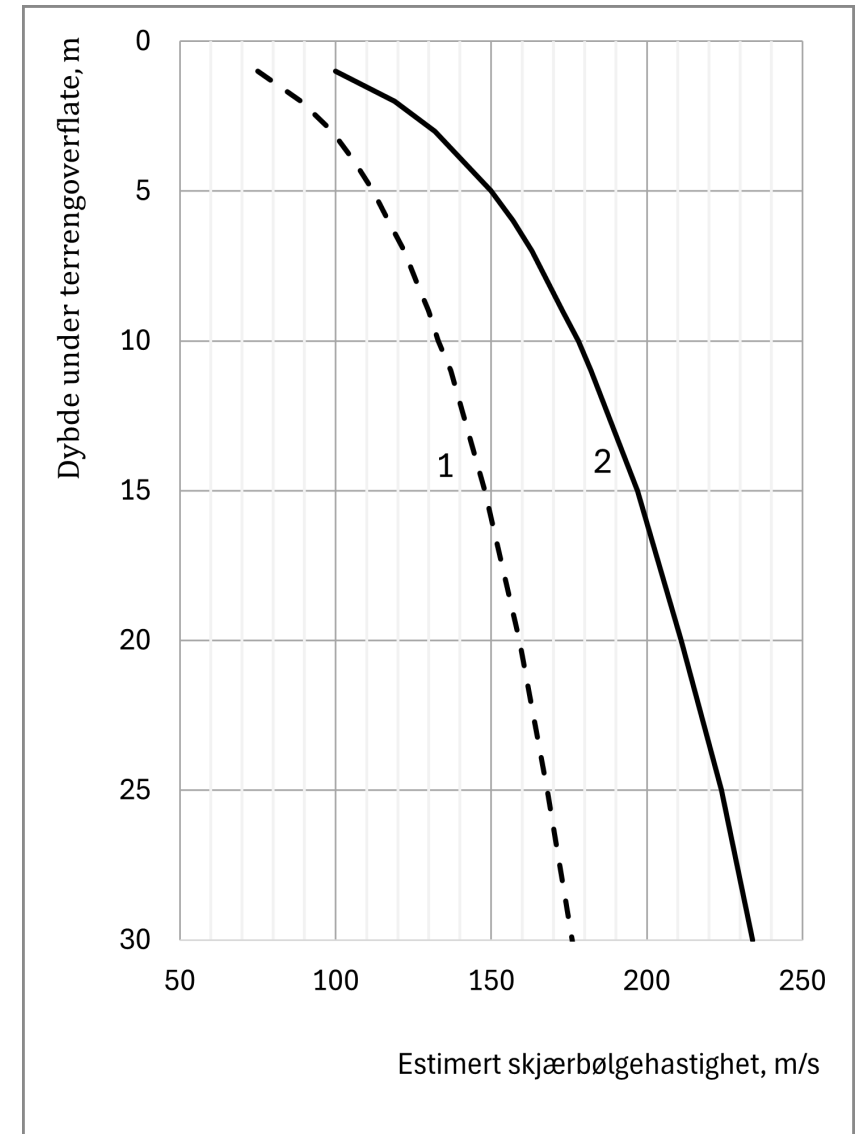
Simplified shear wave speed profile

- Can be used
- Other methods to estimate or measure shear wave speed is allowed

$$V_s = V_0 \cdot D^{0.25}$$

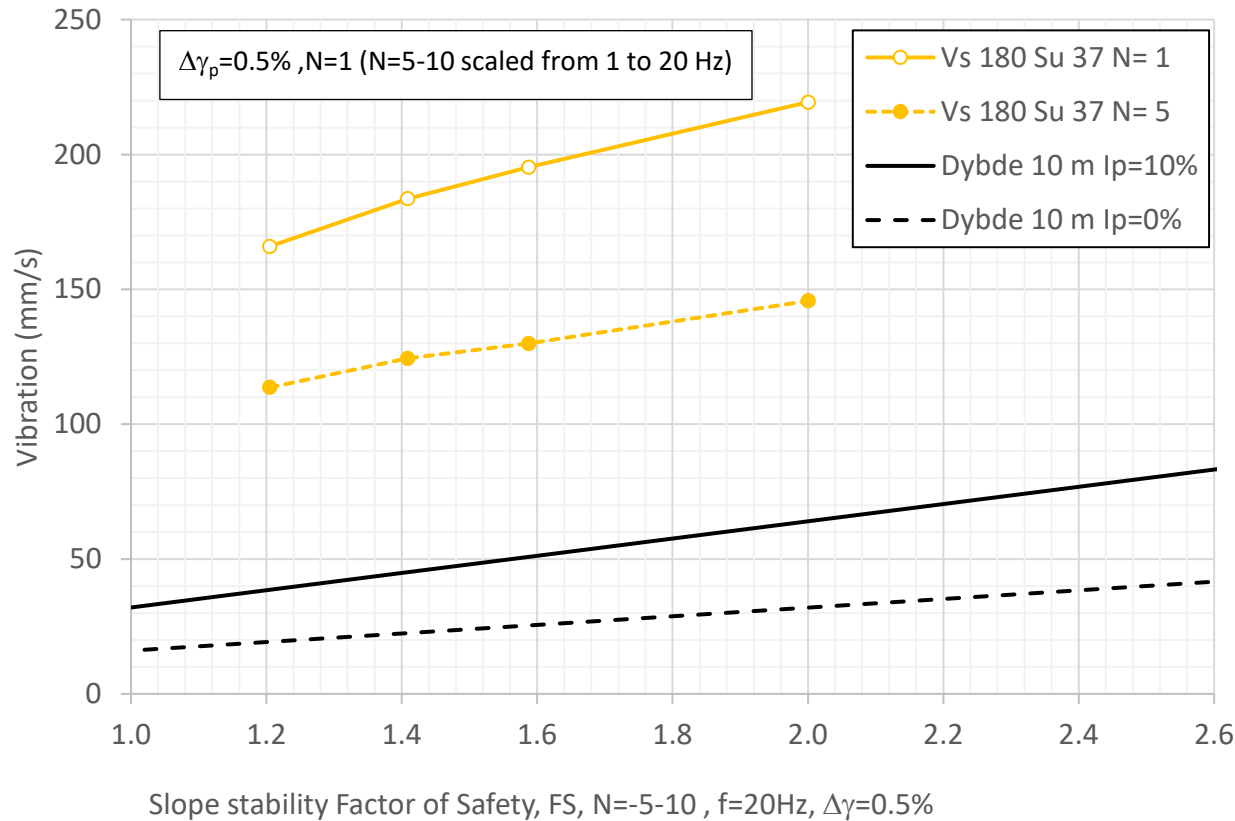
$$V_0 = 75 \text{ m/s}$$

$$V_0 = 100 \text{ m/s}$$



- 1 Slope with submarine part
- 2 Slope without submarine part

Comparison of vibration tolerance and limit value



$$\gamma_{cy} = \frac{PPV}{V_s}$$

$$PPV = vel_{lim}$$

$$= \gamma_{cy} V_s$$

$$\gamma_{cy,tv} = [0,01 + 0,01 \cdot (Fs - 1)] \cdot f(I_p) = 0,01 \cdot Fs \cdot f(I_p)$$

$$vel_{lim} = 0,09 \cdot V_s \cdot Fs \cdot (1 + 0,1 \cdot I_p)$$