

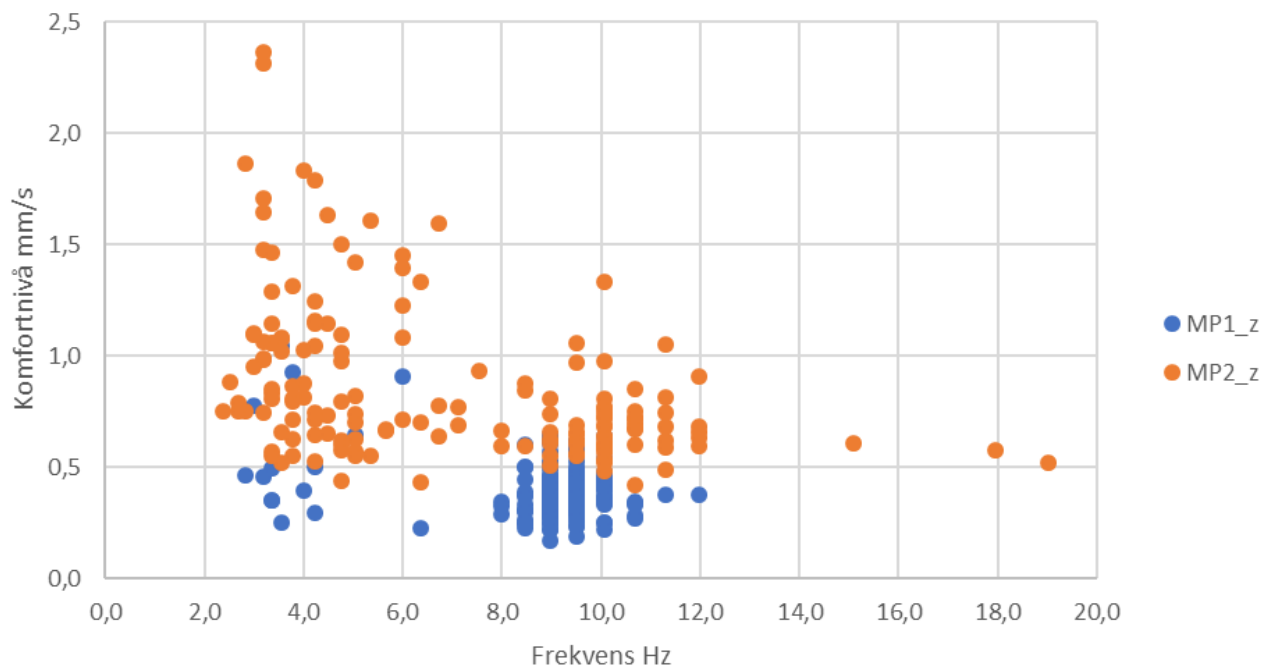


Göteborgs Stad Trafikkontoret

# Engelbrektslänken GFS

## Vibrationsutredning

Z-led



Uppdragsnr: 106 10 04 Version: 1  
2019-06-24

**Uppdragsgivare:** Göteborgs Stad Trafikkontoret  
**Uppdragsgivarens kontaktperson:** Magnus Stenberg  
**Konsult:** Norconsult AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg  
**Uppdragsledare:** Morgan Öberg  
**Teknikansvarig:** Andreas Sigfridsson  
**Handläggare:** Andreas Sigfridson

1	2019-06-24	Vibrationsutredning	Andreas Sigfridsson	Åsa Hallberg	Andreas Sigfridsson
Version	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt

Detta dokument är framtaget av Norconsult AB som del av det uppdrag dokumentet gäller. Upphovsrätten tillhör Norconsult. Beställaren har, om inte annat avtalats, endast rätt att använda och kopiera redovisat uppdragsresultat för uppdragets avsedda ändamål.

## Sammanfattning

På uppdrag av Trafikkontoret har Norconsult Team Akustik fått i uppdrag att utreda om det föreligger risk för vibrationsstörningar från den planerade spårvagnsvägen längs Engelbrektsgatan till närliggande byggnader. Området bedöms kunna vara vibrationskänsligt då områdets jordlager består av lera, samt då vissa byggnader inom området är från 1890-talet med varierade grundförhållanden.

Efter genomgång av underlag bedöms i första skedet att risk för komfortstörande vibrationer framför allt föreligger för följande fastigheter då de ligger i direkt anslutning till planerad spårväg, jordlager utgörs av lera samt att de är grundlagda på rustbädd/träpålar: HEDEN 25:3, HEDEN 27:3, HEDEN 27:4 samt HEDEN 27:22.

För att erhålla amplitud och frekvensfördelning från spårväg har vibrationsmätningar utförts i befintlig byggnad Heden 27:22 samt under likvärdiga geotekniska förutsättningar i mark i mellan Skånegatan och Sten Sturegatan. Resultat visar att uppmätta komfortnivåer i sockel ligger under gällande riktlinjer för bostäder.

Då vibrationsnivåer kan förstärkas i byggnad på grund av att resonanser i byggnadselement eller byggnadsstomme sammanfaller med störfrekvens har ett förväntat "värsta fall" i konstruktion beräknats. Resultaten från beräkningar visar att risk för komfortstörande vibrationer föreligger både från spårvägstrafik och från tung fordonstrafik för aktuella byggnader inom området.

Risken bedöms framför allt förekomma i vertikal riktning vilket medför att det är egenfrekvens i byggnaders bjälklag som är av störst intresse. Genomgång av underlag för aktuella byggnader och verifierande stickprovsmätningar på bjälklag visar att lägsta egenfrekvens för bjälklag ej sammanfaller med inkommande vibrationer från spårvägstrafik. Dock föreligger viss risk för att egenfrekvens i bjälklag sammanfaller med vibrationer från tung fordonstrafik.

Utifrån mät- och beräkningsresultaten görs bedömningen att det inte krävs några åtgärder för att begränsa komfortvibrationer från spårvagnstrafik, utan spår kan anläggas med normal grundläggning.

Tunga fordon passerar sträckan redan idag och förutsatt att inga ojämnheter införs som kan förvärra dagens situation är bedömningen att liten risk för vibrationstörningar föreligger från tung fordonstrafik. Detta gäller under förutsättning att ingen tung fordonstrafik framförs i spårvagnsspår.

Om störningar ändå skulle uppstå när spårvagnssträcka är driftsatt kan hastighet för aktuell spårsträcka regleras för att reducera vibrationsnivåer till närliggande byggnader.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Förutsättning</b>	<b>5</b>
2.1	Geoteknik	5
2.2	Befintliga byggnader	6
<b>3</b>	<b>Riktvärden</b>	<b>6</b>
3.1	Svensk standard	6
3.2	Trafikverkets riktlinjer	7
3.3	Trafikkontorets riktlinjer	7
<b>4</b>	<b>Genomförande och metodik</b>	<b>7</b>
4.1	Uppdrag	7
4.2	Vibrationsmätningar	8
<b>5</b>	<b>Resultat - Vibrationsmätningar</b>	<b>9</b>
5.1	Vibrationsmätningar	9
<b>6</b>	<b>Beräkningar av respons i byggnader</b>	<b>10</b>
6.1	Överföring av vibrationer från mark till byggnad	10
6.2	Responsspektraberäkningar	10
6.3	Nordtest metod NT ACOU 082	13
6.4	Kommentarer till beräkningsresultat	14
<b>7</b>	<b>Verifiering byggnadsresonanser</b>	<b>15</b>
7.1	Genomgång förutsättningar	15
7.2	Beräkningar av lägsta egenfrekvenser	15
7.3	Sviktmätningar av lägsta egenfrekvenser	16
<b>8</b>	<b>Slutsats</b>	<b>16</b>

**Bilaga 1 - Mätrapport Engelbrektslänken\_437-19114.M1\_2019-05-10.pdf**

# 1 Bakgrund

På uppdrag av Trafikkontoret har Norconsult Team Akustik fått i uppdrag att utreda om det föreligger risk för vibrationsstörningar från den planerade spårvagnsvägen längs Engelbrektsgatan till närliggande byggnader. Området bedöms kunna vara vibrationskänsligt då områdets jordlager består av lera, samt då vissa byggnader inom området är från 1890-talet med varierade grundförhållanden. För närliggande fastigheter har också större sättningar noterats vilket bidrar till bedömningen om att marken kan vara vibrationskänslig

# 2 Förutsättning

## 2.1 Geoteknik

Enligt den geotekniska utredningen har underlag från SGU's kartdatabas samt tidigare utförda undersökningar i närheten använts. Mycket underlag som tagits fram för Västlänken över området har även använts i denna utredning. SGU:s jordartskarta visar att de naturliga jordlagren längs sträckan till största delen består av glacial lera. Jorddjupen längs sträckan enligt SGU:s jorddjupskarta varierar mellan 0–30 m.

Tidigare utförda undersökningar i anslutning till Engelbrektsgatan, visar att jordlagerföljden från ytan är fyllnadsmaterial, lera, friktionsjord och slutligen berggrund. I **tabell 2.1** nedan redovisas jordlagerföljden inom de närliggande kvarteren till Engelbrektsgatan.

Tabell 2.1 – Jordlagerförhållande i de olika kvarteren (Underlag Västlänken).

Närliggande fastigheter:	Fyllnadsmaterial:	Lera:	Friktion:
HEDEN 22	1–2 m	1–30 m	2–10 m
HEDEN 24	1–2 m	1–20 m	0,5–10 m
HEDEN 25	1–2 m	5–15 m	2–7 m
HEDEN 26	1–2 m	2–23 m	1–10 m
HEDEN 27	1–4 m	15–20 m	1–10 m
HEDEN 37	1–2 m	5–20 m	0,5–10 m
HEDEN 44	upp till 1 m	5–15 m	0,5–2 m
HEDEN 705	1–2 m	10–30 m	0,5–5 m
LORENSBERG 55	1–2 m	2–33 m	0,5–10 m

## 2.2 Befintliga byggnader

Tidigare utförda undersökningar (Sammanställning 1982 för HEDEN 25, HEDEN 26 och HEDEN 27) i anslutning till Engelbrektsgatan, visar att för fastigheterna närmast belägna den planerade nya spårvägsleden utgörs av grundläggning enligt **tabell 2.2**. Benämnda fastigheter bedöms ha störst risk för komfortstörande vibrationer i utgångsläget med avseende på avstånd till planerat spår. Övriga fastigheter inom området har i detta skede gallrats bort då risk för komfortstörande vibrationer bedöms som liten.

Tabell 2.2 – grundläggningsförhållande för de olika fastigheterna.

Närliggande fastigheter:	Grundläggning:	Byggår:	Jorddjup till berg:
HEDEN 25:1	Stödpålar av btg	1982	5 – 20 m
HEDEN 25:2	Rustbädd / Träpålar (Grundförstärkt)	1893	5 – 15 m
HEDEN 25:3	Rustbädd / Träpålar	1894	5 – 15 m
HEDEN 26:1	Btg-grund / Stödpålar av btg	1981	15 – 25 m
HEDEN 26:2	Btg-grund / Stödpålar av btg	1981	15 – 20 m
HEDEN 26:3	Btg-grund / Stödpålar av btg	1981	5 – 20 m
HEDEN 27:3	Rustbädd / Träpålar	1895	20 – 25 m
HEDEN 27:4	Rustbädd / Träpålar	1893	15 – 25 m
HEDEN 27:22	Rustbädd / Träpålar	1897	20 – 25 m

Störst risk för komfortstörande vibrationer bedöms föreligga för fastigheter med Rustbädd / Träpålar dvs fastigheter: HEDEN 25:3, HEDEN 27:3, HEDEN 27:4 samt HEDEN 27:22.

## 3 Riktvärden

### 3.1 Svensk standard

#### Frekvensvägning

Frekvensvägningen för riktvärdet dokumenteras i "SS 460 48 61: Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader" (Svensk Standard 1992). Frekvensvägningen viktar vibrationer lägre för frekvenser som understiger 8 Hz, på grund av att människans känslighet för vibrationshastigheten avtar för frekvenser under 8 Hz. Denna frekvensvägda vibrationshastighet kallas ofta för "komfortvärde".

#### Störning

Enligt dokumentet SS 460 48 61 utgör komfortvärdet 0,4 mm/s nedre gränsen för ett amplitudintervall betecknat "måttlig störning". Enligt standarden anses mycket få människor uppleva vibrationer under skiktet "måttlig störning" som störande. Riktvärdet 0,4 mm/s som komfortvärde är ca 30% högre än människors känseltröskel enligt ISO 2631-1.

Enligt dokumentet SS 460 48 61 utgör komfortvärdet 1,0 mm/s gränsen för sannolik störning. Över denna gräns är vibrationerna kännbara och upplevs av många som störande. Dessa riktvärden kan enligt standarden tillämpas mindre strikt för kontor än för bostäder. Riktvärdena bör tillämpas mer strikt för bostäder nattetid.

### 3.2 Trafikverkets riktlinjer

Trafikverkets riktlinjer (TDOK 2014:1021) för bl. a vibrationer från trafik på väg och järnväg, anger för bostäder och vårdlokaler riktvärdet: **maximal vibrationsnivå, 0,4 mm/s vägd RMS inomhus**. Detta avser vibrationsnivå nattetid (kl 22–06) och får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt. Vibrationsnivån får dock inte överskrida 0,7 mm/s vägd RMS.

### 3.3 Trafikkontorets riktlinjer

Trafikkontorets riktlinjer (TH 2018:2 – 2019-03-18) för vibrationer utgår de från samma riktvärden som Trafikverket tillämpar vid nybyggnation. Men med tanke på de lokala förutsättningarna med relativt mycket lera kan ett spann behövas till dagens planeringsnivå. 0,4 mm/s vägd RMS eftersträvas om det kan ske med små kostnader. 0,4 – 0,6 mm/s vägd RMS bör uppnås om det kan ske med rimliga kostnader. För att åtgärder i befintlig miljö ska bli aktuella ska nivån uppgå till minst 1,0 mm/s vägd RMS.

## 4 Genomförande och metodik

### 4.1 Uppdrag

Efter genomgång av förutsättningar för mark och berörda byggnader för den planerade spårsträckan bedöms risk för komfortstörande vibrationer i befintliga byggnader kunna uppstå. I detta uppdrag har arbetet delats upp i följande steg:

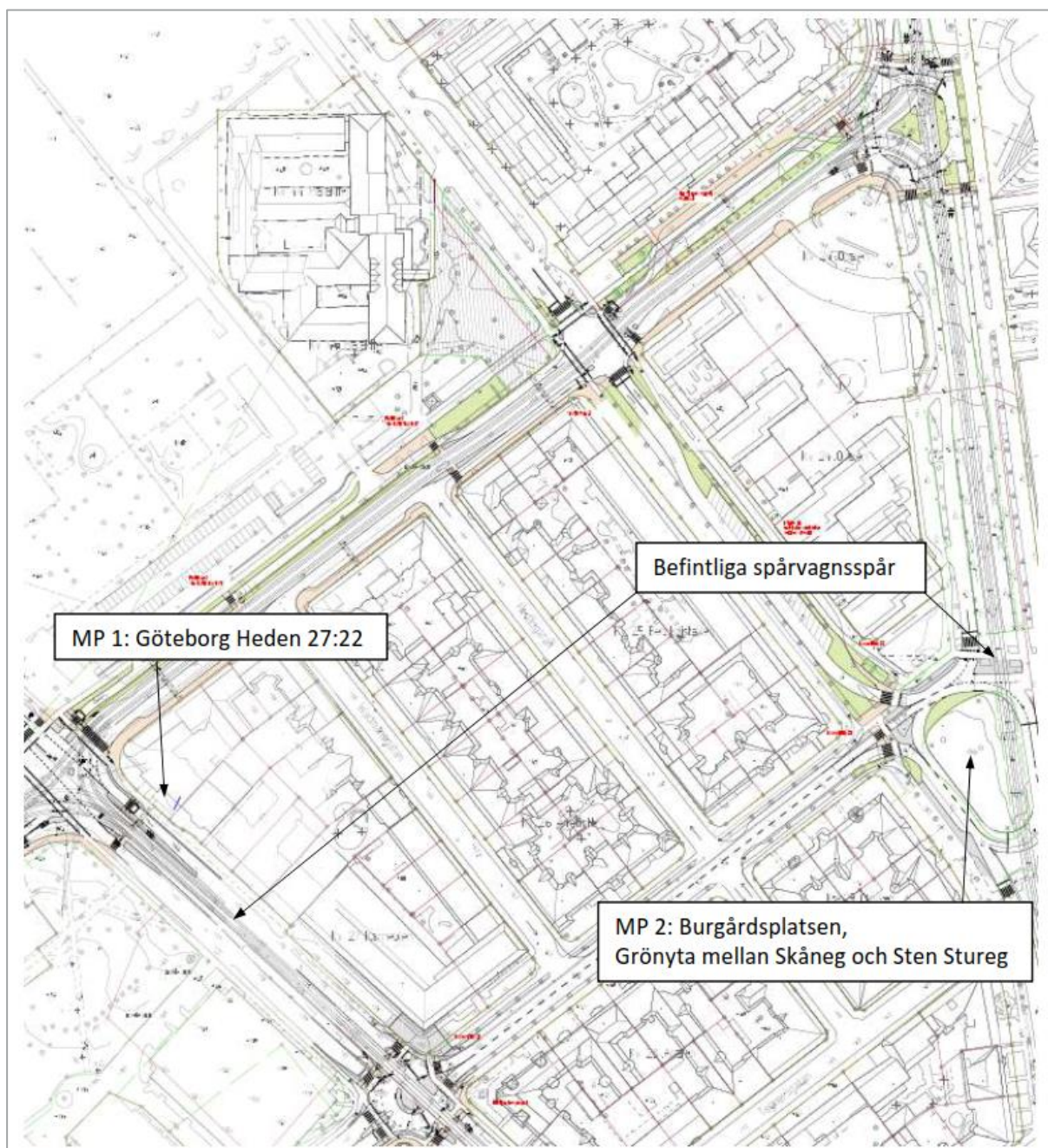
1. **Mätningar av storkälla.** För att bedöma risk för komfortstörande vibrationer har mätningar utförts för att erhålla amplitud och frekvensfördelning för vibrationer från spårvagnstrafik inom området.
2. **Beräkningar av respons i byggnader.** Från mätningar i mark reduceras sedan vibrationsnivåerna till sockel beroende på byggnadens grundläggning. För byggnader inom området kommer vibrationsnivåerna att vara starkt beroende av de olika byggnadernas egenskaper. För att bedöma vibrationsrisk väljs den högsta uppmätta registreringen från spårtrafik ut och därefter beräknas en maximalt förväntad vibrationsnivå. Detta utförs genom två metoder, dels med beräkningar av responsspektra, dels med Nordtest metod NT ACOU 082. De båda metodernas resultat jämförs därefter med gällande riktlinjer och utmynnar i en riskanalys för de nya byggnaderna inom planerat område.
3. **Verifiering av resonanser inom byggnader.** Om resultaten från mätningar och analyser enligt ovan visar på risk för komfortstörningar behöver aktuella byggnadselements lägsta egenfrekvenser verifieras genom antingen beräkningar eller kompletterande mätningar.
4. **Åtgärder.** Slutligen om även sistnämnda analyser visa på risk för komfortstörningar kan åtgärder vid källan dvs i detta fall spårbana vara aktuella.

## 4.2 Vibrationsmätningar

Mätningen utfördes i 3 riktningar för aktuella mätpunkter, x-, y- och z-riktningar, under 3 dygn. Utvalda mätpunkter presenteras i **figur 4.1**. Mätssystemet har mätt kontinuerligt med redovisning av toppvärdet med analyserbara kurvdata vid registrering över tröskelvärdet 0,2 mm/s. Mätningen ägde rum från 2019-04-29 till 2019-05-02, se bilaga 1 för mer information.

Mät punkt 1 och 2 var placerade 13 respektive 14 meter till närmaste räil. MP 1 var placerad på sockel och MP 2 i mark.

Analys har utförts i Matlab med hjälp av Abravibe samt egna skript.



Figur 4.1. Placering av mätpunkter inom aktuellt område, för mer info se bilaga 1.

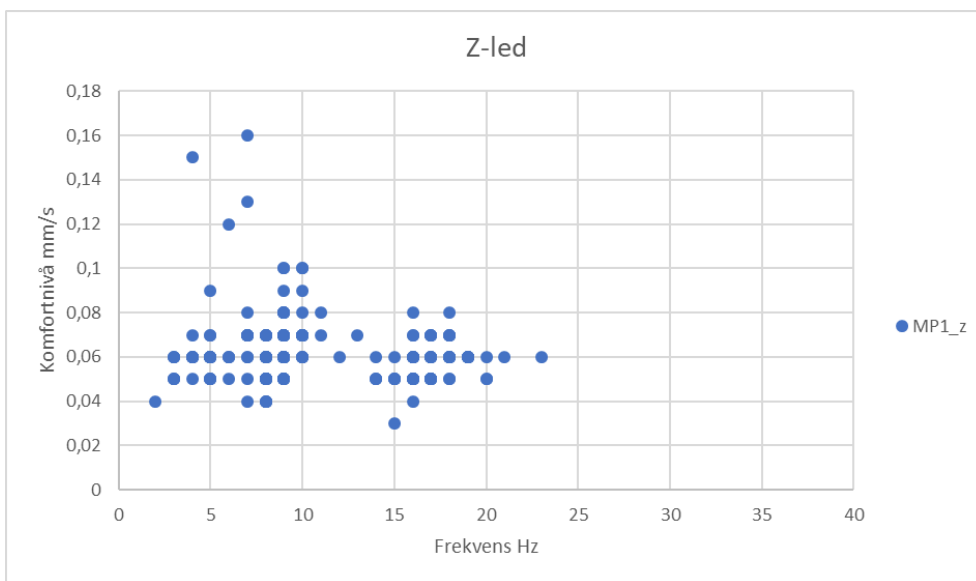


## 5 Resultat - Vibrationsmätningar

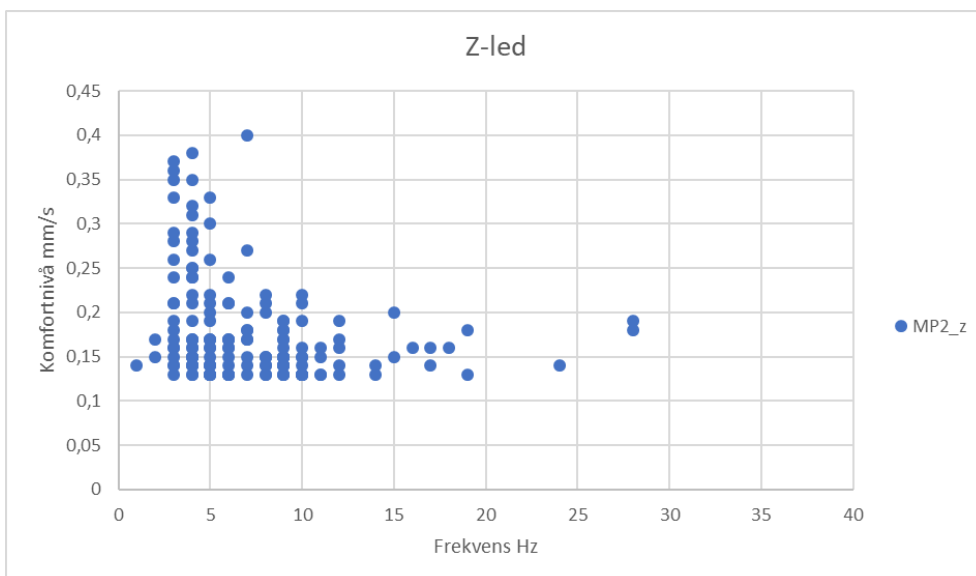
### 5.1 Vibrationsmätningar

Från mätresultaten har uppmätta maxnivåer plockats ut tillsammans med dominant frekvenskomponent. Uppmätta vibrationsnivåer i vertikal riktning för mätpunkt 1 och mätpunkt 2 presenteras i **figur 5.1 respektive 5.2**. För mer information kring utförd mätning se bilaga 1.

För mätpunkt 1, som motsvarar befintlig byggnadsgrund, uppmättes maximalt 0,16 mm/s vägd RMS vid mättilfället. För mätpunkt 2 uppmättes maximalt 0,40 mm/s vägd RMS i mark.



Figur 5.1. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 1, vertikal riktning.



Figur 5.2. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 2, vertikal riktning.

## 6 Beräkningar av respons i byggnader

### 6.1 Överföring av vibrationer från mark till byggnad

På sockeln av en byggnad är vibrationerna lägre än vad de skulle ha varit i marken i samma läge utan byggnad. Med källargrund är husgrundens motstånd mot vibrationer större än för grund utan källare. Det finns i den allmänt använda Nordtest metod NT ACOU 082 schablonvärden för att uppskatta vibration i husgrund relativt vibration i mark utan husgrund:

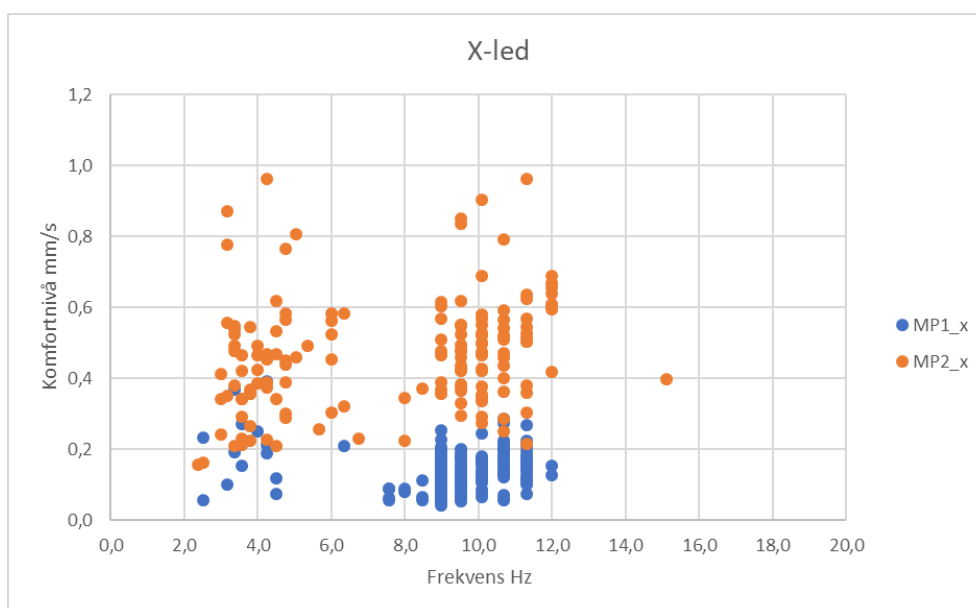
- Husgrund utan källare, vibration i vertikal riktning 0,8
- Husgrund med källare, vibration i vertikal riktning 0,4

I denna utredning används **faktorn 0,8** för övergång från mark till grund på byggnad.

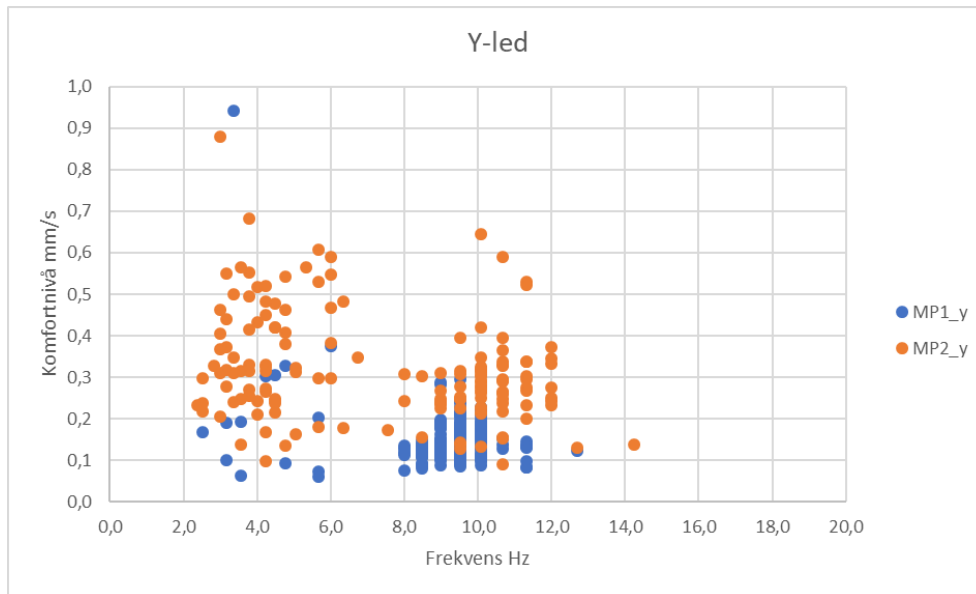
### 6.2 Resonsspektraberäkningar

För ett flerplanshus skulle egenfrekvenser i byggnaden kunna ge upphov till högre komfortvärden om egenfrekvens och den exciterande markvibrationens frekvens sammanfaller. Vid beräkning av responsspektra på uppmätta vibrationsdata med en antagen förstärkningsfaktor på  $Q=10$  (normal förstärkningsfaktor vid låga frekvenser), skulle ett komfortvärde på **2,4 mm/s vägd RMS** kunna erhållas i ett "värsta fall" för MP2 då egenfrekvenser i byggnad sammanfaller med markvibrationens frekvens (vertikalt). Resultaten är korrigerade med en faktor 0,8 för övergång från mark till byggnad. För vertikal riktning är det egenfrekvenser i bjälklag som är av intresse och för horisontell riktning är det egenfrekvenser i grund och byggnad som är av intresse.

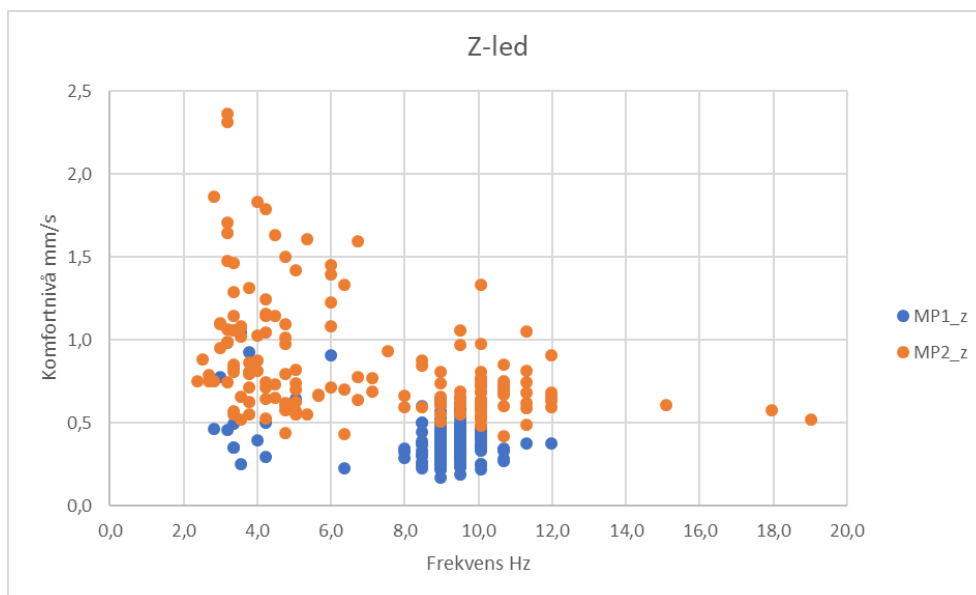
För samtliga registreringar i mark över tröskelnivå har responsspektra beräknats och maximal komfortnivå (som inträffar vid viss frekvens) från dessa beräkningar presenteras nedan i **figur 6.1 – 6.3** för de olika riktningar. Där X-led motsvarar tvärs spårriktning, Y-led motsvarar längs spårriktning samt Z-led motsvarar vertikal riktning.



Figur 6.1 Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar ( $Q=10$ ) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits. X-led motsvarar här tvärs spårriktning.



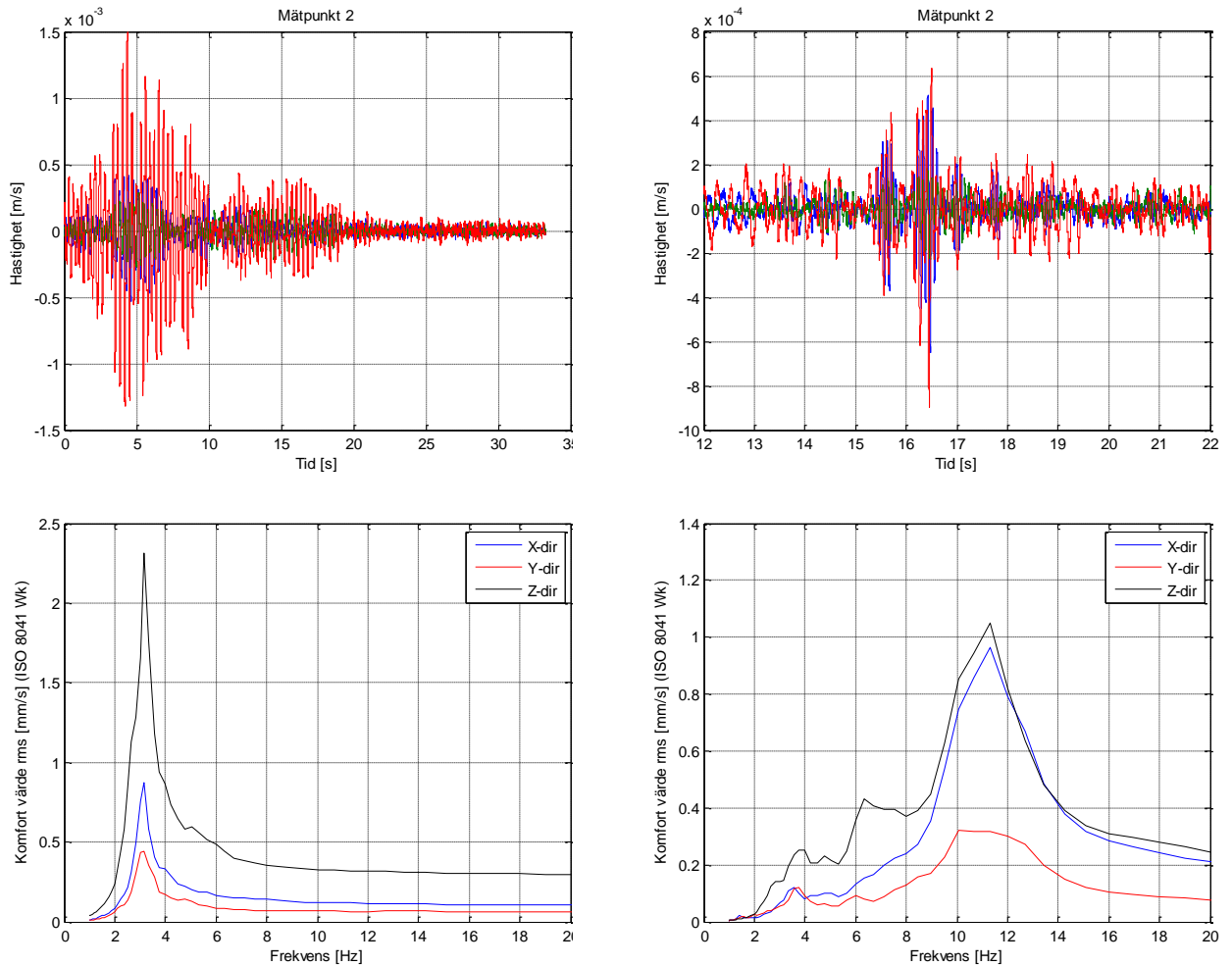
Figur 6.2 Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar ( $Q=10$ ) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits. Y-led motsvarar här längs spårriktning.



Figur 6.3 Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar ( $Q=10$ ) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits. Z-led motsvarar här vertikal riktning.

Från resultat kan noteras att störningar inträffar inom två frekvensområden, dvs cirka 2 – 6 Hz samt cirka 8 – 12 Hz. Resultaten med högst respons har analyserat noggrannare för MP 2 och exempel för dessa presenteras i **figur 6.4 – 6.7**. Från resultaten kan man urskilja att registreringar inom 2 – 6 Hz uppstår till största sannolikhet från spårvagnstrafik och har en varaktighet på ca 15 – 20 sekunder. Registreringar inom frekvensområde 8 – 12 Hz har en varaktighet på under 2 – 5 sekunder och det går tydligt att urskilja excitering motsvarande varje hjulpar passerande ojämnheter i vägbana.

Uppmätt data i MP 2 där resultat till vänster (figur 6.4 och 6.5) motsvara en passage av spårvagn och till höger presenteras en passage av tungt fordon på väg (figur 6.6 och 6.7).



Figur 6.4 – 6.7. Överst två tidsförlopp över uppmätta registreringar i MP 2 med tillhörande responspektraberäkning. Till vänster motsvarar en registrering som genererar vibrationer över området 2 – 6 Hz och till höger presenteras en registrering som genererar vibrationer över frekvensområde 8 – 12 Hz.

### 6.3 Nordtest metod NT ACOU 082

För uppskattning av vibrationsnivå i vertikal riktning på golv relativt uppmätt vibrationsnivå i vertikal riktning i husgrund finns följande schablonvärden för uppräkningsfaktorer:

- Envåningshus, eller första våningen i tvåvåningshus, med träbjälklag \*4
- Övre våningen i tvåvåningshus med träbjälklag \*10
- Flervåningshus med betongbjälklag \*2,5

För uppskattning av vibrationsnivå i horisontell riktning på golv/vägg relativt uppmätt vibrationsnivå i vertikal riktning i husgrund finns följande schablonvärden för uppräkningsfaktorer:

- Envåningshus, eller första våningen i tvåvåningshus, med träbjälklag \*1,8
- Övre våningen i tvåvåningshus med träbjälklag \*10
- Flervåningshus med betongbjälklag \*1,1

Bakom dessa schablonvärden döljer sig mätningar med stor spridning i mätresultaten. Starkt påverkande faktorer är hur den aktuella, uppmätta vibrationens frekvensinnehåll "matchar" egenfrekvenser i den aktuella byggnaden. Markvibrationens frekvensinnehåll påverkas av typen av trafik (vikt, hastighet, hjulavstånd, spårkvalitet) samt marktyp. En byggnads egenfrekvenser är beroende av bärande konstruktioners spännvidder, styvhet och vikt.

Maximal vibrationsnivå i mark har här uppmätts till 0,16 respektive 0,32 mm/s vägd RMS i vertikal riktning för respektive mätpunkt. Genom övergång från mark till byggnad har en faktor 0,8 används. Schablonvärdena ovan har sedan använts för att beräkna vibrationsnivåer för ett flervåningshus med betong- respektive träbjälklag, resultaten presenteras i **tabell 5.1**.

Tabell 5.1 Beräknade maximala komfortvärden för byggnad med betong- respektive träbjälklag baserade på maximalt uppmätta vibrationsnivåer enligt tabell 5.2. Beräkningar utförda enligt Nordtest metod NT ACOU 082.

Registrering	NT ACOU 082 Horisontellt (vägd RMS [mm/s]) Betong / Trä	NT ACOU 082 Vertikalt (vägd RMS [mm/s]) Betong / Trä
MP1 (utgångsvärde 0,16 mm/s vägd RMS)	0,17 / 1,6*	0,4 / 1,6*
MP2 (Utgångsvärde 0,32 mm/s vägd RMS)	0,35 / 3,2*	0,80 / 3,2*

\*) För aktuellt område finns inga en- eller tvåvåningshus utan endast flervåningshus och därmed bör en reduktion av dessa vibrationsnivåer förväntas.

## 6.4 Kommentarer till beräkningsresultat

Resultaten visar att vibrationsnivåerna i befintlig byggnad för MP 1 är låga och uppgår till maximalt 0,16 mm/s vägd RMS. Dessa nivåer ligger under den nivå som utgör känseltröskel enligt svensk standard. Mätningar i mark mellan Skånegatan och Sten Sturegatan (MP 2) visar på något högre vibrationsnivåer och med en faktor på 0,8 för övergång från mark till byggnad erhålls en motsvarande komfortnivå på 0,32 (Uppmätt 0,4) mm/s vägd RMS. Maximala vibrationsnivåer i båda mätpunkter underskrider alltså gällande riktvärden.

Orsaken till varför vibrationsnivåerna är dubbelt så höga i mätpunkt 2 är oklart, men två möjliga orsaker bedöms vara av störst betydelse (alternativt en kombination av dessa):

- Hastighet för spårvägstrafik kan vara högre vid MP 2. I närhet till mätpunkt 1 förekommer en kurva som innebär reducerad hastighet för spårvagnar.
- Faktor för övergång från mark till byggnad på 0,8 har underskattats för aktuella byggnader.

Med uppmätt ingångsdata har responsspektraberäkningar utförts för att se om risk för vibrationsstörningar föreligger då resonsanser i byggnadselement sammanfaller med störfrekvens från spårvägstrafik. Resultat från båda mätpunkter visar att risk föreligger framför allt i vertikal riktning, vilket medför att egenfrekvens i bjälklag är av störst intresse.

För MP2 i mark visar responsspektraberäkningar att det även förekommer risk i horisontell riktning, vilket medför att det är byggnadens stomme och grundläggning som är av intresse. Maximalt uppgår responsspektraberäkning till 1,0 mm/s vägd RMS vid 4,2 Hz för MP 2. Responsspektraberäkningar i befintlig byggnad (MP 1) visar med undantag för en registrering att vibrationsnivåer i värsta fall skulle kunna uppgå till 0,3 mm/s vägd RMS, vilket medför låg risk för vibrationsstörningar. En enstaka registrering sticker ut och uppgick till 0,9 mm/s vägd RMS vid 4,8 Hz. Generellt kan egenfrekvens för byggnad beräknas med uttrycket  $48/H$ , där  $H$ =byggnadens höjd i meter. För aktuella byggnader medför en minsta höjd av cirka 20-24 meter därmed en egenfrekvens på 2,0 - 2,4 Hz. Resultaten medför en bedömning om att det förekommer låg risk för komfortstörande vibrationer i horisontell riktning.

Samtliga störningar uppstår inte endast från spårvägstrafik utan även från tung fordonstrafik. Analys och även erfarenhet från tidigare uppdrag visar att spårvägstrafik i lera generera ofta störfrekvenser inom frekvensområdet 2 - 6 Hz, tunga fordon som lastbilar genererar istället vibrationer inom frekvensområdet 8 – 12 Hz. Analys av tidsdata visar att så även är fallet i denna mätning. Normalt ligger egenfrekvens för bjälklag inom frekvensområdet 5 - 10 Hz och för att kunna utesluta att ingen risk för att dessa sammanfaller behöver egenfrekvens för bjälklag i aktuella byggnader verifieras.

Från beräkningsresultaten har sedan de med högst amplitud från de båda utvärderingsmetoderna valts ut och sammanställts i **tabell 5.2**. Båda metoderna har använt en faktor 0,8 för övergång från mark till byggnad för MP 2.

Tabell 5.2 Sammanställda resultat från utvärderingar med de båda metoderna korrigerade med avseende på övergång från mark till byggnad.

Registrering	Responsspektra Horisontellt vägd RMS [mm/s]	Responsspektra Vertikalt vägd RMS [mm/s]	NT ACOU 082 Horisontellt vägd RMS [mm/s] (Betong / Trä)	NT ACOU 082 Vertikalt vägd RMS [mm/s] (Betong / Trä)
MP1	0,3 (4,8 Hz)	1,0 (3,6 Hz)	0,17 / 1,6*	0,4 / 1,6*
MP2	1,0 (4,2 Hz)	2,4 (3,2 Hz)	0,35 / 3,2*	0,80 / 3,2*

\*) För aktuellt område finns inga en- eller tvåvåningshus utan endast flervåningshus och därmed bör en reduktion av dessa vibrationsnivåer förväntas.

## 7 Verifiering byggnadsresonanser

### 7.1 Genomgång förutsättningar

Efter genomgång av ritningsmaterial från Stadsbyggnadskontorets arkiv är det inte möjligt att fastställa bjälklagens uppbyggnad. Dock har information om spännvidder för aktuella utrymmen och stickprov i värsta lägen kunna plockas ut.

Genomgång av underlag visar att bjälklagens spännvidd är cirka 4–5 meter. Bjälklagen är av största sannolikhet uppbyggda som träbjälklag.

I tidigare uppdrag vid ombyggnad till vindslägenheter har Norconsult AB team Akustik utfört mätningar på träbjälklag i de aktuella byggnaderna som använts som underlag.

Beräkningar av förväntade lägsta egenfrekvenser har utförts med följande antaganden för de aktuella byggnaderna:

- Medelvärde cc träbalk 600 mm
- Träbalk bredd 80–120 mm
- Träbalk höjd 180–240 mm

### 7.2 Beräkningar av lägsta egenfrekvenser

Med fyllning av sågspån erhålls en ytvikt inom spannet ca 80–100 kg/m<sup>2</sup>, tidigare utförda mätningar inom området av reduktionstal medför enligt masslagen vid 100 Hz en ytvikt på ca 80 kg/m<sup>2</sup>

För detta fall hamnar lägsta egenfrekvens i intervall:

- $f_0 = 5\text{--}9$  Hz för spännvidd 5 m
- $f_0 = 8\text{--}14$  Hz för spännvidd 4 m

Med tung fyllning av aska, densitet 840 kg/m<sup>3</sup>, som förekom ibland, blir yvikten inom spannet 180–220 kg/m<sup>2</sup>. För detta fall hamnar lägsta egenfrekvens i intervall:

- $f_0 = 3.7\text{--}6.2$  Hz för spännvidd 5 m
- $f_0 = 5.7\text{--}9.7$  Hz för spännvidd 4 m

Mer troligt baserat på tidigare erfarenheter och mätningar att bjälklagen är uppbyggda med lätt fyllning. Beräkningar avser idealiskt momentfritt upplag av träbalk och inget bidrag till styvhet av golv- och takbrädor, vilket medför att resultat bör ses som restriktiva för aktuella bjälklag.

#### Sammanfattning av beräknade egenfrekvens

- Bjälklags spännvidd 5 m, lägsta egenfrekvens **> 5 Hz**
- Bjälklags spännvidd 4 m, lägsta egenfrekvens **> 8 Hz**

### 7.3 Sviktmätningar av lägsta egenfrekvenser

Stickprovsmätningar har utförts i två av de fyra byggnader där risk för komfortstörningar tidigare bedömts föreligga. För aktuella utrymmen har mätningar utförts i två utrymmen med olika spännvidder. Resultat från mätningar gav följande lägsta egenfrekvens för uppmätta bjälklag:

Heden 25:3, Engelbrektsgatan 67

- Rum 1 –  $f_0 = 12,6 \text{ Hz}$
- Rum 2 –  $f_0 = 9,9 \text{ Hz}$

Heden 27:4, Engelbrektsgatan 55

- Rum 1 –  $f_0 = 11,7 \text{ Hz}$
- Rum 2 –  $f_0 = 11,0 \text{ Hz}$

Sammanfattningsvis ligger alltså uppmätta resultat i det övre spannet enligt tidigare beräkningar.

## 8 Slutsats

Uppmätta nivåer i mark/grund ligger under gällande riktlinjer för bostäder.

Då vibrationsnivåer kan förstärkas i byggnader på grund av att resonanser i byggnadselement eller byggnadsstomme sammanfaller med störfrekvens har responspektraberäkningar utförts. Resultaten visar på att störst risk föreligger i vertikal riktning mellan 2–6 Hz samt mellan 8–12 Hz. Genomgång av underlag för aktuella byggnader och verifiering av egenfrekvens i bjälklag visar att lägsta egenfrekvens för bjälklag ligger inom frekvensområdet 10–12 Hz.

Resultaten medför låg risk för komfortstörande vibrationer inom frekvensområdet 2–6 Hz men fortsatt risk inom frekvensområdet 10–12 Hz. Analys av de kraftigaste registreringarna visar att vibrationer inom frekvensområdet 10–12 Hz uppstår från tung fordonstrafik på väg och att spårvägstrafik ger kraftigaste störningar inom frekvensområdet 2–6 Hz. Övergång från mark till byggnad (flerbostadshus) för tung fordonstrafik kan erfarenhetsmässigt halveras för denna typ av byggnader dvs övergångsfaktor sjunker från 0,8 till 0,4, vilket även styrks av resultaten från utförda mätningar.

För horisontell riktning bedöms lägsta egenfrekvens för byggnader genom schablonberäkningar ligga under 2,5 Hz. Responspektraberäkningar för befintlig byggnad visar på relativt låga vibrationsnivåer med undantag för endast en registrering under mätperioden, vilket medför en bedömd låg risk för komfortstörande vibrationer i horisontell riktning.

Med avseende på resultaten ovan rekommenderas därmed inga ytterligare åtgärder för spårvagnstrafik längs den aktuella sträckan. Normal grundläggning för spår kan utföras med avseende på risk för komfortstörande vibrationer.

Tunga fordon passerar sträckan redan idag och förutsatt att inga ojämnheter införs som kan förvärra dagens situation är bedömningen att liten risk för vibrationstörningar föreligger för tung fordonstrafik.

Om komfortstörande vibrationer ändå skulle uppstå när spårvägssträcka är driftsatt kan hastighet regleras för att reducera vibrationsnivåer till närliggande byggnader.

Resultaten bygger på utförda mätningar och de underlag som fanns tillgängliga vid utredningstillfället. Om förutsättningar för byggnader och bjälklag är annorlunda kan resultaten medföra risk för komfortstörande vibrationer. Förutsättningarna kan alltså behöva kontrolleras i ett senare skede.