




STOMLJUD

Beskrivning och genomgång av riktvärden
för spår- och vägburen trafik

Rapport	
2015-11-17	Littera: 10186107
Upprättad av: Tomas Jerson	
Granskad av: Johan Scheuer	
Godkänd av: Tomas Jerson	

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

STOMLJUD

Beskrivning och genomgång av riktvärden för spår- och vägburen trafik

KUND

Trafikverket
Karin Blidberg
781 89 Borlänge

KONSULT

WSP Sverige AB
Box 13033
402 51 Göteborg
Besök: Ullevigatan 19
Tel: +46 10 7225000
Fax: +46 10 7227420
WSP Sverige AB
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
www.wspgroup.se

KONTAKTPERSON

Tomas Jerson
Projektledare WSP-Akustik och vibrationer


tomas.jerson@wspgroup.se

Telefon: 010-722 71 21
Mobil: 070-972 42 09

WSP Environmental - Akustik


Besök: Ullevigatan 19

Adress: Box 13033
402 51 Göteborg
Växel: 010-722 50 00
Org nr: 556057-48 80


Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

INNEHÅLL

1	Sammanfattning	5
2	Bakgrund	5
3	Syfte	6
4	Stomljud alstring, spridning och påverkan	6
4.1	Källan - fordon	6
4.2	Påverkan av slitage	6
4.3	Överföring från vibrationer till stomljud	7
4.4	Mottagare - byggnader	7
4.5	Stomljudens påverkan på människan	8
5	Överföringsvägar	10
5.1	Stomljud och markvibrationer	10
5.2	Skillnad mellan stomljud och luftburet ljud	12
6	Frekvensspektrum och ljudkaraktärer	13
6.1	Stomljudsspektrum med olika frekvensvägning	13
6.2	Ljudkaraktär från luft- och stomljud	14
7	Transienter och tidsvägning	15
7.1	Transienta stomljud	15
7.2	Stomljud tidsvägt Slow eller Fast	16
8	Hur bör stomljud mätas?	17
8.1	Frekvensvägning med A- och C-filter	17
8.2	Maximal och ekvivalent ljudnivå	17
8.3	Tersbandsfiltrering	18
9	Riktvärden för stomljud från spårburna fordon, nationellt	18
9.1	Tåg och spårvagnar	18
9.2	Riktvärde för stomljud från tunnelbanetåg	19
10	Riktvärden för stomljud från spårburna fordon, internationellt	19
10.1	Schweiz	20
10.2	Österrike	20
10.3	Storbritannien	22
10.4	USA	22
10.5	Tyskland	23
10.6	Norge	23
10.7	Finland	24
11	Jämförelse mellan riktvärden för stomljud och luftljud i olika länder	24

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

12	Slutsats	25
13	Referenser	27

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

1 Sammanfattning

Genomgången av tillgängliga rapporter samt sammanställningen av länder som har riktvärden för stomljud visar på begränsningar i kunskapsunderlaget. Det kan därför vara önskvärt med vidare fördjupning i form av forskning kring störning och påverkan vid exponering för stomljud. Utgående från rapportens material samt egna erfarenheter av buller inomhus från spår- och vägburen trafik är dock min bedömning att lämpliga riktvärden för stomljud är maximal A-vägd ljudnivå, L_{pAFmax} 35 dBA och ekvivalent A-vägd ljudnivå, L_{pAeq} 30 dBA. Riktvärdena behöver kopplas till mät- och beräkningsmetoder.


Mätning av L_{pAFmax} bör omfatta minst 5 mätningar av den mest bullriga fordonstypen och den ekvivalenta ljudnivån bör avse ljudnivån under ett trafikårsmedeldygn (ÅDT). Maximala ljudnivåer bör relateras till antalet bullerhändelser nattetid. Tidsvägning F (fast) rekommenderas istället för S (slow) vid mätning av maximalnivå. Mätningar har visat att riktvärdet för maximal stomljuds nivå L_{pAFmax} 35 dBA motsvarar ca L_{pASmax} 33 dBA. I de fall där uppmätta stomljuds nivåer är höga och uppenbar risk för störning föreligger så är det motiverat med uppföljande frekvensanalyser för att erhålla ett mer detaljerat underlag och om möjligt kunna föreslå reducerande åtgärder.

I rapporten så redovisas projektspecifika riktvärden för stomljud som förekommit i ett antal svenska projekt, bl.a. Citytunneln i Malmö, Chalmerstunneln i Göteborg samt Arlandabanan och tunnelbanan i Stockholm. Samtliga projektspecifika riktvärden var maximalnivåer. Därefter så presenteras en sammanställning av internationella rikt-/gränsvärden eller praxis för stomljud och vissa fall även luftljud. Angivna maximalnivåer ligger i området 30 – 40 dBA och ekvivalentnivåer finns i området 20 – 30 dBA.

2 Bakgrund

Det har uppmärksammats att det finns behov av ett mer aktivt samarbete mellan olika myndigheter när det gäller stomljud från trafik. Nationella riktlinjer för stomljud har saknats helt och har tagits fram för varje nytt projekt inom Trafikverket. Den nationella bullersamordningen har därför gett WSP i uppdrag att sammanställa ett vetenskapligt underlag som underlag för framtida vägledning. Redovisningen är dock en fristående rapport och konsulten står bakom de fakta och de slutsatser som dras i rapporten.

Under årens lopp så har det blivit allt vanligare att förlägga delar av spårbusen trafik i tunnlar och detta gäller inte minst under tätorter. Ett exempel på en modern tågtunnel är Citytunneln under centrala delar av Malmö. Det pågående tunnelbygget under centrala Stockholm (Getingmidjan) och den planerade tågtunneln under Varberg är ytterligare exempel på tunnelbyggen under befolkningstäta områden. Det är sedan länge känt att spårbusen trafik i tunnlar kan medföra stomljudsstörningar i byggnader som ligger i tunnlar-nas närhet. Stomljud kan även överföras från spårbusens fordon som färdas ovan jord. I dessa fall så kombineras stomljudet ofta med luftburet ljud som

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

kommer in via byggnaders fasader. Vanligen så domineras i dessa fall ljudnivån inomhus av bidraget från luftburet ljud.

Vägtrafik kan även förorsaka stomljudsstörningar, denna förekomst är sannolikt vanligast i tätorter där avstånden mellan vägbanor och fastigheter är korta. Stomljudsöverföringen från fordonspassager riskerar att ske om styva konstruktionsdetaljer som t.ex. balkar, betongplattor har obruten kontakt mellan vägbana och närliggande byggnader. I denna rapport så är fokus lagt på spårburen trafik som också utgör den vanligaste anledningen till klagomål på störande stomljud i boendemiljöer.

Det har utvecklats allt bättre metoder för att reducera överföring av stomljud. Risken för att stomljudsstörningar skall uppkomma har därför minskats då nya tunnlar anläggs. Att åtgärda befintliga tunnlar eller intilliggande bostäder med avseende på stomljud är mer komplicerat och betydligt kostsammare. Åtgärder i efterhand skulle dessutom påverka trafikeringen under ombyggnadstiden, vilken antas bli lång.

3 Syfte

Syftet med rapporten är att utgöra en kunskapsammanställning om stomljud från spår- och vägtrafik och dess påverkan i boendemiljöer. Sammanställningen skall tjäna som underlag för vägledning genom exempelvis förslag till nationella riktvärden för stomljud från trafik till boendemiljöer.

4 Stomljud alstring, spridning och påverkan


4.1 Källan - fordon

Stomljud, markvibrationer och luftljud kan uppkomma från såväl spårburna som vägfordon i rörelse. Fordonens hastighet och totala vikt är viktiga parametrar vid såväl stom- och markvibrationsalstring men uppkomsten är mer komplex. Genereringen från spårburna fordon påverkas även av fordonens ofjädrade massor, boggiernas uppbyggnad, hjulens konstruktion och slitage, rälsens vikt och slitage, typ av rälbefästning och pads, sliperstyp, ballast och underballast, se ref 8.

Då ett spårburet fordon är i rörelse uppstår initialt vibrationer i hjul och räl. Även ett nytt hjul eller ny räl har små ojämnheter som vid dess kontakt under färden skapar vibrationer. Vibrationerna sätter hjulet och rälens i svängning och rörelserna fortplantas till omgivande medier, d.v.s. till underliggande mark och till atmosfären.

4.2 Påverkan av slitage

Med tiden så blir såväl de spårburna fordonens hjul som rälsen allt mer slitna. Slitaget storlek och tillväxthastighet beror dels på trafiktätheten men även på tågens vikt och hastighet. Genom ett återkommande underhåll av lok och vagnar med hjulsvarvning samt regelbunden slipning av rälsen så

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	


kan stomljudet hållas på en så låg och jämn nivå som möjligt. Hjulsvarning är även viktig att utföra då s.k. hjulplattor uppstått för att undvika störningar från dessa periodiska ljudtoppar. Nämnade åtgärder har även stor betydelse för luftburet buller och ger en positiv effekt i boendemiljöer där trafiken går ovan jord.

4.3 Överföring från vibrationer till stomljud

De vibrationer i rälen som transmitteras till underliggande banvall och vidare ut i omgivande mark kan nå fram till närliggande bostäder. Där kan vibrationerna fortplantas i golv, väggar och tak och sedan ge upphov till stomljud i fastigheternas utrymmen. Markens egenskaper har stor betydelse för markvibrationens spridning och amplitud, och därmed också hur stomljudet upplevs i omgivande byggnader. Om spåren går på berg ovan mark eller genom en tunnel så kan vibrationerna föras vidare långa sträckor (≥ 100 m) innan de reducerats till så låga nivåer att stomljudsstörningar inte uppstår i byggnader. Stora variationer i överföring ändå förekomma på grund av sprickfyllnaders beskaffenhet. I de fall spåren går på jordarter med stor elasticitet som t.ex. lera så minskar risken för stomljudsstörningar men samtidigt ökar risken för konventionella vibrationer. Anledningen är att dessa jordarter har en hög dämpning av frekvenser som överför stomljud, men en liten dämpning av låga frekvenser som kan leda till komfortstörande vibrationer. Då järnvägen är anlagd på gemensam berggrund ovan jord så är risken stor för att både luft- och stomljud förekommer i intilliggande bostäder. I dessa sammanhang är det ändå vanligast att luftljudet dominerar eventuella bullerstörningar inomhus. Detta beror på att energiförlusterna ofta är större för stomljudsöverföringen i marken jämfört med det luftburna buller som företrädesvis kommer in genom fönstren.

4.4 Mottagare - byggnader

Allt ljud som kommer in i en byggnad, vare sig det kommer utifrån via omgivande atmosfär eller om det kommer ifrån marken genom grundläggning, golv och väggar, påverkas av rumsstorlek och av efterklangstid. Efterklangstiden är ett mått på hur snabbt ett ljud "dör ut" efter att det upphör och den påverkas av bl.a. möblering och ljudabsorberande ytor i rummet. I ett stort rum med hårda material i golv, väggar och tak och gles möblering blir efterklangstiden längre än i ett litet, normalmöblerat rum med material som är ljudabsorberande på golv, möbler och väggar. En lång efterklangstid leder till att ett ljud får längre varaktighet och att den ekvivalenta bullernivån blir högre i rummet än om efterklangstiden skulle varit kort. Brist på ljudabsorberande material kan också medföra det att bullrets frekvensinnehåll går högre upp i registret än om det funnits absorberande material. Generellt så ökar antalet föremål i ett rum den s.k. diffusionen, vilket akustiskt innebär energiförluster vilket också reducerar efterklangstiden. Uppmätt ljudnivå kan variera mellan 0 - 5 dBA mellan ett helt omöblerat rum och ett normalmöblerat rum.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

4.5 Stomljudens påverkan på människan

Externt inkommande ljud vare sig det är stomljud eller luftljud i ett rum har mer likheter än olikheter. Båda ljudtyperna filtreras på sin väg in i rummet och upplevs som lågfrekvent. För att ett ljud skall uppfattas så måste det överstiga hörtröskeln hos en normalhörande individ. Hörtröskeln har inte ett absolutvärde utan varierar för olika frekvenser. Definitionen för normalhörsel ligger inom ett spann på 25 dB från + 15 dBHL ned till – 10 dBHL vid varje testfrekvens. Denna spridning är naturligt förekommande i en större population som hörseltestas. När ett ljud går från uppfattbart till störande skiljer sig också åt mellan individer. Ett riktvärde innebär ofta därför att 10-30% fortfarande uppfattar ljudet som störande men för majoriteten är rådande ljudnivå acceptabel.

Förekomst av stomljud påverkar människor på olika sätt. Stomljud förekommer frekvensmässigt till största delen inom de lägre delarna, 50 - 300 Hz av normalhörande människors hörselområde 20 – 20000 Hz. Mer än 2 miljoner människor i Sverige i olika åldrar har en hörselnedsättning, ref 23. Av dessa har ca 30 % en måttlig till svår hörselnedsättning. Anledningen till hörselförändringarna har olika orsaker såsom buller i yrkeslivet eller på fritiden, öronsjukdomar kan även påverka och hörseln försämras ofta med stigande ålder.


Inom audiologin så är det väl känt att människor med hörselnedsättning har svårt att delta i samtal om ovidkommande buller förekommer. Detta handikap är vanligen proportionerligt mot skadans omfattning och växer ju större hörselförslusten är. Med nedsatt diskant- och mellanregisterhörsel d.v.s. med normal hörsel först vid 2000 Hz så är känsligheten för störande buller i det kvarvarande området betydande. Det är därför ej förvånande om ett hörbart men oönskat och i vissa fall kanske t.o.m. maskerande ljud kan skapa mer irritation hos individer med redan begränsad hörselförmåga än hos normalhörande.

Södra Station

Som ett underlag till ”gränsvärde för buller och vibrationer” vid byggnationen av Södra stationsområdet i Stockholm så genomfördes en serie försök. Under ledning av doc Peter W Arberg så utfördes försöken i ett provrum som stod uppställt på ett s.k. skakbord. Försökspersoner utsattes där för både buller och vibrationer från inspelade tågpassager. Källstyrkan reglerades av försökspersonerna tills vad man ”uppfattade sig kunna tåla”. Efter en utvärdering av resultaten från försöken så fastställdes ”gränsvärdet 30 dBA, genomsnittlig maximalnivå, slow response”, ref 20.

Västlänken

Pilotstudien var en del i MKB:n för Västlänken och utfördes i samarbete med WSP Akustik och GU (Arbets- och Miljömedicin). Sex bostäder (3 st villor och 3 st lägenheter) ingick i studien och samtliga var belägna utmed Gårdatunnels sträckning. Avstånden mellan bostäderna och tunneln var 45 – 85 m. Mätningar av förekommande stomljuds nivåer utfördes i samband med person- och godstågspassager. De boende fick också fylla i ett formulär med frågor om eventuella störningsupplevelser från tågtrafiken i tunneln.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

Hälften av de tillfrågade, 3 st svarade att de var ganska störda av stomljud från tågtrafiken. Ekvivalentnivåerna, L_{pAeq} uppgick i dessa fall för persontåg till 32 – 33 dBA och för godståg till 33 – 36 dBA. Maximalnivåerna, L_{pAFmax} uppgick till 37 – 38 dBA för persontåg och för godståg till 39 – 41 dBA, ref 4, 5, 21. Skillnaden mellan maxnivåer uppmätta med tidsvägning F och S är ca 2 dBA.

Citybanan

Dåvarande Banverket (BV) har av Yrkes- och miljömedicinska kliniken (YMK) i Lund bett om en miljömedicinsk bedömning av stomljuds nivåer under driftskedet av Citytunneln, ref 12. Av de medicinska effekter som redovisas så anges att sömnstörning startar vid bakgrundsnivåer på 30 dB_{eq} och att väckningsreaktioner observerats vid intermittent buller med maximalnivån 45 dB_{max} och därunder. Lågfrekvent buller misstänks kunna störa vila och sömn vid lägre nivåer.

Kunskapsläget vad gäller hälsoeffekter för specifikt buller i det lågfrekventa området är ofullständig men beskrivs av WHO's expertgrupp som viktiga att beakta. Störningsreaktioner för buller som redovisas av YMK baseras på försök med fläktbuller i tersbanden 80, 250, 500 och 1000 Hz. Vid samma ekvivalenta dBA-nivå så var störningen vid 80 Hz mer signifikant än för de andra ljuden högre upp i registret.


Vid markant inslag av lågfrekvent ljud så blir betydligt fler störda än vad man skall förvänta sig av dBA-värdet. Störningen ökar om den kombineras med vibrationer eller om ljudet har en bultande karaktär. Störning uppträder för dominerande frekvenser vid 25 - 31,5 Hz redan vid eller strax över hörtröskeln, men vid 125 Hz krävs sannolikt nivåer på 10-15 dB över hörtröskeln för att ge mer utbredd störning.

Norge

Två undersökningar av boende exponerade för stomljud i tågtunnlars närhet har utförts i Norge, ref 7, 22. Boende fick svara på frågor om störning och stickprovsmätningar av stomljuds nivåer utfördes även. Utgående från resultatet kombinerat med teoretiska beräkningar av stomljuds nivåer från spår-buren trafik så har man kommit fram till att riktvärdet för stomljud L_{pAFmax} 32 dBA är en acceptabel nivå.

Spanien

I en fältstudie tillfrågades 24 individer som i boendemiljön var exponerade för stomljud från persontågtrafik i tunnel. Inga klagomål förekom då stomljuds nivå låg under maximalnivån, L_{pASmax} 32 dBA. Vid maximalnivåer i området 32 – 42 dBA så varierade deltagarnas upplevelser från att några var störda, några kände vibrationerna från tågpassagerarna och några av deltagarna var ej störda av dessa stomljuds nivåer. I de fall där maximala stomljuds nivåer översteg 42 dBA så var klagomålen starka över både stomljud och vibrationer, ref 16.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	


5 Överföringsvägar

5.1 Stomljud och markvibrationer

Det är i sammanhanget viktigt att särskilja det man i dagligt tal kallar för markvibrationer respektive stomljud. Båda företeelserna har i sitt ursprung i fordonens färd på spåren/vägen och den underliggande markens beskaffenhet, men företeelsen leder till olika typer av markvibrationer. Markvibrationer är mycket lågfrekventa och förekommer definitionsmässigt i frekvensområdet 1 – 80 Hz. Dessa vibrationer kan skapa fysiskt kännbara störningar i så väl marken som i omgivande byggnader, byggnadernas resonansfrekvenser ligger normalt inom detta område. Markvibrationer uppstår vanligtvis då ett tungt fordon (t.ex. godståg, långtradare) passerar ett område där den underliggande marken är mjuk, fenomenet är speciellt vanligt där lerhaltiga jordar förekommer.

När markvibrationsvågorna når omgivande hus så sätts dessa i större eller mindre rörelse beroende på skillnader husens grundläggning, storlek, vikt, orientering och konstruktion. T.ex. så vibrerar ett vekt och lätt trähus mer än ett tungt och styvt hus byggt av betong. Det är vanligt att högre vibrationsamplitud erhålls på ett bjälklag av trä än på en bottenplatta av betong. Det blir även skillnad i vibrationsnivå om husen är enplanshus eller om de har flera våningar, högst vibrationsnivåer uppmätts oftast på det översta våningsplanet. Kraftiga markvibrationer från fordonspassager i utsatta hus beskrivs ofta av de boende som att "golvet/sängen gungar" och/eller att t.ex. porslinet skramlar i skåpen. Markvibrationer från vägtrafik förorsakas vanligen av tunga fordon såsom lastbilar och bussar då de kör över ojämnheter i vägbanan.

Storleken på dämpningen av vibrationerna från källan till omgivande byggnader är beroende av såväl jordartens beskaffenhet (densitet, elasticitet och vattenhalt) som på avståndet mellan spåret/tunneln och byggnad. I samband med vibrationsvågornas utbredning i marken så förekommer i många fall övergångar mellan berg och olika jordarter. Sprickor i berg och grundvattensamlingar påverkar också utbredningen. Varje övergång innebär vanligen reduktion av vibrationsvågorna och förlusterna blir speciellt stora i högre frekvensområden ju mjukare jordarterna är, se ref 1.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

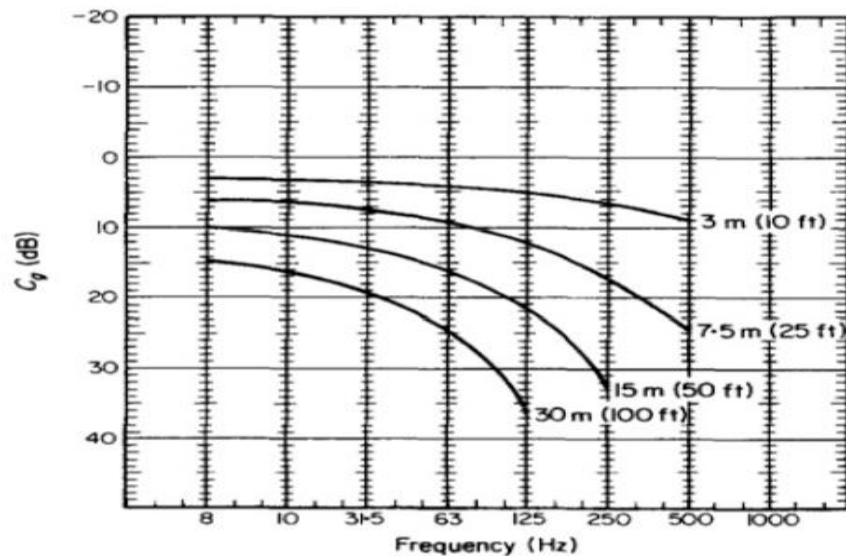


Diagram 1: Markvibrationers reduktion vid olika frekvenser i en ospecificerad jordart på olika avstånd

Kurvorna i diagram 1 (ref 1) visar hur vibrationsnivån från tågpassager reduceras med ökat avstånd från en tunnel anlagd i en icke specificerad jordart. Höga frekvenser släcks ut mer än låga frekvenser då avståndet ökar.

Vibrationsnivån i marken påverkas inte enbart av tågets vikt och längd utan även av tågets hastighet. Detta innebär att även förhållandevis lätta och korta tåg som t.ex. snabbtåget X2 i hög hastighet, sth 200 km/h, kan ge höga stomljuds nivåer.

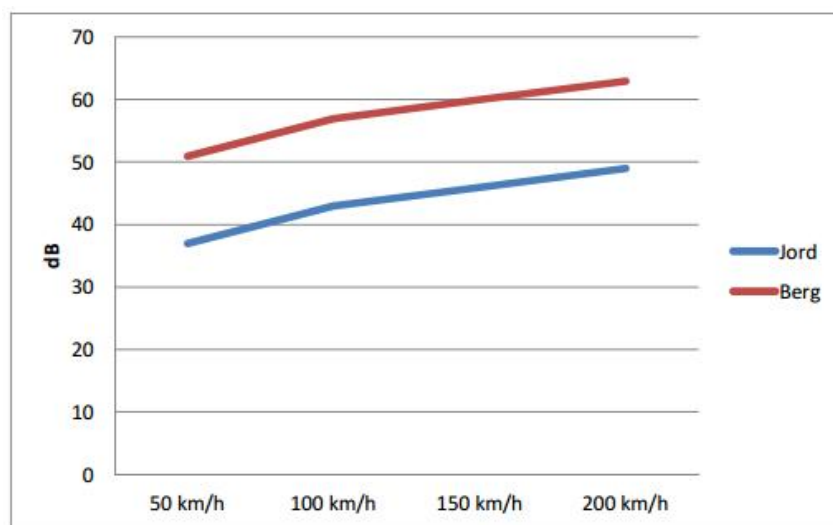



Diagram 2: Kurvorna visar hur hastighet och olika geologiska förhållanden inverkar på stomljuds nivå

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

I diagram 2 (ref 1) så ser man att vibrationsnivån ifrån tågpassager i hastigheter mellan 50 – 200 km/h är ca 12 dB lägre för en bana anlagd på en ospecificerad jordart jämfört med en bana anlagd på berggrund. Det framgår inte i underlaget om nivåerna i diagrammet är maximala eller ekvivalenta stomljuds nivåer.

I ett berg så blir amplituden från stomljud mer begränsad i lågfrekvensområdet jämfört med ”vanliga markvibrationer” som lättast fortplantas genom elastiska jordarter. Stomljud i lägre frekvensområden är därför inte fysiskt kännbart vilket markvibrationer ofta kan vara utan uppfattas enbart med hörseln. Ju mjukare marken är desto mer kommer stomljudets övre frekvensområde att reduceras. Det är sannolikt i sådana fall som stomljudets övre frekvensområde begränsas till ca 200 Hz. Vid låga frekvenser, under ca 100 Hz, så upplevs ljud som dovt muller, det går då ej heller att härleda varifrån det kommer i ett rum.

I ISO-standarden 14837-1:2005 anges att stomljud och vibrationer förekommer i frekvensområdet 1 - 500 Hz. I vetenskapliga rapporter och artiklar så varierar definitionen av stomljudets frekvensområde, se ref 1, 10, 11. Sammanfattningsvis så anges stomljudets frekvensområde börja vid 16 – 20 Hz och sluta i området 200 - 300 Hz (upp till 500 Hz i ovanliga fall). Mätningar utförda av WSP-Akustik i samband med en förstudie inför projekteringen av Västlänken visade att stomljud ofta förekom i tersbanden 50 – 600 Hz, se ref 3, 4, 5.


I Norge som genom sin variationsrika topografi har ett stort antal tågtunnlar så har man vid mätningar funnit att stomljudet är dominerande i frekvensområdet kring 250 Hz. Norges Geotekniska Institut, NGI hävdar att man inte bör mäta förekomst av stomljud med mikrofoner p.g.a. av risken för påverkan av ovidkommande luftljudsstörningar, mätningarna skall i stället utföras med accelerometer. I Norge så har man från utförda mätningar tagit fram en modell för teoretisk prediktering av stomljud från spårburna fordon i fastigheter, se ref 7, 9.

5.2 Skillnad mellan stomljud och luftburet ljud

Stomljud från spårburna- och vägbunden trafik överförs till byggnader genom vibrationer i marken eller via mekanisk kontakt genom betongelement, balkar mm. Luftljud från motsvarande trafikslag överförs dels genom fasaden (väggar och speciellt via fönster) och ibland även in genom taket samt genom springläckage i dörrar, fönster och genom friskluftventilation.

Luftljud inomhus har vanligen ett frekvensspektrum som går högre upp i det hörbara registret än stomljud. Detta kan förklaras av att energiförlusterna i de högre frekvensregistren är större för vibrationerna som går genom marken jämfört med reduktionen i en husfasad.

Oavsett om t.ex. en tågpassage avger luft- eller stomljud eller kanske båda samtidigt så kommer bullret inomhus att upplevas som lågfrekvent d.v.s. till största del innehålla dova mörka toner. Skillnaden i karaktär men också

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

amplitud påverkas av om rummet har fönster, om avståndet är kort mellan järnväg och hus, markens beskaffenhet och om man befinner sig i källarplanet eller högre upp i byggnaden m.m. Ett kortare avstånd till källan innebär ofta högre nivå och att bullret går högre upp i frekvensregistret än då avståndet till källan är större.

Generellt så riskerar stomljudsnivåerna från en tågtunnel anlagd i berg att bli högre än från en betongtunnel som anlagts i mjuka jordarter. Till skillnad från lågfrekventa markvibrationer som oftast ger högst vibrationsnivåer längst upp i en byggnad så dämpas stomljudet allt mer ju längre upp i byggnaden som man befinner sig. Stomljudsstörningar från spårburen trafik är därför vanligast i utrymmen som ligger under eller närmast markplanet.

6 Frekvensspektrum och ljudkaraktärer

6.1 Stomljudsspektrum med olika frekvensvägning

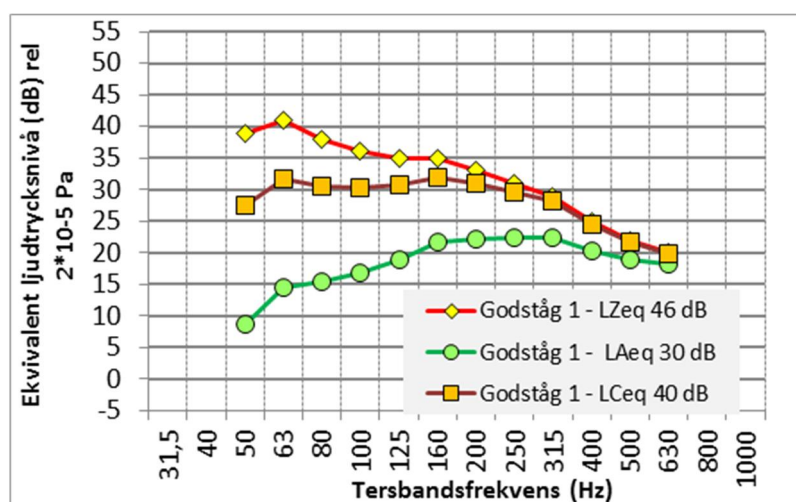



Diagram 3: Ekvivalent stomljud från ett passerande godståg i bergtunnel i Göteborg (Gårdatunneln, Västlänkstudien) uppmätt i en angränsande bostad

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och väguren trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

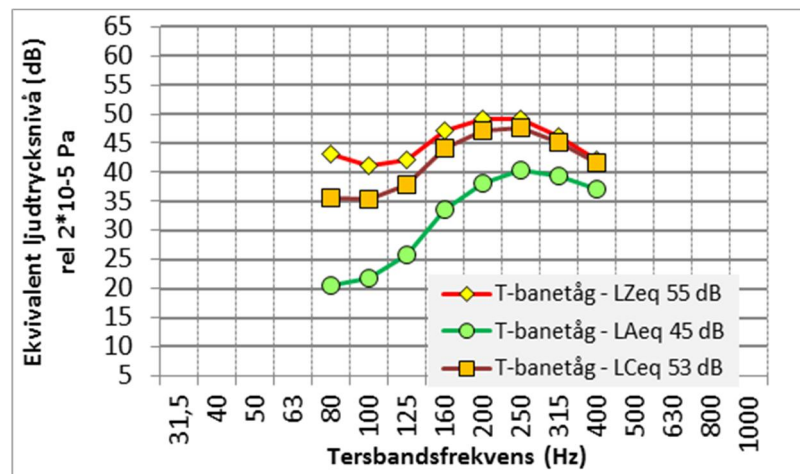



Diagram 4: Ekvivalent stomljud från ett passerande tunnelbanetåg på en linje i Stockholm (SL) uppmätt i en angränsande bostad

Diagram 3 och 4 visar frekvensspektra med ekvivalenta stomljuds nivåer från två olika passager med spårburna fordon i tunnlar, ref 5, 14, 15. Ekvivalentnivåerna är baserade på den tid som passagen pågick; för godståget så innebär detta ca 60 s och för tunnelbanetåget så var mättiden betydligt kortare, sannolikt ca 5 - 10 sekunder. Ur diagram 3 ser man att stomljudet från godståget är mer flackt och omfattar ett större frekvensintervall (tersbanden 50 – 630 Hz) jämfört med tunnelbanetågets frekvensspektrum (tersbanden 80 – 400 Hz) i diagram 4. Skillnaden i spektrumens omfattning kan bero på tågsvikt, längd och hastighet men även beroende på skillnad i de geologiska förhållandena mellan tunnarna och mätplatserna (byggnaderna). Stomljudet från det annalkande godståget uppfattades ca 30 sekunder före att nivån på mätinstrumentets display indikerade att tåget var direkt under byggnaden.

Tågens frekvensspektrum redovisas dels linjärt utan frekvensvägning, "Z", samt med A- och C-vägningsfilter. Majoriteten av förekommande riktvärden för buller inomhus baseras på A-vägd bullernivå. A-filtret simulerar normalhörande människors perception (hörselgräns) vid svaga ljudnivåer och C-filtret perceptionen vid starka ljudnivåer. Ur diagrammen ser man att A-vägd stomljudsspektrum (gröna kurvor) har lägst ljudnivåer då detta filter dämpar mycket mer av de låga frekvensernas ljudenergi än vad C-vägningsfiltret gör. Under senare år så har audiologisk forskning visat att man kan störas av lågfrekvent buller även om ljudnivåerna är förhållandevis låga. Det finns därför riktvärden för C-vägd buller i bostadsmiljöer där man kan förvänta sig störningar i lågfrekvensområdet från t.ex. fasta installationer. I Folkhälsomyndighetens vägledning, FoHMFS 2014:13 anges riktvärde för lågfrekvent ljud utan vägningsfilter i frekvensområdet 31,5 - 200 Hz.

6.2 Ljudkaraktär från luft- och stomljud

När ett luftljud passerar in genom en husfasad sker en lågpasfiltering p.g.a. att fasaden generellt dämpar höga frekvenser effektivare än lägre fre-

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

kvenser. Saknar rummet fönster mot järnvägen så blir ytterväggens lågpassfiltrering ännu mer påtaglig då fönstrens ljudreduktion vanligtvis är den svagaste länken i en fasad. Ljudet inomhus från passerande fordon upplevs därför som ett dovt muller

Stomljud beskrivs ofta i tekniska rapporter som ett lågfrekvent buller som inte går att riktningsbestämma i rummet. Stomljud har en lågfrekvent ljudkarakteristik då marken, grundläggningen och byggnadens komponenter i golv och väggar också har en lågpassfiltrerande effekt. Då stomljudet överförs från hela golvytan och/eller från en vägg så kan det upplevas som mer störande än luftburet buller som kommer in genom ett fönster. WSP Akustik har dock erfarenheter av stomljud från spårburen trafik, såväl under mätningar som från enkätsvar, att stomljud kan vara tydligt uppfattbart med en mellanregisterkarakteristik samt även gått att riktningsbestämma i rummet, se ref 3, 4, 11, 14, 15.

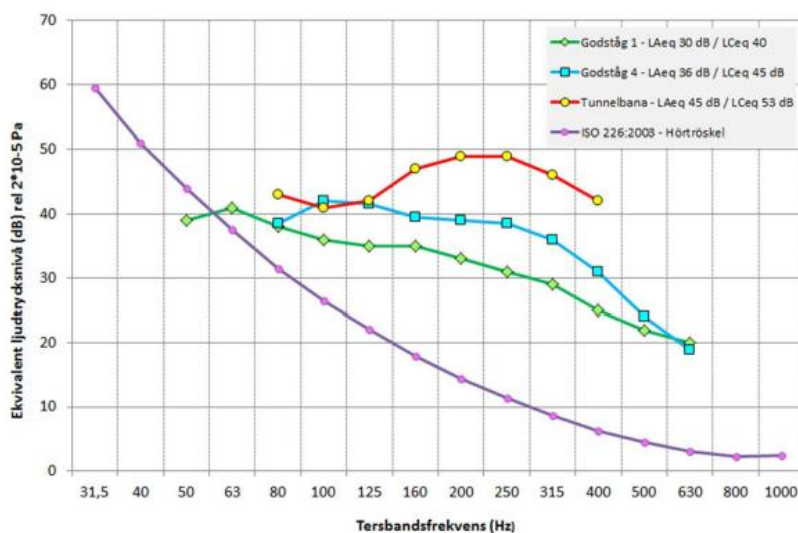



Diagram 5: Linjära ekvivalenta frekvensspektrum från olika tågtyper jämfört med hörtröskeln för normalhörande individer

Diagram 5 visar att uppmätta ekvivalenta tersbandsnivåer från tågpassager ligger över hörtröskeln i större delen av de uppmätta frekvensområdena. Det finns ingen anledning att tro att perceptionströskeln (uppfattbarhetströskel) för stomljud har en lägre nivå än den som gäller vid vanlig luftljudsöverförd buller.

7 Transienter och tidsvägning

7.1 Transienta stomljud

Stomljud kan även överföras som energirika, kortvariga bullertoppar s.k. transienter. Exempel på bullertoppar kan vara då tågens hjul rullar över

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

spårskarvar. Skarvspår är i dag mindre vanliga då man i samband uppgradering eller nybyggnad av banor byter den skarvade rälsen mot helsvetsad räls. Avbrott i rälen förekommer dock fortfarande i form av s.k. isolerskarvar, syftet är där att sektionera banan och ingår som en del i signalsystemet för en säker trafikering. Skarvar förekommer även i växlar och korsningar. Ett liknande distinkt och periodiskt buller alstras av s.k. hjulplattor. Hjulplattor är benämningen på avgränsade skador på hjulens kontaktytor som uppstått vid "nöd- eller tjuvbromsning" då hjulen låsts och glidit på rälsen. Denna typ av hjulskador förekommer bland alla typer av spårbuma fordon men är vanligast i godståg.

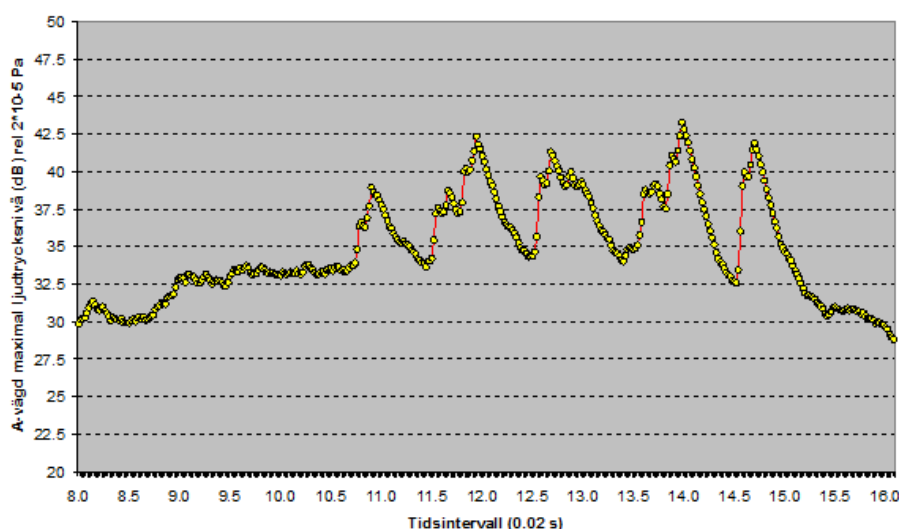



Diagram 6: Tidshistorik avseende transienta stomljuds nivåer i sovrum för en motorvagnspassage över en rälskarv/växel i Gårdatunneln, Göteborg

Det korta och lätta motorvagnståget i diagrammet ovan var ett multipelkopplat X11 tågset som gav upphov till stomljudstoppar på L_{pAFmax} 43 dB i lägenhetens sovrum, ref 5. Hyresgästen påpekade att de repetitiva ljuden från hjulpassagerna över rälskarven var mycket störande i samband med insomning. Pendeltågstrafiken förekom oftare än godstågstrafiken inte bara under dagen utan även kvällstid. Stomljudstopparna i sovrummet uppfattades tydligt över det svaga suset från ventilationen och varmvattenradiatorn kombinerat med fordonsbruset från den närliggande trafikleden.

7.2 Stomljud tidsvägt Slow eller Fast

Ljudnivåmätarens integrationstid påverkar uppmätt ljudnivå. Tidsvägning S (slow) innebär att ljudnivån medelvärdesbildas under en sekund, medan tidsvägning F (fast) innebär att ljudnivån medelvärdesbildas under 1/8 sekund. Detta får till följd att ljudet måste vara stabilt under minst 1 sekund för att få rätt amplitud med tidsvägning S. Med tidsvägning F (fast) så räcker det med att ljudet är stabilt under 1/8 sekund (125 ms) för en korrekt visning av amplituden.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

Forskning inom psykoakustik har sedan länge visat att en människa med normal hörsel klarar av att korrekt bedöma styrkan hos ett ljud med varaktighet på ca 50 - 100 ms, ref 18 och 19. Allt fler riktvärden som används vid bedömning av störning från olika bullerkällor baseras på mätningar av maximala ljudnivåer utförda med tidsvägning F.

Huruvida Slow eller Fast används som tidsvägning i riktvärden för stomljud varierar fortfarande mellan länder. Skillnaden i mätresultat för stomljuds nivåer mellan tidsvägning S och F kan variera mellan mätplatser, men är ofta ca 2-3 dB vid mätning av tågpassager i tunnlrar.

8 Hur bör stomljud mätas?

8.1 Frekvensvägning med A- och C-filter


De flesta ljudkrav avseende luftljud såväl inom- som utomhus anges som en med A-filter frekvensvägd totalnivå. På senare år så har även störningspåverkan i låga frekvensområden uppmärksamats varför det även förekommer riktvärden med frekvensvägning C eller helt utan frekvensvägning, s.k. linjära ljudnivåer. Det kan finnas ett värde i att mäta C-vägd stomljuds nivå då en stor skillnad (>10 dB) mellan uppmätta A och C ljudnivåer indikerar att ljudet innehåller mycket lågfrekvent buller.

8.2 Maximal och ekvivalent ljudnivå

I flera länder är det vanligt att man mäter maximalnivån för att få en uppfattning om förekommande stomljuds nivåer från väg eller spårburen trafik kan anses vara störande.

Forskningsresultat såväl internationellt som nationellt med fokus på exponering av buller från tåg har dock visat att det inte enbart är maximalnivån från enstaka passager som är avgörande för störningsupplevelsen, ref 13. Hur ofta tågpassagera förekommer har även stor betydelse för störningsupplevelsen så därför mäts även den ekvivalenta ljudnivån. Detta tillvägagångssätt blir dock problematiskt på glest trafikerade linjer där mättiden kommer att bli orimligt lång. I sådana fall så bör man istället införa en gräns för hur många passager/ timma som får förekomma utan att stomljudsstörningarna riskerar att öka avsevärt.

För att det skall vara meningsfullt att ha ett riktvärde för ekvivalent ljudnivå behöver denna ligga över rådande bakgrundsnivå. Detta kan inträffa först då maximalljudnivån är ca 45 dBA för en enskild passage, och antalet passager är över ca 30 passagerartåg eller 5 godståg per timme. Vid lägre antal passager eller lägre maximalnivå vid varje passage förväntas en höjning av ekvivalentnivån knappt kunna påvisas genom mätning, eftersom bakgrundsljudnivån i de flesta bostäder är högre.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

8.3 Tersbandsfiltrering


I Sverige så anger Folkhälsomyndigheten riktvärden för lågfrekvent buller inomhus i FoHMFS 2014:13, ref. 6. Riktvärdena är definierade i tersbanden 31,5 – 200 Hz och används i huvudsak för att verifiera lågfrekvent buller från fasta installationer. SP rapport 2015:2 är en vägledning för mätning av ljudnivå i rum med stöd av SS-EN ISO 10052/16032 och omfattar även mätning av lågfrekventa ljudtrycksnivåer i tersband. Mätmetoden är bland annat avsedd för mätning av stationära källor i byggnader som t.ex. fläktar i ventilationssystem och pumpar i värme- och kylsystem men även för buller från närliggande verksamheter som nattklubbar och industrier.

Metoden blir svårtillämpad inom lågfrekvensområdet vid mätning av rörliga bullerkällor utanför byggnaden t.ex. spårburna fordon. Det krävs orimligt långa mätserier för att åstadkomma statistiskt säkra mätningar ner i lågfrekvensområdet från tågpassager om mätmetoden skall följas. Mätmetoden Nordtest Acou 098 är framtagen för mätning av ekvivalent- och maxilljudnivå från spårburen trafik och lämpar sig då bättre som mätmetod. Den innehåller dock inga anvisningar om mätning i tersband utan är inriktad på A-vägda totalnivåer.

9 Riktvärden för stomljud från spårburna fordon, nationellt

9.1 Tåg och spårvagnar

Sverige saknar nationella riktvärden för stomljud från spårburen trafik men sedan ett antal år tillbaka så används s.k. projektspecifika riktvärden vid planering och byggen av tunnlar för spårburna fordon nära bostäder.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

Tabell 1: Projektspecifika riktvärden för stomljud i bostäder, Svenska tunnelprojekt för spårburen trafik

Plats/Sträcka	L_{pmax} (dB)
Citytunneln, Malmö	30 ^{1,3)}
Citybanan, Stockholm	30 ^{1,3)}
Arlandabanan, Stockholm	30 ^{1,3)}
Tvärbanan, Stockholm	30 ^{1,3)}
Södra station, Stockholm	30 ^{1,3)}
Chalmerstunnel, Göteborg	30 ^{1,3)}
Botniabanan, Örnsköldsvik	30 ^{1,3)}
Varberg – Hamra	30 – 35 ^{2,3)}
Falkenberg – Tröningeberg	35 ^{2,3)}


- 1) Tidsvägning Slow
- 2) Tidsvägning Fast
- 3) Frekvensvägning A

9.2 Riktvärde för stomljud från tunnelbanetåg

Stockholms stad och SL tillämpar sedan långt tillbaka riktvärdet L_{pASmax} 30 dBA vid nybyggnation av bostäder för stomljud från tunnelbanetåg. Omfattande mätningar har under de gångna åren visat att stomljudsnivåer under detta riktvärde ej lett till klagomål från boende i tunnelbanornas närhet, ref 12, 14, 15.

10 Riktvärden för stomljud från spårburna fordon, internationellt

Bland övriga länder i världen som bedriver järnvägstrafik så är det bara ett fåtal som har konkreta krav på stomljudsnivåer från spårburna fordon (i något fall även stomljud från vägtrafik). I en EU-rapport finns en sammanställning av förekommande standarder, gränsvärden och riktvärden för stomljud men i vissa fall även för vanligt luftljud, ref 12. I följande avsnitt redovisas länder som har rekommendationer, rikt- eller gränsvärden för extermt stomljud (källor som är företrädesvis tågtrafik men i vissa fall även vägtrafik). I flera fall så anges inte om stomljudskraven gäller befintlig anläggning eller enbart vid nybyggnad av väg eller järnväg.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägbyrå trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

10.1 Schweiz

Vägledning gällande ekvivalent stomljud från tågtrafik vid nybyggnad enligt den Schweiziska föreskriften BEKS (1999). Frekvensområdet för stomljud framgår inte i Rivas rapport.

Tabell 2: Vägledning för högsta ekvivalenta A-vägda stomljudsnivåer i rum, Schweiz

Område	Nybyggnad	
	Dag ³⁾	Natt ⁴⁾
	L_{pAeqT} ¹⁾	L_{pAeqT} ²⁾
Bostäder ⁵⁾	35 dBA	25 dBA
Bostäder ⁶⁾	40 dBA	30 dBA

- 1) Ekvivalent ljudtrycksnivå under 16 timmar
- 2) Ekvivalent ljudtrycksnivå under 1 timma
- 3) Dag kl. 06 – 22, Leq – 16 h
- 4) Natt kl. 22 – 06, Leq – 1 h
- 5) Bostadsområde, annan känslig bebyggelse såsom skolor och sjukhus
- 6) Blandat område, stadscentrum, jordbruksområde, redan exponerat bostadsområde

10.2 Österrike


Kravnivå för ekvivalenta och maximala stomljudsnivåer från tågtrafik (och vägtrafik) enligt ÖNORM S 9012.

Det framkommer inte i Rivas rapport om stomljudskraven gäller generellt för både befintlig anläggning och vid nybyggnation av järnväg (och väg). Frekvensområdet för stomljud anges till 16 – 125 Hz.

Tabell 3: Kravnivå för högsta ekvivalenta A-vägda stomljudsnivåer i rum, Österrike

Område	Tillfredställande skydd		Bra skydd	
	Dag och kväll ³⁾	Natt ⁴⁾	Dag och kväll ³⁾	Natt ⁴⁾
	L_{pAeq} ¹⁾	L_{pAeq} ²⁾	L_{pAeq} ¹⁾	L_{pAeq} ²⁾
Bostäder ⁵⁾	30 dBA	25 dBA	25 dBA	20 dBA
Bostäder ⁶⁾	35 dBA	30 dBA	30 dBA	25 dBA

- 1) Ekvivalent ljudtrycksnivå under hela dagen och kvällsperioden?
- 2) Ekvivalent ljudtrycksnivå under hela nattperioden?
- 3) Dag och kväll kl. 06 – 22
- 4) Natt kl. 22 – 06
- 5) Bostadsområde, annan känslig bebyggelse såsom skolor och sjukhus
- 6) Blandat område, stadscentrum, jordbruksområde, redan exponerat bostadsområde

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

Tabell 4: Kravnivå för högsta maximala A-vägda stomljuds nivåer i rum, Österrike, "Tillfredsställande skydd"

Område	Tillfredsställande skydd			
	Vardagar		Söndag och helgdag	
	Dag ¹⁾	Kväll ²⁾	Dag och kväll ³⁾	Natt ⁴⁾
	L_{pAmax} ⁶⁾	L_{pAmax} ⁶⁾	L_{pAmax} ⁶⁾	L_{pAmax} ⁶⁾
Bostäder ⁵⁾	45 dBA	40 dBA	40 dBA	35 dBA


- 1) Maximalnivå under dag kl. 06 – 19
- 2) Maximalnivå under kväll kl. 19 - 22
- 3) Maximalnivå under dag och kväll kl. 06 – 22
- 4) Maximalnivå under natt kl. 22 – 06
- 5) Bostadsområden i förorter, tätorter, landsbygd och skolor
- 6) Det framgår inte om maximalnivån är tidsvägd S eller F

Tabell 5: Kravnivå för högsta maximala A-vägda stomljuds nivåer i rum, Österrike, "Bra skydd"

Område	Bra skydd			
	Vardagar		Söndag och helgdag	
	Dag ¹⁾	Kväll ²⁾	Dag och kväll ³⁾	Natt ⁴⁾
	L_{pAmax} ⁶⁾	L_{pAmax} ⁶⁾	L_{pAmax} ⁶⁾	L_{pAmax} ⁶⁾
Bostäder ⁵⁾	40 dBA	35 dBA	35 dBA	30 dBA

- 1) Maximalnivå under dag kl. 06 – 19
- 2) Maximalnivå under kväll kl. 19 - 22
- 3) Maximalnivå under dag och kväll kl. 06 – 22
- 4) Maximalnivå under natt kl. 22 – 06
- 5) Bostadsområden i förorter, tätorter, landsbygd och skolor
- 6) Det framgår inte om maximalnivån är tidsvägd S eller F

I Rivas-rapporten framgår det inte hur många mätningar av maximal stomljuds nivå som i varje enskilt fall skall ligga till grund vid jämförelse med riktvärdet.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

10.3 Storbritannien

Nationella riktvärden saknas men en praxis tillämpas enligt Crossrail's Code of Construction för maximal stomljuds nivå i de flesta stora järnvägsprojekt och i Londons tunnelbana. Frekvensområdet för stomljud framgår inte i Rivas sammanställning.

Tabell 6: Praxis för högsta maximala A-vägda stomljuds nivåer i rum, Storbritannien

Område	Tidsperiod ¹⁾
	L_{pASmax} ²⁾
Bostäder	40 dBA

- 1) Det framgår inte i Rivas dokument om praxisen gäller för hela dygnet eller en begränsad del
- 2) Maximal nivå är frekvensvägd med A-filter och tidsvägning S (slow)

10.4 USA


Riktvärdet för maximalnivåer för stomljud från tågtrafik enligt vägledande dokument FRA, 2005 och FTA, 2006. Frekvensområdet för stomljud framgår inte i Rivas rapport.

Tabell 7: Riktvärde för maximala A-vägda stomljuds nivåer i rum, USA

Område	Tät trafik ¹⁾	Måttlig trafik ²⁾	Gles trafik ³⁾
	L_{pASmax} ⁵⁾	L_{pASmax} ⁵⁾	L_{pASmax} ⁵⁾
Bostäder ⁴⁾	35 dBA	38 dBA	43 dBA

- 1) Mer än 70 tågpassager per dygn
- 2) 30 – 70 tågpassager per dygn
- 3) Minde än 30 tågpassager per dygn
- 4) Bostäder och byggnader där människor vanligen sover
- 5) Maximal nivå är frekvensvägd med A-filter och tidsvägning S (slow)

Det framgår inte om angivna gränsvärden för stomljuds nivåer endast skall tillämpas nattetid eller under hela dygnet.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och väguren trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

10.5 Tyskland

Det finns inga lagstadgade riktvärden för stomljud, men förbundsrepublikens arbetsgrupp för skydd mot bl.a. buller (LAI) refererar till två dokument (TA Lärm 1998 och DIN 45680:1997) vars gränsvärden för lågfrekvent buller redovisas i nedanstående tabell.

Frekvensområdet för lågfrekvent ljud anges till 8 – 125 Hz.

Tabell 8: Gränsvärde för ekvivalenta A-vägda stomljudsnivåer i rum, Tyskland

Tidpunkt	$L_f (L_{pAeq})$	
	TA Lärm 1998	24. BImSchV
Dag ¹⁾	35 dBA	40 dBA
Natt ²⁾	25 dBA	30 dBA

1) Dag och kväll kl. 06 – 22

2) Natt kl. 22 – 06

Kortvariga bullerhändelser skall inte överstiga angivna riktvärden med mer än 10 dBA. I Rivas-rapporten framkommer att bedömning av stomljud har varit kontroversiell under åren som gått. Under de senaste åren har vissa förbundsrepubliker i Tyskland med stöd från DB förordat riktvärden för stomljud enligt (24 BImSchV).


10.6 Norge

Under 2003 utfördes i Norge en större studie av ca 700 boende utmed sträckor med järnvägstunnlar, ref 7. Syfte var att kartlägga vid vilken nivå som stomljud upplevdes som störande. Analyser av resultaten visade att omkring 4 % av de tillfrågade var måttligt störda eller mycket störda av en stomljuds nivå på L_{pAFmax} 32 dB. Resultatet från studien ansågs styrka att man skulle tillämpa gränsvärdet L_{pAFmax} 32 dB för stomljud inomhus i enlighet med ljudnivåkraven i NS 8175, ljudklass C. I Norge görs normalt inga mätningar av stomljud utan dessa beräknas teoretiskt i varje enskilt fall. Även i den nämnda studien användes endast beräknade värden. Frekvensområdet för lågfrekvent ljud framgår inte i Rivas rapport.

Tabell 9: Riktvärde för högsta stomljuds nivå i enlighet med norsk standard NS 8175

Plats	L_{pAFmax}
Bostäder ¹⁾	32 dBA

1) Vardagsrum och sovrum

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

10.7 Finland

I Finland tillämpas ett riktvärde på stomljud från spårburen trafik på L_{pASmax} 35 dBA. Vid mätning används standardavvikelsen för mätresultaten så att det rapporterade resultatet är det logaritmiska medelvärdet av maxnivåerna, + 1,65 * standardavvikelsen i dB.

11 Jämförelse mellan riktvärden för stomljud och luftljud i olika länder

I diagram 7 görs en jämförelse av A-vägda ekvivalenta stomljuds- och luftljudsriktvärden i olika länder. I flera fall så ligger riktvärdena för luftljud och stomljud på samma nivåer.

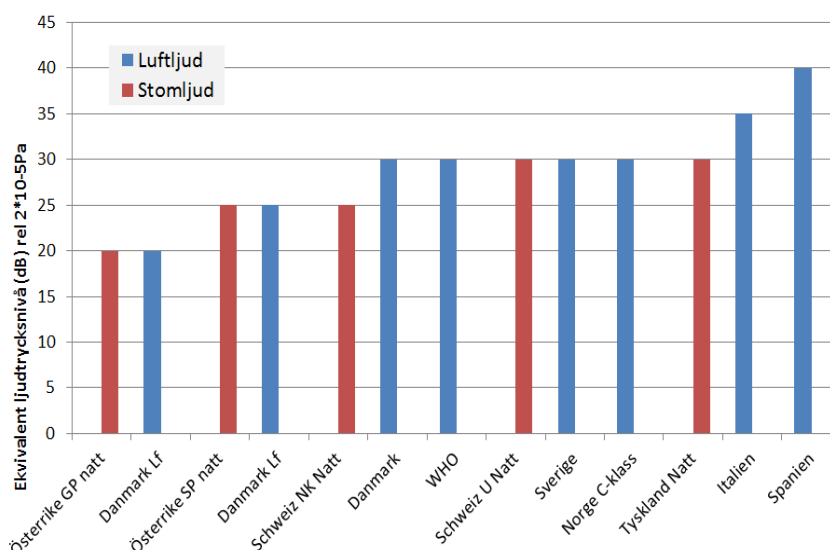



Diagram 7: Riktvärden för A-vägt ekvivalent stom- och luftljud i olika länder

Flera av riktvärdena innebär mycket låga nivåer (stomljud Österrike, L_{pAeq} 20 och 25 dB), (luftljud Danmark, L_{pAeq} 20 och 25 dB) vilka kan vara svåra att kontrollera genom ljudnivåmätningar, speciellt i bostäder som ligger i stadsmiljö.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

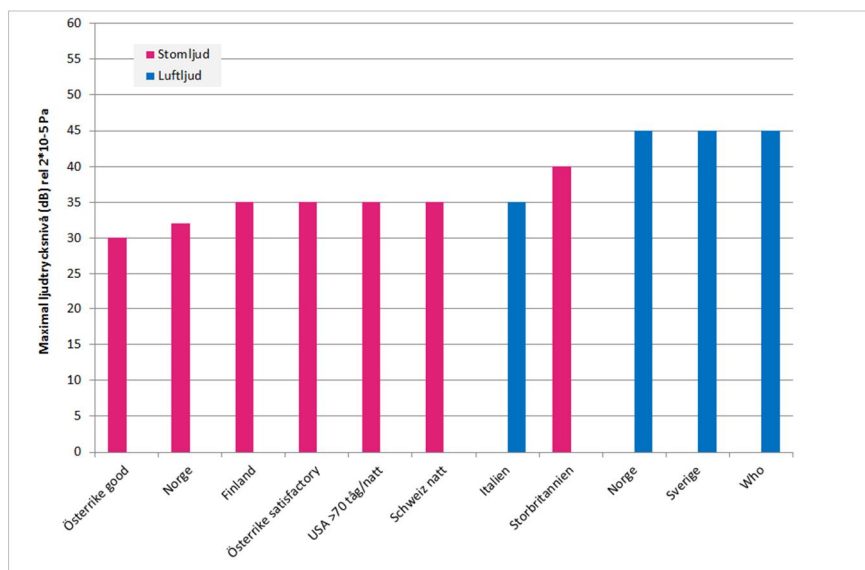


Diagram 8: Riktvärden/gränsvärden/ praxis för A-vägt maximalt stom- och luftljud i olika länder


Ur diagrammet kan man se att i två fall (Österrike och Norge) så är riktvärdena för maximalt stomljud lägre (30 – 32 dBA) än riktvärden för motsvarande maximalt luftljud (35 – 45 dBA). Stomljud mäts i Finland och USA med tidsvägning Slow och teoretiska beräkningar i Norge utgår från tidsvägning Fast. För stomljud i Österrike och Schweiz så är ingen tidsvägning angiven. Maxnivåer från luftljud mäts i Norge och Sverige med tidsvägning Fast och för Italien och WHO så är ingen tidsvägning angiven.

12 Slutsats

Sammanställningen av internationella riktvärden för stomljud visar inte på entydiga nivåer mellan länderna. Ett flertal länder saknar även riktvärden för stomljud, de har dock riktvärden för luftburet buller som möjligen används vid bedömningen av stomljud från spår- och vägtrafik.

Det är även rimligt att ställa frågan hur förekommande stomljuds nivåer skall kontrolleras. Kan de mätas på ett enkelt och tillförlitligt sätt eller är det säkrare och effektivare att beräkna stomljuds nivåer teoretiskt? Genomgången av vilka parametrar som beaktas vid mätningar visar på begränsningar och svårigheter. Syftet med en mätning bör vara att man snabbt kan få fram information om stomljuds nivå är för hög. Platser med dokumenterat höga stomljuds nivåer kan behöva undersökas vidare med mer omfattande mätmetoder som kräver avancerad mätutrustning, kvalificerad kunskap och längre mättider.

Är nuvarande kunskapsnivå tillräcklig för att fatta ett beslut om riktvärde för stomljud från spår- och vägburen fordonstrafik i Sverige? Forskning inom området skulle naturligtvis öka kunskapsnivån om stomljuddets störningseffekter med avseende på svenska förhållanden. Lämpligen så bör studierna baseras på en kombination av fält- och laboratorieundersökningar.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	


I fältundersökningarna ingår enkäter där boende i närheten av tågtunnlar, tunnelbanor och spårvägar får komma med uppgifter om stomljudsstörning. I de fall där störningar anges så utförs även stomljudsmätningar på dessa platser. För att säkerställa vilken stomljuds nivå som har en reell påverkan på sömndjupet utförs kontrollerade studier i sömnlaboratorium. Försöken bör även innefatta jämförande studier av luft- och stomljud från spårburen trafik för att se vilka reella skillnader i perception som eventuellt råder i inomhusmiljö. Det bör även ingå studier vid vilken trafikintensitet som förekommande stomljuds nivåer försvårar insomning, samt vid vilka nivåer som leder till att försökspersonerna vaknar. I ett sådant projekt vore det även lämpligt att studera om det kan förekomma negativa interaktionseffekter då stomljud och luftljud uppträder simultant.

När riktvärden tas fram bör det framgå vad dessa anger eller vad de innebär. Begreppet riktvärde' har i olika sammanhang haft olika innebörd. Nedan ges några exempel på olika sorters riktvärden:

- Ger stöd för att bedöma när olägenhet för människors hälsa kan befaras.
- Anger vad som bedömts som rimligt att eftersträva (ekonomiska och andra aspekter kan ha beaktats när riktvärdet togs fram).
- Anger tidsatta delmål inför en mer ambitiös långsiktig strävan.


Underlaget från litteraturgenomgången är i flera fall inte fullständigt, t.ex. anges inte alltid vilken tidsvägning som använts vid mätning av maximal ljudnivå. Från egna erfarenheter av buller inomhus från spår- och vägburen trafik kombinerat med resultaten i litteraturgenomgången så bedömer jag att lämpliga riktvärden för stomljud är maximal A-vägd ljudnivå, L_{pAFmax} 35 dBA och ekvivalent A-vägd ljudnivå, L_{pAeq} 30 dBA. Riktvärdena behöver kopplas till mät- och beräkningsmetoder.

Mätning av L_{pAFmax} bör omfatta minst 5 mätningar av den mest bullriga fordonstypen och den ekvivalenta ljudnivån bör avse ljudnivån under ett trafikårsmedeldygn (ÅDT). Maximala ljudnivåer bör relateras till antalet bullerhändelser nattetid. Tidsvägning F (fast) rekommenderas istället för S (slow) vid mätning av maximalnivå. Mätningar har visat att riktvärdet för maximal stomljuds nivå L_{pAFmax} 35 dBA motsvarar ca L_{pASmax} 33 dBA. I de fall där uppmätta stomljuds nivåer är höga och uppenbar risk för störning föreligger så är det motiverat med uppföljande frekvensanalyser för att om möjligt kunna föreslå reducerande åtgärder.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

13 Referenser

1. BV, Stomljud Litteraturstudie 2010-05-05, Jonas Andersson
2. RIVAS, SCP0-GA-2010-265754, Review of existing standards, regulations and guidelines as well as laboratory and field studies concerning human exposure and vibration
3. BV, Järnvägsutredning Västlänken BRVT 2006:03:10
4. WSP, Rapport 10055540 2005-07-09, Gårdatunneln Göteborg Studie av stomljud från tågtrafik
5. WSP, Rapport 10131447 2010-01-19, Femkampsgatan 4 Göteborg Mätning av stomljud från tågtrafik
6. SP, Rapport 2015:02 Vägledning för mätning i rum med stöd av SS-EN ISO 10052/16032, Krister Larsson, Christian Simmons
7. Applied Acoustics 2006-06, - Annoyance and self-reported sleep disturbances due to structurally radiated noise from railway tunnels, Gunn Marit Aasvang, Bo Engdahl, Karin Rotschildo
8. ÅF, PM10-552777, 2010-12-15, Höghastighetsprojekt Stomljud, Tomas Odebrant
9. Proceeding Workshop on Noise and Vibration on High-Speed Railways, Portugal 2008-10-02 – Full scale tests on mitigation of ground borne noise from railway tunnels in rock, Christian Madshus, Karin Rothschild, Ra Cleave, Arild Brekke
10. PM, 2002-03-20, Stomljud från tåg – Specifika egenskaper i stomljud och hur stomljud påverkar människan, Evy Öhrström, Avdelningen för miljömedicin, GU, Göteborg
11. PM, 2005-02-04, Undersökning av upplevelse av ljud och buller i bostaden: Samband mellan störning av tågbuller och bullerexponering, Evy Öhrström, Avdelningen för miljömedicin, GU, Göteborg
12. Miljömedicinsk bedömning av påverkan av stomljudsnivåer under driftskedet för Citytunnelprojektet, Maria Albin, Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Lund 2002-10-18
13. TVANE, Slutrapport 1:2011, Effekter av buller och vibrationer från tåg och vägtrafik – tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg och vägtrafik, Evy Öhrström, Anita Gidlöf-Gunnarsson, Mikael Ögren, Tomas Jerson
14. Rapport, 1991-01-02, Buller – och vibrationsmätning från tåg i bostad Brinkan 3, Miljöförvaltningen Stockholmsstad, Magnus Lindqvist
15. PM, 1990-03-22, Besiktning ljud från tågpassager, kv Brinkan 1, Inge-mansson Akustik, Per Sahlin
16. Vadillo E.G. m.fl. 1996, Subjective reaction to structurally radiated sound from underground railway: field results. Journal of Sound and Vibration 193 (1996) 65-74.

Uppdragsnr: 10186107	Stomljud	
Daterad: 2015-11-17	Beskrivning och genomgång av	
Reviderad:	riktvärden spår- och vägburen trafik	
Handläggare: Tomas Jerson	Status: Rapport	

17. NT ACOU 098, Mätning av bullerimmission från spårburen trafik, Nord-testmetod 1996.
18. Hörselns fysiologi, Aage R. Möller, Studentlitteratur Lund 1981.
19. Audiologi, Stig Arlinger, Gunnar Lidén, Almqvist & Wiksell Förlag AB, Stockholm 1985.
20. Södra station och buller från tågen, Byggeforskning 3:1990.
21. Järnvägsturedning inkl MKB – Västlänken, BVRT 2006:03:10.
22. Sjenanse av strukturlyd fra jernbanertunnlar, Engdahl Bo, 2003, Uppdragnr. 28002-01, Brekke & Strand Akustik
23. Socialstyrelsen – Hälsa och sjukvårdsrapport 2009