

Til: LKAB
v/ Sofia Keskitalo
Kopi til: Jacob J. Steinmo
Dato: 2020-05-20
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2020-07-03
Dokumentnr.: 20200144-05-TN
Prosjekt: LKAB – Narvik: Vibrasjoner fra SILA-anlegget
Prosjektleder: Karin Norén-Cosgriff
Utarbeidet av: Karin Norén-Cosgriff
Kontrollert av: Christian Madshus

Vibrasjoner fra Sila anlegget – Nye rammebetingelser for vibrasjoner

Innhold

Sammendrag	2
1 Innledning	3
2 Kommentarer til dagens rammebetingelser for vibrasjoner	3
2.1 Definisjon av vibrasjonshendelse	3
3 Forslag til nye rammebetingelser for vibrasjoner	4
3.1 Forankring av forslag til nye rammebetingelser i eksisterende praksis	4
4 Status for arbeid med vibrasjonsreducerende tiltak og handlingsplan	5
4.1 Oppsummering av dagens kunnskap om vibrasjonsproblemet	6
5 Referanser	7

Kontroll- og referanseside

Sammendrag

Vi anbefaler at det fastsettes nye rammebetingelser for vibrasjoner for LKABs virksomhet i Narvik som tillater avvik kombinert med en øvre grense som ikke skal overskrides. Vårt forslag er vist nedenfor.

Periode	Veid hastighet, v_w ¹⁾
Dag- og kveldstid (kl 07:00 – 23:00)	1 mm/s ²⁾
Natt (kl 23:00 – 07:00)	0.4 mm/s ³⁾

- 1) Ref. SS 460 48 61
- 2) Får overskrides i maks 10st 10-minutters perioder mellom kl 07-23. Vibrasjonsverdien skal ikke overskride $v_w = 1.4$ mm/s
- 3) Får overskrides i maks 5st 10-minutters perioder mellom kl 23-07 i maks 10% av nettene per kalenderår. Vibrasjonsverdien skal ikke overskride $v_w = 0.7$ mm/s

Vi anbefaler videre at dagens krav til akselerasjon sløyfes. SS 460 48 61 gir mulighet for måling av enten veid akselerasjon eller veid hastighet, men det er unødvendig å kontrollere for begge, da forholdet mellom disse er kjent og konstant.

En gjennomgang av alle registrerte vibrasjonsmålinger i Stormyrveien 10 og Stormyrveien 28 i årene 2016-2020 viser at også hvis det nye forslaget til rammebetingelser for vibrasjoner legges til grunn ville det vært overskredet i noen tilfeller. Arbeidet med å redusere vibrasjonene vil derfor fortsette også med nye rammebetingelser. Det vil imidlertid ta noe tid å utarbeide og gjennomføre tiltak og vi anbefaler derfor en overgangsperiode på to år før de nye rammebetingelsene håndheves strengt.

Analyse av måledata og numeriske beregninger viser at vibrasjonene som er til sjenanse for beboerne overføres gjennom berget som deretter setter løsmasselaget over i svingning som i sin tur setter bygningen over i svingning. Det bidrar betydelig til vibrasjonsproblemet at løsmasselaget stedvis har resonansfrekvenser som sammenfaller med svingefrekvensen på pelletsen i siloen og at disse i noen tilfeller også sammenfaller med bygningenes resonansfrekvenser. Begningene viser at tiltak mot vibrasjoner i form av grøfter og skjermes i løsmasselaget mellom siloene og boligene har liten effekt. Dette indikerer at vibrasjonsproblemet fremst må løses gjennom tiltak relatert til vibrasjonskildene. Beregningene indikerer videre at vibrasjonene mest trolig oppstår i pelletsen i rommet mellom innersiloen og bergveggen. Hvor og på hvilken måte er imidlertid ikke kjent. For å utarbeide tiltak er det nødvendig med videre studier som avklarer dette.

1 Innledning

Ved tømning av siloer på LKABs anlegg i Narvik oppstår til tider generende vibrasjoner i nabobebyggelsen. I 2016 fikk LKAB Norge ny tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven med rammebetingelser knyttet til markvibrasjoner gjeldende fra 1. juli 2017. Det har imidlertid vist seg at rammebetingelsene er vanskelige å oppfylle på tross av at LKAB har arbeidet aktivt for å redusere vibrasjonene. LKAB ønsker derfor å foreslå noen endringer i betingelsene, samtidig som LKAB ønsker også å presentere status og videre planer for arbeidet som pågår for å redusere vibrasjonene.

Dette notatet gir forslag til nye rammebetingelser og oppsummerer dagens kunnskap om vibrasjonsproblemet.

2 Kommentarer til dagens rammebetingelser for vibrasjoner

Dagens rammebetingelser for vibrasjoner er basert på Svensk Standard SS 460 48 61 /1/. Til forskjell fra Norsk Standard NS 8176 /2/ dekker SS 460 48 61 også andre typer vibrasjonskilder enn landbasert samferdsel. Grenseverdiene er høyere i SS 460 48 61 enn i NS 8176, men til gjengjeld er grenseverdien i NS 8176 satt som statistisk maksimalverdi som tillater enkelte overskridelser. En annen forskjell er at vibrasjonshendelser som skjer mer sjelden en én gang per uke ikke tas med i beregningen av statistisk maksimalverdi i NS 8176 (nyhet i versjonen fra 2017). SS 460 48 61 inneholder ingen slike formuleringer og grenseverdien gjelder derfor i utgangspunktet for den høyeste vibrasjonshendelsen som noen gang registreres, hvis ikke annet spesifiseres i miljødommer og retningslinjer. Det er derfor vanlig praksis i svenske retningslinjer og miljødommer å spesifisere tillatte avvik. Dette gjøres i form av at grenseverdien fastsettes som en lavere verdi som en viss andel av vibrasjonshendelsene (ofte 90%) skal ligge under, og en øvre grense som ikke skal overskrides. For eksempel benytter Trafikverket en slik fremgangsmåte i sine retningslinjer for støy og vibrasjoner fra vei og bane /3/ og det er også vanlig i miljødommer for bergverk og gruver, se for eksempel /4/.

2.1 Definisjon av vibrasjonshendelse

For å kunne bruke en formulering som tillater enkelte avvik i rammebetingelser for vibrasjoner er det nødvendig å ha en omforent definisjon av begrepet vibrasjonshendelse. For hendelser med impulskaraktistikk som for eksempel togpasseringer og sprengninger vil vibrasjonshendelsen samsvare med den ytre hendelsen (togpasseringen eller sprengningen). For virksomheter som avgir mer kontinuerlige vibrasjoner av varierende styrke, som LKABs Sila-anlegg, er begrepet vibrasjonshendelse vanskeligere å definere. Hvis grenseverdien er formulert som en middelvei over ett sekund (RMS-1s), slik det er tilfelle i bla SS 460 48 61 og NS 8176, vil hvert sekund i utgangspunktet

kunne telle som en egen vibrasjonshendelse. For eksempel fem sekunder med kontinuerlige vibrasjoner vil da telle som fem enkelte overskridelser. Det vil imidlertid sannsynligvis oppleves verre for beboere å bli forstyrret ett sekund mange ganger i løpet av natten enn et antall påfølgende sekunder én gang i løpet av natten. For følsomme laboratorier som forstyrres av vibrasjoner er det vanlig å definere lengden av en hendelsesperiode til å være lengre enn ett sekund, for eksempel 10 minutter. Ett eller flere sekunder med overskridelser innenfor en slik hendelsesperiode teller da som én overskridelse i hendelsesperioden og det spesifiseres hvor stor andel av det totale antallet hendelsesperioder som overskridelser kan tillates, for eksempel 10 %. Hvis hendelsesperioden settes til 10-minutter vil 10 % overskridelser i løpet av de åtte timene i nattperioden kl 23-07 bety at grenseverdien tillates overskrides i fem 10-minutters perioder i løpet av natten.

3 Forslag til nye rammebetingelser for vibrasjoner

Vi anbefaler at det fastsettes nye rammebetingelser for vibrasjoner for LKABs virksomhet i Narvik som tillater avvik kombinert med en øvre grense som ikke skal overskrides. Vårt forslag til formulering av nye rammebetingelser for vibrasjoner er vist i Tabell 1.

Tabell 1. Forslag til nye rammebetingelser for vibrasjoner

Periode	Veid hastighet, v_w ¹⁾
Dag- og kveldstid (kl 07:00 – 23:00)	1 mm/s ²⁾
Natt (kl 23:00 – 07:00)	0.4 mm/s ³⁾

- 1) Ref. SS 460 48 61
- 2) Får overskrides i maks 10st 10-minutters perioder mellom kl. 07-23. Vibrasjonsverdien skal ikke overskride $v_w = 1.4$ mm/s
- 3) Får overskrides i maks 5st 10-minutters perioder mellom kl. 23-07 i maks 10% av nettene per kalenderår. Vibrasjonsverdien skal ikke overskride $v_w = 0.7$ mm/s

Vi anbefaler videre at dagens krav til akselerasjon sløyfes. SS 460 48 61 gir mulighet for måling av enten veid akselerasjon eller veid hastighet, men det er unødvendig og fordyrende å kontrollere for begge, da forholdet mellom disse er kjent og konstant.

Det vil ta noe tid å utarbeide og gjennomføre tiltak og vi anbefaler derfor en overgangsperiode på to år før de nye rammebetingelsene håndheves strengt.

3.1 Forankring av forslag til nye rammebetingelser i eksisterende praksis

Nåværende grense for natt $v_w = 0.4$ mm/s tilsvarer grensen for "måttlig störning" i SS 460 48 61. Vi mener at denne grenseverdien ligger på riktig nivå. Trafikkverket benytter i sine retningslinjer $/3/ v_w = 0.4$ mm/s som "riktvärde" for natt (22-06). I Trafikvekets

retningslinjer tillates denne verdien å overskrides maks 5 ganger per natt, men skal ikke overskride $v_w = 0.7$ mm/s (gjelder kun for jernbane). Disse verdiene gjelder ved nybygging/vesentlig ombygging og anses av Trafikverket å være en konkretisering av et godt eller i noen tilfeller et akseptabelt miljø. Våre foreslåtte rammebetingelser for vibrasjoner nattetid samsvarer med Trafikverkets retningslinje.

Nåværende grense for dag- og kveldsperioden, $v_w = 1.0$ mm/s, tilsvarer grensen for "sannolik störning" i SS 460 48 61. Vi mener at denne grenseverdien ligger på riktig nivå. En øvre grense er viktigst for nattperioden når forstyrrelser får mest negative virkninger. For dagperioden vil ikke enkelte hendelse med høyt nivå ha like stor innvirkning. Vibrasjoner på de nivåene som diskuteres her er et rent sjanseproblem og er langt fra de som er direkte skadelige for helse eller gir risiko for bygningsskade. I henhold til ISO 10137 /5/ er forholdet mellom akseptable vibrasjonsverdier på dag respektive nattetid en faktor i spennet 1.4-2.9 for intermediaære vibrasjoner. En øvre grense for dag respektive nattetid på $v_w = 1.4$ mm/s respektive $v_w = 0.7$ mm/s gir en faktor to mellom dag og natt som altså ligger godt innenfor dette spenn. En øvre grense på $v_w = 1.4$ mm/s samsvarer også med Trafikverkets "åtgärdsnivå" for eksisterende bygninger (gjelder nattetid). Trafikverket har ikke fastsatt noen "riktvärden" for dag- og kveldsperioden.

4 Status for arbeid med vibrasjonsreduserende tiltak og handlingsplan

En gjennomgang av alle registrerte vibrasjonsmålinger i Stormyrveien 10 og Stormyrveien 28 i årene 2016-2020 (til og med 19. mars 2020) viser at også hvis det nye forslaget til rammebetingelser for vibrasjoner legges til grunn ville grenseverdiene vært overskredet i noen tilfeller, se Tabell 2. Dette er beskrevet mer i detalj i /6/. Arbeidet med å redusere vibrasjonene må derfor fortsettes også med nye rammebetingelser for vibrasjoner.

Tabell 2. Antall dager/netter med overskridelser av forslag til nye rammebetingelser vibrasjoner i SMV10 og/eller SMV28 i perioden 2016-2020

Periode	Overskridelse av	2016	2017	2018	2019	2020 ¹⁾
Dag/kveld	Maks antall	0	0	0	0	0
	Øvre grense	1	3	0	2	0
	Totalt antall	1	3	0	2	0
Natt	Maks antall	1	6	3	4	0
	Øvre grense	1	10	14	4	0
	Totalt antall	2	12	14	5	0
Alle	Totalt	3	14	14	7	0

1) Til og med 19. mars 2020

4.1 Oppsummering av dagens kunnskap om vibrasjonsproblemet

I 2012 ble det etablert et system for kontinuerlig overvåking av vibrasjonene i Stormyrveien 10 og Stormyrveien 28 som i 2016 ble utvidet med sensorer på en av siloene, i berg, og på løsmasser. Innsamlet måledata er analysert og det er funnet klare indikasjoner på hvordan vibrasjonene generes og overføres fra siloene til husene. Det har også i 2020 blitt utført elementberegninger for å identifisere mulige genereringsmekanismer og vurdere effekt av tiltak /7/. Basert på dette utgangspunktet har vi per i dag følgende bilde på hvordan vibrasjonene oppstår i siloene og overføres til nabobebyggelsen:

Vibrasjonene som når frem til bygningene, og er til sjenanse for beboerne, oppstår i siloene, enten i pelletsen eller i kontaktflaten mellom pellets og silo, eller eventuelt i tappe-delen i bunn av siloene. Tilsynelatende skyldes dette at det fra tid til annen oppstår store transiente laster - støtlaster. De transiente lastene setter pelletsøylen i siloen i resonanssvingninger noe som forsterker kreftene. Hvor og på hvilken måte vibrasjonene oppstår i siloene er imidlertid ikke avklart. Frekvensen på svingningene avhenger av fyllingsgraden i siloen. Trolig kan dette variere noe avhengig av type pellets og andre parametere som påvirker brudd og strømmingsegenskaper til pelletsen. De dynamiske kreftene fra pelletsen overføres til berget hvor de setter opp vibrasjonsbølger med omtrent samme frekvens som i pelletsen. Bølgene brer seg utover fra siloen i berget. Løsmasselaget over berget settes i svingning av bølgebevegelsen i berget og bygningen settes i svingning av bevegelsene i løsmasselaget. Avhengig av løsmassetykkelse og lokal topografi kan løsmasselaget komme i resonanssvingning som forsterker vibrasjonene. Hvor kraftig forsterkningen blir og hvor de kraftigste vibrasjonene oppstår avhenger av frekvensen på bølgeutbredelsen i berget og derigjennom av fyllingsgraden i siloen. Det bidrar betydelig til vibrasjonsproblemet at løsmasselaget stedvis har resonansfrekvenser som sammenfaller med svingefrekvensen på pelletsen i siloen og at disse i noen tilfeller også sammenfaller med bygningenes resonansfrekvenser.

Utførte elementberegninger viser at tiltak basert på å avskjerme utbredelsen av vibrasjoner i løsmasselaget konseptuelt vil være uten særlig virkning i den aktuelle situasjonen, siden vibrasjonene ikke brer seg utover langs løsmasselaget, men ved at løsmasselaget hele veien settes i svingninger av bølgebevegelsene i berget under. Dette indikerer at vibrasjonsproblemet fremst må løses gjennom tiltak relatert til vibrasjonskildene og ikke i overføringsveien til boligene.

For å forstå og kunne finne løsninger på vibrasjonsproblemet er det nødvendig med målinger som gjør det mulig å fastlegge hvordan vibrasjonene genereres og utbreder seg / forsterkes i omgivelsene, samt finne sammenheng mellom driftsparametere og vibrasjoner.

5 Referanser

- /1/ SS 460 48 61:1992 Vibrationer och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader
- /2/ NS 8176:2017 Vibrasjoner og støt. Måling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel, vibrasjonsklasser og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker.
- /3/ Trafikverket Riktlinje Buller og vibrationer från trafik på väg och järnväg
- /4/ Mark- och miljööverdomstolen mål nr M9233-13 av den 28 augusti 2014
- /5/ ISO 10137:2007 Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations.
- /6/ 20200144-03-TN NGI Teknisk notat. Forslag til nye rammebetingelser vibrasjoner.
- /7/ 20200144-02-TN NGI Teknisk notat. Numerisk modellering av vibrasjonsutbredelse fra siloer til omgivelsen og vurdering av vibrasjonsreducerende tiltak

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Vibrasjoner fra Sila-anlegget – Rammebetingelser for vibrasjoner og status for arbeid med vibrasjonsreducerende tiltak		Dokumentnr./Document no. 20200144-05-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Oppdragsgiver/Client LKAB Norge AS	Dato/Date 2020-05-20
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr. & dato/Rev.no. & date 1 / 2020-07-03
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Vibrasjoner, rystelser, silo		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Narvik	Felt navn/Field name
Sted/Location Narvik	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2020-05-20 Karin Norén- Cosgriff	2020-05-20 Christian Madshus		
1	Klargjørende formulering av anbefalte rammebetingelser	2020-07-03 Karin Norén- Cosgriff			

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 20. mai 2020	Prosjektleder/Project Manager Karin Norén-Cosgriff
--	----------------------------------	--

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

