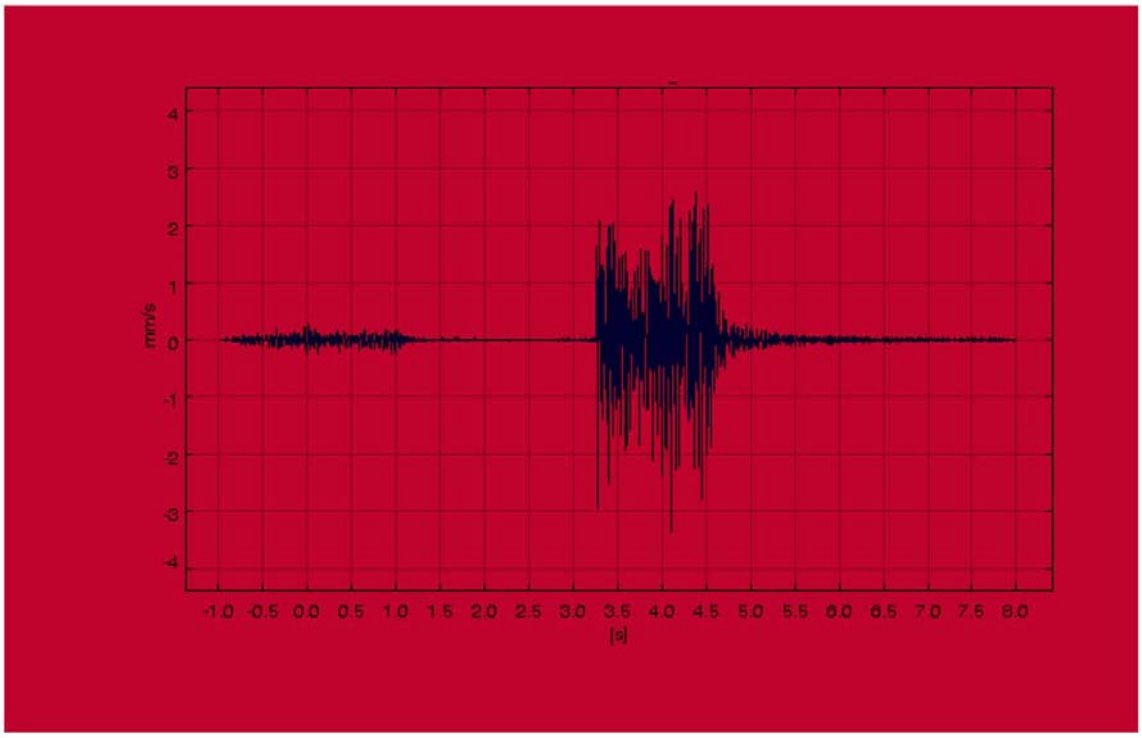
MinBaS II

Mineral•Ballast• Sten **Område 3** **Rapport nr 3.1a:3**

MinBaS II område nr 3 Miljö/hållbar utveckling
Delområde nr 3.1a Miljöpåverkan från anläggningar
Projekt nr 3.1a:3 Vibrationer/Luftstötvåg

Guideline avseende vibrationer inomhus orsakade av sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor – Mätmetod och begränsningsvärden för komfort



Carl Johan Gårdinger, NCC
Stockholm, april 2011

Sammanfattning

Idag finns det i Sverige inga riktlinjer för vad som är acceptabla nivåer för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader, med avseende på mänsklig komfort. Myndigheternas tolkning om hur rikt- och gränsvärden ska sättas i tillstånd varierar över landet. I augusti 2009 införlivades MinBaS-projektet 3.1a-3 Vibrationer/luftstötvåg i ett RTC-projekt med samma syfte – att ta fram en rapport som anger acceptabla nivåer för vibrationer och luftstötvåg i samband med sprängning samt hur detta bör mätas. I projektets arbetsgrupp ingick representanter från täkt- och gruvbranschen och experter inom sprängning, vibrationer samt ergonomi.

I projektet samlades mätdata in från sprängningar ovan och under jord runtom i Sverige. Mätningarna utfördes alla på samma sätt enligt givna instruktioner. Mätdata analyserades av experter och för varje mätdata beräknades en överföringsfaktor mellan inkommande markvibration och resulterande vibration på bjälklaget inomhus. Samtliga överföringsfaktorer vägdes sedan samman till ett värde, **1,6**, med hänsyn taget till grudläggnings- och bjälklagstyp för respektive hus. Med hjälp av överföringsfaktorn togs värden fram för acceptabla vibrationsnivåer för olika sprängningsfrekvenser och tider på dygnet. För täkter innebär detta en nivå på **8 mm/s**. För luftstötvåg till följd av sprängning anges **500 Pa**, mätt som reflektionstryck, som ett värde som inte får överskridas.

Summary

Today in Sweden there is no standard for acceptable levels of blast induced vibrations in buildings, in terms of human comfort. The authorities' interpretations of how limits should be set in permits, vary across the country. In August 2009, the MinBaS Project 3.1a-3 Vibration/luftstötvåg was incorporated in an RTC project with a common objective - to produce a report that specifies acceptable levels of vibration and airborne shock waves as a result of blasting, and how this should be measured. The work group of the project included representatives from the quarrying and mining industry and experts within blasting, vibration and ergonomics.

The project gathered vibration data from blasting above and below ground throughout Sweden. Measurements were all performed by means of given instructions. Measurement data were analyzed by experts and for each data a transfer factor between the incoming ground vibration and resultant vibration in the indoor floor structure was estimated. All transfer factors were then combined into one value, **1.6**, taking into account the type of foundation and floor structure for each house. With the transfer factor, calculations could be made for acceptable vibration levels for different blast frequencies and times of the day. For quarries, this implies a level of **8 mm/s**. For airborne shock waves as a result of blasting, **500 Pa**, measured as reflection pressure, is a value that must not be exceeded.

Innehåll

Inledning 4

Syfte och målsättning 4

Genomförande 4

WP1 5

WP2 6

Förslag till villkorsskrivning 6

Publicitet 6

Bilaga 1 Guideline avseende vibrationer inomhus orsakade av sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor. Mätmetod och riktvärden för komfort

Bilaga 2 Sprängningsinducerade vibrationer kontra mänsklig upplevelse. WP 1 Definiering av överföringsfaktor

Inledning

I augusti 2009 beslutades att MinBaS projekt 3.1a-3 Vibrationer och luftstötvåg skulle utgöras av ett snarlikt RTC-projekt, som beskrivs nedan. Istället för att driva ett eget vibrationsprojekt skulle MinBaS medverka i RTC-projektet. Slutrapporten för rubricerat MinBaS-projekt består av resultatet av RTC-projektet samt denna inledande text som beskriver framtagandet av rapporten samt sammanfattar resultaten.

Syfte och målsättning

Lokalt varierar myndigheternas tolkning om hur rikt- och gränsvärden för sprängning sätts i tillstånd. Variationen innebär stor osäkerhet inom täkt- och gruvbranschen och påverkar därigenom den tillståndssökande under såväl tillståndsprocessen som i det slutliga tillståndet. De senaste åren har det vid tillståndsansökan krävts att vibrationer mäts enligt den s.k. Komfortnormen trots att denna inte ska tillämpas på tillfälliga aktiviteter som bygg- och anläggningsarbeten, ej heller bergtäkter och gruvdrift.
RTC – Rock Tech Centre – gav Nitro Consult i uppdrag att ta fram en förstudie för att sammanfatta kunskapsläget och utreda behoven. Man fann det lämpligt att starta ett projekt med syfte att ta fram en guideline som ska fungera som ett stöd för myndigheter när de ska behandla täktansökningar.
Målsättningen är ett förslag på en tydlig guideline som anger hur man ska bestämma tillåtna vibrationsnivåer från sprängning med avseende på mänsklig upplevelse samt hur detta ska kontrolleras och mätas. En beräknad överföringsfaktor mellan inkommande markvibration och resulterande vibration i bjälklaget (detta för att i framtiden slippa göra vibrationsmätningar inomhus) skall också ingå, såväl som en beskrivning av luftstötvågens vibrationsinverkan.
I målet ligger också att uppslutningen bakom guidelinen skall vara bred och omfatta såväl branschen som myndigheter.

Genomförande

Projektet omfattar två delmoment, workpackages (WP) och för varje delmoment bildades en arbetsgrupp med representanter från olika delar av branschen. MinBaS representerades i båda arbetsgrupperna av Carl Johan Gårdinger, NCC Teknik. Arbetsgrupperna samordnades av en styrgrupp. En tid efter projektstart sammanfördes de båda arbetsgrupperna, av praktiska skäl, till en enda arbetsgrupp som ansvarade för båda delmomenten. Arbetsgruppen bestod av Roland Andersson (Professor Industriell Ergonomi, KI), Olof Bergström (Regionchef Nitro Consult AB), Carl Johan Gårdinger (Civilingenjör, NCC Teknik), Mathias Jern (Teknisk doktor, Nitro Consult AB), Torbjörn Naarttijärvi (Bergsingenjör, LKAB).
Nedan följer en sammanfattning av projektet och guidelinen med fokus på resultat. Kapitlet följer samma uppdelning som projektet med de båda delprojekten, WP1 och WP2.

WP1

WP1 innebar i första hand insamlandet av mätresultat från sprängningar i gruvor och täkter runt om i Sverige. Dessa resultat har analyserats och använts för att definiera en relevant överföringsfaktor mellan inkommande vibration i bärande grundkonstruktion och bjälklag inomhus. Triaxiell mätning utfördes både för inkommande markvibration och på bjälklaget. Även luftstötvågen har mätts och jämförts med vibrationer inomhus på bjälklag.

Under perioden oktober 2009 till augusti 2010 gjordes totalt 610 mätningar varav 192 gällde sprängning ovan jord.

Överföringsfaktorer har beräknats kontinuerligt för de erhållna mätvärdena. Man har konstaterat en god korrelation mellan inkommande vibration i sockeln och motsvarande vibration i bjälklaget.

Undersökningen visar att överföringsfaktorn varierar mellan olika byggnads- och grundläggningstyper och även mellan vibrationsriktningarna. Det har inte påvisats någon koppling mellan marktypen som en byggnad är grundlagd på och överföringsfaktorn. Detta pekar på att variationen i överföringsfaktor är konstruktionsberoende. I tabellen nedan redovisas samtliga överföringsfaktorer för olika byggnadstyper i vertikal mätriktning samt komponentmax.

Det noterades att i 60 % av vibrationsmätningarna på bjälklag var den vertikala riktningen störst. I sockelmätningarna är det endast 14 % av fallen där den vertikala riktningen är störst. Därför rekommenderar man i WP1 att komponentmax används vid vibrationsmätning för att inte riskera en underskattning av den vertikala vibrationen på bjälklag.

BYGGNADSTYP	ÖVERFÖRINGSFAKTOR (-) VERTIKAL MÄTNING	ÖVERFÖRINGSFAKTOR (-) KOMPONENTMAX
KRYP/TORPARGRUND	2,2	1,6
TRÄBJÄKLAG KÄLLARE	2,4	1,5
BETONGBJÄKL. KÄLLARE	3,0	1,8
SAMTLIGA KÄLLARE	2,5	1,6
PLATTA PÅ MARK	1,2	1,1

Arbetsgruppen har kommit fram till ett medelvärde för överföringsfaktorn på 1,4 vid komponentmax (PCPV). Detta värde är ett resultat av de uppmätta värdena ställt i relation till hur det svenska fastighetsbeståndet ser ut, dvs. hur många hus som finns av respektive typ. Av försiktighetsprincip valdes dock 90-percentilen för överföringsfaktorn som då uppgår till **1,6**. På detta sätt beräknas 90 % av alla svenska bostäder ha en vibrationsnivå inomhus som understiger acceptabla nivåer.

Vid luftstötvågsmätningarna har noterats att luftstötvågen under vissa förutsättningar har orsakat större bjälklagsvibrationer än från motsvarande markvibration. Detta har skett främst då markvibrationen varit liten. Dock kan konstateras att en luftstötvåg inom gängse gränsvärden för övertryck inte kommer orsaka en vibration i bjälklaget som överstiger ett rimligt riktvärde.

WP1 resulterade i en sammanfattande rapport, se bilaga 2. Denna fungerar som underlag till WP2. Olof Bergström och Mathias Jern från Nitro Consult AB har tagit fram rapporten.

WP2

WP2 innebar framtagandet av guidelinen. Viktiga underlag är den gällande brittiska standarden BS 6472-2:2008 och diverse svenska standarder. Arbetsgruppen tog fram ett utkast som under hösten 2010 utvecklats till en färdig rapport. I november 2010 hölls en workshop med deltagare från täkt- och gruvbranschen där innehåll och upplägg diskuterades. Efter workshopen reviderades guidelinen utifrån åsikter som framkom under diskussionen.

Guidelinen beskriver mätning och prognostisering av vibrationer och luftstötvågor från sprängning. Dessutom klargörs diverse termer och definitioner.

I guidelinen presenteras också projektets resultat gällande överföringsfaktor och acceptabla vibrationsnivåer. Värdena är uppdelade efter antal sprängningar per dygn och tid på dygnet och avser komponentmax uppmätt triaxiellt på utsidan av huset. För tre sprängningar per dygn eller färre under dagtid gäller **8 mm/s**. Till de acceptabla vibrationsnivåerna hör att värdet får överskridas maximalt **10 %** av sprängningarna per år i varje enskild mätpunkt, dock aldrig med mer än **50 %.** Definitionen för en sprängning är att vibrationsnivån överstiger **0,5 mm/s** i enskilda mätpunkter. Se tabell 1 i guidelinen för en komplett förteckning över acceptabla vibrationsnivåer.

För luftstötvågor till följd av sprängning anges **500 Pa**, mätt som reflektionstryck, som ett värde som inte får överskridas.

Eftersom den mänskliga upplevelsen har en central roll i projektet valde man att fokusera på detta i WP2. Detta resulterade i en delrapport, *Människans upplevelse av vibrationer från sprängning* (Roland Andersson Professor Industriell Ergonomi, KI). Denna rapport är en utförlig litteraturstudie som sammanställer forskningsläget för den mänskliga upplevelsen i samband med vibrationer från sprängning. Delrapporten återfinns som bilaga till guidelinen.

Förslag till villkorsskrivning

I guidelinen anges förslag till villkorsskrivning enligt följande:

Vibrationer till följd av sprängning får inte, i varje enskild mätpunkt, medföra en högre svängningshastighet (komponentmax, PCPV) i bostäders sockel vid mer än 10 % av sprängningarna per år än vad som anges nedan:

Dagtid 07.00 – 22.00	*8 mm/s*
Nattetid 22.00 – 07.00	*4 mm/s*

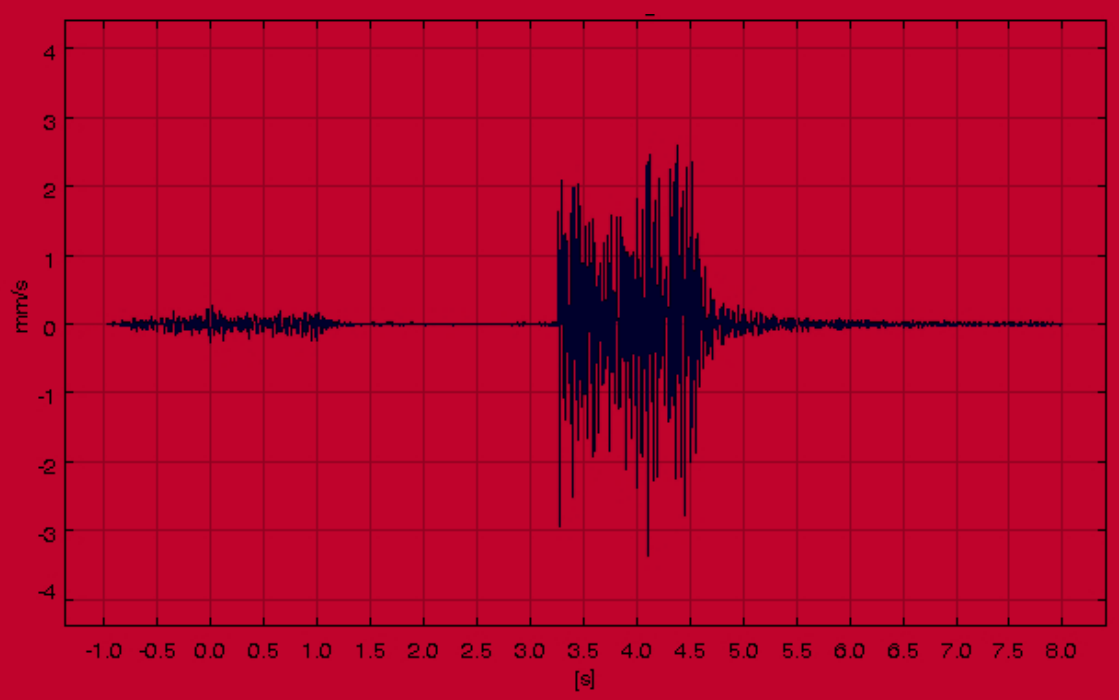
De angivna värdena får dock aldrig överskridas med mer än 50 %. Som nämnts bör de ovan angivna värdena reduceras till 6 respektive 3 mm/s om bostäder utsätts för mer än tre sprängningar regelmässigt per dag, varvid med sprängning avses sådan sprängning som resulterar i en vibrationsnivå vid bostadshus om minst 0,5 mm/s.

Luftstötvågor till följd av sprängning får vid bostäder inte överstiga 500 Pa mätt som reflektionstryck i enlighet med SS 02 52 10.

Hur villkoret ska kontrolleras, t.ex. med avseende på mätpunkter, mätfrekvens och utvärderingsintervall får avgöras i det enskilda fallet. För täkter där sprängning sker mer sällan kan en annan tidsperiod än ett år behöva tillämpas.

Publicitet

Arbetsgrupperna har fått möjlighet att presentera projektet, dels vid Berg- och gruskonferensen i maj 2010 och dels vid SGU:s täkthandläggarträff i september 2010. Då representanter från naturvårdsverk och länsstyrelser väntas medverka vid båda dessa tillfällen anses dessa presentationer vara ett bra sätt att skapa intresse för den kommande guidelinen. Projektet representerades vid dessa tillfällen av Mathias Jern, NitroConsult.



Guideline avseende vibrationer inomhus orsakade av sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor.

Mätmetod och begränsningsvärden för komfort.

December 2010

RTC
ROCK TECH CENTRE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord 4
1. Bakgrund 6
2. Inledning 7
3. Omfattning 7
4. Termer och definitioner 8
5. Mätning och prognostisering av vibrationer 9
5.1. Allmänt om vibrationer från sprängning 9
5.2. Mätning av vibrationer 9
5.3. Prognostisering av vibrationers storlek. 9
6. Mätning av luftstötvåg 10
6.1. Allmänt om luftstötvågor 10
6.2. Mätning av luftstötvågor 10
6.3. Prognostisering av luftstötvågens storlek 10
7. Överföringsfaktor 11
8. Acceptabla vibrationsnivåer 12
8.1. Allmänt 12
8.2. Acceptabla vibrationsnivåer 12
8.3. Mätprocedur vibrationsmätning 14
8.4. Riktvärde, gränsvärde/begränsningsvärde 14
8.5. Förslag till villkorsskrivning 14
9. Acceptabla nivåer för luftstötvåg 15
9.1. Förslag till villkorsskrivning 15
10. Referenser 15

Bilagor

BILAGA BESKRIVNING

1. Människans upplevelse av vibrationer från sprängning 16
2. Skallagsekvationen 22
3. Hur närboende kan informeras 24

Foto: Fredrik Alm och Andreas Lundgren för LKAB
Bildkollage sid 2 tillhandahållet av Roger Lindstrand, Sigicom

Förord

Denna guideline avseende vibrationer inomhus orsakade av sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor har tagits fram genom en bred samverkan mellan företag och organisationer verksamma inom gruv- och täktbranschen i Sverige.

Guidelinen har arbetats fram i projektform där Nordic Rock Tech Centre AB, RTC, har administrerat projektet och i konsortiet som finansierat och drivit projektet har följande företag och organisationer ingått:

- Stiftelsen Bergteknisk Forskning, BeFo
- Bergsprängnings Entreprenörernas Förening, BEF
- Bergsprängningskommittén, BK
- Boliden Mineral AB
- LKAB
- Nitro Consult AB
- Nordkalk
- Sveriges Bergmaterialindustri, SBMI/MinBaS

De riktlinjer som här presenteras har arbetats fram förutsättningslöst och med den bästa ”know-how” som för närvarande finns tillgänglig. Riktlinjerna bygger på nationella och internationella standarder och normer, forskningsrön samt omfattande egna mätningar och uppföljningar runt om i Sverige.

Vår förhoppning är att detta dokument skall vara vägledande vid framtida tillståndsansökningar och tillståndsgivning där mänsklig exponering inomhus av vibrationer och luftstötvåg från sprängningar skall beaktas.

Organisationen för projektet har bestått av en projektchef samt en styr- och projektgrupp. Projektchef var inledningsvis Stefan Romedahl fram till han lämnade VD posten hos RTC i maj 2010 varefter Torbjörn Naarttijärvi har varit tillförordnad projektchef.

I STYRGRUPPEN HAR FÖLJANDE PERSONER INGÅTT:

- Mikael Hellsten, BeFo
- Jan Johansson, BEF
- Donald Jonson, BK och Nitro Consult AB
- Craig Griffiths, Boliden Mineral
- Monica Quinteiro, LKAB
- Anders Jonsson, Nordkalk
- Björn Strokirk, SBMI/MinBaS
- Jan Bida, SBMI/MinBaS.

PROJEKTGRUPPEN SOM OCKSÅ HAR FÖRFATTAT GUIDELINEN HAR BESTÅTT AV FÖLJANDE PERSONER:

- Roland Andersson, Tekn.Dr i industriell ergonomi och professor, representerat BeFo
- Olof Bergström, Ingenjör, Nitro Consult AB
- Carl Johan Gårdinger, Civilingenjör, representerat SBMI/MinBaS
- Mathias Jern, Tekn. Dr, Nitro Consult AB
- Torbjörn Naarttijärvi, Bergsingenjör, representerat LKAB.

Denna guideline kommer även att publiceras i BeFos och i MinBaS rapportserie.

1. Bakgrund

I Sverige saknas idag riktlinjer för vad som är acceptabla nivåer för mänsklig exponering av sprängningsinducerade vibrationer i byggnader. Trots detta har de allra flesta bergtäkter och gruvor idag restriktioner gällande vibrationer från sprängning, restriktioner som måste betraktas som komfortvillkor då nivåerna är satta för att undvika klagomål från närboende och inte för att undvika skada på egendom.

Den svenska komfortstandard som finns, SS 460 48 61, är tydlig i att den inte omfattar sprängningsarbeten vid täkt- och gruvverksamhet, ”Riktvärdena är inte avsedda att tillämpas på tillfälliga aktiviteter som bygg- och anläggningsarbeten, ej heller för bergtäkter och gruvdrift”. Från myndighetshåll menas ibland att det trots detta är möjligt att mäta efter den standarden, och begränsningsvärde i form av rikt- eller gränsvärden kan sättas på annat sätt, dock oklart hur.

I de allra flesta fall fastställs villkor i enlighet med SS 460 48 66 ”Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader” vad gäller mätmetod och instrumentkrav men då med reducerade värden med hänsyn till mänsklig upplevelse. Detta är inte heller tillfredsställande då SS 460 48 66 endast avser risken för teknisk skada på byggnader och inte mänsklig upplevelse. Dessutom varierar vibrationsvillkoren markant mellan olika län och ibland även inom samma län.

Idag förekommer alltså villkor både enligt ”skadestandarden” SS 460 48 66 och ”komfortstandarden” SS 460 48 61. Det finns ett antal problem med hur dessa restriktioner sätts idag:

- Den stora spridning som finns mellan tillåtna vibrationsnivåer på olika platser saknar grund, enskilda människors klagomål borde inte ligga till grund för beslutande av tillåtna vibrationsnivåer. Människor borde inte vara olika känsliga för vibrationer beroende på vilket län de bor i.

- Enligt SS 460 48 61 mäts vibrationen som RMS-värde, i denna standard står det ”Riktvärdena är inte avsedda att tillämpas på tillfälliga aktiviteter som bygg- och anläggningsarbeten, ej heller för bergtäkter och gruvdrift”. Orsaken till detta är dels att nivåerna i standarden är tänkta att gälla för vibrationer som inträffar oftare och under längre tid (exempelvis trafikvibrationer), men också att RMS-värdet som sådant inte är lämpligt för mätning av mänsklig upplevelse vid den typ av kortvariga transienter/stötvibrationer som uppkommer vid sprängning (se /3/ och /6/).

- Om mätning skall ske enligt SS 460 48 61 måste givare placeras inne i huset mitt på golvet. Detta innebär att den som utför mätningen måste bli insläppt i huset innan mätningen, det innebär också att man inte får röra sig inne i huset vid tiden för sprängning eftersom man då riskerar att starta mätningen av andra orsaker än sprängningen. Detta förfarande är både praktiskt svårt samt innebär i sig en betydande störning för den boende.

- Förutom att nivåerna varierar gör även begreppen detta; riktvärde, gränsvärde och begränsningsvärde är termer som ofta används. Beroende på hur dessa termer tolkas kan ett och samma värde betyda helt olika saker. Det är viktigt att här vara tydlig vad gäller den verkliga betydelsen av olika begrepp. På grund av den stora spridning som inte kan undvikas när det gäller vibrationer från sprängning (se bilaga 2), bör dessutom vibrationsvillkor där ett enskilt överskridande innebär en brottslig handling undvikas.

- Den stora spridning som idag förekommer avseende rikt-/gränsvärden innebär att ett företag som vill etablera en gruva/täkt inte från början vet vilka vibrationsvillkor som kan förväntas. Vibrationsvillkoren kan direkt kopplas till kostnaden för att losshålla berg vilket innebär att en exploatör behöver känna till detta för att kunna bedöma förutsättningarna för att bedriva verksamheten.

- Omkringboende som exponeras för vibrationerna upplever osäkerhet när villkoren varierar kraftigt mellan olika gruvor/bergtäkter. När orsaken till villkoret inte heller framgår tydligt, dvs. att villkoret finns för att minska störningsupplevelsen, utan man tror att villkoret är relaterat till risken för skada på hus, kan det upplevas minst sagt provocerande att någon har 2 mm/s medan andra har 4 mm/s eller 6 mm/s.

2. Inledning

I denna riktlinje behandlas helkroppsvibrationer och dess påverkan på störning och komfort för närboende i samband med sprängningsarbeten i gruvor och bergtäkter.

Vad gäller mätning och bedömning hänvisas om inget annat anges till svensk och internationell standard SS-ISO 2631-1, SS-ISO 2631-2 samt SS 460 48 66 och SS 02 52 10.

Störning och komfort i relation till sprängning och gruv-/bergtäktsverksamhet är ett mycket komplext område. Störningen i sig omfattar så mycket mer än bara själva vibrationen och luftstötvågen. Både ytterligare objektiva störningsmoment (hörbart skaller i byggnadsdetaljer och husgeråd, buller från övrig verksamhet, damning, transporter etc.) och subjektiva störningsmoment (attityden till verksamheten som sådan, oron för skada på det egna huset mm) har mycket stor betydelse för totalupplevelsen (se bilaga 1 samt /1/). Trots detta är vibrationen och i viss mån luftstötvågen de två parametrar som finns tillgängliga för att bestämma/mäta och därför också kontrollera påverkan på omgivningen från sprängningen. Detta innebär att vi trots medvetenhet om metodens svagheter anser att restriktioner gällande denna typ av kortvariga vibrationer och luftstötvåg är det bästa sättet att kontrollera denna del av verksamheten.

Om vi skall använda oss av restriktioner i form av tillåtna vibrationsnivåer så får vi ”luta oss” på den kunskap som finns sedan tidigare. Här finns visserligen ett relativt stort antal undersökningar om hur människor tål vibrationer och även vibrationer från sprängning/1/ men när det gäller den totala upplevelsen saknas i stort sett omfattande undersökningar.

Gällande de internationella standarder och myndighetsvillkor som finns lutar man sig nästan alltid på SS-ISO 2631:2 (1989) detta trots att man i den nya versionen av samma standard SS-ISO 2631:2 (2003) exkluderat rekommenderade värden. I denna text har även vi i huvudsak valt att följa de värden som anges i denna standard, i huvudsak har vi även följt det resonemang som används i den Brittiska standarden BS 6472-2: 2008 och det sätt denna tillämpar värdena från SS-ISO 2631:2 (1989), se/1/.

Den ansats för rekommenderade restriktioner vi tillämpar i denna guideline innebär i korthet att vibrationer mäts på utsidan av huset i sockel (triaxiellt) och att man sedan använder en överföringsfaktor för att med hjälp av denna beräkna storleken på vibrationen inomhus på bjälklag, denna beräknade vibrationsnivå kan sedan jämföras med komfortnivåer enligt SS-ISO 2631:2 (1989).

3. Omfattning

Föreliggande guideline ger vägledning för mänsklig exponering och upplevelse av sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor som överförs till byggnader, alltså av kortvariga vibrationer av stötkaraktär. Guidelinen är avsedd för sprängningsarbeten vid industriell verksamhet som prövas som A- eller B-verksamhet enligt miljöbalken såsom bergtäkter och gruvor. Föreliggande guideline ger ingen vägledning avseende skador på fastigheter orsakade av vibrationer eller luftstötvågor, detta står att finna i ”SS 460 48 66” samt ”SS 02 52 10”.

4. Termer och definitioner

CREST-VÄRDE: Förhållandet mellan vibrationens (accelerationens) toppvärde och dess RMS värde.

FRIFÄLTSTRYCK: Det tryck som kan mätas vid fri vågutbredning och där inga störningar från närliggande ytor påverkar mätningen.

KOMPONENTMAX (PCPV): Högsta vibrationsvärde (toppvärde) oavsett riktning vid 3-axiell mätning.

PPV: Högsta vibrationsvärde i vertikal riktning vid 1-axiell mätning.

REFLEKTIONSTRYCK: Det tryck som uppkommer då en våg träffar en yta vinkelrätt mot utbredningsriktningen. Reflektionstrycket är ungefär dubbla frifältstrycket.

RMS: Effektivvärdet, RMS (Root Mean Square), är ett sätt att medelvärdesberäkna effekten från en vibration under en viss tid. Tiden som används är olika för olika standarder.

TOPPVÄRDE: Det mätvärde som oftast används för att representera vibrationer från sprängning och är svängningshastighetens högsta värde.

5. Mätning och prognostisering av vibrationer

5.1. ALLMÄNT OM VIBRATIONER FRÅN SPRÄNGNING

Vibrationer från sprängning kan beskrivas som enstaka eller upprepade transienta stötvågspulser med relativt kort varaktighet. Vibrationernas stötvågspulser har vanligtvis en snabb stigtid med efterföljande avklingning. Stigtiden och frekvensinnehållet i signalen påverkas starkt av avståndet från sprängplatsen och av de geologiska förhållandena men minskar generellt med ökat avstånd.

Storleken av vibrationerna beror främst av avståndet från sprängplatsen men också av mängden sprängämne som detonerar samtidigt. Andra faktorer som påverkar storleken på vibrationerna är bl.a. de lokala geologiska förhållandena, som kan variera i olika riktningar från sprängplatsen men också faktorer som sprängborrhålens inspänning och sprängämnets egenskaper.

Där det är tekniskt möjligt anpassas tändplanen för att minimera den laddningsmängd som ger samverkan i vibrationen som når mottagningspunkten (hos de boende). Varaktigheten på vibrationerna beror av storleken på sprängningen och den intervallfördelning som används. Normala produktionssprängningar i täkter eller gruvor pågår vanligtvis under 0.1 s till 1 s medan en salva i större dagbrott och tunnelsalvor kan ha betydligt längre tider, uppåt 6-10 s. Det bör påpekas att de vibrationssignaler som mäts upp, speciellt på större avstånd har längre varaktighet än själva sprängsalvan.

5.2. MÄTNING AV VIBRATIONER

Praxis vid vibrationsmätning från sprängning är att mäta den maximala svängningshastigheten (PPV), oftast enbart den vertikala riktningen, med geofoner. Vibrationsmätningssystemet skall uppfylla krav enligt SS 460 48 66. Även om geofoner är vanligast genom att de mäter den önskade storheten, svängningshastighet, direkt kan andra typer av givare användas, exempelvis accelerometrar, förutsatt att svängningshastigheten kan beräknas.

Frekvensområdet för en sprängningsinducerad vibration ligger vanligtvis mellan 5 Hz till 50 Hz vid de relativt långa avstånd som normalt råder mellan sprängning och mätpunkt vid bergtäkter och gruvor.

Samma mätförfarande rekommenderas vid fastställande av den mänskliga exponeringen för vibrationer som vid SS 460 48 66 ”Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader” innebärande att mätning skall utföras utanför byggnad och ”givaren fästes i bärande del av grundkonstruktionen” enl. SS 460 48 66. Den enda skillnaden är att mätning skall ske triaxiellt. I övriga delar avseende kalibrering mm enligt SS 460 48 66.

För utförligare beskrivning av skillnaden mellan den vertikala riktningen och komponentmax hänvisas till Rapport WP1 ”Definiering av överföringsfaktor” /2/

Notera att givarplacering vid triaxiell mätning kan vara mer komplicerad än vid enbart vertikal mätning. Detta gäller framförallt vid källargrundläggning då en felplacerad geofon kan ge betydande förstärkningseffekter om den placeras på en källarvägg som i sig upplever förstärkningseffekter av vibrationen.

5.3. PROGNOSTISERING AV VIBRATIONERS STORLEK

Genom att samla in data såsom vibrationsnivå, avstånd mellan sprängplats och mätpunkt, samverkande laddning etc., kan man skapa en modell för att prediktera förväntade vibrationsnivåer. Indata till modellen bildas antingen via provsprängningar eller genom att man redan tidigare noggrant dokumenterat produktionssprängningar och på så sätt skapat en kunskapsbank av relevanta indata.

Skallagsekvationen är den vanligaste metoden för att beräkna vibrationer med avseende på laddningens storlek och avstånd och beskrivs i bilaga 2.

Varierande geologiska förhållanden, sprängningstekniska variationer etc. ger upphov till spridningar i mätdata och hänsyn måste tas till variationerna för att fastställa att mängden mätdata är tillräcklig. Vibrationernas skall uttryckas som ett statistiskt medelvärde för att ta hänsyn till variationerna.

Skallagsekvationen kan kan användas för att skatta vibrationsnivån och är ett bra hjälpmedel vid planering och design av sprängningar.

Skallagsekvationen bestäms normalt via regressionsanalys där man med hjälp av kurvpassning bestämmer ekvationens konstanter samt hur bra passformen mot indata är. Kurvpassningen ger en ekvation som kan användas för att beräkna medelvärde för vibrationsnivåer. Generellt varierar storleken på vibrationer i relativt stor omfattning trots samma laddningsmängd och avstånd från sprängplatsen. Detta gör att begränsningsvärden bör uttryckas som att en viss andel av vibrationsvärdena, exempelvis 90%, skall understiga ett visst värde, och att det också finns en övre gräns på vibrationsnivåer som aldrig får överskridas. Att 90% /4/ skall understiga det angivna värdet innebär i praktiken att sprängningarna måste planeras för ett medelvärde som ligger under halva det angivna värdet och de flesta uppmätta vibrationer kommer därmed att underskrida detta.

6. Mätning av luftstötvåg

6.1. ALLMÄNT OM LUFTSTÖTVÅGOR

Luftstötvågor är tryckvågor som breder ut sig i luften från en detonerande laddning. Trycket beror på bl.a. laddningens storlek och graden av inneslutning. Frekvensinnehållet i luftstöten förändras med avståndet då lägre frekvenser, oftast ohörbara, dämpas långsammare och kan därför orsaka övertryck på långa avstånd. Dessa luftstötvågor kan i undantagsfall förorsaka skador på byggnationer, men kan medföra omgivningspåverkan som uppmärksammas i form av ljud (oväsen) då fönster, dörrar, porslin etc. skallrar. Det är under sådana omständigheter omöjligt att bedöma om det är markvibrationer eller luftstötar som uppfattas utan att mäta och registrera salvan.

6.2. MÄTNING AV LUFTSTÖTVÅGOR

Mätning av luftstötvågor utförs enligt SS 02 52 10 ”Vibration och stöt – Sprängningsinducerade luftstötvågor – Riktvärden för byggnader”. I SS 02 52 10 anges 500 Pa, reflektionstryck, som riktvärde för att undvika skador på byggnationer. Standarden ger även utrymme för en viss reduktion av detta värde för fasta anläggningar som ex. gruvor och bergtäkter.

Vid uppmätning av luftstötens påverkan på huset genom mätning av vibrationer inomhus på bjälklag kan konstateras att den kraftigaste förstärkningen erhålls i vertikal riktning. I vissa fall, då markvibrationen är relativt låg samtidigt som luftstötvågen är relativt hög, kan luftstötvågen ge högre vibrationsnivåer inomhus än markstötvågen. Detta gäller framförallt byggnader med fribärande bjälklag. Mätningar och analyser visar dock att luftstötvågen inte blir dimensionerande för vibrationsnivån inomhus om de håller sig inom de nivåer på luftstöten som anges i SS 02 52 10 samt normalt föreskrivs i villkor, se /2/

6.3. PROGNOSTISERING AV LUFTSTÖTVÅGENS STORLEK

Luftstötvågens utbredning påverkas av atmosfäriska förhållanden där vindriktning, vindhastighet, temperatur och lufttryck har stor betydelse. Detta faktum gör att prognostisering av luftstöten är vansklig och att resultaten av en prognostisering inte sällan ger resultatet i en troligt spann med en faktor 10 där förväntat tryck beräknas hamna för olika avstånd och där de allra flesta sprängningar ger luftstötar i det lägre området men där man vid något tillfälle kan komma att uppnå de högre nivåerna.

Förladdningens längd och kvalitet, pallens höjd och riktning och i särskilda fall meteorologiska förhållanden är viktiga parametrar för att begränsa risken för oväntat höga luftstötvågstryck.

7. Överföringsfaktor

Denna guideline behandlar människans upplevelse av vibrationer inomhus. Som beskrivits i kapitel 1 så är det opraktiskt, svårt och ibland omöjligt att genomföra mätningar inomhus om annan verksamhet pågår i bostaden. Istället har då samma metodik som nyttjats i den brittiska standarden, BS 6472-2 :2008, valts. Den innebär att vibrationerna mäts utomhus på sockeln och en omräkningsfaktor (överföringsfaktor) används för att fastställa vibrationsvärdet inomhus. I den brittiska standarden används en överföringsfaktor på 1.3, dvs. det värde som mäts utomhus multipliceras med 1.3 för att erhålla vibrationsnivån inomhus.

Överföringsfaktorns storlek är beroende av hustyp och byggnadssätt. Det är inte självklart att samma överföringsfaktor kan nyttjas i Sverige som i Storbritannien eftersom byggnadssätt mm. kan variera. Vi har därför valt att utföra relativt omfattande mätningar runt om i Sverige för att fastställa överföringsfaktorens storlek.

Inom projektet har då ett stort antal mätningar utförts för att kunna definiera och fastställa en överföringsfaktor. Vibrationsmätningar utfördes både i sockel och på bjälklag på ett stort antal hus för att bestämma värden som är representativa för svenska bostadshus. Sammanlagt utfördes mätningar vid 610 tillfällen i 12 olika gruvor/bergtäkter och på 36 olika hus. Mätningarna redovisas mer utförligt i WP1 rapporten /2/.

RESULTAT ÖVERFÖRINGSFAKTOR

Sammantaget visar resultaten att ett svenskt ”medelhus” har en överföringsfaktor på 1,4 vid komponentmax (PCPV) och som med god precision kan användas på de allra flesta hus. Ur en försiktighetsprincip har dock 90-%percentilen valts att användas för överföringsfaktorn som då uppgår till 1.6. Detta innebär att 90% av alla bostäder beräknas ha en vibrationsnivå inomhus som understiger acceptabla nivåer, enligt punkt 8.2, om de håller sig inom de angivna värden för dagtid enligt tabell 1 under samma punkt. För mer information om detta hänvisas till rapport WP1 ”Definiering av överföringsfaktor” /2/.

8. Acceptabla vibrationsnivåer

8.1. ALLMÄNT

Markvibrationer från sprängning kan i många fall sammanblandas med andra vibrationskällor då markvibrationer från sprängning, speciellt vid ovanjordssprängningar, ofta efterföljs av övertryck från luftstötvågor. Många klagomål på vibrationer från sprängning kan helt eller delvis bero på att luftstötvågen alstrar vibrationer i byggnadsdelar snarare än den markburna vibrationen. Att subjektivt skilja markvibrationer från övertryck från luftstötvågor är mycket svårt.

Notera; Erfarenheten visar att rädsla för skada på fastigheter har större signifikant effekt på mänsklig upplevelse än vibrationens direkta effekt på personer. Dock kan detta inte beaktas i föreliggande guideline. Vibrationer och luftstötvågor kontra skador på fastighet täcks in av SS 460 48 66 samt SS 02 52 10.

Det finns även andra faktorer som påverkar den mänskliga upplevelsen och som beskrivits i bilaga 1 men som heller inte är möjliga att väga in i förslag till acceptabla vibrationsnivåer.

Vid gruvbrytning och även vid annan mineralutvinning kan en acceptans finnas för vibrationer genom god kännedom om verksamheten, speciellt om sprängning utförs vid samma tidpunkt varje dag. Emellanåt kan kompromisser göras mellan att ha ett flertal små sprängningar eller en stor sprängning. Generellt sett med hänsyn till ett flertal faktorer, bland annat inverkan på omgivningen, är det senare att föredra.

Som framgår av SS-ISO 2631:2 (1989) och BS 6472-2 :2008 bör också hänsyn tas till tidpunkten när sprängningar utförs, men också på sprängningens varaktighet samt antalet sprängningar under exempelvis ett dygn. Alla dessa faktorer påverkar uppfattningen och upplevelsen av vibrationerna.

Information om när sprängning ska utföras är alltid viktigt och speciellt gäller detta exempelvis täkter där sprängning inte sker regelbundet. När sprängningar sker sällan är information till närboende om när sprängning ska ske mycket viktig eftersom upplevelsen av sprängning snarare kan ha karaktär av överraskning än störning. I bilaga 3 har därför angetts exempel på hur information kan spridas till närboende. Då definitionen för en sprängning enligt denna guideline är att vibrationsnivån skall överskrida 0.5 mm/s i bebyggelse bör samtliga boende och fastighetsägare där denna nivå förväntas uppnås omfattas av informationen förutsatt att de så önskar.

8.2. ACCEPTABLA VIBRATIONSNIVÅER

I det följande kapitlet ges riktlinjer för acceptabla vibrationsnivåer från sprängning. Härvid har utgångsvärden hämtats från SS-ISO 2631-2:1989 samt BS 6472-2 :2008 då inga andra rön som stöder en avvikelse från dessa har kunnat påträffas. I den senare anges 8-13 mm/s som tillåten nivå ur komfortsynpunkt (eg. avrundat från 8,5-12,7 mm/s), dessa värden gäller för upp till 3 störningstillfällen per dag och anges utgöra vibrationsnivåer under vilken sannolikheten av reaktioner är låg.

För att få fram vibrationsnivåer som kan tillämpas som begränsningsvärden har vissa ändringar och förenklingar krävts då en tillämpning av metodiken i någon av ovan nämnda standarder inte ger ett rikt- eller gränsvärde utan kan variera från dag till dag och från hus till hus.

I ovan nämnda standarder används en ekvation som korrigerar för antal sprängningstillfällen som överstiger 3 under en dag, i denna giudeline anges ett värde för 3 eller mindre och ett reducerat värde för fler än 3 sprängningstillfällen per dag. I exempelvis BS 6472-2:2008 görs också en korrigering när sprängningar överstiger 3 per dag och har lång varaktighet, även här genom en ekvation som ger upphov till skilda värden på acceptabla nivåer från sprängning till sprängning. Denna ekvation innehåller också en korrigering för olika bjälklag.

I denna guideline har istället valts att ha en överföringsfaktor som gäller för samtliga byggnadstyper och som då är högre än den som tillämpas i BS 6472-2:2008.

Det bör betonas att de i denna guideline föreslagna acceptabla vibrationsnivåerna inte är direkt jämförbara med vad som erhålls vid mätning enligt standarden SS 460 48 66. I SS 460 48 66 används maximala vertikala PPV-värdet medan i denna guideline nyttjas maximal PPV-komponent (Komponentmax, PCPV). Detta innebär att de i tabell 1 angivna acceptabla vibrationsnivåerna med hänsyn till mänsklig upplevelse generellt blir högre än vad som skulle erhållas vid mätning av enbart den vertikala komposanten. Detta beror på variationer i de olika riktningarna av såväl de inkommande vibrationerna som överföringsfaktorn, en uppfattning om hur stora skillnaderna är kan fås i /2/.

I kolumn 3 i tabell 1 framgår acceptabla vibrationsnivåer mätt triaxiellt på ”sockeln” på fastighetens utsida med hänsyn till mänsklig upplevelse eller komfort. Där upp till tre sprängningar per dag utförs är den generella acceptabla vibrationsnivån 8 mm/s (avrundat från 7.94). Den generella överföringsfaktorn har fastställts till 1.6 och ska tillämpas på alla byggnadstyper trots att en sådan förstärkning av vibrationsnivån

inte alltid sker och speciellt inte för exempelvis hus grundlagda på platta på mark, /2/.

När det gäller acceptabla vibrationsnivåer kontra vilka tider på dygnet eller under vilka veckodagar som sprängning utförs har en uppdelning enbart gjorts i dagtid och nattetid. Detta avviker från det gängse sättet att också ha en övrig tid som avser kväll och helger. Skälet till denna avvikelse är dagens krav på effektivitet i produktion och det faktum att skift- och helgarbete är vanligare idag än tidigare. Givetvis bör sprängningar nattetid undvikas om möjligt och det är egentligen endast inom gruvindustrin detta sker, då det ovanjord är mycket ovanligt att sprängning sker efter mörkrets inbrott och då i mycket speciella fall.

I de i tabell 1 föreslagna riktlinjerna halveras acceptabla vibrationsnivåer nattetid till 4 mm/s. Reduktionen är något mindre än det som exempelvis föreslås i den brittiska standarden (1/3).

Sprängning nattetid sker i Sverige nästan enbart i gruvor under mark och när sprängning får ske regleras i gruvan/bergtäktens tillstånd. Vid gruvbrytning underjord finns det särskilda fördelar med sprängning nattetid. Eftersom hela eller delar av gruvan måste vädras ut (pga. spränggaser) efter sprängning är det ur arbetsmiljösynpunkt lämpligt att spränga sent, dvs. det är bättre att stänga av gruvan under några timmar nattetid och låta personalen arbeta morgon–dag–kväll istället för att spränga dagtid och låta personalen arbetat kväll–natt–morgon.

Den stora betydelse som gruvorna ofta har på den ort där de finns kan alltså motivera inte bara ett något högre vibrationsvärde utan också sprängning vid ”obekvämare” tider eftersom dessa tider i sig innebär så stora fördelar för de som direkt påverkas av gruvans arbetstider (arbetsmiljön).

TABELL 1. ACCEPTABEL VIBRATIONSNIVÅ MED HÄNSYN TILL MÄNSKLIG UPPLEVELSE.

	TID PÅ DYGNET	**ACCEPTABEL VIBRATIONSNIVÅ** PCPV (A), (B), (C) (mm/s)
Bostäder ≤ 3 sprängningar per dag (D)	Dagtid (E)	8
	Natt (E)	4
Bostäder > 3 sprängningar regelmässigt per dag (D)	Dagtid (E)	6
	Natt (E)	3

A) Tabell 1 leder till vibrationsnivåer under vilken sannolikheten av reaktioner är låg /4/, /8/.
B) Avser maximala svängningshastigheten mätt triaxiellt på utsidan av fastigheten (Komponentmax,PCPV).
C) Maximalt 10% av sprängningarna per år får, i varje enskild mätpunkt, överskrida de i kolumn 3 angivna värden, dock aldrig med mer än 50%.
D) Definitionen för en sprängning är att vibrationsnivån skall överstiga 0.5 mm/s i enskilda mätpunkter /4/.
E) Dagtid 07.00-22.00 alla dagar i veckan. Natt 22.00-07.00

8.3. MÄTPROCEDUR VIBRATIONSMÄTNING

Mätning utförs triaxiellt och redovisas som komponentmax (högsta värdet oavsett riktning). Mätpunktsplacering samt instrumentspecifikation enligt SS 460 48 66.

8.4. RIKTVÄRDE, GRÄNSVÄRDE/ BEGRÄNSNINGSVÄRDE

Enligt tidigare praxis fastställdes ofta riktvärden och gränsvärden för olika parametrar. Överskridande av riktvärden medförde en skyldighet att vidta åtgärder för att undvika ett upprepande. För att ett riktvärde skulle anses överskridet krävdes således att företaget struntade i att vidta någon åtgärd. För gränsvärden gällde däremot direkt att ett överskridande kunde leda till en anmälan till polis och åklagare. På senare tid har dock praxis skärpts och Miljööverdomstolen vill helt utmönstra begreppet ”riktvärde”. Tanken är att villkoren skall vara tydliga och förutsebara samt att dessa skall formuleras såsom begränsningsvärden. Därutöver skall också ramarna för kontrollen anges t.ex. med avseende på mätmetod, mätfrekvens och utvärderingsmetod. I likhet med vad som gäller för det gamla gränsvärdet, kan ett överskridande av ett begränsningsvärde leda till en anmälan till polis och åklagare. Det går dock att föreslå villkor där endast enstaka överskridanden är tillåtna eller att överskridande medför en skyldighet att vidta åtgärder och att anmäla detta till tillsynsmyndigheten.

Vibrationer från sprängningar varierar starkt vilket framgår av figur 1, bilaga 2. Acceptabla vibrationsnivåer bör inte överskridas i mer än 10% av sprängningarna. Beroende på den statistiska spridningen i vibrationsnivåer från sprängning så innebär ett 90% konfidensintervall i praktiken att sprängningarna behöver designas för ett medelvärde på omkring halva den tillåtna vibrationsnivån för att säkerställa att den tillåtna vibrationsnivån skall kunna innehållas i 90% av fallen.

I guidelinen föreslås därför ett begränsningsvärde, men att det endast behöver innehållas i 90% av fallen. Det kan naturligtvis vara önskvärt att förutom detta ”riktvärde” att ha ett strikt ”gränsvärde” som inte får överskridas. Detta bör i så fall aldrig sättas lägre än 50 % över ”riktvärdet”.

8.5. FÖRSLAG TILL VILLKORSSKRIVNING

Ett villkor enligt denna guideline kan ha följande lydelse:

Vibrationer till följd av sprängning får inte, i varje enskild mätpunkt, medföra en högre svängningshastighet (komponentmax, PCPV) i bostäders sockel vid mer än 10% av sprängningarna per år[1] än vad som anges nedan:

Dagtid	*07.00-22.00*	*8 mm/s*
Nattetid	*22.00–07.00*	*4 mm/s*

De angivna värdena får dock aldrig överskridas med mer än 50%. Som nämnts bör de ovan angivna värdena reduceras till 6 respektive 3 mm/s om bostäder utsätts för mer än tre sprängningar regelmässigt per dag, varvid med sprängning avses sådan sprängning som resulterar i en vibrationsnivå vid bostadshus om minst 0,5 mm/s.

Hur villkoret ska kontrolleras, t.ex. med avseende på mätpunkter, mätfrekvens och utvärderingsintervall, får avgöras i det enskilda fallet.

[1] För täkter där sprängning sker mer sällan kan en annan tidsperiod behöva tillämpas

9. Acceptabla nivåer för luftstötvåg

Utförda undersökningar visar att luftstötvågen inte blir dimensionerande för inomhusmiljön, dvs. vibrationer inomhus. Därför bör värdena som anges i SS 02 52 10 gälla som acceptabla nivåer.

9.1. FÖRSLAG TILL VILLKORSSKRIVNING

Ett villkor enligt denna guideline kan ha följande lydelse: *Luftstötvågor till följd av sprängning får vid bostäder inte överstiga 500 Pa mätt som reflektionstryck i enlighet med SS 02 52 10.*

Hur villkoret ska kontrolleras, t.ex. med avseende på mätpunkter, mätfrekvens och utvärderingsintervall, får avgöras i det enskilda fallet.

10. Referenser

1. Bergström O, Jern M, Förstudie avseende sprängningsinducerade vibrationer kontra mänsklig upplevelse (2009).

2. Bergström O, Jern M, Sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor kontra mänsklig upplevelse, WP 1 Definiering av överföringsfaktor (2010).

3. Giacomelli C, Vibrationsstörningar i bostäder: En litteraturstudie om gränsvärden och mätmetoder. Teknisk rapport 1986:31, Statens Provningsanstalt, Borås (1986).

4. British Standard BS 6472-2: 2008, Guide to evaluation of human exposure to vibrations in buildings, Part 2, Blast-induced vibrations (2008).

5. Svensk Standard SS 02 52 10. Vibration och stöt – Sprängningsinducerade luftstötvågor – Riktvärden för byggnader (1996).

6. Svensk Standard SS-ISO 2631-1, Vibration och stöt – mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader (1997).

7. Svensk Standard SS-ISO 2631-2, Vibration och stöt, Vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan, Del 2: Vibration i byggnader (2003).

8. Svensk Standard SS-ISO 2631-2, Utvärdering av mänsklig exponering till helkroppsvibrationer, Del 2: Kontinuerliga och stötinducerade vibrationer i byggnader (1 till 80 Hz) (1989).

9. Svensk Standard SS 460 48 66. Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader (1991).

10. Svensk Standard SS 460 48 61. Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader (1992).

Bilaga 1
Människans upplevelse av vibrationer från sprängning

HÄLSORISKER, KOMFORT OCH PERCEPTION

Människan utsätts idag ofta för vibrationer som kan påverka hela kroppen eller delar av kroppen. De förra kallas för helkroppsvibrationer och de senare för lokala vibrationer. Helkroppsvibrationer överförs till människan från ett underlag på vilken kroppen vilar, t.ex. ett förarsäte eller ett vibrerande golv. Med lokala vibrationer avses vibrationer som endast påverkar vissa delar av kroppen, t.ex. handen och armen genom arbete med vibrerande handverktyg. I de här riktlinjerna behandlas helkroppsvibrationer och dess påverkan på störning och komfort för närboende i samband med sprängningsarbeten i gruvor och täkter.

Vibrationer som överförs till människokroppen förstärks vid vissa frekvenser beroende av störfrekvensens storlek relativt olika kroppsdelars och organs egenfrekvens. Men det är inte de direkta frekvenserna från vibrationer från sprängningar som ger störst påverkan utan snarare fastigheternas egenfrekvens.

Sättet på vilket vibrationerna påverkar hälsa, komfort och perception (känseltröskeln) är därtill beroende av det totala frekvensinnehållet i vibrationen och olika frekvenser måste därför vägas ihop till en ”frekvensvägd acceleration” (r.m.s.). Det aktuella frekvensområdet är 0,5 till 80 Hz. Olika bedömningsmetoder används beroende av vad man vill bedöma: hälsorisker, komfort eller perception. Denna litteraturstudie tar upp komfortaspekten med inriktning på sprängningsinducerade vibrationer. Enligt SS-ISO 2631-1:1997så kan 50% av alla människor känna frekvensvägda vibrationer med ett toppvärde på 0,015 m/s2. Vad gäller sömnstörningar p.g.a. vibrationer är det brist på forskning, men i sömn tål kroppen i regel mycket högre störningar än känselnivån beroende av att en filtermekanism modererar störningen så att kroppen kan bevara sömnen. Exempelvis så framgår detta av en experimentell studie av Kato m.fl. (2004) där man av 1021 kombinerade vibrations- och ljudstörningar på mellan 0,7g och 13g (vad avser vibrationen) endast kom ihåg ett fåtal (2,4%) på morgonen. Alla svarade att man sovit gott och att man inte störts. Ökande respons kunde dock konstateras med stigande vibrationsnivå, framförallt i intervallet över 3g. Noteras bör att störningen inducerades på högerarmen.

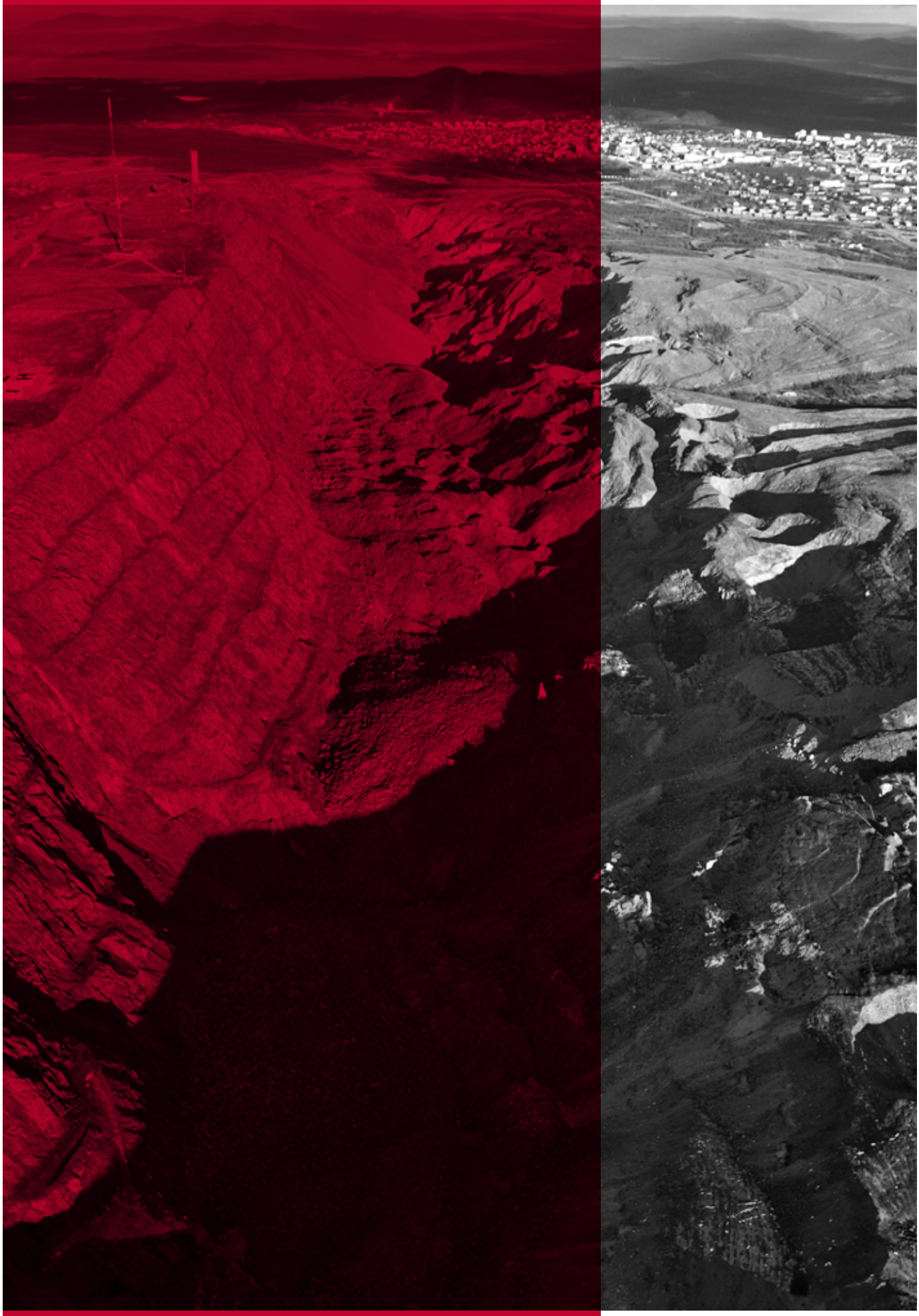
MÄTNING OCH BEDÖMNING AV SPRÄNGNINGSINDUCERADE VIBRATIONER

Vad gäller mätning och bedömning hänvisas till svensk och internationell standard från 1997: SS-ISO 2631-1 (som berörts ovan), SS-ISO 2631-2 samt SS-EN 14253.

Den nuvarande standarden (ISO 2631-1), som är från 1997, ersatte en äldre standard med samma nummer från 1985 då den gamla standarden bl.a. visat sig underskatta obehag och störningar till följd av vibrationer med höga toppvärden. Detta var framförallt fallet när toppvärdet (PPV) var lika med eller mer än 9 gånger större än rms-värdet (uttryckta i m/s^2). Förhållande uttrycker vibrationens Crest-modul. För denna typ av vibrationer, som sprängningsinducerade vibrationer är, rekommenderas istället bedömningsmetoder, som bättre tar hänsyn till toppvärden (PPV).

Kjellberg (1985) menade att det använda rms-värdet i den tidigare standarden var så missvisande i att endast subjektiva skattningar borde få användas. Underskattningen visade sig även växa med exponeringstiden och då även från exponeringstider under minuten, som tidigare inte ens tagits upp av standarden. Kjellberg och Wikström (1985) kunde nämligen visa att besvären inte bara växte för varje minut utan även för bråkdelar av varje sekund från första sekund. Det senare dock något varierande med frekvens; vid relativt låga frekvenser (6 Hz) jämfört med högre frekvenser (30 Hz) steg besvären snabbare för att sedan avta till samma nivåer efter 3 – 4 sek. Man kunde även visa att störningsupplevelsen var beroende av andra faktorer än vibrationen i sig. Även inom bergsprängningsområdet har Kuzu och Guclo (2008) bekräftat människans ökande känslighet för ökande exponeringstider under sekunden.

Vad gäller vibrationskomfort i byggnader finns en svensk standard, SS 4604861, som bygger på SS-ISO 2631-2 (1989). Byggnadsstandarden undantar vibrationer från arbeten av kortvarig natur typ byggnads- och anläggningsarbeten samt arbeten i gruv- och bergtäkter. Gränsnivåer för ”måttlig störning och för ”sannolik störning” är satt som RMS-värden vilket då inte är tillämpligt för sprängningsinducerade vibrationer av transient typ.



ÄVEN ANDRA FAKTORER PÅVERKAR UPPLEVELSEN AV VIBRATIONER

Vad gäller andra faktorers betydelse för upplevelsen så har t.ex. Lundström m.fl.(1990) samt Ljungberg m.fl. (2004, 2007) i experimentella studier visat att kombinationer av ljud och vibrationer ger starkare obehag än vad en bedömning av var och en ger anledning att tro. Detta har lett till slutsatser om att mätningar av enskilda faktorer inte räcker till för att förklara vilka upplevelseeffekter dessa får i kombination. Faktorerna i situationen måste istället vägas samman. Noterbart i studierna av Lundström m.fl. (1990) var även att korrelationen mellan fysiologiskt uppmätta världen i form av t.ex. EKG och subjektivt upplevda störningar var mycket låga eller obefintliga. Definitionen för buller är talande nog också ”oönskat ljud”, vilket även inkluderar den enskilda människans erfarenheter. Vad som är buller för den ena behöver inte vara buller för den andre, givet samma objektiva ljudnivå. Det är då viktigt att notera att man (från myndighetshåll) trots detta bestämt tillåtna värden för buller vid olika verksamheter.

Vad gäller ljud på vibrationer så har Patricio m.fl. (2006) visat förstärkta obehag genom att väggar och bjälklag, som vibrerar med hastigheter över 0,3 mm/s (vid 65 Hz), ger upphov till ljud som förstärker den subjektiva störningen av vibrationen. Vibrationsmätning i sig kunde inte ensam förklara upplevelsen.

STÖRNINGSUPPLEVELSER AV SPRÄNGNINGSINDUCERADE VIBRATIONER

Baliktsis m.fl. (2001) menar att störningsupplevelser av sprängningsinducerade vibrationer (mätt i form av klagomål) är en funktion av flera individ- och situationsberoende faktorer som måste vägas samman i varje enskilt fall om upplevelsen ska kunna förklaras. Med grund i sina resultat menar också Baliktsis m.fl. att det är orealistiskt att bara använda objektiva dos/responsbaserade mät- och beräkningsmodeller. Man måste istället utgå från den specifika och verkliga situationen där (1) miljöfaktorer, (2) sprängningstekniska parametrar och (3) individuella egenskaper kan vägas ihop för att ge en realistisk bild. Detta synsätt har som ovan framgått också ett stöd i de experimentella grundstudierna av Kjellberg (1991), Kjellberg och Wikström (1985), Lundström m.fl. (1990) och Ljungberg m.fl. (2004 och 2007). Sammantaget visar detta att objektiva mätvärden måste behandlas med stor försiktighet, då det gäller att förklara och att förutsäga subjektivt upplevda besvär. Detta framgår numera även i 2631-1, speciellt vad gäller komfortupplevelser av vibrationer speciellt av stöt- och transient karaktär, som ju sprängning är. Till stor del saknas dock fortfarande kunskap om upplevelser av olika vibrationsnivåer i olika situationer.

Vad gäller (1) miljöfaktorer tar Baliktsis upp (a) geologiska, (b) seismiska, (c) andra inverkande geologiska fenomen och (d) topografiska faktorers inverkan på klagomål. I ett antal fall visar Baliktsis hur samma vibrationsnivåer runt 2 mm/s som toppvärde ger upphov till helt olika resultat vad gäller klagomål orsakad av variationer i miljöfaktorer.

Vad gäller (2) sprängningstekniska parametrar diskuterar Baliktsis betydelsen av (a) en ordentlig design och planering, (b) kontrollerande vibrationsmätningar, (c) periodiciteten av detonationer och (d) luftstötvågen. Baliktsis menar att betydelsen av detta är stor; en omsorgsfull design och planering i kombination med mätningskontroller och kontinuerlig information ledde till acceptansnivåer på 7 – 15 mm/s (PPV). Baliktsis rapporterar även att mindre upprepade detonationer är värre störningsmässigt än en stor detonation. Att denna ändå kan göras så kort som möjligt är vad framgått av Kuzu och Guclo (2008) också av största vikt. Baliktsis menar också att luftstötvågen kan vara den primära källan till obehag om sprängningarna utförs 500 meter bort.

Vad gäller (3) individuella faktorer tar Baliktsis upp (a) populationens karaktäristika, (b) byggnaders konstruktion och kondition, (c) projektets upplevda nytta, (d) existerande missnöje, (e) speciella omständligheter i området och (f) information (PR). I ett antal fall exemplifierar Baliktsis att vibrationer på upp till 15 mm/s (PPV) accepterats om de förväntade effekterna av projektet gagnar individerna. Om individerna däremot hade något av kollektivt värde i området,

som upplevts som vibrationskänsligt, har successiva sänkningar av detonations toppvärde (PPV) till under 2 mm/s haft ringa betydelse. Raina m.fl. (2004) rapporterar att oro för egendom är det som haft störst betydelse av alla individuella (politiska) faktorer. Den engelska komfortstandarden (BS 6472–2:2008), tar också hänsyn till andra faktorer genom att ange ett intervall för vibrationsnivån och att det tillåtna värdet inom intervallet ska fastställas genom bedömning av många situationsfaktorer.

AVSLUTANDE KOMMENTARER

Sammantaget så visar forskningen på att störningsupplevelsen beror på mycket annat än den uppmätta vibrationsnivån i sig. Det finns därför inget forskningsstöd för att vibrationsnivån i sig skulle vara ett tillräckligt mått för att förutsäga och förklara olika störningar och klagomål Trots detta är vibrationsnivåer det enda som direkt kan kopplas till sprängningen och som kan nyttjas för att koppla obehag och störningar till sprängning. ”Tillfredsställande” vibrationsnivåer varierar dock mycket kraftigt, mellan 2 – 14 mm/s (PPV), beroende av helt andra situationsfaktorer än av vibrationsnivån i sig. Idag saknas dock kunskap om hur situationsvägningen ska gå till trots att man säger att den bör göras (se ISO 2631-1, BS 6472-2: 2008). Till detta kommer att man heller inte preciserar situationsfaktorerna på detaljnivå. Vad gäller sprängningsinducerade vibrationer kan utläsas att detonationens toppvärde oavsett riktning (PCPV) bör användas för bedömning. Den Brittiska standarden BS 6472-2:2008 använder 12.7 mm/s som maxvärde (PCPV) inomhus vilket motiveras med stöd av ISO 2631-2:1989.

REFERENSER

Borg, G., Borg's perceived exertion and pain scales. Human Kinetics, Champaign III (1998).

British Standard BS 6472-2: 2008, Guide to evaluation of human exposure to vibrations in buildings, Part 2, Blast-induced vibrations (2008).

Elias K. Baliktsis, Dimitrios C. Kaliampakos, Dimotrios G. Damigos, Blasting vibration limits to prevent human annoyance, remarks from some case studies. Mineral Respiurces Engineering, Vol. 10 No1 (2001).

Kato,T., Montplaisir, J.Y., Lavigne, G.J., 2004, Experimentally induced araousals during sleep: a cross-madality matching paradigm. J Sleep Res., Sep; 13(3):229-238.

Kuzu C, Gucio E, The problem of human response to blast induced vibrations in tunnel construction and mitigation of vibration effects using cautious blasting in half-face blasting rounds. Tunneling and Underground Space Technology, Volume 24, Issue 1, Pages 53-61 (2009).

Kjellberg A., Psychological aspects of occupational vibration. Scan J Environ Health 16 (Suppl.1), 39-43 (1990).

Kjellberg A, Wikström B-O, Subjective reaction to whole body vibration of short duration. Journal of Sound and Vibration, 99 (3), pp 415-429, (1985).

Ljungberg J K, Neely G, Lundström L, Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole body vibration and noise. Int Arch Environ Health, 77; 217-221 (2004).

Ljungberg J K, Neely G, Cognitive after-effects of vibration and noise exposure and the role of subjective noise sensitive. Occup Health; 49(2):111-6 (2007).

Lundström R, Landström U, Kjellberg A, Combined effects of low-frequency noise and whole body vibration on wakefulness, annoyance and performance. Arch Complex Environ Study, 2:1-7 (1990).

Nyberg U, Hareford L, Bergman B, Chritiansson R, Äspö Hard Rock Laboratory, Monetoring of vibrations during blasting of the ASE-tunnel. SKB rapport R-05-27, ISSN 1402-3091, Svensk Kärnbränslehantering AB (2008).

Odenbrandt T, Litteraturversikt, Vibrationer från infrastruktur, täkter och övriga miljöfarliga verksamheter. Naturvårdsverket, Rapport 5730, ISBN 91-620-5730-8, ISSN 0282-7298 (2007).

Olofsson, Stig O. Modern Bergsprängningsteknik (2007).

Patricio J, Schiappa de Azevendo F, Emmision of noise at home by vibration slabs and walls: A new criterion to evaluate ambient vibration. Acta Acustica United with <acustia, Vol 92, 654-660 (2006).

Raina A K, Haldar A, Chakraborty A K, Chodhury P B, Ramuli M, Bandyopadhyay C, Human response to blast-induced vibration and air-overpressure: an Indian scenario, Bull Eng Geol Env 63:209-214 (2004).

Svensk Standard SS 02 52 10. Vibration och stöt – Sprängningsinducerade luftstötvågor – Riktvärden för byggnader (1996).

Svensk Standard SS-ISO 2631-1, Vibration och stöt – mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader (1997).

Svensk Standard SS-ISO 2631-2, Vibration och stöt, Vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan, Del 2: Vibration i byggnader (2003).

Svensk Standard SS-ISO 2631-2, Utvärdering av mänsklig exponering till helkroppsvibrationer, Del 2: Kontinuerliga och stötinducerade vibrationer i byggnader (1 till 80 Hz) (1989).

Svensk Standard SS-ISO 2631-1, Vibration och stöt, Vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan, Del 1: Allmänna krav (1997).

Svensk Standard SS 460 48 61. Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader (1992).

Svensk Standard SS 460 48 66. Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader (1991).

Svensk Standard SS-EN ISO 14253 + A1:2007, Vibration och stöt – mätning och beräkningar av operatörens exponering för helkroppsvibrationer med avseende på hälsa – praktisk vägledning (2007).

Sundström J, Kottenhoff K, Byström C, Visst skakar det – men är tågresenären beredd att betala för högre komfort? Rapport nr. Trita-Tec RR 07.008, ISSN 1653-4484, ISBN 13:978-91-85539-25-3, ISBN 10:91-85539-25.2, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm (2007).

Bilaga 2
Skallagsekvationen

PROGNOSTISERING AV VIBRATIONERS STORLEK.

Genom att samla in data såsom vibrationsnivå, avstånd mellan detonation och mätpunkt, samverkande laddning etc., kan man skapa en modell för prediktion av förväntade vibrationsnivåer.

Indata till modellen bildas antingen via provsprängningar innan ett sprängningsprojekt påbörjas eller genom att man noggrant dokumenterar produktionssprängningar för att skapa en kunskapsbank av relevanta indata.

Skallagsekvationen är den vanligaste metoden för att beräkna vibrationer med avseende på laddningens storlek och avstånd. Ekvationen skrivs:

$$v_{\max} = A \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)^{-B}$$

Parametern: $\left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)$ kallas ofta SD (skaldistansen)

Där
v_{max} = max svängningshastighet (mm/s)
r = avstånd mellan samverkande laddning och mätpunkt (m)
Q = samverkande laddning (kg)
A = platsspecifik konstant
B = platsspecifik konstant

Vanligtvis plottas vibrationsnivåerna mot skaldistansen i ett log-log-diagram. Ett diagram som i figur 1 blir resultatet för varje plats eller riktning från sprängplatsen. Diagrammet kan sedan nyttjas för att ange förväntad vibrationsnivå vid en given skaldistans. Notera att exemplet i figur 1 är ett diagram som enbart bygger på vertikala mätningar av PPV.

Varierande geologiska förhållanden, sprängningstekniska variationer etc. ger upphov till spridningar i mätdata och hänsyn måste tas till variationerna för att fastställa att mängden mätdata är tillräcklig. Riktvärden för vibrationer ska uttryckas som ett statistisk medelvärde för att ta hänsyn till variationerna.

Skallagsekvationen kan vara ett bra hjälpmedel vid planering och design av sprängningar för att nå en förväntad vibrationsnivå vid specifik sprängplats.

Skallagsekvationen bestäms normalt via regressionsanalys där man med hjälp av kurvpassning bestämmer ekvationens konstanter samt hur bra passformen mot indata är.

Kurvpassningen ger en ekvation som kan användas för att beräkna medelvärde för vibrationsnivåer.

EXEMPEL

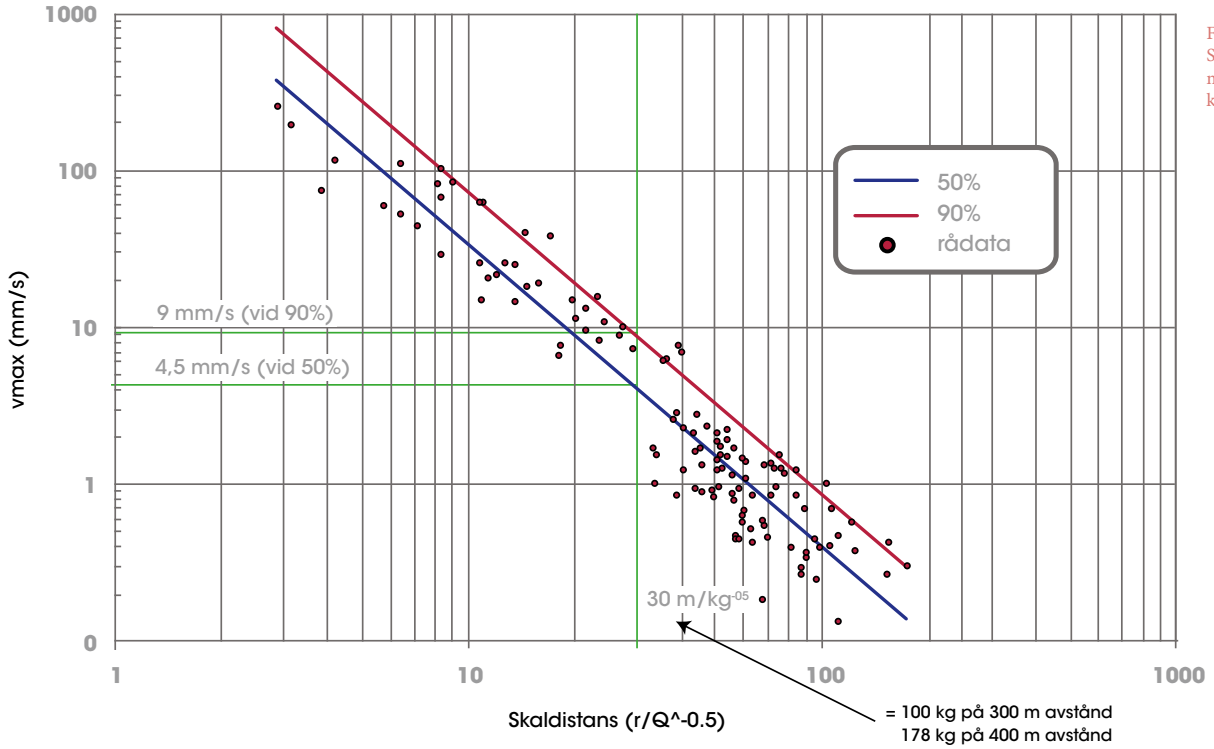
Om värdet 9 mm/s skall innehållas för 90% av sprängningarna och samverkande laddningsmängd är 100 kg så måste sprängningen utformas så att medelvärdet för vibrationerna ligger på omkring 4.5 mm/s. Av figur 1 framgår att skaldistansvärdet för 50% linjen för 4.5 mm/s är 30 m kg-0.5 . Detta betyder att avståndet från sprängplatsen kan härledas från ekvationen

$$SD = \left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)$$

Där SD är skaldistansen, Q är samverkande laddningsmängd.

Sålunda blir avståndet r, 300 m där värdet kan uppnås.

Om avståndet från sprängplats till bebyggelse är känd, exempelvis 400m så erhålls på motsvarande sätt att den samverkande laddningsmängden bör understiga 178 kg för att riktvärdet 9 mm/s skall kunna innehållas.



Figur 1. Skaldistanslinjer med 50% och 90% konfidensnivå.

Bilaga 3
Hur närboende kan informeras

Forskning samt författarna av rapportens erfarenheter visar att information till de boende avseende tidpunkten för sprängningen i många fall är avgörande för hur vibrationerna upplevs.

För att säkerställa att de som vill får denna information finns ett flertal varianter beroende på vilken typ av verksamhet det är, hur omfattande den är och hur många som berörs. Grundläggande i de flesta fall är dock att de närboende bör få delta i diskussionerna avseende vilken eller vilka metoder som lämpar sig bäst i det specifika fallet. Denna fråga tas lämpligen upp vid samråds- och/eller informationsmöte.

Informationen bör lämnas till samtliga som vill ha information inom det område där vibrationsnivån bedöms överstiga 0,5 mm/s. Informationen bör lämnas i så god tid som möjligt och vara så exakt som möjligt. Om det är en stor verksamhet samt många som berörs kan det vara en fördel att ha så fasta skjuttider som möjligt så att de berörda vet att vibrationen kommer precis vid ett visst klockslag. De närboende bör även ha en kontaktperson eller liknande kan svara på frågor och/eller ta emot synpunkter.

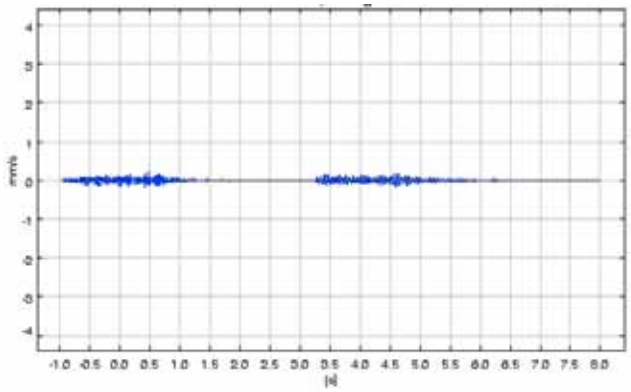
ALTERNATIVEN TILL HUR INFORMATIONEN KAN GÅ TILL ÄR MÅNGA OCH NEDAN PUNKTAS DE VANLIGASTE:

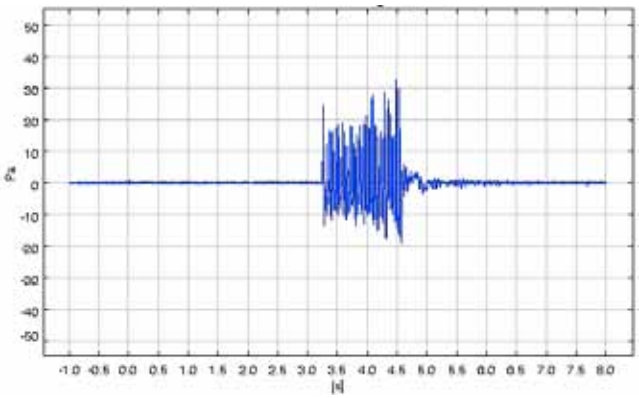
- Skylt på anslagstavla
- SMS
- Utlånad sökare
- Mail
- Telefonsamtal
- Annons i lokaltidning
- Personligt besök
- Meddelande i brevlåda
- Internet (webbsida)

RTC
ROCK TECH CENTRE

Guideline avseende vibrationer inomhus orsakade av sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor. Mätmetod och begränsningsvärden för komfort.
December 2010

www.rocktechcentre.se

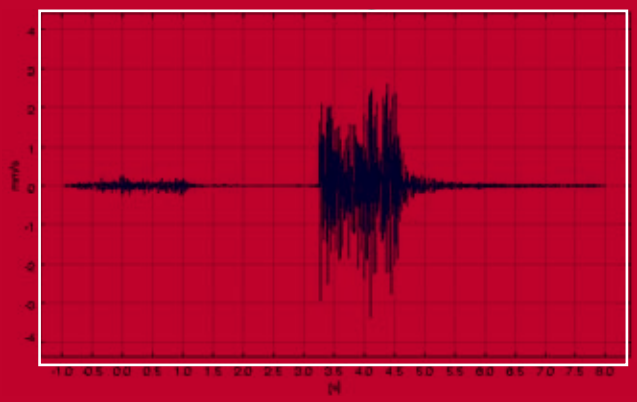




SOCKEL

LUFTSTÖT

BJÄLKLAG



Sprängningsinducerade vibrationer och luftstötvågor kontra mänsklig upplevelse.

WP 1. Definiering av överföringsfaktor.

Olof Bergström & Mathias Jern, Nitro Consult AB
December 2010

RTC
ROCK TECH CENTRE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sammanfattning	4
	Bakgrund	5
1	Utförande	6
2	Hustyper	6
3	Markvibrationer	7
3.1	Överföringsfaktor	7
3.2	Kryp/ torpargrund	7
3.3	Källare med träbjälklag	7
3.4	Källare med betongbjälklag	8
3.5	Samtliga hus med källare	8
3.6	Platta på mark	8
4	Sammanställning överföringsfaktor	9
4.1	Jämförelse vertikal riktning mot komponentmax	10
4.2	"Medelhuset"	10
4.2.1	Fastighetsbeståndet	10
4.2.2	Vägning	10
4.3	90-Percentilen	11
5	Luftstötvåg	12
5.1	Allmänt	12
5.2	Mätresultat	12

Bilagor

BILAGA	BESKRIVNING	
1	Mätinstruktion.	14

Foto: Fredrik Alm och Andreas Lundgren för LKAB
Bildkollage sid 2 tillhandahållet av Roger Lindstrand, Sigicom

Sammanfattning

Syftet med arbetet inom WP 1 var att definiera en överföringsfaktor. Överföringsfaktorn är förhållandet, kvoten, mellan vibrationens toppvärde inomhus på bjälklag och inkommande på sockel.

I arbetet med WP 1 har ingen koppling kunnat påvisas mellan markslaget som byggnaderna varit grundlagda på och överföringsfaktorn. Variationen på överföringsfaktorn verkar huvudsakligen vara konstruktionsberoende.

Mätningarna visar att i ca 60 % av fallen är den vertikala riktningen störst när man mäter inomhus på bjälklag. I sockel är dock fallet omvänt, endast 14 % av mätningarna ger ett resultat där den vertikala riktningen är störst. Av denna anledning rekommenderas att man använder sig av triaxiell mätning och komponentmax (högsta värdet oavsett riktning). Risken med att använda endast den vertikala riktningen vid dessa bedömningar är att upplevelsen undervärderas då man saknar informationen från de två horisontella riktningarna.

Vi har använt oss av två olika metoder för att bestämma vilken överföringsfaktor som bör gälla. Den ena metoden bygger på att vi tagit fram ett ”medelhus” som representerar byggnadsbeståndet i Sverige. I den andra metoden har vi utgått ifrån acceptabel vibrationsnivå inomhus enligt SS-ISO 2631:2 (1989) och utifrån denna beräknat vilken överföringsfaktor som gäller för att klara 90-percentilen, d.v.s. en överföringsfaktor som gör att man i 90 % av bostäderna klarar inomhusvärdet enligt SS-ISO 2631:2 (1989).

Överföringsfaktorn, komponentmax, blir 1,4 för ”medelhuset” och 1,6 om man väljer metoden med 90-percentilen.

Avseende luftstötvågen så är de mätresultat som erhållits inom ramen för WP 1 inte tillräckliga för att man ska kunna göra några långtgående slutsatser uppbyggt på olika byggnadstyper etc.

Vad man kan konstatera är i vart fall att om markvibrationen är relativt låg samtidigt som luftstötvågen är relativt hög, kan luftstötvågen ge högre vibrationsnivåer inomhus än markstötvågen. Detta gäller framförallt byggnader med fribärande bjälklag. Mätningar och analyser visar dock att luftstötvågen sannolikt inte blir dimensionerande för vibrationsnivån inomhus om man innehåller de nivåer på luftstöten som anges i SS 02 52 10 samt normalt föreskrivs i villkor.

Bakgrund

Som en del i RTC´s projekt ”Sprängningsinducerade vibrationer kontra mänsklig upplevelse” har arbetet inom WP 1 bedrivits för att definiera en överförings-faktor mellan inkommande vibration i bärande del av grundkonstruktionen och inomhus på bjälklag.

Syftet med att definiera en överföringsfaktor har varit att dels bättre förstå hur vibrationen förändras i olika typer av byggnader, samt dels att ta fram ett underlag för arbetet med att ta fram en guideline i WP 2.

Överföringsfaktorn är förhållandet, kvoten, mellan vibrationens toppvärde inomhus på bjälklag och inkommande på sockel.

1. Utförande

Inom projektet fastställdes att samtidig triaxiell mätning skulle ske av inkommande vibration samt på bjälklag i olika typer av byggnader, samt vid såväl ovan- som underjordssprängning. Vid sprängning ovanjord skulle även luftstötvågen mätas för att kunna jämföra erhållna övertryck med vibrationer på framförallt bjälklag inomhus. I arbetet ingick även att studera om markslaget som byggnaderna var grundlagda på hade någon betydelse för överföringsfaktorn.

Inom projektet har en mätinstruktion tagits fram, se bilaga. Mätinstruktionen har sedan via projektdeltagarna spridits till gruv- och täktägare som sedan ombesörjt att mätningar utförts enligt instruktionen.

Under perioden oktober 2009 till augusti 2010 har totalt 610 mätningar utförts på olika platser i Sverige enligt följande fördelning:

Sprängning underjord:	418 st
Sprängning ovanjord:	192 st

2. Hustyper

Sammanlagt har mätningar skett i 36 olika hus enligt nedan:

- Platta på mark: 5 hus, 128 mätningar
- Kryp-/torpargrund (inkl hus på plintar): 12 hus, 204 mätningar
- Hus med källare träbjälklag: 12 hus, 186 mätningar
- Hus med källare betongbjälklag: 7 hus, 92 mätningar

Tabell 1: Fördelning av olika hustyper

	KÄLLARE+TRÄ	KÄLLARE+BETONG	PLATTA	TORPARGRUND
1	Malmberget, Bolagsvägen 13	Malmberget, Altanvägen 6	Malmberget, Bolagsvägen 76 bv	Bergtäkt Gren Uppsala
2	Malmberget, Bolagsvägen 36	Malmberget, Bolagsvägen 22	Malmberget, Kaptensvägen 60	Bergtäkt Svalget 1
3	Bro-krossen, Bondmoransv 22	Malmberget, Bromsgatan 2 C	Aitik, Liikavaara	Bergtäkt Svalget 2
4	Gategård Stora 1:2	Malmberget, Sveavägen 12	Tagene, Prillyckeg 6	Malmberget, Bolagsvägen 18
5	Malmberget, Hermelinsbacken 4	Malmberget, Trädgårdsvägen 39	Vouno 3	Malmberget, Bolagsvägen 32
6	Sunderbyn, Muskos	Malmberget, Upplandsvägen 11		Cementa, Slite
7	Tagene, Prillyckeg 55	Vouno 33		Nordkalk, Storugns
8	Malmberget, Upplandsvägen 16			Sunderbyn, Nordqvist
9	Malmberget, Villastigen 3			Malmberget, Ringvägen 27
10	Bosvedjan, Sundsvall			Sakajärvi
11	Bolagsvägen 74, öp			Vällsta 1:2
12	Vuono 17			Sunderbyn, Brander

3. Markvibrationer

3.1. ÖVERFÖRINGSFAKTOR

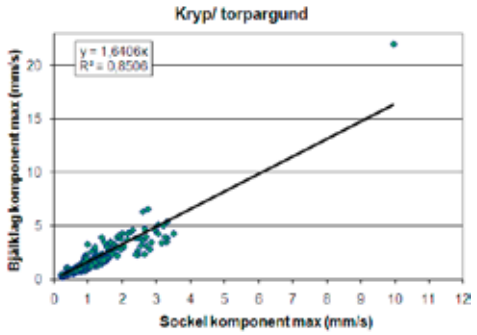
Överföringsfaktorn är beräknad på två olika sätt, dels vertikal inkommande i sockel mot vertikal i bjälklag, samt dels max inkommande komponent i sockel mot max komponent på bjälklag.

Beräkning av överföringsfaktorn är utförd med en regressionslinje i ett diagram där inkommande vibration i sockel samt vibrationen uppmätt i bjälklag finns plottat.

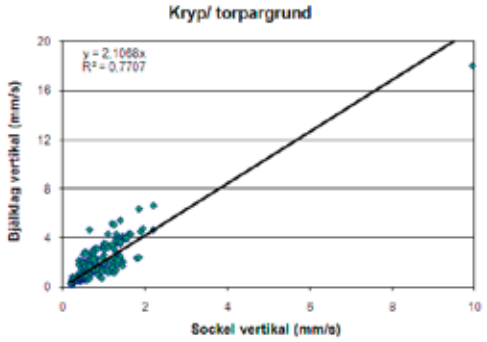
För varje hustyp plottas två olika diagram, ett för vertikal riktning och ett för komponentmax. Diagrammen är plottade med inkommande vibration mot bjälklag. Regressionslinjen syns tillsammans med dess ekvation samt determinationskoefficienten (R^2), se figur 1-10.

3.2 KRYP/ TORPARGRUND

Figur 1



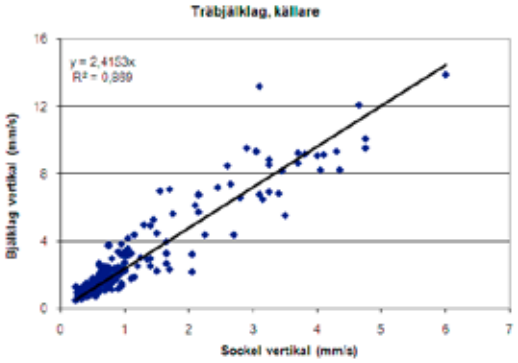
Figur 2



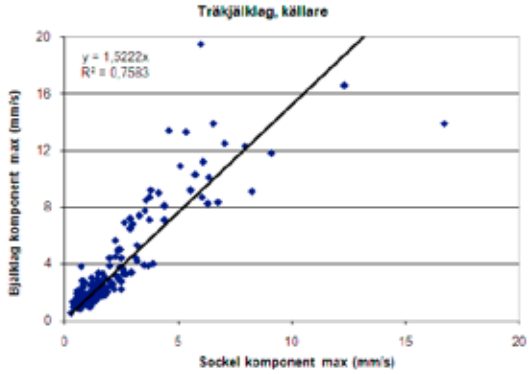
» God korrelation mellan sockel och bjälklag.

3.3 KÄLLARE MED TRÄBJÄLKLAG

Figur 3



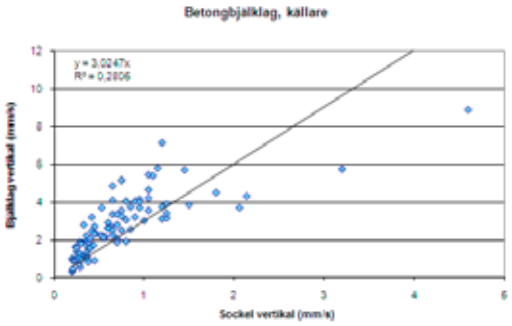
Figur 4



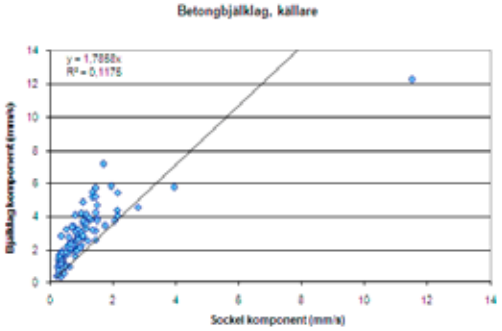
» God korrelation mellan sockel och bjälklag.

3.4 KÄLLARE MED BETONGBJÄLKLAG

Figur 5



Figur 6

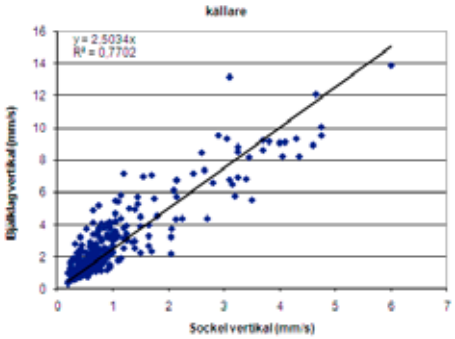


» Mindre bra korrelation mellan sockel och bjälklag.

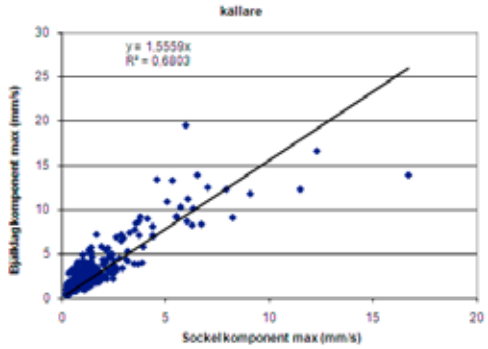
3.5 SAMTLIGA HUS MED KÄLLARE

Som kommer att framgå i nästa kapitel så fungerar inte uppdelningen mellan betong- och träbjälklag när överföringsfaktorn ska bestämmas för det Svenska ”medelhuset”. Därför följer här en beräkning med samtliga hus med källare som en kategori.

Figur 7



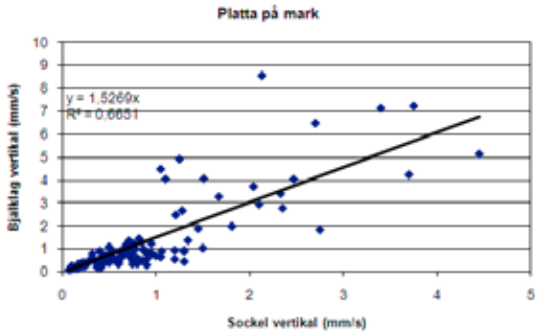
Figur 8



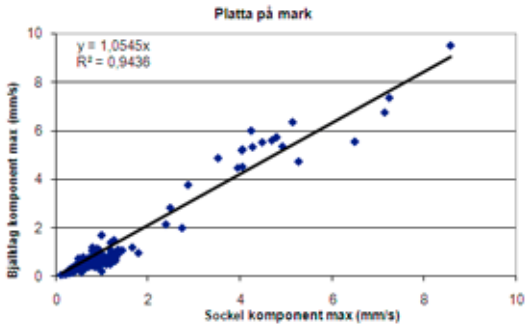
» God korrelation mellan sockel och bjälklag.

3.6 PLATTA PÅ MARK

Figur 9



Figur 10



» God korrelation mellan sockel och bjälklag.

Vid platta på mark borde överföringsfaktorn vara 1, två möjliga förklaringar till att överföringsfaktorn trots det är något högre:

1) Givaren inomhus placeras på någon form av golvkonstruktion som i sig ger förstärkning.
2) Om den gjutna plattan på mark är tunn och givaren utomhus monteras på kantbalk kan man tänka sig en viss förstärkning.

4. Sammanställning överföringsfaktor

Man kan se en bra korrelation för alla värden, dvs. det finns ett tydligt samband mellan inkommande vibration i sockeln och vad som kan upplevas på bjälklaget. Diagrammen visar också att extremvärden, höga överföringsfaktorer, normalt inte sammanfaller med höga inkommande vibrationer i sockel. Detta innebär att det medelvärde som beräknas ger ett bra värde över vilka vibrationsnivåer som kan förväntas vid förhållandevis höga inkommande nivåer medan osäkerheten, spridningen, är betydligt större vid låga nivåer.

I arbetet med WP 1 har ingen koppling kunnat påvisas mellan markslaget som byggnaderna varit grundlagda på och överföringsfaktorn. Variationen på överföringsfaktorn verkar till största delen vara konstruktionsberoende.

I tabellen nedan redovisas en sammanställning över uppmätta överföringsfaktorer för såväl vertikalt som komponentmax.

Vad som kunde noteras i sammanställningen av mätresultaten är att i ca 60% av fallen är den vertikala riktningen störst när mätningen sker på bjälklag. I sockel är dock fallet omvänt, endast 14% av mätningarna ger ett resultat där den vertikala riktningen är störst.

Med ledning av dessa resultat avseende storleken på de inkommande vibrationerna i de olika riktningarna, rekommenderas att komponentmax används och inte endast den vertikala riktningen. Risken med att använda endast den vertikala riktningen är att upplevelsen undervärderas då information saknas från de två horisontella riktningarna.

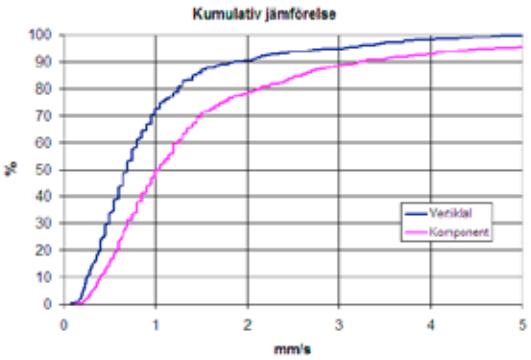
Två olika metoder har använts för att bestämma vilken överföringsfaktor som bör gälla. Den ena metoden bygger på framtagandet av ett ”medelhus” som representerar byggnadsbeståndet i Sverige. Den andra metoden utgår från acceptabel vibrationsnivå inomhus enligt SS-ISO 2631:2 (1989) och utifrån denna beräknat vilken överföringsfaktor som gäller för att klara 90-percentilen, d.v.s. en överföringsfaktor som gör att man i 90% av bostäderna klarar inomhusvärdet enligt SS-ISO 2631:2 (1989).

Tabell 2: Sammanställning över uppmätta överföringsfaktorer.

	ÖVERFÖRINGSFAKTOR (-)	KORRELATIONSKOEFFICIENT (R)	ÖVERFÖRINGSFAKTOR (-)	KORRELATIONSKOEFFICIENT (R)
BYGGNADSTYP	VERTIKAL MÄTRIKTNING		KOMPONENTMAX	
KRYP/TORPARGRUND	2,2	0,88	1,6	0,92
TRÄBJÄKLAG KÄLLARE	2,4	0,93	1,5	0,87
BETONGBJÄKL. KÄLLARE	3,0	0,51	1,8	0,35
SAMTLIGA KÄLLARE	2,5	0,88	1,6	0,82
PLATTA PÅ MARK	1,2	0,91	1,1	0,97

4.1 JÄMFÖRELSE VERTIKAL RIKTNING MOT KOMPONENTMAX

En jämförelse av den vertikala riktningen mot komponentmax genomförs genom att plotta dessa mot varandra kumulativt och se vad skillnaden blir:



Figur 11: Kumulativ jämförelse.

VERTIKAL (mm/s)	MAX. KOMP (mm/s)
0.5	0.75
1	1.5
2	3.3
3	4.7

Tabell 3: Vertikalt värde motsvaras av följande maxkomponent

Ovanstående tabell visar att komponentmax kan förväntas vara 50-65% större än den vertikala riktningen.

4.2 "MEDELHUSET"

I framtagandet av ett "medelhus" så har fördelningen av olika grundläggningstyper i Sverige undersökts och sedan har resultatet från vår undersökning vägts i relation till detta.

4.2.1 FASTIGHETSBESTÅNDET

Den undersökning som mest noggrant undersökt det svenska fastighetsbeståndet är Boverkets undersökning Betsi (Byggnaders energianvändning, tekniska status och inomhusmiljö). Projektet genomfördes fr.o.m 2006 och består av en sammanställning av hela svenska småhusbeståndet tillsammans med besiktningar av över 1800 hus. Undersökningen innehåller tyvärr ingen information om husets bjälklag, men all information om grunden i övrigt finns insamlad. Sammanlagt finns över 1,8 miljoner småhus i Sverige och fördelningen av grundläggning ses i nedanstående tabell[1].

Tabell 4: Fördelning av grundläggning (Betsi)

	ANTAL HUS	%
KÄLLARE	735 584	39.0
KRYPGRUND	598 131	31.7
PLATTA PÅ MARK	553 852	29.3
ALLA	1 887 567	100

[1] Denna information finns i dagsläget inte publicerad i någon rapport från Boverket utan har vänligen levererats av Björn Mattson (Boverket) i form av ett exceldokument med rådata från undersökningen.

4.2.2 VÄGNING

I undersökningen utförd av RTC var fördelningen mellan olika fastighetstyper enligt tabell 5. I tabellen visas även fördelningen i Sverige (Betsi).

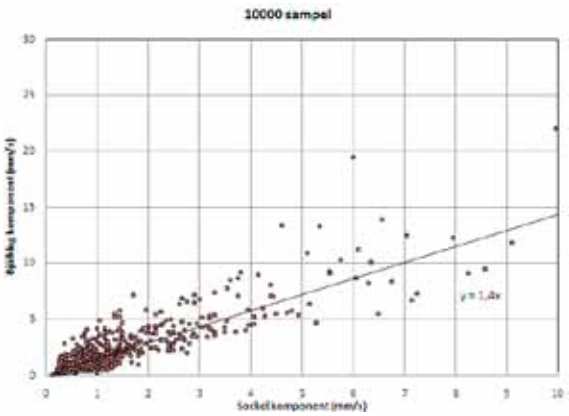
Tabell 5: Fördelning av grundläggningstyp RTC samt i Sverige

	ANTAL MÄTNINGAR (RTC)	% RTC	% I SVERIGE (BETSI)
BYGGNADSTYP			
KRYP/ TORPARGRUND	204	33,4	31,7
TRÄBJÄKLAG KÄLLARE	186	30,5	-
BETONGBJÄKL. KÄLLARE	92	15,0	-
SAMTLIGA KÄLLARE	278	45,5	39,0
PLATTA PÅ MARK	128	21,0	29,3

Som kan utläsas ur ovanstående tabell underskattar RTCs undersökning antal hus med platta på mark och överskattar andelen hus med källare. Tyvärr finns ingen statistik på olika bjälklag varför valet gjorts att ha kvar undersökningens fördelning där 1/3 av husen med källare har betongbjälklag. Detta är sannolikt en mycket konservativ bedömning, eftersom den största responsen mätts upp i just betongbjälklag och det är sannolikt att andelen betongbjälklag är betydligt lägre än 1/3.

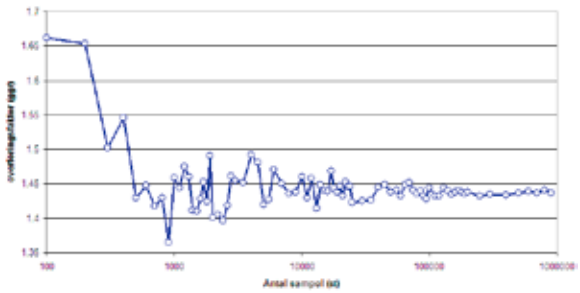
För att så rättvist som möjligt utföra vägningen har denna gjorts direkt med rådata vilket gör att man undviker att förstärka fel som den linjära regression som utfördes i kapitel 3 annars kan medföra.

Genom att slumpmässigt "plocka" mätningar med fördelning enligt det Svenska fastighetsbeståndet skapas en ny samling mätpunkter som kan användas för att bestämma en överföringsfaktor. Mätningarna delades upp i tre stickprov, krypgrund, platta på mark och källare. Sedan "samplades" slumpmässigt mätningar från de tre stickproven enligt fördelningen i fastighetsbeståndet, se exempel i figur 12.



Figur 12: Exempel med 10 000 sampel (eftersom betydligt färre punkter finns att "sampla ur" kommer varje punkt i diagrammet att representera flera sampel).

Genom att variera hur många mätpunkter som slumpas fram definieras också hur stort stickprovet behöver vara för att uppnå önskad noggrannhet.



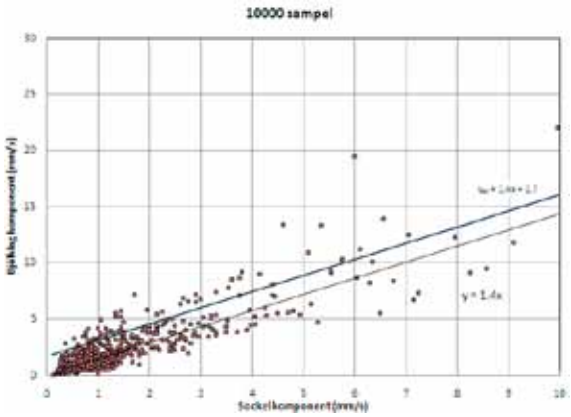
Figur 13: Antal sampel

Noterbart är att det krävs ca 10 000 sampel för en decimals noggrannhet och vid 200 000 sampel hamnar överföringsfaktorn, komponentmax, på 1,4 (1,43). Motsvarande siffra för den vertikala riktningen är 2,1 (2,11).

4.3 90-PERCENTILEN

Eftersom nivåerna på de i projektet insamlade mätvärdena varit förhållandevis låga innebär detta att data på något sätt måste extrapoleras för att kunna förutsäga vilka inomhusnivåer som kan förväntas vid högre inkommande värden.

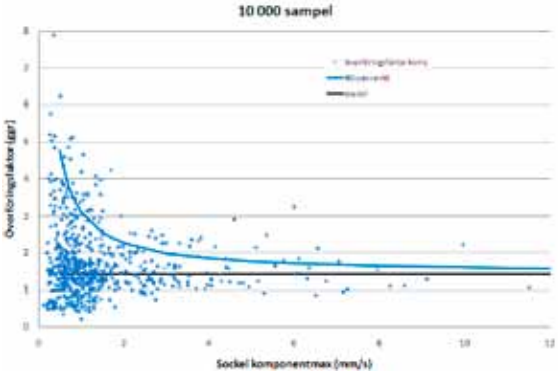
Vad som kan noteras är att spridningen kring medellinjen verkar vara förhållandevis konstant, d.v.s. spridningen kring regressionslinjen förefaller att vara relativt normalfördelad. Denna tendens kan användas för att bestämma en standardavikelse och utiftån detta ange en 90-percentil. Standardavvikelsen från linjen kan beräknas till 1,29 vilket ger att för att uppnå 90% nivån är avvikelsen från linjen 1,7.



Figur 14, beräkning av 90-percentilen.

Om utgångspunkten är att vibrationsnivån på bjälklag inomhus skall understiga 12,7 mm/s, enligt SS-ISO 2631:2 (1989), i 90% av fallen motsvarar detta att toppvärdet i sockel inte får överstiga 7,8 mm/s.

Det skall noteras att detta sätt att beräkna 90-percentilen betyder att överföringsfaktorn inte är konstant, detta till skillnad från medelvärdet för överföringsfaktorn som kan visas konstant och oberoende av nivån på den inkommande vibrationen. I figur 15 plottas överföringsfaktorn mot inkommande vibrationsnivå i sockel. Notera hur den relativa spridningen är betydligt högre vid låga inkommande vibrationsnivåer och orsaken till detta är att spridningen kring medellinjen i huvudsak verkar vara normalfördelad, se figur 14.



Figur 15: Överföringsfaktor mot inkommande vibration i sockel.

Överföringsfaktorn för 90-percentillinjen i den punkten där vibrationen på bjälklag övergår 12,7 mm/s är 1,6.

5. Luftstötvåg

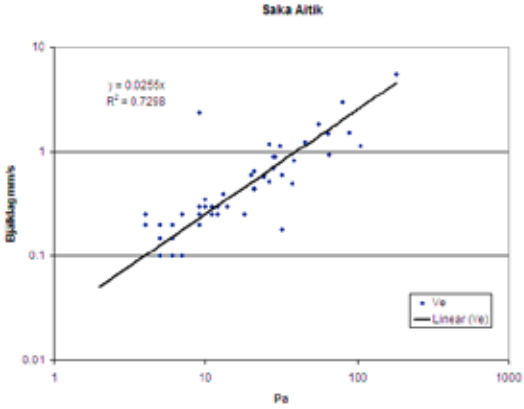
5.1 ALLMÄNT

Vid uppmätning av luftstöt, inkommande vibration i bärande grundkonstruktion samt vibration inomhus på bjälklag konstateras att den kraftigaste förstärkningen inomhus erhålls i vertikal riktning.

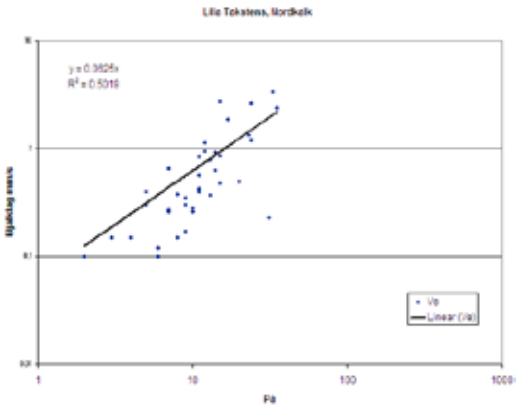
5.2 MÄTRESULTAT

De mätresultat som erhållits inom ramen för WP 1 är inte tillräckliga för att dra några långtgående slutsatser uppbyggt på olika byggnadstyper etc. Antalet mätningar är för få, mätningar med höga luftstötar saknas nästan helt samt att flertalet av mätningarna är utförda på fastigheter med platta på mark där förstärkningen från luftstöten i princip är försumbar.

Det finns fyra olika fastigheter som har tillräckligt många mätningar för att det skall gå att plotta dem var för sig. Av dessa fyra är det två som är konstruerade med platta på mark och därför ger så små vibrationer inomhus från luftstötvåg att det är under mätgränsen, Slite på Gotland, eller försumbart, Liikavaara i Aitik. De andra två husen redovisas nedan i figur 16 och 17.



Figur 16: Sakajärvi, Aitik.



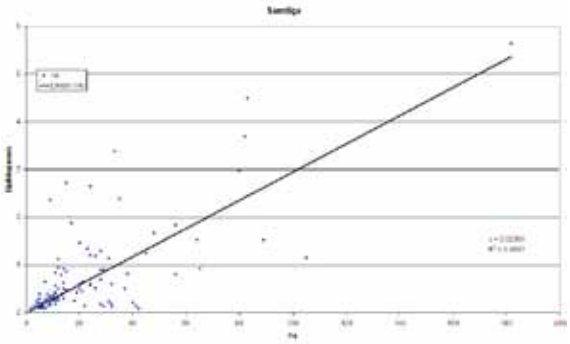
Figur 17: Lilla Takstens, Nordkalk.

Noterbart är att:

1) Båda husen uppvisar ett någorlunda samband mellan luftstötvågens storlek och vertikala vibrationer på bjälklaget.
2) Responsen är mycket olika mellan de två husen.

Det bör dock poängteras att huset i Sakajärvi, Aitik, är ett normalt bostadshus grundlagt på krypgrund medan huset i Lilla Takstens, Nordkalk, är en enklare sommarstuga på sten-/plintgrund.

Nedan redovisas ett linjärt diagram över erhållna tryck, reflektionstryck, kontra uppmätt vibrationsnivå, vertikalt, inomhus.



Figur 18: Erhållna tryck kontra uppmätt vibrationsnivå, vertikalt, inomhus.

Vad som kan konstateras här är att om markvibrationen är relativt låg samtidigt som luftstötvågen är relativt hög, kan luftstötvågen ge högre vibrationsnivåer inomhus än markstötvågen. Detta gäller framförallt byggnader med fribärande bjälklag. Mätningar och analyser visar dock att luftstötvågen knappast blir dimensionerande för vibrationsnivån inomhus om man innehåller de nivåer på luftstöten som anges i SS 02 52 10 samt normalt föreskrivs i villkor.

Bilaga 1
Mätinstruktion WP 1

SPRÄNGNING OVANJORD EX. BERGTÄKTER, DAGBROTT (VIBRATIONER & LUFTSTÖTAR)

Mätstandard:	SS 460 48 66 (vibrationer) samt SS 02 52 10 (luftstötar)
Mätriktning/ar:	Vibrationer: Triaxiellt
Orientering:	Horisontell Longitudinell = Längs husets långsida Horisontell Transversell = Längs husets kortsida
Mätpunkter:	Vibrationer: Inkommande samt på bjälklag (BV) Luftstötar: Reflektionstryck enligt SS 02 52 10
Kurvförlopp:	Ja, spela in hela signalen
Mätutrustning:	Enligt specifikation i respektive SS Rekommendation: INFRA Mini, 2 st V12, 1 st S10 samt tillbehör som ex. fönstergenomföringskabel etc.

SPRÄNGNING UNDERJORD (VIBRATIONER)

Mätstandard:	SS 460 48 66
Mätriktningar:	Triaxiellt
Orientering:	Horisontell Longitudinell = Längs husets långsida Horisontell Transversell = Längs husets kortsida
Mätpunkter:	Inkommande samt på bjälklag (BV)
Kurvförlopp:	Ja, spela in hela signalen
Mätutrustning:	Enligt specifikation i SS 460 48 66 Rekommendation: INFRA Mini, 2 st V12 samt tillbehör som exv. fönstergenomföringskabel etc.

GEMENSAMT

Redovisning:	Mätresultaten i form av toppvärden samt uppgifter om byggnaden etc redovisas till projektledare för WP 1 (Olof Bergström, Nitro Consult AB) via bifogad blankett, se sid 2 i denna bilaga. Bifoga enkel skiss på hur sprängplatsen ligger orienterad i förhållande till huset. Bifoga gärna foto på byggnaden. Redovisning av kurvförlopp sker efter överenskommelse, inom NC lämpligast via uppdraget på NCVIB.
Övrigt:	Vid val av mätplats samt monteringsanordning för mätning inomhus på bjälklag på bottenvåning rekommenderas förfarande enligt SS 460 48 61, komfortstandarden.

REDOVISNING MÄTRESULTAT WP 1

Uppgifter om aktuell sprängning

Datum, tid, plats etc: .....

Typ av sprängning: .....

Avstånd till byggnad: .....

Mätansvarig: .....

Uppgifter om byggnaden

Typ av hus: .....

Grundläggning: .....

Bjälklag: .....

Undergrund: .....

MÄTRESULTAT

Inkommande vibration/luftstöt:

Ve (mm/s)	HoL (mm/s)	HoT (mm/s)	Luftstöt (Pa)

På bjälklag:

Ve (mm/s)	HoL (mm/s)	HoT (mm/s)

ÖVRIGT

HoL avser längs husets långsida, HoT avser längs husets kortsida samt ska luftstöten anges som reflektionstryck. För vibrationer gäller toppvärden enligt SS 460 48 66 såväl utomhus som inomhus.

Bifoga enkel skiss på hur sprängplatsen ligger orienterad i förhållande till huset.

Ifylld blankett skickas via e-post till: olof.bergstrom@nitroconsult.se

Sprängningsinducerade vibrationer
och luftstötvågor kontra mänsklig upplevelse.
WP 1. Definiering av överföringsfaktor.

Olof Bergström & Mathias Jern, Nitro Consult AB
December 2010

www.rocktechcentre.se

RTC
ROCK TECH CENTRE