

Teknikspecifikt PM för GFS spårväg Frihamnen - Lindholmen



# Vibrationsutredning

Teknikansvarig  
Mats Hammarqvist  
Teknikområde

Projekt ID  
770900

Rapport-ID  
Vibrationsutredning  
Kund  
Göteborgs Stad Trafikkontoret

Datum  
2020-10-23  
Version  
Slutversion

## Vibrationsutredning

Teknikspecifikt PM för GFS spårväg Frihamnen -  
Lindholmen

## Innehållsförteckning

1	Bakgrund .....	5
2	Underlag .....	6
2.1	Geoteknik.....	6
2.2	Förutsättningar trafikering.....	8
2.2.1	Vägtrafik.....	8
2.2.2	Bussar i kollektivtrafik .....	10
2.2.3	Spårtrafik.....	10
2.3	Övrig information .....	10
3	Metod .....	11
3.1	Beräkningsmodell.....	12
3.1.1	Spårburen trafik.....	12
3.1.2	Vägtrafik.....	12
3.2	Vändspår .....	14
3.3	Hållplatser.....	14
4	Riktvärden.....	14
4.1	Riktvärden Svensk Standard .....	14
4.2	Riktlinjer Trafikverket .....	14
4.3	Trafikkontoret Göteborg .....	15
5	Angränsande detaljplaner .....	16
6	Inventering förhöjningar.....	22
7	Tidigare utredningar i området.....	22
8	Resultat .....	22
8.1	Beräknade markvibrationer .....	22
8.2	Hållplatser.....	24
8.3	Vändspår .....	24
9	Slutsats.....	25

## Bilagor

Bilaga 1.....	Genomgång angränsande detaljplaner med avseende på vibrationer
Bilaga 2.....	Allmänt om vibrationer
Bilaga 3.....	Inventering förhöjningar gata

## Sammanfattning

Trafikförslag 2035 beräknas generellt ge något högre värde på grund av busstrafiken i kollektivstråket ändras till spårvagnar. Beräkningsmässigt så klaras dock alla riktvärden. Trafikmängdsökningar har begränsad inverkan på resultatet. Det är främst omläggning av fordonsslag som ger störst inverkan. Flytt av bussar till gator närmare byggnader ger beräkningsmässigt överskridande av riktvärde om det finns ojämnheter i gata. Genom att säkerställa en jämn gata klaras beräkningsmässigt riktvärde  $v_w = 0,4$  mm/s.

### Nuläge

Gator för lokaltrafik har idag risk för höga komfortvägda vibrationshastigheter inom byggnader när tunga fordon passerar förhöjningar/gupp i vägbanan inom några bostäder. Vibrationshastigheter på cirka 1,1 mm/s kan förväntas inom Lindholmen 31:2, 31:3, 31:4 om tunga fordon kör över gupp/ojämnheter i närmaste körfält. Detta bedöms som sannolikt störande. Hänsyn har dock inte tagits till effekten av garage under kvarteret vilket reducerar vibrationer. Övriga bostadshus har beräkningsmässigt en vibrationshastighet på  $v_w = 0,6-0,8$  mm/s om det finns en tydlig ojämnheter i vägbanan som till exempel ett gupp. Det är i nuläget fåtal tunga fordon som passerar relativt nära omkringliggande byggnader nattetid varav majoriteten sannolikt är relativt lätta varutransport-bilar. Riktvärden kan möjligtvis klaras. På sträckor med jämn vägbanan klaras beräkningsmässigt riktvärdet på  $v_w = 0,4$  mm/s.

Övriga kontorsbyggnader har en beräknad komfortvägd vibrationshastighet i intervallet  $v_w = 0,2-0,7$  mm/s.

### Trafikförslag 2035

Vid Trafikförslag 2035 kommer beräkningsmässigt vibrationshastigheterna i omgivningen att höjas något på grund av byte från buss till spårvagn. Det förutsätter jämna spår- och vägbanor i båda fallen. Alla riktvärden klaras.

Effekten av att flytta bussar till gator närmare byggnader kan ge fler tillfällen med höga vibrationshastigheter i byggnaderna om gatu-ytan är ojämn på grund av farthinder, upphöjningar eller skador. Situationen ser då ut som i nuläget men med många fler störningstillfällen, ca 200 bussar har risk att generera vibrationer inom byggnaderna som överskrider riktvärde,  $v_w = 0,4$  mm/s (högst 5 gånger per natt). Riktvärde överskrids då med marginal.

Genom att säkerställa att vägbanan är jämn har beräkningar visat att vibrationshastigheten i byggnaden kan bli lägre än riktvärde  $v_w = 0,4$  mm/s. Det är av största vikt att gupp och andra ojämnheter inte placeras i gata för buss nära bostäder.

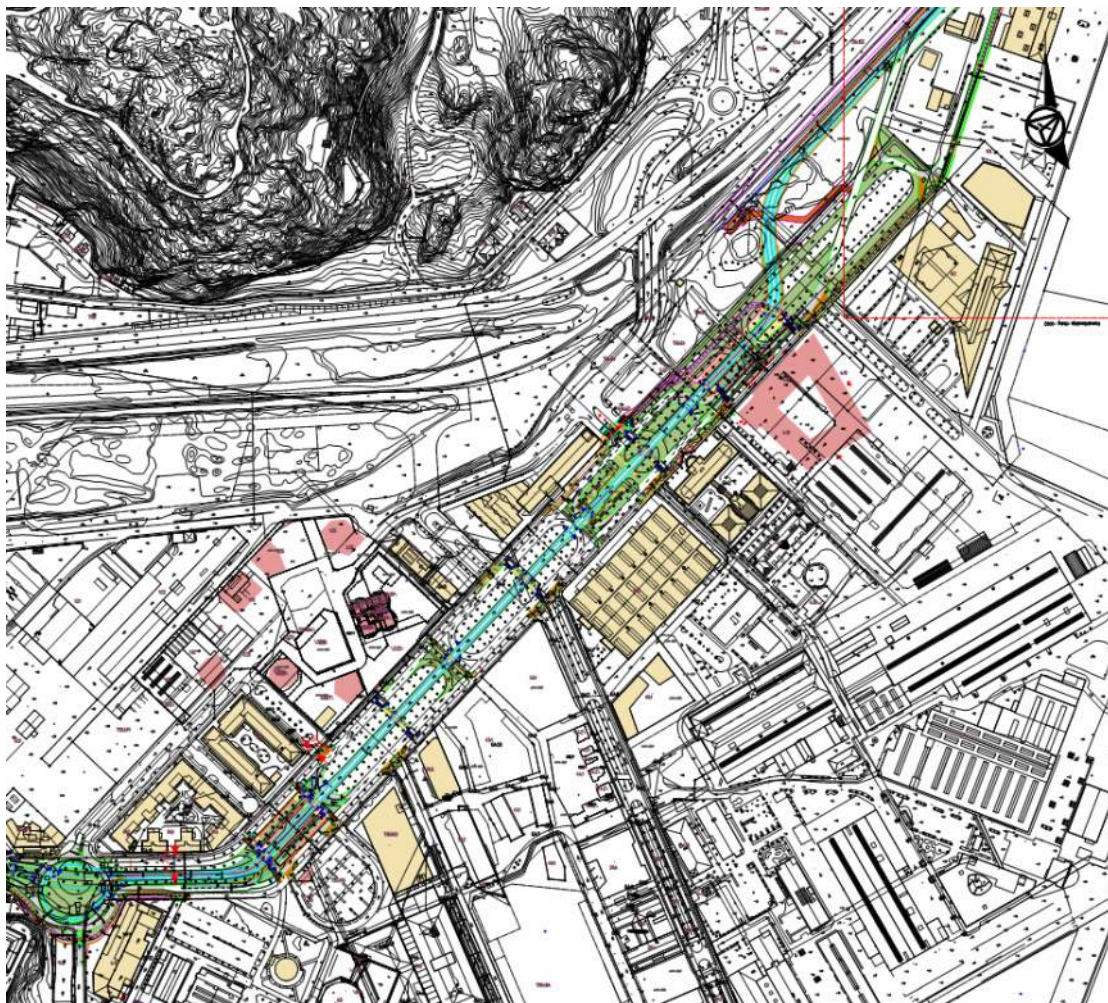
### Anmärkningar

Utredningen har inte tagit hänsyn till att några bostadsbyggnader har mer omfattande grundläggning (som Karlavagnsplatsen) eller parkeringsgarage under hela kvarteret (som Lindholmen 31:2, 31:3 och 32:4) som kan reducera vibrationer. På andra sidan så finns inte haft möjlighet att närmare utreda byggnadernas respons på markvibrationer då det kräver ett stort utredningsarbete med mätningar inom byggnadernas bostäder och kontor.



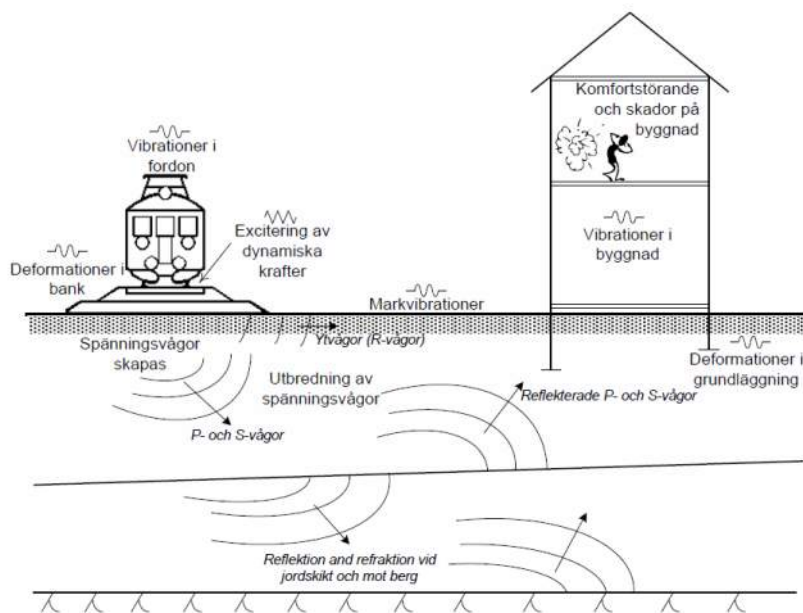
## 1 Bakgrund

Göteborgs Stad ska ta fram en detaljplan för spårvägsutbyggnad i Lindholmsallén. AFRY har fått i uppdrag att ta fram ett trafikförslag för framtida trafik där spårvägsutbyggnad ingår. Som en del i detaljplanearbetet har AFRY utrett hur vibrationer till omgivande byggnader förändras efter framtida spårläggning och flytt av busstrafik och om trafiklösningen är genomförbar med hänsyn till vibrationer.



Figur 1 Utredningsområde - Trafikförslag 2035 (källa: AFRY)

Tidigare utredningar i området har gjorts för olika detaljplaner. Resultatet från vibrationsutredningen jämförs med dessa och deras bestämmelser.



Figur 2 Schematisk beskrivning hur vibrationer i mark uppstår från fordonet och överförs till byggnad (Källa: Jord- och bergdynamik, IVA Rapport 206)

## 2 Underlag

- Vägtrafikinformation från "PM Underlag miljöbedömning Lindholmen", WSP 2020-04-15
- Trafikinformation om andel tung trafik nuläge, bussar i kollektivtrafiken och spårtrafik från trafikkontoret daterad 2020-03-30 och kompletterande information 2020-04-08.
- Skyltade hastigheter från <https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket> 2020-04-16
- Tidigare vibrationsutredningar i området, se avsnitt 6.
- Trafikförslag 2035, rev 2020-09-18

### 2.1 Geoteknik

För att göra beräkningar så krävs geotekniska data. Geotekniska rapporter som finns tillgängliga för Frihamnen-området och Lindholmsområdet ingår i bedömningsunderlaget.

- "Stadsbyggnadsanalys, Stråk mellan Lindholmen och Frihamnen, PM Geoteknik", WSP Samhällsbyggnad, 2019-02-01

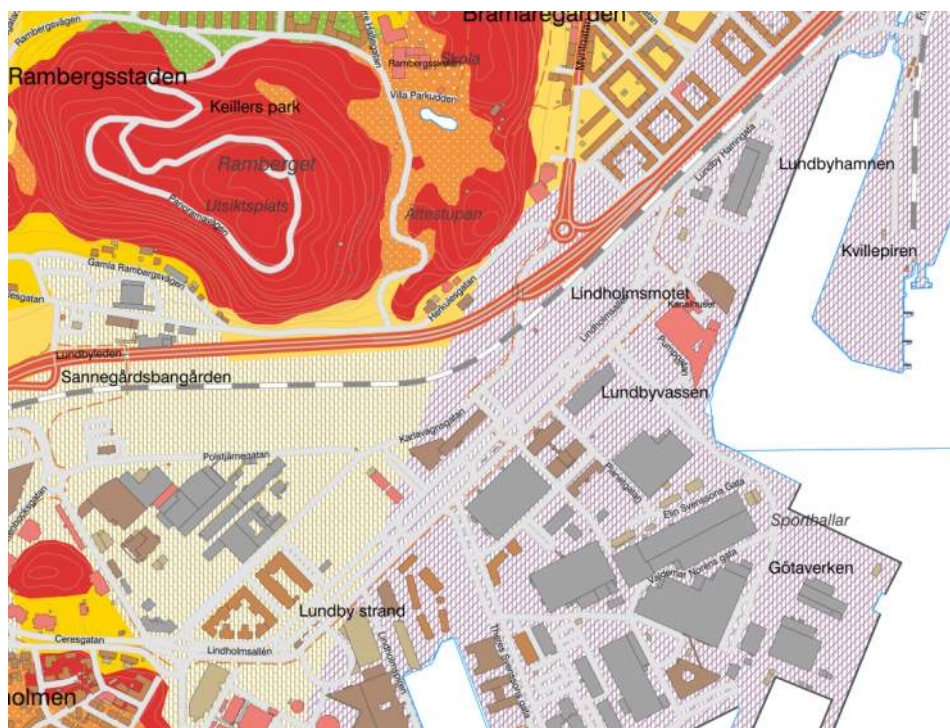
Under rubriken jordlager finns en sammanställning av jordarter, mäktigheter.




De geotekniska förhållandena kännetecknas av lera till stora djup. Överst i jordprofilen återfinns ett fyllningslager, 2–4 meter tjockt, vilket ligger ovanpå leran vars djup varierar mellan cirka 60 till 90 meter inom utredningsområdet. Leran vilar sedan på friktionsjord som ligger på berg.

Figur 3 Jordlager inom utredningsområdet enligt Stråk mellan Lindholmen och Frihamnen, PM Geoteknik

I geotekniska utredningar kan konstateras att det är lösare leror österut och den dränerade skjuvhållfastheten kan vara så låg som  $\tau_{fu} = 10\text{--}20$  kPa. Med en mäktighet på leran  $d = 60\text{--}100$  m innebär det en mycket låg egenfrekvens på för skjuvvågor och kompressionsvågor i marken. Beräkningsmässigt är de 5 lägsta modformerna under 5 Hz. Området har som översta jordlager fyllning av olika kvalitet. Fyllningsarbeten har skett successivt från 1800-talet.



Figur 4 SGU - Kartvisaren "Jordarter 1:25 000–1:100 000" med en översiktlig bild av jordarternas läge och jordartsföljd (skala 1:25000 i detta område).

 Fyllning överlagrande svämsediment, lera och silt

 Fyllning överlagrande postglacial lera

 Urberg

## 2.2 Förutsättningar trafikering

Denna utredning fokuserar på de olika vibrationshändelserna som förväntas uppstå längs sträckan. Det är främst att det kommer införas ett nytt trafikslag samt att bussarna trafikerar närmare husen som ger skillnaden mellan nuläge och prognos 2035. Utredningen förutsätter att det vid tidigare mätningar även inkluderats passager av tunga fordon som kan motsvara bussar på de gator som går närmast byggnader. Förändringen i trafikmängd presenteras dock för att kunna uppskatta hur många tillfällen tunga fordon passerar byggnader i det nya buskläget och kan ge upphov till en vibrationshändelse.

Hastigheten och fordonstyp är det som främst påverkar skillnaden i vibrationshastighet till omgivningen.

- Nuläge
- Trafikförslag med prognos 2035

### 2.2.1 Vägtrafik

Trafikinformation som använts i beräkningarna enligt Figur 5, Figur 7 och Figur 7.

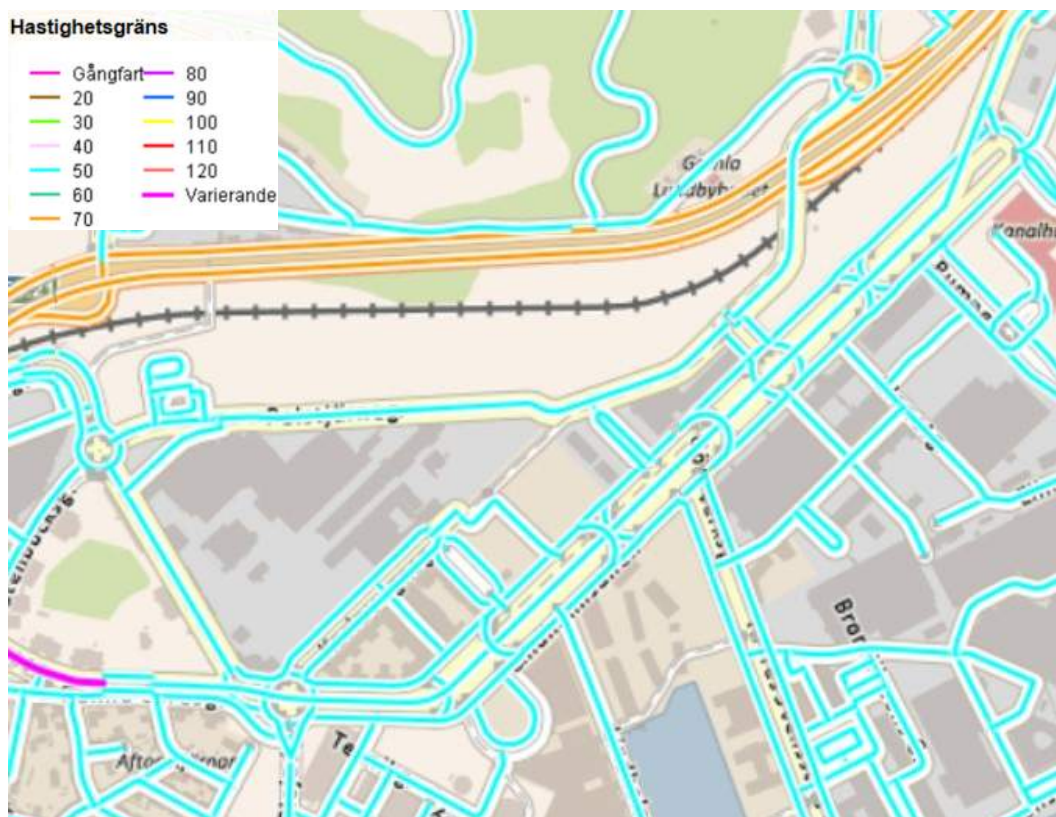
Trafikmängd, förutom bussar i kollektivtrafiken, är hämtat från "PM underlag miljöbedömning i Lindholmen". Nuläge är hämtat från kalibrerade mätningar av fordon. Andel tung trafik för nuläge är enligt info från trafikkontoret. Trafikinformation med grå text är antingen kompletterad från trafikkontoret eller samma andel tung trafik som för prognos då uppgift saknades. För prognos 2035 har Scenario 1 använts, vilken utgår från Sampers Basprognos 2040 och har störst tillkommande exploatering i planprogrammen. Nollscenario utgår från Sampers basprognos 2014 och enbart beslutad infrastruktur och exploatering.

Trafiken är omräknad enligt  $\text{ÅDT} = \text{ÅMVD} / 1,1$ .

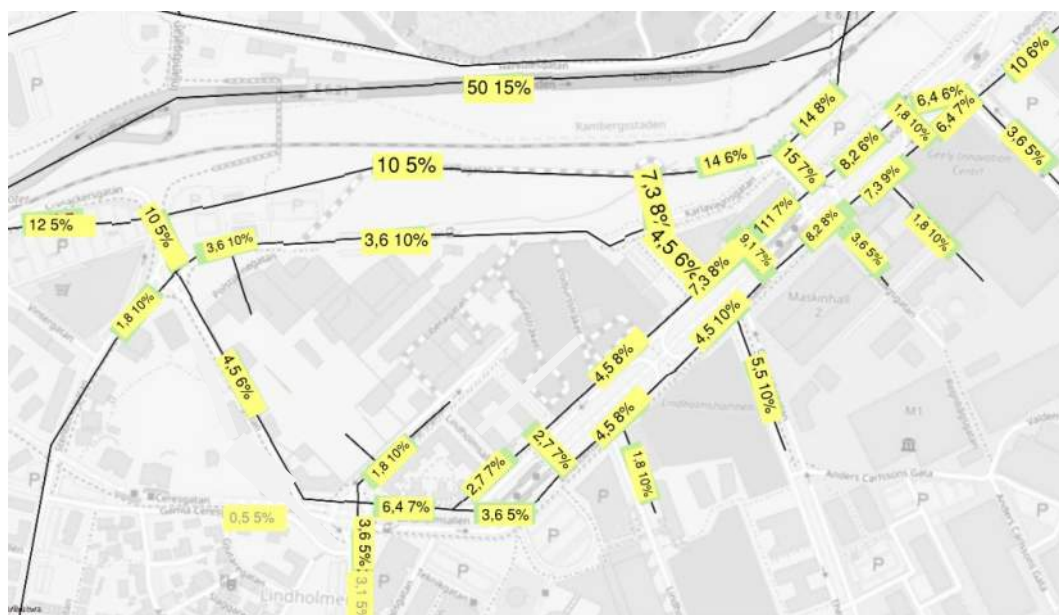




Figur 5: Nuläge ÅDT i tusental och andel tung trafik.



Figur 6: Hastigheter för vägtrafik för nuläge och prognos.



Figur 7: Prognos 2035 ÅDT i tusental och andel tung trafik.

### 2.2.2 Bussar i kollektivtrafik

Nuläge ÅDT 1200 och prognos 2035 ÅDT 900. Hastighet 50km/h.

### 2.2.3 Spårtrafik

#### Hamnbanan

Antalet godståg på Hamnbanan är i nuläge ÅDT 71 fordon per dygn och prognos ÅDT 87 fordon per dygn, fordonshastighet 40 km/h eventuellt 70 km/h, medellängd 500m och maxlängd 750m. Hamnbanan inverkar främst inom utredningsrådets västra del, Frihamnen. Separat utredning finns tillgänglig som visar Hamnbanans påverkan på aktuell detaljplan. Se avsnitt 7. Denna refereras i föreliggande utredning och kontrollerande beräkningar har utförts.

#### Spårvagnar

Spårvagnar M32 används med prognos av antalet fordon på ÅDT 520 fordon/dygn, fordonshastighet 50km/h i Lindholmsallén och 60km/h bredvid Hamnbanan och fordonslängd 45m.

## 2.3 Övrig information

Endast vibrationsnivåer från Lindholmsallén och ingående gator och kollektivstråk, buss respektive spårvagnar är inkluderade i utredningen.

### 3 Metod

Utredningen har valt att göra beräkningar av vibrationshastigheter från spårvagnstrafiken med egenutvecklad semi-empirisk beräkningsmodell samt hämta underlag från tidigare utredningar i området för att bedöma hur situationen förändras med planerad busstrafik närmare byggnad och spårvagn i kollektivstråket.

Tidigare vibrationsutredningar har hämtats från underlag till detaljplaner.

Översiktlig beskrivning av geologi på platsen har inhämtats från SGU:s jordartskarta på nätet samt utförda geoteknikutredningar i området.

Utredningen har tagit begränsad hänsyn till hur markvibrationerna i värsta fall kan förstärkas då frekvensen i mark överensstämmer med bjälklag och byggnad. Det finns fall då förstärkningsfaktorn kan vara så stor som  $Q = 10$ . Beräkningar antar att bjälklaget har cirka en överföringsfaktor relativt mark på ungefär 2. Tillkommande spårvagn har vanligtvis en lägre störfrekvens än bussar och andra tunga fordon så om byggnader är anpassade efter bussar och tunga fordon så bör de även ha egenfrekvenser i bjälklag över spårvagnarnas egenfrekvens,  $>10-20$  Hz. Detta grundar sig på Trafikverkets senare inventeringar där de utrett överföringsfaktorer från mark till byggnad.

Som alternativ till beskriven metod skulle utredningen kunna utföras utifrån en mer omfattande mängd mätningar av vibrationshastigheter i mark från bussar och andra tunga fordon samt utfört mätningar av vibrationshastigheter från spårvagnstrafik på annan plats i Göteborg för att bedöma vibrationer från Spårvagn i leran på olika avstånd.

Orsaken till val av vår metod är följande:

- Spårvagnar trafikerar inte Lindholmsallen idag vilket innebär att det inte är möjligt att mäta trafikslaget på plats.
- Vibrationsmätningar utförda i tidigare utredningar innehåller vibrationshastigheter från tunga fordon på Lindholmsallén som tolkats gå i gata med förhöjningar.
- Vår semi-empiriska modell för att räkna vibrationer från spårburna fordon har utarbetats under många år och kontrollerande mätningar har skett för att kontrollera att beräkningar ger rimliga resultat.
- Området har fyllning som översta jordlager och utredning bedömer att det finns risk för stora variationer inom området på vad det lagret består av och hur detta påverkar vibrationshastigheter. På samma sätt kan det vara svårt att hitta annan mätplats i Göteborg med motsvarande förutsättningar geotekniskt.
- Byggnader har olika respons till vibrationshastigheter i mark och dess frekvensinnehåll beroende på egenfrekvenser hos byggnad och dess ingående bjälklag. Därav hämtas underlag från tidigare utredning då bussar sannolikt ger ett något högre frekvensinnehåll och högst överföringsfaktor från mark till byggnad. För att bestämma komfortvägda vibrationshastigheter inom byggnader med större säkerhet skulle det krävas mätningar inomhus byggnader.

### 3.1 Beräkningsmodell

Översiktliga beräkningar har utförts med avseende på spårvagnar och tung vägtrafik som bussar och lastbilar. Det bör dock poängteras att det inte finns någon standardiserad nationell beräkningsmodell för att beräkna vibrationer från spårvagnar eller bussar. Det finns ramverk för att utföra beräkningar till exempel SS-ISO 14837-1:2005, Vibration och stöt – Markburet buller och markburna vibrationer från järnvägstrafik eller NT ACOU 082 Buildings: "Vibration and shock, evaluation of annoyance".

#### 3.1.1 Spårburen trafik

För att beräkna vibrationshastigheter i omkringliggande byggnader så används en egenutvecklad semi-empirisk modell, "Beräkning av vibrationshastighet från tågtrafik", ver. 1-0-2020 som använts i flertalet infrastrukturprojekt och successivt kontrollerats inom olika projekt. I modellen bestäms följande parametrar tillsammans med val i denna utredning:

- Fordonstyp – spårvagn
- Fordonshastighet – 50 km/h
- Avstånd till byggnad – specificeras per byggnad
- Utformning spårvägsbana – antaget en underbyggnad över lera på 1,6 meter som då inkluderar effekt av fyllning över lera (fyllning är i området 2-4 meter)
- Grundläggning – förutsätts att byggnader utförts med en grundläggning som motsvarar pålning på grund av jordarter på plats. Pålar som inte når fast botten (kohesionspålning)
- Marktyp – lös lera, odränerad skjuvhållfasthet mellan 12,5-25 kPa
- Hus- och bjälklagstyper – betong med spännvidder bjälklag upp till 8 m (fördelaktigt med mindre spännvidder för att få upp egenfrekvensen över 15-20 Hz)

#### 3.1.2 Vägtrafik

En formel för att skatta vägtrafikinducerade vibrationer i byggnadsfundament, beroende av passerande tung trafik redovisas i Formel 1 Modellen är framtagen vid Transport and Road Research Laboratory i England. Det bör även noteras att modellen inte hanterar styvhetsskiften i underlaget där vägytan är kontinuerlig med det finns en underjordisk förstyvning. Exempel på detta är över gång från viadukt till mjuk mark, från betongplattor som används för att stabilisera spårvagnsspår till mjuk mark samt vid kulvertar och rör som korsar gata i mjuk mark.

Den är vidareutvecklad och anpassad av ÅF Ljud och Vibrationer för att prediktera komfortstörande vibrationer och för utvärdering enligt SS 4604861, bland annat genom Vägverkets beräkningshandledning och en mängd mätresultat som ÅF Ljud och Vibrationer genomfört.

Vid bedömning av risk för obehagsupplevelser i byggnaden behövs en uppskattning av vibrationerna uppe i själva stommen. Vibrationerna kan då öka jämfört med vibrationen i husgrunden på grund av resonanser i golv och väggar. I allmänhet är det golven som är avgörande, och en korrektionsfaktor i storleksordningen 2,0 är inte helt ovanlig.

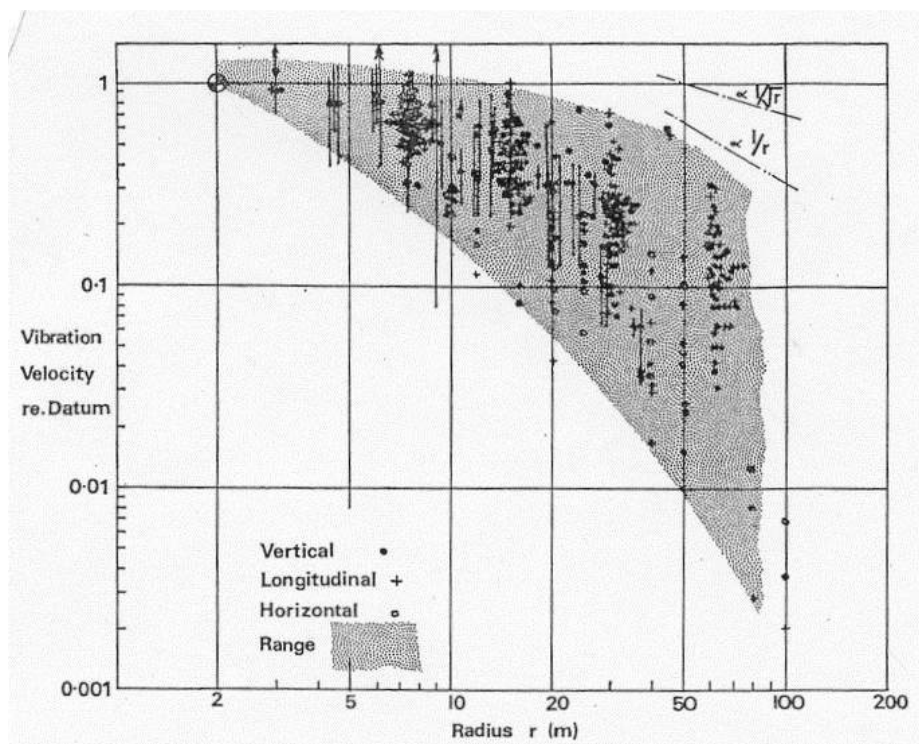


$$PPV = 0.028 \cdot a \cdot \frac{v}{48} \cdot t \cdot p \cdot \left(\frac{r}{6}\right)^x$$

Formel 1 Trafikinducerade vibrationer i byggnadsfundament. Obs räknar fram topp till toppvärden (PPV)

med följande beteckningar:

- PPV* vibrationernas topphastighet, Peak Particle Velocity [mm/s]  
*a* vägbaneojämnheter (topp-till-topp) [mm]  
*v* maximal hastighet på passerande fordon [km/h]  
*t* markfaktor, 3 för lös lera  
*p* 0,75 om vägojämnheten endast finns i det ena hjulspåret, annars 1,0  
*r* avstånd till vägbanan [m]  
*x* avståndspotens



Figur 8 Minskning av markvibration med avståndet. (Källa: Transport and Road Research Laboratory)

Notera att det längs Lindholmsallén finns ett lager av fyllning över leran som påverkar vibrationshastigheten i mark. Beräkningar antar en fyllning med mäktighet på >2 meter. Syftet med att beräkningsmodellen är främst för att visa att ojämnheter i vägbanan spelar stor roll på resultatet.

### 3.2 Vändspår

Utredningen förutsätter låg hastighet genom vändspår och tar inte hänsyn till eventuella växlar och korsningar.

### 3.3 Hållplatser

Det är beräknat med samma hastighet vid hållplatser som sträckorna i övrigt.

## 4 Riktvärden

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

### 4.1 Riktvärden Svensk Standard

Markvibrationer kan ge påverkan både på människor och på byggnader. Känslig utrustning kan också påverkas och i extrema fall finns det en risk att skador på byggnader och andra konstruktioner kan uppstå. Människor kan uppleva vibrationer på olika sätt främst beroende på frekvensområde (relevant frekvensområde är 1-80 Hz) eller som ljud.

TABELL 1 RIKTVÄRDEN FÖR KOMFORT I BYGGNADER ENLIGT SVENSK STANDARD SS 460 48 61 "VIBRATION OCH STÖT – MÄTNING OCH RIKTVÄRDEN FÖR BEDÖMNING AV KOMFORT I BYGGNADER". RIKTVÄRDEN NEDAN AVSER VÄGD HASTIGHET

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

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

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

### 4.2 Riktlinjer Trafikverket

I Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg, TDOK 2014:1021, som gäller från 2016-01-01, beskrivs riktvärde som konkretisering av vad Trafikverket anser vara en god eller i vissa fall godtagbar miljö. Riktvärdena utgör Trafikverkets målnivå vid genomförande av skyddsåtgärder mot höga vibrationsnivåer inom bostäder och vårdlokaler.

Riktvärde för maximal vibrationsnivå för planeringsfall nybyggnad är 0,4 mm/s vägd RMS vilket avser vibrationsnivå nattetid (22-06). Riktvärdet gäller i bostadsrum i permanentbostad och fritidsbostad samt i vårdlokaler avseende utrymme för sömn och

vila, eller utrymme med krav på tystnad. Värdet får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt men får dock inte överskrida 0,7 mm/s vägd RMS.

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

Det finns inga riktlinjer för skola, kontor, industrier och liknande verksamheter.

### 4.3 Trafikkontoret Göteborg

Trafikkontoret i Göteborg tog 2006 fram ett Miljöprogram för trafiken i Göteborg som stödjande dokument som avstamp för deras konkreta handlingsplaner. Där specificerades deras syn på vilka vibrationsnivåer som inte skulle överskridas.

För närvarande gäller, Principbeslut om hantering av vibrationer TN § 111/15.

#### **Riktvärden för människor i byggnader, vid planering**

En komfortvägd vibrationshastighet på 0,4 – 0,6 mm/s [RMS] ska eftersträvas i permanentbostäder, fritidsbostäder och vårdlokaler. Det gäller i utrymmen där människor vistas stadigvarande.

Känsltröskeln för individer varierar inom vida gränser, bl.a. beroende av vilket psykologiskt tillstånd personen befinner sig i och vad personen för tillfället sysslar med.

*(Enligt Trafikverkets tekniska dokument TDOK 2014:1021 ver 2.0 anges att om vibrationsnivåerna uppgår till mellan 0,4 mm/s och 0,7 mm/s och riktvärden för buller överskrids ska ett särskilt övervägande göras om vilka skyddsåtgärder som är tekniskt möjliga och ekonomiskt rimliga beaktat den totala störningssituationen)*

#### **Riktvärden för åtgärder i befintlig miljö**

Riktvärde ska eftersträvas i permanentbostäder, fritidsbostäder och vårdlokaler. Det gäller utrymmen där människor vistas stadigvarande, 1,0 mm/s vägd RMS

*(Enligt Trafikverkets tekniska dokument TDOK 2014:1021 ver 2.0 utförs åtgärd om vibrationsnivåerna uppgår till mer än 1,4 mm/s nattetid (22-06) och får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt. Åtgärder övervägs även längs järnväg om vibrationsnivån 0,7 mm/s överskrids fler än fem gånger per årsmedelnatt och om minst en av dessa störningshändelser överskrider 1,4 mm/s)*

## 5 Angränsande detaljplaner

Följande angränsande detaljplaner har inventerats för att identifiera dels planbestämmelser som kan påverka planerad utformning av Lindholmsallén dels om det finns redovisade mätta eller beräknade vibrationshastigheter inom detaljplanen. Notera att fastighetsombildningar medfört att dagens fastighetsbeteckningar kan skilja från det som redovisas under denna rubrik.



Figur 9 Illustration av detaljplaner i området (Källa: Göteborgs Stad)

Planbestämmelser rekommendationer i planbeskrivning med angivna riktvärden för vibrationshastigheter finns i Bostadsprojekt område C, D, F. Antingen genom angivet riktvärde på 0,4 mm/s eller hänvisning till Banverkets Policy "Buller och vibrationer för spårbunden trafik".

Indirekta rekommendationer finns i några detaljplaner där byggnader ska utformas för att inte ha bjälklag som har motsvarande störningsfrekvenser som i mark eller att de ska ha en egenfrekvens som är över en specificerad frekvens inom följande områden G, J, K.

Vibrationshastigheter har uppmätts och redovisats i följande områden C, G, H och J. Inom detaljplan för Karlavagnsplatsen (C) och Lindholmen, 39:2, 39:3, 40:1, 41:1, 42:1, 43:1, 44:1 (J) konstateras låga vibrationshastigheter i mark. Mätning i område J anger låga nivåer från tung trafik på Lindholmsallén. Högre vibrationshastigheter har uppmätts inom Lundbyvassen 4:6/4:19 (H), 0,7 mm/s RMS, och Lundbyvassen 4:18 (G).

Inom Lundbyvassen 4:6/4:19 (H) kommer vibrationer från tung trafik på Lindholmsallén och byggnaden rekommenderas utformas för att hantera detta. På



denna sträcka finns det förhöjningar av typ "gupp" i vägbanan, se vägbaneinventering. Mätpunkt var placerad cirka 10 meter från förhöjningar.

Inom Lundbyvassen 4:18 (G) är det oklart vilken infrastruktur som orsakar vibrationshastigheter i marken då vibrationsutredningen hänvisar till att de utrett Hamnbanan och Lundbyleden. Byggnaden bör utformas för att hantera uppmätta vibrationer i mark. Utredningen förutsätter att tung trafik på Lindholmsallén bör vara inkluderad i utförda mätningar. På denna sträcka finns det förhöjningar av typ "gupp" i vägbanan som kan ge förhöjda vibrationer, se vägbaneinventering.

Figur 10: Översikt över detaljplaner runt Lindholmsallén.

### A. Lindholmen 2:8



Figur 11: Översiktsbild Lindholmen 2:8 (Källa: Google Maps)

### B. Lindholmen 2:14



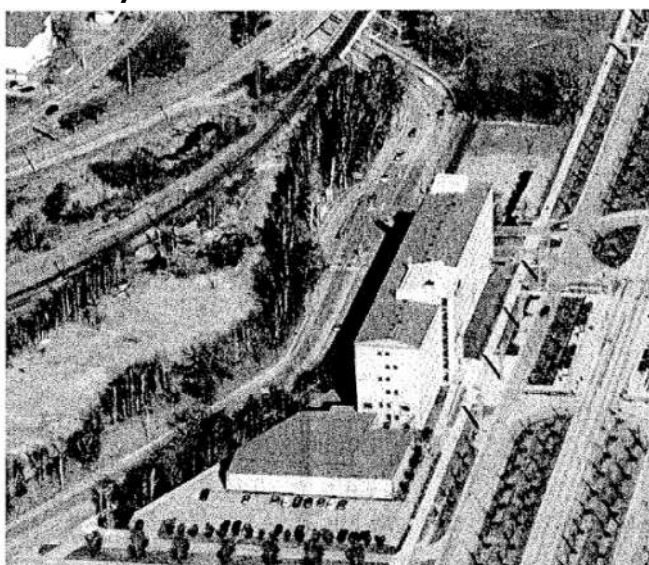
Figur 12: Översiktsbild Lindholmen 2:14 (Källa: Google Maps)

### C. Karlavagnsplatsen



Figur 13: Illustrationer Karlavagnsplatsen (Källa planbeskrivning)

### D. Lundbyvassen 3:1

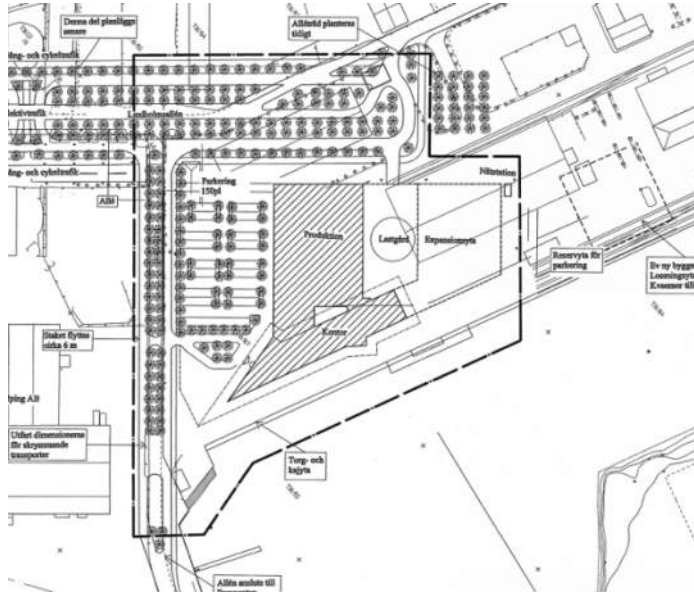


Figur 14: Översiktsbild Lundbyvassen 3:1 (Källa planbeskrivning)

### E. Lindholmsmotet

Inga kontor eller bostäder inom detaljplanen

**F. Lundbyvassen 8:2**



Figur 15: Översiktsbild Lundbyvassen 8:2 (Källa: Detaljplan, planritning)

**G. Lundbyvassen 4:18**



Figur 16: Illustration Lundbyvassen 4:18 (Källa: Planbeskrivning)

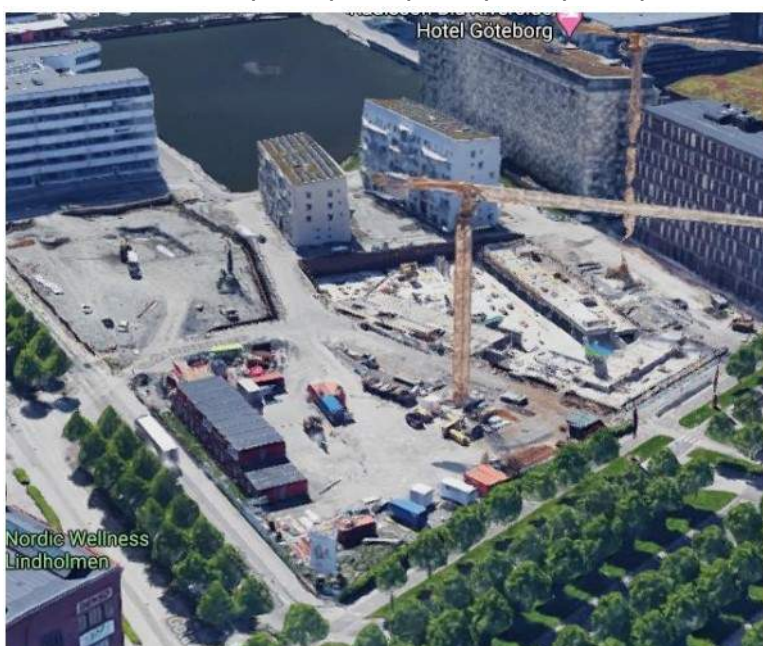


**H. Lundbyvassen 4:6, 4:19**



*Figur 17: Illustration Lundbyvassen 4:6, 4:19 (Källa: Planbeskrivning)*

**J Lindholmen 39:2, 39:3, 40:1, 41:1, 42:1, 43:1, 44:1**



*Figur 18: Översikt Lindholmen 39:2, 39:3, 40:1, 41:1, 42:1 43:1 och 44:1 (Källa: Google Maps)*





## M. Chalmers Lindholmen



Figur 21: Översiktsbild Chalmers Lindholmen (Källa: Google Maps)

## 6 Inventering förhöjningar

Då farthinder och andra diskontinuiteter i vägbanan har stor påverkan på omgivande vibrationer så har en inventering utförts av förhöjningar av typ "gupp". Resultatet av denna inventering redovisas i Bilaga 3.

## 7 Tidigare utredningar i området

Följande utredningar har använts för att kontrollera beräkningsresultatens rimlighet:

1. Buller och vibrationsutredning, Detaljplan för blandstadsbebyggelse i Frihamnen, etapp 1, 2017-07-05, Norconsult
2. Vibrationsutredning Pumpgatan, 2017-12-07, Norconsult

I utredning 1 mäts 0,8 mm/s komfortvägd vibrationshastighet 29 meter från spårvagnsspår. Det konstateras dock i kommentarer att det vid mättillfället konstaterades att spår- och vägskick vid mättillfället var mycket dåliga.

I utredning 2 mäts en komfortvägd vibrationshastighet på 0,7 mm/s i marken. Mät punkt ligger 10 meter från förhöjning i gata. Fordonstrafik på Lindholmsallén identifieras som källa. Anpassning av byggnadens ingående egenfrekvenser föreslås för att inte vibrationer ska förstärkas inom byggnad.

## 8 Resultat

### 8.1 Beräknade markvibrationer

I beräkningar har inkluderats en förhöjning alternativt skada i vägbanan på kortaste avstånd från gata till byggnad för att visa konsekvensen av farthinder på vibrationshastigheter inom byggnad.

Beräkning av vibrationer från förhöjningar/gupp utgår från en "effektiv höjd" på förhöjning i gata på 25 mm som om det vore en kant.

Vägyta som bara trafikeras av bussar har ansatts vara slät utan några sneda brunnar eller andra ojämnheter. Vägbaneojämhet är ansatt till max 5 millimeter.

Området har generellt ett övre lager med fyllning som är fördelaktigt men under detta finns mäktiga lösa leror som är negativt. Gupp och skador i spår och vägkana kan få stor konsekvens på vibrationerna till omgivningen.

Tabell 1 Beräknade vibrationshastigheter inom närmaste byggnader inom respektive fastighet

Beräknade vibrationshastigheter inom byggnad						
Fastighet	Typ	Nuläge		Framtida		
		Kollektivstråk (buss) Komfortvägd vibrationshastighet [mm/s]	Lokalgata med mindre upphöjning(Tung trafik) Komfortvägd vibrationshastighet [mm/s]	Kollektivstråk (spårvagn) Komfortvägd vibrationshastighet [mm/s]	Gata jämn yta (Buss & tung trafik) Komfortvägd vibrationshastighet [mm/s]	Lokalgata med mindre upphöjning (Buss & tung trafik) Komfortvägd vibrationshastighet [mm/s]
A. Lindholmen 31:2, 31:3,31:4	Bostäder	0,2	1,1	0,4	0,2 resp 0,3	1,1
B. Lindholmen 31:1, 2:14	Bostäder	0,1	0,7	0,1	0,1 resp 0,2	0,7
C. Karlavagnsplatsen / Lindholmen 2:30, 2:27	Bostäder	0,1	0,7	0,2	0,2	0,7
D. Lundbyvassen 3:1	Kontor	0,1	0,7	0,2	0,2	0,7
E. Lindholmstotet	ingen byggnad	x	x	x	x	x
F. Lundbyvassen 8:2	Kontor (TV-huset)	<0,1	0,5	<0,1	0,1	0,5
G. Lundbyvassen 2:5477	Bostäder	0,1	0,8	0,2	0,2	0,8
H. Lundbyvassen 4:7, 4:13	Kontor	0,1	0,6	0,2	0,1	0,6
J. Lindholmen 39:3, 42:1	Bostäder	0,1	0,7	0,2	0,2	0,7
K. Lindholmen 735:502	Kontor	0,1	0,6	0,2	0,1	0,6
L. Lindholmen 6:10	Parkering	x	x	x	x	x
M. Chalmers Lindholmen	Kontor	<0,1	0,2	<0,1	0,1/0,1	0,2

Resultatet förutsätter att byggnader är utformade på ett sådant sätt att de inte har konstruktioner som har stora förstärkningar från mark till byggnad. Utredningen utgår från en förstärkningsfaktor på 1,8 mellan mark och byggnad. Förstärkningsfaktorn kan i speciella fall bli upp emot  $Q=10$  i enskilda frekvenser om markvibrationens störningsfrekvens sammanfaller med bjälklagens egenfrekvenser. Enligt senare tids forskning utförd av Trafikverket redovisas att förstärkningsfaktorn på det komfortvägda värdet brukar vara kring 1.

Inom Frihamnenområdet krävs att byggnader uppförs med hänsyn till vibrationer från Hamnbanan. Beräkningsmässigt så kan riktvärde överskridas på 120 meter vid en hastighet på 40 km/h och närmare 200 meter vid en hastighet på 70 km/h. Spår kan utformas för att minska påverkansområde. Mätningar finns utförda på cirka 115 meter som visar vibrationshastigheter i mark något under riktvärde ( $v_w = 0,4$  mm/s).

Spårvagnsbana (Vignolspår) och busstråk inom Frihamnenområdet är i denna utredning utformad med grundläggning motsvarande minst 2-3 meter fyllning/ballast (friktionsmaterial) och slät spår- eller vägyta. Avstånd som då beräkningsmässigt krävs är 10-15 meter till byggnad för att inte riskera att riktvärde överskrids inom bostäder ( $v_w = 0,4$  mm/s). Detta förutsätter att byggnaden är utformad så den inte förstärker vibrationshastigheter i mark med mer än faktorn  $Q=2$  vilket innebär att byggnader och bjälklag inte har egenfrekvenser vid dominerande störningsfrekvenser i mark. Andra spårssystem som till exempel spårplatta i betong och grundläggning av spårssystem bör utredas i detaljprojekteringen så att de inte utformas på ett fördelaktigt sätt.

## 8.2 Hållplatser

Utredningen förutsätter att spårvägen och vägbana är jämna vilket inte ger några förhöjda vibrationshastigheter till omgivningen.

## 8.3 Vändspår

Utredningen antar att spårvagnar håller låg hastighet genom vändspåret så att vibrationer inte ökar till omgivningen. Utredningen tar inte hänsyn till effekten av att fordonen kör genom växlar utan förutsätter att växlar utformas så de inte ger upphov till högre vibrationer än omkringliggande spår.



## 9 Slutsats

Trafikförslag 2035 beräknas generellt ge något högre värde på grund av busstrafiken i kollektivstråket ändras till spårvagnar. Beräkningsmässigt så klaras dock alla riktvärden.

Flytt av bussar till gator närmare byggnader ger beräkningsmässigt överskridande av riktvärde om det finns ojämnheter i gata. Genom att säkerställa en jämn gata klaras beräkningsmässigt riktvärde  $v_w = 0,4$  mm/s.

### Nuläge

Gator för lokaltrafik har idag risk för höga komfortvägda vibrationshastigheter inom byggnader när tunga fordon passerar förhöjningar/gupp i vägbanan inom några bostäder. Vibrationshastigheter på cirka 1,1 mm/s kan förväntas inom Lindholmen 31:2, 31:3, 31:4 om tunga fordon kör över gupp/ojämnheter i närmaste körfält. Detta bedöms som sannolikt störande. Utredningen har dock inte tagit med effekten av garage under kvarteret vilket reducerar vibrationer. Övriga bostadshus har beräkningsmässigt en vibrationshastighet på  $v_w = 0,6-0,8$  mm/s om det finns en tydlig ojämnhet i vägbanan som till exempel ett gupp. Det är i nuläget fåtal tunga fordon som passerar relativt nära omkringliggande byggnader nattetid varav majoriteten sannolikt är relativt lätta varutransport-bilar. Riktvärden kan möjligtvis klaras. På sträckor med jämn vägbanan klaras beräkningsmässigt riktvärdet på  $v_w = 0,4$  mm/s.

Övriga kontor har en beräknad komfortvägd vibrationshastighet i intervallet  $v_w = 0,2-0,7$  mm/s.

### Trafikförslag 2035

Vid Trafikförslag 2035 kommer beräkningsmässigt vibrationshastigheterna i omgivningen att höjas något på grund av byte från buss till spårvagn. Det förutsätter jämna spår- och vägbanor i båda fallen. Alla riktvärden klaras.

Effekten av att flytta bussar till gator närmare byggnader kan ge fler tillfällen med höga vibrationshastigheter i byggnaderna om gatu-ytan är ojämn på grund av farthinder, upphöjningar eller skador. Situationen ser ut som i nuläget men med många fler störningstillfällen, ca 200 bussar har risk att generera vibrationer inom byggnaderna som överskrider riktvärde,  $v_w = 0,4$  mm/s (högst 5 gånger per natt). Riktvärde överskrids då med marginal.

Genom att säkerställa att vägbanan är jämn har beräkningar visat att vibrationshastigheten i byggnaden kan bli lägre än riktvärde  $v_w = 0,4$  mm/s. Det är av största vikt att gupp och andra ojämnheter inte placeras i gata för buss nära bostäder.

### Anmärkningar

Utredningen tar inte hänsyn till att några bostadsbyggnader har mer omfattande grundläggning (som Karlavagnsplatsen) eller parkeringsgarage under hela kvarteret (som Lindholmen 31:2, 31:3 och 32:4) som kan reducera vibrationer. Att närmare utreda byggnadernas respons på markvibrationer är ett omfattande utredningsarbete med mätningar inom byggnadernas bostäder och kontor som inte är rimlig att utföra inom denna utredning.



# LINDHOLMSALLÉN



# Genomgång Vibrationer : planbestämmelser och planbeskrivningar

För fastigheter längs Lindholmsallén

# Detaljplaner

- A. Lindholmen 2:8
- B. Lindholmen 2:14
- C. Karlavagnsplatsen
- D. Lundbyvassen 3:1
- E. Lindholmsmotet
- F. Lundbyvassen 8:2
- G. Lundbyvassen 4:18
- H. Lundbyvassen 4:6, 4:19
- J. Lindholmen 39:2, 39:3, 40:1, 41:1, 42:1, 43:1, 44:1
- K. Lindholmen 735:502
- L. Lindholmen 6:10
- M. Chalmers Lindholmen





# A. Lindholmen 2:8

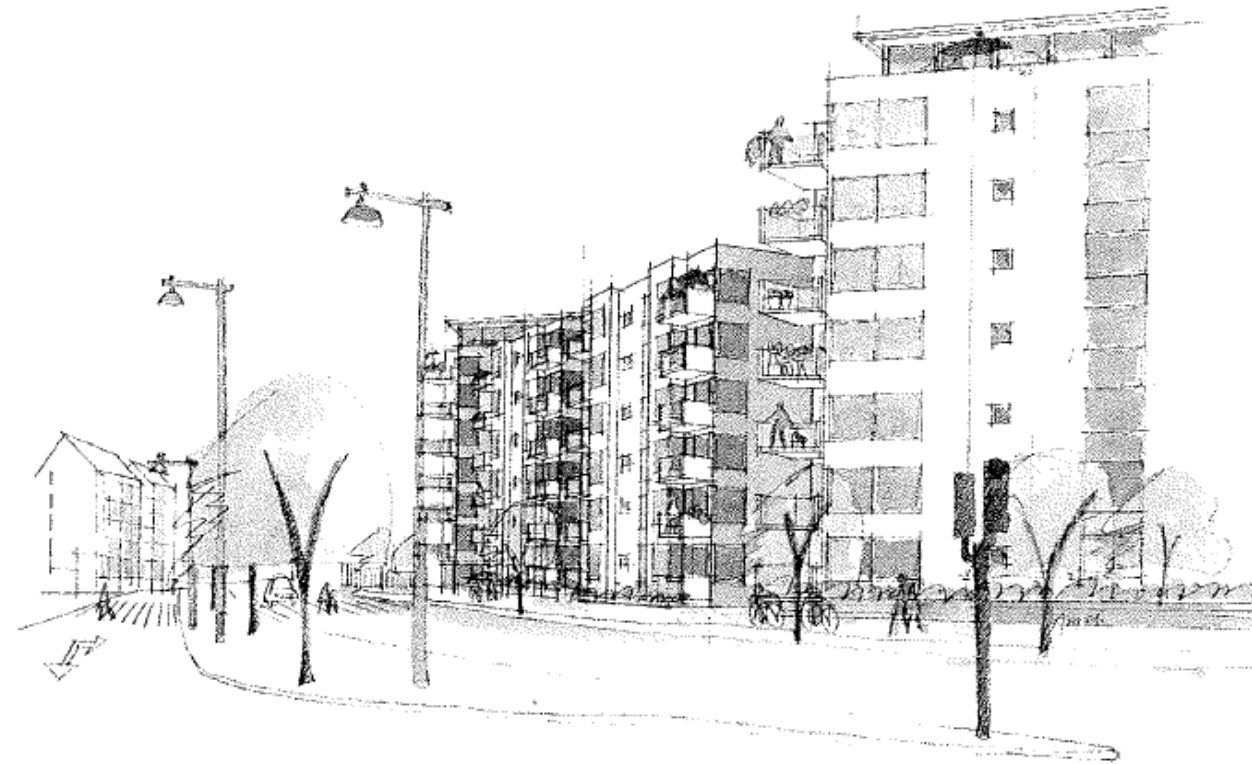
## VIBRATIONER

### PLANBESTÄMMELSE

*"Huskonstruktionerna bör så långt möjligt anpassas för att undvika att vibrationer i marken fångas upp av huskonstruktionen."*

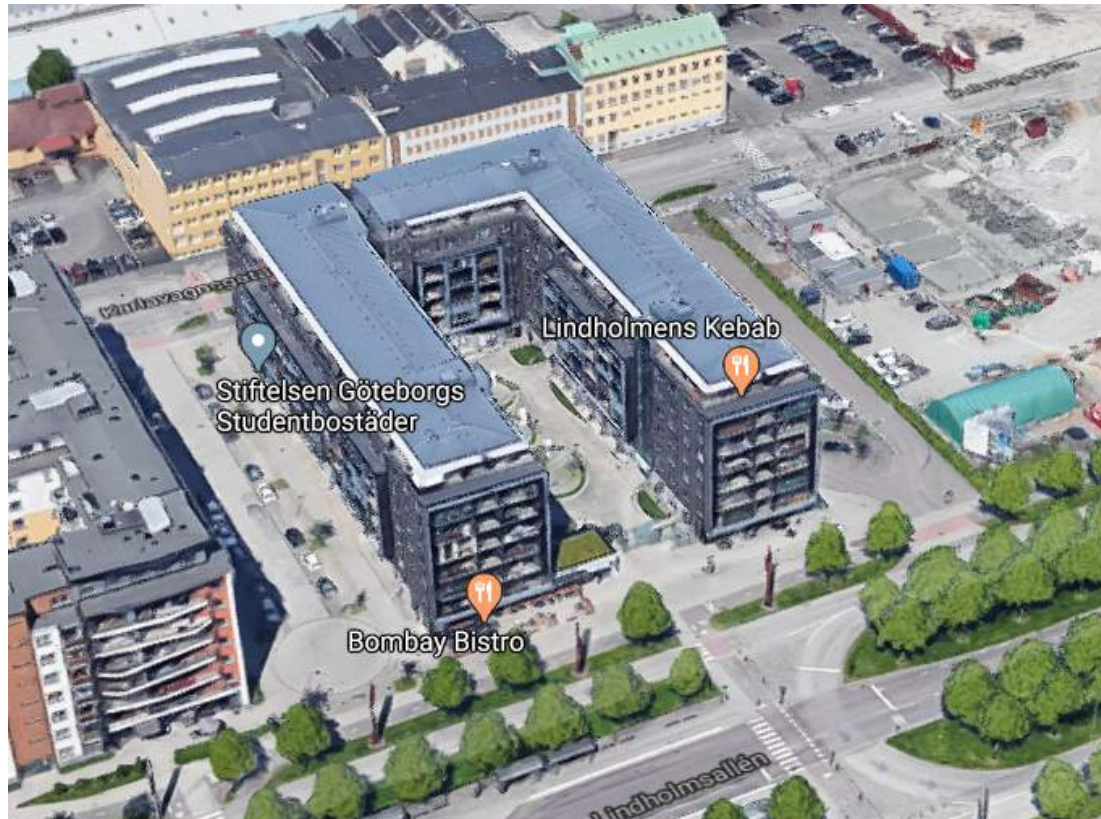
### PLANBESKRIVNING

*"Hamnbanan passerar ca 300 meter norr om planområdet. Mätning av störande vibrationer i marken bör göras i samband med detaljprojektering och tjäna som underlag för utformning av eventuella åtgärder i konstruktionen. Huskonstruktionen bör så långt det är möjligt anpassas för att undvika, att vibrationer i marken fångas upp av huskonstruktionen."*



# B. Lindholmen 2:14

## VIBRATIONER



### PLANBESTÄMMELSE

Hittar inget.

### PLANBESKRIVNING

Hittar inget.

# C. Karlavagnsplatsen

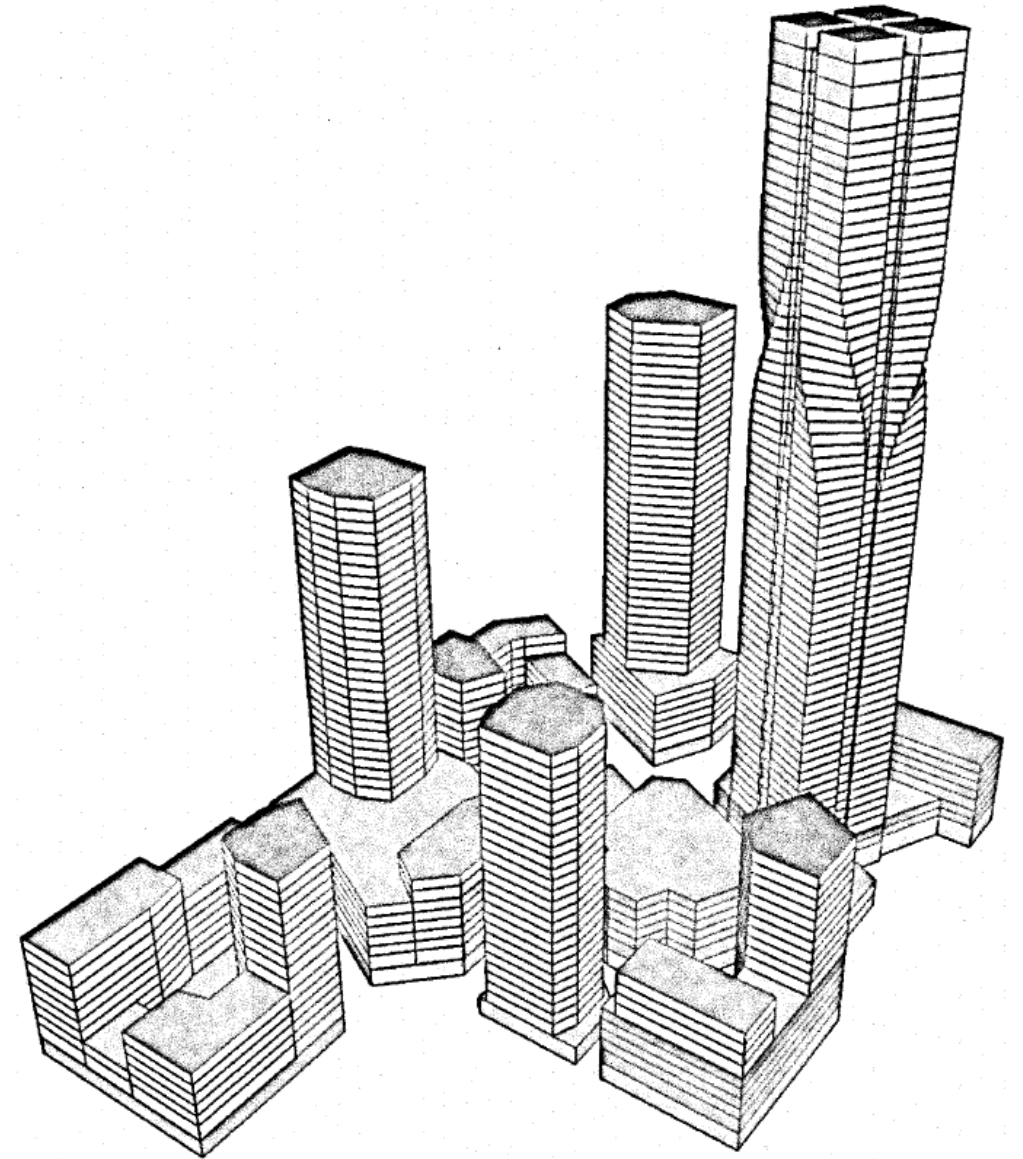
## VIBRATIONER

### PLANBESTÄMMELSE

*"Riktvärdet för vibrationer i bostadsrum får inte överskrida 0,4 mm/s vägd rms."*

### PLANBESKRIVNING

*"En vibrationsutredning har upprättats. Utredningen visar att vibrationer från väg- och järnvägstrafik i området kring planerad byggnation vid Karlavagnsplan inte kan nå störande eller skadlig storlek i byggnader och konstruktioner inom aktuellt område. Det som ger detta resultat är framförallt att planerad byggnation blir tung och grundläggs djupt samt att det är ett relativt tjockt lager friktionsmaterial över den underlagrande lösa leran. Plan bestämmelse angående riktvärden för vibrationer i bostadsrum är infört på plankartan."*





# D. Lundbyvassen 3:1

## VIBRATIONER

### PLANBESTÄMMELSE

*Byggnad ska förses med erforderligt skydd mot Vibrationer från spårburen trafik i norr*

### PLANBESKRIVNING

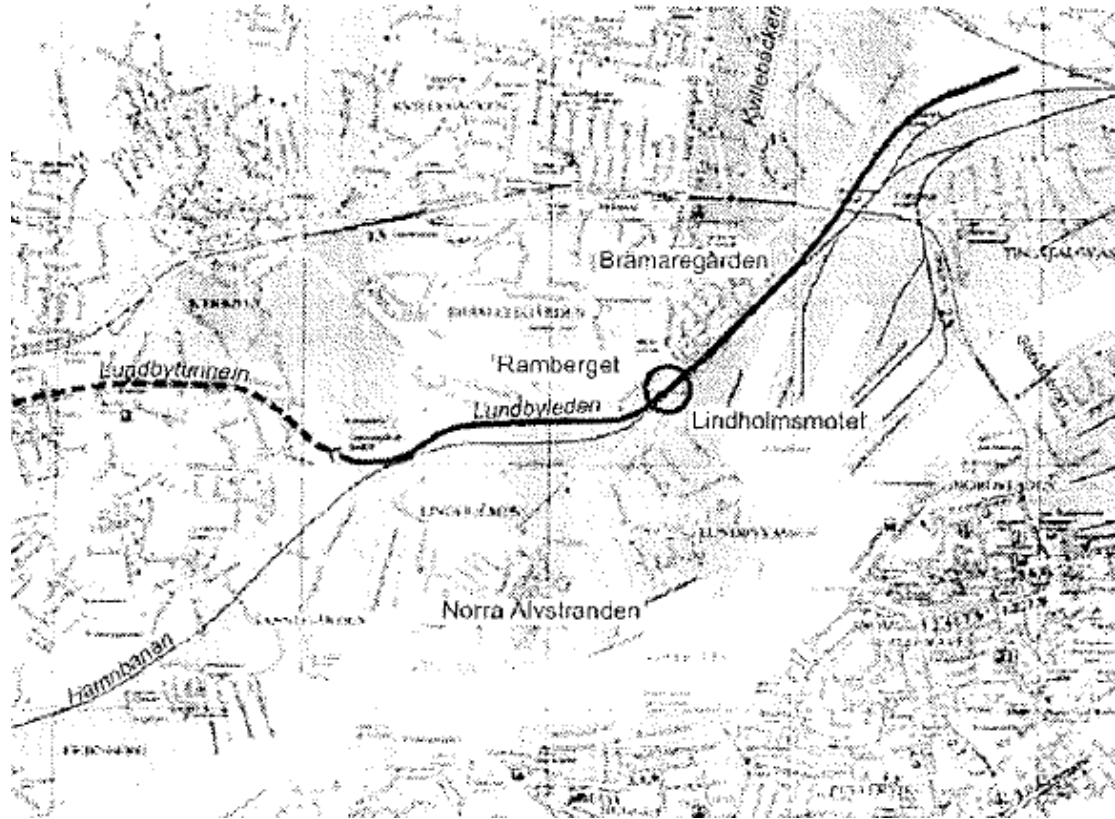
*”Viss störning från Hamnbanan förekommer. Ny bebyggelse ska konstrueras så att de riktvärden för god miljö kvalitet avseende buller och vibrationer som redovisas i Banverkets och Naturvårdsverkets policy – Buller och vibrationer från spårburen trafik – uppnås. En planbestämmelse för detta har tillförts planen”.*





# E. Lindholmsmotet

## VIBRATIONER



Vibrationer förekommer främst från Hamnbanan. I samband med ombyggnation kommer vibrationsnivåer minskas, till följd av bättre grundläggning och helsvetsad räls. Vibrationsdämpare åtgärder har övervägts i form av förstärkt grundläggning.

# F. Lundbyvassen 8:2

## VIBRATIONER

### PLANBESKRIVNING

*Avståndet mellan kontorsdelen och Hamnspåret uppgår till cirka 200 m. Detta innebär att Barnverkets Policy ” Buller och vibrationer för spårbunden trafik” uppfylls för den nya bebyggelsen.*





# G. Lundbyvassen 4:18

## VIBRATIONER



### PLANBESKRIVNING

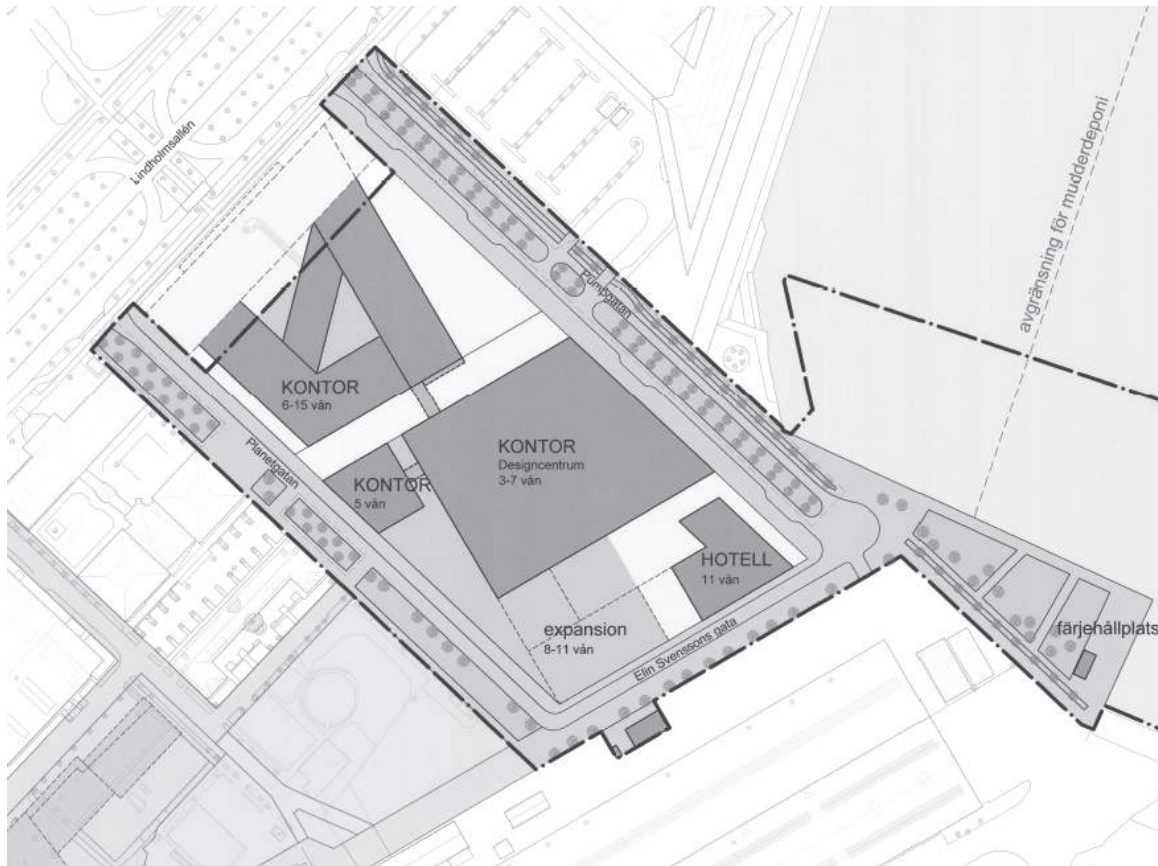
Norconsult utförde 2017-12-07, en vibrationsutredning för att bedöma risken för komfortstörningar med avseende på järnvägstrafik på Hamnbanan och Lundbyleden. Mätningar utfördes i en mätpunkt i tre riktningar för planerade byggnader. Mätningen resulterade till att relativt höga vibrationsnivåer erhålls i mark.

Åtgärder för att minimera risk bör bjälklagens egenfrekvens dimensioneras till över 12 Hz.

*"Spårväg i Lindolmsallén planeras av Trafikkontoret. Vibrationsmätningen är gjord enligt en metod där befintliga förutsättningar utreds och bedöms. Framtida spår har inte beaktas".*

# H. Lundbyvassen 4:6/4:19

## VIBRATIONER



### PLANBESKRIVNING

2017-12-07, utförde Norconsult vibrationsutredning gällande komfortstörning med avseende järnvägstrafik på Hamnbanan och Lundbyleden. Utredningen utfördes med en mätposition (3 riktningar) för planerad byggnader.

Mätresultatet visar att relativt höga vibrationsnivåer erhålls i mark, Framförallt från fordonstrafik på Lindholmsallén. Byggnaderna dimensioneras för att klara vibrationer.

Vibrationsutredningen är avsedd befintliga förutsättningar och har inte beaktas Trafikkontorets planer gällande spårväg i Lindholmsallén.



# J. Lindholmen

39:2/39:3/40:1/41:1/42:1/43:1/44:1

## VIBRATIONER

### PLANBESKRIVNING

*"Vibrationsutredning har utförts som visar att markvibrationerna är generellt svaga, och inga registreringar kan relateras till tågtrafiken. Troligen tung trafik ger upphov till enstaka kortvarig vibration men de överstiger inte gällande riktvärde. Bedömningen som är baserad på genomförda mätningar av markvibrationer, är att risk för vibrationsstörningar inte föreligger i bebyggelse, enligt föreslagen detaljplan. Inga vibrationsdämpande åtgärder föreslås utöver ett krav på lägsta egenfrekvens hos bjälklag > 5 Hz för bostäder närmst Lindholmsallén".*



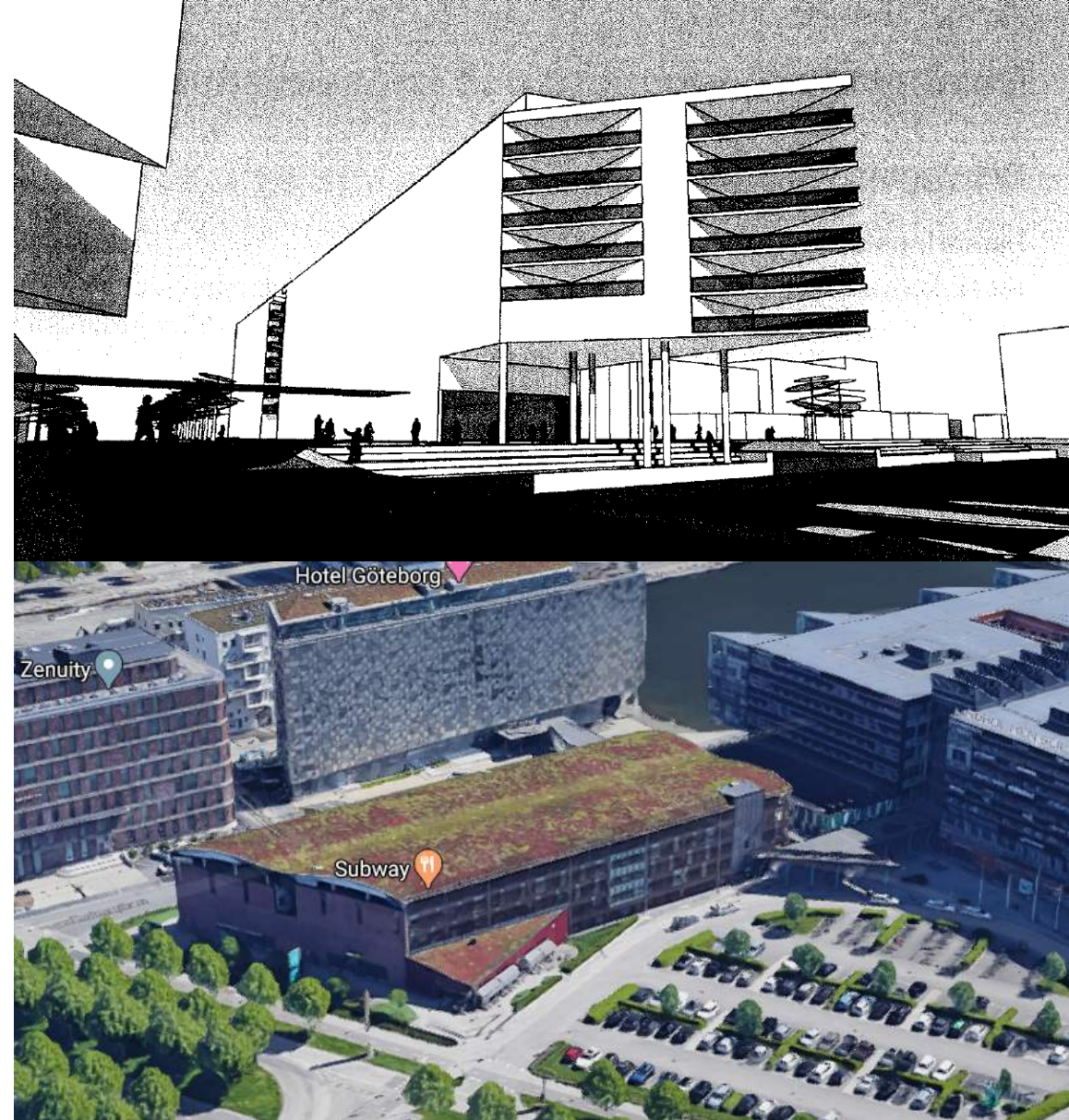


# K. Lindholmen 735:502

## VIBRATIONER

### PLANBESKRIVNING

*”(Från Geotekniska utredning, 2007-04-10, WSP AB, Göteborg.) I Kommande skede bör vibrationsmiljön i området dokumenteras genom vibrationsmätningar. För att minimera risken för störningar i byggnaderna utformas så att den dominerande störningsfrekvensen i marken inte sammanfaller med någon resonansfrekvens i byggnaden”.*





# L. Chalmers Lindholmen

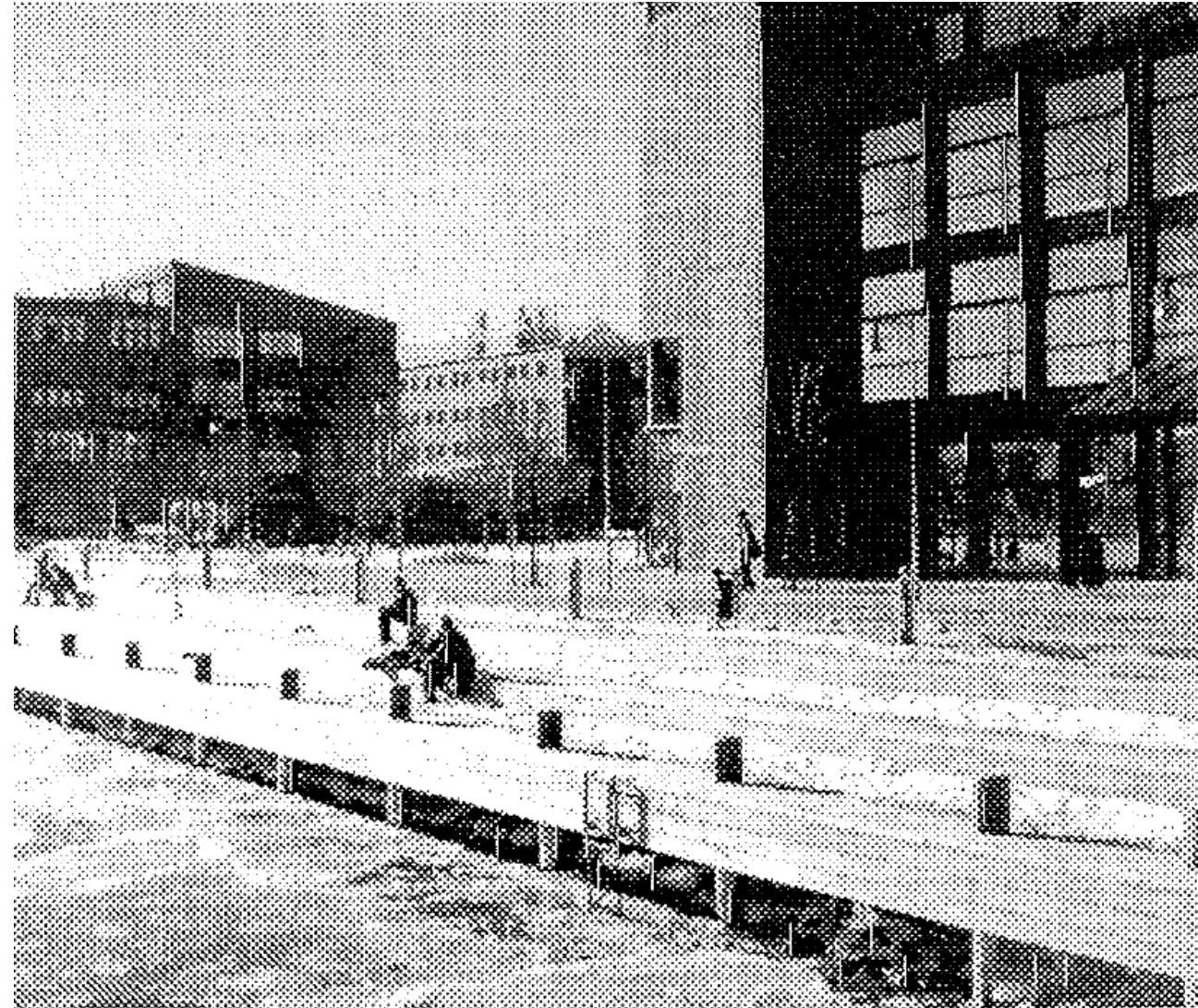
## VIBRATIONER

### PLANBESTÄMMELSE

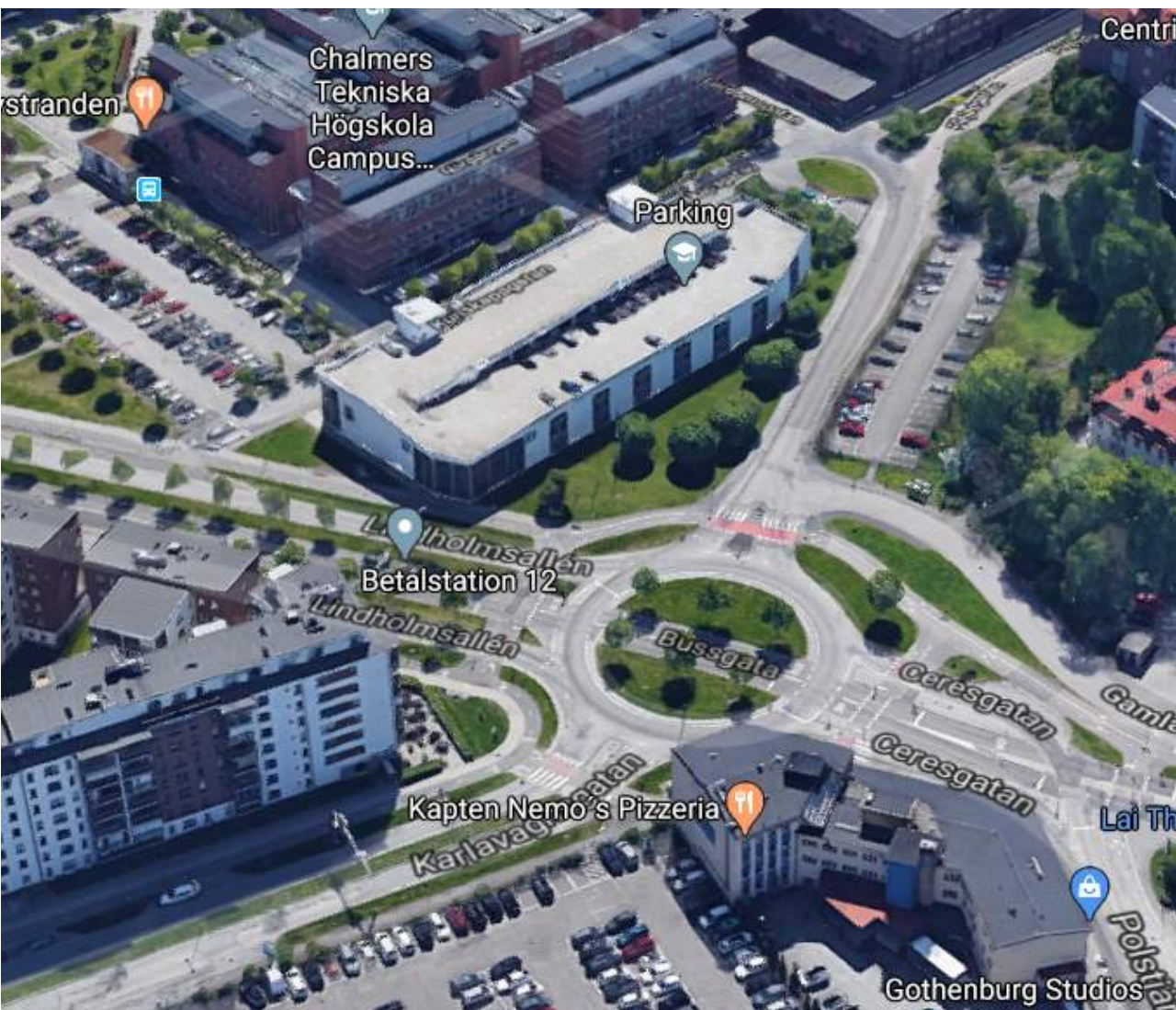
Hittar inget.

### PLANBESKRIVNING

Hittar inget.







# M. Lindholmen 6:10

## VIBRATIONER

### PLANBESTÄMMELSE

Hittar inget.

### PLANBESKRIVNING

Hittar inget.



## 1 ALLMÄNT OM VIBRATIONER I MARK

”Göteborg har världsrekord i markvibrationer” är en beskrivning som står sig ganska väl i internationella sammanhang. Mätningar som utförts i Göteborgsregionen återkommer som underlag för forskningsprojekt om hur vibrationer och ljud stör människor. Det innebär att det är en god idé att vara uppmärksam på platser i regionen där störande vibrationer kan uppstå. Det är väldigt sällsynt att skadliga vibrationshastigheter uppstår. De nivåer som skulle kunna ge skador är långt över riktvärde för störande vibrationer och skulle vara oacceptabla ur störningssynpunkt.

### 1.1 STORHETER OCH SAMBAND

#### 1.1.1 Vibrationsteknisk terminologi

Liksom i många andra sammanhang kan en förenklad jämförelse göras med andra fysikaliska förlopp. I detta fall jämförs markvibrationers utbredning med vågutbredning i vatten. Om man kastar något i vatten erhålls vågrörelser som har höga och täta vågor nära exciteringspunkten medan rörelserna avtar och glesas ut ju längre ut man kommer.

I vibrationstekniska termer benämns våghöjden, över nollnivån, *amplitud* och avståndet mellan vågorna för *våglängd*.

Vibrationer utgörs av en svängande rörelse som kan uttryckas i följande termer: partikelförflyttning, partikelhastighet eller partikelacceleration. Eftersom rörelsen utgörs av en svängning innebär detta att ingen reell förflyttning sker av betraktat element/partikel.

***Det är viktigt att skilja mellan hastigheten som markpartiklarna rör sig med,  $v$ , och den hastighet som vibrationsvågen utbreder sig i marken har,  $c$ .***

Förflyttning är kanske det enklaste uttrycket att förstå. För ett vibrerande golv är det den sträcka en punkt på golvet förflyttar sig från viloläget. Hastigheten innebär den fart med vilket golvet rör sig och accelerationen är förändringen i hastigheten.

Trots att förflyttningen är den mest lättförståeliga enheten används den sällan för att beskriva markvibrationer. Detta på grund av att de flesta sensorer för att mäta vibrationer använder enheter för hastighet eller acceleration och, vilket kanske är ännu viktigare, att den respons som sker hos människor, byggnader och utrustning bättre beskrivs med dessa enheter.

#### 1.1.2 Storheter

Styrkan hos vibrationer kan, uttryckas med hjälp av tre olika mätstorheter, nämligen:

**$v$ , vibrationshastighet** (= partikelhastighet m/s) - eng. vibration *velocity*

**$a$ , acceleration** (= partikelacceleration m/s<sup>2</sup>) - eng. vibration *acceleration*

**$d$ , förflyttning** (= partikelförflyttning m) - eng. vibration *displacement*.

De två första storheterna är vanligast, men mätsignalerna är ofta små om vibrationsfrekvensen är låg; det kan då vara lämpligt att i stället mäta förflyttning.

### 1.1.3 Vibrationsnivåer - referensnivåer

Ibland kan vibrationer presenteras som vibrationsnivå (dB). Nivåangivelser (dB) för vibrationer relateras till referensnivåer som anges i ISO 1683 (1983). Således, vibrationsnivån för en given frekvens anges i dB relativt fastlagd referensnivå:

**vibrationshastighetsnivå**  $L_v = 20 \cdot \log(v/v_{ref})$  dB rel.  $10^{-9}$  m/s (skrivs också 1 nm/s)

**vibrationsaccelerationsnivå**  $L_a = 20 \cdot \log(a/a_{ref})$  dB rel.  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup> (skrivs också 1  $\mu$ m/s<sup>2</sup>)

(Referensnivån för förflyttning blir då  $d_0 = 10^{-6}$  m).

**Det är dock praxis att redovisa störande vibrationer i SI-enheter (mm/s eller mm/s<sup>2</sup>)**

### 1.1.4 Tidsvägning

Vibrationens tidsförlopp avgör om man skall mäta toppvärde eller effektivvärde - eller båda. *Toppvärdet* definieras som det maximala värdet under ett givet tidsintervall och beskriver bäst störupplevelsen vid stöt. *Effektivvärdet* (eng. RMS Root Mean Square), det kvadratiska medelvärdet under tidsintervallet  $t_1$  till  $t_2$  användes vid periodiska förlopp som är sammansatta av sinussvängningar.

Vid periodiska förlopp som sammansätts av momentana stötar rekommenderas att man mäter både toppvärde och effektivvärde.

### 1.1.5 Frekvens

Människans upplevelse av vibrationsstörningar är - förutom av styrka och varaktighet - även avhängig av vibrationens frekvensinnehåll. En vibrationsmätning bör därför normalt innehålla frekvensanalys.

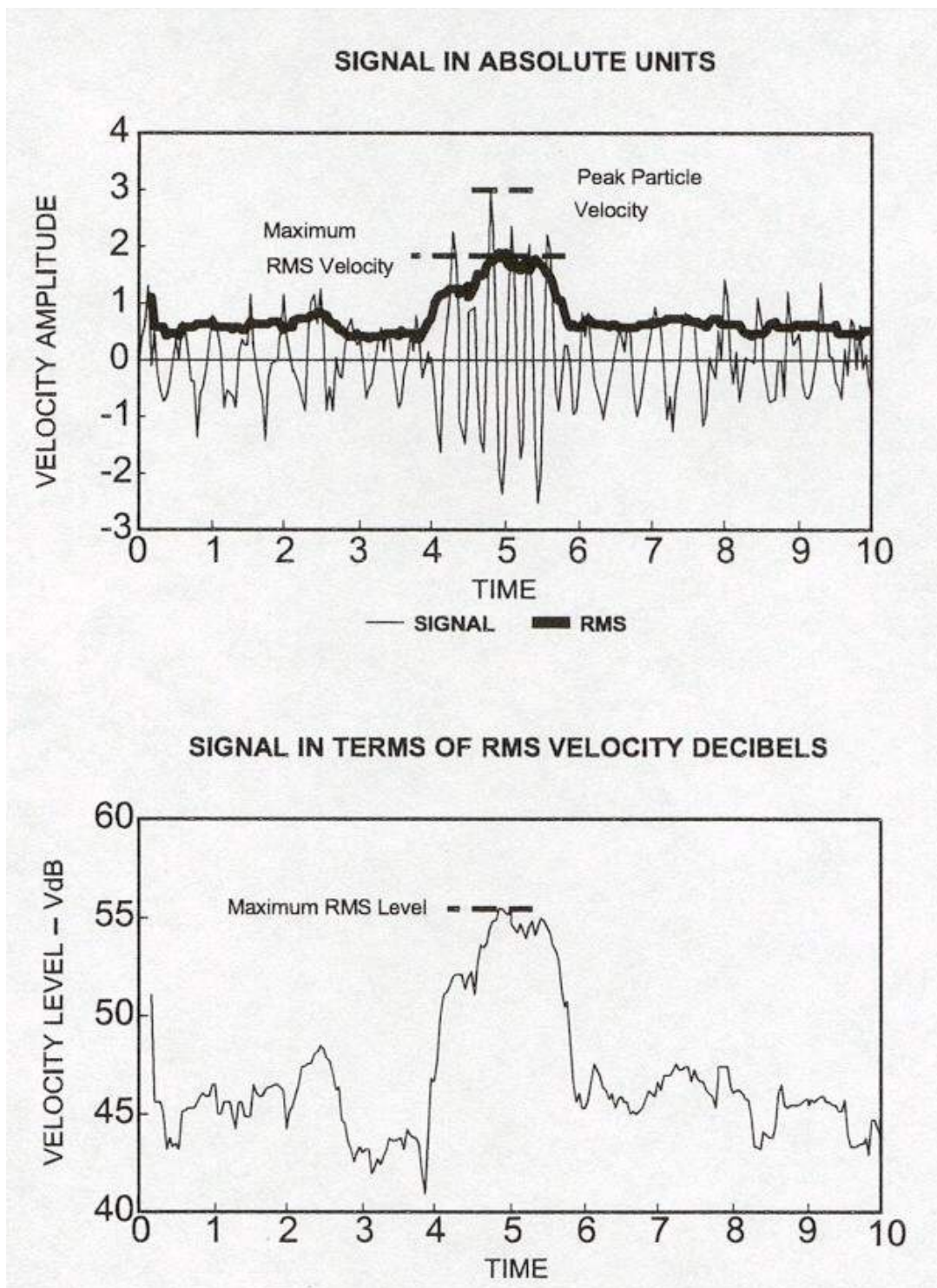
Människokroppens olika delar uppvisar resonansfrekvenser som kan medföra förstärkta obehag av en påverkande vibration. Rygggraden har exempelvis en resonans vid 10 - 12 Hz och bröstkorgen ca 60 Hz.

*Anm. I standarden ISO 2631-2 har man infört frekvensvägning av vibrationsmätvärdena. Vägningen tar hänsyn till kroppens lägre känslighet för låga frekvenser. Fördelen med en frekvensvägning är att man då kan uttrycka "vibrationsstyrkan" med ett ensiffervärde, dvs. ett mera lätthanterligt mått. Lite som A-vägning då man pratar om ljud (dBA). I dagligt tal brukar detta värde kallas komfortvägd vibrationshastighet [ $a_w$ ,  $v_w$ ,  $d_w$ ].*

När det gäller vibrationers inverkan på **människokroppen** begränsas i allmänhet mätområdet till 1 - 80 Hz. För att fastställa inverkan på **byggnader och känslig utrustning** bör mätområdet utvidgas uppåt i frekvens; beroende på vibrationsorsak kan övre gräns behöva väljas upp till omkring 500 Hz.

En svängningsrörelse kan alltså beskrivas om man känner rörelsens frekvens och svängningsamplitud (förskjutning, hastighet, acceleration). I figur 2.2 och 2.3 visas två olika metoder för att beskriva en vågrörelse.

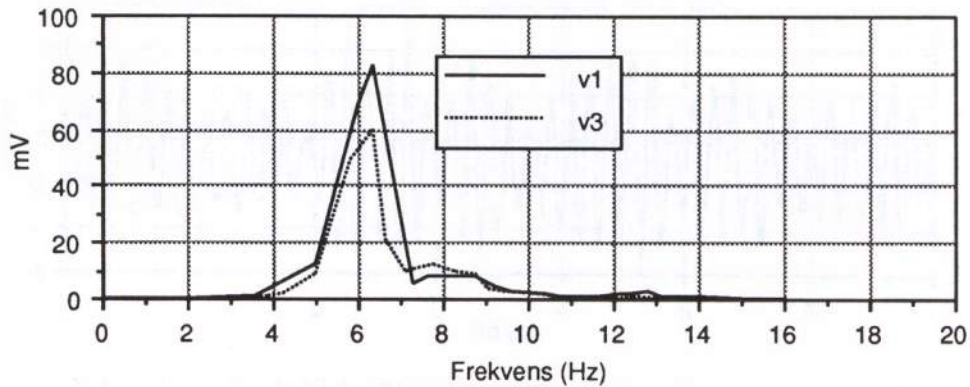
Det är valfritt att välja en presentation i hastighetsnivå dB eller hastighet i mm/s, men det har blivit praxis i Sverige att använda mm/s då störande vibrationer presenteras.



I figur 2.2 visas en uppmätt signals variation i tiden redovisat på två olika sätt. Normalt används ett medelvärde (RMS: root mean square) för att beskriva en signal i tidsdomän men i vissa fall (känslig utrustning) används även det s.k. topp-till-topp-värdet. Det senare värdet ger då avståndet mellan amplitudens största och minsta värde. Båda dessa sätt redovisas i den översta kurvan med skalan i mm/s. I den nedre kurvan redovisas RMS-värdet med nivåskalan dB.

I figur 2.3 redovisas en uppmätts signals frekvensinnehåll istället för en funktion av tiden. Detta är en så kallad fouriertransform av tidssignalen. Innehållet i tidssignalen sorterar in i olika frekvensområden. Jämförelse kan vara att man delar upp ett musikstycke i alla tangenter som spelas på ett t.ex. ett piano. Ackordet C-dur består av tonerna c-e-g. Den totala energin ska vara lika oberoende av vilket sätt man presenterar vibrationshändelsen.

Vid mätningar av signalens frekvensdomän kan information om dominerande frekvenser erhållas.



FIGUR 1 UPPMÄTT VIBRATIONSHÄNDELSE I FREKVENSDOMÄN. RELATIONEN MILLIVOLT – M/S<sup>2</sup> BEROR PÅ GIVARENS KÄNSLIGHET

## 2 DEFINITIONER AV BEGREPP

### *Amplitud*

Amplitud [A] utgör hos en sinusformad signal (ex. uppmätt vibration eller vägojämnhetsprofil) den maximala avvikelser från medelnivån. Amplituden är därmed halva topp-till-topp värdet.  $s = A \cdot \sin(kx - \omega t)$ .

### *Effektivvärde (Eng.: Root mean square, RMS)*

Storhetens kvadratiska medelvärde under studerad tidsperiod. Ofta över en sekund [slow] för Effektivvärdet av accelerationen är ofta det mest relevanta sättet att kvantifiera styrkan hos vibrationen, eftersom det är proportionellt mot dess energiinnehåll.

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} a(t)^2 dt}{t_2 - t_1}}$$

FORMEL 1      EFFEKTIVVÄRDE FÖR ACCELERATION

### *Komfortvägt värde*

**Effektivvärde** som har filtrerats för att motsvara människans upplevelse av vibrationer i underlaget. Benäms  $v_w$  för vibrationshastighet.

### *Egenfrekvens*

Den mest fundamentala egenskapen hos ett vibrerande system. E. utgör den svängningsfrekvens som systemet får när det efter en störning lämnas opåverkat. Varje verkligt system har flera egenfrekvenser och till varje sådan hör ett givet rörelsemönster. Om ett system påverkas av en störande (pådrivande) kraft vars frekvens överensstämmer med en egenfrekvens uppstår **resonans**, varvid vibrationerna blir stora.

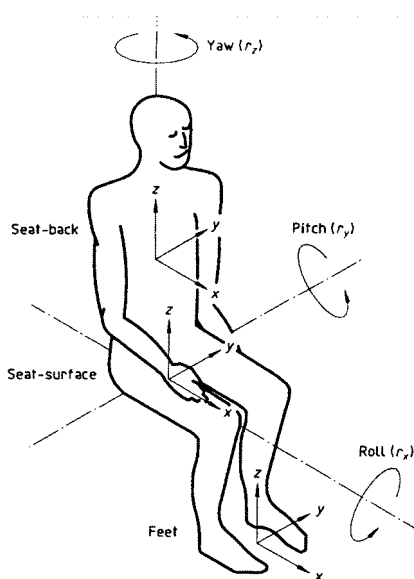


## Gränsvärde

Värde som anger högsta tillåtna gränsen för besvärande eller skadlig påverkan (jfr riktvärde, vilket anger den högsta acceptabla exponering som tillåts utan skyldighet att vidta åtgärd).

## Helkroppsvibration

Vibration som överförs till kroppen som helhet. Vägtrafikanter exponeras för såväl translationsrörelser som rotationsrörelser. I de flesta fall vid sittande ställning överförs de mest betydande helkroppsvibrationerna via durk, sits och ryggstöd. Beroende på om personen sitter, står eller ligger ned är de olika känsliga för vibrationer i underlaget. För att få ett ensiffravärde som är kopplad till vibrationerna **komfortvägs** vibrationerna beroende på kroppställning och vibrationens riktning.



FIGUR 2 BASICENTRISKA AXLAR FÖR MÄNNISKOKROPP I SITTANDE STÄLLNING

## Kriterium

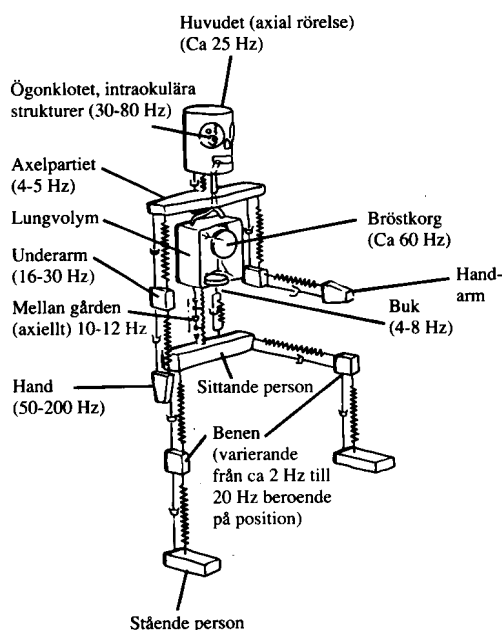
Ett kriterium är en verbal beskrivning av den effekt, exempelvis obehag, minskad prestationsförmåga eller ohälsa, som är av intresse. Gränser (gränsvärden, riktvärden etc.) sätts för att säkerställa en acceptabelt låg sannolikhet för den effekt som kriteriet definierar. Kriterier förklarar alltså orsakerna till de olika gränserna.

## Newtons andra lag

Accelerationen hos en partikel är proportionell mot den kraft som verkar på partikeln och sker i kraftens riktning. Newtons andra lag skrivs vid dynamisk analys normalt som  $F = m \cdot a$ .

## Resonans

Allmänt fenomen hos vibrerande system som innebär att även en svag periodisk yttre störning (pådrivande kraft) inom ett snävt frekvensområde kan leda till att systemets svängningsamplitud, accelerationer och energiinnehåll ökar kraftigt. Ökningen beror av frekvensen och blir maximal då frekvensen är nära lika med det odämpade systemets **egenfrekvens**. Vid resonans kan stora energibelopp överföras av den pådrivande kraften till det vibrerande systemet, varvid skador eller driftstörningar ofta uppstår. Fenomenet har stor teknisk betydelse bl.a. ur säkerhetssynpunkt. Amplituder vid resonans påverkas av systemets **dämpning**. Odämpat system kan få mycket höga amplituder / vibrationshastigheter. Förstärkningsfaktorn brukar anges som Q och kan vara så stor som  $Q = 10$  vid måttligt dämpade strukturer.



**Figur 3** *Mekanisk modell av människokropp med angivna resonansfrekvenser för olika kroppsdelar.*

Vid resonans ökar belastningen på t.ex. kotor, leder och diskar kraftigt. Resonansfrekvenserna i figuren avser vibrationer i kroppsdelarnas (ex.vis ryggradens) axiella riktning. Förhållandena blir helt annorlunda för vibrationer riktade i tvärlid. Det beror inte minst på att skelettet har en bärande funktion i axiell riktning. Horisontellt riktade vibrationer upplevs av många som mest besvärande, trots att amplituden oftast är betydligt högre i vertikal riktning.

### *Riktvärde*

Riktvärdet anger den högsta exponering som tillåts utan direkt skyldighet att vidta åtgärd (jfr gränsvärde, vars överskridande medför straff). Normalt finns en strävan att klara riktvärde.

### *Rörelsesjuka*

Vibrationsinducerad fysiologisk reaktion hos människan, varvid det centrala nervsystemet inte förmår att samordna informationer från synen, örts balansorgan samt led- och muskelsinnet. Reaktionen kan medföra trötthet och nedsatt prestationsförmåga. Symptomen omfattar ökad salivavsöndring, svettningar, nedstämdhet, apati, blekhet, illamående, yrsel och kräkningar. Rörelsesjuka inträffar sällan vid vibrationer med högre frekvenser än 0,5 Hz. När reaktionen inträffar under bilfärd används vanligtvis benämningen **åksjuka**.

### *Stress*

De fysiologisk-hormonella anpassningsreaktioner i kroppens organsystem som utlöses av fysiska och mentala påfrestningar, "stressorer". I hotfulla eller ansträngande situationer ökar insekretionen av adrenalin. Adrenalinet verkar så att puls, blodtryck och blodflödet till skelettmuskulaturen ökar, medan blodflödet till övriga organ minskar. Vidare stimuleras andningen, luftrören vidgas och halterna av socker och fettsyror i blodet ökas. Vid oförmåga att påverka den egna situationen ökar även kortisolnivån starkt. Kortisolet ökar glukosmängden i blodet, liksom fett- och proteinomsättningen. Dessa och ca 1400 andra stressreaktioner medför under alltför långvariga eller krävande belastningar att kroppen, under sina anpassningssträvanden, är i stånd att förstöra sig själv.

### *Toppvärde (Eng.: Peak value)*

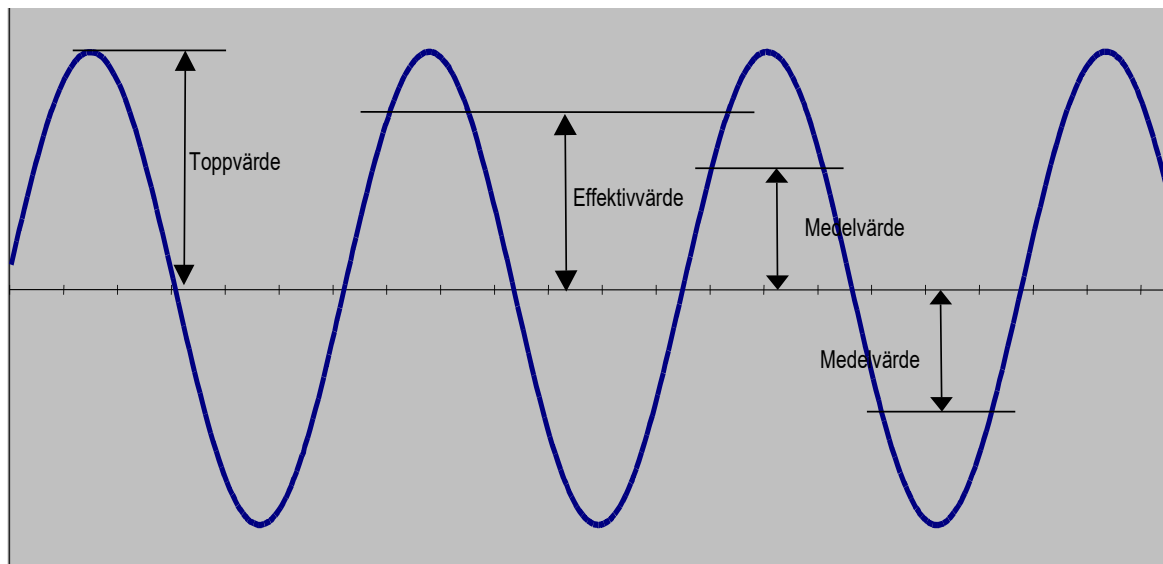
Den maximala avvikelser från medelvärdet av en storhet under ett givet intervall. . Toppvärdet används speciellt vid mätning av kortvariga förlopp - stötar. Bör inte blandas ihop med **komfortvägt värde** som normalt är lägre.

## Vibration

Svängningsrörelse i mekaniskt system, där också mänskliga kroppsdelar och organ kan ingå ). Svängningar styrs av olika typer av krafter: masskrafter, återförande krafter, dämpande krafter och störande (pådrivande, exciterande) krafter.

Vibration kan mätas i storheterna förskjutning, hastighet eller acceleration. För storheten acceleration används måttenheten  $[m/s^2]$ . Mätresultaten brukar presenteras som toppvärde eller effektivvärde.

FIGUR 4 TOPPVÄRDE, EFFEKTIVVÄRDE OCH MEDELVÄRDE HOS VIBRATION



## Vibrationsdosvärde (Eng.: *Vibration dose value, VDV*)

Ett kumulativt mått på de vibrationer och stötar som en person utsatts för under mätperioden.

$$VDV = \sqrt[4]{\int_{t_1}^{t_2} a_w(t)^4 dt}$$

FORMEL 2 VIBRATIONSDOSVÄRDE AV ACCELERATION

För att två människor ska utsättas för likvärdiga vibrationsdoser, men under olika exponeringstid, kan alltså inte personen med längre exponeringstid utsättas för lika hög vibrationsnivå som personen med kortare exponeringstid.

## Vägojämnhet

Beteckning för avvikelser hos en vägyta jämfört med ett verkligt plan, vilka påverkar fordonsrörelser, färdupplevelse, dynamiska laster, avvattning och vinterväghållning.

## 1 INVENTERING OJÄMNHETER VÄGBANA

Farthinder i form av vägbulor/gupp kan ge kännbara vibrationer på långa avstånd. Beroende på utformning. Det finns möjligheter att ändra formen på guppet eller placera den på en mer utsträckt platta. Genom att utforma farthindret som en avsmalning eller sidoförskjutning (Vägverket, 1999) kan risk för förhöjda vibrationshastigheter till omgivningen reduceras.

Brunnar som placeras i körbanan och inte är jämna med vägbanan kan också ge upphov till höga vibrationer inom omkringliggande hus. Undvik placering av brunnar där fordonens hjul löper och säkerställ att sättningar undviks.



FIGUR 1 EXEMPEL PÅ SKADOR OCH OJÄMNHETER SOM KAN GE HÖGA VIBRATIONSHASTIGHETER I OMGIVNINGEN (EJ FRÅN LINDHOLMSALLÉN)

Upphöjningar tvärs Lindholmsallén är idag relativt låga och utsträckta. Den ”effektiva” höjden, som om det vore en kant, ur vibrationssynpunkt bedöms som 25 mm utifrån mätningar utförda på platsen.

Även med de relativt låga farthinder som finns på platsen finns mätningar att vibrationshastigheter i mark blir kännbara. Se till exempel Vibrationsutredning Pumpgatan.



## 2 UPPHÖJNINGAR



FIGUR 2 PLANETGATAN



FIGUR 3 PUMPGATAN



FIGUR 4 REGNBÅGSGATAN



FIGUR 5 ESAB – HUVUDENTRÉ





FIGUR 6 FARTHINDER SYD-VÄST OM GÖTAVERKSGATAN



FIGUR 7 HÅLLPLATS LINDHOLMEN ÖST



*FIGUR 8 HÅLLPLATS LINDHOLMEN VÄST*