



Multiconsult

prNS 8141-3

Virkning av vibrasjoner på utløsning av skred i kvikkleire

Harry Herland

Seksjonsleder Måletjenester – seniorrådgiver vibrasjon og bygningsskader

Multiconsult Norge AS

Leder av SN/K 293 Vibrasjoner og bygningsskader

Håhammeren bro og turvei | Foto: Jo Gaute Fornes



Innhold

- Bakgrunn
- Grunnlag
- Presentasjon av prNS 8141-3
- Status per d.d. og forventet utgivelse





NS 8141 Vibrasjoner og støt – Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk

- Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom
- **Del 3: Virkning av vibrasjoner på utløsning av skred i kvikkleire**
- Del 4: Retningslinjer og krav til besiktigelse av byggverk og eiendom før bygge- eller anleggsstart.
- Tidligere Del 2 er trukket tilbake og innholdet er innarbeidet i ny Del 1.
- Publikasjon P-828, Veiledning til NS 8141 – Vibrasjoner fra sprengning og annen anleggsvirksomhet.

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 $v_f = 45 \text{ mm/s}$



Hvorfor trenger vi en revisjon?

- Harmonisering med ny Del 1, gjeninnføring av uveid toppverdi
- Grenseverdien har blitt vurdert som for konservativ
- Vibrasjonstoleransen er avhengig av de stedsspesifikke grunnforholdene og skråningens stabilitet.
- Det er behov for en bedre beskrivelse av hvordan målingene skal gjennomføres.
- Det var et ønske om å få inkludert andre kilder enn sprengning



SN/K 293 Vibrasjoner og bygningsskade

- Komiteen arbeider med revisjon av NS 8141 serien av standarder
- Ledes av Harry Herland, Multiconsult
- Teksten til prNS 8141-3 er utarbeidet av SN/K 293/AG 07:
Harry Herland Multiconsult, Jörgen Johansson NGI, Hermann Bruun SVV, Jørgen Stenerud Bane NOR, Ronny Enger Forcit Consulting, Espen Hugaas Orica, Joakim Bergström AVA monitoring (observatør Sverige)
- Andre medlemmer av SN/K 293:
Tom Gunnar Hagen Nexconsult, Erland Lavoll TT Anlegg, Thomas Norland EBA, Frode Andersen MEF, Ann Kathrin Malmo Forcit Consulting, Johan Engh Frekventia, Karl Kure, Mathias Jern Nitro Consult (observatør Sverige)



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
- Analyse av vibrasjons- og poretrykksmålinger fra sprengning i områder med kvikkleire
- Statistiske og sykliske laboratorietester på kvikkleire fra forskjellige steder.



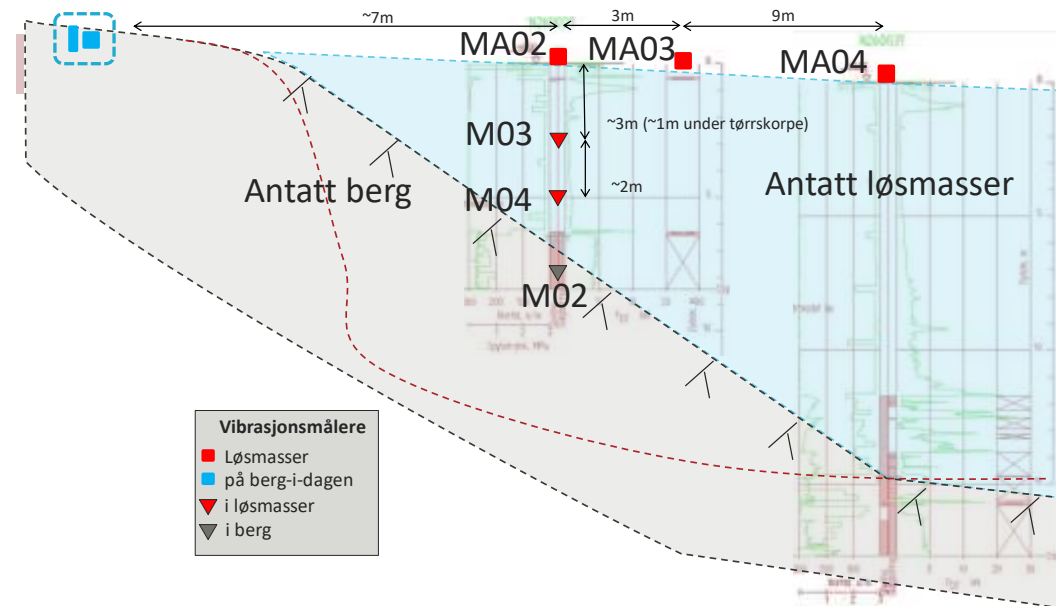


Litteratur studie

- 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 rundt vann

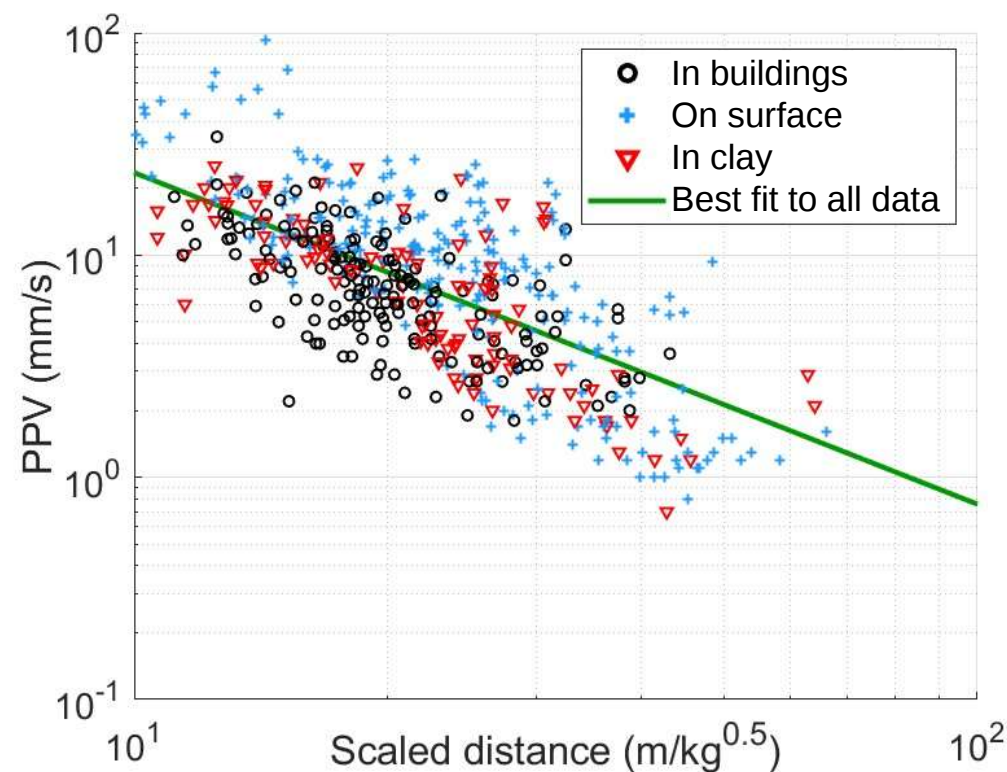
Analyse av måledata

- 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.



Sammenligning av måledata

- 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





Grenseverdier basert på laboratorietester

- Utgangspunkt, terskeltøyning for volumetrisk kompaksjon av jord, $\gamma_{cy,tv}$
- Skjærtøyning $< \gamma_{cy,tv}$ antas ikke å gi oppbygging av poretrykk eller reduksjon av leirens styrke
- Laboratorietester viste at kvikkleireprøvene tolererte minst 10 sykler med 100 mm/s uten å gå til brudd
- Løse lag av sand og silt kan være mer følsomme
- Basert på case histories for jordskjelvliquefaction i sandige/siltige jorder antas en $\gamma_{cy,tv} = 0.03$ % for flatt grunn
- For å ta hensyn til skråninger, ble en lineær reduksjon av $\gamma_{cy,tv}$ med minkende sikkerhetsfaktor
- Standardforslagets formel for beregning av grenseverdi er basert på dette



Multiconsult

Presentasjon av prNS 8141-3

Harry Herland
Seksjonsleder Måletjenester – seniorrådgiver vibrasjon og bygningsskader
Multiconsult Norge AS

Håhammeren bro og turvei | Foto: Jo Gaute Fornes

Omfang prNS 8141-3



- Fastsetter metode for å beregne veiledende grenseverdi for vibrasjoner fra bygge- og anleggsaktivitet og trafikk
- Gjelder nær områder med kvikkleire der skred vil kunne utvikle seg
- Beskriver hvordan vibrasjonene skal måles og vurderes
- Gjelder ikke for anleggsarbeider som utføres direkte i kvikkleire



Forhåndsvurdering

- Skal utføres i områder med kvikkleire før anleggsarbeider utføres
- Skal omfatte risiko for at vibrasjoner kan utløse skred
- Skal utføres av en person med formell geoteknisk kompetanse
- Bør omfatte en terrenganalyse og kartlegging av skråningsstabilitet basert på kriteria gitt i NVE Veileder 1/2019.
- Dersom forhåndsvurderingen viser at det kan være risiko for utløsning av skred, skal det utføres nødvendige undersøkelser for å fremskaffe parametere for beregning av grenseverdi



Anbefalt område for forhåndsvurdering

Tabell 1 — Anbefalt område for forhåndsvurdering avhengig av avstand fra vibrasjonskilde

Situasjon	Område for forhåndsvurdering med avstand fra vibrasjonskilde m
Sprengning i anleggsvirksomhet	100
Annen anleggsvirksomhet	10 til 40 ^a
Anleggstrafikk, tung trafikk på vei og bane	5 til 15 ^a
Sprengning i konsesjonspliktige steinbrudd, gruveindustri	500 ^b
^a Avhenger av vibrasjonskilden. I [23] gis informasjon om typiske vibrasjoner fra ulike typer av anleggsilder. Denne sammen med formel (3) kan benyttes til å få en indikasjon på avstand. ^b Dersom det er fastsatt grenseverdier for vibrasjoner etter NS 8141-1 for å hensynta boliger, er denne avstanden 100 m.	



NVE Veileder 1/2019

- NVE Veileder 1/2019 utdyper byggteknisk forskrift (TEK17).
- Veilederen gir retningslinjer for utredning og bygging i kvikkleireområder.
- Er vist til som normativ referanse i prNS 8141-3



Nr. 1/2019

Sikkerhet mot kvikkleireskred

Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper



Formel for beregning av grenseverdi

$$\{v\}_{\text{mm/s}} = 0,09 \cdot F_k \cdot F_p \cdot F_s \cdot \{V_s\}_{\text{m/s}} \left(1 + 0,1 \cdot \{I_p\}_{\%}\right)$$

der

F_k er kildefaktor

F_p er målepunktsfaktor

F_s er skråningens beregnede sikkerhetsfaktor

V_s er skjærbølgehastigheten

I_p er plastistietsindeks.



Endring av formel for å fjerne krøllparenteser

Grenseverdien for toppverdien av uveid svingehastighet, v , skal beregnes etter [formel \(1\)](#). Formelen gjelder for alle sprøbruddmaterialer. Dersom [formel \(1\)](#) gir en verdi høyere enn 200 mm/s, skal grenseverdien settes lik 200 mm/s. Dersom [formel \(1\)](#) gir en lavere verdi enn [formel \(3\)](#), skal grenseverdien etter [formel \(3\)](#) brukes.

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

der

- v_0 er den ukorrigerede toppverdien av svingehastighet, angitt i millimeter per sekund, og fastsatt til 10 mm/s;
- F_k er kildefaktor som tar hensyn til egenskaper ved vibrasjonskilden, se [6.7](#);
- F_p er målepunktsfaktor som tar hensyn til plassering av målepunkt, se [6.8](#);
- F_s er skråningens sikkerhetsfaktor. Den laveste av den udrenerte (F_{cu}) og den drenerte sikkerhetsfaktoren ($F_{c\phi}$) skal benyttes i formelen;
- V_s er skjærbølgehastighet i sprøbruddmaterialet, angitt i meter per sekund;
- $V_{s,\text{ref}}$ er referanseverdien for skjærbølgehastighet, angitt i meter per sekund, og fastsatt til 100 m/s;
- I_p er plastisitetsindeks, angitt i %;
- $I_{p,\text{ref}}$ er referanseverdie for plastisitetsindeks, angitt i %, og fastsatt til 10 %.

Grenseverdien i ulike dybder under terreng skal beregnes ved å benytte verdier for skjærbølgehastighet og plastisitetsindeks bestemt fra minst to representative jordprofiler. Grenseverdien skal fastsettes som den laveste beregnede verdien.



Forenklet beregning

6.5 Forenklet beregning av grenseverdi

Dersom stabilitetsforholdene ikke er vurdert, kan det utføres en forenklet beregning av grenseverdien v for toppverdien av uveid svingehastighet etter [formel \(3\)](#)

$$v = v_0 \cdot 2 \cdot F_u \cdot F_k \cdot F_p \quad (3)$$

der

v_0 er den ukorrigerte toppverdien av svingehastighet, angitt i millimeter per sekund, og fastsatt til 10 mm/s;

F_k er kildefaktor som tar hensyn til egenskaper ved vibrasjonskilden, se [6.7](#);

F_p er målepunktsfaktor som tar hensyn til plassering av målepunktet, se [6.8](#);

F_u er utløpsfaktoren som er avhengig av hvor skråningen har utløp, se [6.6](#).

Tabell 2 — Utløpsfaktor, F_u

Skråningens utløp	Utløpsfaktor, F_u
I vann	0,75
På land	1,0

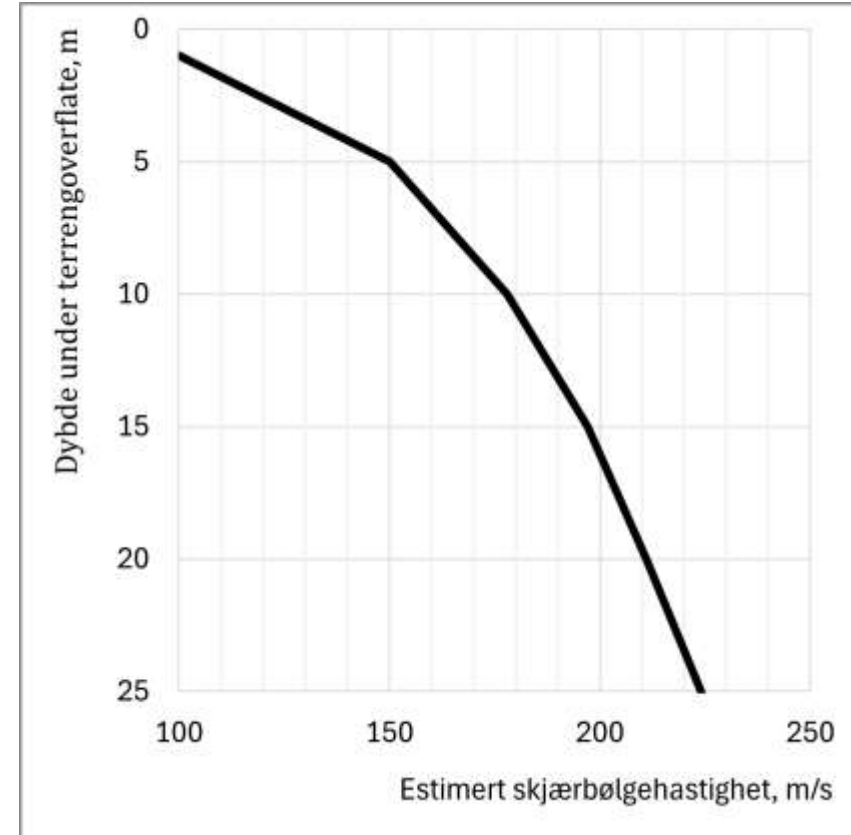
Estimering av skjærbølgehastighet

$$\{V_s\}_{m/s} = 100 \cdot \{D\}_m^{0,25}$$

der

D er dybde under
terrengoverflaten

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



Estimat på skjærbølgehastighet

6.4 Estimat på skjærbølgehastighet

Skjærbølgehastighet i sprøbruddmaterialer, V_s , kan, for bruk i [formel \(1\)](#), estimeres etter [formel \(2\)](#) og [figur 1](#).

MERKNAL ① Formelen og figuren gjelder for skråninger med sprøbruddmaterialer i Norge. I andre land, kan forholdet mellom skjærbølgehastighet og dybde under terreng være annerledes.

$$V_s = F_u \cdot V_{s, \text{ref}} \cdot \left(\frac{D}{D_{\text{ref}}} \right)^{0,25} \quad (2)$$

der

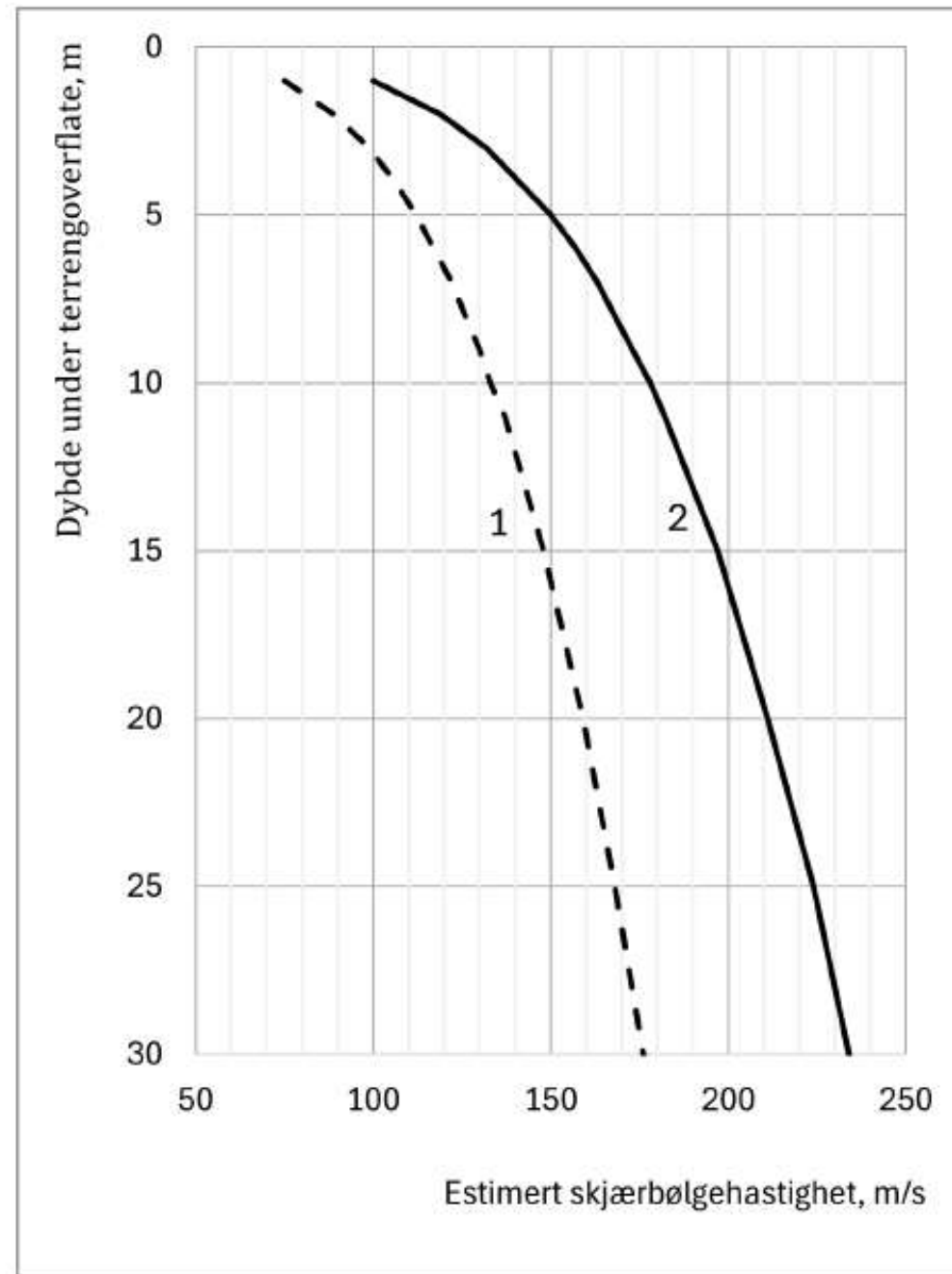
F_u er utløpsfaktoren som er avhengig av hvor skråningen har aitt utløp, se [6.6](#);

$V_{s, \text{ref}}$ er referanseverdien for skjærbølgehastighet, angitt i meter per sekund, og fastsatt til 100 m/s;

D er dybde under terreng der sprøbruddmaterialet befinner seg, angitt i meter;

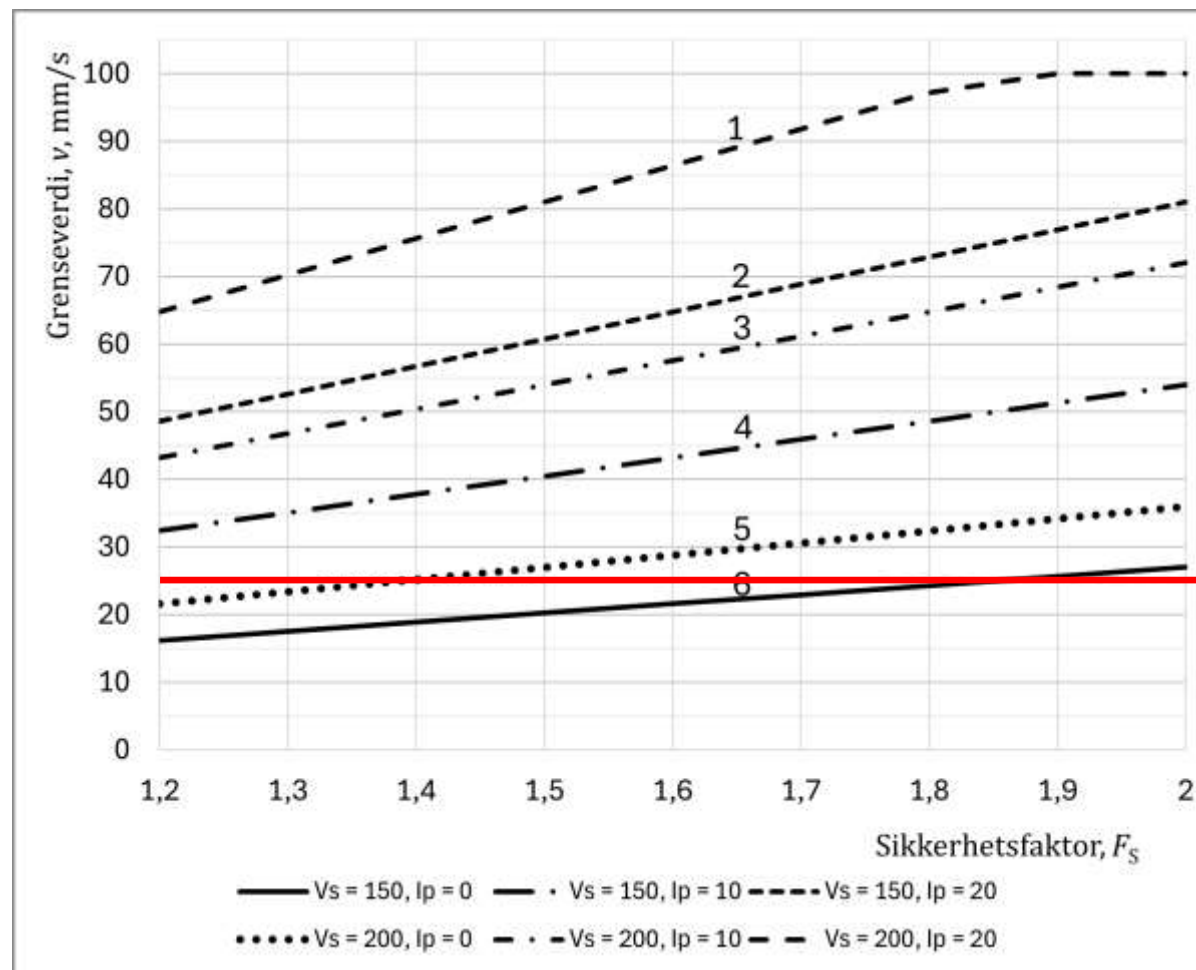
D_{ref} er referanseverdien for dybde under terrengoverflaten, angitt i meter, og fastsatt til 1 m.

- 1 Skråning med utløp i vann
- 2 Skråning uten utløp i vann





Eksempel på beregnede grenseverdier for sprengning

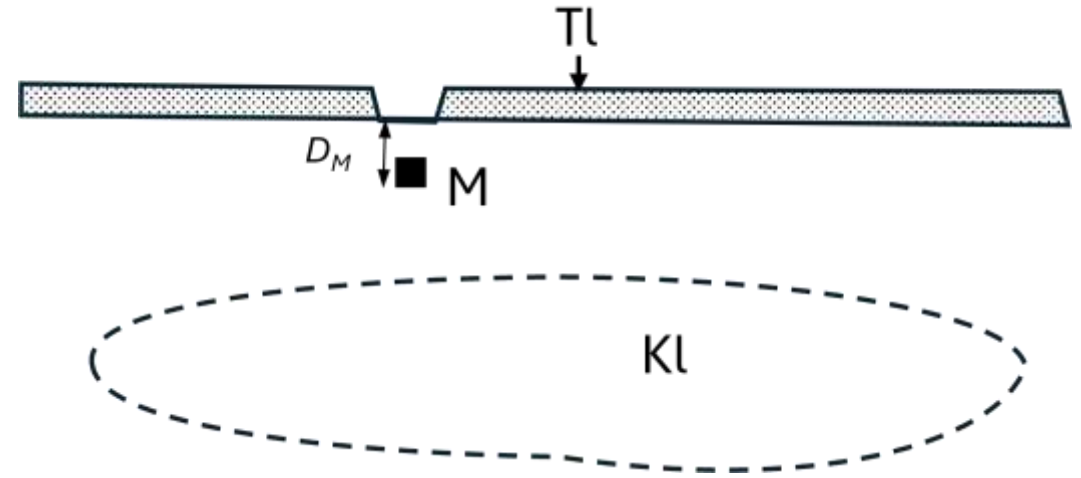


Grenseverdi i
henhold til
gjeldende standard



Måleoppsett

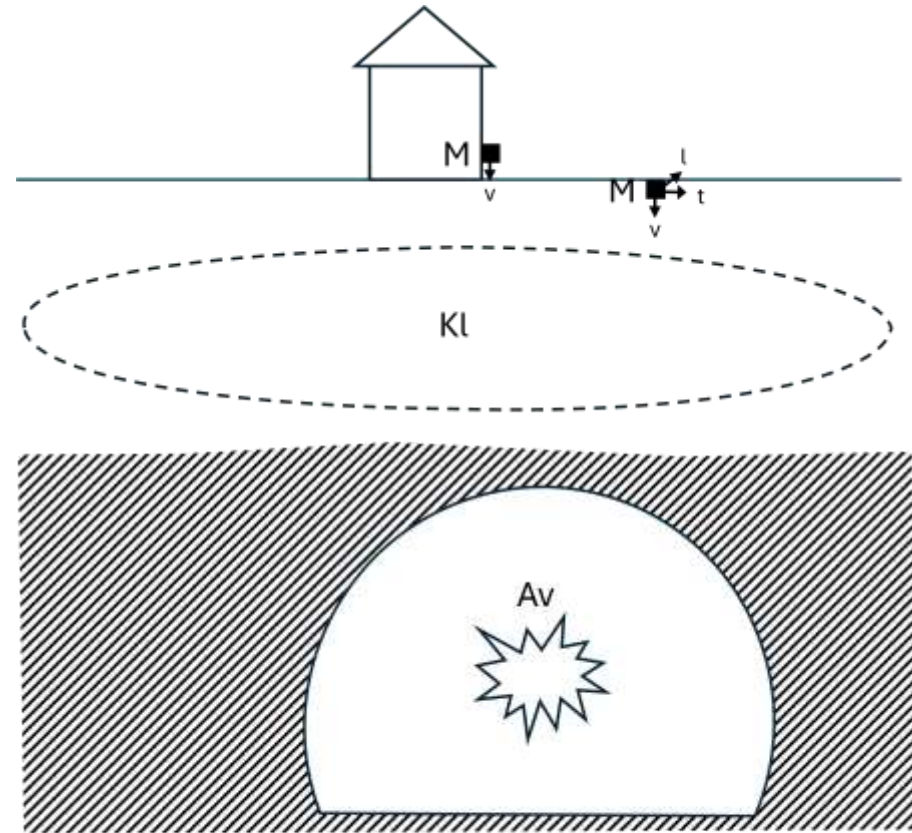
- Minst tre målepunkter
- Minst 5 m mellom målepunktene
- De trenger ikke å ligge på en linje
- Minst én skal ligge der horisontalavstanden mellom kilde og kvikkleire er kortest
- Giverne skal monteres minst 10 cm og maks 1 m under terrengoverflaten, ikke medregnet løst topplag eller telelag





Tunnelsprengning under kvikkleire

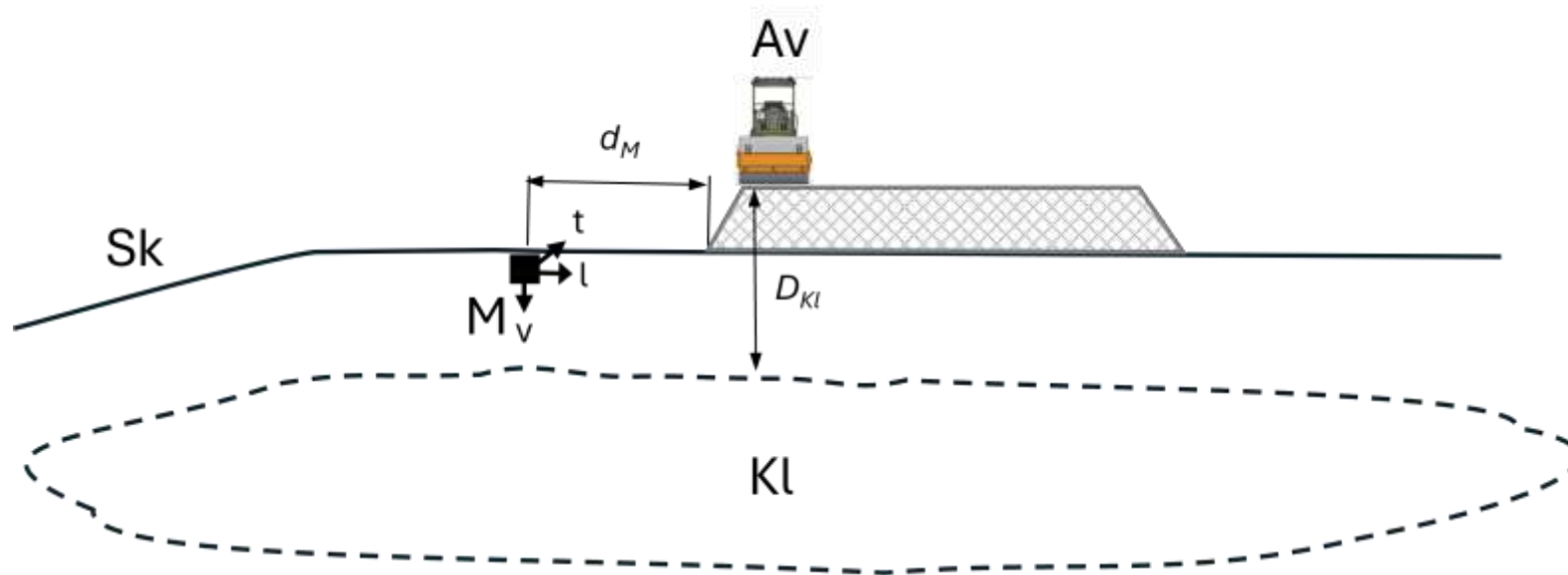
- Målinger rett under terrengoverflaten er foretrukket ($F_p = 1,0$)
- Målinger på bygninger er tillatt med en korreksjonsfaktor på grenseverdien ($F_p = 0,8$)
- Et blandet oppsett er tillatt





Andre kilder enn sprengning

- Begrenset til kilder nær, men ikke i kvikkleire
- F.eks. Komprimering av fyllinger over kvikkleire, spunting nær kvikkleire og anleggstrafikk
- Lavere grenseverdier for periodiske ($F_k = 0,3$) og stokastisk ($F_k = 0,5$) kilder, enn for transiente kilder som sprengning ($F_k = 1,0$).





Nasjonal høring og videre arbeid

- <https://kommentere.standard.no/en/>
- Høringsfrist var 10. januar
- Oppfordring til mye kommentarer også fra andre land
- Det var muligheter for å kommentere som gruppe fra bedrifter og fagmiljøer
- Innkomne kommentarer vil bli behandlet av SN/K 293 den 16. januar
- Deretter har det vært en periode med intern kvalitetssikring
- Samordningsmøte i SN er utført og standarden forventes utgitt før sommeren (trolig mai) 2025
- Arbeidet med å revidere veilederen til NS 8141 startet i februar 2025



Takk for oppmerksomheten.

harry.herland@multiconsult.no