

Uppdragsansvarig  
Mats Hammarqvist

Handläggare  
Mats Hammarqvist  
Tel  
+46 (0)10 505 84 33  
E-post

Mats.hammarqvist@efterklang.se

Datum  
2023-02-24

Projekt ID  
D0062453

Kund

Halmstad kommun/ WSP

Maria Carlsson

D0062453 rB Markvibrationsutredning

Kv Katten, Halmstad - vibrationsutredning för  
detaljplan

Efterklang del av AFRY

Mats Hammarqvist  
Handläggare

Efterklang del av AFRY

Gunnar Ågren  
Granskare

## Innehållsförteckning

1	inledning: .....	4
2	Bakgrund .....	5
1.1	Allmänt om vibrationer från spårburen trafik .....	6
2.1	Trafikinformation.....	7
2.2	Geoteknik.....	7
2.2.1	SGU – Sveriges Geologiska Undersökning .....	7
2.2.2	Geoteknisk undersökning – detaljplanens underlag .....	9
2.3	Planerad bebyggelse.....	11
2.3.1	Byggnad och stomme flerbostadshus.....	11
3	Metodbeskrivningar .....	12
3.1	Vibrationer .....	12
3.1.1	Mätning .....	12
3.1.2	Beräkningsmodell vibrationer.....	14
3.1.3	Beräkningsmodell Stomljud .....	14
3.1.4	Förstärkningsfaktorer vibrationer i byggnader.....	14
3.2	Kommentar val av metod .....	16
4	Riktvärden – bakgrund och förslag .....	17
4.1	Riktvärde vibrationer .....	17
4.2	Plankarta – samrådshandling .....	18
4.3	Riktvärde stomljud .....	18
4.4	Andra konstruktionskrav med avseende på vibrationer.....	19
5	Mätningar av vibrationshastigheter från järnvägstrafik .....	19
6	Beräkningar .....	27
7	Slutsats.....	28
8	Referenser.....	29

## Sammanfattning

Denna utredning har som syfte att utreda eventuella vibrationsstörningar till planerade flerbostadshus inom pågående planarbete. Detaljplanens syfte är att möjliggöra en utveckling av kvarteret genom uppförande av nya bostäder. Eftersom Västkustbanan passerar exploateringsområdet, som inom Halmstad påverkat flertalet bostäder genom störande vibrationer via marken, så behöver denna fråga särskilt utredas.



Figur 1 Översikt från illustrationsbilaga Kv Katten, Akkas

Planförslaget redovisar hus inom kvarteret med olika höjd. Endast en befintlig byggnad i nordväst bibehålls övriga byggnader, även lågdelen är nya byggnader. Högsta byggnad kan bli 8–9 våningar vilket är punkthuset längs till höger i figur 1. Byggnaderna förutsätts ha en betongstomme och ett garageplan som sammanknyter de högre byggnaderna kring innergården.

### Vibrationer (kännbara)

Utifrån mätningar så kan Trafikverkets riktlinjer  $v_w=0,4$  mm/s [komfortvägt/RMS] klaras under förutsättning att planerade byggnader och deras grundläggning utformas så att inte vibrationerna förstärks i byggnaden. Detta förutsätter att byggnaden missanpassas till järnvägens vibrationer, vilket kan innebära begränsade spännvidder för bjälklag, styvare stomme, parkeringsdäck under kvarteret samt grundläggning ned till fast botten med spetsburna pålar eller motsvarande. Mätningar visar att byggnadens egenfrekvenser behöver vara över 10 Hz.

Kunskapsunderlaget för att beräkna responsen i en betongbyggnad är säkrare än för att göra en motsvarande beräkning i ett trähus. Vid projektering bör beräkningar utföras för att säkerställa att framtida byggnad och dess grundläggning har adekvata åtgärder så att vibrationskravet klaras. Åtgärder som kan krävas redovisas i stycket ovan.

### Stomljudd (hörbara vibrationer)

Vid en jämförelse mot Trafikverkets riktlinjer samt Boverkets Råd så konstateras att kraven klaras eftersom järnvägen ligger ovan mark och inte i tunnel. Järnväg ovan mark har ett gemensamt ljudkrav, luftburet ljud och stomljudd, på  $L_{pAFmax,NT} = 45$  dBA och stomljuddsnivån från järnvägen i framtida byggnad är beräkningsmässigt  $L_{pAFmax,NT}$  lägre än 35 dBA vilket är lägre än Boverkets Råd.

## 1 Inledning:

Enligt planbeskrivningen är detaljplanens syfte att möjliggöra en utveckling av kvarteret genom uppförande av nya bostäder. Syftet är också att utreda den kulturhistoriska miljön och vid behov säkerhetsställa denna i detaljplanen.

Byggnadernas gestaltning ska bland annat spegla områdets industriella historia där utformningsbestämmelser kommer att styra den tillkommande bebyggelsens gestaltning.

Det stadsliv som utvecklats inom kvarteret de senaste decennierna ska bekräftas i den mån möjligt. Detta med hänsyn till platsens läge och påverkan från närliggande järnväg gällande farligt gods, buller och vibrationer som påverkar val av markanvändning och grundläggning. Det är av lokal och regional betydelse att inom området för centrum ta till vara och utveckla urbana kvaliteter som bidrar till ett varierat, tryggt och levande Halmstad.

Avståndet mellan det nya spåret och närmaste bostäder kommer att bli cirka 25 m.



Figur 2 Byggnad enligt arkitektens gestaltningsprogram, Arkkas Arkitekter



Figur 3 Illustrationsritning – Kv Katten, Arkkas Arkitekter

## 2 Bakgrund

Det som redovisas i denna utredning utifrån tillgängligt underlag är:

- Risk för vibrationer från järnväg (kännbara och hörbara/stomljud)

Följande ingår i uppdraget:

- Genomgång av underlag.
- Sammanställning av geoteknik som bedöms relevant.
- Uppställning av riktvärden (praxis utifrån myndigheter, stad, standarder).
- Jämförelse mot riktvärden och slutsats

Bedömningar utgår från beräkningar. Mätningar av vibrationshastigheter från järnvägen har utförts på platsen.

Som underlag för att bedöma risk inom aktuellt område har följande underlag använts:

- Illustrationsbilaga: "2022-05-24\_Kv-Katten\_Hus-5\_9-vån.pdf"
- PLANBESKRIVNING, Samrådshandling, Tillhörande detaljplan för KATTEN 18 m.fl
- SGU:s Kartvisare "Jordarter 1:25 000–1:100 000"

- SGU:s Kartvisare, Jorddjup
- KV KATTEN, TRAFIKBULLERUTREDNING, TEKNISK RAPPORT 10325740.01, 2022-04-27
- Markteknisk undersökningsrapport (MUR) - Geoteknik, 2021-01-29, WSP
- STATUSBESIKTNING STOMME KV KATTEN, HALMSTAD, 2021-01-15, WSP

## 1.1 Allmänt om vibrationer från spårburen trafik

Tågtrafik är en av de vanligaste vibrationsorsakerna i bebyggda områden. I Göteborgstrakten och på andra platser med vissa jordarter förekommer även störningar från gatutrafik (tung fordon) och spårvagnstrafik. De mekanismer som inverkar på vibrationsalstringen är främst:

- Hastighet. Högre hastighet leder till större vibrationskrafter.
- Fordonets fjädring. En styvare fjädring leder till större vibrationskrafter.
- Vid vibrationer som har låga frekvenser är den totala massan av störst betydelse.
- Hjulens ytjämnhet vid spårburen trafik. Jämnare hjul leder till lägre vibrationskrafter.
- Rälernas och vägens jämnhet. En jämnare yta leder till lägre vibrationskrafter. En diskontinuitet kan ge mycket stor ökning av vibrationer till omgivning ex: Farthinder typ gupp, sneda brunnar, viadukter med höjdskillnad, kulvert som blir en lokal förstärkning i mark som passeras.
- Banans/gatans uppbyggnad och grundläggning. En tyngre och styvare uppbyggnad, för exempelvis bana på bro, grundlagd betongplatta leder till avsevärt lägre vibrationsnivåer

Erfarenheterna visar att spektrum för järnväg och bussar (tung fordon) ofta på relevanta avstånd från järnvägen har sitt maximum i frekvensområdet under 10 Hz för lerjordar och 10–25 Hz eller högre för hårdare jordar. I järnvägens direkta närhet kan högre frekvenser förekomma.

Farthinder och diskontinuiteter i och under järnvägen bör undvikas i närheten av byggnader om det finns risk för vibrationer.

Vibrationsresponsen hos byggnader redovisas i denna utredning.

## 2.1 Trafikinformation

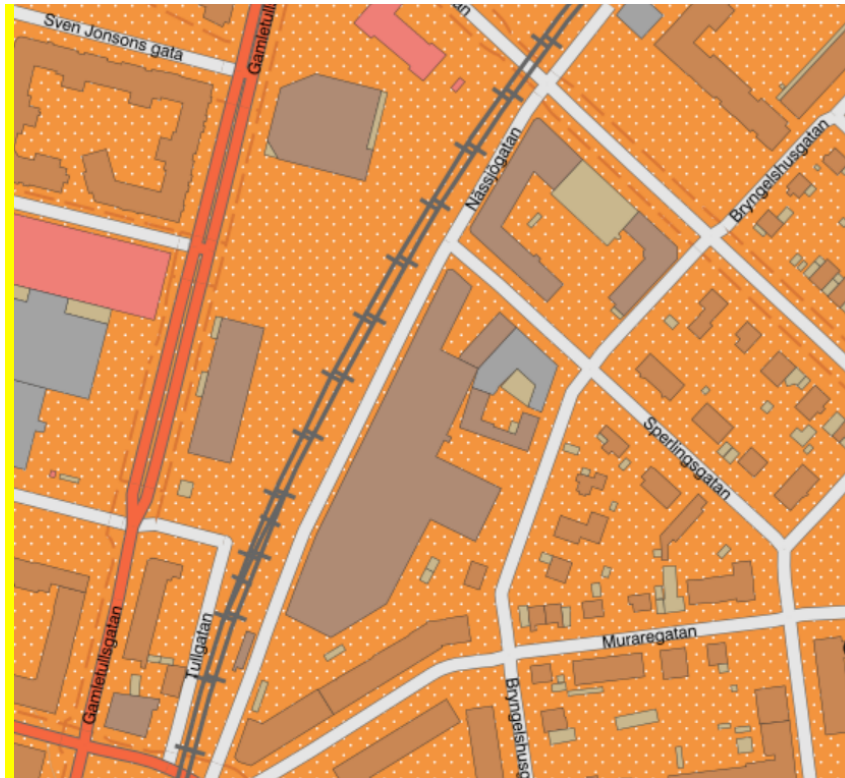
Järnväg	Typ av tåg	ADT	Medellängd (m)	Maxlängd (m)	Hastighet (km/h)
Falkenberg-Halmstad	Gods	17,9	572	630	100/70
Falkenberg-Halmstad	X60	7	170	170	130/70
Falkenberg-Halmstad	X50-54	14	110	110	130/70
Falkenberg-Halmstad	X31/32	59,6	160	240	130/70

Figur 4 Trafikmängder, fordonstyper och hastigheter, Trafikinformation för järnvägstrafik, prognos år 2040, Källa KV KATTEN, TRAFIKBULLERUTREDNING, TEKNISK RAPPORT 10325740.01, 2022-04-27

## 2.2 Geoteknik

### 2.2.1 SGU – Sveriges Geologiska Undersökning

På tomten finns idag byggnader. Marken är i övrigt asfalterad och det finns underjordiska konstruktioner. På platsen finns det enligt SGU:s jordartskarta postglacial sand. Jorddjupskartan anger en bedömd mäktighet på jordarter över berg på över 50 meter. Se närmare om vilka jordarter det finns på platsen under sammanställning av MUR Geoteknisk utredning utförd på platsen. Erfarenhetsmässigt så är sanden överlagrad ett lager lera eller organiska avlagringsjordarter.



Figur 5 Jordartskarta (övre lager) 1:25000–1:100 000, SGU

 Postglacial sand



## 2.2.2 Geoteknisk undersökning – detaljplanens underlag

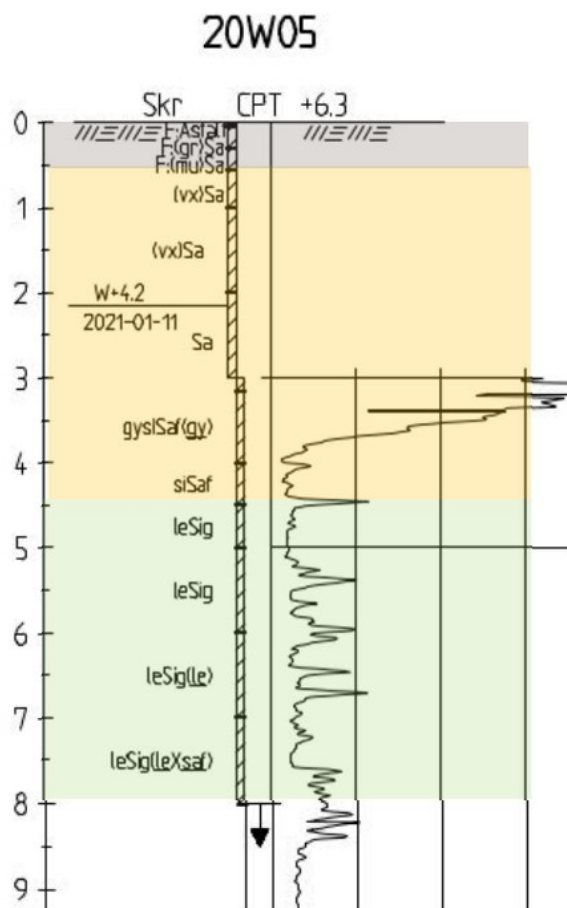
Skruvprovtagningen visar på en jordprofil som generellt överst består av fyllning av asfalt och sand med varierande innehåll av mulljord, grus och sten som underlagras av sand, ställvis innehållande silt men även gyttja och skikt av torv. I sanden förekommer ställen med lager av torv. Under sanden återfinns grovsilt ställvis innehållande lera, sand och gyttja. I undersökningspunkt 20W01 återfinns lera innehållande gyttja, silt och sand underst i jordprofilen.

Utförda skruvprovtagningar och sonderingar har avslutats i samtliga undersökningspunkter utan att stopp erhållits undantaget CPT-sonderingen i är utförd till sonden inte kunde neddrivas ytterligare enligt för metoden normalt förfarande. Fast botten i form av berg har inte påträffats vid fältundersökningen.

Det uppskattade jorddjupet ligger enligt SGUs jorddjupskarta på mellan 20-50 m.

Högre hus än 5 våningar med källare rekommenderas att grundförstärkas.

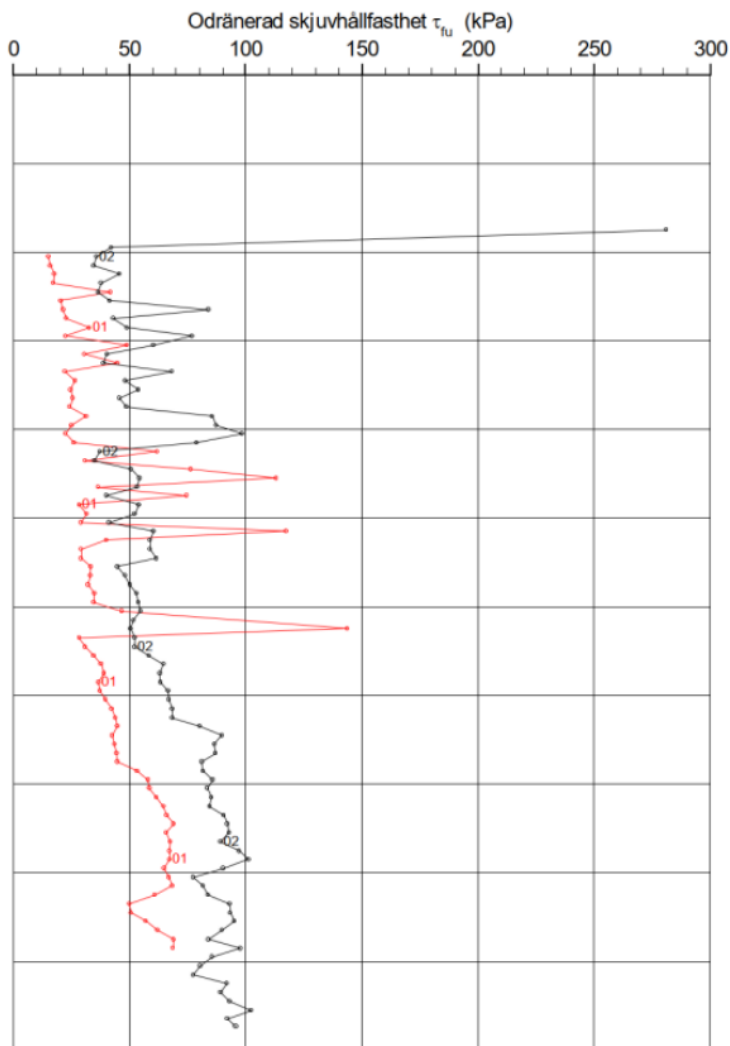
Figur 6 Sammanfattning av relevant information från WSP:s Markundersökningsrapport MUR)



Figur 7 Schematisk bild av jordlagerföljd inom kvarteret (WSP geoteknik)

Enligt geoteknik-utredning är det en stor mäktighet på befintliga jordarter, mellan 20-50 meter. CPT-sondering konstaterar mycket låg odränerad skjuvhållfasthet ( $\tau_{fu} < 20$  kPa) som påverkar spridningen av vibrationer och byggnadernas respons negativt vilket ökar risk för störning.

Inte säkert att grundläggning kräver pålning för lägre byggnader.



Figur 8 odränerad skjuvhållfasthet från utförda CPTu-sonderingar (MUR WSP)

Hur grundläggning av befintliga byggnader har utförts i detalj presenteras inte i underlaget.

## 2.3 Planerad bebyggelse

Byggnader och konstruktioner inom området har påverkan sinsemellan. De källor som vi har identifierat som kan ge upphov till vibrationer och stömljud i planerad bebyggelse med bostäder och kontor är:

- Tung vägtrafik på det lokala vägnätet (Nässjögatan planeras för begränsad trafikering)
- Järnvägstrafik på järnvägen med avstånd på 25 meter till framtida järnvägsspår

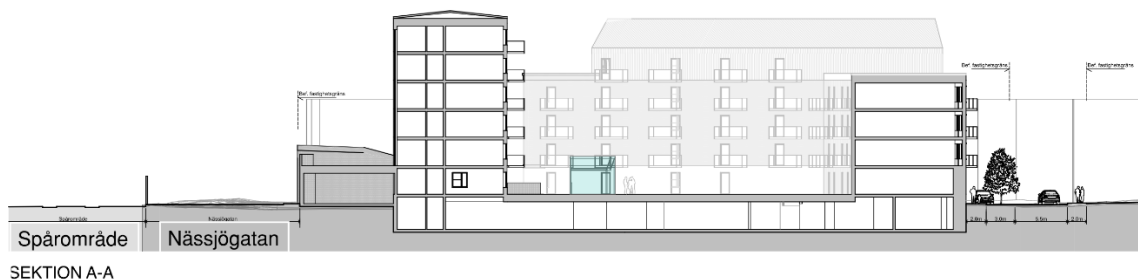


Figur 9 Översikt från illustrationsbilaga Kv Katten, Akkas

### 2.3.1 Byggnad och stomme flerbostadshus

Husen inom kvarteret har olika höjd. Högsta byggnad kan bli 8-9 våningar.

Byggnaderna förutsätts ha en betongstomme och ett garageplan som sammanknyter de högre byggnaderna kring innergården.



Figur 10 Skiss stomme - byggnad

Huset förutsätts vara utfört i betong med och i denna utredning förutsätts grundläggning av spetsburna pålar eller likvärdigt. Källarplanet sträcker sig under innergården och kopplar ihop de höga byggnaderna.

Denna utredning har inte detaljstuderat utformning av stomme och ingående byggdelar. På grund av närheten till järnvägen och risk för vibrationer förutsätts en viss försiktighet med begränsade spännvidder på bjälklag (egenfrekvenser < 10 Hz).

Det är fördelaktigt ur vibrationssynpunkt och en förutsättning för denna utredning att lägsta våningsplanet (garage) under innergården binder samman de höga

byggnadsdelarna. Högt punkthus i planområdets södra del behöver grundläggas och utformas på sådant sätt att vibrationer inte förstärks i byggnaden relativt uppmätta vibrationshastigheter i mark.

## 3 Metodbeskrivningar

### 3.1 Vibrationer

#### 3.1.1 Mätning

Mätningar har utförts enligt tillämpliga delar av enligt Svensk Standard SS 460 48 61 "Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader.

Använd mätutrustning finns dokumenterad i internt mätprotokoll. Kalibreringsprotokoll kan därmed kopplas till använd utrustning.

En långvarig loggning av markvibrationer har utförts mellan 2023-01-12 och 2023-01-23 i fem mätpositioner. Några mätpositioner har fallerat under del av tid men det ska inte påverka bedömningar.

Tabell 1 Mätpositioner

Mätpunkt		
1	Nära spår (5,5 meter från närmaste spår)	Referenspunkt
2	Studentlokal på betonggolv	Inomhusvärde
3	Kopiatorrum markplan	Inomhusvärde
4	Betongmur närmast spår (23 meter spår)	Betongmur som markposition
5	Betongmur längst bort (45 meter spår)	Betongmur som markposition

Mätningar har utförts vid närmaste byggnader till järnvägen dels inomhus, dels i mark utomhus i två positioner. Då kvarteret är bebyggt är det svårt att hitta mätpunkter i mark som inte påverkas av befintlig byggnad och dess grundläggning. Det innebär en viss osäkerhet i redovisning av förväntade vibrationshastigheter inom nya byggnader då vi inte fullt ut kan avgöra påverkan av befintliga underjordiska konstruktioner som till exempel grundläggning av befintligt hus. Enligt underlag så är husen en markplatta i betong och de delar som är källare eller skyddsrum utförda i platsgjuten betong.

En referenspunkts-mätning har utförts nära järnvägen. Kontrollerande beräkningar har utförts för att kontrollera rimligheten i mätningarna och koppla uppmätta vibrationer till vibrationer som kan förväntas i framtida bebyggelse.



Figur 11 Redovisning av mätpunkter som använts i utredningen.

### 3.1.2 Beräkningsmodell vibrationer

Beräkning har dels utförts för att bedöma mätta värdenes rimlighet, dels för att koppla mätta värden till vibrationer i framtida byggnader. Beräkning av vibrationer från järnvägen har utförts med beräkningsmodell för vibrationer från järnvägstrafik. Metoden som använts i utredningen för att beräkna förväntad vibrationspåverkan i byggnader nära spårvägen är en vidareutveckling av en empirisk beräkningsmodell för tåg vibrationer från Gardemobanan i Norge (Christian Madshus med flera, 23 juni 1994) samt egen sammanställning av en mängd mätningar av tåg- och spårvagnsvibrationer som sammanställts i beräkningsmodell, (ÅF Infrastructure AB / Ljud och Vibrationer, 2013). Beräkningsmodellen har använts i ett stort antal infrastrukturprojekt i Sverige.

Vi har en begränsad kunskap om järnvägens uppbyggnad. Vi förutsätter att det är en modern järnvägsuppbyggnad med cirka 1,6 meter ballast/underliggande järnvägsbank.

### 3.1.3 Beräkningsmodell Stomljud

Beräkningsmodellen som har använts för att beräkna förväntad stomljudspåverkan i framtida byggnader är en beräkningsmodell framtagen i England: HIGH SPEED RAIL (LONDON - WEST MIDLANDS), HS2.

HS2-modellen är programmerad och kontrollerad genom mätningar i svensk geologi inom examensarbete av Gustav Vågfelt (Vågfelt, 2021)

Beräkningsmodellen används idag inte bara vid höghastighetsutbyggnader i England utan även i andra europeiska utbyggnadsprojekt och är även bestämd praxis för att ta fram vibrationer och stomljud vid höghastighetsjärnvägsutbyggnad för Ostlänken i Sverige (OLP).

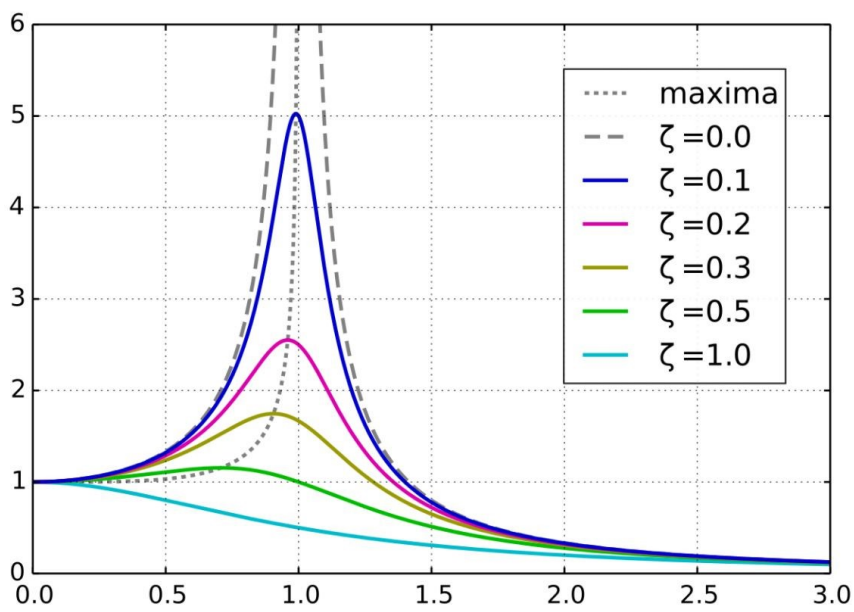
### 3.1.4 Förstärkningsfaktorer vibrationer i byggnader

För att bedöma risken för vibrationer i byggnaden har vi inventerat vilken så kallad förstärkningsfaktor som normalt kan förekomma vid byggnad utförd med betongstomme. Förstärkningsfaktorn är implementerad i använd beräkningsmodell och beskrivs översiktligt i detta avsnitt.

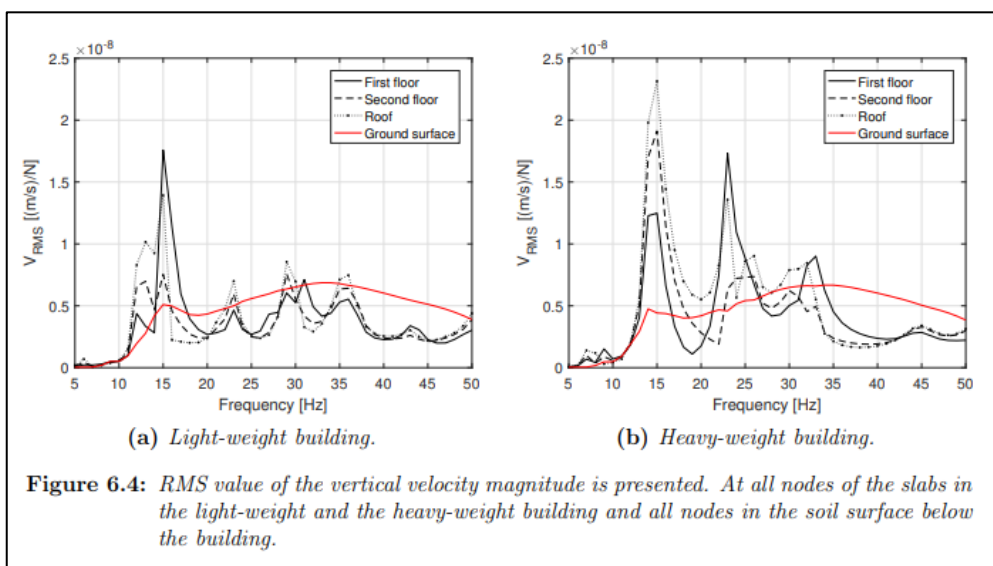
Vi har tagit begränsad hänsyn till hur markvibrationerna kan förstärkas då frekvensen i mark överensstämmer med bjälklag och byggnad. Det finns fall då förstärkningsfaktorn kan vara så stor som  $Q = 10$  vid resonans (specifik frekvens) vid låga egenfrekvenser under 10 Hz. Vi har antagit att en byggnadsstomme i betong och grundläggning som utformas **utan hänsyn till vibrationer i marken** kan ha en överföringsfaktor relativt mark på ungefär  $Q = 3$  enligt tidigare erfarenheter då byggnaden placeras direkt på mark.

Om utformning av byggnadens stomme och grundläggning sker **med hänsyn till vibrationer i marken** så kan förstärkningsfaktorer som är lägre än  $Q=1$  klaras. Det är beräkningsmässigt nödvändigt att byggnaderna har ett källarplan som sammanknyter de högre byggnaderna vilket reducerar förstärkningsfaktorn. I horisontalld kan byggnadens höjd öka förstärkningsfaktorn. Då den horisontella komponenten enligt mätningar i mark är klart lägre än den vertikala så bedömer vi att ett 8-våningshus inte föranleder en större överföringsfaktor då byggnaderna även har ett källarplan som sammanknyter de högre byggnaderna.

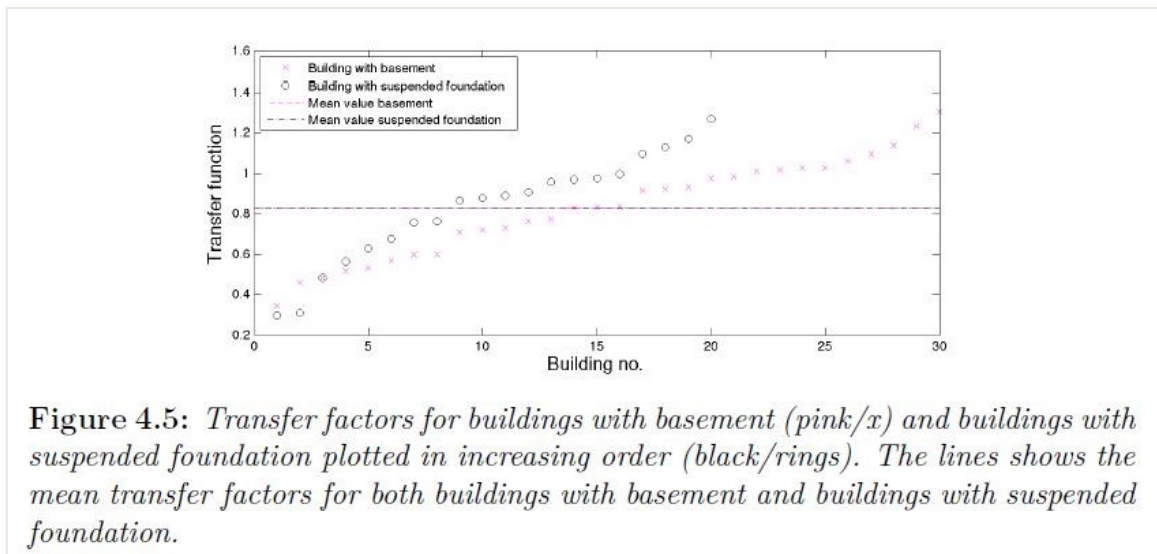
Förstärkningsfaktorer grundar sig på dels på Trafikverkets senare inventeringar där de utrett överföringsfaktorer för ett stort antal från mark till byggnad, dels på examensarbete på Lund Universitet (Rickard Torndahl, 2017) samt egna mätningar. Trafikverkets utredning anger lägre överföringsfaktor i normalfallet. Vi förutsätter en relativt ofördelaktig anpassning av byggnadens egenfrekvenser och markens egenfrekvenser (egenfrekvenserna ligger relativt nära varandra). Om konstruktionernas dämpning är lägre än vad som förutsatts kan större förstärkningsfaktor förekomma vid resonans vilket till viss del visas i beräkningsresultat i Figur 13 där byggnaden är en pelar/däck-konstruktion med något högre överföringsfaktor.



Figur 12 Amplitudrespons för ett enfrihetsgradssystem vid en **kontinuerlig** harmonisk vibration vid diskreta frekvenser  $\omega/\omega_0$  och dämpningskvot (dämpning relativt kritisk dämpning).



Figur 13 Exempel på beräkningsmässig respons hos byggnader i trä (vänster diagram) respektive tung byggnad med pelare och bjälklag i betong. Röd linje (höger diagram) avser vibrations hastighet i mark. (Rickard Torndahl, 2017)



Figur 14 Uppmått förstärkningsfaktor i 52 hus i svensk geologi. Stor inventering utförd på uppdrag av Trafikverket (Arnesson, 2016). Notera att det endast är en delmängd av husen som är flerbostadshus eller större byggnadskroppar. (Suspended foundation: liknande kryppgrund)

Notera att förstärkningsfaktor  $Q$  gäller vid resonans dvs vid överensstämmelse av störfrekvens i mark och egenfrekvens i byggnaden. En missanpassning frekvensmässigt ger lägre värde, dvs lägre vibrationsstörning. Vi grundar våra slutsatser på risken för resonans vid frekvensinnehållet i de uppmätta vibrationer som förekommer i mark. Överföringsfunktion i Figur 14 redovisar att en källare i sig inte reducerar vibrationer i en byggnad. Garage/källare behöver ha en större yta än de byggnader som placeras på detta "fundament".

## 3.2 Kommentar val av metod

Denna utredning är en förenklad analys av situationen.

Orsaken till val av metod är följande:

- Beräkningsmodeller som används grundar sig på en stor mängd utredningar och flera års erfarenhet av stomljud och vibrationer. Beräkning av stomljud med "HS2-modellen" är av Trafikverket beslutad att användas för framtida höghastighetsjärnväg Ostlänken/OLP vilket bedöms ge acceptabel säkerhet för beräkningar i planskede.
- Mätningar samt analys av dessa som underlag för beräkningar är det säkraste för att bedöma risk för störande vibrationer inom framtida bostäder.
- Att göra en komplett analytisk modell i FEM eller liknande beräkningshjälpmedel är en omfattande arbetsuppgift som är känslig för val av ingående material och knutpunkters egenskaper. Detta kräver mer omfattande kunskap om stomme och grundläggning än vad som finns tillgängligt idag.



## 4 Riktvärden – bakgrund och förslag

### 4.1 Riktvärde vibrationer

Det finns idag utöver Trafikverkets riktlinjer inga tydliga vibrationskrav rörande komfortstörande vibrationer. En sammanställning har utförts inom Nationell samordning av omgivningsbuller där de konstaterar att omgivningsbuller och vibrationer hanteras olika av flera svenska myndigheter. Naturvårdsverket har till uppdrag att samordna myndigheternas arbete för att effektivisera, stärka och tydliggöra samarbetet. Inom detta arbete finns en sammanställning av underlag för att ta fram ett framtida vibrationsråd från svenska myndigheter. Trafikverkets riktlinjer används idag som praxis ofta vid störningar från infrastruktur.

#### 4.1.1.1 Riktvärden Svensk Standard

Svensk standard har gett ut en standard som kan ligga som underlag för att bedöma störningar av markvibrationer. Det pågår ett revideringsarbete för att tydligare koppla riktvärden till hälsomässiga aspekter. Markvibrationer kan ge påverkan både på människor och på byggnader. Känslig utrustning kan också påverkas och i extrema fall finns det en risk att skador<sup>1</sup> på byggnader och andra konstruktioner kan uppstå. Människor kan uppleva vibrationer på olika sätt främst beroende på frekvensområde (relevant frekvensområde för kännbara vibrationer är 1–80 Hz) eller som ljud.

	V <sub>w</sub> , Vägd hastighet [RMS 1s]	Upplevelse
Måttlig störning	0,4 – 1,0 mm/s	Ger i vissa fall anledning till klagomål
Sannolik störning	> 1 mm/s	Kännbara vibrationer och upplevs av många som störande.

Tabell 2 RIKTVÄRDEN FÖR KOMFORT I BYGGNADER ENLIGT SVENSK STANDARD SS 460 48 61 "VIBRATION OCH STÖT – MÄTNING OCH RIKTVÄRDEN FÖR BEDÖMNING AV KOMFORT I BYGGNADER". RIKTVÄRDEN NEDAN AVSER VÄGD HASTIGHET

Enligt den bedömning som gjorts i samband med framtagningen av angivna riktvärden i svensk standard, anses mycket få människor uppleva vibrationer under skiktet "Måttlig störning" som störande då detta ligger mycket nära känseltröskeln.

Riktvärdena bör tillämpas vid nyetableringar och vid nybebyggelse. De kan tillämpas mindre strikt för kontor än för bostäder. Riktvärdena bör tillämpas mer strikt för bostäder nattetid eftersom störd sömn är den viktigaste hälsomässiga konsekvensen av vibrationer. Riktvärdena kan vidare användas som målsättning för långsiktig förbättring av vibrationsförhållanden i befintliga miljöer.

#### 4.1.1.2 Riktlinjer Trafikverket

I Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg, TDOK 2014:1021, som gäller från 2021-01-01, beskrivs riktvärde som en konkretisering av vad Trafikverket anser vara en god eller i vissa fall godtagbar miljö. Riktvärdena utgör Trafikverkets målnivå vid genomförande av skyddsåtgärder mot höga vibrationsnivåer inom bostäder och vårdlokaler.

Riktvärde för maximal vibrationsnivå för planeringsfall nybyggnad är  $v_w=0,4$  mm/s [komfortvägt/RMS] vilket avser ett visst antal händelser vibrationsnivå nattetid (22–

<sup>1</sup> Skadliga vibrationer kräver avsevärt högre vibrationshastigheter än vad som beräknas i denna utredning

06). Riktvärdet gäller i bostadsrum i permanentbostad och fritidsbostad samt i vårdlokaler avseende utrymme för sömn och vila, eller utrymme med krav på tystnad. Värdet får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt.

Med maximal vibrationsnivå avses den högsta vibrationsnivån i samband med en enskild vibrationshändelse under en viss tidsperiod. Komfortstörande vibrationer ( $v_w$ ) uttrycks som det maximala effektivvärdet (RMS-värdet) med tidsvägning S (slow enligt SS IEC 651) av den vägda hastighetsnivån i mm/s (1-80Hz).

## 4.2 Plankarta – samrådshandling

Följande förslag på planbestämmelse redovisas i samrådshandling: "Vibrationsnivån i sovrum får inte överstiga 0,4 mm/s vägd RMS".

Förslag på planbestämmelse bedöms som hårdare ställt än Trafikverkets mål då kravet aldrig får överskridas.

## 4.3 Riktvärde stomljud

I Trafikverkets riktlinje TDOK 2014:1021 (Trafikverket, 2021) anges riktvärdet för stomljud endast gäller från järnvägstunnel.

Det är rimligt att tillämpa Trafikverkets riktlinjer även vid nybyggnad av flerbostadshus.

För trafikbuller gäller idag förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader som anges ska gälla även planläggning. Då denna inte anger några krav inomhus så går den inte att applicera på stomljud vars ljud endast hörs inomhus. Vi bedömer att gällande riktvärde är Boverkets riktvärde för trafikbuller inomhus som redovisas som råd i kapitel 7 Ljud i Boverket Byggregler, BBR29.

**Tabell 7:21c Dimensionering av byggnadens ljudisolering mot yttre ljudkällor.**

	Ekvivalent ljudnivå från trafik eller annan yttre ljudkälla, $L_{pAeq,nT}$ [dB] <sup>2</sup>	Maximal ljudnivå nattetid, $L_{pAFmax,nT}$ [dB] <sup>3</sup>
Ljudisolering bestäms utifrån fastställda ljudnivåer utomhus så att följande ljudnivåer inomhus inte överskrids <sup>1</sup>		
i utrymme för sömn, vila eller daglig samvaro	30	45
i utrymme för matlagning eller personlig hygien	35	-

<sup>1)</sup> Dimensionering kan göras förenklat eller detaljerat enligt SS-EN 12354-3. För ljud från exempelvis blandad gatutrafik och järnvägstrafik i låga hastigheter kan förenklad beräkning genomföras med  $D_{nT,A,b}$  värden för byggnadsdelarna. Detaljerade beräkningar väger samman byggnadsdelarnas isolering mot ljud vid olika frekvenser med hänsyn till de aktuella ljudkällorna.

<sup>2)</sup> Avser dimensionerande dygnsekvivalent ljudnivå. Se Boverkets handbok *Bullerskydd i bostäder och lokaler*. För andra yttre ljudkällor än trafik avses ekvivalenta ljudnivåer för de tidsperioder då ljudkällorna är i drift mer än tillfälligt.

<sup>3)</sup> Avser dimensionerande maximal ljudnivå som kan antas förekomma mer än tillfälligt under en medelnatt. Med natt menas perioden kl. 22:00 till kl. 06:00. Dimensioneringen ska göras för de mest bullrande vägfordons-, tåg- och flygplanstyper, samt övrigt yttre ljud, exempelvis från verksamheter eller höga röster och skrik, så att angivet värde inte överstigs oftare än fem gånger per natt och aldrig med mer än 10 dB.

Figur 15 Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR29 - kapitel 7, Ljud

## 4.4 Andra konstruktionskrav med avseende på vibrationer

Nedan följer en översiktlig information om relevanta dokument och handböcker som vars krav förutsätts att byggnaden är utformad för att klara. Denna handling förutsätter att byggnaden är konstruerad på ett sådant sätt att konstruktiva myndighetskrav på svängning inom byggnad är uppfyllda. En byggnad som inte utformas med hänsyn till detta kan påverkas i högre grad av utifrån kommande vibrationsstörningar även om vägledningarna har som syfte att begränsa byggnadens svängningar på grund av vindlast, gångtrafik inomhus och liknande.

Boverkets konstruktionsregler, EKS 10 innehåller väldigt lite hjälp för att bestämma acceptabla vibrationshastigheter från trafik. Det som finns är: Allmänt råd för virvelavlösning, modell enligt Boverkets handbok Snö- och vindlast (BSV 97, utgåva 2), (BFS 2015:6). Deformationskrav ska indirekt innebära att svängningar vid normalt brukande inte blir för stort.

Det finns ett konsensusdokument framtaget av EU rörande svängningar i bjälklag från gångtrafik inom byggnad. Den sammanfattas i detta dokument: "Samlade resultat från europeiska utvecklingsprojekt om lättbyggnad med stål, rapport 259:1.

Bedömningar av risk för svängningar och vibrationer inom byggnad hanteras normalt indirekt genom att sätta ett visst krav på den statiska nedböjningen. Det innebar att egenfrekvensen inte blir för låg och att strukturen därmed kan hantera lågfrekventa vibrationsstörningar. Maximala nedböjningar t.ex. L/600, L/300... motsvarar en viss lägsta egenfrekvens i storleksordningen 8-10 Hz vilket är ett rimligt värde för intern gångtrafik.

Svängningar av vindavväxling undveks genom att följa råd i handboken: "Boverkets handbok Svängningar, deformationspåverkan och olyckslast" från 1994. Observera att denna handbok bygger på Boverkets tidigare konstruktionsregler, BKR. Numera gäller de europeiska konstruktionsstandarderna, eurokoderna, tillsammans med nationella val i Boverkets föreskriftsserie EKS. Dagens krav på största nedböjning innebär att viss hänsyn tas till svängning i byggnad.

Nybyggda byggnader med 5 våningsplan invid stambanan i Halmstad har genom mätningar visat att horisontella vibrationer kan förstärkas på våningsplan högre upp i flerbostadshus. Åtgärder utfördes som innebar att vibrationskrav klarades i byggnaderna.

## 5 Mätningar av vibrationshastigheter från järnvägstrafik

En långvarig loggning av markvibrationer har utförts mellan 2023-01-12 och 2023-01-23 i fem mätpositioner. Några mätpositioner har fallerat under del av tid.

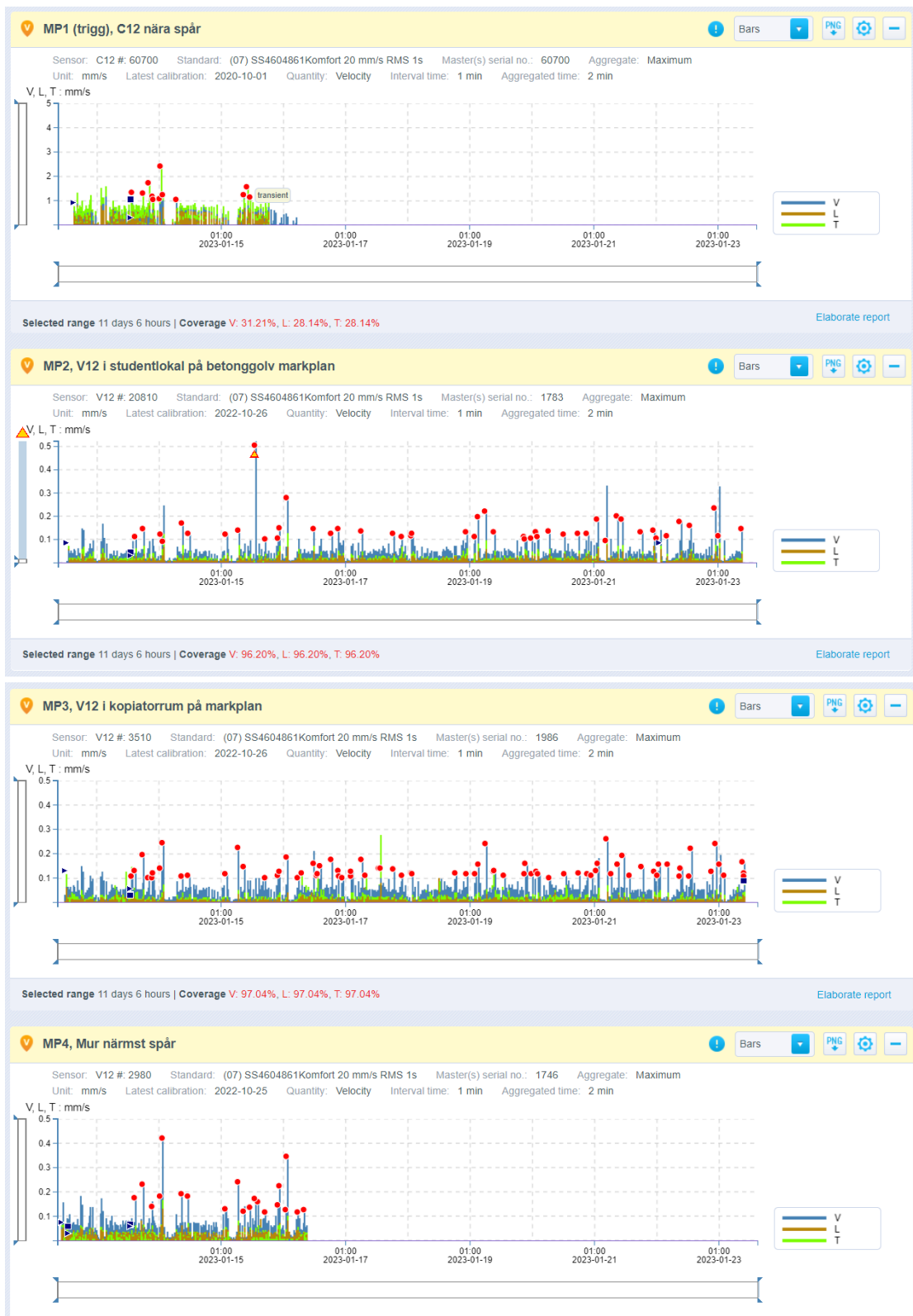
Tabell 3 Mätpositioner

Mätpunkt		
1	Nära spår (5,5 meter från närmaste spår)	Referenspunkt
2	Studentlokal på betonggolv	Inomhusvärde
3	Kopiatorrum markplan	Inomhusvärde
4	Betongmur närmast spår (23 meter spår)	Betongmur som markposition
5	Betongmur längst bort (45 meter spår)	Betongmur som markposition

Mätningar har utförts vid närmaste byggnader till järnvägen samt dels inomhus, dels i mark utomhus i två positioner. Då kvarteret är bebyggt är det svårt att hitta mätpunkter som inte påverkas av befintlig byggnad och dess grundläggning. En referenspunkts-mätning har utförts nära järnvägen. Passager har främst valts nattetid för att undvika ovidkommande störningar.

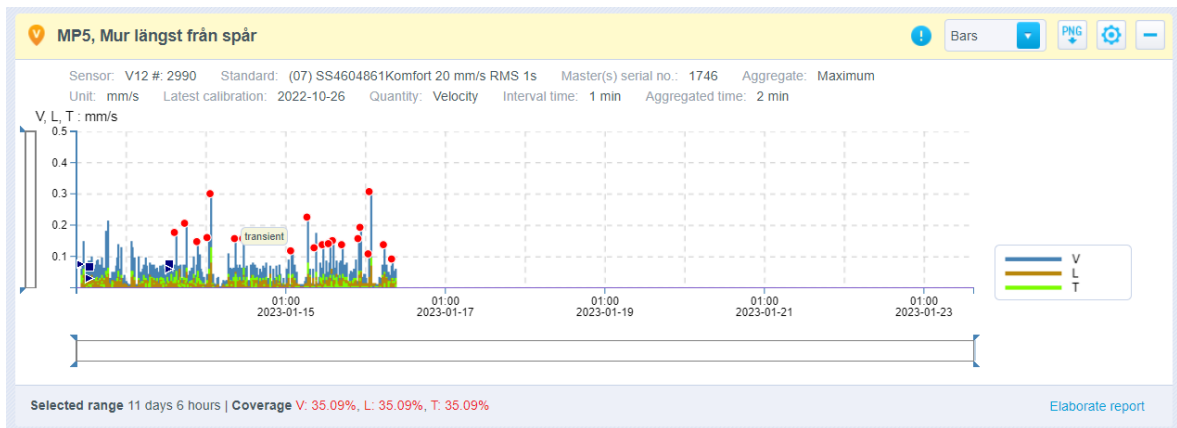


Figur 16 REDOVISNING AV MÄTPUNKTER SOM ANVÄNTS I UTREDNINGEN.



Figur 17 vibrationshändelser i Mätpositioner 1 – 4 under hela mätperioden

- V = Vertikalt
- L = Horisontellt parallellt med järnvägen
- T = Horisontellt ortogonalt med järnvägen



Figur 18 vibrationshändelser i Mätposition 5 under hela mätperioden

Uppmätta vibrationshändelser, passager av tåg, i de olika mätpositionerna

MP1			
Mätt på platta på mark (ev lös i sidled vinkelrätt mot spår)			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Parallellt spåret	Vinkelrätt spåret
Tid	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
2023-01-13 18:41	0,655	0,335	1,300
2023-01-13 22:16	0,640	0,225	1,150
2023-01-14 01:34	1,360	1,390	2,410
2023-01-14 02:24	1,010	0,725	1,220
2023-01-15 02:41	0,315	0,220	0,450
2023-01-15 07:23	0,410	0,295	0,670
2023-01-15 22:45	N/A	N/A	N/A
2023-01-15 23:18	0,075	N/A	N/A
2023-01-16 01:55	0,475	N/A	N/A
2023-01-16 02:18	0,330	N/A	N/A
medel	0,59	0,53	1,20
max	1,36	1,39	2,41
standardavvikelse	0,3697	0,4203	0,6219

Figur 19 Uppmätta vibrationer för fordonspassager som ger högst vibrationshastighet i referenspunkt vid järnväg

N/A – inga inhämtade värden

MP2			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Parallellt spåret	Vinkelrätt spåret
Tid	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
2023-01-13 18:41	0,15	0,04	0,07
2023-01-13 22:16	0,01	0,03	0,04
2023-01-14 01:34	0,12	0,03	0,06
2023-01-14 02:24	0,25	0,07	0,12
2023-01-15 02:41	0,12	0,03	0,04
2023-01-15 07:23	0,14	0,03	0,08
2023-01-15 22:45	0,11	0,03	0,05
2023-01-15 23:18	0,15	0,05	0,07
2023-01-16 01:55	0,07	0,02	0,03
2023-01-16 02:18	0,28	0,07	0,13
medel	0,38	0,07	0,12
max	3,00	0,20	0,36
standardavvikelse	0,6246	0,0433	0,0820

Figur 20 Uppmätta vibrationer för fordonspassager som ger högst vibrationshastighet i mät punkt 2, Studentlokal på betonggolv

MP3			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Parallellt spåret	Vinkelrätt spåret
Tid	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
2023-01-13 18:41	0,20	0,03	0,06
2023-01-13 22:16	0,11	0,15	0,25
2023-01-14 01:34	0,14	0,02	0,04
2023-01-14 02:24	0,25	0,05	0,08
2023-01-15 02:41	0,12	0,02	0,03
2023-01-15 07:23	0,23	0,04	0,05
2023-01-15 22:45	0,11	0,02	0,03
2023-01-15 23:18	0,13	0,02	0,04
2023-01-16 01:55	0,08	0,02	0,02
2023-01-16 02:18	0,19	0,04	0,04
medel	0,29	0,07	0,12
max	0,74	0,45	0,75
standardavvikelse	0,1901	0,0962	0,1612

Figur 21 Uppmätta vibrationer för fordonspassager som ger högst vibrationshastighet i mät punkt 3, Kopiatorrum markplan



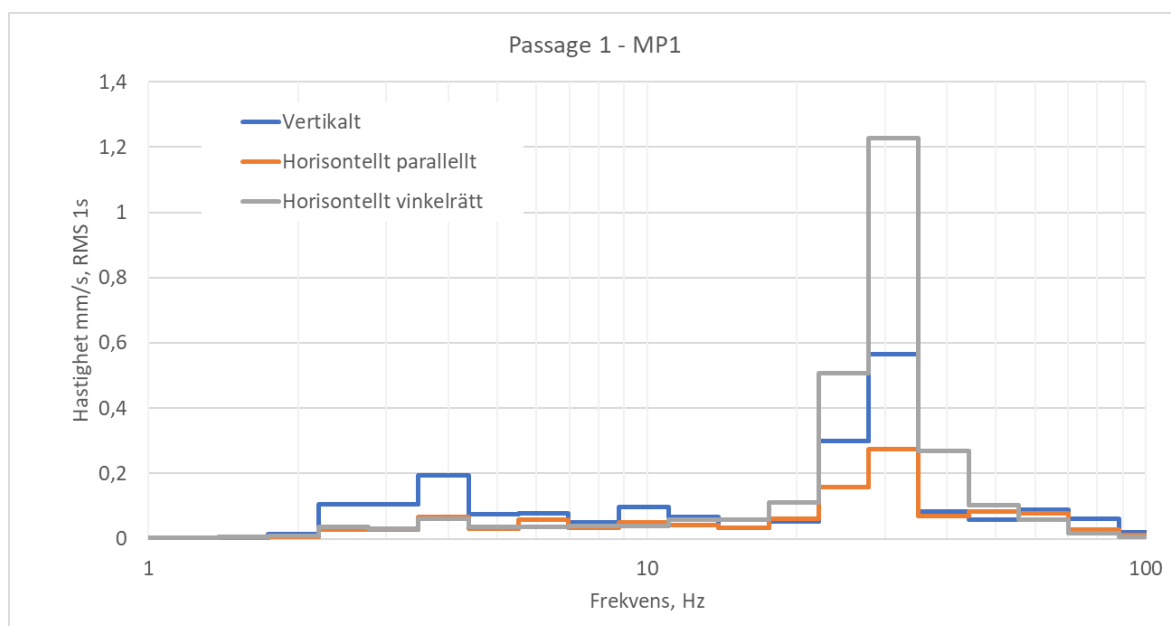
MP4			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Parallellt spåret	Vinkelrätt spåret
Tid	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
2023-01-13 18:41	0,23	0,05	0,07
2023-01-13 22:16	0,16	0,05	0,06
2023-01-14 01:34	0,18	0,06	0,07
2023-01-14 02:24	0,42	0,13	0,17
2023-01-15 02:41	0,14	0,05	0,06
2023-01-15 07:23	0,24	0,06	0,08
2023-01-15 22:45	0,15	0,05	0,06
2023-01-15 23:18	0,23	0,07	0,07
2023-01-16 01:55	0,13	0,04	0,05
2023-01-16 02:18	0,35	0,08	0,10
medel	0,41	0,12	0,14
max	1,26	0,39	0,50
standardavvikelse	0,2743	0,0828	0,1027

Figur 22 Uppmätta vibrationer för fordonspassager som ger högst vibrationshastighet i mät punkt 4, Betongmur närmast spår (23 meter spår)

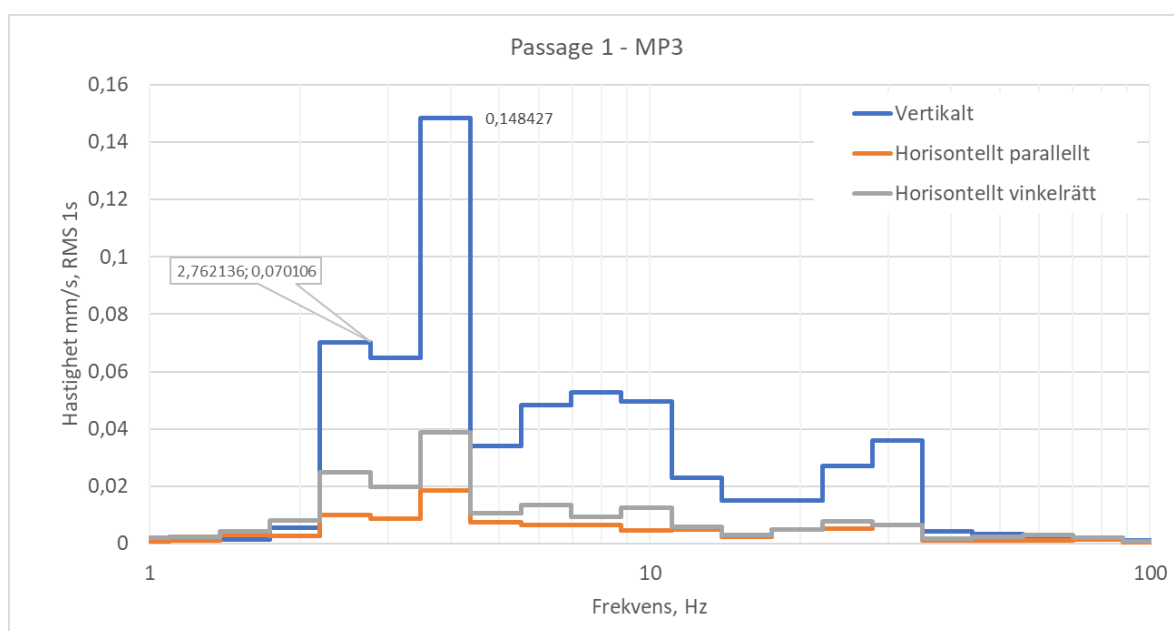
MP5			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Parallellt spåret	Vinkelrätt spåret
Tid	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
2023-01-13 18:41	0,21	0,05	0,07
2023-01-13 22:16	0,14	0,05	0,06
2023-01-14 01:34	0,16	0,05	0,06
2023-01-14 02:24	0,30	0,08	0,13
2023-01-15 02:41	0,12	0,04	0,05
2023-01-15 07:23	0,23	0,05	0,08
2023-01-15 22:45	0,16	0,04	0,06
2023-01-15 23:18	0,19	0,05	0,06
2023-01-16 01:55	0,11	0,04	0,04
2023-01-16 02:18	0,31	0,07	0,10
medel	0,35	0,09	0,13
max	0,90	0,24	0,39
standardavvikelse	0,2129	0,0539	0,0848

Figur 23 Uppmätta vibrationer för fordonspassager som ger högst vibrationshastighet i mät punkt 5, Betongmur längst bort (45 meter spår)

Frekvensanalys har utförts i mätpositionerna, typiska frekvensspektra redovisas.



Figur 24 Vibrationshastigheter i referenspunkt Mp1



Figur 25 Vibrationshastighet i mätposition 3

Frekvensanalysen visar att vibrationer vid högre frekvenser reduceras väsentligt och att de dominerande frekvenser som påverkar byggnaden ligger under 10 Hz (mellan 3-10 Hz beroende på passage).

## 6 Beräkningar

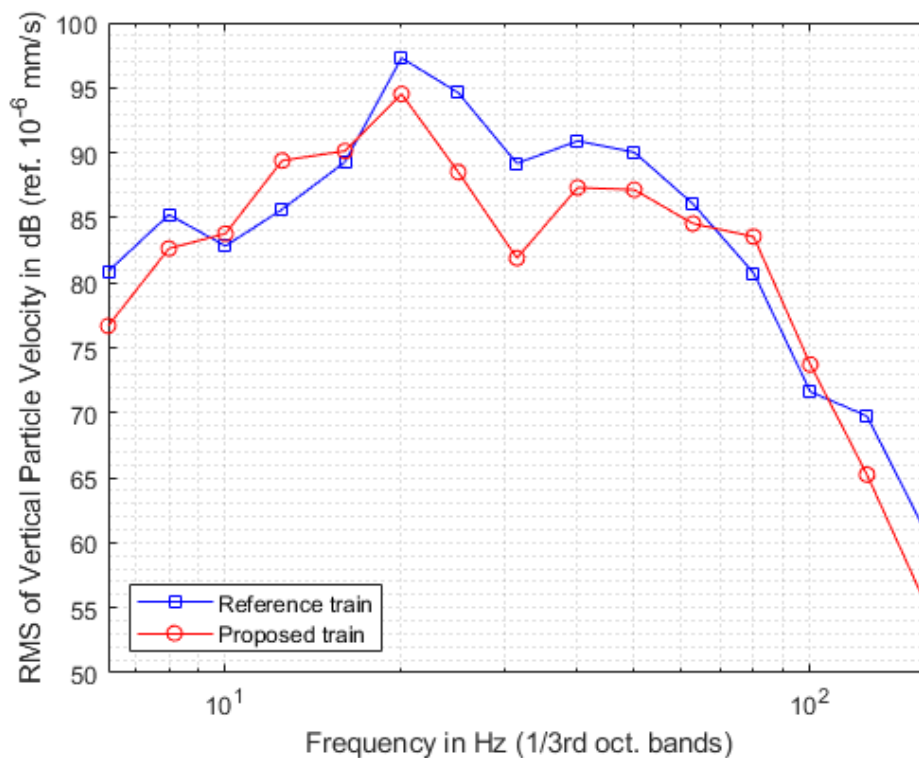
Beräkningar har utförts för erhålla förväntade vibrationer i framtida byggnader utifrån uppmätta vibrationer och hörbara stömljudsnivåer inomhus.

### Vibrationer

Beräkningsmässigt erhålls en vibrationshastighet på plan +1 inom byggnaden på  $v_w=0,3-0,6$  mm/s [komfortvägt/RMS] med markplatta och eventuellt mantelburna pålar och egenfrekvens hos bjälklag som är 8-10 Hz (godståg). Beräkningar visar en acceptabel överensstämmelse med mätningar.

### Stömljud

Beräknad vibrationshastighet i mark enligt beräkningsmodell för höghastighetståg HS2, HIGH SPEED RAIL (LONDON - WEST MIDLANDS)



Figur 26 Frekvensspektra för referenståg (Eurostar 373 @ 250 km/h, 10m) samt Regina (proposed train/ Regina @ 200 km/h, 25m).

Stömljudsnivån på lägsta källarplanet är beräkningsmässigt 35 dBA. Stömljudsnivåer på högre våningsplan bedöms vara lägre. Vid beräkningar utifrån uppmätta vibrationshastigheter i markplattan inomhus så är stömljudsnivåerna lägre än 35 dBA.

## 7 Slutsats

### **Vibrationer (kännbara)**

Med underlag från utförda mätningar klaras beräkningsmässigt Trafikverkets riktlinjer  $v_w=0,4$  mm/s [komfortvägt/RMS] under förutsättning att planerade byggnader och deras grundläggning utformas så att inte vibrationerna förstärks i byggnaden. Detta förutsätter att byggnaden miss-anpassas till järnvägens vibrationer (ej resonans), vilket kan innebära begränsade spännvidder för bjälklag, styvare stomme (egenfrekvenser  $>10$  Hz), behov av parkeringsdäck under kvarteret samt grundläggning ned till fast botten med spetsburna pålar eller motsvarande.

Kunskapsunderlaget för att beräkna responsen i en betongbyggnad är säkrare än för att göra en motsvarande beräkning i ett trähus.

Vid projektering bör beräkningar utföras för att säkerställa att framtida byggnad och dess grundläggning har adekvata åtgärder så att vibrationskravet klaras.

### **Stomljud (hörbara vibrationer)**

Vid en jämförelse mot Trafikverkets riktlinjer samt Boverkets Råd så konstateras att kraven klaras eftersom järnvägen ligger ovan mark och inte i tunnel. Järnväg ovan mark har ett gemensamt ljudkrav, luftburet ljud och stomljud, på  $L_{pAFmax,nT} = 45$  dBA och stomljudsnivån från järnvägen i framtida byggnad är beräkningsmässigt  $L_{pAFmax,nT}$  lägre än 35 dBA vilket är lägre än Boverkets Råd.

## 8 Referenser

- Arnesson, M. (2016). *Analysis and Estimation of Residential Vibration Exposure from Railway Traffic in Sweden*. Göteborg: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- Christian Madshus m.fl. (23 juni 1994). *Vibrationsstrategi för Gardemobanan/ Reguleringsplan og beregninggrunnlag for parsellene mellom Åråsen og Eidsvoll - Fellesrapport. 933016-6*. Oslo: Norges Geotekniske Institutt.
- Mikael Ögren, A. E. (2019). *Ground and building vibration estimation for health impact rese. IWRN*. Gothenburg: University of Gothenburg and Trafikverket.
- Rickard Torndahl, T. S. (2017). *METHODOLOGY FOR ANALYSIS METHODOLOGY FOR ANALYSIS VIBRATIONS, Master's Dissertation*. Lund: Lunds Universitet, DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS.
- Svensk material- och mekanstandard, SMS (SIS/SS). (2003-08-08). *SS-ISO 2631-2, Vibration och stöt – Vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan – Del 2: Vibratio i byggnad (1 Hz till 80 Hz)*. Stockholm: SIS.
- Svenska Geotekniska Föreningen. (2013-12-18). *Markvibrationer - SGF Informationsskrift 1:2012*. Göteborg och Stockholm: SGF:s Markvibrationskommitté.
- Trafikverket. (2017.2). *Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg. TDOK 2014:1021*.
- Trafikverket. (2021). *TDOK 2014:1021. Riktlinje - Buller och vibrationer från trafik på väg. version 3.0*. Trafikverket.
- Vågfelt, G. (2021). *Empirical Prediction of Ground-Borne Vibration from Railway Systems, Master's thesis in Sound and Vibration*. Göteborg: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- ÅF Infrastructure AB / Ljud och Vibrationer. (2013). *Vibrationshastighet för Tåg Version 0-19*. Göteborg: Internt.
- ÅF Ljud & Vibrationer. (2014-11-24). *Markvibrationer - Internkurs 2014, Rev 10.0, 2014-11-24*. Göteborg: ÅF (Odebrant/Almgren).