

OKTOBER 2022

VIBRATIONSUTREDNING SMÅLANDSGATAN

EVENEMANGSVIBRATIONER



COWI

OKTOBER 2022

VIBRATIONSUTREDNING SMÅLANDSGATAN

EVENEMANGSVIBRATIONER

PROJEKTNR. DOKUMENTNR.
A133996 A133996-4-02-3-RAP-009

VERSION	UTGIVNINGSDATUM	DESCRIPTION	UTARBETAD	GRANSKAD	GODKÄND
1	2022-10-21	Rapport	Andreas Hyldgaard Langager	Simon Rex	Erik Bäck

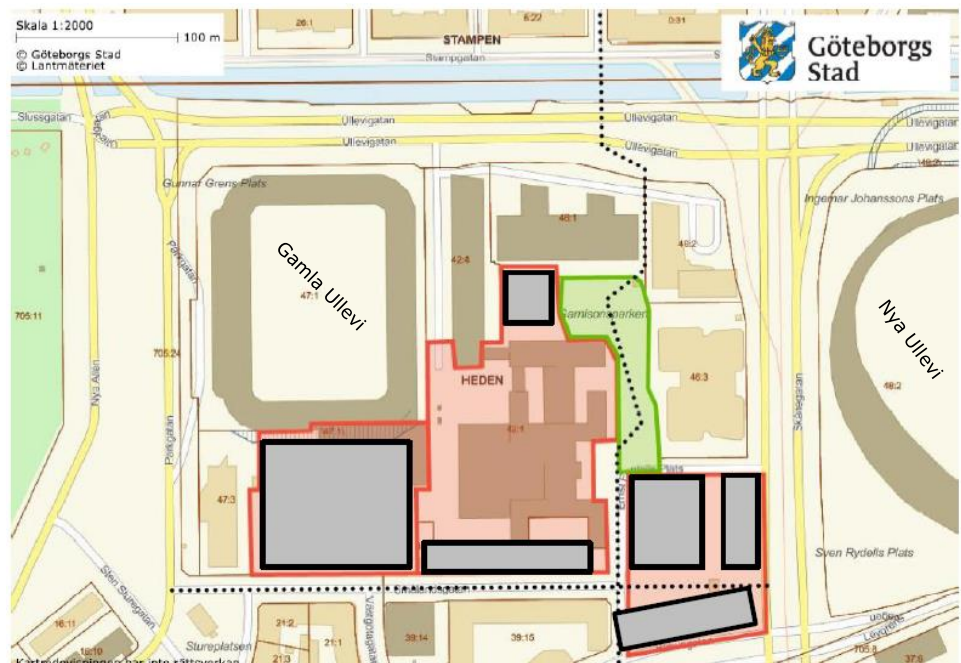
INNEHÅLL

1	Inledning	7
2	Sammanfattning	9
3	Bakgrund	11
3.1	Framtida bebyggelse	11
3.2	Standarder och riktvärden	11
3.2.1	Vibration komfort	11
3.3	Evenemang	12
4	Vibrationsmätningar	13
4.1	Mätutrustning	13
4.2	Mätningar	14
4.3	Resultat	14
4.3.1	Vibrationsnivåer	14
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	21
5.2.3	Geologiska faktorer	21
5.2.4	Påverkan av publikantal	21
5.3	Skaderisk för byggnader	22
5.4	Åtgärder	22
6	Slutsatser	23
7	Referenser	24

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.

Vid specifika tillfällen, som under sport-, musikevenemang eller liknande, där det händer att folkmassor rör sig eller hoppar synkroniserat, framkallas det

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 de 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 Ullevi (som för tydlighets skull hädanefter benämns Nya Ullevi) utretts och bedömts i den här rapporten.

COWI har även genomfört vibrationsmätningar under fotbollsmatcher på Gamla Ullevi i november 2021. De aktuella mätningarna från Nya Ullevi jämförs med COWIs tidigare utredning [2]. Resultaten från alla mätningar slås ihop i den här rapporten så att gemensamma slutsatser kan dras.

Det här dokumentet täcker följande:

- > Presentation av bakgrunden, inklusive mätstudie utförd på Nya Ullevi i augusti 2022, 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. Resultaten baserat på aktuella samt tidigare mätningar.

2 Sammanfattning

Här presenteras en sammanfattning av slutsatserna:

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

Baserat på utredningarna har följande slutsatser dragits:

- > Signifikanta vibrationer med maximal frekvens på 2,8 Hz har mätts upp. De väntas påverka alla planerade byggnader i planområdet.
- > Mätningar har gjorts av de vertikala vibrationsnivåerna, vid marknivå vid de planerade byggnaderna, under evenemang på Nya Ullevi med cirka 70 000 personer i publiken. Resultaten visar att dessa vibrationer har mindre påverkan på byggnaderna, ungefär hälften så stor (cirka $0,9/0,4 = 44\%$), än vad vibrationerna från en fotbollsmatch på Gamla Ullevi med 2 000 personer i publiken har. Gamla Ullevi är beläget närmare de planerade byggnaderna. Osäkerheten relaterad till hur stor andel av publiken som faktiskt hoppade under de olika mätningarna samt de framtida byggnadernas egenskaper, ger en viss felmarginal i vibrationsnivåerna. Oavsett så är slutsatsen den att evenemang på Gamla Ullevi medför större risk för störande vibrationer i planområdet, än evenemang på Nya Ullevi. Dock förväntas påverkan från evenemang på Nya Ullevi kunna medföra att komforttröskeln på 0,4 mm/s överskrids.
- > Vid sportevenemang på Gamla Ullevi 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 avståndet till arenan, 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 2,0-2,8 Hz och dess lägsta multiplar, det vill säga 4,0-5,6 Hz, 6,0-8,4 Hz osv.

3 Bakgrund

Denna utredning är baserad 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 byggnaderna.

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 Nya 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 Nya 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

3.2.1 Vibration komfort

Svensk standard SS 460 48 61 [3] föreskriver en tröskel på 0,4-1,0 mm/s för måttliga komfortstörningar i bostadshus beroende på frekvens. Värden 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 [4] 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/s² 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/s² RMS. Riktvärdena är sammanställda i Tabell 1 och avhandlats i COWIs tidigare rapporter.

Tabell 1. Riktvärden för vibrationskomfort beslutade av miljöförvaltningen i Göteborgs stad [5].

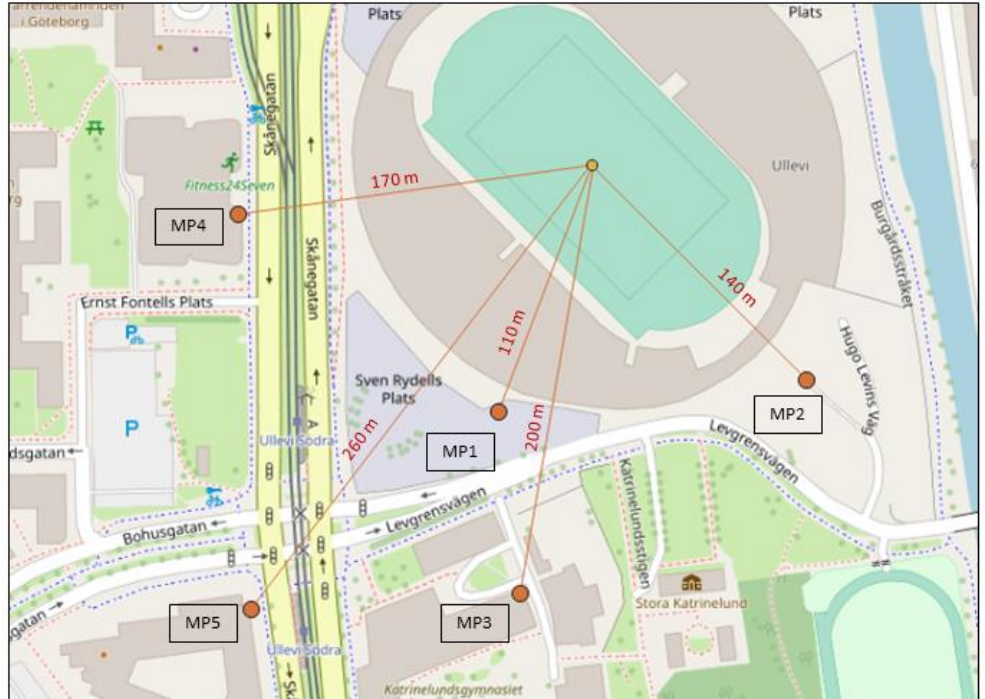
Riktvärden (RMS)	Hastighet	Acceleration
Gäller alltid, förutom för nedanstående undantag	0,4 mm/s	14 mm/s ²
Undantag: > 7 sekunder per tillfälle > 2 dygn per kalenderår	1,0 mm/s	36 mm/s ²

3.3 Evenemang

Utredningen av vibrationer från Nya Ullevi baseras i huvudsak på vibrationsnivåer som uppmätts under två konserter med artisten Håkan Hellström på Nya Ullevi den 26 och 27 augusti 2022, mellan klockan 21.00 och midnatt. Antalet åskådare på arenan uppgick till 71 109 och 71 977 personer den 26 respektive den 27 augusti. Nya Ullevi var fullsatt. Videomaterial från konserterna visar att den stående publiken på fotbollsplanen hoppade mest vid tidpunkterna 21.20 och 23.15 bägge kvällarna. Det är inte självklart hur väl synkroniserat hoppandet var och det mesta av aktiviteten bör kategoriseras som måttlig i både intensitet och i antal medverkande.

4 Vibrationsmätningar

Vibrationsmätningar är utförda i området omkring Smålandsgatan och Nya Ullevi under perioden 24-29 augusti 2022. Mätplatserna visas översiktligt i Figur 3.



Figur 3. Översikt av mätpunkterna, MP1-5 samt ungefärligt avstånd från Nya Ullevis mittpunkt. Karta: © Open Street Maps bidragsgivare.

4.1 Mätutrustning

Vibrationsmätningarna genomfördes med mätutrustning av typen INFRA C22 från Sigicom AB, se Tabell 2. Bilder på de olika mätplatserna och var utrustningen monterats finns i Bilaga A.

Tabell 2. Mätutrustning i de olika mätpunkterna.

Mätpunkt	Serienummer	Lokalisering
M2-MP1	101386	Ullevi (pelare)
M2-MP2	107793	Ullevi (P-garage)
M2-MP3	107792	Katrinelundsgymnasiet
M2-MP4	107876	Skånegatan 3, Swecohuset (P-garage)
M2-MP5	105591	Skånegatan 9

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 marknivån.

Datinsamlingen sker i femsekundersintervall, där den maximala hastigheten registreras. Vid överskridanden av förinställda tröskelvärden sparas även åtta sekunder långa mätserier med högre tidsupplösning.

4.2 Mätningar

Den primära datakällan för den här utredningen är vibrationsnivåer uppmätta under två konserter med Håkan Hellström på Nya Ullevi den 26 och 27 augusti 2022 mellan kl 21.00 och midnatt.

På grund av de relativt låga vibrationsnivåer som uppstått vid aktiviteterna på Nya Ullevi, har endast totalt 2 tidsserier med hög upplösning vid M2-MP1 Ullevi (pelare), gällande mänskligt inducerade vibrationer, blivit registrerade av mätutrustningen. Analysen av de bägge mätserierna och erfarenheter från mätningarna som gjordes 2021 [7], ledde till slutsatsen att data från femsekundersintervall från de övriga mätpunterna är tillräcklig för att dra generella slutsatser om hur vibrationer fortplantas i området.

De två tidsserierna är listade i Tabell 3 och presenteras i Bilaga B.

Tabell 3. De tidsserier som använts i analysen.

Mät punkt	Tid
M2-MP1	2022-08-26 23:19:48
M2-MP1	2022-08-26 23:19:56

4.3 Resultat

I det här avsnittet redovisas resultatet av vibrationsmätningarna. Grafiska redovisningar av tidsserierna finns i Bilaga B. Mätdata redovisas även i Bilaga C, Bilaga D och Bilaga E.

Som redovisas i Bilaga C, Bilaga D samt Bilaga E överskrids inte de generella bakgrundsnivåerna för vibrationer vid konserterna den 26 och 27 augusti vid M2-MP4 och M2-MP5. Därav är de mätningarna inte inkluderade i vidare analyser.

4.3.1 Vibrationsnivåer

De vid mätningarna maximala vägda vibrationsnivåerna vid fundamentet i mät punkten, $L_{aw,found}$ (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, oavsett riktning

Mätpunkt	Tidsstämpel	Uppmätt vägd RMS [mm/s] vid fundament
M2-MP1	2022-08-26 23:19:48	0,22
M2-MP1	2022-08-26 23:19:56	0,18

Då vibrationerna är mätta i ovägda hastigheter, och inga transienter registrerats under konserterna för mätpunkterna M2-MP1 till M2-MP5, kan endast de maximala vibrationsnivåerna användas från den insamlade datan. Maximal (rå) vibrationsnivå registrerad under varje konsert redovisas i Tabell 5.

Tabell 5. Maximala råa vibrationsnivåer [mm/s] mätta på byggnadsfundament, oavsett riktning

Mätpunkt	Tid	mm/s
M2-MP1	2022-08-26 23:19:50	0,270
M2-MP2	2022-08-26 23:19:50	0,200
M2-MP3	2022-08-26 23:19:50	0,175
M2-MP1	2022-08-26 23:22:41	0,155
M2-MP2	2022-08-26 22:15:33	0,140
M2-MP3	2022-08-26 22:15:33	0,120

Genom att använda förhållandet mellan de vägda vibrationsnivåerna $L_{aw,found,max}$ i Tabell 4 och de råa vibrationsnivåerna i Tabell 5 för M2-MP1, kan de råa vibrationsnivåerna i Tabell 5 för M2-MP2 och M2-MP3 användas som uppskattningar av de avvägda vibrationsnivåerna $L_{aw,found,max}$ i dessa punkter. Den här metodiken är användbar, då vibrationerna domineras av en ensam frekvens (2,8 Hz). Resultatet för de uppmätta vägda vibrationsnivåerna för M2-MP1 samt uppskattad vägd vibrationsnivå för M2-MP2 och M2-MP3 redovisas i Figur 4, nedan.

4.3.2 Frekvensfördelning

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

- > Vid de högst uppmätta vibrationsnivåerna vid M2-MP1 Ullevi (pelare) dominerar två toppar på frekvenserna, nämligen 2,8 Hz och 5,6 Hz, där 2,8 har mest energi. Vibrationerna vid 5,6 Hz antas uppkomma från arenans läktare då den utsätts för den mänskligt inducerade rörelsen på 2,8 Hz, vilken även är i resonans med marken. Resultaten är i linje med observationer som har gjorts i tidigare mätningar [7], där en frekvens på 2,2 Hz observerades.

- > Tidigare utredning av COWI [7] visar att frekvenser som är relaterade till arenans egenfrekvens (här 5,8 Hz; Gamla Ullevi 4,3 Hz) reduceras gradvis som en funktion av avståndet. Dock har egenfrekvens på cirka 2,2-2,8 Hz observerats mer än 100 meter från källan. De här frekvenserna antas vara orsakade av mänskligt inducerad aktivitet, såsom hoppande, vilket kan ge en våglängd på ungefär 500 meter. Det innebär att vibrationerna inte avtar på sträckan mellan Nya Ullevi och planområdet. De maximala vibrationsnivåerna vid M2-MP2 och M2-MP3 antas orsakas av vibrationer med frekvensen 2,2-2,8 Hz som orsakats av hoppande publik på Nya Ullevi.

5 Bedömning av framtida nivåer

Bedömningen, efter sammanvägning av resultaten från denna utredning och utredningen av mätningarna vid Gamla Ullevi [7], presenteras nedan.

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 5 är av samma storleksordning, uppskattas det att följande analys kan användas för hela planområdet inklusive Gamla och Nya Ullevi, oberoende av avståndet till någon av arenorna.

5.1 Metodik

Då vibrationerna har mätts vid fundamenten på de undersökta byggnaderna, som beskrivits i kapitel 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 ΔL_{floor} .

Tre olika modeller för överföringsfunktionen ΔL_{floor} används i den här analysen för jämförelse.

- > Nordtests metod NT acou 082 [6]: Tillägg av +9 dB på den resulterande vägda vibrationsnivån vid fundamenten.
- > FTA [7] : Tillägg av +6 dB på den resulterande vägda vibrationsnivån vid fundamenten.
- > 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 helkroppsvibrationer, vilket beskriver människans känslighet för helkroppsvibrationer i olika frekvensband som vibrationsnivån måste viktas med [8].

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 Nya Ullevi till planområdet cirka 2,2 Hz-2,8 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:

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

där δ 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 förstärkningsfaktorn (DMF) i Eq.3.

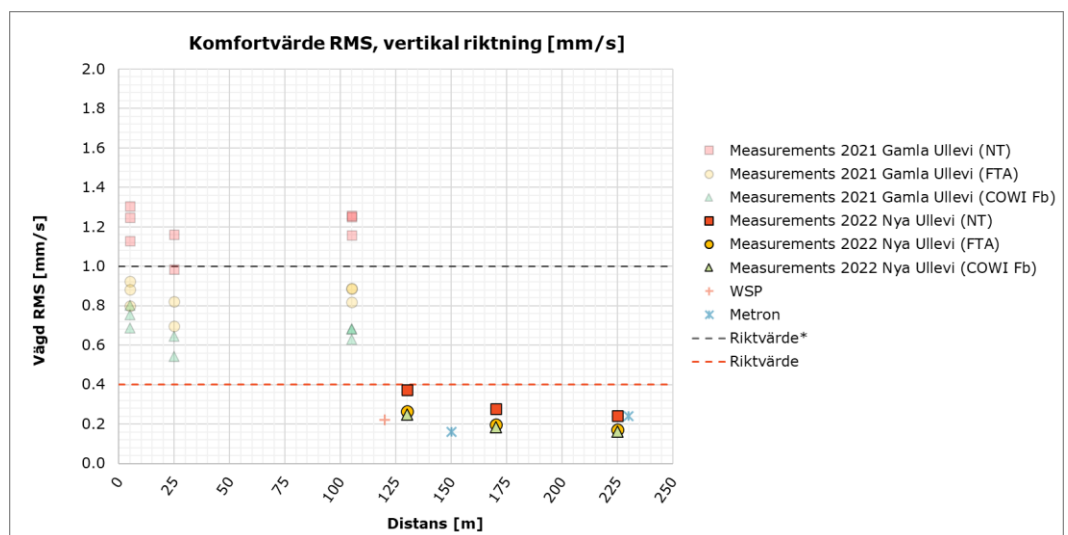
5.2 Utredning av vibrationskomfort

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 kapitel 4 och Bilaga B-Bilaga E och på beräkningsmetodikerna beskriven i avsnitt 5.1, redovisas ett värsta fall-scenario för den vertikala vibrationsnivån vid golvnivå i de planerade byggnaderna i planområdet, se 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.

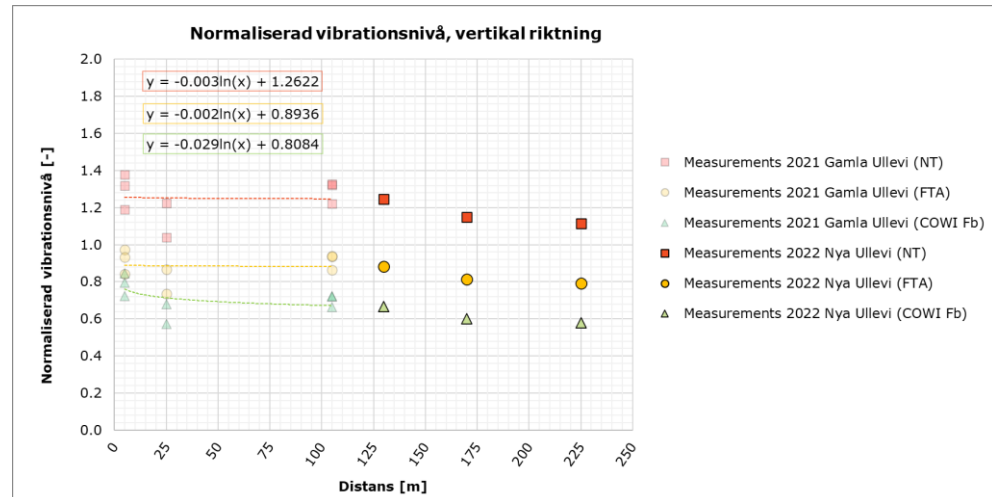
För jämförelse av de resultat av beräknad data som erhålls i den här utredningen redovisas även resultat från tidigare vibrationsmätningar: COWIs tidigare utredning av mätningar från 2021 [7] som redan nämnts, samt utredningar utförda av konsultföretagen WSP och Metron i andra byggnader. Samtliga utredningars mätningar redovisas i Figur 4. Notera att resultaten från WSP och Metron i 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 2021 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 och i augusti 2022, 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.

Mätningarna visar att de uppskattade vibrationsnivåerna på golvnivå var signifikant högre vid mätningarna under fotbollsmatcherna på Gamla Ullevi än i de senaste mätningarna under konserterna på Nya Ullevi, allt annat lika. Det

beror troligast på att kraften från den hoppande publiken har varit signifikant mindre i styrka under konserterna. Därför är de uppskattade vibrationsnivåerna från de senaste mätningarna (Figur 4) normaliserade för att en jämförelse av fortplantningen genom marken ska kunna göras. Resultatet visas i Figur 5.



Figur 5. Normaliserade uppskattade vibrationsnivåer baserat på mätningar vid Gamla och Nya Ullevi.

Baserat på resultaten i vibrationsberäkningarna som redovisats i Figur 4 och Figur 5, kan följande slutsatser dras gällande värsta-fall scenario för vertikala vibrationer för planerad bebyggelse i planområdet:

- > Mätningarna indikerar begränsad eller ingen dämpning av vibrationsnivåer för byggnader inom ett avstånd på minst 100 meter från både Gamla och Nya Ullevi.
- > Mätningar har gjorts av de vertikala vibrationsnivåerna, vid marknivå vid de planerade byggnaderna, under evenemang på Nya Ullevi med cirka 70 000 personer i publiken. Resultaten visar att dessa vibrationer har mindre påverkan på byggnaderna, ungefär hälften så stor (cirka 0,9/0,4 = 44 %), än vad vibrationerna från en fotbollsmatch på Gamla Ullevi med 2 000 personer i publiken har. Gamla Ullevi är beläget närmare de planerade byggnaderna. Osäkerheten relaterad till hur stor andel av publiken som faktiskt hoppade under de olika mätningarna samt de framtida byggnadernas egenskaper, ger en viss felmarginal i vibrationsnivåerna. Oavsett så är slutsatsen den att evenemang på Gamla Ullevi medför större risk för störande vibrationer i planområdet, än evenemang på Nya Ullevi. Dock förväntas påverkan från evenemang på Nya Ullevi kunna medföra att komforttröskeln på 0,4 mm/s överskrids.
- > 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.

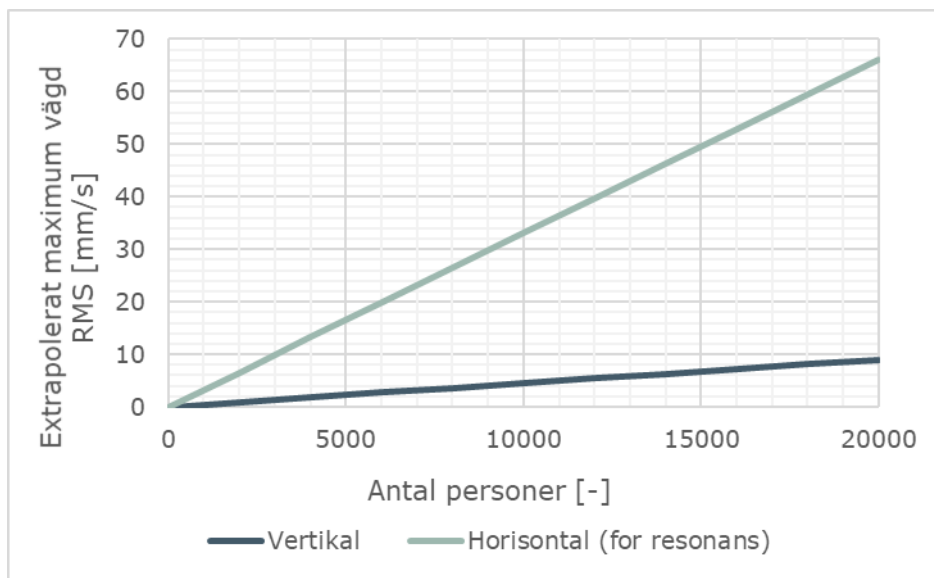
5.2.3 Geologiska faktorer

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 [9]. 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 6.

Linjerna i Figur 6 indikerar att vibrationsnivåerna kan komma att överskrida riktvärdena rejält vid ett ökat antal åskådare i synkroniserad rörelse under framtida fotbollsmatcher. En osäkerhet finns i att avgöra av hur stor andel av publiken som faktiskt hoppar.



Figur 6. 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 6, 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 väntas påverka alla planerade byggnader i planområdet.
- > De högsta vibrationsnivåerna väntas uppkomma vid sportevenemang på Gamla Ullevi. För en fotbollsmatch med cirka 2 000 personer i publiken på Gamla Ullevi som rör sig fritt men i en perfekt korrelerad rörelse är följande vibrationsnivåer i framtida byggnader, oberoende av avståndet 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 från Gamla Ullevi, riskerar framtida byggnader att skadas.
- > Åtgärder mot vibrationer är nödvändiga för alla framtida byggnader inom planområdet om tillämpade riktvärden ska följas.
- > Det rekommenderas att det eftersträvas att de planerade byggnaderna har en egenfrekvens som är tillräckligt skild från 2,0-2,8 Hz och dess lägsta multiplar, det vill säga 4,0-5,6 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] COWI AB, "Vibrationsutredning Smålandsgatan – evenemangsvibrationer Gamla Ullevi, rapport A133996-4-02-3-008, daterad 2022-10-21," 2022.
- [3] SIS Industriteknik, "SS 460 48 61, Vibration and shock - Measurement and guidelines for the evaluation of comfort in buildings", Swedish Standard, 1992.
- [4] Karin Blidberg, PLkvh, "Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg," Trafikverket, 2017.
- [5] Miljöförvaltningen i Göteborg, "Förbud mot störande vibrationer från Gamla Ullevi samt föreläggande om redovisning av vibrationsnivåer," Göteborg, 2014.
- [6] "Nordtest Method NT acou 082 - Buildings Vibration and shock evaluation of annoyance," 1995.
- [7] FTA, "TRANSIT NOISE AND VIBRATION IMPACT ASSESSMENT," 2006.
- [8] Swedish Standards Institute, "Vibration och stöt - Mätning och riksvärdens för bedömning av komfort i byggnader (SS 460 48 61)," 2004.
- [9] A. Eitzenberger, "Train-induced Vibrations in Tunnels - A review," Luleå University of Technology, 2008.
- [10] Miljöförvaltningen (Environmental Administration), "Förbud mot störande vibrationer från Gamla Ullevi samt föreläggande om redovisning av vibrationsnivåer," Göteborg, 2014.
- [11] Swedish Standards Institute, "Vibration och stöt - Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader (SS 460 48 61)," 2004.

Bilaga A. Mätplatser

Mätpunkt	Fotografi
<p>M2-MP1</p> <p>Nya Ullevi, på sydvästligt fundament</p>	
<p>M2-MP2</p> <p>Stödmur på Nya Ullevis parkeringshus vid infart söder om arenan</p>	

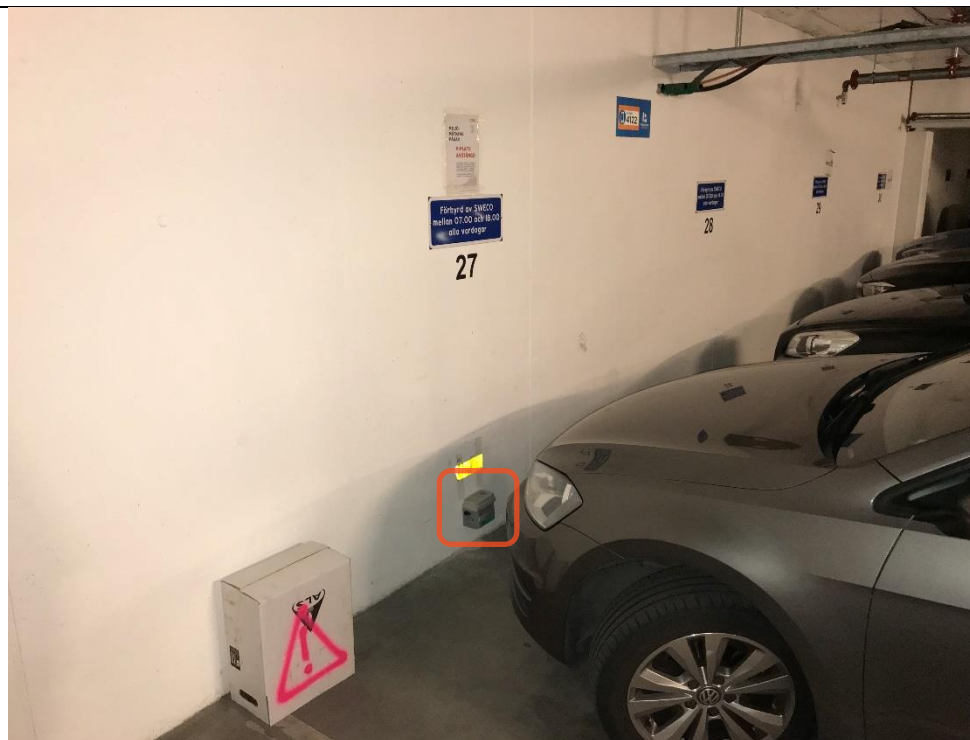
M2-MP3

Nordöstra
hörnet på
Katrinelunds-
gymnasiets
fundament



M2-MP4

Parkeringsgarag
e på källarplan
på Skånegatan
3, Swecohuset
(vänt mot
Ullevi)



M2-MP5

Byggnads-
fundament på
Skånegatan 9



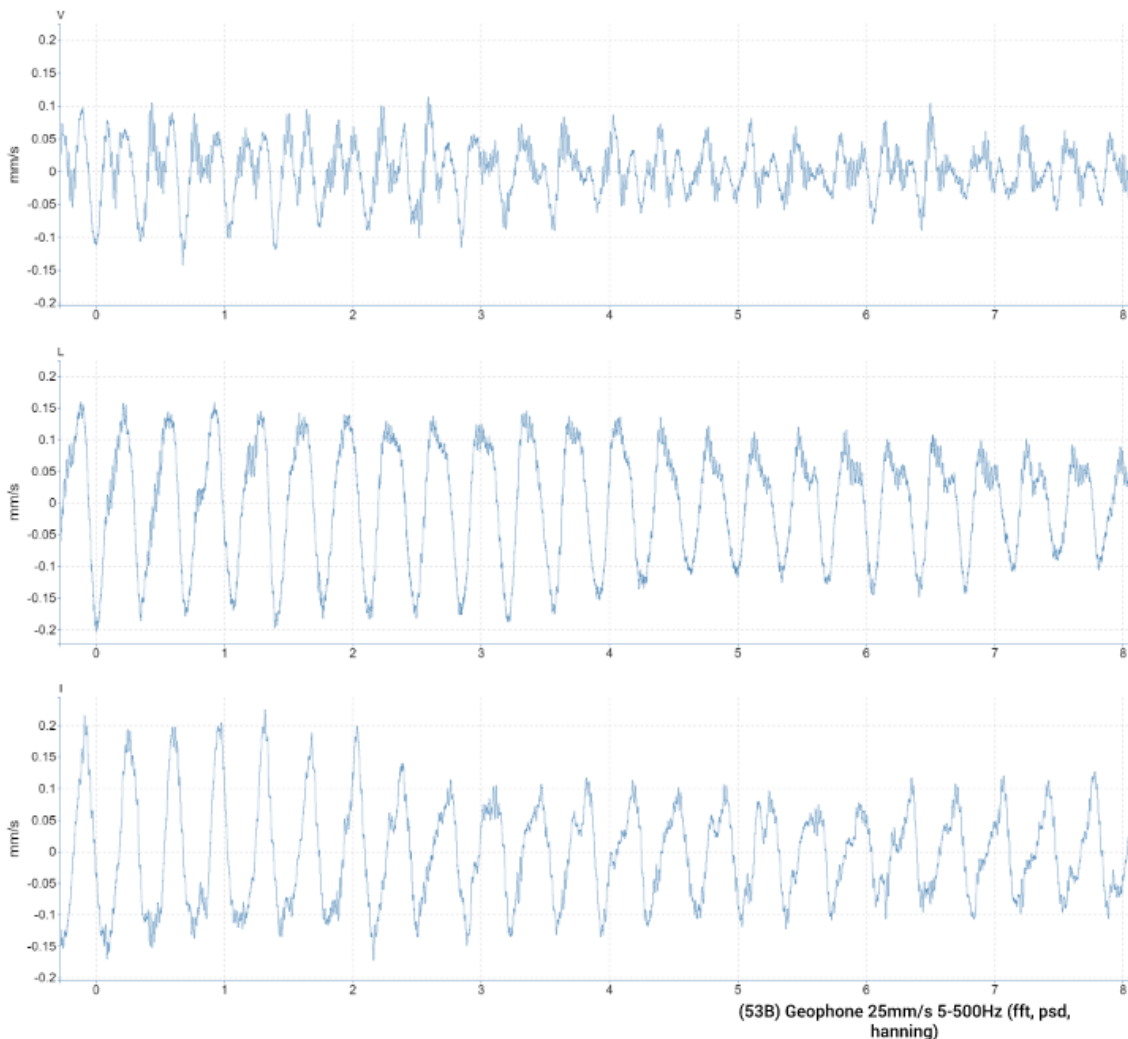
Bilaga B. Tidsserier

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



Transient report

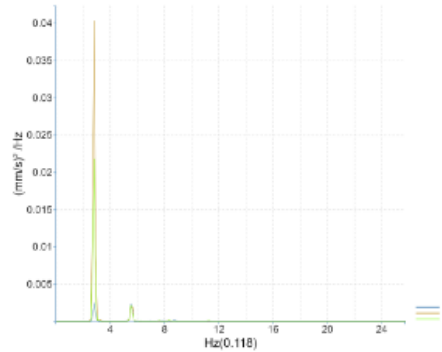
Project	Smålandsgatan - Ullevi		
Project maintainer	Andreas Langager		
Time frame	2022-08-26 21:00 - 2022-08-26 23:59 (Europe/Copenhagen)		
Measure point	M2-MP1		
Location	Ullevi (pelare)		
Sensor S/N	101386		
Latest calibration	2021-01-27		
Standard text	(53B) Geophone 25mm/s 5-500Hz		
Resultant	0.26 mm/s		
Time	-0.087		
Sensor	C22	C22	C22
Trigger Type	internal	internal	internal
Max values	0.145 mm/s, 0.03 m/s ² , 7.13 μm, 5.52 Hz	0.205 mm/s, 0.07 m/s ² , 17.02 μm, 3.61 Hz	0.225 mm/s, 0.06 m/s ² , 11.28 μm, 3.62 Hz
Date/Time	2022-08-26 23:19:56.775	2022-08-26 23:19:56.775	2022-08-26 23:19:56.775





Transient report

Page 2 of 2

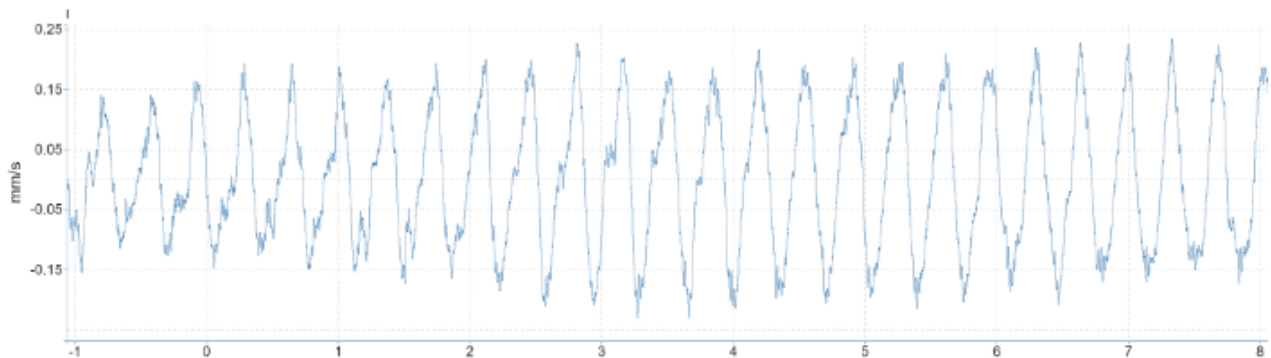
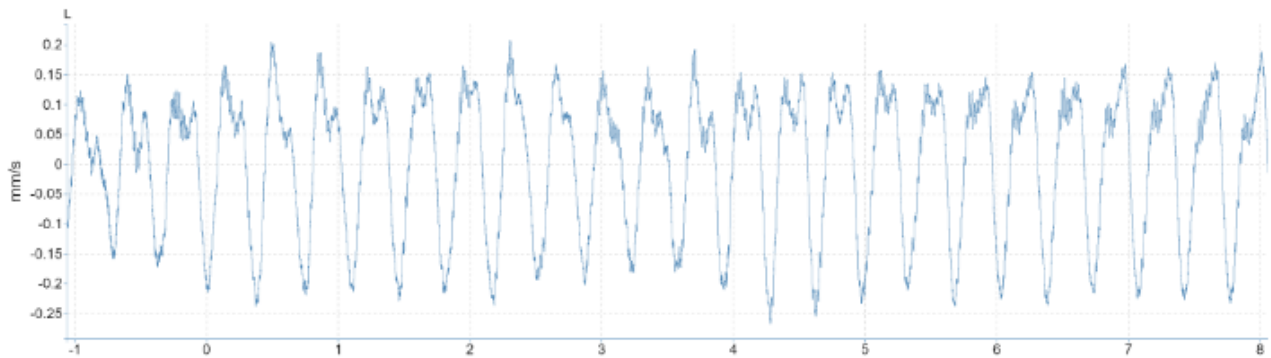
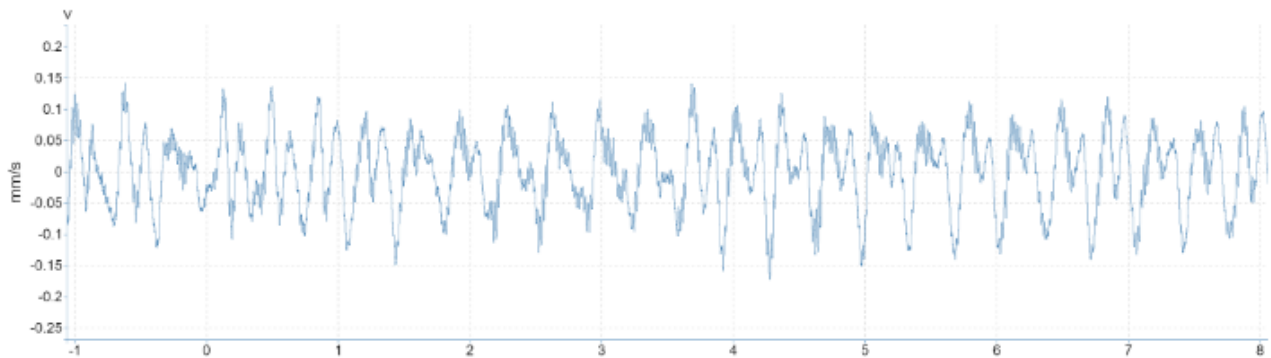




Transient report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-24 14:39 - 2022-08-29 10:00 (Europe/Copenhagen)
Measure point M2-MP1
Location Ullevi (pelare)
Sensor S/N 101386
Latest calibration 2021-01-27
Standard text (53B) Geophone 25mm/s 5-500Hz
Resultant 0.31 mm/s
Time 4.28

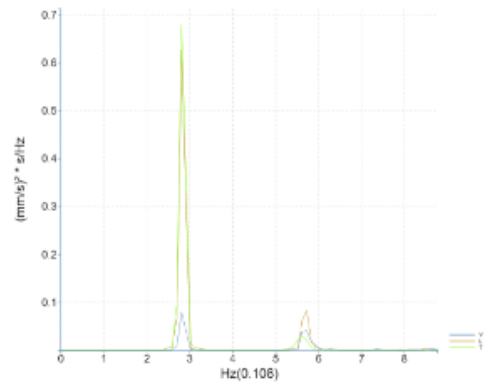
Sensor	C22	C22	C22
Trigger Type	internal	internal	internal
Max values	0.175 mm/s, 0.04 m/s ² , 7.53 μm, 5.66 Hz	0.270 mm/s, 0.06 m/s ² , 18.03 μm, 3.97 Hz	0.240 mm/s, 0.15 m/s ² , 12.9 μm, 3.42 Hz
Date/Time	2022-08-26 23:19:48.305	2022-08-26 23:19:48.305	2022-08-26 23:19:48.305



(53B) Geophone 25mm/s 5-500Hz (fft, esd, hanning)



Transient report



Bilaga C. Mätdata registrerad 24-29 augusti

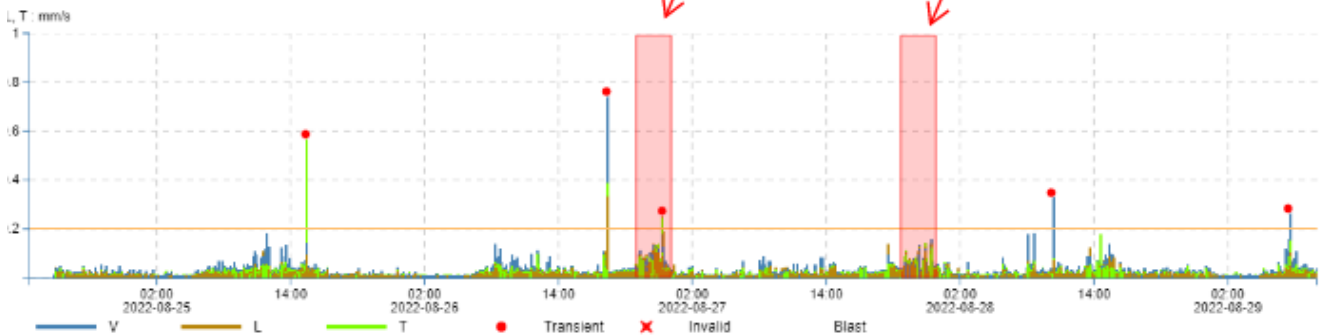


Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-24 14:39 - 2022-08-29 10:00 (Europe/Copenhagen)

NB!
 Chart data is aggregated by 4 min

Measure point M2-MP1
Location Ullevi (pelare)
Sensor type C22
Serial no. 101386
Master(s) serial no. 101386
Latest calibration 2021-01-27
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.76 mm/s, L: 0.33 mm/s, T: 0.58 mm/s



X-span 2022-08-24 14:39:00 - 2022-08-29 10:00:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 1.0

	V	L	T
Max	0.76 mm/s	0.33 mm/s	0.58 mm/s
Date	2022-08-26	2022-08-26	2022-08-25
Time	18:24:00	18:24:00	15:24:00

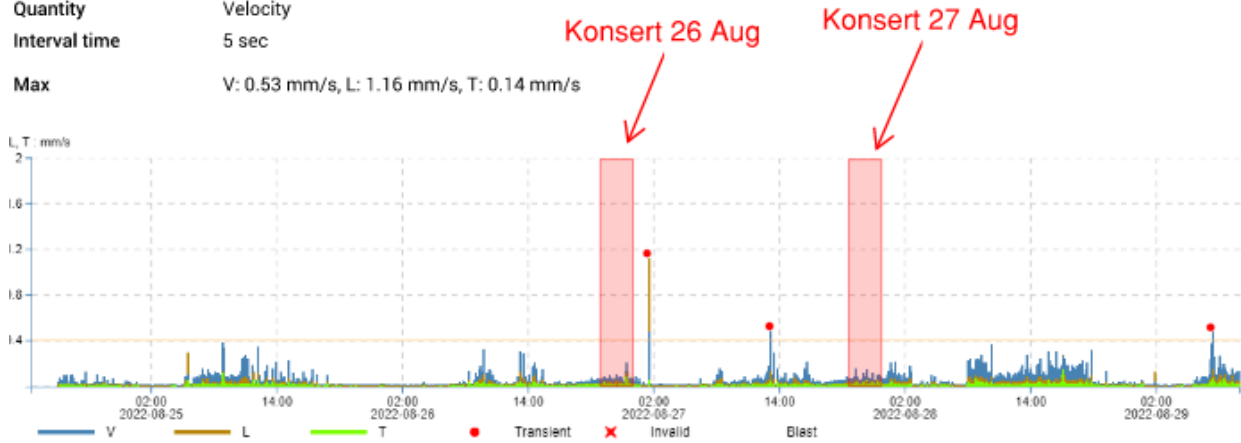


Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-24 14:39 - 2022-08-29 10:00 (Europe/Copenhagen)

NB!
 Chart data is aggregated by 4 min

Measure point M2-MP2
Location Ullevi (P-källare)
Sensor type C22
Serial no. 107793
Master(s) serial no. 107793
Latest calibration 2021-10-21
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.53 mm/s, L: 1.16 mm/s, T: 0.14 mm/s



X-span 2022-08-24 14:39:00 - 2022-08-29 10:00:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 2.0

	V	L	T
Max	0.53 mm/s	1.16 mm/s	0.14 mm/s
Date	2022-08-27	2022-08-27	2022-08-28
Time	13:08:00	01:28:00	17:04:00

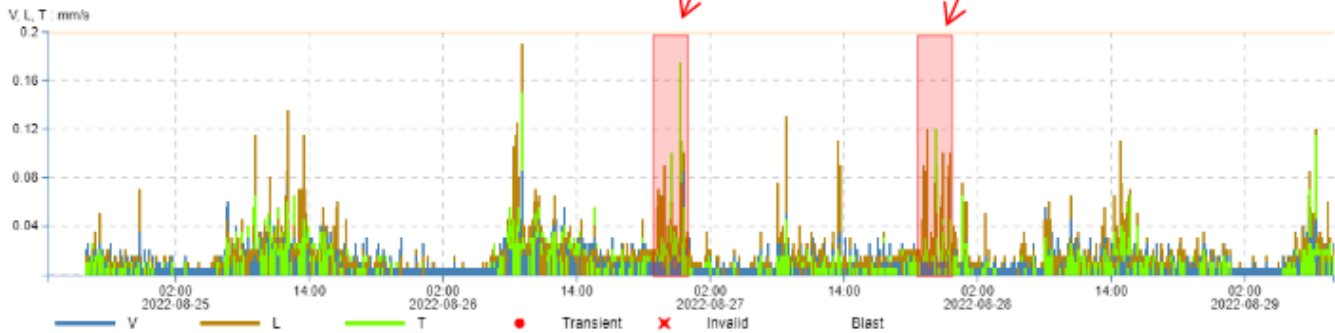


Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-24 14:39 - 2022-08-29 10:00 (Europe/Copenhagen)

NB!
Chart data is aggregated by 4 min

Measure point M2-MP3
Location Katrinelundsgymnasiet
Sensor type C22
Serial no. 107792
Master(s) serial no. 107792
Latest calibration 2021-10-21
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.085 mm/s, L: 0.19 mm/s, T: 0.17 mm/s



X-span 2022-08-24 14:39:00 - 2022-08-29 10:00:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.20

	V	L	T
Max	0.085 mm/s	0.19 mm/s	0.17 mm/s
Date	2022-08-26	2022-08-26	2022-08-26
Time	09:04:00	09:04:00	23:20:00



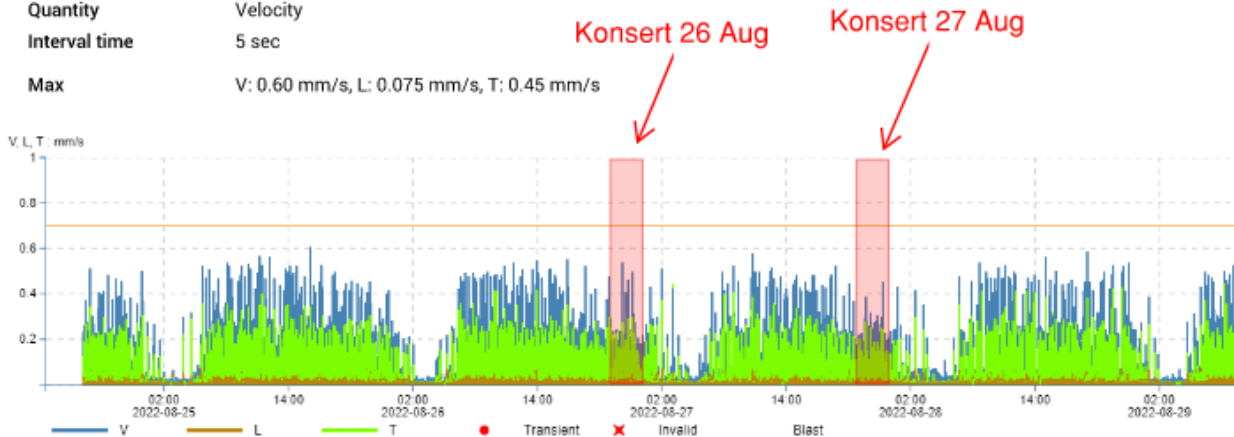
Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-24 14:39 - 2022-08-29 10:00 (Europe/Copenhagen)

NB!
 Chart data is aggregated by 4 min

Measure point M2-MP4
Location Skånegatan 3, Sweco (P-källare)
Sensor type C22
Serial no. 107876
Master(s) serial no. 107876
Latest calibration 2021-10-22
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec

Max V: 0.60 mm/s, L: 0.075 mm/s, T: 0.45 mm/s



X-span 2022-08-24 14:39:00 - 2022-08-29 10:00:00

Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 1.0

	V	L	T
Max	0.60 mm/s	0.075 mm/s	0.45 mm/s
Date	2022-08-25	2022-08-27	2022-08-29
Time	16:04:00	12:48:00	08:12:00



Interval report

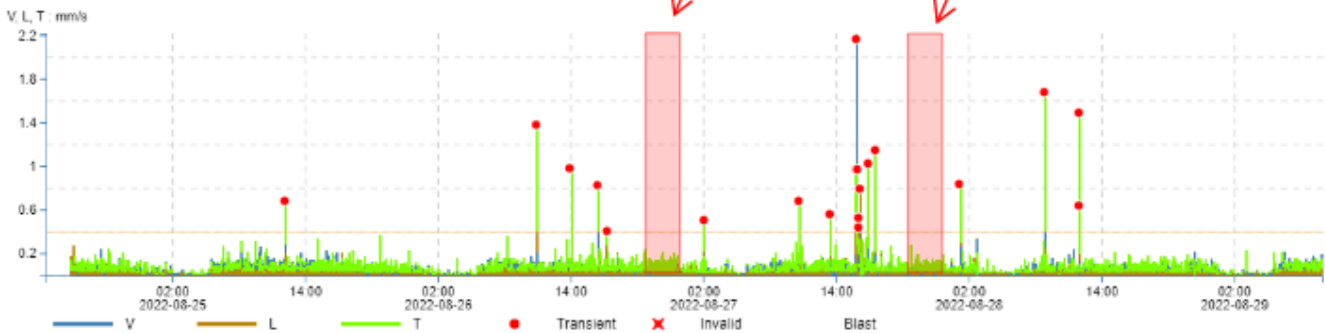
Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-24 14:39 - 2022-08-29 10:00 (Europe/Copenhagen)

NB!
 Chart data is aggregated by 4 min

 Some data may be not visible
 because of the selected scale

Measure point M2-MP5
Location Skånegatan 9
Sensor type C22
Serial no. 105591
Master(s) serial no. 105591
Latest calibration 2020-09-21
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec

Max V: 2.73 mm/s, L: 11.40 mm/s, T: 3.27 mm/s



X-span 2022-08-24 14:39:00 - 2022-08-29 10:00:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 2.22

	V	L	T
Max	2.73 mm/s	11.40 mm/s	3.27 mm/s
Date	2022-08-27	2022-08-27	2022-08-27
Time	15:52:00	15:52:00	15:52:00

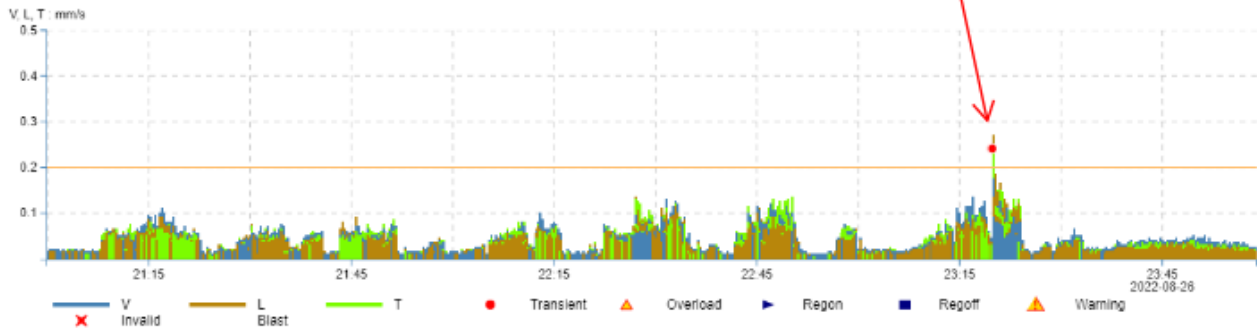
Bilaga D. Mätdata från MP1-MP3 under konserten 26 augusti



Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-26 21:00 - 2022-08-26 23:59 (Europe/Copenhagen)
Measure point M2-MP1
Location Ullevi (pelare)
Sensor type C22
Serial no. 101386
Master(s) serial no. 101386
Latest calibration 2021-01-27
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.17 mm/s, L: 0.27 mm/s, T: 0.24 mm/s

Max vib niveau under 26 Aug konsert

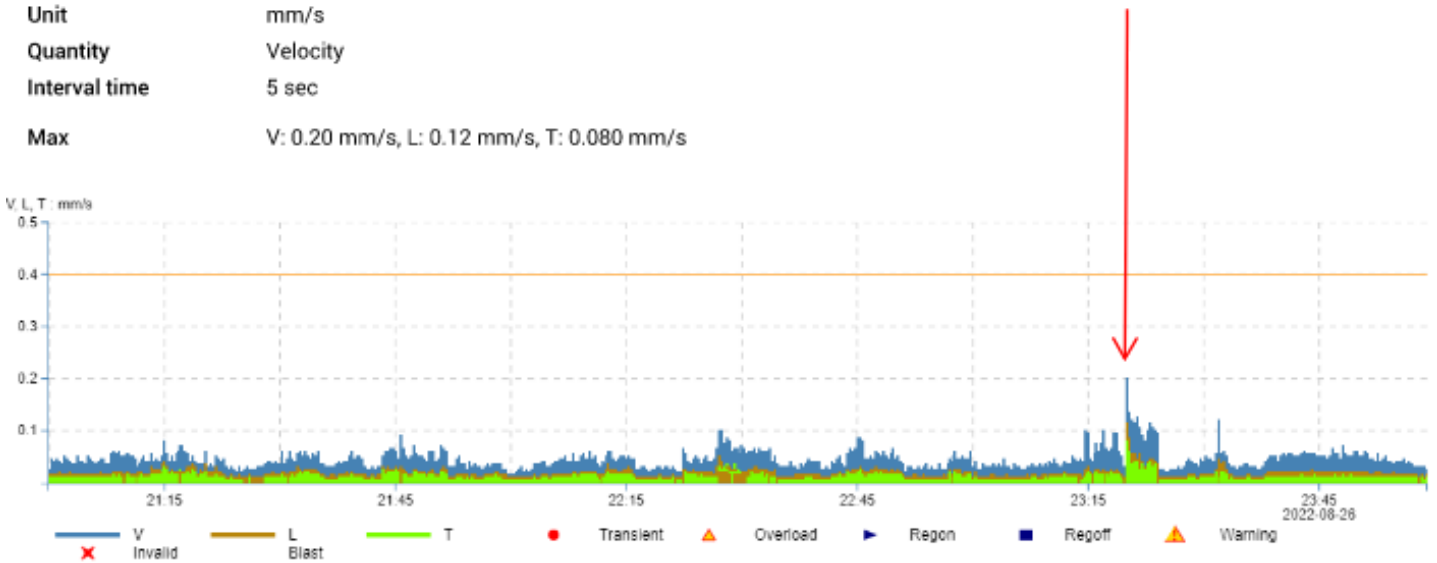


X-span 2022-08-26 21:00:00 - 2022-08-26 23:59:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.50

	V	L	T
Max	0.17 mm/s	0.27 mm/s	0.24 mm/s
Date	2022-08-26	2022-08-26	2022-08-26
Time	23:19:55	23:19:55	23:20:00

Project Smålandsgatan - Ullevi
 Project maintainer Andreas Langager
 Time frame 2022-08-26 21:00 - 2022-08-26 23:59 (Europe/Copenhagen)
 Measure point M2-MP2
 Location Ullevi (P-källare)
 Sensor type C22
 Serial no. 107793
 Master(s) serial no. 107793
 Latest calibration 2021-10-21
 Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
 Unit mm/s
 Quantity Velocity
 Interval time 5 sec
 Max V: 0.20 mm/s, L: 0.12 mm/s, T: 0.080 mm/s

Max vib niveau under
26 Aug konsert



X-span 2022-08-26 21:00:00 - 2022-08-26 23:59:00
 Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.50

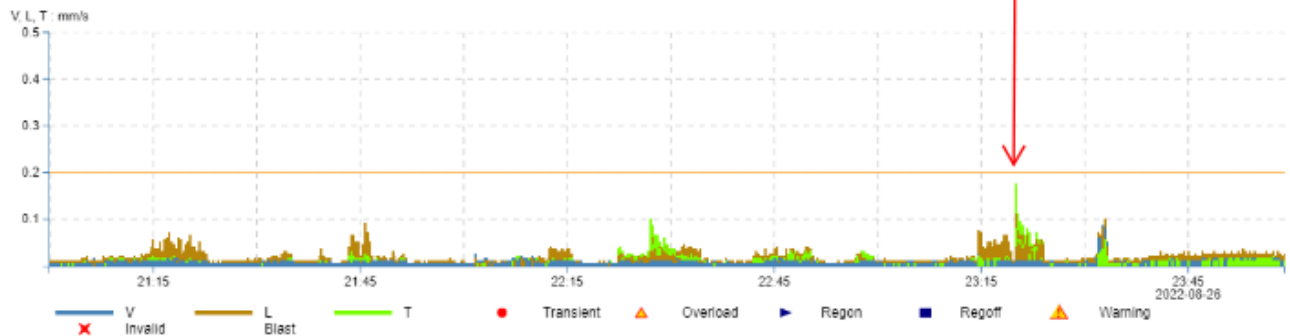
	V	L	T
Max	0.20 mm/s	0.12 mm/s	0.080 mm/s
Date	2022-08-26	2022-08-26	2022-08-26
Time	23:19:55	23:20:00	23:19:50



Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-26 21:00 - 2022-08-26 23:59 (Europe/Copenhagen)
Measure point M2-MP3
Location Katrinelundsgymnasiet
Sensor type C22
Serial no. 107792
Master(s) serial no. 107792
Latest calibration 2021-10-21
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.085 mm/s, L: 0.11 mm/s, T: 0.17 mm/s

Max vib niveau under
26 Aug konsert



X-span 2022-08-26 21:00:00 - 2022-08-26 23:59:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.50

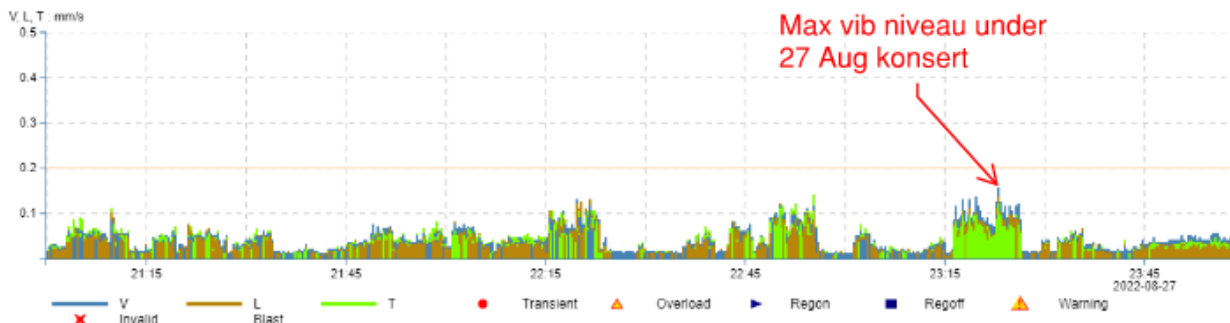
	V	L	T
Max	0.085 mm/s	0.11 mm/s	0.17 mm/s
Date	2022-08-26	2022-08-26	2022-08-26
Time	23:32:40	23:20:00	23:19:55

Bilaga E. Mätdata från MP1-MP3 under konserten 27 augusti



Interval report

Project	Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer	Andreas Langager
Time frame	2022-08-27 21:00 - 2022-08-27 23:59 (Europe/Copenhagen)
Measure point	M2-MP1
Location	Ullevi (pelare)
Sensor type	C22
Serial no.	101386
Master(s) serial no.	101386
Latest calibration	2021-01-27
Standard	Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit	mm/s
Quantity	Velocity
Interval time	5 sec
Max	V: 0.15 mm/s, L: 0.14 mm/s, T: 0.14 mm/s

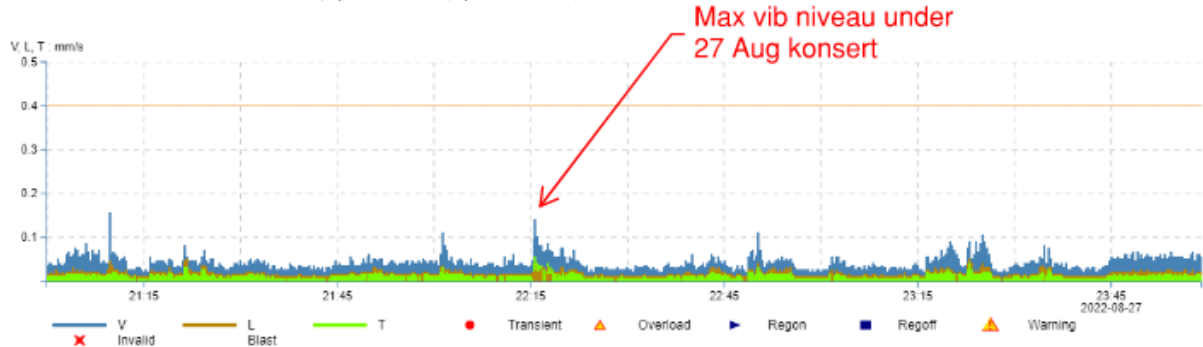


X-span	2022-08-27 21:00:00 - 2022-08-27 23:59:00		
Y-span	V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.50		
Max	V 0.15 mm/s	L 0.14 mm/s	T 0.14 mm/s
Date	2022-08-27	2022-08-27	2022-08-27
Time	23:22:45	23:22:45	22:55:10



Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-27 21:00 - 2022-08-27 23:59 (Europe/Copenhagen)
Measure point M2-MP2
Location Ullevi (P-källare)
Sensor type C22
Serial no. 107793
Master(s) serial no. 107793
Latest calibration 2021-10-21
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.15 mm/s, L: 0.050 mm/s, T: 0.055 mm/s



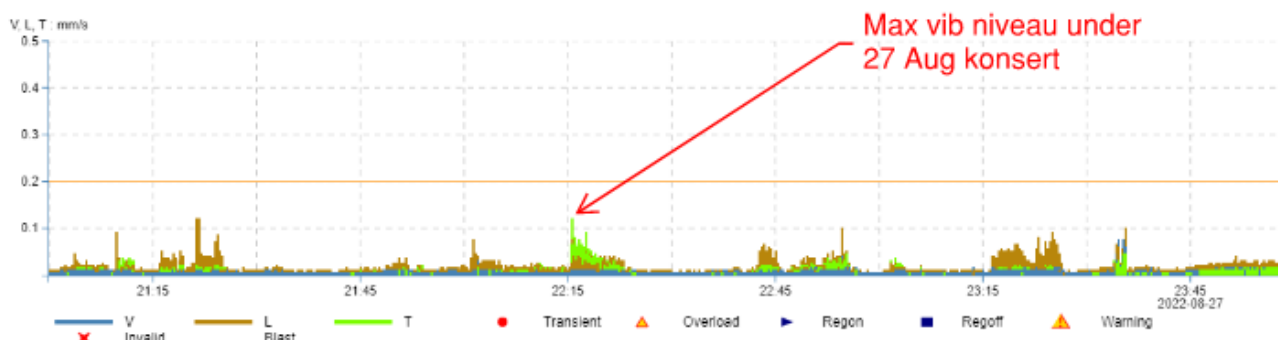
X-span 2022-08-27 21:00:00 - 2022-08-27 23:59:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.50

	V	L	T
Max	0.15 mm/s	0.050 mm/s	0.055 mm/s
Date	2022-08-27	2022-08-27	2022-08-27
Time	21:09:35	21:21:25	22:15:35



Interval report

Project Smålandsgatan - Ullevi
Project maintainer Andreas Langager
Time frame 2022-08-27 21:00 - 2022-08-27 23:59 (Europe/Copenhagen)
Measure point M2-MP3
Location Katrinelundsgymnasiet
Sensor type C22
Serial no. 107792
Master(s) serial no. 107792
Latest calibration 2021-10-21
Standard Geophone 25mm/s 5-500Hz
Unit mm/s
Quantity Velocity
Interval time 5 sec
Max V: 0.075 mm/s, L: 0.12 mm/s, T: 0.12 mm/s



X-span 2022-08-27 21:00:00 - 2022-08-27 23:59:00
Y-span V, L, T : mm/s: 0.0 - 0.50

	V	L	T
Max	0.075 mm/s	0.12 mm/s	0.12 mm/s
Date	2022-08-27	2022-08-27	2022-08-27
Time	23:34:40	21:21:20	22:15:35