

Prosjektnotat

Franzefoss Pukk avd. Lierskogen Endringer i berggrunnen pga sprengningsrystelser

Undertittel

VERSJON

03

DATO

2018-12-05

FORFATTER(E)

Mario Morales
Eivind Grøv

OPPDRAAGSGIVER(E)

Franzefoss

OPPDRAAGSGIVERS REF.

Trond E. Berg Giæver

PROSJEKTNR

102016181-7

ANTALL SIDER:

11

SAMMENDRAG

SINTEF har på oppdrag fra Franzefoss Pukk foretatt en vurdering av hvilken potensiell effekt sprengningsarbeider i pukkverket har på berggrunnen i området tiliggende Lierskogen pukkverk, med spesielt fokus på om dette arbeidet kan initiere nye sprekker i berget. Etter det SINTEF har fått opplyst foreligger det en bekymring i lokalsamfunnet for at sprengning kan forårsake dannelse av nyoppsprekking i tiliggende berggrunn, og at følgeskonsekvensen potensielt er at radon-gass slipper ut fra grunnen.

Nexconsult har, på vegne av Franzefoss, målt PPV-verdier på 7 forskjellige lokaliteter omkring pukkverket. Basert på dette, konkluderer SINTEF med at:

- Sprengningsaktivitet i steinbruddet forventes å gi et skadeområde bak skråningsfront på inntil 7,5 til 37,5 meter. Det anvendte kriteriet indikerer at det ikke kan forventes sprengningsindusert skade i berggrunnen på avstander over 50 meter.
- PPV (toppartikkelhastighet) målt i området er fra 0,2-6,5 [mm/s] og vil ikke kunne sprekke opp omgivende berggrunn. Det er ikke forventet initiering av nye sprekker i områder med slike verdier med de avstander som er til omkringliggende bebyggelse med 215m som minste avstand.
- Ut fra dette er det etter vår oppfatning ikke sannsynlig at det ved husene frigjøres Radon-gass fra berggrunnen som følge av sprengningsarbeidet.

UTARBEIDET AV

Mario Morales

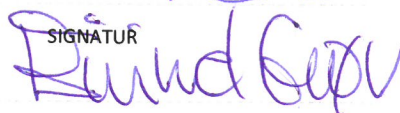
SIGNATUR



GODKJENT AV

Eivind Grøv

SIGNATUR



PROSJEKTNOTAT NR

01

GRADERING

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
01	2018-11-30	Intern revisjon
02	2018-12-04	Til Franzefoss
03	2018-12-05	Med kommentarer fra Franzefoss

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn.....	4
2	Generelt om sprengningsskader.....	4
2.1	Sprengningsskader på berggrunnen.....	4
2.1.1	Beregning av sprengningsskader ved bruk av Hoek Karzulovic	5
2.1.2	Beregning av sprengningsskader ved bruk av toppartikkelhastighet	6
2.2	Vibrasjoner fra sprengning – ulike nasjonale standarder	6
2.3	Franzefoss' utførte målinger på Lierskogen	8
3	Konklusjon	11
4	Referanser.....	11

1 Bakgrunn

SINTEF har på oppdrag fra Franzefoss Pukk foretatt en vurdering av hvilken potensiell effekt sprengningsarbeider i pukkverket har på berggrunnsegenskapene rundt Lierskogen pukkverk. Etter det SINTEF har fått opplyst foreligger det en bekymring i lokalsamfunnet for at sprengning kan forårsake dannelse av nyoppsprekking i tilliggende berggrunn, og som potensielt kan medføre at radon-gass slipper ut fra grunnen.

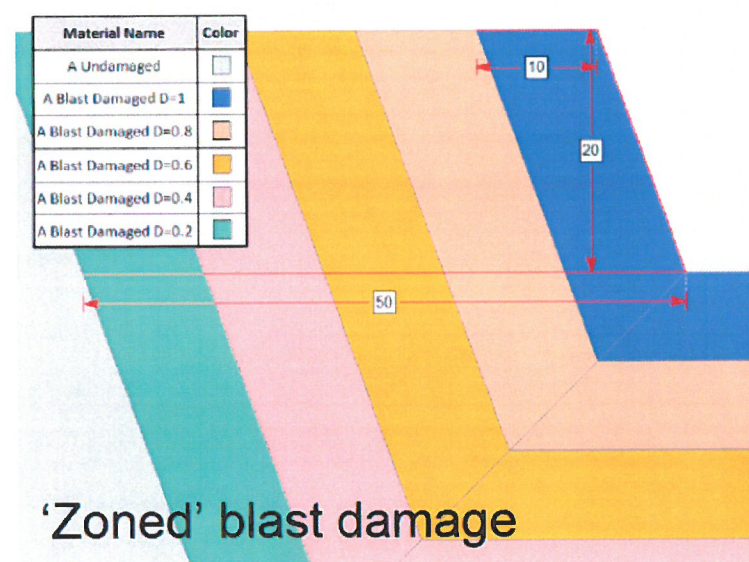
Franzefoss har oversendt til SINTEF vibrasjonsmålinger av toppartikkelhastighet (*peak particle velocity*, PPV) som Nexconsult har utført på vegne av Franzefoss på 7 forskjellige lokaliteter omkring pukkverket. Disse målingene ligger til grunn for vår vurdering av hvorvidt initiering av ny oppsprekking i berggrunnen kan finne sted eller ikke. Evalueringene i foreliggende rapport er utført basert på dataene vi har mottatt fra Franzefoss. SINTEF har ikke vært involvert i innsamlingen av disse målingene.

2 Generelt om sprengningsskader

Sprengningsinduserte sprekker i berggrunnen og øket utbredelse av eksisterende sprekker kan spille en viktig rolle i strukturell sikkerhet og stabilitet (Wang, 2018) knyttet til steinbruddet og nærliggende sivile konstruksjoner. Sprengningsskader kan knyttes til to kilder: (i) prosessen med selve sprengningen og dannelse av en tilstøtende, skadet sone, og (ii) vibrasjonene (seismisitet) induisert på grunn av sprengningsaktivitet.

2.1 Sprengningsskader på berggrunnen

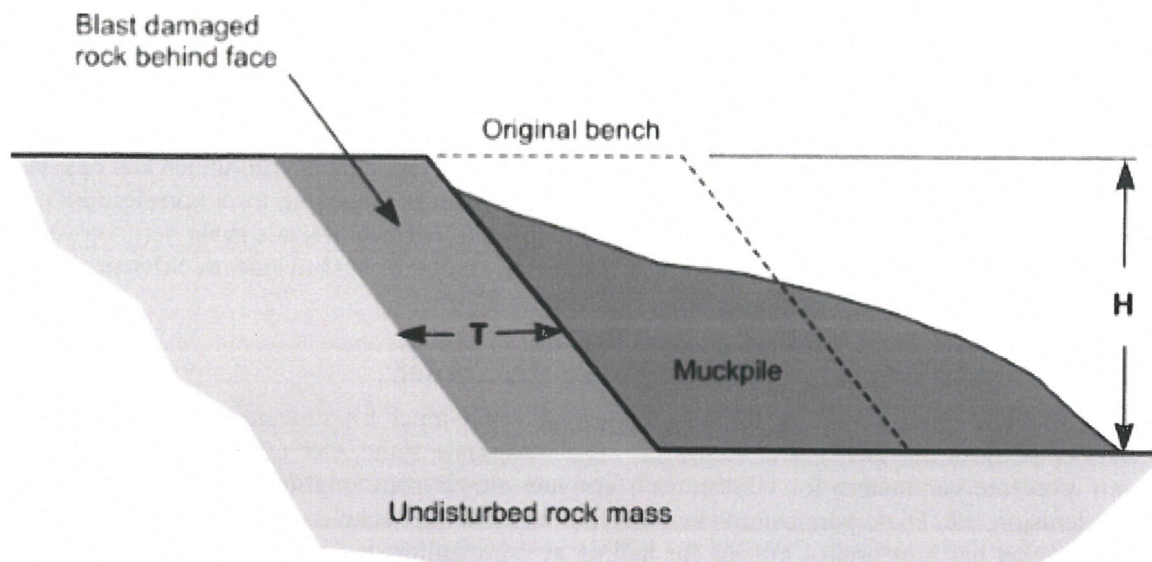
Påkjenningen på den omkringliggende berggrunnen som følge sprengningsarbeider er studert ved hjelp av både empiriske og teoretiske metoder. En av de mest vanlige brukte metodene er Hoek-Brown-kriteriet (Hoek et al., 2002) som introduserer en variabel betegnet "*Blast reduction factor*" (eller forstyrrelsesfaktor), D . Forstyrrelsesfaktoren står for globale forstyrrelser, eller skade, av bergmassen (i vårt tilfelle sprekkeinitiering og/eller utvidelse). Hoek (2012) skrev at "ideell numerisk modellering skulle inneholde et antall lag parallelt med skråflaten, med redusert forstyrrelsesfaktor som er tildelt hvert lag". Dette betyr at sprengningsskader avtar med avstand fra sprengningsflaten. Figur 1 illustrerer denne anbefalingen.



Figur 1: Lag av forstyrrelsesfaktor D , i en numerisk modell (fra Styles, 2015).

Tykkelsen T av den sprengningsskadede sonen vil avhenge av utformingen av salven, mengden eksplosiver som benyttes per tenner og geometrien av salven (Figur 2). Basert på erfaring foreslo Hoek og Karzulovic (2000) empiriske relasjoner som kan brukes som utgangspunkt for å bedømme omfanget av den skadede sonen som følge av en produksjonssalve. I et gitt dagbrudd hvor benkhøyden er H , kan estimeringen av en

sprengningsskadet sone gjøres i henhold til Tabell 1. For eksempel for en benkhøyde på 20m kan omfanget av skadesonen variere fra 6 til 50 meter.



Figur 2: Typisk oppsett av skråningsskadet sone og muckpile etter sprengning (Hoek and Karzulovic, 2000).

2.1.1 Beregning av sprengningsskader ved bruk av Hoek Karzulovic

Tabell 1: Indikasjoner vedr. influenssone ved sprengning - sprengningsskade-tykkelse (Hoek and Karzulovic, 2000)

Salve Type	Avstand
Stor produksjonssalve, begrenset og med liten eller ingen kontroll	$T = 2 \text{ til } 2,5 H$
Produksjonssalve uten kontroll, men sprengning med en fri front	$T = 1 \text{ til } 1,5 H$
Produksjonssalve, begrenset, men med litt kontroll, f.eks. en eller flere bufferrader	$T = 1 \text{ til } 1,2 H$
Produksjonssalve med litt kontroll, f.eks. en eller flere bufferrader og sprengning til en fri front	$T = 0,5 \text{ til } 1 H$
Nøye kontrollert produksjonssalve med en fri front	$T = 0,3 \text{ til } 0,5 H$

Sprengningsskaden mellom den såkalte grenseverdien og uforstyrret berggrunn er gradert fra alvorlig skade ved grenseverdien til mindre skade ved uforstyrret berggrunn, som det fremgår i Figur 1. I en slik sammenheng, vil det om vi vurderer høyden av enkeltbenker i pukkverket til å være 15 meter, og det verste tilfellet for sprengningen (betyr begrenset uten kontroll), kunne oppstå en skadesone beregnet som følger:

$$T = 2,5 H = 2,5 \times 15 = 37,5 \text{ meter}$$

På samme måte, med tanke på nøye kontrollert produksjonssalve med en fri front i enkeltbenker (og benkhøyde 15 meter), vil skadesonen beregnes som:

$$T = 0,5 H = 0,5 \times 15 = 7,5 \text{ meter}$$

Ut fra dette, og basert på retningslinjene gitt i Tabell 1, er beregnet sprengningsskadesone målt fra randsonen av Lierskogens pukkverk mellom 7,5 og 37,5 meter. Basert på disse konservative beregningene, er det lite sannsynlig at endringer eller skade i berggrunnen kan fremkalles som følge av sprengningsarbeider på en avstand som overskrider 50 meter. Dette er også i tråd med funnene fra Wang et al (2018), som sier at sprengningsindusert forstyrrelsesfaktor, D, reduseres med en økning i avstanden til sprengningsstedet.

2.1.2 Beregning av sprengningsskader ved bruk av toppartikkelhastighet

Ved å bruke kriteriene for forstyrrelsesfaktor, D, har det blitt vist at ingen skade i berggrunnen kan oppstå i en avstand som overskrider 50 meter. Les og Stacey (2009) ga en nyttig retningslinje for å korrelere PPV med potensiell skade i berggrunnen. PPV-verdier mellom 125-500 [mm/s] vil kunne skade svakt berg, og verdier i området 375-1000 [mm/s] kan skade hardt, friskt berg. Lignende verdier er også avledet av Silva et al (2018), som viser at PPV-verdier under 250 [mm/s] ikke vil bryte intakt berg.

2.2 Vibrasjoner fra sprengning – ulike nasjonale standarder

Ulike land har etablert egne standarder for beregningen av vibrasjoner fra sprengningsarbeider basert på feltundersøkelser (Roy et al., 2017). Det finnes en rekke nasjonale standarder utarbeidet på grunnlag av kunnskap om relevante parametere for vibrasjoner i grunnen uttrykt som amplitude, toppartikkelhastighet, frekvens, akselerasjon, etc. Disse parameterne kan benyttes enten som et enkeltkriterium eller i kombinasjon. Toppartikkelhastighet har blitt brukt i praksis for måling av sprengningsskader på strukturer. Tabell 2 til 5 viser svingehastighetsstandardene for USA, Australia, Tyskland og Russland

Tabell 2: USA standard (etter Siskind et al., 1980).

Type konstruksjoner	Toppartikkelhastighet [mm/s]	
	Frekvens (< 40 Hz)	Frekvens (> 40 Hz)
Moderne hjem, innvendig tørrvegg	18,75	50
Eldre boliger, gips på tømmerkonstruksjon	12,5	50

Tabell 3: Australian standard (CA-23-1967) (Just and Chitombo, 1987).

Type konstruksjoner	Grenseverdier
Historisk bygning og monumenter og bygninger av spesiell verdi	0,2 mm forskyvning for frekvenser mindre enn 15 Hz
Hus og lave boligbygg, kommersielle bygninger ikke inkludert nedenfor	19 [mm/s] resulterende PPV for frekvenser større enn 15 Hz
Kommersielle bygninger og industrielle bygninger eller konstruksjoner av armert betong eller stålkonstruksjon	0,2 mm maksimal forskyvning tilsvarer 12,5 [mm/s] PPV ved 10 Hz og 6,25 [mm/s] ved 5 Hz

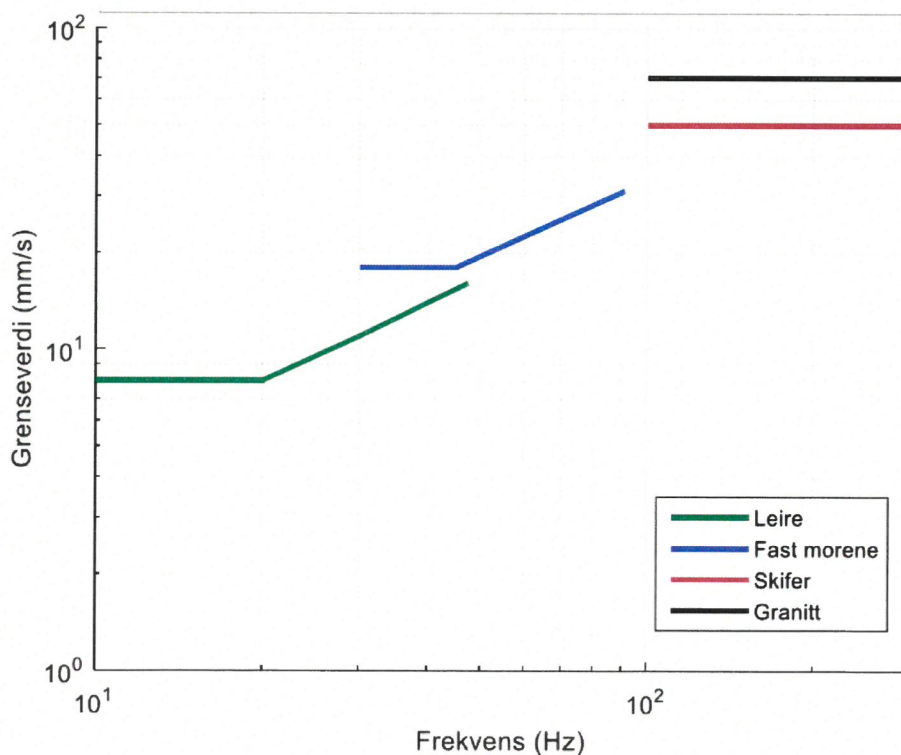
Tabell 4: Tysk standard (Tyskland Din4150, 1986).

Type konstruksjoner	Toppartikkelhastighet [mm/s] på grunnlag		
	< 10 Hz	10–50 Hz	50–100 Hz
Kontorer og industrielle lokaler	20	20-40	40-50
Hus og lignende konstruksjoner	5	5-15	15-20
Bygninger som ikke kommer under ovennevnte på grunn av deres følsomhet overfor vibrasjon	3	3-8	8-10

Tabell 5: Russian standard (fra Roy et al, 2017)

Type konstruksjoner	Toppartikkelhastighet [mm/s]	
	Gjentas	En gang
Sykehus	8	30
Store prefabrikkerte boliger og barns institusjoner	15	30
Boligbygg og offentlige bygninger av alle typer unntatt store paneler, kontor- og industribygg med deformasjoner, kjelerom og høy murstein skorsteiner	30	60
Kontor- og industribygninger, høyarmerte betongrør, jernbane- og vanttunneler, vei "flyovers"	60	120
Enkelt etasjes skjelett type industrielle bygninger, metall- og blokkarmerte betongstrukturer, jordbakker som er en del av primære strukturer, primære gruveåpninger (levetid opptil 10 år), hovedinnganger, gruve drifts	120	240

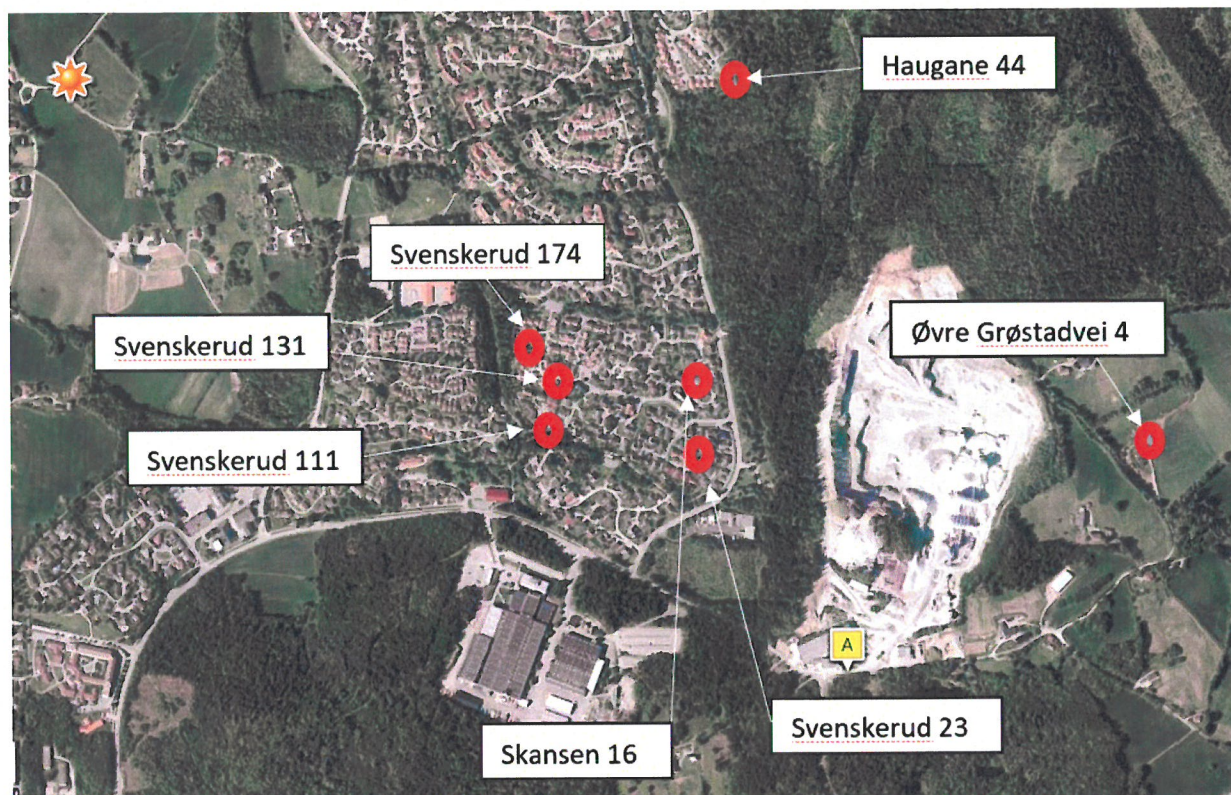
På samme måte introduserte Norsk standard NS 8141-1:2012/A1:2013 en ny terskel for vibrasjonsmålinger. Denne metoden vist seg imidlertid å være for streng i forhold til andre standarder og ble avskrevet til fordel for den gamle standarden NS 8141:2001 (Ramstad, 2017). Figur 3 under viser de grenseverdier (PPV-verdiene) som i Norge i dag er retningsgivende for ulike grunnforhold. Den mest konservative situasjonen (dvs. leire- og lavfrekvensvibrasjoner) gir en minimumsgrense på 8 [mm/s], i tråd med de internasjonale standarder som ble presentert tidligere.



Figur 3: Norsk Standard NS8141:2001.

2.3 Franzefoss' utførte målinger på Lierskogen

Ved Lierskogen pukkverk har Nexconsult utført rystelsesmålinger (på vegne av Franzefoss) i form av toppartikkelhastighet (PPV). Dette er blitt gjennomført regelmessig ved 7 forskjellige lokaliteter i nærmiljøet til pukkverket. Figur 4 viser lokalitetene der rystelsesmålinger er blitt utført for Franzefoss.



Figur 4: Lokaliteter for rystelsesmålinger for Franzefoss ved Lierskogen pukkverk.

Minimumsavstand mellom sprengningssted og lokalitetene for rystelsesmålinger ble vurdert som "Worst-case"-tilfellet. Avstanden ble målt fra kontur av pukkverket til hvert av de 7 punktene med hjelp av Google maps. Tabell 6 viser de resulterende avstandene.

Tabell 6: Minste avstand til pukkverket.

Sted	Avstand
Øvre Grøstadvei 4	215 [m]
Haugane 44	447 [m]
Skansen 16	290 [m]
Svenskerud 23	260 [m]
Svenskerud 111	570 [m]
Svenskerud 131	529 [m]
Svenskerud 174	608 [m]

Rystelsesmålingene ble utført i perioden fra februar 2014 til oktober 2018. Tabell 7 viser tilgjengelige data for alle stedene.

Tabell 7: Rystelsesmålinger på Lierskogen (maksimale enkeltmålinger er uthevet).

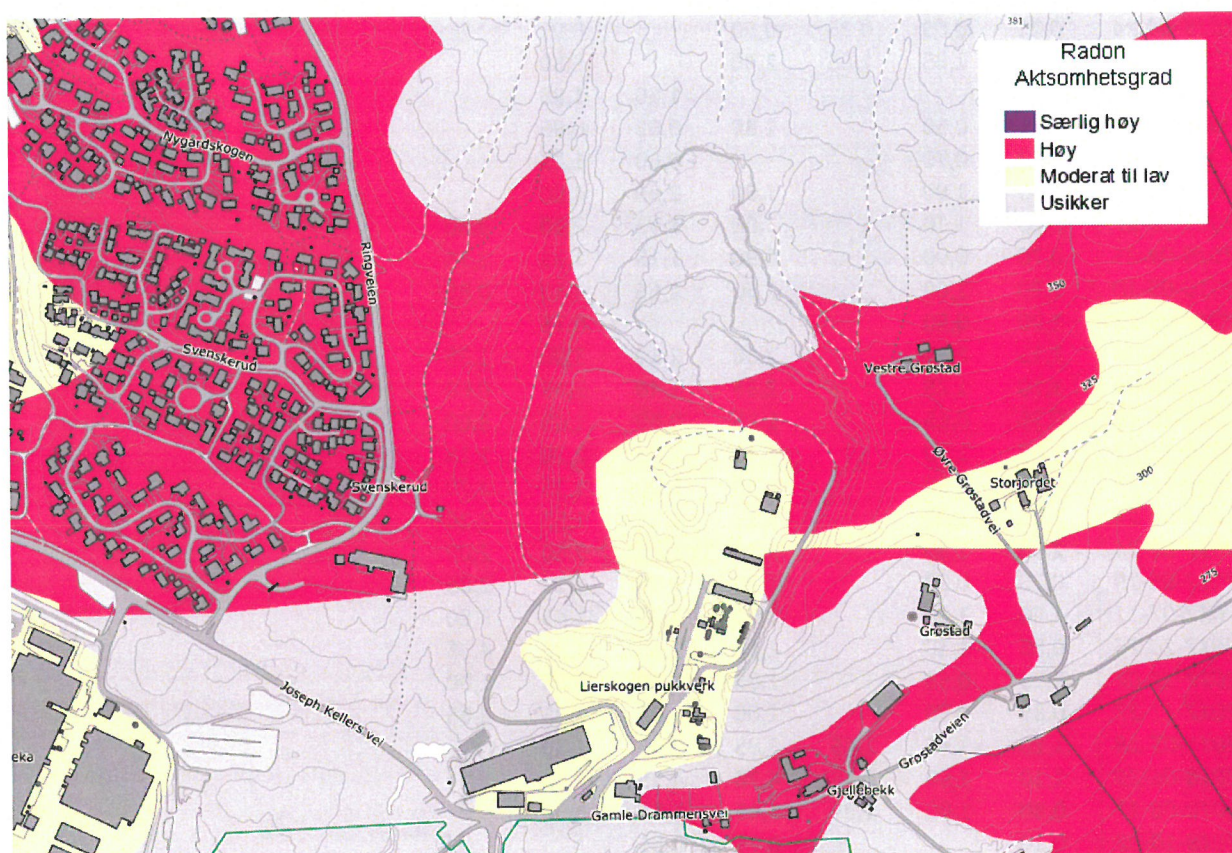
<i>Dato</i>	<i>Haugane 44</i>	<i>Svenskerud 131</i>	<i>Svenskerud 174</i>	<i>Svenskerud 111</i>	<i>Svenskerud 23</i>	<i>Skansen 16</i>	<i>Øvre Grøstadvei 4</i>
2014-02-19	0,65	1,25	0,85			2,05	
2014-02-28	2,90	1,30	0,95			1,80	
2014-04-04	1,10	1,20	1,35			2,65	
2014-04-09	0,40	1,25	0,85	2,00		3,10	
2014-06-04	1,20	1,75	1,45	1,50		3,35	
2014-06-30	0,85	0,95	1,00	0,80		1,95	
2014-08-20	1,90	1,45	1,30	1,10		2,75	
2014-09-26	2,05	1,75	1,80	2,50		3,80	
2014-10-06	0,35	0,85	0,80	1,30		1,30	
2014-11-14	0,40	0,80	0,75	1,20		1,45	
2014-12-15	0,35	0,85	0,45	0,80		2,20	
2015-02-10	0,60	1,50	0,95	1,30		3,65	
2015-03-09				0,75			
2015-03-11	0,80	1,10	0,80	1,50		1,75	
2015-04-24	0,25	0,60	0,35	0,90		0,95	
2015-04-27	1,65	1,85	1,65	2,40		6,50	
2015-06-19					1,50	1,85	
2015-08-10	1,25	0,50		1,35	0,55	0,95	
2015-10-02	1,60	0,70			0,60	1,25	
2015-11-25	1,95	1,90		1,90	2,90	4,60	
2015-12-17	1,95	1,10		1,00	1,45	2,30	3,60
2016-04-25	0,70	0,90		0,90	1,15	1,35	2,75
2016-05-10	1,20	1,60		2,60	2,65	4,10	0,85
2016-05-12	1,00	0,50				0,75	
2016-06-06	1,15	2,10		2,60	2,10	3,90	1,35
2016-10-04	1,10	1,25		2,35	1,40	3,45	0,60
2016-10-13	0,75	0,65		1,35	0,80	1,05	3,60
2016-11-07	1,05	1,30		1,45	2,05	2,20	1,15
2016-11-25	0,80	1,30		1,30	1,00	1,35	2,70
2017-02-15	2,15	1,00		1,10	1,15	1,55	3,20
2017-02-24	2,30	1,80		2,30	5,60	3,60	2,00
2017-05-19	0,75	0,90		1,20	1,00	1,20	2,85
2017-07-11	1,80	1,00		0,90	1,20	1,45	3,80
2017-10-26	0,85	1,10		1,80	1,15	1,35	4,35
2017-11-02	0,95	0,65		1,05	0,50	1,05	1,00
2017-11-27	0,85	0,90		1,00	1,05	1,35	2,65
2018-05-18	1,10	1,65	1,45	3,85	3,55	1,30	
2018-06-29	1,10	1,65	2,25	4,70	4,25	1,55	
2018-08-17	0,80	1,00	1,25	1,45	1,55	3,60	
2018-10-02	0,20			0,75	0,55		
2018-10-18	1,30			2,55	5,00	0,95	
							maksimum

Målested Haugane 44 viser en gjennomsnittlig målt PPV-verdi på 1,13 [mm/s], med maksimum- og minimumsverdier henholdsvis 2,90 [mm/s] og 0,20 [mm/s]. Tilsvarende størrelsesorden fikk man også på PPV-verdiene målt på Svenskerud 131 og 174 med henholdsvis 1,19, 2,10, 0,50 og 1,13, 2,25; 0,35 [mm/s]. Disse verdiene er som forventet siden alle de tre målepunktene befinner seg omtrent 450-600 meter fra pukkverket. Svenskerud 174, som ligger i en avstand på omtrent 608 meter fra pukkverket, viser litt høyere målte PPV-verdier med et gjennomsnitt på 1,64 [mm/s], maksimum 4,70 [mm/s] og minimum 0,35 [mm/s].

En annen gruppe målepunkter har en avstand til sprengningssted på rundt 200-300 meter og viser som forventet høye PPV-verdier sammenlignet med de som ble målt på større avstand. Svenskerud 23, Skansen 16 og Øvre Grøstadvei 4 viser gjennomsnittlige PPV-verdier på 1,86, 2,24 og 2,43 [mm/s], maksimumsverdier 5,60, 6,50 og 4,35 [mm/s] og minimumsverdier 0,50, 0,75 og 0,60 [mm/s] henholdsvis for de tre målepunktene.

I alle tilfeller viser de mottatte dataene at i henhold til NS 8141: 2001 er de målte PPV-verdiene under de tillatte terskelverdier på 8 [mm/s]. Det er også klart at alle rystelsesmålinger er godt innenfor de terskelverdier som internasjonale standarder krever.

Den største bekymringen med hensyn til potensiell skade på den omkringliggende berggrunnen er frigjøring av radon. Norges geologiske undersøkelse (NGU) har utarbeidet et radonkart for Norge. Figur 5 viser radonfordelingen i Lierskogen-området.



Figur 5: Radonfordeling i Lierskogens pukkverksområde (NGU, 2017).

Ifølge Sengupta (1989) frigjøres radon fra de interstitiale porene i aktuelt materiale i en kort periode etter salve. Den nyfragmenterte berggrunnen (etter sprengningen) gir en kilde til høyere radonutstråling. Det er derfor nødvendig å sprekke opp og knuse fjellet for å slippe ut radon.

3 Konklusjon

De registrerte rystelsesmålingene viser en PPV-fordeling mellom 0,2 og 6,5 [mm/s] ved de målte lokasjonene omkring Lierskogen pukkverket. Basert på disse målingene vil det etter våre beregninger ikke oppstå skade i berggrunnen som følge av sprengningsarbeidene i pukkverket.

Fra analysen av dataene kan SINTEF konkludere som følger om potensiell skade på berggrunnen fra sprengningsarbeidene i Lierskogen pukkverket og den tilhørende frigjøring av radon:

- Sprengningsaktivitet i steinbruddet forventes å gi et skadeområde bak skråningsfront i en avstand på ca. 7,5 til ca. 37,5 meter. Etter dette kriteriet kan det ikke forventes sprengningsindusert skade i berggrunnen på avstander over 50 meter.
- Det er ikke forventet initiering av nye sprekker i berggrunnen i områder med slike verdier med de avstander fra sprengningssted til omkringliggende bebyggelse som her er 215m som minste avstand.
- Ut fra dette er det etter vår oppfatning ikke sannsynlig at Radon-gass frigjøres fra berggrunnen som følge av sprengning.

4 Referanser

- German Institute of Standards (1986). Vibration of building-Effects on structures. DIN 4150, 3:1–5.
- Hoek, E., Karzulovic, A. (2000). "Rock mass properties for surface mines", in Slope Stability in Surface Mining, (Edited by W.A. Hustrulid, M.K. McCarter and D.J.A. van Zyl), Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), 2000, pages 59-70.
- Hoek E., Carranza-Torres, C., Corkum, B. (2002). "Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition". In proceedings of NARMS-TAC Conference, Toronto, pp267-273.
- Hoek, E. (2012). "Blast Damage Factor D". Rocnews in www.rocscience.com.
- Just, G.D., Chitombo, G.P. (1987). "The economic and operational implications of blast vibration limit mining and environment", The Aus IMM, pp 117–124.
- Norwegian standards (2001). "NS 8141:2001 Vibration and shock - Measurement of vibration velocity and calculation of guideline limit values in order to avoid damage on construction".
- Ramstad, N. (2017). "Foredrag 5. Status for NS 8141 vibrasjoner og støt. Hvilken versjon er gjeldende? Grenseverdi i forhold til skade – er det noen sammenheng". Standard Norge.
- Read, J., Stacey, P. (2009). "Guidelines for Open Pit Slope Design". CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Roy, M.P., Kumar, S., Paswan, R.K., Singh, P.K. (2017). "Evaluation of the effect of ground vibration due to dragline bench blasting on adjacent structures". NexGen Technologies for Mining and Fuel Industries.
- Sengupta, M. (1989). "Mine Environmental Engineering, Volumen1". CRC press. 328p.
- Silva, J., Worsey, T., Lusk, B. (2018). "Practical assessment of rock damage due to blasting". International Journal of Mining Science and Technology, in press. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.003>
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H. (1980). "Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting". United state Bureau of Mines, RI8507.
- Styles, T. (2015). "Application of blast damage when modelling open pit slopes". N Mine to Market conference, Cambridge. 10.13140/RG.2.1.2591.4961.
- Wang, Y., Wang, S., Zhao, Y., Guo, P., Liu, Y., Cao, P. (2018). "Blast Induced Crack Propagation and Damage Accumulation in Rock Mass Containing Initial Damage," Shock and Vibration, vol. 2018, Article ID 3848620, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/3848620>.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no