

# Förstudie avseende sprängningsinducerade vibrationer kontra mänsklig upplevelse

Mathias Jern, Olof Bergström  
Nitro Consult AB

2009.06.23

**Title:** Förstudie avseende sprängningsinducerade vibrationer kontra  
mänsklig upplevelse

**Author(s) and** Mathias Jern & Olof Bergström

**affiliation(s):** Nitro Consult AB

**Client:** RTC

**Reviewed by:** Torbjörn Naarttijärvi

**Approved by:** Stefan Romedahl

**Report to:**

---

**Published:** No

---

# Human response to blast induced vibrations, a pre study

## Executive Summary

This report was commissioned after discussions between interested parties regarding vibrations induced by blasting in quarries and mines and how monitoring and design limits could be set. These discussions were stimulated by the Swedish authorities current practices on placing restrictions for vibration requirements from these operations. Many authorities motivate lowered permitted vibration limits should be set with respect to comfort rather than the risk of damage to buildings. This has consequently led to that, on occasions, the Swedish comfort standard SS 460 4861 has been set as the governing vibration limit instead of the “damage standard” SS 460 48 66, which is the traditionally accepted standard used for this purpose.

Consultants have often claimed that the reason for complaints, when blasting in quarries and mines, are that inhabitants are worried about damage to their homes consequently the best method to reassure them, is to carry out monitoring with the aspect of risk of damage to the construction.

One of the difficulties with measurements according to the comfort standard is that vibrations are monitored inside the house instead of externally on the foundations. The major concern with this technique, besides disturbing the inhabitants during monitoring, is that the construction properties of the house have a major impact on the results.

This report summarizes the up to date knowledge on how humans are affected and react to blast-induced vibrations from quarries and mines. This report takes into consideration previous investigations in the subject, how the issues are treated in other countries and relationship to other standards and requirements of different authorities and acts.

The problem with vibrations and human comfort is in no way a trivial one, neither is it a new one. Discussions in the literature have been noted at least since the middle of the 1950's.

Even if there exists a number of investigations in the subject, the research is in no way as comprehensive as one first would expect. Most investigations about human response to vibrations have been focused on larger vibrations and the risk of medical fatigue, often in a work environment. This report treats vibrations that are much lower and furthermore occur infrequently, from a few times per year to few times a day. An important aspect is how to classify annoyance or the risk of disturbance, when the occurrences are so few?

The literature survey, although at times difficult to translate for the Swedish conditions (due to differences regarding how vibrations are monitored), a number of trends are

evident: the experience of the vibration is subjective; human expectations, opinions and knowledge play a major role in the individuals' assessment of whether or not the vibration experienced was a problem or not. Evident from different investigations, is that humans seldom get disturbed in the conventional meaning, in the interviews that has been made, responses ranged from at being startled to a feeling of fear of damage to their homes.

The level when people can feel vibrations varies marginally between different investigations, however, the level that is deemed to be disturbing or the level that the authorities demand vary greatly.

In many documents, the acceptable levels have been set at just above 10 mm/s. In these cases the "acceptable level" is a level where the vibrations are clearly noticeable. The idea is that the vibrations are allowed to be noticeable, but they are not allowed to be physically unpleasant, neither are they allowed to cause damage to the surrounding constructions.

An alternative approach to the subject is that the blast should be noticed as little as possible. The problem with this is that the perception threshold is below 0.5 mm/s. Vibration conditions as low as these are not possible from a national economic perspective. This forces this approach into some kind of compromise.

Even if the opinion concerning which level of vibration that is disturbing varies, it can be noted that both UK and Germany have (in their comfort standard) agreed on a limit value around 5-6 mm/s. Both standards have their origins from ISO-2631-2 but the approved limits have been decided with very different approaches.

It can also be noted, that although the allowed vibrations vary: 12.5 mm/s (common in North America), 5-6 mm/s (UK and Germany) or 2 mm/s, the proportion of the problem does not seem to vary to the same extent. The problem, to a large degree, seems to have other causes.

Despite all difficulties when it comes to finding reasonable comfort levels regarding vibrations and blasting, the conclusion is, nevertheless, important to have some kind of a unified condition for the nation as a whole. Today the conditions vary between different quarries/mines, at the same time there is no reason to believe that the human experience of the vibrations should vary to the same extent.

Mining and quarrying operations cause uncertainties and concerns to the local inhabitants even before taking in to consideration the vibration effects. From the perspective of the exploiter it is a dilemma not knowing in advance which criteria the operator will receive and the consequences that it will have on their operation.

When making a comparison with noise regulations, we can see that the Swedish environmental protection agency has made recommendations that authorities all over Sweden follow, something that appears to works very well. A similar regulation, developed for blasting induced vibration should also be well received by the authorities,

inhabitants and operations. A special comfort standard (like UK) is also a suggestion where all the authority's concerned and industries have agreed upon the methods and levels that are suggested.

At last it is important to remember: the best way to reduce complaints from the neighbors to operations is by continuous information. Humans with knowledge of vibrations and blasting, experience less discomfort than humans without. It is also important to inform inhabitants just prior to blasting -The surprise of the vibration is often the most disturbing.

# Förstudie avseende sprängningsinducerade vibrationer kontra mänsklig upplevelse

## Sammanfattning

Bakgrunden till följande rapport är de diskussioner som framkommit då länsstyrelser och miljödomstolar i landet börjat ställa krav på att man vid mätningar av sprängningsinducerade vibrationer vid bergtäkter och gruvor ska ta hänsyn till komfort. En konsekvens av detta har exempelvis varit krav på mätning av vibrationer i enlighet med "komfortnormen SS 460 48 61" istället för "SS 460 48 66" som i första hand tar hänsyn till risker för skada på hus.

Inom konsultbranschen har man ofta hävdat att orsaken till klagomål är just oron för risk till skada och därför ansett att den senare nämnda normen är den som borde användas. Ett av problemen med att mäta vibrationer enligt komfortstandarderna är att man mäter vibrationerna inne i hus på bjälklag istället för på sockel på husets utsida. Det största problemet med detta förfarande, förutom den störning själva mätningen innebär för de närboende, är att husets egenskaper kommer att få en mycket stor betydelse för förutsättningarna att klara villkoren.

Följande rapport är ett försök att sammanfatta kunskapsläget när det gäller hur människor påverkas och reagerar på sprängningsinducerade vibrationer från gruvor och bergtäkter. I rapporten beaktas dels vilka undersökningar som finns gällande sprängningsinducerade vibrationer och komfort samt dels hur man behandlar problemet i andra länder vad gäller standarder, myndighetsbeslut mm.

Problemet vibrationer kontra komfort är på intet sätt något nytt, problemen är många och inte alls triviala, frågorna har diskuterats i litteraturen åtminstone sedan 1950-talet.

Även om det finns en del undersökningar i ämnet så är det inte alls lika omfattande som man först kan tro. De absolut flesta undersökningarna angående människa och vibrationer behandlar kraftiga vibrationer och risken för medicinsk utmattning, ofta i arbetsmiljön. Denna rapport handlar om vibrationer som är betydligt lägre och dessutom sällan förekommande, från någon gång per dag ned till någon gång per år. En viktig fråga är hur man ska bedöma störning, eller risken för störning, när tillfällena för störning är så få ?

Även om det i litteraturstudien ibland varit svårt att överföra vissa undersökningar till svenska förhållanden är vissa saker tydliga. Framför allt kan man konstatera att upplevelsen av vibrationen i allra högsta grad är subjektiv. Människors förväntningar, åsikter, förutsättningar, kunskaper mm spelar alla en mycket stor roll huruvida en vibration anses som störande eller inte. Något som tydligt visat sig är också att människor mycket sällan blir störda i konventionell bemärkelse, i de intervjuer som

gjorts anger människor att de antingen blir skrämda/övertäckade eller så oroar man sig för skada på egendom.

Variationen på känbarhetsnivån för vibrationer mellan olika undersökningar är relativt liten. När man däremot bestämmer vad som är störande eller kan antas accepteras av närboende varierar dock resultaten kraftigt.

I många texter anger man nivåer strax över 10 mm/s som acceptabla, här lägger man sig på en nivå kring vad som är tydligt-starkt märkbart. Alltså grundidén är att sprängningen får märkas men den skall inte vara fysiskt obehaglig, inte heller får det finnas någon risk för skada.

Den andra inriktningen verkar vara att sprängningen skall märkas så lite som möjligt, dvs. att vibrationen känns innebär en störning som bör undvikas. Här uppkommer då problemet att känbarhetsgränsen ligger under 0.5 mm/s, och så låga tillåtna värden är omöjliga att sätta ur ett samhällspolitiskt perspektiv vilket av nödvändighet ger upphov till en kompromiss.

Man kan konstatera att även om det varierar kraftigt vad som anses störande har man i Storbritannien och Tyskland kommit fram till att man tillåter ett toppvärde på 5-6 mm/s mätt i husgrund om man skall betrakta mänsklig komfort. Båda verkar ha utgått från ISO 2631-2 (som även gäller i Sverige) men därifrån tagit sig fram på mycket skilda sätt.

Vad man också kan se är att även om tillåtna vibrationsgränser sätts till 12,5 mm/s (vanligt i Nordamerika), 5-6 mm/s (Storbritannien och Tyskland) eller 2 mm/s så verkar inte omfattningen av klagomål ändra sig i paritet. En mycket stor del av problemet verkar handla om andra orsaker.

Trots alla problem med att hitta lämpliga komfortnivåer vad det gäller vibrationer och sprängning så måste slutsatsen vara att det är viktigt att upprätta någon form av bestämda nivåer som gäller för hela landet. Idag varierar tillåtna vibrationsnivåer kraftigt mellan olika svenska bergtäkter och gruvor. Det finns ingen anledning att tro att människors upplevelse av vibrationer varierar på samma sätt.

Man kan anta att det faktum att den stora variationen mellan tillåtna värden vid olika bergtäkter/gruvor i sig kan skapa oro och osäkerhet för närboende. Från exploatörens sida är det i sin tur ett problem att inte veta i förväg vilka villkor som kommer att gälla och vad det kan komma att betyda för deras verksamhet.

När det gäller buller finns idag rekommendationer från Naturvårdsverket, något som fungerar bra. Något liknande vore sannolikt att föredra även vad det gäller sprängningsinducerade vibrationer. En särskild komfortstandard för sprängningsinducerade vibrationer (som ex Storbritannien) är också ett förslag men då under förutsättning att berörda myndigheter godkänner de nivåer och den metodik som föreslås.

Till slut är det dock viktigt att komma ihåg: Det bästa sättet att minska omfattningen av störningen är att informera. Människor med kunskap om vibrationer och sprängning upplever betydligt mindre obehag än de utan kunskaper. Det är också viktigt att förvarna innan själva sprängningen då själva överraskningen ofta är det mest störande.



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

EXECUTIVE SUMMARY .....	2
SAMMANFATTNING .....	5
INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	8
1 BAKGRUND .....	9
2 LITTERATURSÖKNING .....	10
3 DEFINITIONER .....	11
3.1 SVÄNGNINGSRÖRELSEN .....	11
3.2 SVÄNGNINGSHASTIGHET - TOPPVÄRDE .....	12
3.3 EFFEKTIVVÄRDET – RMS .....	12
3.4 VAR MAN MÄTER .....	13
3.5 MÄTRIKTNING .....	14
3.6 DOS .....	15
3.7 RESPONSSPEKTRA .....	16
3.8 FREKVENNS .....	16
3.9 VAD ÄR LÄMPLIGAST ATT MÄTA .....	17
4 LITTERATURSTUDIEN .....	18
4.1 GRUNDLÄGGANDE STUDIER MÄNNISKA - KOMFORTVIBRATIONER .....	18
4.2 STUDIER MÄNSKLIG UPPLEVELSE – SPRÄNGNINGSVIBRATIONER (I BOSTÄDER) .....	20
4.3 MÄNNISKOR ÄR OLIKA KÄNSLIGA .....	22
4.4 MÄNNISKORS OLIKA ATTITYDER .....	23
4.5 STÖRNING / ORO / SKRÄMSEL .....	24
4.6 BYGGNADERS RESPONS - ÖVERFÖRINGSFAKTOR .....	24
4.7 BYGGNADERS RESPONS - AKUSTISK RESPONS .....	26
4.8 BETYDELSEN AV TID, VIBRATIONENS VARAKTIGHET .....	27
4.9 BETYDELSEN AV TID PÅ DYGNET .....	28
4.10 LUFTSTÖTVÅG .....	28
4.11 ÖVRIGA KOPPLADE ORSAKER .....	29
5 STANDARDER OCH KRAV .....	30
5.1 SVERIGE .....	30
5.2 STORBRIANNIEN .....	33
5.3 TYSKLAND .....	35
5.4 USA OCH KANADA .....	38
5.5 AUSTRALIEN .....	39
6 SAMMANFATTNING OCH ANALYS AV LITTERATURSTUDIEN .....	41
7 DISKUSSION .....	42
7.1 NULÄGET - PROBLEMET .....	42
7.2 FRÅGOR ATT DISKUTERA .....	42
7.3 REKOMMENDATIONER KOMFORTVIBRATIONER – SPRÄNGNING .....	44
REFERENSER .....	45

## 1 Bakgrund

Vid ett flertal tillfällen de senaste åren har Länsstyrelser i landet samt även Miljödomstolen i några fall, vid tillståndsprövningar av gruvor och bergtäkter krävt att vibrationer mäts med avseende på komfort. Ofta, men inte alltid, har man krävt att mätning utförs enligt "komfortnormen" – SS 460 48 61. Detta trots att det i komfortnormen SS 460 48 61 står: *"Riktvärdena är inte avsedda att tillämpas på tillfälliga aktiviteter som bygg- och anläggningsarbeten, ej heller för bergtäkter och gruvdrift"*. Vid några tillfällen har kraven varit mer generella och man har då inte specificerat exakt hur komfortmätningen ska utföras.

Orsaken till myndigheternas ståndpunkt i detta tycks vara att man anser att risk för teknisk skada ligger utanför deras arbetsuppgift. Man anser istället att deras uppgift är att göra en "hygienisk" bedömning av vibrationerna, något som inte kan göras utifrån – SS 460 48 66 (den tekniska standarden). Ytterligare en kommentar har varit att det visserligen står att "riktvärdena är inte avsedda..." men att detta ju inte betyder att metodiken i standarden inte kan tillämpas.

Inom konsultbranschen har man ofta hävdat att orsaken till klagomål är just oron för risk till skada och att man därför bäst dämpar denna oro genom att mäta toppvärden i husgrund enligt SS 460 48 66. Det är dock tydligt att denna inställning inte är hållbar i längden, i ett antal fall, som nämnts ovan, har redan komfortvärden enligt SS 460 48 61 vid bedömning av sprängningsinducerade vibrationer skrivits in i villkoren till både gruvor och bergtäkter. Detta har huvudsakligen skett då man från gruvan/bergtäktens sida inte sett villkoren som problematiska att innehålla och har därför inte bestridit dessa. Men faktum kvarstår att både Länsstyrelse och Miljödomstol (visserligen vid få tillfällen) satt begränsningsvillkor enligt komfortnormen (SS 460 48 61), i miljödomstolens fall, och på senare tid även från Länsstyrelser, med tillägget att mätning endast krävs om klagomål framförts av närboende.

För att utreda begreppen har Nitro Consult AB, på uppdrag av RTC, gjort en litteraturstudie där vi tittar på: dels vilka undersökningar som finns gällande sprängningsinducerade vibrationer och komfort samt dels tittat på hur man behandlar problemet i andra länder (närboende klagar ju på vibrationer från gruvor och bergtäkter även i andra länder). När det gäller det senare har vi tittat på dels hur olika nationella standarder tar sig an problemet samt hur olika länders myndigheter gör detsamma.

Problemet vibrationer kontra komfort är på intet sätt något nytt, problemen är många och inte alls triviala, frågorna har diskuterats i litteraturen åtminstone sedan 1950-talet.

## 2 Litteratursökning

Sökning har huvudsakligen skett via tre kanaler: Internet (google), Chalmers bibliotek, samt via Orica Mining Services databas (Kurri Kurri, Australien). Sökning har även utförts via sekundära referenser, dvs. referenser påträffade i andra artiklar.

Litteratur har huvudsakligen söks med följande sökord:

		OR	OR	OR	OR	OR	OR
	Blasting						
AND	Vibration						
AND	Human	People	Citizen				
AND	Comfort	Response	Annoyance	Complaints	Perception	Awareness	Sensitivity

Vidare har information även sökts via personliga kontakter. Ett stort tack till: Peter Reinders (Tyskland), Brian Burke (Storbritannien) Alex Spathis (Australien) samt Scott Scovira och Ruilin Yang (USA).

Den absolut övervägande delen av litteratur som påträffats och använts är engelskspråkig. Översättning har gjorts till svenska och när så behövts har enheter översatts till att följa SI-systemet.

## 3 Definitioner

### 3.1 Svängningsrörelsen

Vibrationer mäts på olika sätt och på olika platser, man mäter dessutom olika saker. Normalt sett används standarder för att definiera detta och flera av dessa standarder kommer att omnämnas senare i denna rapport. För att en litteraturstudie skall vara meningsfull är det dock viktigt att först gå igenom dessa förutsättningar

I rapporten har vibrationer huvudsakligen kvantifierats som svängningshastighet i mm/s, antingen som toppvärde eller som RMS-värde, ibland har även frekvens diskuterats. Det kan noteras att människan inte kan uppleva hastighet, orsaken varför vi trots detta använder detta begrepp är att det i denna bransch är det vanligaste sättet att beskriva vibrationer. När det gäller komfortvärden i allmänhet anger man ofta acceleration, ibland även dos ("totalmängd"), men när det gäller sprängningsinducerade vibrationer är det ovanligt att dessa begrepp används.

Antagandet att svängningen vid vibrationer från sprängning huvudsakligen är sinusformad ger en direkt relation mellan acceleration och hastighet. Under dessa förutsättningar kan man enkelt beräkna förhållandet mellan hastighet, acceleration och förflyttning:

$$a = v \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$A = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Där:

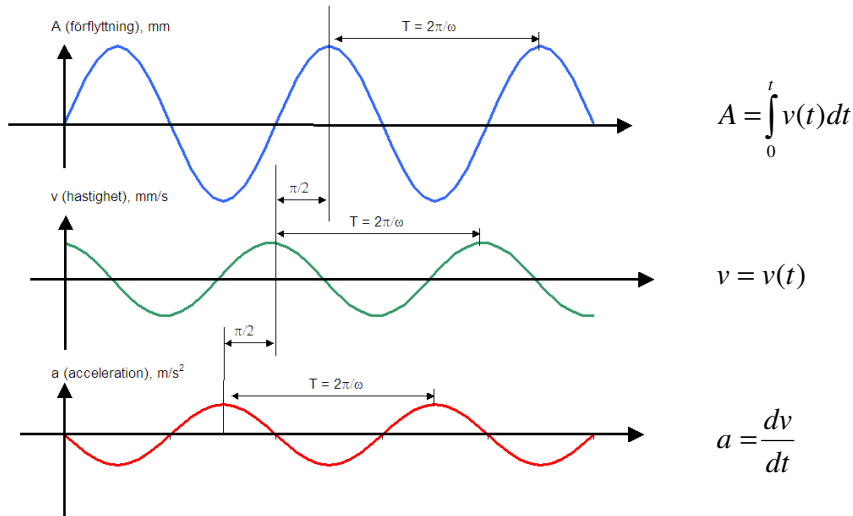
$v$  = hastighet (mm/s)

$a$  = acceleration ( $m/s^2$ )

$A$  = förflyttning (mm)

$f$  = frekvens (Hz)

En mer korrekt omräkning mellan storheterna är att derivera respektive integrera sig fram till de övriga storheterna:



FIGUR 3.1.

### 3.2 Svängningshastighet - toppvärde

Det mätvärde som oftast används för att representera vibrationer från sprängning är svängningshastighetens toppvärde  $v_{\max}$ .

$$v_{\max} = \max |v(t)|$$

Där  $v(t)$  är en funktion som visar svängningshastighet som funktion av tid. I internationell litteratur används ofta PPV (Peak Particle Velocity) som benämning på  $v_{\max}$ .

### 3.3 Effektivvärdet – RMS

Effektivvärdet, RMS (Root Mean Square), är ett sätt att medelvärdesberäkna effekten från en vibration under en viss tid.

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t)^2 dt}$$

Tiden som används är olika för olika standarder, för den svenska komfortstandarden SS 460 68 61 används tidsvägning S, Slow ( $t_1 - t_2 = 1$  sekund). Tidsvägningen refererar till Standarden SS IEC 651 (1986) där S=slow (1000 ms), F=fast (250 ms) och I=impulse (60 ms) finns definierade.

För en sinusformad svängningsrörelse där sinusvågen inte förändras över  $t_1 - t_2$  är:

[Skriv text]

$$v_{RMS} = \frac{v_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Detta är dock sällan en bra approximation när det gäller sprängningsinducerade vibrationer förutom vid mycket kort tidsvägning (nära tiden för en svängningsperiod). Som värde vid mycket korta tider används den i vissa standarder (ex ISO 2631-2: spetsmetod).

Ovanstående sätt att beräkna  $v_{RMS}$  är dock inte giltigt när man beräknar komfortvibrationer. Eftersom människan upplever vibrationer olika vid olika frekvenser har man valt att väga signalen beroende på frekvens. Man filtrerar därför signalen och multiplicerar signalens svängningshastighet för varje frekvens, normalt mellan 1-80 Hz, med ett filtervärde som definieras av standarden.

$$v_{vägd-RMS} = \sqrt{(k_1 \cdot v_1)^2 + (k_{1,25} \cdot v_{1,25})^2 + (k_{1,6} \cdot v_{1,6})^2 + \dots + (k_{80} \cdot v_{80})^2}$$

$k_1, k_{1,26}, k_{1,6} \dots k_{80} =$  filtervärde enl. standard

$v_1, v_{1,26}, v_{1,6} \dots v_{80} =$  uppmätt värde i resp. tersband

Tidigare har uppdelningen i tersband gjorts direkt i instrumentet med analoga filter, i dag används dock normalt digitala filter vilket innebär att man registrerar en signal som sedan kan användas för att beräkna värdet enligt valfri standard.

### 3.4 Var man mäter

Många värden för svängningshastighet som framgår i kommande referenser är inte helt självklara att jämföra. När man i vissa undersökningar begrundat människors känslighet för vibrationer har det varit ganska självklart att man mätt upp vibrationerna på samma plats som de människor som testet utförts med befunnit sig på. När det gäller andra undersökningar är detta inte alls lika självklart.

Detta faktum är ju till viss del orsaken till denna rapport. När vi mäter vibrationen i husgrunden är det inte alls säkert hur denna vibration är relaterad till den vibration som upplevs inne i huset. Allmänt dock: Vibrationer från sprängning vid täkter och gruvor mäts standardmässigt i hela värden. Platsen dessa mätningar sker på varierar något, i Sverige mäter vi på bärande konstruktion på hus (husgrund) definierat i SS 460 48 66. I USA får man mäta på husgrund (+/- 1 fot från marknivå) men man rekommenderar mätning i jord (mätplatsen skall vara närmare huset än 10 % av det totala avståndet till sprängplatsen), se rekommendationer på montering hos ISSE (2009) och Siskind och Stagg (1985).

I England skall man mäta på grundkonstruktion eller bärande vägg nära marknivå (BS 7385-1). När detta inte är möjligt sker mätning i jord.

I Australien följer man i huvudsak USA medan man i Tyskland oftast placerar givaren inuti huset på stabilt golv på grundnivå.

Anledningen till dessa olika mätpunktspaceringar är flera, om man anser att det är bäst att mäta i jord finns åsikten att man mäter den oförvanskade signalen innan den går in i huset som påverkar den. Ibland är det också svårt att få tillstånd för att komma in på en tomt eller, att som man oftast gör i Sverige, borra ett hål i husgrunden.

I Sverige mäter vi ju som bekant normalt enbart den vertikala riktningen, något som till viss del förenklar placeringen av givare. Exempelvis kan man notera att en givare placerad i vägg på marknivå kan registrera en mycket annorlunda signal i den horisontella riktningen, vinkelrät mot väggen, om den sitter på ett hus med eller utan källare. Om huset har källare kan givaren sitta på en vägg som kan röra sig (böjning) på grund av vibrationen medan ett hus utan källare, som är en betydligt stelare konstruktion, knappast kommer att röra sig på liknande sätt. I den vertikala riktningen är detta dock inget problem.

Nackdelen med att bara mäta i vertikal riktning är att svängningshastigheten kan vara större i en annan riktning. När vi jämför med andra standarder och undersökningar är det viktigt att komma ihåg att värden mätta i Sverige ofta hade motsvarat något högre värden internationellt, eftersom man där registrerar vibrationens max-resultant eller max-komposant.

Det är följaktligen viktigt att komma ihåg att även om vi absolut bör och skall jämföra resultat från olika delar av världen är det även viktigt att veta att det finns skillnader, skillnader som ibland kan vara betydande.

### **3.5 Mätriktning**

I den svenska sprängstandard (SS 460 48 66) beaktar man enbart den vertikala riktningen medan man i de flesta andra standarder föreskriver att man mäter i tre riktningar. Varför man i Sverige valt denna väg är osäkert men man kan konstatera att man kompenserat detta genom att på långa avstånd, där det inte är ovanligt att horisontella svängningshastigheter är större än vertikala, tillåter nivåer som ofta är något lägre än motsvarande internationella. På korta avstånd tillåter den svenska standarden tvärtom förhållandevis höga värden.

I Sverige anges det uppmätta värdet som det maximala (absolutvärdet) i vertikal riktning

$$\text{vertikal max: } v_{\max} = \max\left(\sqrt{\left(v(t)_{\text{vert}}\right)^2}\right) = \max\left|v(t)_{\text{vert}}\right|$$

I internationell litteratur används ofta PPV (Peak Partikle Velocity) som benämning på  $v_{\max}$ . PPV kan vara angett både till vektor- eller komponentmax. I nästan alla andra länder mäter man standardmässigt i tre riktningar. När man mäter i tre riktningar kan

[Skriv text]

man välja att antingen ange värdet som vektor- eller komponentmax. I allmänhet har internationella standarder relaterat tillåtna värden till komponentmax men även vektormax förekommer.

$$\text{vektormax: } v_{\max} = \max\left(\sqrt{v(t)_{\text{vert}}^2 + v(t)_{\text{long}}^2 + v(t)_{\text{transv}}^2}\right)$$

Vektormax förkortas ibland VPPV (Vector Peak Particle Velocity)

$$\text{komponentmax: } v_{\max} = \max\left(\max(|v(t)_{\text{vert}}|), \max(|v(t)_{\text{long}}|), \max(|v(t)_{\text{trans}}|)\right)$$

Komponentmax förkortas ibland PCPV (Peak Component Particle Velocity)

*I internationell litteratur anges ibland radiell istället för longitudinell riktning, dessa uttryck är helt synonyma (radiell syftar på att vågen sprider sig cylindriskt ut från detonationspunkten).*

Komponentmax används ofta därför att det är enklare då ingen beräkning mellan kanalerna krävs, men det finns även andra anledningar. Australiens standard (AS 2187.2 2006) har i sin senaste version bytt från att använda vektorhastighet (VPPV) till att använda komponenthastighet (PCPV) då man anser att det bättre mäter effekten på ett hus, som ju är svagare i de tre ortogonala riktningarna det är konstruerat i än i en arbiträr vektor-riktning. Det skall noteras att skillnaden mellan dessa värden ofta inte är speciellt stor, framförallt är skillnaden mellan komponent- och vektormax ofta mindre än man kan tro eftersom maximum för de olika riktningarna inte förekommer samtidigt.

När det gäller komfortmätningarnas effektivvärden behandlas dessa oftast var för sig (komponentvärden). I vissa standarder är vägningen olika för horisontella och vertikala vibrationer, dock inte i den svenska SS 460 48 61.

### 3.6 Dos

Dos används oftast vid mätning av vibrationer som förekommer under längre tid, exempelvis för att utvärdera risken för fysisk utmattning hos personer som utsätts för mycket vibrationer i sina arbeten.

$$VDV = \left( \int_0^T a^4(t) dt \right)^{0.25}$$

Där  $a(t)$  är accelerationen,  $T$  är tiden under dagen när vibrationer kan förekomma.



### **3.7 Responsspektra**

Ett responspektra innebär kortfattat att man fokuserar på och utvärderar konstruktionens egenfrekvenser istället för att bara titta på inkommande vibrationer. Detta innebär att man studerar hur svängningsförloppet påverkar ett tänkt massa/fjädersystem vid olika frekvenser.

I ett responspektra plottas "pseudohastighet" mot frekvens. Responspektra kan visa hur mycket energi som överförs till konstruktionen och visar magnitud, frekvens och tid hos vibrationen likväl som naturlig frekvens och dämpning hos konstruktionen.

Dowding (1985) beskriver detta ingående. Idag används responspektra för bedömning av risk för skada vid jordbävningar i exempelvis EuroCode (EN 8). Spathis & Brodbeck (2005) föreslår det vid bedömning av risk för skada vid sprängningsinducerade vibrationer. Foster (1980) menar att det borde användas även vid komfort.

Foster (1980) kritiserar användandet av PPV (mätt i husgrund) som metod att mäta vibrationer kontra komfort av följande skäl:

- Tar inte hänsyn till att husets respons varierar.
- Frekvensen är av mycket stor betydelse när det gäller ett hus respons.

Vidare menar han att "Mängden energi som överförs till konstruktionen (huset) inte bara är ett mer rationellt värde när man vill förutsäga risken för skada utan ger också en bättre korrelation när det gäller människors upplevda störning".

### **3.8 Frekvens**

Frekvens har en relativt stor betydelse, både vad det gäller människors upplevelse och när vi beaktar hur man mäter vibrationer i olika standarder. Noterbart här är att hus är känsliga för låga frekvenser medan människor är känsligare för högre frekvenser.

Problemet är här som vi kommer att se i den kommande texten att människor normalt sett inte reagerar på den direkt inkommande vibrationen utan på de fenomen som uppkommer när huset på olika sätt påverkas av den inkommande vibrationen. Låga frekvenser är alltså generellt ett större problem vid störning trots att människor är känsligare för höga frekvenser.

Frekvens hänger direkt samman med förhållandena mellan hastighet, acceleration och förflyttning se kap 3.1.

I olika internationella standarder har man valt att ställa något olika krav på vilka frekvenser som skall registreras vid mätning av svängningshastighet. Hur man valt kan antas bero både på vilka frekvenser som normalt förekommer och på vilka frekvenser hus respektive människor är känsliga för, tekniska svårigheter att mäta både höga och låga frekvenser kan även det antas ha viss betydelse. Några exempel på olika standarder

finns i tabell 3.1. Hur stor betydelse olika frekvensvägning har för resultatet är antagligen mycket varierande men i normalfallet torde betydelsen vara liten.

TABELL 3.1 FREKVENSVÄGNING I OLIKA STANDARDER

<b>Standard</b>	<b>Land</b>	
<i>SS 460 48 66 (skada hus)</i>	<i>Sverige</i>	<i>5-300 Hz</i>
<i>SS 460 48 61 (komfort)</i>	<i>Sverige</i>	<i>1-80 Hz</i>
<i>ISO 2631-2 (komfort)</i>	<i>Internationell</i>	<i>1-80 Hz</i>
<i>BS 6472-2:2008 (komfort)</i>	<i>Storbritannien</i>	<i>4,5-250 Hz</i>
<i>BS 7385-1:1990 (skada hus)</i>	<i>Storbritannien</i>	<i>1-300 Hz</i>
<i>DIN 4150-3(skada hus)</i>	<i>Tyskland</i>	<i>1-315 Hz</i>
<i>AS 2187.2 2006 (skada hus)</i>	<i>Australien</i>	<i>2-250 Hz</i>
<i>ISEE<sup>a</sup></i>	<i>USA</i>	<i>2-250 Hz</i>

<sup>a</sup>) Ingen standard utan rekommendation från organisationen ISEE (international society of explosives engineers).

### **3.9 Vad är lämpligast att mäta**

Sprängningsinducerade vibrationer definieras oftast som transienter, dvs kortvariga pulser. Om detta skriver Giacomelli (1986): När det gäller en stöt av denna typ är toppvärdet ett relevant mått på störupplevelsen. Effektivvärdet är i detta fall endast av intresse om förloppet upprepas ofta.

Generellt gäller att för mycket kortvariga vibrationer är toppvärdet lämpligast att mäta. Vid oftare och längre förekommande vibrationer (ex trafik) kan RMS-värdet antas ge en bättre förståelse för den upplevda vibrationen. När man utsätts för mycket långvariga vibrationer (exv. i industriarbete eller chaufförer av fordon som vibrerar mycket) anses dos ge den bästa informationen.

I litteraturstudien har RMS-värdet inte använts i någon av de utländska referenser som påträffats när det gäller mänsklig komfort och sprängningsinducerade vibrationer.

## 4 Litteraturstudien

### 4.1 Grundläggande studier människa - komfortvibrationer

Det finns ett antal grundläggande studier, som dock inte handlar om sprängnings-inducerade vibrationer utan där man ställt försökspersonerna på ”skakbord” av olika slag och sedan utsatt dem för vibrationer av olika storlek, frekvens och tid. Exempel på såna, grundläggande, undersökningar är: Reiher & Meister (1931), Goldman (1948), Rathbone (1963) samt Wiss & Pamelee (1974).

Den äldsta och den mest citerade studien av dessa utfördes 1931 av Reiher och Meister. I denna omfattande undersökning över hur människor uppfattar vibrationer deltog 15 personer som i 5-minuters intervaller utsattes för vertikala och horisontella vibrationer. Försöken utfördes vid ett antal olika kroppsställningar och intensitet hos vibrationerna, se figur 4.1.

TABELL 4.1 REIHER & MEISTER (1931)

$V_{\max}$ (mm/s)	Respons
0,3	Knappt märkbart
0,9	Tydligt märkbart
2,5	Starkt märkbart
18 (vid 2 Hz) – 4,3 (vid 20 Hz)	Störande
90 (vid 2 Hz) – 10 (vid 20 Hz)	Mycket störande

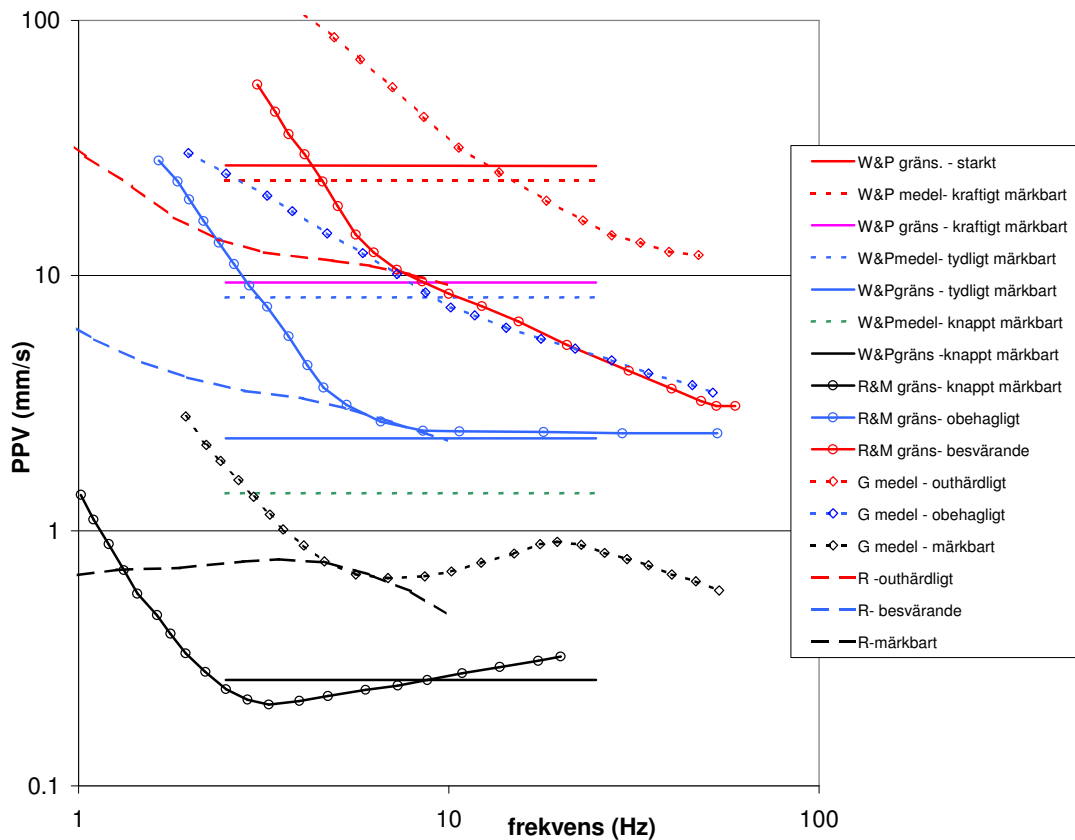
Wiss och Parmelee (1974) utförde en undersökning med 50 försökspersoner. Försökspersonerna stod på en plattform som vibrerade i perioder om upp till 5 sek. Vibrationerna var enbart vertikala, sinusformade med varierande dämpning (0-16%) och frekvens (2,5-25 Hz.), se figur 4.2.

TABELL 4.2 WISS & PARAMEELE (1974). GRÄNS BETYDER UPPELVELSEN HOS DEN KÄNSLIGASTE PERSONEN, MEDEL ÄR GRUPPENS ”MEDELKÄNSLIGHET”.

Medel $V_{\max}$ (mm/s)	Gräns $V_{\max}$ (mm/s)	Respons
1,5	0,25	Knappt märkbart
8	2,5	Tydligt märkbart
23	9	Starkt märkbart
	27	Mycket störande

Orsaken till att dessa rapporter används jämförande i en rapport angående vibrationer från sprängning är att det är vibrationer inom dessa intervall som människor utsätts för i sin hemmiljö vid sprängning. Alltså nivåer från kännbarhetsgränsen upp till vad som betraktas som störande.

Baserat på den tillgängliga forskningen som finns kan man konstatera att sprängnings-inducerade vibrationer i den bemärkelse vi använder begreppet i denna rapport definitivt inte är skadligt för kroppen. Den korta tid de förekommer innebär att inte heller att fysisk/ medicinsk utmattning är möjlig (Rudenko 2007).



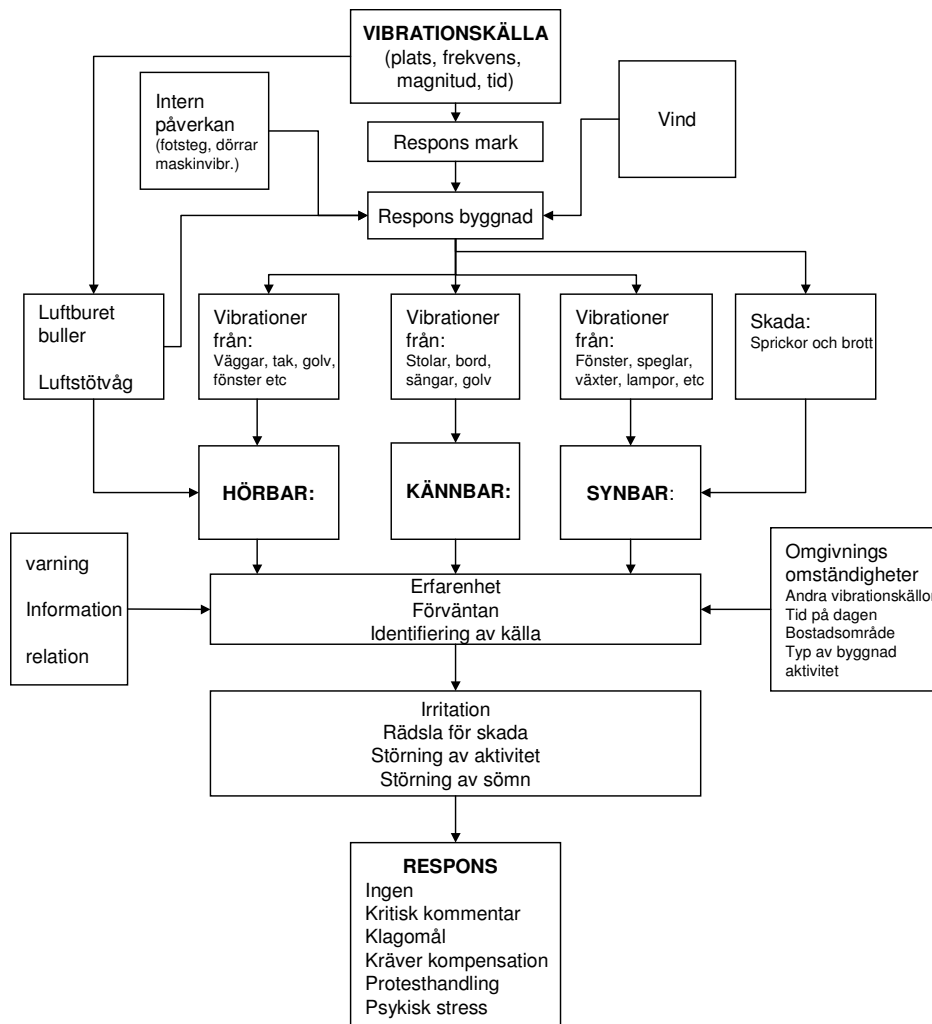
FIGUR 4.1. SAMMANSTÄLLNING AV UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA AV REIHER & MEISTER (R&M) (1931) GOLDMAN (G) (1948) RATHBONE (R) (1963) SAMT WISS & PARAMELLE (W&P) (1974). TILL VISS DEL KAN DE STORA SKILLNADER SOM MELLAN OLIKA UNDERSÖKNINGAR FÖRKLARAS MED DE OLIKA FÖRUTSÄTTNINGAR SOM GÄLLT VID FÖRSÖKEN, FRAMFÖRALLT TIDEN SOM VIBRATIONEN PÅGÅR HAR EN MYCKET STOR BETYDELSE, SE KAP 4.1.

Detta innebär också att de flesta forskningsprojekt gällande mänsklig respons på vibrationer inte är tillämpbara på sprängningsvibrationer. Detta eftersom den absolut övervägande delen av dylika studier behandlar just risk för skada eller hälsa. Odebrant 2007 skriver: "Generella undersökningar om människans påverkan av vibrationer behandlar nästan alltid påverkan av relativt kraftiga vibrationer som förekommer i arbetsmiljön, exempelvis i arbetsfordon och vid arbete med vibrerande maskiner. Mera sällan behandlas komfort eller påverkan på hälsan i boendemiljön".

De undersökningar gällande mänsklig upplevelse och vibrationer som refererats under denna punkt har utförts i laboratorier i en kontrollerad omgivning. En viktig fråga blir då hur dessa kan relateras till människors hemmiljö.

## 4.2 Studier mänsklig upplevelse – sprängningsvibrationer (i bostäder)

Vibrationer inuti byggnader är en betydligt mer komplex fråga än enbart vibrationer i klassisk bemärkelse. Dels finns en förstärkning av vissa frekvenser i konstruktionen, dels ger vibrationer upphov till sekundära effekter (ibland hörbara) i delar av konstruktionen, dels finns förväntningar oro etc. som förändrar situationen mot vad den är i en laboriemiljö. Griffin (1991) visar nedanstående schema på mänsklig respons vid vibrationer i byggnader (figur 4.2).



FIGUR 4.2 EFTER GRIFFIN (1991).

Nivån för när människor kan uppleva vibrationer kanske inte ändras när människor befinner sig i sina hem, det är dock mycket möjligt att deras klassificering över hur "allvarlig" vibrationen är förändras. Även om det inte finns några undersökningar som fångat in betydelsen av att personer befinner sig i sina egna hem är ett sannolikt

[Skriv text]

antagande att toleransnivåerna kommer att vara lägre än under laboratorieförhållanden, (Rudenko, 2007).

Det finns även några undersökningar där man studerar hur människor i sina hem upplever vibrationer från sprängning, dessa rapporter är dock inte alls lika omfattande. Vissa artiklar fokuserar huvudsakligen på toppvärdesmätningar medan andra även tittar på frekvens eller tiden för vibrationen. Att studera andra samband förekommer nästan inte alls när det gäller sprängningsvibrationer. Att studera acceleration, RMS-värde, dos eller något annat sätt att mäta och analysera verkar inte förekomma förutom i laboriestudier. Man kan anta att orsaken till detta är det stora mått av subjektivitet som finns vid dessa bedömningar vilket gör det problematiskt att gå ner på detaljnivå. Att direkt jämföra upplevelsen av störningen med den uppmätta vibrationsnivån har visat sig i princip omöjligt dels beroende på husets respons men kanske framförallt för att olika människor uppfattar vad som är störande så olika.

Några tabeller och diagram har påträffats där man betraktar störning från sprängningsvibrationer. Vi kan anta att värdena i samtliga fall kommer från mätningar utförda på utsidan av/utanför huset, detta anges dock inte med tydlighet. Power (1966) arbetar med kärnvapentester, något som inte direkt kan jämföras med sprängning i gruvor och bergtäkter, men han undersöker störning pga. vibrationer utifrån detta (tabell 4.3.). Wiss (1968) visar upp ett diagram (se värden i tabell 4.4) men redovisar dock inte varifrån han tagit rådata till diagrammet.

TABELL 4.3 POWER 1966

<b>V<sub>max</sub> (mm/s)</b>	<b>Respons</b>	<b>Andel av berörda som klagar</b>
0 - 0,75	Ej märkbart	< 0.06 %
0,75 - 10	Märkbart	0.06 % - 8 %
10 - 50	Obehagligt	8 % - 35 %
50 -	Oacceptabelt	> 35 %

TABELL 4.4 WISS 1968

<b>V<sub>max</sub> (mm/s)</b>	<b>Respons</b>
0 - 2	Ej märkbart
2 - 5	Märkbart
5 - 10	Tydligt märkbart
10 - 20	Obehagligt
20 - 30	Störande
30 -	Mycket störande

Siskind m fl.(1980) gör en statistisk ansats. Man skriver att i avsaknad av en arbetsplan när det gäller relationer med närboende kan man förvänta sig att 15 – 30 % av närboende kommer att vara ”mycket störda” vid en vibrationsnivå på 12,5 mm/s, (medelvärde från alla sprängningar), vidare menar man att om man kan hålla 95-persentilen under 12,5 mm/s kommer endast 5% av de närboende uppleva att dom är ”mycket störda”. Viktigt för upplevelsen av vibrationen är hur den interfererar med aktivitet (sömn, prat, tv-tittande, läsning etc.). För personer i sina hem är de största problemen att ”husen skallrar”, rädsla (för skada på hus eller hälsa), man blir skräm

(överraskad) och för några att aktiviteter störs. Här är det mycket viktigt med goda relationer till allmänhet, information och utbildning. I Tabell 4.5 har man översatt data från luftstöt vågor (Siskind m fl 1980b, se kap 4.10) vilket naturligtvis medför stora osäkerheter. I de olika undersökningarna bestämdes inte människors respons från varje händelse utan det gällde den generella upplevelsen från många vibrationstillfällen. I tabell 4.5 listas medelvärde, 95-persentil samt max-värde för de vibrationer som de intervjuade fick uppleva.

TABELL 4.5 SISKIND M. FL. 1980

Andel mycket besvårade (%)	Medel (mm/s)	95-persentil (mm/s)	Maxvärde (mm/s)
0	5	10	20
10	7	13	23
20	11	17	26
30	15	23	28

Brook m. fl. (1988) anger att erfarenhetsmässigt vet man att klagomål kan uppkomma vid så låga nivåer som 1 mm/s och vid 6 mm/s börjar många att opponera sig.

Nedanstående tabell (4.6) avseende upplevelse av sprängningsinducerade vibrationer är sammanställt av Jones och Stokes (2004). Tabellen gäller medelrespons och för en i övrigt tyst och lugn omgivning.

TABELL 4.6 JONES OCH STOKES (2004)

$V_{max}$ (mm/s)	Respons
0,5 - 2,5	Knappt till tydligt märkbart
2,5 - 12,5	Tydligt till starkt märkbart
12,5 - 25	Starkt märkbart till obehagligt
25 - 50	Obehagligt till mycket obehagligt
50 - 250	Mycket obehagligt till outhärdligt

### 4.3 Människor är olika känsliga

Att problemet med människors störning kontra sprängningsvibrationer är en mycket subjektiv fråga är alla överens om. Redan Jenkins (1955) skriver att man tidigt har konstaterat att störning vid sprängning framförallt är ett psykologiskt problem. Trots detta har man behandlat det som ett fysikaliskt problem då det är där man känt sig kompetent, i framtiden måste man dock ta sig an den psykologiska effekten. Slutligen säger man: "Det måste kommas ihåg att en normalperson kan uppleva vibrationer som är en hundradel eller en tusendel av vad som krävs för att skada byggnader. Innan dessa fakta ingår i det allmänna medvetandet kommer de som måste använda sprängning som del i arbetet tveklöst att med jämna mellanrum bli konfronterade med skadeersättningskrav pga. att vibrationer påstås ha skadat byggnader. Detta är krav som oftast har sitt ursprung i människors misstolkningar gällande hur vibrationer fungerar."

Jones & Stokes (2004) poängterar att det är viktigt att skilja på "medelindividen" och individer som kommer att hamna högt eller lågt vid en jämförelse. "Tåligast" för

vibrationer är de som har ett ekonomiskt intresse i, eller annan fördel av, verksamheten. Även om dessa upplever en viss störning kommer dessa inte att klaga så länge inte direkt fysisk skada uppstår. På andra sidan av skalan står de individer som är direkta motståndare till projektet, dessa kommer att uppleva störning och också klaga på denna så fort de upplever någon effekt alls.

Betydelsen av information och utbildning diskuteras också mycket. Mängden klagomål minskar betydligt om informationen och relationen till närboende är god.

#### **4.4 Människors olika attityder**

Lusk (2006) och Lusk & Worsey P (2005) fokuserar huvudsakligen på intervjuer av fem grupper:

- "Lekmän" som bor nära bergtäkter
- "Lekmän" som inte bor nära bergtäkter
- Civilingenjörer
- Folk i sprängbranschen
- Myndighetspersoner

Lusk jämför uppfattningar när det gäller hur man ser på vibrationer, olika enheter på gränsvärden etc. med följande slutsatser:

- Människor är generellt obekväma med sprängning nära sin bostad (gruppen som jobbade med sprängning var neutrala till händelsen, övriga negativa).
- Decibelskalan (luftstöt våg) upplevs generellt negativt och förvirrande (i relation till alternativet PSI som i Sverige, alltså Pa istället för dB)
- Grupperna med kunskap i ämnet (civilingenjörer och sprängare) var allmänt mer bekväma med företeelsen än övriga grupper vilket visar på betydelsen av kunnande/utbildning/information.

Raina m. fl. (2004) undersöker mänsklig respons vid fyra Indiska täkter med följande slutsatser:

- Vuxna i gruppen 20-40 år med försörjningsansvar eller nyblivna fastighetsägare är mest känsliga/oroliga för störningar från sprängning.
- Psykologiska faktorer som skrämsel/rädsla är den vanligaste responsen.
- Arbetslösa visade liten/ingen oro och var tysta, låginkomsttagare visade antingen ingen oro alternativt mycket stor ängslighet gällande sin egendom.
- Kvinnor är mindre känsliga än män.



#### 4.5 Störning / oro / skrämset

Något man kan notera när man studerar problemet är att människor ofta ställer sig oförstående till begreppet störning. I Källered utanför Göteborg (Åhrin m. fl., 1984) säger många intervjuade att begreppet inte är relevant utan man menar att upplevelsen är antingen att föremål i hemmet går sönder eller att man skrämdes av vibrationen. Människor i två bostadsområden intervjuas, "Ulla lyckas väg" och "Högenvägen". Sammanställning av utförda vibrationsmätningar i de två områdena gav förväntade vibrationsnivåer och redovisas som medel och max för de två områdena, se tabell 4.7. Andelen "mycket störda" finns angivet i tabellen. Inga vibrationsrestriktioner fanns när undersökningarna gjordes.

TABELL 4.7 VIBRATIONSIVÅER KÅLLERED 1984

Område	Avstånd till bergtäkt (m)	Medelvärde (mm/s)	Toppvärde (mm/s)	Andel mycket störda (%)
Högenvägen:	400	5,5	9,5	18 %
Ulla lyckas väg:	600	2,8	4,5	7 %

Viktigt att notera är att folk i telefonintervjuerna inte ansåg att uttrycket "störning" var relevant för upplevelsen. Nästan alla intervjuade uttryckte en stark oro över eventuella byggnadsskador och ungefär hälften angav att de "skrämdes". Några uppgav även att glas i skåp hade krossats vid kraftiga vibrationer. Däremot var många tveksamma till frågan om de "stördes" av vibrationerna.

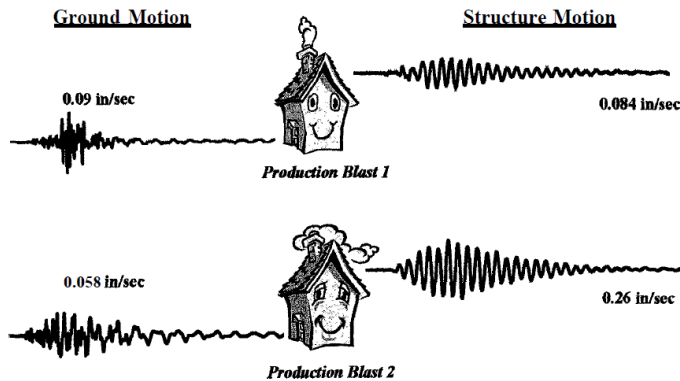
Liknande slutsatser kommer Eltschlager (2002) fram till, folk som klagat blir antingen skrämde (övertaskade) eller så misstänker man att hemmet går sönder, man blir alltså inte störd i bemärkelsen svårt att koncentrera sig. Klagomål gällande sprängning är den vanligaste typen av klagomål hos OSM (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement) och RA (State Regulatory Authorities). Anledningen till studien var att många invånare anser att myndigheterna inte tar till vara medborgarnas intressen. I studien gick man igenom 708 klagomål från West Virginia, Kentucky, Virginia och Tennessee samt 1317 (varav 338 från en enda täkt) klagomål från Pennsylvania. 75 % av dessa klagomål gällde störning, vilket här inbegriper skrämmas, höga ljud, oro för skada på hus, föremål på fönsterkarmar flyttar sig, skrämmer barnen etc. Inte heller här används störningsbegreppet i konventionell bemärkelse.

#### 4.6 Byggnaders respons - överföringsfaktor

Det finns mycket få exempel på att undersökningar utförts inne i husen där folk befinner sig. Rudenko (2002) noterar detta och kommenterar att ofta är husets respons av större betydelse än storleken på den inkommande vibrationen.

Ibland skriver man om "överföringsfaktorn", dvs. hur mycket en vibration förändras inuti huset gentemot utanför. Här kan man notera att det är skillnad om man tittar på risk för skada på hus eller mänsklig upplevelse: Mäter man överföringsfaktorn med avseende på skaderisk bör man mäta på den plats i huset där svängningshastigheten är

som störst. Är det däremot mänsklig upplevelse man fokuserar på så mäts överföringsfaktorn där människan kan uppfatta vibrationen (dvs. på golv).



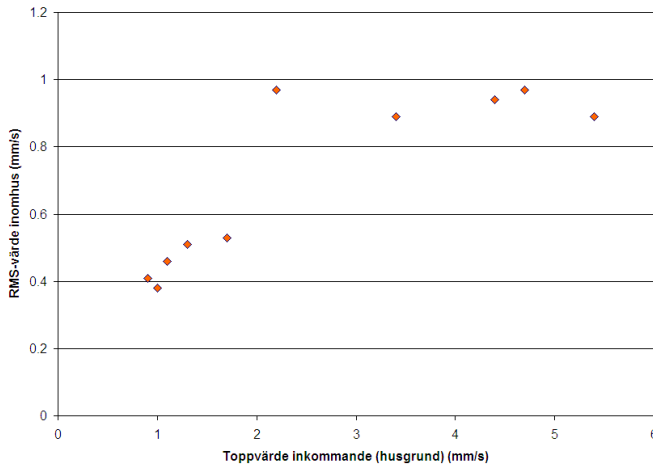
FIGUR 4.3, EXEMPEL PÅ FÖRSTÄRKNING I BYGGNAD FRÅN RUDENKO (2002)

Kamperman och Nicholson (1977) mäter överföringsfaktorn med avseende på mänsklig respons. 23 jämförelser vid sammanlagt 18 sprängningstillfällen utfördes och resultatet av undersökningen gav en förstärkningsfaktor på 1,6 vertikalt och 1,04 horisontellt. I Brittisk standard (BS 6472:2, 2008) anges 1.3 som överföringsfaktor. När det gäller förstärkning i byggnader finns ett mycket tydligt samband mellan inkommande frekvenser och konstruktionens egenfrekvens.

#### **4.6.1 Erfarenheter av komfortmätningar i Sverige.**

Förhållandet mellan inkommande vibration och respons har mätts upp av Nitro Consult vid ett antal tillfällen. Bergström (2003, 2008) har i två fall mätt inkommande toppvärde (enligt SS 460 48 66) som sedan jämförts med respons i bjälklag mätt som vägt RMS-värde (enligt SS 460 48 61).

I den första undersökningen (Bergström 2003) mäts tio salvor vid sprängningar i Malmberget. Toppvärde mäts i sockel utomhus medan responsen mäts på vardagsrumsgolvet inne i byggnaden. Utomhus registreras toppvärden mellan 0,9-5,4 mm/s medan RMS-värdena inomhus varierar mellan 0,41-0,97 mm/s. Notera att RMS-värdena är avsevärt lägre än inkommande toppvärde (dvs. dämpning, inte förstärkning). Man kan också notera att om man försöker korrelera värden, se figur 4.4, kan man se att responsen är lägre vid höga inkommande värden. Detta kan antas bero på att toppvärden sannolikt uppstår som "spikar" (kortvariga händelser). Eftersom RMS-värdet innebär att man medelvärdesberäknar signalen (i SS 460 4861 under tiden 1 sekund) så kommer kortvariga toppar att filtreras bort och resultatet från olika salvor med samma laddningsförutsättningar blir mer lika.



Figur 4.4. jämförelse topp- /RMS-värde vid mätningar i Malmberget, efter Bergström 2003.

I den andra undersökningen mäts två salvor vid en sommarstuga i Vilhelmina kommun, sprängningarna sker här vid en bergtäkt, se tabell 4.8.

TABELL 4.8

Toppvärde (mm/s)	RMS-värde (mm/s)
SS 460 48 66	SS 460 48 61
3,85	3,6
2,35	4,4

Här kan man notera att det inte verkar finnas någon tydlig koppling mellan inkommande toppvärde och komfortvärde inne i huset. Förstärkningen av vibrationen inomhus är dessutom relativt kraftig. Huset är i detta fall en relativt slank konstruktion grundlagt på plintar av natursten och man kan anta att huset på denna grundläggning lätt kommer i svängning. Bedömningen i rapporten var att värdet inomhus hade varit betydligt lägre om huset hade varit ett mer ”normalt” bostadshus.

Orsaken till att RMS-värdet går upp när toppvärdet går ner kan vara flera. Exv. kan en utdragen tändplan innebära att huset påverkas under längre tid och därför kommer ”mer i svängning”, man kan också tänka sig att en förändrad tändplan förändrar frekvensinnehållet i inkommande vibration i en negativ riktning med avseende på huskonstruktionen.

#### 4.7 Byggnaders respons - akustisk respons

Birch m. fl. (2007) menar att det finns ett fenomen som har stor betydelse för uppfattningen av vibrationen men som oftast ignoreras i dessa sammanhang. Detta fenomen kallar dom akustisk respons, inkommande lågfrekventa vibrationer i byggnaden kan ge upphov till mer högfrekvent (hörbar) resonans, exempelvis s.k. ”rattling” (huset skallrar).

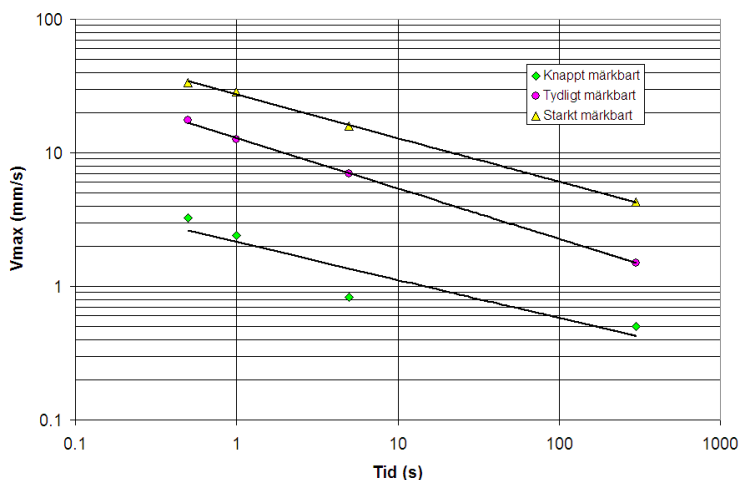
Författarna menar att hörbart ljud är direkt förknippat med markvibrationer och inte som ofta föreslås med luftstötstången (exempelvis påpekar man att ljud uppkommer även vid underjordssprängning). Man menar att det är denna hörbara störning som oftast uppfattas.

Man kommenterar att den utveckling man sett mot allt lägre tillåtna värden enbart kommer att resultera i att sprängningarna blir dyrare och mer komplicerade. Detta medan den önskade effekten, ”färre klagomål”, riskerar att helt utebli om man inte fokuserar på det verkliga problemet. Vidare påminner man om att den hörbara delen av vibrationen påtalas både i ISO-2631-2 och BS 6472-2. Det bör dock påpekas att det inte sägs något om vad man skall göra åt problemet, inte heller hur stort det är.

#### 4.8 Betydelsen av tid, vibrationens varaktighet

Vad man tydligt kan konstatera är att tid har stor betydelse, ju längre vibrationen pågår ju större är sannolikheten för klagomål. Artiklar och rapporter som tittar på detta är exempelvis: Siskind *m. fl.* (1980), Brinkman (1987).

Siskind *m. fl.* redovisar nedanstående diagram, linjerna bygger inte på egna mätningar utan är hopsatta från tidigare undersökningar gällande komfortvibrationer och avser inte sprängningsinducerade vibrationer. Linjerna är hopsatta av data från olika tester av Reiher & Meister (1931), samt Wiss & Paramelee (1974), figur 4.5.



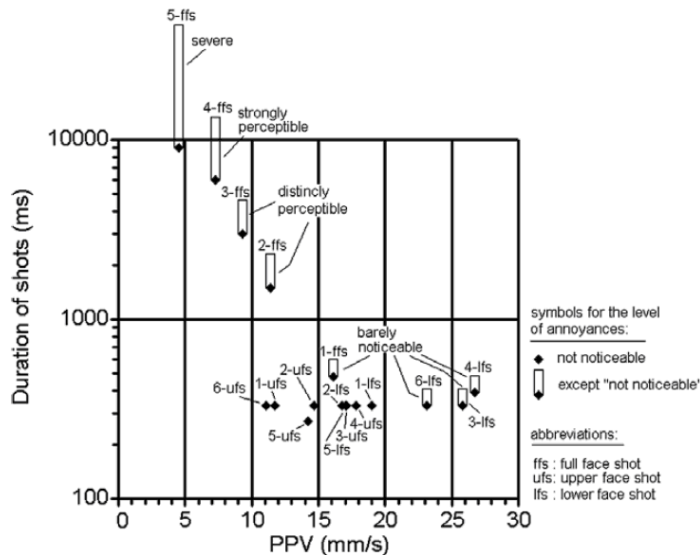
FIGUR 4.5 ÖVERSATT FRÅN SISKIND M FL (1980a) .

Kuzu & Guclu (2009) jämför uppmätta vibrationsnivåer med upplevelser hos närboende vid ett tunnelprojekt i Turkiet. Studien använder intervjuer där man koncentrerar sig på personer som klagat eller är kända som känsliga och intervjuar dessa efter varje salva.

Resultatet, se figur 4.6, visade att den viktigaste parametern för upplevelse var tid. En salva på ca 5 mm/s som varade ca 9 s upplevdes som ”kraftig” medan salvor över 25 mm/s bedömdes som ”knappt märkbara” när de pågick i 400 ms. I detta projekt valde

[Skriv text]

man att öka laddningarna och minska fördröjningstiderna för att på så sätt minska klagomålen.



FIGUR 4.6 FIGUR FRÅN KUZU & GUCLU (2009), FÖRHÅLLANDE MELLAN  $V_{max}$  (PPV), OCH LÄNGDEN PÅ VIBRATIONEN (ms), I RELATION TILL UPPLVEVD STÖRNING.

#### 4.9 Betydelsen av tid på dygnet

Sprängning på natten betyder att människor riskerar att bli väckta, detta är sannolikt en god anledning till varför krav oftast sätts hårdare på natten. Se Brittisk Standard BS 6472-2 (2008) eller Tysk norm DIN 4150-2 (1999).

#### 4.10 Luftstöt våg

Vid ovanjordssprängning kan luftstöt vågen vara ett större bekymmer än markvibrationen. Vad som är vad kan dock vara svårt för de boende att bedöma, det man upplever är ju att huset skakar. Om denna skakning uppkommer genom att huset exciteras genom inkommande vibrationer i marken eller genom luften är i sammanhanget mindre viktigt. Det har t o m förekommit att den vibration som mäts, och som är störst i husgrund, uppkommer genom att huset påverkas av luftstöt vågen.

Sing m fl (2005) skriver: I verkligheten upplever människor ofta inte vibrationen eller ens luftstöt vågen. Ett hus har en egenfrekvens kring 5 Hz, detta innebär respons mot luftstöt vågen som sedan ger upphov till mer högfrekventa vibrationer inuti huset och "rattling" (huset skallar), människor som hör detta inne i huset kommer att tro att detta är markvibrationen. Även Schomer (1977a) menar att det är ljudet (hörbart och mot ytor inducerade av vibrationer) och inte vibrationen som sådan som är avgörande.

Vad människan inne i huset märker är alltså att huset rör sig. Vad som orsakar detta är, för de boende, mycket svårt att veta. Kamperman (1980) sätter människor på luftkuddar för att avskärma själva vibrationen från resten av upplevelsen. Människors upplevelse

[Skriv text]

påverkas inte alls av detta och han menar därför att den inkommande vibrationen som sådan är av mindre betydelse.

Siskind m.fl. (1980b) sammanställer data från flera tidigare undersökningar: Borsky (1965), Higgins & Carpenter (1973), Kryter (1966), Schomer (1977b) och van Gierke (1977). Endast i ett fall, Higgins & Carpenter, mäts luftstöt våg vid bergtäkt. I de andra undersökningarna handlar det om luftvärn eller överljudsplan, dvs. militära undersökningar. I undersökningarna bestämdes inte människors respons från varje luftstöt utan det gällde den generella upplevelsen (i flera fall gällde det flera/många luftstötar per dag), i tabell 4.9 listas därför medelnivån för luftstöt vågen, 95-persentilen samt maxvärdet.

TABELL 4.9 SISKIND M. FL. 1980B. ANDELEN MYCKET BESVÄRADE AV LUFTSTÖTVÅG.

Andel mycket besvärade (%)	Medel (Pa)	95-persentil (Pa)	Maxvärde (Pa)
0	28	55	82
10	36	67	110
20	48	83	137
30	69	96	162

Vid beaktande av ovanstående värden är det viktigt att komma ihåg att man i Sverige normalt mäter reflektionstryck. I tabellen angivna värden ska alltså dubblas för att kunna jämföras med det man normalt mäter i Sverige.

#### **4.11 Övriga kopplade orsaker**

Buller, stomljud, damning, tung trafik etc. är alla parametrar som hör ihop och påverkar. Om man är störd av någon företeelse är det större sannolikhet att man även stör sig på andra. Alla dessa andra orsaker ligger dock utanför ramen för denna rapport, men det kan dock vara bra att komma ihåg att det finns fler parametrar här än vibrationer och luftstöt vågor.

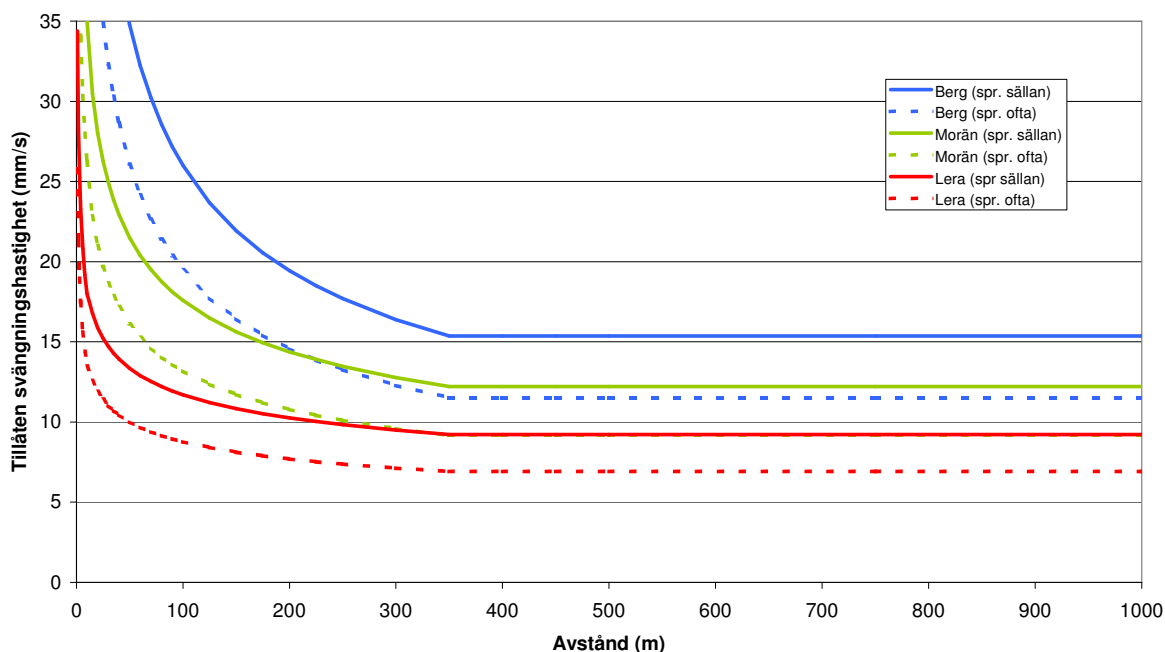
## 5 Standarder och krav

Det finns ett stort antal standarder och myndighetsföreskrifter. Generellt för de flesta länder gäller att det finns en standard som är till för att undvika skador på byggnader. Utöver det finns det i några länder en standard för att minska störning för närboende, ”komfortstandard”. Dessa standarder har dock mycket olika status i respektive länder. Oftast är standarden mera att se som en branschöverenskommelse och i dessa fall är det istället de lokala myndigheterna som sätter tillåtna vibrationsnivåer. I vilken omfattning de nivåer myndigheter tillåter är relaterade till komfort eller skada verkar mest vara en fråga om tradition.

### 5.1 Sverige

#### 5.1.1 Standard skada

I Sverige så används Svensk Standard SS 460 48 66 ”Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader” vid beräkning av riktvärde med avseende på risk för skada. Standarden utgår dels från undergrund samt dels från avstånd, dessutom kompenseras för ingående byggnadsmaterial, typ av byggnad samt hur ofta sprängning förekommer. Standarden ger värden enligt figur 5.1. Om sprängning sker ofta kan värdena reduceras till 75 % (se linje i fig. 5.1.). Ytterligare reduktion kan ske pga. ingående byggnadsmaterial (maximalt till 65%).



FIGUR 5.1 TILLÅTNA VIBRATIONSIVÅER ENLIGT SVENSK STANDARD SS 460 4866, VÄRDEN GÄLLER FÖR ”NORMALA BOSTADSHUS” OCH DE TVÅ LINJERNA GÄLLER FÖR SPRÄNGNING SÄLLAN ELLER SPRÄNGNING OFTA (ENL PRAXIS > 2 GGR/VECKA). VÄRDENA KAN PGA INGÅENDE BYGGNADSMATERIAL BLI NÅGOT LÄGRE.

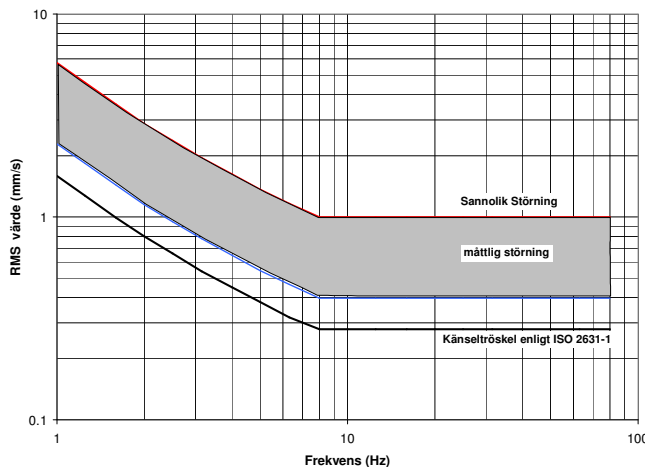
### 5.1.2 Standard komfort

I bilaga B till komfortstandarden SS 460 48 61 står det: ”Riktvärdena är inte avsedda att tillämpas på tillfälliga aktiviteter som bygg- och anläggningsarbeten, ej heller för bergtäkter och gruvdrift”. Trots detta används i dag denna standard i ett antal tillstånd för svenska gruvor och bergtäkter. Orsaken till detta, som tidigare nämnts i denna rapport, är att man från myndighetshåll ansett att det är riktvärdena och inte metodiken som åsyftas i skrivelsen.

I SS 460 4861 används ett frekvensvägt RMS-värde (se kap 3.3). Mätning utförs i tre riktningar på den plats i huset där störst svängningshastighet (störning) uppstår/förväntas. Riktvärden anges i tabell 5.1 och figur 5.2. I de fall man använt denna standard för gruvor/bergtäckter har kravet begränsats till att gälla vertikal mätning på husets bottenvåning. Det tillåtna värdet har också satts något högre, till 2,5 mm/s RMS.

TABELL 5.1 REKOMMENDERADE NIVÅER ENLIGT SS 460 48 61 (RMS-VÄRDE)

	Vägd hastighet	Vägd Acceleration
Måttlig störning	0,4-1 mm/s	14,4-36 mm/s <sup>2</sup>
Sannolik störning	>1 mm/s	>36 mm/s <sup>2</sup>



FIGUR 5.2. RIKTVÄRDEN ENLIGT SS 460 4861. FREKVENSVÄGNINGEN ÄR IDENTISK MED EXV. ISO 2631.

### 5.1.3 Myndigheter

I Sverige sätts villkoren för bergtäkter/gruvor av Länsstyrelse alternativt Miljödomstol. Det finns i Sverige ingen enhetlig överenskommelse mellan olika länsstyrelser, eller ens inom en och samma, vilket leder till att värdena kan variera betydligt även inom ett och samma län. Reutmer (2006) tittar på tillämpningen av miljöbalken och tillståndsbedömningen i ett antal bergtäkter. Urvalet har begränsats till de svar som kom in vid ett allmänt utskick till landets länsstyrelser. Svar kom från Blekinge (K), Jämtland (Z), Jönköping (F), Kronoberg (G), Skåne (M), Södermanland (D), Värmland (S),

[Skriv text]



Västerbotten (AC), Västernorrland (Y), Västra Götaland (O) och Örebro (T) för sammanlagt 34 bergtäkter, se tabell 5.2.

TABELL 5.2 SAMMANSTÄLLNING AV VILLKOR FRÅN 34 ST TILLSTÅND FÖR BERGTÄKT (EFTER REUTMER, 2006)

Vibrationer	Begränsningsvärde	Antal villkor (av 34)	Antal Län (länsförkortning)
Riktvärde	4 mm/s	14	6 (K, Z, C, S, Y, O)
Rikt- och gränsvärde	2 och 4 mm/s	6	3 (F, M, D)
Rikt- och gränsvärde	4 och 6 mm/s	4	2 (F, D)
Riktvärde	3 mm/s	4	2 (U, T)
Riktvärde	2,5 mm/s	3	2 (M, AC)
Gränsvärde	4 mm/s	2	1 (G)
Riktvärde	2 mm/s	1	1 (K)

Luftstötståg	Begränsningsvärde	Antal villkor (av 31)	Antal Län
Riktvärde	100 Pa	20	8 (K, Z, D, C, S, U, O, T)
Rikt- och gränsvärde	200 Pa och 300 Pa	2	1 (F)
Rikt- och gränsvärde	60 Pa och 200 Pa	2	1 (AC)
Rikt- och gränsvärde	50 Pa och 150 Pa	2	2 (M, F)
Riktvärde	60 Pa	2	1 (Y)
Rikt- och gränsvärde	200 Pa och 250 Pa	1	1 (F)
Gränsvärde	100 Pa	1	1 (G)
Riktvärde	50 Pa	1	1 (M)
Saknar			3 (F, G, D)

\* Vid en fastighet gäller avvikande värde: 6 mm/s resp. 8 mm/s

Ett riktvärde i detta fall är ett värde som om det överskrids ska föranleda åtgärder för att undvika att värdet överskrids igen, om ett gränsvärde överskrids är det istället en brottslig handling. I ett nyligen fattat domstolsbeslut anges att begreppen rikt- och gränsvärde bör utmönstras och istället skall "begränsningsvärde" användas, Miljööverdomstolen: Mål nr M 1303-07. Vad detta innebär är dock osäkert.

Reutmer (2006) konstaterar ett par för den här rapporten viktiga punkter. Dels noterar hon vilka kriterier villkoren vilar på: *"När begränsningsvärdet för vibrationer skall fastställas är det vanligt att två kriterier beaktas. Det första är att det ej skall uppstå skador på fastigheter och installationer och det andra är att flertalet människor ej skall uppleva vibrationerna som störande. I de fall en motivering av villkoret har förekommit stadgas att begränsningsvärdet bör utgå från en hygienisk bedömning av komfortvärdet och inte enbart från risk för teknisk skada på fast egendom."* Vidare kommenterar Rutmer den stora variation som finns när det gäller vibrationsvillkor: *"I ett täktbeslut finns ett antal villkor som är allmänt förekommande oberoende av vilken prövningsmyndighet som handlagt ärendet. Ett av dessa är villkor för att begränsa störningar från buller. Naturvårdsverket har arbetat fram riktlinjer för externt industribuller som ligger till grund för flertalet av villkoren. Inom bergtäktsverksamhet förekommer det sprängningar som genererar vibrationer och luftstötståg. Villkoren i denna kategori är inte alls lika samstämmiga vilket kan te sig märkligt då det är vad människor i allmänhet uppfattar som störande som skall ligga till grund för inskränkningar. Hur vibrationer och luftstötståg påverkar människor borde rimligtvis inte variera länsvis."*

## 5.2 Storbritannien

### 5.2.1 Standard skada

I Storbritannien anges standard för att undvika skada på byggnader i: BS 7385 Part 2: Guide to Damage Levels from Groundbourne Vibration. Standarden är frekvensberoende och mätning utförs i tre riktningar på grundläggningsnivå.

TABELL 5.3. BS 7385 PART 2, GÄLLER FÖR SKADA PÅ BYGGNADER:

Typ	Byggnadstyp	Max komponenthastighet (PCPV)	
		4-15 Hz	>15 Hz
1	Förstärkta och armerade konstruktioner, industrier kommersiella byggnader	50 mm/s	50 mm/s
2	Bostäder och lättare kommersiella byggnader (ej förstärkta)	15 mm/s (4Hz) 20 mm/s (15Hz)	20 mm/s (15Hz) 50 mm/s (≥ 40 Hz)
- Mätning sker på grundmur (base of building) - Under 4 Hz (typ 2 ) gäller maximal förflyttning (a) på 0,6 mm - Tabellen gäller för kosmetisk skada (ex sprickor i puts), för så kallad mindre skada gäller det dubbla och för så kallad strukturell skada gäller fyra gånger högre vibrationsnivåer än tabellvärdet.			

### 5.2.2 Standard komfort

Storbritannien får anses ha kommit långt i dessa diskussioner. När det gäller komfort har man precis som i Sverige utgått från ISO-standarden ISO 2631-2 vilket delvis underlättar när vi jämför med svenska förhållanden.

För sprängning och komfortvärde gäller från och med 2008 en särskild standard, BS 6472:2, 2008 Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings (1Hz to 80Hz), part 2: Blast induced vibrations. Det är dock av intresse för diskussionen att redogöra även för den tidigare, BS 6472, 1992: Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings (1Hz to 80Hz)

TABELL 5.4 MULTIPLIKATIONSFAKTORER ENLIGT BS 6472, 1992, DESSA ÄR I PRINCIP SAMMA SOM I ISO 2631-2.

Plats	Tid	Kontinuerlig eller icke stationär	Impuls (upp till 3 händelser per dag)
Kritiska arbetsomr. exv. sjukhus, laboratorier	Dag	1	1
	Natt		
Bostäder	Dag	2 - 4	60 - 90
	Natt	1,4	20
Kontor	Dag	4	128
	Natt		128
Verkstad	Dag	8	128
	Natt		128

BS 6472, 1992, utgår från ett grundvärde som sedan multipliceras beroende på tid och verksamhet. Grundvärdet i BS 6472, 1992 är i huvudsak identiskt med ISO 2631-2,

1989. Till skillnad från ISO standarden innehåller den dock även toppvärden ( $v_{\max}$ ) vilka enklare tillämpas vid sprängning. Det kan även noteras att toppvärdet är direkt omräknat, dvs: RMS-värdet  $\cdot\sqrt{2}$ = toppvärde (se kap 3.3). Även om toppvärdet som sådant inte är inkluderat i ISO 2631-2, 1989 är metoden inkluderad i Bilaga B, B1: ”spetsmetod”.

TABELL 5.5 GÄLLER BÅDE BS 6472, 1992 OCH ISO 2631-2, 1989.

Multiplikationsfaktor	Frekvensviktad		
	Acceleration RMS ( $m/s^2$ )	Svängnings- hastighet RMS (mm/s)	Toppvärde $V_{\max}$ (mm/s)
1	0,005	0,10	0,14
2	0,007	0,14	0,20
4	0,02	0,4	0,56
8	0,04	0,8	1,13
20	0,10	2,0	2,82
60	0,30	6,0	8,46
90	0,45	9,0	12,69
128	0,64	12,8	18,05

Noteras bör att även för  $v_{\max}$ , gäller en frekvensvägning. Hur mycket/om värdet påverkas av detta är svårt att bedöma. Utifrån detta fås alltså ett tillåtet komfortvärde ( $v_{\max}$ ) vid sprängning på 8,5-12,7 mm/s (multiplikationsfaktor 60-90) dagtid samt 2,8 mm/s nattetid (multiplikationsfaktor 20) för upp till tre händelser per dag och mätt i bostadshus (villkoret har gällt för mätning inomhus men praktiskt tillämpats så att man mätt utomhus på husgrund så länge inget annat krävts av bostadsinnehavaren).

BS 6472, 1992, ersattes 2008 av BS 6472:2, 2008 Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz), part 2: Blast induced vibrations. Där behandlar man enbart sprängningsinducerade vibrationer och komfort, detta torde vara den enda standarden där man gör så. I den nya standarden så anger man mätvärden för utomhusmätning, se tabell 5.6.

TABELL 5.6 TILLÅTNA VIBRATIONSNIVÅER ENLIGT BS 6472:2, 2008.

Plats	Tid	Tillfredställande nivå PPV (mm/s)
Bostadshus	Dag <sup>D)</sup>	6.0-10.0 <sup>C)</sup>
	Natt <sup>D)</sup>	2.0
	Övriga tider <sup>D)</sup>	4.5
Kontor <sup>B)</sup>	Alltid	14.0
Verkstäder <sup>B)</sup>	Alltid	14.0

Gäller för max tre sprängningstillfällen per dag, annars skall värdet multipliceras med en reduktionsfaktor (som anges i standarden).

<sup>B)</sup> Arbetsområden med särskild känslighet ligger utanför denna standard

<sup>C)</sup> Variation av värdet kan användas beroende på kulturell och social acceptans, generellt sätts det lägre värdet men om omgivningen accepterar kan det höjas mot det högre.

<sup>D)</sup> dagtid= 08:00-18:00 måndag till fredag, Natt= 23:00-07:00 alla dagar, resten = övrig tid

I övergången från BS 6472, 1992 till BS 6472:2, 2008 har man alltså kompenserat för den förstärkning som kan ske inuti huset, man refererar här till en överföringsfaktor (se kap 4.6) på 1.3 som man menar är realistisk för hur vibrationerna förstärks mellan mark ute och golv inne, detta exemplifieras i tabell 5.7.

TABELL 5.7 JÄMFÖRELSE MELLAN BS 6472: 1992 OCH BS 6472:2 2008.

Plats	Tid	BS 6472: 1992	Värde från BS 6472, 1992 dividerat med 1.3	BS 6472:2 2008.
Bostadshus	Dag	8,5-12,7	6.5-9,8	6.0-10.0
	Natt	2.8	2.15	2.0
Kontor	Alltid	18	13.8	14.0
Verkstäder	Alltid	18	13.8	14.0

### 5.2.3 Myndigheter

I England verkar myndigheter oftast följa komfortstandarderna och sätta värden i paritet med vad som anges där. Motsvarande de tillåtna värden som myndigheterna i Sverige bestämmer, sätts i Storbritannien av lokala myndigheter som oftast lutar sig på ett dokument: "Mineral Planing Guidande Notes".

Normala krav brukar vara: PPV får ej överstiga 6 mm/s i 95% av fallen och aldrig vara över 12 mm/s. Mätningen skall utföras på vibrationskänslig byggnad, på eller nära husgrund. Maxvärdet av tre riktningar används (PCPV) om inte resultatet speciellt anges.

## 5.3 Tyskland

### 5.3.1 Standard skada

Den tyska standarden vid sprängning, DIN 4150-3 "Einwirkungen auf bauliche Anlagen", anger generellt lägre värden än många andra standarder. Siskind (2001) anger att han vid samtal fått bekräftat att orsaken till de låga värdena var att även komfort till viss del beaktats. Värden sätts enligt tabell 5.8 och gäller komponentmax (PCPV).

TABELL 5.8 DIN 4150-3

Linje **	Typ av konstruktion	Svängningshastighet (mm/s)			Golv översta våningen (Horisontellt) Samtliga frekvenser
		Grundläggningsnivå			
		Frekvensvillkor			
		1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz*	
1	Industri eller kommersiell byggnad	20	20-40	40-50	40
2	Bostadshus eller liknande	5	5-15	15-20	15
3	Särskilt känslig byggnad	3	3-8	8-10	8

\* Vid frekvenser över 100 Hz gäller minst värdet för 100 Hz

\*\* hänvisar till figur i DIN 4150-3

### 5.3.2 Standard komfort

Även om värdet sätts lågt i DIN 4150-3 finns även komfortvärden som beaktas i DIN-normen (4150-2).

Schillinger (2006) skriver: På senare tid har mänsklig störning blivit en viktig faktor vid sprängningsarbeten. Störning är helt skiljt från sprickbildning men trots detta påverkar det valet av gränsvärde. Av denna anledning har man i Tyskland utvecklat standarden för att åtgärda klagomål gällande sprängningsvibrationer. I hus som byggs som permanenta bostäder är märkbara vibrationer oönskade. Vibrationseffekter orsakade av sprängning påverkar inte bara människor direkt utan även som buller, föremål som synbart rör sig, objekt skallar, ljud i dörrar och fönster etc.

Enligt DIN 4150-2 beräknas ett tillåtet komfortvärde för varje individuell sprängning. Detta utförs genom att man beräknar det så kallade  $KB_{Fmax}$ -värdet. I detta värde vägs den uppmätta svängningshastigheten ihop med vibrationens frekvens och byggnadens resonansgenskaper enligt:

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{max}}{\sqrt{1+(f_0/f)^2}}$$

där  $V_{max} = PPV$  (mm/s)  
 $f =$  vibrations frekvens  
 $f_0 =$  referens frekvens (5,6 Hz)

$$KB_{Fmax} = KB \cdot C_F$$

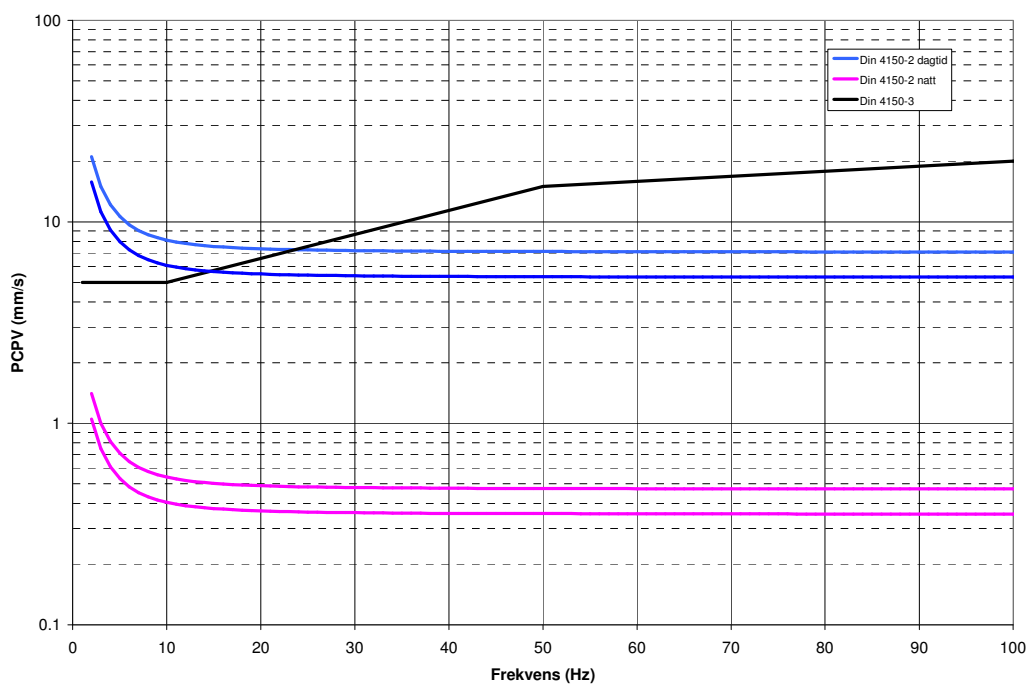
där  $C_F = 0.8$  med resonans  
 $C_F = 0.6$  utan resonans

[Skriv text]

$KB_{Fmax}$ -värdet jämförs sedan med det så kallade  $A_0$ -värdet (gäller för max 3 sprängningstillfällen per dag), se tabell 5.9. I praktiken innebär detta att tillåtna komfortvärden hamnar kring 5-6 mm/s för bostadshus under dagtid, nattetid sänks däremot värdena kraftigt, se figur 5.3.

TABELL 5.9  $A_0$ -VÄRDEN FRÅN DIN 4150-2, FÖRENKLAT EFTER SHILLINGER (2006).

Linje	Byggnad	Dag ( $A_0$ )	Natt ( $A_0$ )
1	Enbart kommersiella byggnader	6	0,6
2	Huvudsakligen kommersiella byggnader	6	0,4
3	Blandade	5	0,3
4	Huvudsakligen eller enbart bostäder	3	0,2
5	Särskilt känsliga områden	3	0,15



FIGUR 5.3 TILLÅTNA VÄRDEN VID BOSTADSHUS ENLIGT DIN 4150-2. BLÅ LINJER FÖR DAGTID ( $A_0=3$ ) RESP MAGENTA FÖR NATTID ( $A_0=0.2$ ). ÖVRE LINJEN INNEBÄR HUS UTAN RESONANSEFFEKT ( $C_F=0.6$ ) OCH UNDRE MED ( $C_F=0.8$ ). SVART LINJE REPRESENTERAR TILLÅTNA VÄRDEN PÅ BOSTADSHUS ENLIGT DIN 4150-3 (LINJE 2).

### 5.3.3 Myndigheter

I huvudsak följer myndigheterna standarden när det gäller villkor. Om det är särskilt många klagomål vid en bergtäkt kan det dock hända att ytterligare krav ställs. Särskilt i de fall där man vid flera tillfällen överskridit tillåtna värden kan ytterligare krav ställas som i praktiken tar ner vibrationsnivåerna till 2-3 mm/s. Detta görs exv. genom att sätta villkor på maximal samverkande laddningsmängd.

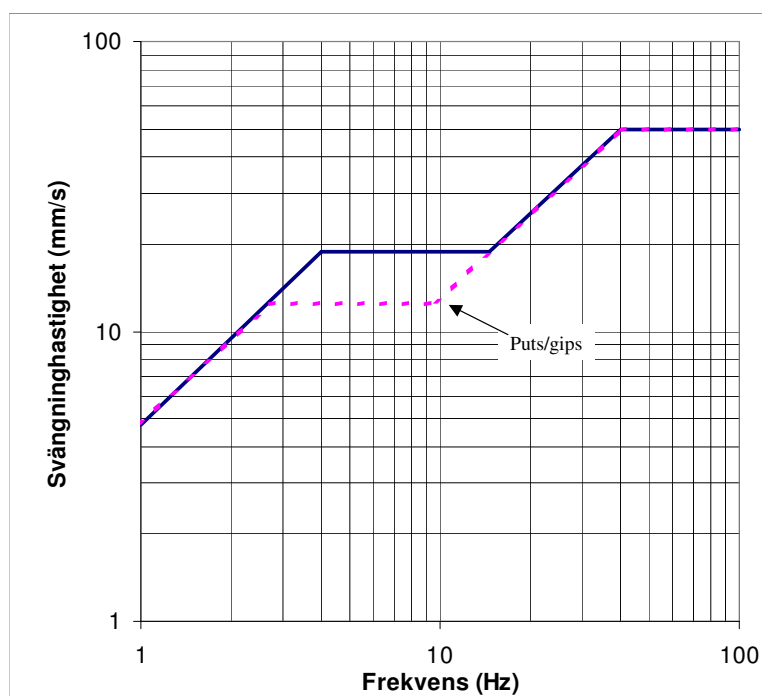
## 5.4 USA och Kanada

### 5.4.1 Standard skada

1980 sammanställde USBM (US Bureau of Mines), Siskind m fl (1980a) ett diagram för risk för skada på hus kontra svängningshastighet och frekvens. Detta är sannolikt fortfarande den enda stora sammanhängande analys som utförts. Denna analys gav upphov till ett diagram som idag används som en slags standard.

USBM RI 8507 är antagligen den enda ”standard” som vilar helt på ett skadekriterium. Medan de flesta andra standarder mer eller mindre väger in ”erfarenhetsvärden” och människors reaktioner på sprängningsinducerade vibrationer bygger USBM RI 8507 helt på en gränslinje mellan där skador kunnat konstateras och där skador aldrig kunnat säkerställas som beroende av sprängning.

Siskind m fl (1980a) utgick dels från egna undersökningar men sammanställde även resultat från många andra. Resultatet presenterades som ett frekvensberoende diagram, se figur 5.4, där nivåerna gäller ”threshold damage” dvs. en tröskelnivå där inga skador, inte ens av kosmetisk natur, påträffats vid värden under denna nivå.



FIGUR 5.4 TILLÅTEN SVÄNGNINGSHASTIGHET EFTER USBM RI 8507.

OSM (Office of Surface mining) har tagit upp resultaten från RI 8507 för sina rekommendationer, OSM 30 CFR 186.67(d). OSM har dock tagit bort linjen för gips/puts och rekommenderar alltså 19 mm/s (0.75 inch/s) ner till 4 Hz, se figur 5.3. Som alternativ har också OSM en avståndsberoende tabell, se tabell 5.10. Även här används komponenthastighet (PCPV).

TABELL 5.10. TILLÅTNA SVÄNGNINGSHASTIGHETER ENLIGT OSM 30 CFR 186.67(D).

Avstånd till sprängning	Max tillåten svängningshastighet ( $v_{\max}$ )
0-100 m	31 mm/s
100-1500 m	25 mm/s
>1500 m	19 mm/s

### 5.4.2 Standard komfort

Varken i USA eller Kanada verkar man tillämpa någon komfortstandard på sprängningsinducerade vibrationer. För generell komfort finns ANSI S3.18, American National Standard Institute som verkar vara identisk med ISO 2631. Denna tillämpas dock inte på sprängning.

### 5.4.3 Myndigheter

Här förekommer många lokala bestämmelser, men man går huvudsakligen på skadekriteriet och inte på komfort i första hand.

Schneider (2001) visar att flertalet av stater i USA på något sätt följer USBM RI 8507. Vissa följer den helt medan vissa tolkar den så att man sätter det lägsta villkoret rakt över d.v.s. max 12,5 mm/s. Orsaken att det lägsta värdet i diagrammet används kan dock tolkas som en eftergift till klagomål vilket indirekt innebär ett komfortvärde. Schneider menar dock att med undantag för den Brittiska standarden finns det inget komfortvärde som har någon förklaring eller vetenskaplig motivering. I Kanada sätts liknande villkor som i USA dvs man följer oftast USBM RI 8507 på ett eller annat sätt (se Grogan, 2005).

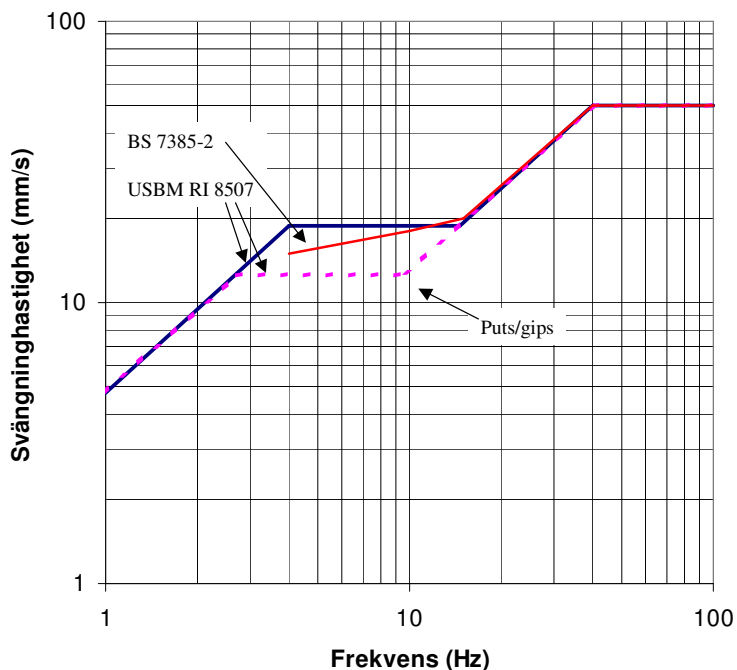
Det skall dock noteras att villkoren varierar mycket och detta är på intet sätt en heltäckande redogörelse, exempelvis anger Yang m fl (2009) att man hade 85 mm/s vid stadsgränsen som villkor. Särskilt hårda villkor sätts ofta på historiska byggnader, sjukhus etc. ISSE, Blast Vibration & Seismograph section, listar på sin webbsida, <https://www.isee.org/sections/VibrSectionDatabase.pdf>, länkar för vibrationsvillkor hos ett stort antal stater och lokala myndigheter i USA.

## 5.5 Australien

### 5.5.1 Standard Skada

AS 2187.2 2006 anger tillåtna värden för Australien. När det gäller skada på byggnader kopierar man både BS 7385-2 och USBM RI 8507. Orsaken till att detta låter sig göras är att dessa två är väldigt lika. I figur 5.5 har båda kurvorna plottats tillsammans.





FIGUR 5.5 JÄMFÖRELSE BS 7385-2 OCH USBM RI 8507.

### 5.5.2 Standard komfort

Standard saknas gällande sprängningsinducerade vibrationer och komfort. För generella komfortvibrationer gällande människa i byggnad refereras till AS 2670.2, ISO 2631-2 och BS 6472.

### 5.5.3 Myndigheter

Australian Environmental Council guideline: villkoren är 5 mm/s PPV (får överträdas vid 5% av tillfällena dock aldrig över 10 mm/s), mätning utförs i mark nära byggnad. Bakgrunden till villkoret är att minimera störning hos närboende, skolor och arbetsplatser. Spathis och Brodbeck (2005) har gått igenom myndighetskrav i Australien och det visade sig att varje delstat har egna regler. Dock rapporterar författarna 5 mm/s (PPV) och 115 dBL som typiska värden. Variationen är dock stor, oftast finns enbart ett gränsvärde och inget frekvens eller avståndsberoende, undantaget är Queensland med 25 mm/s över 35 Hz, 10 mm/s under. Flera delstater tillåter också högre värden "ibland" exv. alla värden skall vara under 10 mm/s och 95% av alla värden skall vara under 5 mm/s (New South Wales, Victoria). Noteras kan att värdena är relaterade till störning och inte till skada, undantaget är Queensland som höjer tillåtet värde vid högre frekvenser (människan är ju till skillnad från hus känsligare för höga frekvenser).

## 6 Sammanfattning och analys av litteraturstudien

Även om det är svårt att överföra vissa undersökningar till svenska förhållanden är vissa saker tydliga. Framförallt kan man konstatera att upplevelsen av vibrationen är i allra högsta grad subjektiv. Människors förväntningar, åsikter, förutsättningar, kunskaper mm spelar alla en mycket stor roll huruvida en vibration anses som störande eller inte.

Människan kan alltså vara mycket känslig för vibrationer. Tyvärr är människan inte lika känslig för *vibrationens storlek*. Att känna om en vibration är skadlig för en byggnad eller inte är tyvärr nästan omöjligt för oss människor. En sak som inte kommer som en stor nyhet är betydelsen av information och kunskap, vet och kan man saker om sprängning eller helt enkelt bara är van så reagerar man mindre och oron blir också mindre. Samma sak gäller skrämseffekten, denna, en av de viktigaste orsakerna till störning, skulle lätt kunna undvikas om man förvarnar de som vill bli förvarnade så att de känner till när vibrationen ska komma. Något som tydligt visat sig i litteraturstudien är också att människor mycket sällan blir störda i konventionell bemärkelse. I de intervjuer som gjorts blir människor antingen skrämda/övertäckade eller så oroar man sig för skada på egendom.

Något man kan notera är att uppfattningen av vad som är acceptabla nivåer varierar kraftigt. Variationen på kännbarhetsnivån mellan olika undersökningar är relativt liten och verkar i huvudsak bero på om det är ett medelvärde eller om det är känsligaste individen man beaktar. Vad som är störande varierar dock kraftigt, i många texter verkar nivåer strax över 10 mm/s att vara acceptabelt, här lägger man sig på en nivå kring vad som är tydligt-starkt märkbart, alltså filosofin är att sprängningen får märkas men den skall inte vara fysiskt obehaglig, inte heller får det finnas någon risk för skada.

Den andra inriktningen verkar vara att sprängningen skall märkas så lite som möjligt, dvs att om vibrationen känns så innebär detta en störning som bör undvikas. Här uppkommer då problemet att kännbarhetsgränsen ligger under 0.5 mm/s och så låga värden är omöjliga att sätta ur ett samhällspolitiskt perspektiv vilket av nödvändighet ger upphov till en kompromiss. Man kan konstatera att även om det varierar kraftigt vad som anses störande har man både i Storbritannien och Tyskland kommit fram till att man tillåter ett toppvärde på ca 6 mm/s dagtid mätt i husgrund om man skall betrakta mänsklig komfort. Båda verkar ha utgått från ISO 2631-2 (som även gäller i Sverige) men därifrån tagit sig fram på mycket skilda sätt.

Man kan även notera att skaller i huset, ”rattling” eller hörbara vibrationer är ett fenomen som många anger som orsaker till klagomål och som sällan mäts eller kvantifieras. Här finns dock mycket lite undersökningar och om man jämför kapitel 4.7 och 4.10 finns det t.o.m. osäkerheter gällande vad som orsakar fenomenen.

Vad man också kan se är att även om tillåtna vibrationsgränser sätts till 12,5 mm/s (vanligt i Nordamerika), 5 - 6 mm/s (Storbritannien och Tyskland) eller 2 mm/s så verkar inte omfattningen av klagomål ändra sig i paritet. En mycket stor del av problemet verkar handla om andra orsaker.

## 7 Diskussion

### 7.1 Nuläget - problemet

Det finns vissa problem med att tillämpa den svenska komfortstandarden på bergtäkter och gruvor. Framförallt vet ingen vilka konsekvenser det skulle få. Vilken överföringsfaktor finns mellan inkommande vibration i husgrunden och inomhus ?

En förutsättning för att sätta ett villkor är ju att det ska vara möjligt att förutsäga om man kan klara det eller inte. Det är inte acceptabelt att man skall vara tvungen att påbörja produktionen för att veta om en täkt/gruva är möjlig att driva.

Ett villkor bör också vara möjligt att kontrollera genom mätning på husets utsida. Endast i undantagsfall bör mätning av vibrationer ske inne i husen, annars uppstår en situation där störningen av vibrationsmätningen kommer att upplevas som större än den från sprängningen.

Om man jämför de villkor som satts i enlighet med SS 460 4861 av myndigheter i Sverige, 2,5 mm/s RMS, med Brittisk eller internationell standard kan man se följande: Enlig ISO 2631-2 kan ett RMS-värde direkt översättas till toppvärde. 2,5 mm/s RMS översätts då till ett toppvärde på 3,5 mm/s. Detta kan jämföras med att ISO 2631-2 (den standard som SS 460 4861 är skapad från) anger 8,5 - 12,7 mm/s för "momentana händelser". I både Tyskland och Storbritannien har man kommit fram till att omkring 6 mm/s toppvärde på husets utsida motsvarar 8,5 mm/s inomhus som komfortstandarden anger.

Orsaken till de stora skillnaderna mellan toppvärde och RMS-värde som mätts upp av Bergström (2003 & 2008), se kap 4.6.1, är till stor del att RMS-värdet vägs på så lång tid att jämförelsen blir i princip omöjlig. Med en kortare vägningstid eller ännu hellre en toppvärdesmätning även för komfortvärdet blir jämförelsen plötsligt möjlig.

Om man ställer krav på hur stor vibrationen får vara inne i huset, bör man även ställa krav på själva huset, ett felkonstruerat golv etc. kan ju annars helt omöjliggöra sprängningsverksamhet i dess närhet.

### 7.2 Frågor att diskutera

Är en standard avseende komfortvibrationer och sprängning en bra ide, eller är det viktigare att få igång en kommunikation mellan myndigheter och industri för att försöka nå samförstånd ? En standard är ju av marginellt värde, när det är myndigheter som sätter tillåtna nivåer, om inte myndigheten står bakom standarden. När det gäller buller har de riktvärden som Naturvårdsverket tagit fram tillämpats på ett tämligen likartat sätt av exv. olika länsstyrelser. Så vitt vi vet har dessa riktvärden, från Naturvårdsverket, inte alls ifrågasatts i samma omfattning som de vibrationsvillkor som satts i olika delar av landet.

En annan viktig jämförelse med buller är hur buller mäts. Buller mäts inte inuti huset utan på utsidan, sedan har man bestämt vad dämpning av fönster och väggar innebär. Detta är naturligtvis en ansats som kan göras med komfortvibrationer också. Detta görs ju idag med annan vibrationsmätning (enligt SS 460 48 66), dvs man mäter inte inkommande vibration i grundmur därför att det är störst risk för skada där utan därför att man har kunnat mäta upp ett samband mellan inkommande vibration (i husgrund) och skada på andra platser i huset.

Det kan även påpekas att i vissa fall mäts buller inte alls utan man stödjer sig helt på utförda beräkningar.

När det gäller buller sätts även villkoren olika för ny verksamhet och pågående verksamhet. Det är skillnad på en verksamhet som funnits under lång tid och då redan påverkat omgivningen sedan länge och att starta upp en ny som då så att säga ökar belastningen i kanske ett, sedan tidigare, tyst område. Detta är också något man borde reflektera över när det gäller vibrationsnivåer.

I dag ligger frågan lite och ”flyter”, det finns ingen direkt uppfattning från myndighets-håll utan hårdare krav sätts huvudsakligen utifrån de närboendes klagomål.

Filtrering är inte heller enkelt. I komfortstandarden filtreras låga frekvenser så att de får mindre betydelse eftersom människan är mindre känslig för dessa frekvenser, samtidigt ger husen mer respons vid låga frekvenser som i sin tur påverkar människan mer än inkommande höga frekvenser. Skall man mäta komfort i husgrund bör man sannolikt inte filtrera signalen på detta sätt.

Information är av mycket stor betydelse för hur man reagerar på vibrationer och naturligtvis gruv- och täktverksamhet generellt. Kanske är det en ide att ställa krav på omfattningen av information i tillståndsgivningen till gruva/bergtäkt istället för att fokusera på rikt- och gränsvärden? Eller kanske en kombination av dessa åtgärder, dvs. att vissa värden tillåts under förutsättning att en viss informationsinsats utförts.

Det är viktigt att komma ihåg att när man sätter ett visst krav så är det inte alltid säkert att man uppnår det man vill. I dag sätter vi kravet på max tillåten svängningshastighet i husgrund vid mätning för teknisk skada. Orsaken till detta är att vi antar att det finns en korrelation mellan denna hastighet och risken för skada på hus. Om vi vill minska svängningshastigheten och samtidigt behålla de laddningar vi använder är lösningen (ofta) att öka antalet intervaller, alternativt öka intervalltiden mellan detonationerna i sprängsalvan. Tyvärr kommer detta att förlänga tiden för vibrationen och på så sätt öka störningsmomentet, vilket innebär att vi kanske minskar påfrestningen på huset men samtidigt får fler klagomål. Ett annat alternativ kan vara att spränga mindre salvor, eller i vart fall salvor med lägre pallhöjd. Följden av detta, förutom de negativa ekonomiska konsekvenserna, är att störningstillfällena då ökar i antal.

### **7.3 Rekommendationer komfortvibrationer – sprängning**

De villkor som omgärdar verksamheter som gruvor och bergtäkter och som anges i tillståndet för verksamheten måste vara satta så att exploatören har en möjlighet att kunna förutse om man klarar dessa villkor, alternativt vilka åtgärder som behöver vidtas för att göra detta.

Efter att ha tagit del av ett flertal utredningar, mätningar och analyser från såväl andra länder som från Sverige kan konstateras att om villkor för vibrationer skall definieras så att de gäller inomhus, så kommer exploatören inte att ha någon reell möjlighet att vare sig förutse vilka värden som kommer att kunna uppmätas eller på något adekvat sätt vidta åtgärder som med säkerhet sänker värdena inomhus. Med detta som grund är vår rekommendation att det fortsatta arbetet med dessa frågor inriktas på att hitta en tillfredsställande metod och lämpliga gränsvärden som gäller mätning utomhus på sockel.

Vidare anser vi att faktorer som bör tas i beaktande vid ett ev. arbete med att hitta lämplig mätmetod samt gränsvärden bl.a. är:

- Hur ofta man spränger
- Är det ett nytt område som påverkas eller har sprängning pågått där sedan tidigare, ortsvanlighet
- Vardagar, helgdagar
- Vilken tid på dygnet
- Typ av byggnad, normalt bostadshus, känslig vårdinrättning etc
- Andra länders erfarenheter och lösningar
- Mätningen/kontrollen ska vara förhållandevis enkel och billig
- Information till de närboende
- Vibrationens varaktighet, salvlängd
- Typ av sprängning, ovan-/underjord

Vi anser att myndigheterna bör lägga mer vikt på informationsdelen vid villkors-skrivningen istället för att, som i de flesta fall, fokusera på rikt- och gränsvärden. I vissa fall som exempelvis bergtäkter där det sprängs relativt sällan, kanske 1-2 gånger per år, och väldigt få människor och/eller byggnader berörs är vår bedömning att om exploatören kan säkerställa att alla närboende, som vill, är informerade om när vibrationen kommer så är storleken av densamma av underordnad betydelse så länge skada på byggnad inte uppstår.

## Referenser

- Australian Standard, AS 2187.2 2006, Explosives—Storage and use Part 2: Use of explosives. Standards Australia GPO, 127 sid.
- Bergström O., 2008: Kommentarer avseende vibrationsmätningar i samband med bergtäktsverksamhet, Västansjö 1:6, i Vilhelmina kommun. Nitro Consult, BeO/7562.
- Bergström O., 2003: Vibrationsmätningar avseende komfort, Poitakvägen 3 C, Malmberget. Nitro Consult BeO/7016.
- Birch W.J., Pegden M., Hosein S., Rangel-Sharp G.D., Farnfield R., 2007: The Acoustic Response of Structures to Blast-Induced Ground Vibration: Fact or Fiction. ISEE Proceedings 2007 General Proceedings Collection, Volume 2.
- Borsky P.N., 1965: Community reaction to Sonic Booms in The Oklahoma City Area. Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, 302 sid.
- Brinkman J.R., 1987: The control of ground vibration from colliery blasting during the undermining of residential areas. J. S. Afr. Inst. Min. Metall., Vol 87 (2), sid 53-61.
- British Standard, BS 6472, 1992: Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz), British Standards Institution, 16 sid.
- British Standard, BS 6472:2, 2008 Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz), part 2: Blast induced vibrations. British Standards Institution, 18 sid .
- British Standard, BS 7385:1, 1990: Evaluation an measurement for vibrations in buildings. Part 1: Guide for measurement and evaluation of their effects on buildings. Pub. British Standards Institution 18 sid.
- British Standard, BS 7385:2, 1993: Evaluation and Measurement for Vibration in Buildings. Part 2: Guide to Damage Levels from Groundbourne Vibration. Pub. British Standards Institution.
- Brook C., Farnfield R.A. and Birch W.J., 1988: Opencast blasting and the environment. The Mining Engineer inc. Trans. Inst. Mining Eng., Vol. 148, sid 253-258, December 1988.
- Deutsche Norm, DIN 4150-1, 2001:, Erschütterungen im Bauwesen Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen. DIN, Deutsches Institut für Normung, Berlin, 40 sid.

- Deutsche Norm, DIN 4150-2, 1999; Erschütterungen im Bauwesen Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. DIN, Deutsches Institut für Normung, Berlin, 21 sid.
- Deutsche Norm, DIN 4150-3, 1999; Erschütterungen im Bauwesen Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. DIN, Deutsches Institut für Normung, Berlin, 12 sid.
- Dowding C., 1985: Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall., Englewood Cliffs, NJ 07632, 297 sid.
- Eltschlager, K. K., 2002: Blasting-Related Citizen Complaints in Kentucky, Report: West Virginia, Virginia and Tennessee Office of Surface Mining, Appalachian Regional Coordinating Center, 14 sid.
- Eltschlager, K. K., 2001: Regulatory Review of Blasting Related Citizen Complaints. ISEE Proceedings 2001 General Proceedings Collection - Volume I.
- EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.
- Environment Council, 1990: Technical basis for guidelines to minimize annoyance due to blasting overpressure and ground vibration. Australian and New Zealand Environment Council.
- Farnfield R., 2005. Regulatory Control of Blast Vibration Levels In the UK, ISEE Proceedings 2005 Volume II General Proceedings Collection.
- Foster, G.A. 1981. Structural response and human response to blasting vibration effects. General Proceedings of Annual Conference on Explosives and Blasting Research, Explosives Reference Database on CD-ROM, International Society of Explosives Engineers, Ohio, USA.
- Giacomelli C., 1986: Vibrationsstörningar i bostäder: En litteraturstudie om gränsvärden och mätmetoder. Teknisk rapport 1986:31, Statens Provningsanstalt, Borås 49 sid.
- Goldman DE (1948) A review of subjective responses of vibrating motion of the human body in the frequency range, 1 to 70 cycles per second. Naval Med Res Inst Proj NM 004001, Rept. 1, sid 17.
- Griffin M.J., 1990: Handbook of human vibration Elsevier Academic Press, London, 998 sid.
- Grogan A. M., 2005: Canadian Vibration and Aiblast Regulations. ISEE Proceedings 2005 Volume II General Proceedings Collection.

Higgins T.H., Carpenter L.K., 1973: A Potential Design Window for Supersonic Over-flight Based on the Perceived level and Glass Damage Probability of Sonic booms. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Rept. FAA-RD-73-116, 25 sid.

ISSE (2009) International Society of Explosives Engineers. Blast Vibrations and Seismograph Sections: Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs. <http://www.isee.org/FPvibrationsection.htm>

ISO 2631-2: 1989 Utvärdering av mänsklig exponering till helkroppsvibration. Del II kontinuerliga och stötinducerade vibrationer i byggnader (1-80 Hz).

Kryter K.D., 1966: Definition Study of The Effects of Boos from the SST on Structures, People and Animals. Nat. Sonic Boom Evaluation Office, Washington D.C. 76 sid.

Jones & Stokes 2004: Transportation- and Construction-Induced Vibration Guidance Manual California Department of Transportation Environmental Program Environmental Engineering Noise, Vibration, and Hazardous Waste Management Office, 30 sid.

Jenkins J. E., 1956: Human Response to Industrial Blasting Vibrations, Mining Engineering, Transactions AIME Vol. VIII, sid 535-538.

Kamperman G. W., 1980: Human response to blasting noise and vibration, Inter-Noise 80, Miami, sid. 979-984.

Kamperman G., Nicholson M.A., 1977: The transfer function of quarry blast noise and vibration into typical residence structures. Kamperman associates inc, Final report to the Environmental protection agency Washington DC., EPA 550/9-77-351, February 1977 43sid., National Technical information service Springfield Va, PB 288 892.

Kuzu C., Guclu, E., 2009: 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, v 24, n 1, January, 2009, sid. 53-61.

Lusk B., Worsey P., 2005: Public Perception Of Blasting at Rock Quarries in Expanding Urban Environments- St. Charles County, MO. ISEE Proceedings 2005 Volume II General Proceedings Collection.

Lusk B. T., (2006): An Analysis and Policy Implications of Comfort Levels of Diverse Constituents with Reported Units for Blast Vibrations and Limits: Closing the Communication Gap (Ph. D. Thesis University of Missouri-Rolla), 153 sid.

Miljööverdomstolen, Svea Hovrätt, 2009: Mål nr M 1303-07



Murray, P. D. 1978: Dynamic Properties of Residential Structures, Subjected to Blasting Vibrations. M.S. Thesis, Dept. Civil Eng., Northwestern Univ., Evanston, sid sid.

Odebrant T., 2007: Litteraturöversikt från infrastruktur, täkter och övriga miljöfarliga verksamheter. Naturvårdsverket rapport 5730, 22 sid.

OSM Blasting Performance Standards, 30 Code of Federal Regulations, Sec. 816.61 Use of explosives: General requirements. EFFECTIVE DATE: 06/30/86.

Power d., 1966: A survey of complaints of seismic related damage to surface structures following the Salmon Underground Nuclear Detonation. Bull of Seis. Soc. Of America, v 56(6), sid 1413-1428

Raina, A.K. Haldar, A.; Chakraborty, A.K.; Choudhury, P.B.; Ramulu, M.; Bandyopadhyay, C, 2004: Human response to blast induced vibration and air-overpressure: An Indian Scenario. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v 63, n 3, sid 209-214.

Rathbone, T.C.1963. Human Sensitivity to product vibration. Product Engineering, Aug.5, sid.73-77.

Reiher, H., and F. J. Meister. 1931. The effects of vibration on people. Forshung auf dem Gebeite der Ingenieurwesens 2(2).

Rudenko D., 2007: Blasting plan and Impact Analysis, Liberty Quarry, Country Riverside, California. Vibra-Tech Engineers Inc, 21 sid.

Rudenko D., 2002: An Analytical Approach for Diagnosing and Solving Blasting Complaints, Proceedings of the Twenty Eight Annual Conference on Explosives and Blasting Technique (28th : February 10-13, 2002: Las Vegas, Nevada, USA): 2 vols sid.393-406.

Reutmer M., 2006: Täkter, uppsats. Tillämpade studier i miljö rätt, 20 poäng. Juridiska institutionen, Handelshögskolan, Göteborgs Universitet 69 sid.

Schillinger R., 2006: State of Human Annoyance at Blasting Works in Accordance with Environment Conditions Under Inclusion of Standards. ISEE Proceedings 2006 Volume II General Proceedings Collection

Schneider L. C., 2001: A Survey of Blasting Vibration Regulations, Fragblast, Volume 5, Issue 3, sid 133 – 156., När det gäller USA finns en mer uppdaterad länksamling på: <https://www.isee.org/sections/VibrSectionDatabase.pdf>

Schomer P. D., 1977a: Human response to vibrations caused by sonic booms or air blast. J. Acoust. Soc. Am 64(1), sid 328-330.

Schomer P. D., 1977b: Evaluation of C-weighted  $L_{dn}$  for assessment of impulse Noise. J. Acoustics Soc. Am 64(6), sid 1627-1632.

Singh P.K., Klemenz M., Niemann-Delius C., 2005: Air Overpressure, airblast generation propagation and prediction. Quarry Management, February issue sid 21-31.

Siskind D.E. , 2000. Vibrations from Blasting, International Society of Explosives Engineers, 117 sid.

Siskind D.E., Stagg M.S., 1985, Blast Vibration Measurements Near and On Structure Foundations, U.S. Bureau of Mines - RI-8969, 20 sid.

Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J. P., Dowding C.H., 1980a: Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, US Bureau of Mines, Report of Investigation RI 8507. 74 sid.

Siskind D.E., Stachura V. J., Stagg M.S., Kopp J. P., 1980b: Structure response and damage produced by airblast from surface mining, US Bureau of Mines, Report of Investigation RI 8485. 111 sid.

Spathis A.T., Brodbeck A., 2005, Future directions in ground vibration and airblast control within an Australian regulatory context. ISEE Proceedings 2005 Volume II General Proceedings Collection.

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

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

Svensk Standard SS IEC 651, 1986: Sound level meters

van Gierke H.E., 1977: Guidelines for Preparing Environmental Impact Statements of Noise. Rept. Of Working Group 69 on evaluation of Environmental Impact of Noise. Nat Res Council, Nat Acad Sci, Washington D C, 144 sid.

Wiss.1968. Effect of blasting vibrations on building and people, Civil Engineering, ASCE, July, sid. 46-48.

Wiss and Paramelee .1974. Human perception of transient vibrations, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 100, no. ST4, April, p. 773-787.

Yang R., Norm. I., Patterson J. Scovira1 D.S., 2009 An integrated approach of signature hole vibration monitoring and modeling for quarry vibration control, Fragblast 9, Grenada Spain, September 2009.

Åhrlin U., Björkman M., Rylander R., 1983: Olägenheter från bergtäkt i Lived. Göteborgs Universitet, Institutionen för hygien, rapport 2/84, 15 sid.