

OKTOBER 2022

# VIBRATIONSUTREDNING SMÅLANDSGATAN

EVENEMANGSVIBRATIONER – GAMLA ULLEVI





OKTOBER 2022

# VIBRATIONSUTREDNING SMÅLANDSGATAN

EVENEMANGSVIBRATIONER – GAMLA ULLEVI

PROJEKTNR.

A133996

DOKUMENTNR.

A133996-4-02-3-RAP-008

VERSION

1

UTGIVNINGSDATUM

2022-10-21

BESKRIVNING

Rapport

UTARBETAD

Andreas Hyltdgaard  
Langager

GRANSKAD

Simon Rex

GODKÄND

Erik Bäck



# INNEHÅLL

1	Inledning	7
2	Sammanfattning	9
3	Bakgrund	10
3.1	Framtida bebyggelse	10
3.2	Standarder och riktvärden	10
3.3	Evenemang	11
4	Vibrationsmätningar	13
4.1	Mätutrustning	13
4.2	Mätningar	14
4.3	Resultat	15
4.3.1	Vibrationsnivåer	15
4.3.2	Frekvensfördelning	15
5	Bedömning av framtida nivåer	17
5.1	Metodik	17
5.1.1	Vertikala vibrationer	17
5.1.2	Horisontella vibrationsnivåer	18
5.2	Utredning av vibrationskomfort	19
5.2.1	Vertikala vibrationsnivåer	19
5.2.2	Horisontella vibrationsnivåer	20
5.2.3	Geologiska faktorer	20
5.2.4	Påverkan av publikantal	21
5.3	Skaderisk för byggnader	21
5.4	Åtgärder	21
6	Slutsatser	22
7	Referenser	23



# 1 Inledning

I området kring polishuset vid Skånegatan pågår arbete med en detaljplan som ska medge bebyggelse i tre olika områden, vilka visas i Figur 1. Syftet med detaljplanen är att pröva en utbyggnad av Rättscentrum samt att pröva kontor och bostäder vid Ernst Fontells Plats och vid Ullevi Tennis. Ytorna sträcker sig från Parkgatan i väster till Skånegatan i öster och gränsar till de båda arenorna Gamla Ullevi och Ullevi.

Byggherregruppen har anlitat COWI för att utföra utredningar inom områdena luftkvalitet, vibrationer och vindkomfort.



Figur 1 Tre planbesked, markerade med rött (ny bebyggelse i grått), kring polishuset har lämnats. Dessa har slagits samman till en detaljplan. Bild ur Göteborgs Stads Förprövningsrapport gällande planbesked för Bostäder och kontor vid Ernst Fontells Plats (del av Heden 705:13) inom stadsdelen Heden.

När folkmassor rör sig eller hoppar synkroniserat, framkallas signifikanta vibrationer i byggnadsdelar och i marken under arenor eller andra byggnader. Vibrationerna kan spridas genom marken till närliggande byggnader. Detta kan i sin tur generera vibrationer i byggnaderna som kan förorsaka obehag i form av vibrationer i golv och bullerstörningar från så kallade stomljud.

I den här utredningen definieras vibrationer som lågfrekventa svängningar, som kan kännas i den mänskliga kroppen, så kallade helkroppsvibrationer. En människa kan uppfatta vibrationer på frekvenserna 1-80 Hz enligt ISO 2631-2 [1]. Stomljud är vibrationsgenererat ljud mellan 10 och 160 Hz.

Mot bakgrund av den planerade nya bebyggelsen i området nära Smålandsgatan i Göteborg, har vibrationsnivån i närliggande byggnader kopplade till publikaktiviteter på Gamla Ullevi utretts och bedömts i den här rapporten.

Det här dokumentet täcker följande:

- > Presentation av bakgrunden, inklusive mätningarna, relevanta nivåer och riktlinjer gällande komfortstörande vibrationer samt markburet stomljud i byggnader.
- > Beskrivning av metodiken som använts i mätningarna inklusive beräkningsmodell och bakgrund.
- > Presentation av resultatet från utredningen av vibrationer och stomljud i termer av kritisk distans för både lätta och tunga byggnadstyper.



## 2 Sammanfattning

Här presenteras en sammanfattning av slutsatserna:

- > Den här rapporten presenterar mänskligt genererade vibrationers påverkan på framtida byggnader i området nära Smålandsgatan och Gamla Ullevi i Göteborg. De vibrationerna som det refereras till här orsakas från vibrationer som sprids genom marken till närliggande byggnader på grund av synkroniserad mänsklig rörelse från publik under sportevenemang på Gamla Ullevi.

Baserat på undersökningen har följande slutsatser dragits:

- > Signifikanta vibrationer med en maximal frekvens på 2,2 Hz har mätts upp. De vänstas påverka alla planerade byggnader i planområdet.
- > Vid sportevenemang med cirka 2 000 personer i publiken som rör sig fritt men i en perfekt korrelerad rörelse, är följande vibrationsnivåer i framtida byggnader, oberoende av distansen till Gamla Ullevi, beräknade:
  - > Vertikalt: 0,9 mm/s vägd RMS (överskridande av tillämpade riktvärden)
  - > Horisontellt: 6,5 mm/s vägd RMS vid perfekt resonans mellan vibrationer med frekvensen 2,2 Hz och byggnadernas egenfrekvens (överskridande av tillämpade riktvärden)
- > Vibrationers påverkan inuti de planerade byggnaderna bedöms vara proportionell till antalet åskådare som deltar i det synkroniserade hoppandet på Gamla Ullevi.
- > I allvarliga fall, det vill säga vid tillfällen med mycket vibrationer, riskerar framtida byggnader att skadas.
- > Åtgärder mot vibrationer är nödvändiga för alla framtida byggnader i området nära Smålandsgatan och Gamla Ullevi om tillämpade riktvärden ska följas.
- > Det rekommenderas att det eftersträvas att de planerade byggnaderna har en egenfrekvens som är tillräckligt skiljd från 2,0-2,4 Hz och dess lägsta multiplar, det vill säga 4,0-4,8 Hz, 6,0-7,2 Hz osv.

## 3 Bakgrund

Denna utredning baserade på följande: avståndet mellan vibrationskällan och de planerade byggnaderna, de uppmätta vibrationsnivåerna i de olika mätpunkterna, COWIs databas om vibrationers fortplantning i byggnader samt riktvärden för vibrationer och stömljud för accepterad komfort.

Den dynamiska förstärkningen av vibrationer i de planerade byggnaderna är baserad på mätningar utförda på byggnadskonstruktioner som strukturellt påminner om de planerade

### 3.1 Framtida bebyggelse

De störningar från vibrationer som tidigare förekommit i området och som uppmärksammats av boende och belagts genom mätningar, beror främst på evenemang som hålls av de två arenorna Gamla Ullevi och Ullevi. Den förstnämnda är en fotbollsarena, medan den andra används för både sportevenemang och konserter.

Den planerade bebyggelsen kommer att ligga söder om Gamla Ullevi och väster om Ullevi. I Figur 2 visas en skiss av bebyggelsen daterad oktober 2022.



Figur 2. En tredimensionell översiktskarta över planområdet, där den planerade bebyggelsen har färgade fasader och tak.

### 3.2 Standarder och riktvärden

Svensk standard SS 460 48 61 [2] föreskriver en tröskel på 0,4-1,0 mm/s för måttliga komfortstörningar i bostadshus beroende på frekvens. Värdet definieras som det maximala RMS-värdet med tidsviktningen "långsam" och en frekvensviktning enligt ISO 8041 inom frekvensområdet 1-80 Hz. För att vara konservativ definieras komforttröskeln som 0,4 mm/s. Denna tröskel uppfyller också riktlinjerna från Trafikverket [3] som föreskriver en maximal vibrationsnivå på 0,4 mm/s RMS för bostadshus. Tröskelvärdet från Trafikverket

avser vibrationsnivån på natten (22-06) och får inte överskridas mer än 5 gånger en genomsnittlig natt med avseende på trafik, men får dock aldrig överstiga 0,7 mm/s RMS.

Miljöförvaltningen i Göteborg beslutat att förbjuda störande vibrationer från Gamla Ullevi vid närliggande bostadshus som medför överskridanden av riktvärdet 0,4 mm/s som vibrationshastighet och 14 mm/s<sup>2</sup> RMS som acceleration [4]. Riktvärdena förväntas också gälla för de nya byggnaderna. Angivna värden ska följa svensk standard SS 460 48 61. Under sju sekunder per tillfälle eller under två dygn per år får hastigheten och accelerationen uppgå till maximalt 1,0 mm/s respektive 36 mm/s<sup>2</sup> RMS. Riktvärdena är sammanställda i Tabell 1 och avhandlats i COWIs tidigare rapporter.

Tabell 1 Riktvärden för vibrationskomfort beslutade av miljöförvaltningen i Göteborgs stad [4].

Riktvärden (RMS)	Hastighet	Acceleration
Gäller alltid, förutom för nedanstående undantag	0,4 mm/s	14 mm/s <sup>2</sup>
Undantag: > 7 sekunder per tillfälle > 2 dygn per kalenderår	1,0 mm/s	36 mm/s <sup>2</sup>

### 3.3 Evenemang

Denna utredning baseras i huvudsak på vibrationsnivåer som uppmätts under fotbollsmatchen mellan IFK Göteborg och Malmö FF på Gamla Ullevi den 7 november 2021 kl 17.30. Antalet åskådare på arenan uppgick till 15 452 enligt uppgifter från Got Event. På de södra ståplatsläktarna O och A (se Figur 1) fanns 2 027 personer.

Videomaterial från den aktuella matchen visar hur majoriteten av publiken på läktarna O och A vid flera tillfällen hoppar synkroniserat. Vid samma tidpunkt uppmättes tydliga vibrationer. Mätningarna har gett underlaget för denna utredning.



Figur 1 Arenaplan för Gamla Ullevi med den södra ståplatsläktaren (sektion O och A) markerad.

## 4 Vibrationsmätningar

Vibrationsmätningar är utförda i området mellan Gamla Ullevi och Smålandsgatan under perioden 5-22 november 2021. Mätplatserna visas översiktligt i Figur 3.



Figur 3 Översikt av mätpunkterna, MP1-5.

### 4.1 Mätutrustning

Vibrationsmätningarna genomfördes med mätutrustning av typen INFRA C22 från Sigicom AB. Bilder på de olika mätplatserna och var utrustningen monterats finns i Bilaga A.

Instrumenten som använts är fem stycken triaxiella geofoner som kontinuerligt registrerar ofiltrerade vibrationshastigheter i enheten mm/s. Instrumenten har monterats på fasader eller andra fasta strukturer, nära marknivå. Datainsamlingen sker i femsekundersintervall, där den maximala hastigheten registreras. Vid överskridanden av förinställda tröskelvärden sparas även åtta sekunder långa mätserier med högre tidsupplösning.

Tabell 2 Mätutrustning i de olika mätpunkterna.

Mätpunkt	Loggermodell	Serienummer
MP1	INFRA C22	107869
MP2	INFRA C22	101384
MP3	INFRA C22	105583
MP4	INFRA C22	105621
MP5	INFRA C22	105627

## 4.2 Mätningar

Den primära datakällan för den här utredningen är vibrationsnivåer inmätta under en fotbollsmatch mellan IFK Göteborg och Malmö FF den 7 november 2021, med start kl 17.30.

Totalt har åtta tidsserier valts ut från mätningarna, vilka utgör den huvudsakliga underlaget för vidare analys. Tidsserierna är utvalda baserat på att de representerar de maximala uppmätta vibrationsnivåerna för respektive mätpunkt. De åtta tidsserierna är listade i Tabell 3. För alla mätningar gäller att de vertikala vibrationerna utgör de maximala nivåerna av de tre riktningarna, se Tabell 4 nedan. Det här utfallet var förväntat, då mätningarna är utförda på byggnadernas fundament.

Tabell 3 De tidsserier som använts i analysen.

Mätpunkt	Tid
MP1	2021-11-07 17:59:41
MP1	2021-11-07 17:59:51
MP1	2021-11-07 19:24:43
MP3	2021-11-07 17:59:54
MP3	2021-11-07 19:24:45
MP5	2021-11-07 17:59:41
MP5	2021-11-07 17:59:51
MP5	2021-11-07 19:24:43

## 4.3 Resultat

I det här avsnittet redovisas resultatet av vibrationsmätningarna. Grafiska redovisningar av tidsserierna finns i Bilaga B.

### 4.3.1 Vibrationsnivåer

De vid mätningarna maximala vägda vibrationsnivåerna vid fundamentet i respektive mätpunkt,  $L_{aw,found}$  (se Eq.1 i avsnitt 5.1.1) för tidsserierna i Tabell 3 redovisas i Tabell 4.

Tabell 4 Maximala vägda vibrationsnivåer  $L_{aw,found}$  mätta på byggnadsfundament

Mätpunkt	Tidsstämpel	Uppmätt vägd RMS [mm/s] vid fundament, <b>tvärgående</b>	Uppmätt vägd RMS [mm/s] vid fundament, <b>längsgående</b>	Uppmätt vägd RMS [mm/s] vid fundament, <b>vertikal</b>
MP1	2021-11-07 17:59:41	0,40	0,11	0,46
MP1	2021-11-07 17:59:51	0,30	0,11	0,40
MP1	2021-11-07 19:24:43	0,38	0,11	0,45
MP3	2021-11-07 17:59:54	0,09	0,04	0,32
MP3	2021-11-07 19:24:45	0,09	0,06	0,38
MP5	2021-11-07 17:59:41	0,13	0,06	0,43
MP5	2021-11-07 17:59:51	0,13	0,06	0,40
MP5	2021-11-07 19:24:43	0,12	0,06	0,42
Medelvärde	-	0,21	0,08	0,41

### 4.3.2 Frekvensfördelning

Frekvensfördelningarna från de åtta tidsserierna kan ses i Bilaga B. Baserat på dessa, kan följande observationer göras:

- > Tidsserien för de maximala uppmätta vibrationerna, vid MP1 (Gamla Ullevi) visar att det finns två dominerande frekvenser, nämligen 2,2 Hz och 4,3 Hz. Vibrationerna vid 4,3 Hz antas uppkomma från arenans läktare då den utsätts för den mänskligt inducerade rörelsen på 2,2 Hz, vilken även är i resonans med marken.
- > Vid MP3 förekommer samma frekvenspikar som vid MP1: 2,2 Hz och 4,3 Hz. Magnituden vid 4,3 Hz är dock signifikant lägre än för vibrationerna vid 2,2 Hz.

- > Vid MP5 (Smålandsgatan) är en topp registrerad vid 2,2 Hz. Det indikerar en gradvis reduktion av vibrationerna vid 4,3 Hz som en funktion av avståndet till Gamla Ullevi. Den omisskännliga närvaron av vibrationer vid 2,2 Hz vid MP5 indikerar, som i tidigare undersökningar, att Göteborgsleran har en egenfrekvens på ungefär 2,2 Hz, vilken kan induceras av mänsklig aktivitet, såsom synkroniserat hoppande på läktare.



## 5 Bedömning av framtida nivåer

Baserat på mätningarna som gjorts vid fotbollsmatchen, som visar att en lågfrekvent resonans i marken skapas, har följande uppskattning av ett värsta fall gjorts.

Ett antagande har gjorts om att alla mänskligt inducerade vibrationer härstammar från helt synkroniserade hopp med fri rörlighet. Det antagandet implicerar att de inducerade vibrationerna kommer att öka linjärt med antalet hoppande människor.

Då mätdata visar att vibrationer från alla mätpunkter i Tabell 3 är av samma storleksordning, uppskattas det att följande analys kan användas för hela planområdet, oberoende av avståndet till Gamla Ullevi.

### 5.1 Metodik

Då vibrationerna har mätts vid fundamenten på de undersökta byggnaderna, som beskrivits i avsnitt 4, motsvarar de inte de uppmätta vibrationsnivåerna som kan förväntas på golvnivå i de framtida byggnaderna i planområdet. Därför har de beräkningsmodeller som beskrivs nedan använts för att räkna om vibrationsnivåerna vid fundamentet till vibrationsnivåer i golvnivå.

#### 5.1.1 Vertikala vibrationer

När vibrationer överförs från en byggnads grundläggning/fundament till golven inomhus i samma byggnad, kan vibrationerna ändra i magnitud och frekvens. Det implicerar en förstärkt vibrationsnivå vid golven jämfört med vibrationsnivån som mätts upp vid fundamenten. Överföringen från grunden till golven benämns  $\Delta L_{floor}$ .

Tre olika modeller för överföringsfunktionen  $\Delta L_{floor}$  används i den här analysen för jämförelse.

- > Nordtests metod NT acou 082 [5]: Tillägg av +9 dB rel.  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup> på den resulterande vägda vibrationsnivån vid fundamenten. Det motsvarar +0,0028 mm/s<sup>2</sup>.
- > FTA [6]: Tillägg av +6 dB rel.  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup> på den resulterande vägda vibrationsnivån vid fundamenten. Det motsvarar +0,0020 mm/s<sup>2</sup>.
- > COWIs egen databas över vibrationers fortplantning i byggnader i olika oktavband, för bostadshus.

Dessa modeller för överföring av vibrationer från fundament till golv används för att kompensera för resonansen mellan en typisk golvstruktur och de externa vibrationer som överförs till en byggnad genom marken.

Värsta fall för vibrationsnivån i golvnivå  $L_{aw, floor}$  har beräknats på följande vis:

$$L_{aw, floor} = L_{found, max} \cdot W_m \cdot \Delta L_{floor} \quad \text{Eq. 1}$$

där  $W_m$  är ett vägningsfilter för helkropps vibrationer, vilket beskriver människans känslighet för helkropps vibrationer i olika frekvensband (se [7]) som vibrationsnivån måste viktas med.

### 5.1.2 Horisontella vibrationsnivåer

I den här utredningen är vibrationsnivåer i tre riktningar uppmätta vid byggnadernas fundament. För byggnader som är exponerade för typiskt högfrekventa vibrationer, från till exempel tåg eller trafik, är vibrationsnivån vid golvnivå oftast mest kritisk i den vertikala riktningen. Det beror typiskt på resonans mellan de externa vibrationerna och egenfrekvensen hos enskilda delar av byggnadens konstruktion.

För lågfrekventa vibrationer, som är aktuella i den här utredningen, kan dock den horisontella vibrationsnivån vara den mest kritiska i termer av magnitud. Det beror på att lågfrekventa externa vibrationer kan skapa resonans med hela byggnadens egenfrekvens, vilket kan uppfattas som att hela byggnaden svajar. Därför blir samverkan mellan de externa vibrationerna och de aktuella byggnadernas egenfrekvens avgörande för hur vilka horisontella vibrationsnivåerna som kan väntas.

Som beskrivet i avsnitt 4.3.2 är den dominerande frekvensen av de externa vibrationerna från Gamla Ullevi till planområdet ungefär 2,2 Hz.

Den horisontella egenfrekvensen,  $n$ , för en byggnad högre än 50 meter kan beräknas med följande formel:

$$n = \frac{46}{h} \quad \text{Eq. 2}$$

där  $h$  är byggnadens höjd över marken, i meter.

Formeln kan användas även för lägre byggnader, i brist på andra uppskattningar och för att uppskatta egenfrekvensen hos de planerade byggnaderna. För en cirka 20 meter hög byggnad blir egenfrekvensen grovt räknat 2,3 Hz. Resultatet visar att det är högst troligt att externa vibrationer kan orsaka horisontell resonans i framtida byggnader.

Den dynamiska förstärkningsfaktorn (DMF) för ett system i resonans med en extern belastning begränsas endast av den strukturella dämpningen och kan uttryckas på följande vis:

$$DMF = \frac{\pi}{\delta} \rightarrow DMF \approx 31 \quad \text{för } \delta = 0.1 \quad \text{Eq. 3}$$

där  $\delta$  är det logaritmiska dekrementet av strukturens dämpning.

För betongbyggnader med låg amplitud på vibrationer, kan den logaritmiska dämpningen beräknas vara 10 procent. Därmed kan den horisontella vibrationsnivån för golvnivå vid fall med perfekt resonans beräknas med den dynamiska förstöringsfaktorn (DMF) i Eq.3.

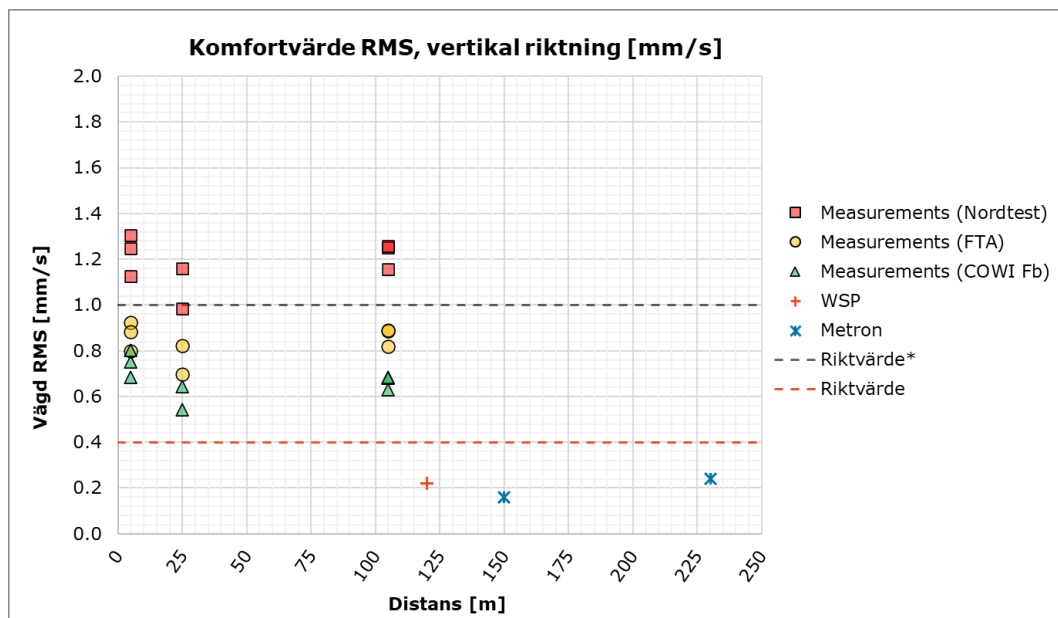
## 5.2 Utredning av vibrationskomfort

I följande avsnitt beskrivs ett värsta fall-scenario av vibrationers påverkan på planerade byggnader i planområdet.

### 5.2.1 Vertikala vibrationsnivåer

Baserat på mätningarna som redovisas i avsnitt 4 och Bilaga B, och på beräkningsmetodiken beskriven i avsnitt 5.1, redovisas ett värsta fall-scenario för den vertikala vibrationsnivån vid golvnivå i de planerade byggnaderna i planområdet i Figur 4. Figuren visar beräknade vibrationsnivåer vid golvnivå med var och en av de tre modellerna för överföring av vibrationer, för att visa på de osäkerheter som finns vid utvärdering av vibrationsnivåer i kommande bebyggelse.

För jämförelse av de resultat av beräknad data som erhålls i den här utredningen redovisas även resultat från tidigare vibrationsmätningar utförda av konsultföretagen WSP och Metron i andra byggnader. Notera att resultaten från WSP och Metron i Figur 4 härrör från vibrationsmätningar utförda på golvnivå i de undersökta byggnaderna. Mätningarna av Metron är utförda under samma fotbollsmatch mellan IFK Göteborg och Malmö FF den 7 november som COWIs mätningar. Mätningarna utförda av WSP genomfördes under matchen mellan IFK Göteborg och Djurgården den 21 oktober 2019.



Figur 4 Beräknat komfortvärde för vertikala vibrationsnivåer vid golvnivå i ett lägenhetshus, i ett värsta fall. Resultaten är baserade på mätningar utförda av COWI den 7 november 2021 med tre olika överföringsmodeller applicerade: Nordtest, FTA och COWIs databas (COWI Fb). Tidigare vibrationsmätningar utförda av WSP och Metron, vid golvnivå, redovisas som jämförelse. \*Riktvärde i undantagsfall.

Baserat på resultaten i vibrationsberäkningarna som redovisats i Figur 4 kan följande slutsatser dras gällande vertikala vibrationer för planerad bebyggelse i planområdet:

- > Mätningarna indikerar begränsad eller ingen reduktion av vibrationsnivåer för byggnader inom ett avstånd på minst 100 meter från Gamla Ullevi.
- > Den vertikala vibrationsnivån vid golvnivå är, vid fotbollsmatcher med cirka 2 000 åskådare i fullt korrelerad rörelse, beräknad till runt 0,9 mm/s vägd RMS. Med hänsyn till osäkerheter relaterat till egenskaper för byggnader som ännu inte är konstuerade, är beräkningen behäftad med viss felmarginal.
- > Den uppskattade vertikala vibrationsnivån på 0,9 mm/s vägd RMS ligger väsentligt över riktvärdet 0,4 mm/s, men under riktvärdet för undantagsfall, 1,0 mm/s (se Tabell 1). Om matcher med 2 000 deltagare kan räknas som undantagsfall, kan riktvärdena för vertikala vibrationer möjligen klaras.

### 5.2.2 Horisontella vibrationsnivåer

Baserat på värdet för den genomsnittliga horisontella vibrationsnivån i Tabell 4, och på den enkla förstärkningsmodellen i Eq.3, beräknas en representativ horisontell vibrationsnivå vid golvnivå i planerade byggnader i hela planområdet under en fullt korrelerad mänskligt inducerad vibration med marken och med en hoppande publik med 2 000 åskådare bli:

$$0,21 \frac{mm}{s} \cdot 31 = 6,51 \frac{mm}{s}$$

Den beräknade horisontella vibrationsnivån på 6,51 mm/s vägd RMS är långt över riktvärdena i Tabell 1. Vibrationsnivåerna förväntas att öka proportionellt med antal åskådare i en hoppande rörelse, som beskrivs i avsnitt 5.2.4 nedan.

Slutsatsen stöds av resultat från de mätningar WSP och Metron utfört, där högre nivåer av vibrationer i horisontell riktning noterats än i vertikal riktning.

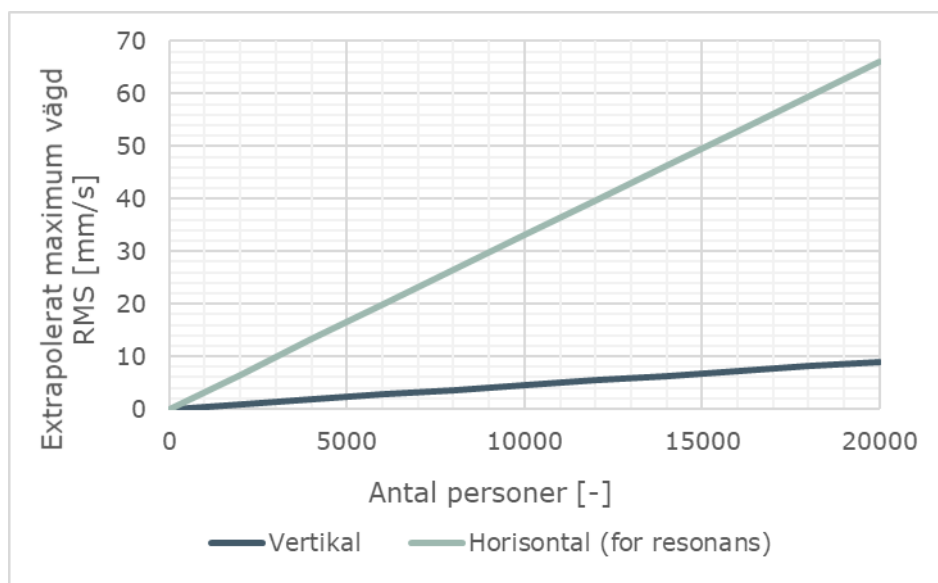
### 5.2.3 Geologiska faktorer

Som nämnts tidigare har egenfrekvensen för marken i planområdet uppskattats till cirka 2,2 Hz. För typiska lerjordar, som är vanligt förekommande i Göteborgsområdet, är vågutbredningshastigheten cirka 1 500 m/s [8]. En svängning av en lågfrekvent våg, som de som studeras i den här utredningen, får en utbredning som vida överstiger planområdets utsträckning. Det är därför sannolikt att energin i vibrationerna som överförs från Gamla Ullevi till byggnader runtomkring, genom marken, endast kommer att dämpas eller spridas obetydligt på de avstånd som planområdet omfattar. Detta styrks av de utförda mätningarna.

### 5.2.4 Påverkan av publikantal

Det är antaget att alla mänskligt inducerade vibrationer härstammar från fullt korrelerade hopp med rörelsefrihet. Det antagandet implicerar att de inducerade vibrationerna kommer att öka linjärt med antalet hoppande åskådare. En konservativ uppskattning av hur de vertikala och horisontella vibrationerna kommer att påverkas vid golvnivå, i valfri byggnad i det aktuella området, är redovisad i Figur 5.

Linjerna i Figur 5 indikerar att vibrationsnivåerna kan komma att överskrida riktvärdena rejält vid ett ökat antal åskådare i synkroniserad rörelse under framtida fotbollsmatcher.



Figur 5 Konservativ uppskattning av ett linjärt förhållande mellan antalet hoppande åskådare på Gamla Ullevi och maximal vertikal och horisontell vibrationsnivå, vid golvnivå, i mm/s vägd RMS.

## 5.3 Skaderisk för byggnader

Enligt DIN 4150-3 som används för att utvärdera risken för vibrationsrelaterade skador i byggnader är riktvärdet för när vibrationer riskerar att skada ett typiskt lägenhetshus 5 mm/s. Dessa riktvärden kan överskridas i extrema fall vid matcher med många hoppande åskådare. Det framgår av Figur 5, som visar att svåra fall av mänskligt inducerade vibrationer på Gamla Ullevi kan skapa vibrationer, som förutom att de kan skapa obehag för boende i området, även kan skada byggnadsstrukturer.

## 5.4 Åtgärder

Med tanke på den stora risken för överskridanden av riktvärdena för vertikala och horisontella vibrationer (se Tabell 1), är det en stark rekommendation att alla planerade byggnader inom planområdet ska konstrueras med tillräckliga vibrationsdämpande åtgärder i grundläggningen och att dynamisk förstärkning av vibrationer reduceras.

## 6 Slutsatser


Baserat på undersökningen har följande slutsatser dragits:

- > Signifikanta vibrationer med en maximal frekvens på 2,2 Hz har mätts upp. De vänstas påverka alla planerade byggnader i planområdet.
- > Vid sportevenemang med cirka 2 000 personer i publiken som rör sig fritt men i en perfekt korrelerad rörelse, är följande vibrationsnivåer i framtida byggnader, oberoende av distansen till Gamla Ullevi, beräknade:
  - > Vertikalt: 0,9 mm/s vägd RMS (överskridande av tillämpade riktvärden)
  - > Horisontellt: 6,5 mm/s vägd RMS vid perfekt resonans mellan vibrationer med frekvensen 2,2 Hz och byggnadernas egenfrekvens (överskridande av tillämpade riktvärden)
- > Vibrationers påverkan inuti de planerade byggnaderna bedöms vara proportionell till antalet åskådare som deltar i det synkroniserade hoppandet på Gamla Ullevi.
- > I allvarliga fall, det vill säga vid tillfällen med mycket vibrationer, riskerar framtida byggnader att skadas.
- > Åtgärder mot vibrationer är nödvändiga för alla framtida byggnader i området nära Smålandsgatan och Gamla Ullevi om tillämpade riktvärden ska följas.
- > Det rekommenderas att det eftersträvas att de planerade byggnaderna har en egenfrekvens som är tillräckligt skild från 2,0-2,4 Hz och dess lägsta multiplar, det vill säga 4,0-4,8 Hz, 6,0-7,2 Hz osv.

## 7 Referenser

- [1] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 2631-2, Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)," 2003.
- [2] SIS Industriteknik, "SS 460 48 61, Vibration and shock - Measurement and guidelines for the evaluation of comfort in buildings", Swedish Standard, 1992.
- [3] Karin Blidberg, PLkvh, "Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg," Trafikverket, 2017.
- [4] Miljöförvaltningen i Göteborg, "Förbud mot störande vibrationer från Gamla Ullevi samt föreläggande om redovisning av vibrationsnivåer," Göteborg, 2014.
- [5] "Nordtest Method NT acou 082 - Buildings Vibration and shock evaluation of annoyance," 1995.
- [6] FTA, "TRANSIT NOISE AND VIBRATION IMPACT ASSESSMENT," 2006.
- [7] Swedish Standards Institute, "Vibration och stöt - Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader (SS 460 48 61)," 2004.
- [8] A. Eitzenberger, "Train-induced Vibrations in Tunnels - A review," Luleå University of Technology, 2008.

## Bilaga A Mätplatser

Mätpunkt	Fotografi
<p><b>MP1</b></p> <p>Vid Gamla Ullevi, i service-område/utrymningsgång öster om entré 1.</p>	 A photograph of a hallway with white walls and a dark floor. A small, rectangular sensor is mounted on the wall near the floor, highlighted by a red square. The sensor is positioned in a narrow hallway, with a door visible on the left side. The floor is covered with gravel and red soil.



**MP2**

Vid Ullevi TK, i det nordvästra hörnet av tennishallen, bredvid tennisbanan närmast Gamla Ullevi.



**MP3**

På stödmur vid  
det nordöstra  
hörnet av Park  
49.



**MP4**

På betongmur  
intill  
garagednfart  
öster om Park  
49.

**MP5**

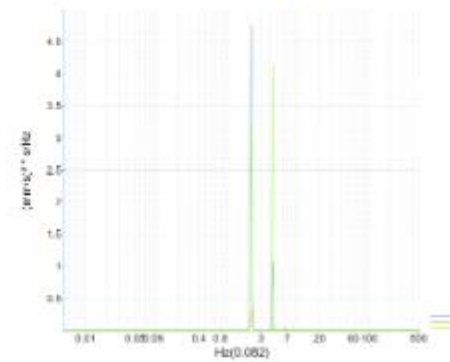
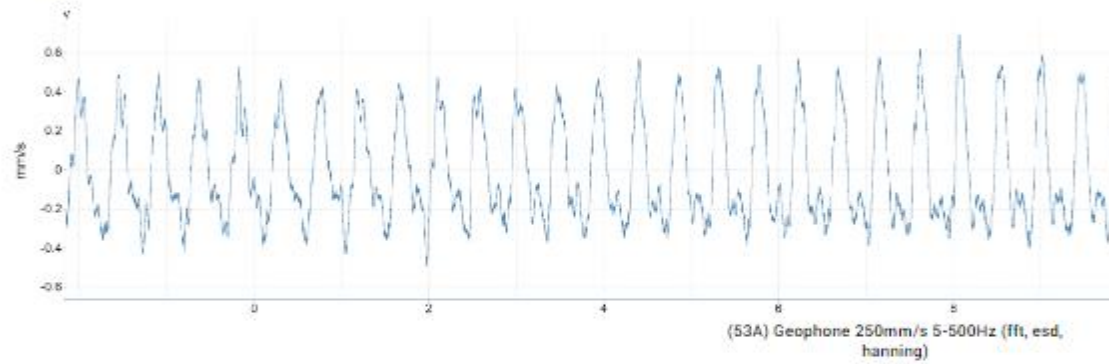
På fasaden på  
Smålandsgatan  
1.



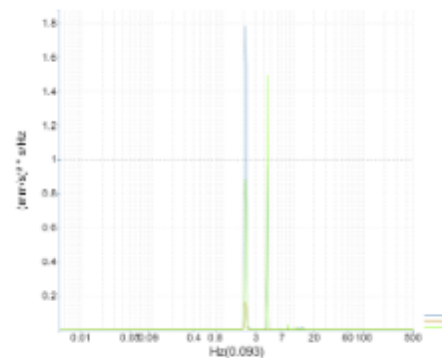
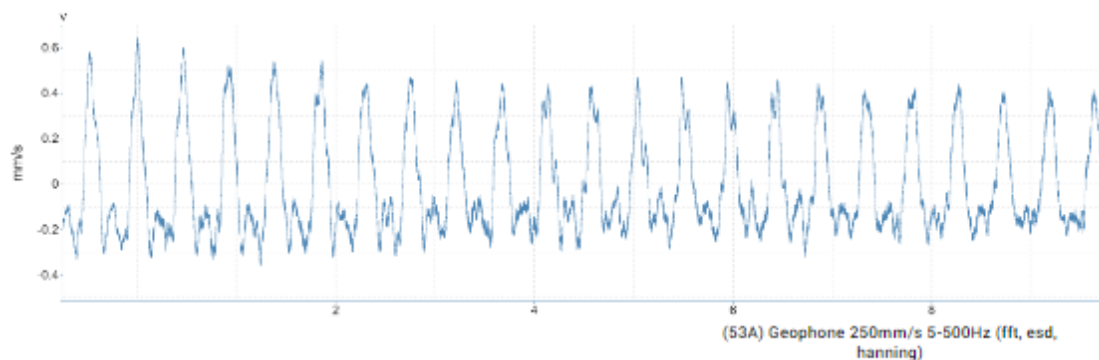
## Bilaga B Tidsserier

De uppmätta tidsserierna som använts för vibrationsutredningen redovisas på följande sidor. Även motsvarande frekvensspektrum redovisas.

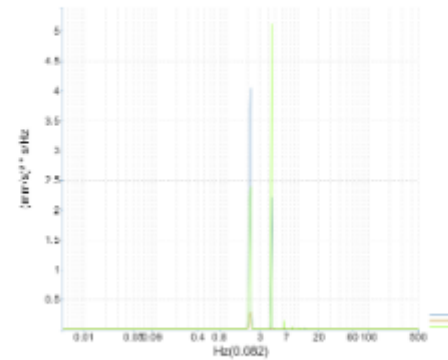
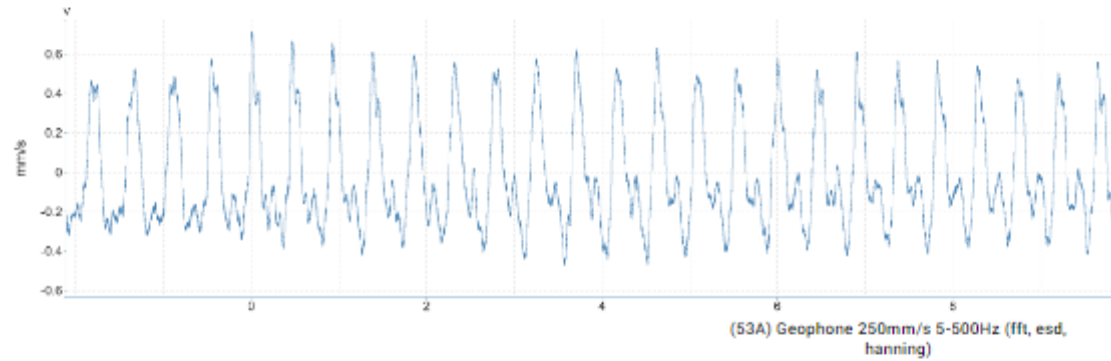
Project Smålandsgatan - Ullevi  
Project maintainer Andreas Langager  
Time frame 2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)  
Measure point MP1  
Location Gamla Ullevi  
Sensor S/N 107869  
Latest calibration 2021-10-21  
Standard text (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
Sensor C22  
Trigger Type internal  
Max values 0.70 mm/s, 0.2 m/s<sup>2</sup>, 41.66 µm, 3.63 Hz  
Date/Time 2021-11-07 17:59:41.150



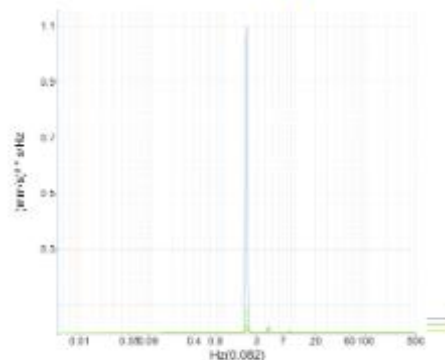
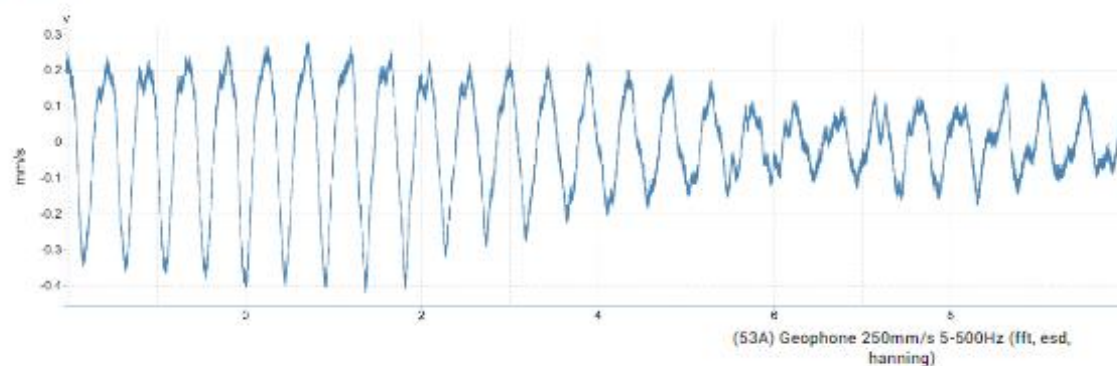
Project Smålandsgatan - Ullevi  
Project maintainer Andreas Langager  
Time frame 2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)  
Measure point MP1  
Location Gamla Ullevi  
Sensor S/N 107869  
Latest calibration 2021-10-21  
Standard text (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
Sensor C22  
Trigger Type internal  
Max values 0.65 mm/s, 0.1 m/s<sup>2</sup>, 37.17 µm, 3.64 Hz  
Date/Time 2021-11-07 17:59:51.994



Project Smålandsgatan - Ullevi  
Project maintainer Andreas Langager  
Time frame 2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)  
Measure point MP1  
Location Gamla Ullevi  
Sensor S/N 107869  
Latest calibration 2021-10-21  
Standard text (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
Sensor C22  
Trigger Type internal  
Max values 0.70 mm/s, 0.62 m/s<sup>2</sup>, 44.77 µm, 3.79 Hz  
Date/Time 2021-11-07 19:24:43.104

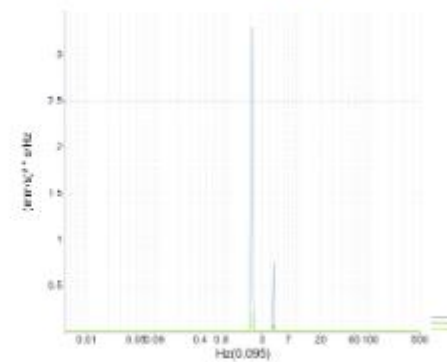
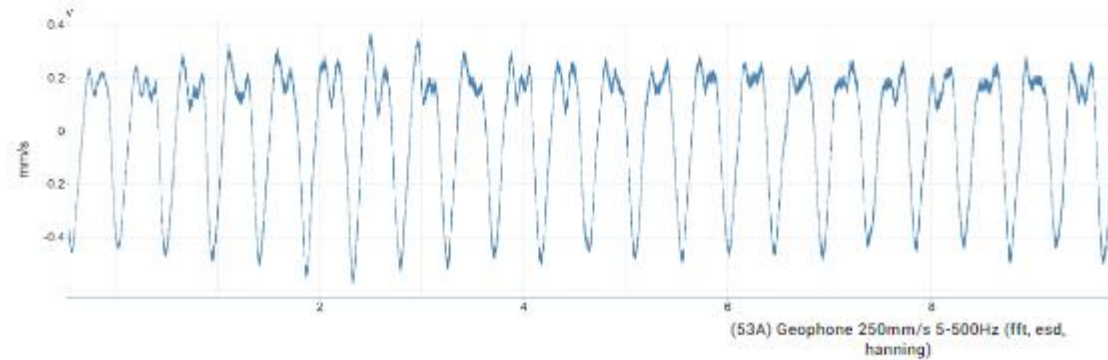


Project Smålandsgatan - Ullevi  
Project maintainer Andress Langager  
Time frame 2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)  
Measure point MP3  
Location Park 49, Nord  
Sensor S/N 105583  
Latest calibration 2020-09-21  
Standard text (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
Sensor C22  
Trigger Type internal  
Max values 0.40 mm/s, 0.1 m/s<sup>2</sup>, 22.99 µm, 3.3 Hz  
Date/Time 2021-11-07 17:59:54.284

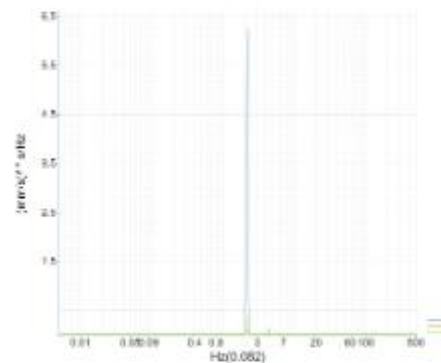
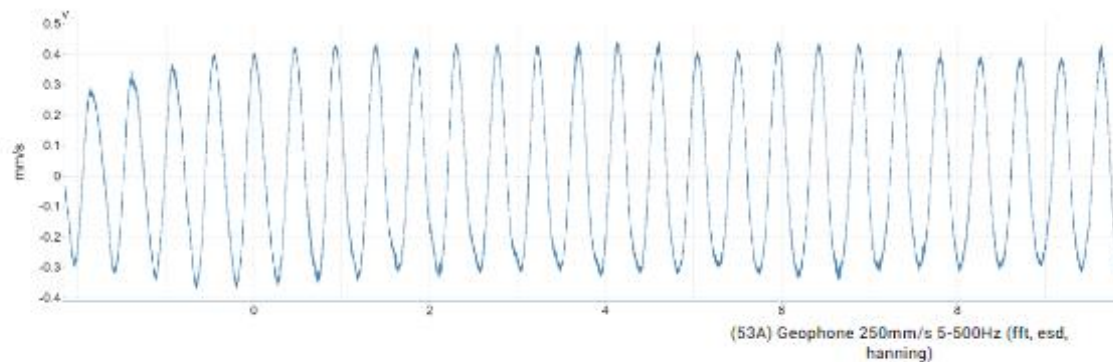




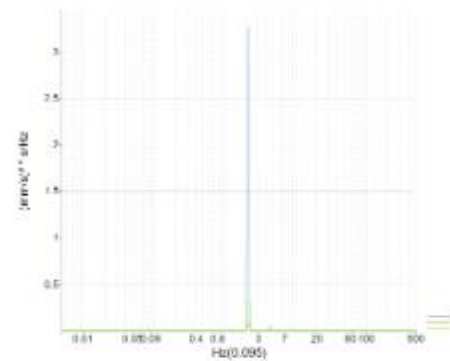
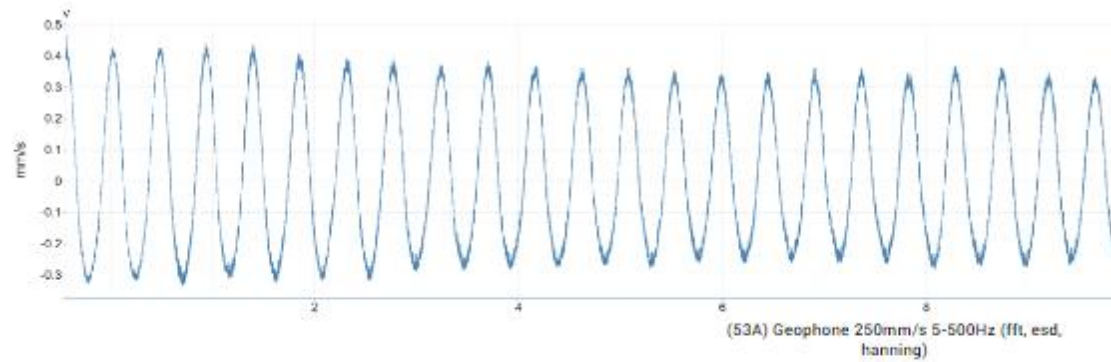
**Project** Smålandsgatan - Ullevi  
**Project maintainer** Andreas Langager  
**Time frame** 2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)  
**Measure point** MP3  
**Location** Park 49, Nord  
**Sensor S/N** 105583  
**Latest calibration** 2020-09-21  
**Standard text** (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
**Sensor** C22  
**Trigger Type** internal  
**Max values** 0.60 mm/s, 0.1 m/s<sup>2</sup>, 46.54 µm, 3.53 Hz  
**Date/Time** 2021-11-07 19:24:45.458



Project	Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer	Andreas Langager
Time frame	2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)
Measure point	MP5
Location	Smålandsgatan 1
Sensor S/N	105627
Latest calibration	2020-09-28
Standard text	(53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz.
Sensor	C22
Trigger Type	internal
Max values	0.45 mm/s, 0.47 m/s <sup>2</sup> , 42.44 µm, 2.8 Hz.
Date/Time	2021-11-07 17:59:41.393



Project Smålandsgatan - Ullevi  
Project maintainer Andreas Langager  
Time frame 2021-11-06 00:00 - 2021-11-21 23:59 (Europe/Copenhagen)  
Measure point MP5  
Location Smålandsgatan 1  
Sensor S/N 105627  
Latest calibration 2020-09-28  
Standard text (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
Sensor C22  
Trigger Type internal  
Max values 0.45 mm/s, 0.24 m/s<sup>2</sup>, 35.81 µm, 2.85 Hz  
Date/Time 2021-11-07 17:59:51.941



**Project** Smålandsgatan - Ullevi  
**Project maintainer** Andreas Langager  
**Time frame** 2021-11-07 00:00 - 2021-11-07 23:59 (Europe/Copenhagen)  
**Measure point** MP5  
**Location** Smålandsgatan 1  
**Sensor S/N** 105627  
**Latest calibration** 2020-09-28  
**Standard text** (53A) Geophone 250mm/s 5-500Hz  
**Sensor** C22  
**Trigger Type** internal  
**Max values** 0.45 mm/s, 0.08 m/s<sup>2</sup>, 50.53 μm, 2.97 Hz  
**Date/Time** 2021-11-07 19:24:43.955

