N300 Stadsbyggnadsförvaltningen

DP Brunnsbo

Vibrations- och stomljudsutredning

Uppdragsnr.: 108 83 54 Revision: 1 Datum: 2024-03-06



Norconsult

Uppdragsgivare:	N300 Stadsbyggnadsförvaltningen
Uppdragsgivarens kontaktperson:	Linus Sandberg
Konsult:	Norconsult Sverige AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg
Uppdragsledare:	Andreas Sigfridsson
Teknikansvarig:	Andreas Sigfridsson
Handläggare:	Marco Persson

Revision	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt
1	2024-03-06	Vibrationsutredning	Marco Persson / Andreas Sigfridsson	Anton Hermansson	Andreas Sigfridsson

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

Sammanfattning

Inför ny detaljplan för bostäder och förskola i Brunnsbo inom stadsdelen Backa har Norconsult AB, Avdelning Akustik, fått i uppdrag att utreda risk för komfortstörande markvibrationer med avseende på Bohusbanan, ny spårväg och tung trafik inom planområdet.

Bohusbanan

Uppmätta vibrationsnivåer för MP2 och MP3 är generellt något höga och för de kraftigaste registreringarna uppgår komfortnivåer i mark till cirka 0,4 – 0,5 mm/s vägd RMS, vilket alltså överskrider riktvärdet enligt svensk standard. Maximalt uppgick komfortnivåer i mark för vertikal riktning till 0,53 mm/s vägd RMS för MP3. De kraftigaste registreringar erhålls från tågpassager och maximal energi erhålls vid cirka 5-8 Hz i denna mätpunkt men finns också registreringar som ger höga vibrationsnivåer i frekvenser omkring 12 Hz.

Genom responsspektraberäkningar erhålls ett ”värsta fall” för när störfrekvens från spårtrafik sammanfaller med lägsta egenfrekvens i bjälklag. Resultaten från beräkningar visar alltså på om risk för komfortstörningar på bjälklag i planerade byggnader kan erhållas inom delar av området på ett avstånd upp till 170 meter från spår. I samtliga beräkningar för framtida nya byggnader har en pålad grundläggning förutsatts.

Risken avser framför allt de byggnader närmast spår numrerade 1-7, då med betoning på byggnader 1,2 och 4. Då riktvärden framför allt avser bostäder och vissa av byggnader utgörs av parkeringshus / kontor kan dessa hanteras separat.

Även huskropp 3 (bostäder) som i responsspektraberäkning erhåller maximala nivåer på 0,6 mm/s vägd RMS innebär viss risk men denna bedöms kunna hanteras genom att det endast är ett fåtal registeringar under mätningens 7 dygn samt att beräknade vibrationsnivåer avser ett ”värsta fall” då egenfrekvens i bjälklag sammanfaller med störfrekvens från spårtrafik. Byggnad bör beaktas extra varsamt vid en projektering för att säkerställa att riktvärden för komfortnivåer efterlevs.

För horisontell riktning är nivåerna något lägre men fortsatt beräknas risk om inte val av relevant grundläggning och byggnadsstomme beaktas, framför allt är det vid MP3 och huskropp 4 som störst risk föreligger.

Spårvägstrafik

För planerad spårväg bedöms risk för vibrationsstörningar till befintliga fastigheter som liten. Normalt är det passager av tung trafik i eller över spår som kan medföra den kraftigaste vibrationsalstringen. Mätningar från MP1 med korsande trafik har beaktats i dessa beräkningar och resultaten visar på mycket liten risk vid avstånd större än 38 meter från spår (förutsatt grundläggning genom platta på mark) vilket gäller de befintliga fastigheterna inom detta planområde.

För planerade framtida byggnader är avstånden betydligt mindre men genom att förutsätta att dessa nya byggnader kommer att ha en pålad grundläggning (övergångsfaktor 0,3–0,4 från mark till byggnad) så reduceras riskavstånd till cirka 10–15 meter från spårväg. Närmaste byggnad som planeras är alltså precis utanför detta riskområde men kräver alltså åtgärder i form av en pålad grundläggning för att dessa byggnader ska innehålla riktvärden.

För överfarter över spår är det viktigt att minimera ojämnheter i den mån det är möjligt för att därmed också minimera vibrationsalstring till omgivningen.

Fordonstrafik

Idag är Litteraturgatan skyltad till 50 km/h vilket har förutsatts även för den nya vägen. För normal biltrafik föreligger ingen risk och resultat enligt **Bilaga 2** visar att vibrationsnivåer från bil uppgår till cirka 1/10 av vibrationsnivåer från lastbil (tung trafik).

För tung trafik längs Litteraturgatan bedöms mycket liten risk för komfortstörningar föreligga för beftinliga byggnader. Dock skulle beräkningsmässigt en ojämnhet på 10 mm medföra risk för de byggnader med grundläggning genom platta på mark.

För nya planerade byggnader med betydligt kortare avstånd till väg finns risk att beakta beroende på storlek på ojämnhet, hastighet som fordon framförs med samt utformning av byggnad. Samtliga nya byggnader har förutsatts inneha pålad grundläggning.

Beräkningar som avser slät väg och ojämnhet i ena hjulspår på max 5 mm så efterlevs riktvärden för samtliga nya byggnader, detta bör alltså bedömas som ett normalfall för en jämn väg. I redovisade resultat har även en ojämnhet på 10 mm använts för att visa på känsligheten vid korta avstånd till väg. Beräkningar för en tung pålad byggnad med övergångfaktor 0,3 från mark till byggnad visar då att riskavstånd från väg uppgår till cirka 10 meter. Ytterligare känslighetstest visar att en övergångsfaktor på 0,4 från mark till byggnad ökar detta riskområde till 18 meter. Vilket då får en påverkan med avseende risk för komfortstörningar för majoriteten av de nya byggnaderna inom planområdet.

För ny väg är det alltså av stor vikt att beakta ojämnheter som kan uppstå från brunnslock eller dagvattenbrunnar som är förlagda i hjulspår.

För trafikövergångar dvs där fordonstrafik passerar över spår där större ojämnheter kan förekomma är dock hastigheten normalt betydligt lägre än 50 km/h. Detta gäller även farthinder men om sådana planeras inom området är det viktigt att beakta avstånd till befintliga eller framtida byggnader och dess respektive grundläggning.

För lättare byggnader utan pålad grundläggning så blir riskområdet betydligt större och skulle beräkningsmässigt uppgå till 18 meter vid 5 mm ojämnhet och motsvarande cirka 60 meter vid en ojämnhet på 10 mm. Det är dock ovanligt med vibrationsstörningar i byggnader på avstånd större än 30 meter.

Stomljud

Mätningar av markvibrationer på berg från järnvägstrafik har utförts och mätförfarande redovisas i **Bilaga 2**. Utifrån mätresultaten har resulterande stomljudsnivåer inomhus beräknats och visar att viss risk föreligger för om ny byggnad skulle placeras på berg vid aktuell mätpunkt. Resultaten utgår från att byggnadsstomme placeras direkt på berg, termisk isolering eller jordlager mellan berg och byggnad bedöms reducera dessa beräknade stomljudsnivåer.

Då jorddjupen ökar österut från aktuell mätpunkt, bedöms stomljudsnivåer i byggnader reduceras ytterligare. Vår bedömning är alltså att mycket liten risk för stomljud från Bohusbanan inom området föreligger då samtliga nya byggnader närmast spår innefattar stora jorddjup.

För ny spårväg är sträckning enligt SGU´s jorddjupskarta förlagd där jorddjup uppgår till minst 10 meter. Undantaget är vändslinga längst i norr (5-10 meter) men där är hastigheter också betydligt lägre.

Skulle det visar sig under senare skeden att jorddjupen är mindre och att spårväg förläggs på berg kan detta behöva studeras närmare. Det finns dock åtgärder att förlägga under spår som reducerar stomljud till angränsande byggnader om det är aktuellt.

Innehåll

1 Uppdrag och bakgrund 5

2 Riktvärden 6

2.1 Komfortvibrationer 6

2.2 Stomljud 7

3 Förutsättningar 8

3.1 Befintlig bebyggelse 8

3.2 Ny bebyggelse 10

3.3 Trafik 11

4 Genomförande och metodik 12

4.1 Övergripande 12

4.2 Komfortmätningar 13

4.3 Korrigeringar från störkälla till byggnad 14

4.4 Stomljudsmätningar 15

5 Geotekniska förutsättningar 16

5.1 Grundläggningsförhållanden – befintlig och planerad bebyggelse 18

6 Resultat - Mätning av trafikinducerade markvibrationer 22

6.1 Komfortvibrationer 22

6.2 Responsspektraberäkningar 25

6.3 Temporärt farthinder 29

6.4 Stomljud 31

7 Teoretiska beräkningar och metod för framtagning av möjlig områdespåverkan 32

7.1 Beräkningsmodell – Transport and Road Research Laboratory 32

7.2 Anpassning av teoretiska beräkningar för fordonstrafik - bjälklag 33

8 Markvibrationer från spårväg 34

8.1 Mätningar MP1 34

8.2 Beräkningar komfortvibrationer på bjälklag 34

9 Sammanställning av resultat 35

9.1 Befintliga byggnader 35

9.2 Planerade byggnader 37

10 Kommentarer till resultat 39

10.1 Bohusbanan 39

10.2 Spårväg 40

10.3 Fordonstrafik 40

10.4 Riskområde och Principiella åtgärder - Bohusbanan 41

Bilaga 1 – *437-23479.M1 ink bilagor*

Bilaga 2 – *1088354_Mätrapport_stomljudsmätning*

1 Uppdrag och bakgrund

Inför ny detaljplan för bostäder och förskola i Brunnsbo inom stadsdelen Backa har Norconsult AB, Avdelning Akustik, fått i uppdrag att utreda risk för komfortstörande markvibrationer inom planområdet.

Utförda mätningar och beräkningar analyseras och förväntade vibrationsnivåer beräknas för befintliga och planerade byggnader som utmynnar i en riskanalys för planområdet, vilket presenteras i **Figur 1.1**.



Figur 1.1 Aktuellt planområde.

2 Riktvärden

2.1 Komfortvibrationer

Generella krav för störande vibrationer existerar inte i Sverige, men för att bedöma risk för störning används vanligtvis riktvärden för s.k. **komfortvägd vibrationsnivå**, även kallat **komfortvibrationer** eller **komfortvärde**. Detta mått är anpassat efter hur människokroppen reagerar på vibrationer och definieras enligt nedan.

2.1.1 Svensk standard

2.1.1.1 Frekvensvägning

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

2.1.1.2 Störning

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

Enligt dokumentet SS 460 48 61 utgör komfortvärdet 1,0 mm/s gränsen för sannolik störning. Över denna gräns är vibrationerna kännbara och upplevs av många som störande.

Dessa riktvärden kan enligt standarden tillämpas mindre strikt för kontor än för bostäder. Riktvärdena bör tillämpas mer strikt för bostäder nattetid.

2.1.2 Trafikverkets riktlinjer

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

2.1.3 Trafikkontorets riktlinjer (Göteborgs Stad)

Trafikkontorets riktlinjer (TH 2023:1 – 2023-01-03) för vibrationer utgår de från samma riktvärden som Trafikverket tillämpar vid nybyggnation. Men med tanke på de lokala förutsättningarna med relativt mycket lera kan ett spann behövas till dagens planeringsnivå. 0,4 mm/s vägd RMS eftersträvas om det kan ske med små kostnader. 0,4 – 0,6 mm/s vägd RMS bör uppnås om det kan ske med rimliga kostnader.

För att åtgärder i befintlig miljö ska bli aktuella ska nivån uppgå till minst 1,0 mm/s vägd RMS.

2.2 Stomljud

Sverige saknar nationella krav avseende stomljudsnivåer från trafik. Trafikverket har dock tagit fram riktvärden för buller och vibrationer från väg- och spårtrafik som de anser motsvara god eller i vissa fall godtagbar miljö. Dessa presenteras i TDOK 2014:1021 ”*Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg*” Riktvärdena är framtagna för att utreda om behov av skyddsåtgärder mot höga buller eller vibrationsnivåer finns för aktuellt projekt.

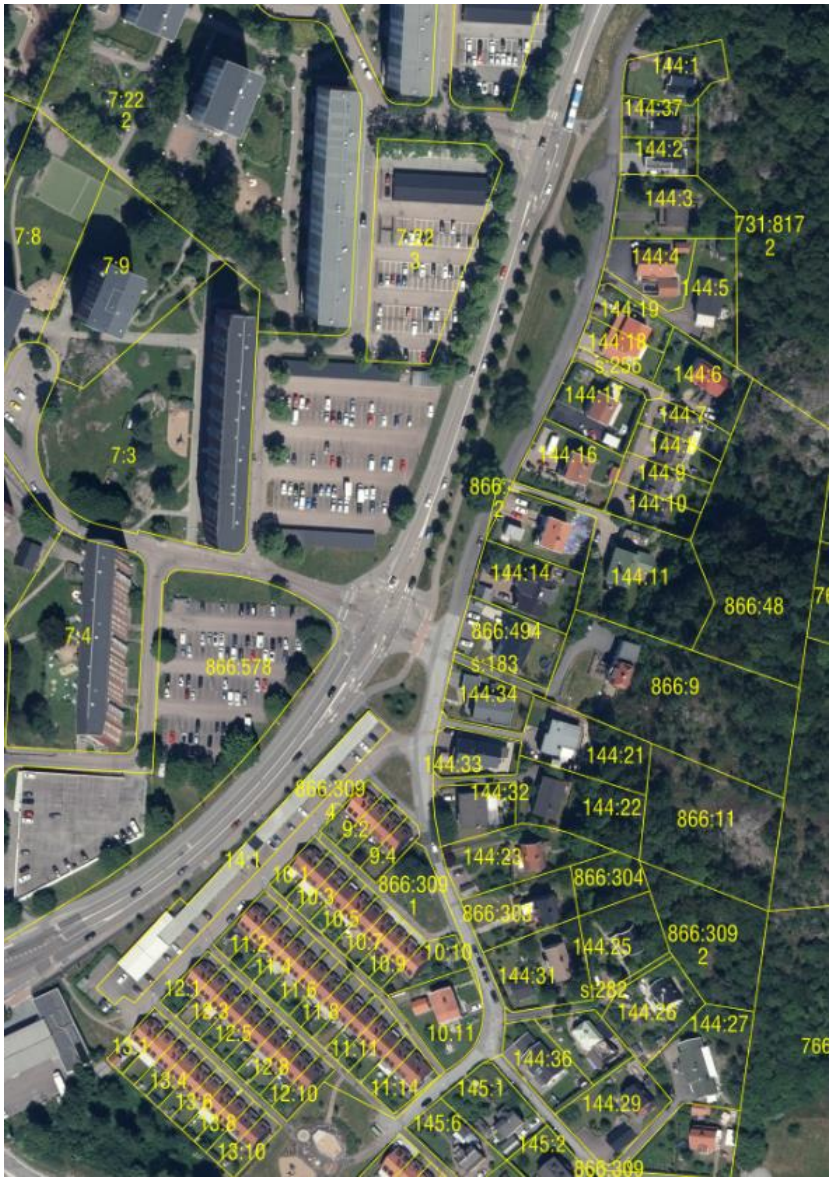
För stomljud är riktvärdet att maximal ljudnivå inte ska överstiga **32 dBA (FAST)** där FAST avser tidsvägning över 0,125 sekunder. Riktvärdet avser trafikårsmedelnatt (22-06) och innebär att ljudnivån får överskrida riktvärdet fem gånger per natt, medelvärdesbildat enligt mätmetod NT ACOU 098. Vidare preciseras att riktvärdet tillämpas vid nybyggnad av infrastruktur.

3 Förutsättningar

3.1 Befintlig bebyggelse

Öster om Litteraturgatan återfinns befintliga bostäder som har utretts i denna rapport med avseende på markvibrationer, dessa redovisas i **Figur 3.1**.

Väster om Litteraturgatan återfinns befintliga bostäder som har utretts i denna rapport med avseende på markvibrationer, dessa redovisas i **Figur 3.2**.



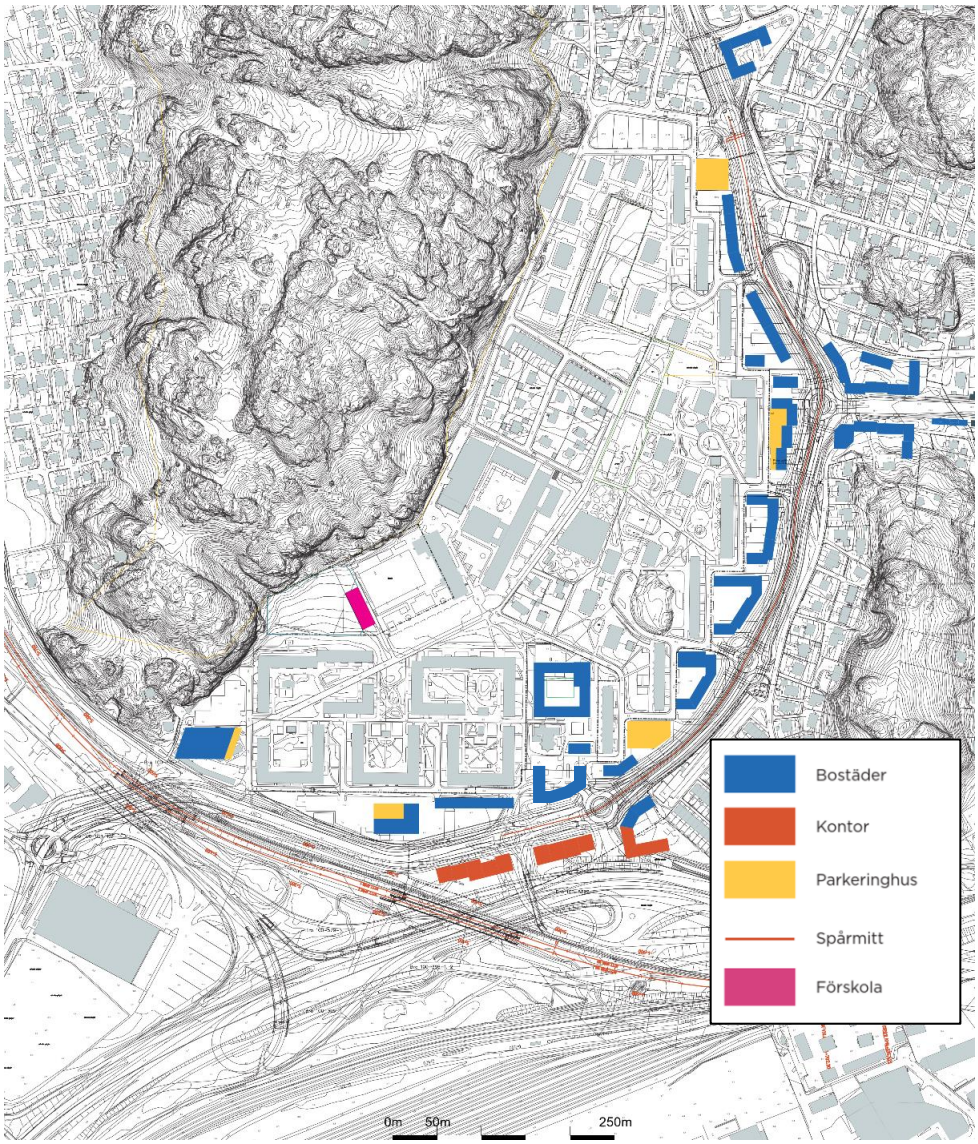
Figur 3.1. Fastighetskarta över befintliga byggnader öster om Litteraturgatan. Kartbild hämtad från Lantmäteriet, 2023.



Figur 3.2. Fastighetskarta över befintliga byggnader väster om Litteraturgatan. Kartbild hämtad från Lantmäteriet, 2023.

3.2 Ny bebyggelse

Aktuellt planområde presenteras i **Figur 1.1** och nedan i **Figur 3.3** presenteras en kartvy med föreslagen ny bebyggelse.

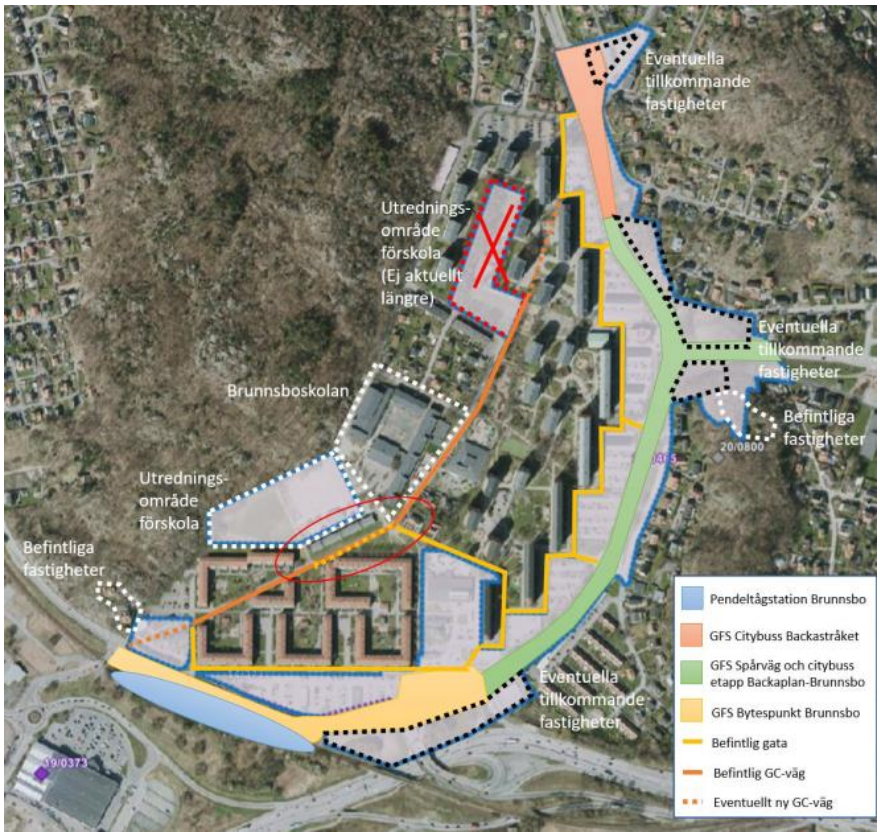


Figur 3.3. Detaljplaneområde som denna utredning avser. Planerad bebyggelse är färgmarkerad enligt legend.

3.3 Trafik

Inom eller i närheten av planområdet finns ett antal pågående trafikprojekt, vilka presenteras i **Figur 3.4**. Arbetsmaterial från den pågående genomförandestudien (spårväg och citybuss Balladgatan – Brunnsbo) presenteras i **Figur 3.5**.

Utöver dessa finns idag fordonstrafik längs Litteraturgatan samt tågtrafik på Bohusbanan. Nytt dubbelspår planeras söder om befintligt spår, i denna utredning har endast befintligt spår beaktas då avstånd till nytt spår sedan ökar med cirka 9 meter. Dvs befintligt läge på spår medför kortast avstånd och därmed maximalt förväntade vibrationsnivåer till planområdet.



Figur 3.4. Pågående trafikprojekt inom/i närheten av planområdet.



Figur 3.5 Arbetsmaterial från den pågående genomförandestudien (spårväg och citybuss Balladgatan-Brunnsbo)

4 Genomförande och metodik

4.1 Övergripande

4.1.1 Komfortvibrationer

För att utreda risk för komfortstörande vibrationer till befintliga och planerade byggnader utförs följande delmoment i denna utredning:

- **Inventering geotekniska förutsättningar**
  Genomgång av gamla handlingar för befintliga byggnader avseende grundläggning, jorddjup, avstånd till planerade trafikleder.

- **Framtagande av vibrationsdata för spårvägskälla.** För att bedöma risk för komfortstörande vibrationer har mätningar utförts inom detta uppdrag. Resultat från mätningar jämförs med tidigare mätningar av vibrationer med avseende på spårvägstrafik. Dessa mätningar ger utgångspunkten för en hypotetisk störkälla med en viss amplitud och frekvensfördelning för vibrationer motsvarande spårvagnstrafik. En s.k. baskurva för spårväg tas alltså fram som källdata, vilken sedan används vid passering av respektive fastighet för att beräkna komfortnivåer.

- **Framtagning av vibrationsdata för tung trafik**
  Mätningar utförs inom planområdet för att få fram vibrationsnivåer i mark för normal trafik under 2 dygn. Vidare utförs test med lastbil som passerar ett temporärt farthinder för att simulera ett mer ”värsta fall” av ojämnhet som kan orsakar spridning av markvibrationer till omgivningen. Utöver mätningar används en teoretisk beräkningsmodell för prediktering av markvibrationer från tung fordonstrafik.

- **Mätningar av markvibrationer med avseende på Bohusbanan.** Mätningar i mark (3 riktningar) utförs för spårtrafik under 7 dygn enligt Trafikverkets riktlinjer (TDOK 2014:1021).

- **Beräkningar av respons i byggnader.** För vibrationsnivåer i mark gäller normalt sett att dessa reduceras vid överföring till byggnadens sockel. Detta är beroende av vilken typ av grundläggning som aktuell byggnad innehar. För angränsande fastigheter inom området kommer alltså vibrationsnivåerna att vara starkt beroende av de olika byggnadernas egenskaper. Då dessutom egenfrekvenser i stomme och grundläggning potentiellt kan förstärka vibrationerna inom byggnaden har förstärkningar vid dessa egenfrekvenser beaktats.

- **Riskutvärdering avs. vibrationer.** Beräknade vibrationsnivåer jämförs därefter med gällande riktvärden enligt SS 460 48 61, och utmynnar i en riskanalys för de närmast belägna byggnaderna längs den aktuella spårvägssträckningen.

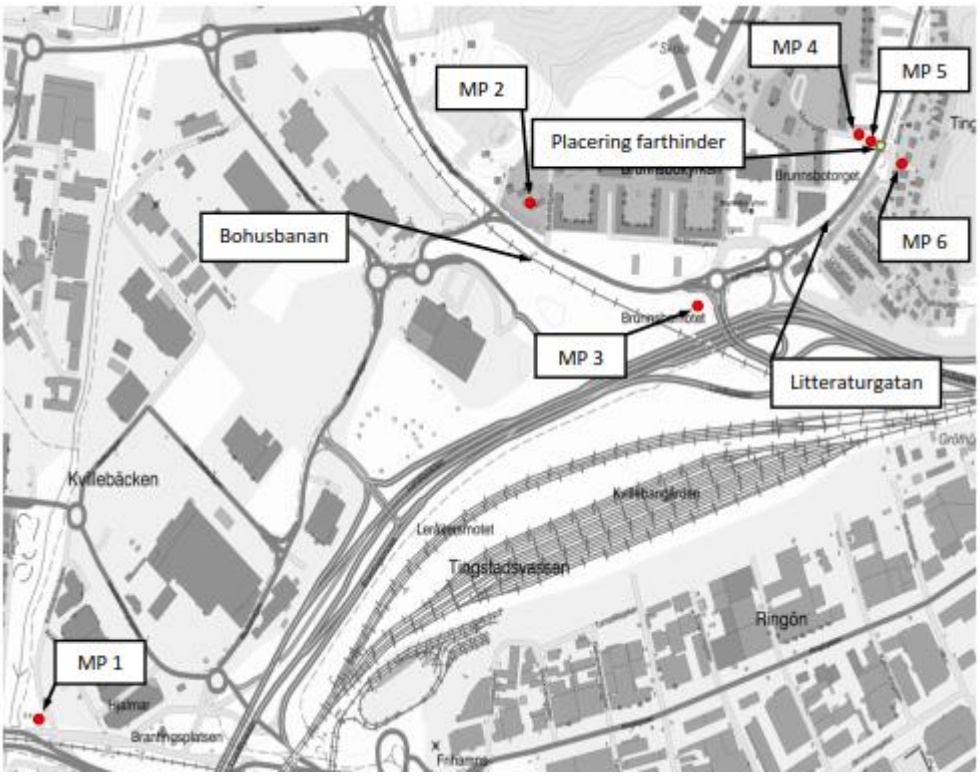
4.1.2 Stomljud

För att utreda risk för stomljud inom planområdet har en bedömning över det geotekniska förutsättningar genomförts. Då ny spårväg förläggs i områden som utförs av lera och större jorddjup bedöms mycket liten risk för stomljud kunna erhållas. I stället har ett stickprov med avseende trafik på Bohusbanan utförts för att bedöma risk för stomljud. Uppmätta vibrationsnivåer på berg omräknas till en förväntad stomljudsnivå i byggnader och jämförs med riktvärden enligt TDOK 2014:1021 ”*Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg*”.

4.2 Komfortmätningar

Mätningen utfördes i 3 riktningar för de tre första mätpunkterna som presenteras i **Figur 4.1** (MP1, MP2 och MP3), tvärs-, vertikalt och i längsgående riktningar sett till Bohusbanan respektive spårväg. Mätpunkter är utvalda med avseende på risk för komfortstörande vibrationer i planområdet, där avsikt med MP1 är att få fram underlag för vidare beräkningar av ny spårväg inom området. Val av placering för MP1 avgörs också av förekomst av korsande fordonstrafik över spårvagnsspår. Placering av MP4-MP6 har valts med syfte att utreda vibrationer från befintlig fordonstrafik på Litteraturgatan på olika avstånd.

Mätsystemet har mätt kontinuerligt med sparad tidsdata per 10 sekunder för händelser med vibrationsnivå över viss triggernivå för MP1 samt MP4-MP6. För MP2 och MP3 har tidsdata sparats per 35 sekunder. Mätningen för MP1 – MP3 ägde rum under 7 dygn från 2023-11-15 till 2023-11-22, se **Bilaga 1** för mer information. För MP4 – MP6 ägde mätningen rum under 2 dygn från 2023-11-20 till 2023-11-22.



Figur 4.1. Placering av mätpunkter inom utredningsområdet enligt Bilaga 1. Även placering av temporärt farthinder framgår av figuren.

MP1, placerades på ett avstånd från mätpunkt till vägkant ca 16 m. Till Spårväg var avstånd ca 30 m.

MP2, placerades på ett avstånd från mätpunkt till vägkant ca 30 m. Till Bohusbanan ca 63 m.

MP3, placerades på ett avstånd från mätpunkt till vägkant ca 20 m. Till Bohusbanan ca 21 m.

MP4, placerades på ett avstånd från mätpunkt till vägkant ca 30 m.

MP5, placerades på ett avstånd från mätpunkt till vägkant ca 10 m.

MP6, placerades på ett avstånd från mätpunkt till vägkant ca 30 m.

Från mätresultaten väljs sedan de registreringar i de olika mätpunkterna som har högst amplitud, de jämförs sedan med ovan redovisade riktvärden

För byggnader inom området kommer vibrationsnivåerna att vara starkt beroende av den nya byggnadens egenskaper. För att bedöma vibrationsrisk väljs den högsta uppmätta registreringen från trafik ut och därefter beräknas en maximalt förväntad vibrationsnivå. Detta utförs genom beräkningar av responsspektra för byggnaden. Resultaten jämförs därefter med gällande riktlinjer och utmynnar i en riskanalys för de nya byggnaderna inom planerat område. Analyser har utförts i programvaran *Matlab* med hjälp av *Abravibe* samt egna skript.

4.3 Korrigeringar från störkälla till byggnad

4.3.1 Överföring av vibrationer från mark till byggnad

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

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

I denna utredning används generellt **faktorn 0,8** för övergång från mark till grund på byggnad. Denna faktor är starkt beroende av byggnadens grundläggning, tyngd etc.

För fordonstrafik (kan också ses som mer av en punktexcitering) och stora tunga byggnader har betydligt lägre övergångsfaktor från mark till byggnad uppmätts i andra uppdrag och ofta omkring 0,2 – 0,4 beroende på grundläggning etc. Dessa störningar inträffar ofta runt 8-10 Hz och är mer kortvariga, ca 2-4 sekunder.

4.3.2 Avståndskorrigering

För spårburen trafik generas vibrationer i mark och normalt är det ytvågen (R-våg) som är dominerande och dess amplitud avtar vid avståndsdubbling med:

- $\frac{1}{\sqrt{(2)}} = 0{,}71$

Vilket skulle medföra vid 4 gånger större avstånd, dvs från ca 25 meter till cirka 100 meter, skulle korrektionen uppgå till cirka 0,5.

4.3.3 Egenfrekvenser för jordlager

Då spårtrafik framförs över spårväg alstras vibrationer och skapar en excitering vid vissa frekvensområden. Om frekvenserna hos störkällan sammanfaller med en eller flera egenfrekvenser för ett jordlager så kan dessa vibrationer bli förstärkta varvid en s.k. resonans uppstår. Vid vilken frekvens som denna resonans erhålls beror av skjuvvågshastigheten i jordlager, C_s, och jordlagrets mäktighet.

$$f_n = \frac{(2n+1)C_s}{4H}$$

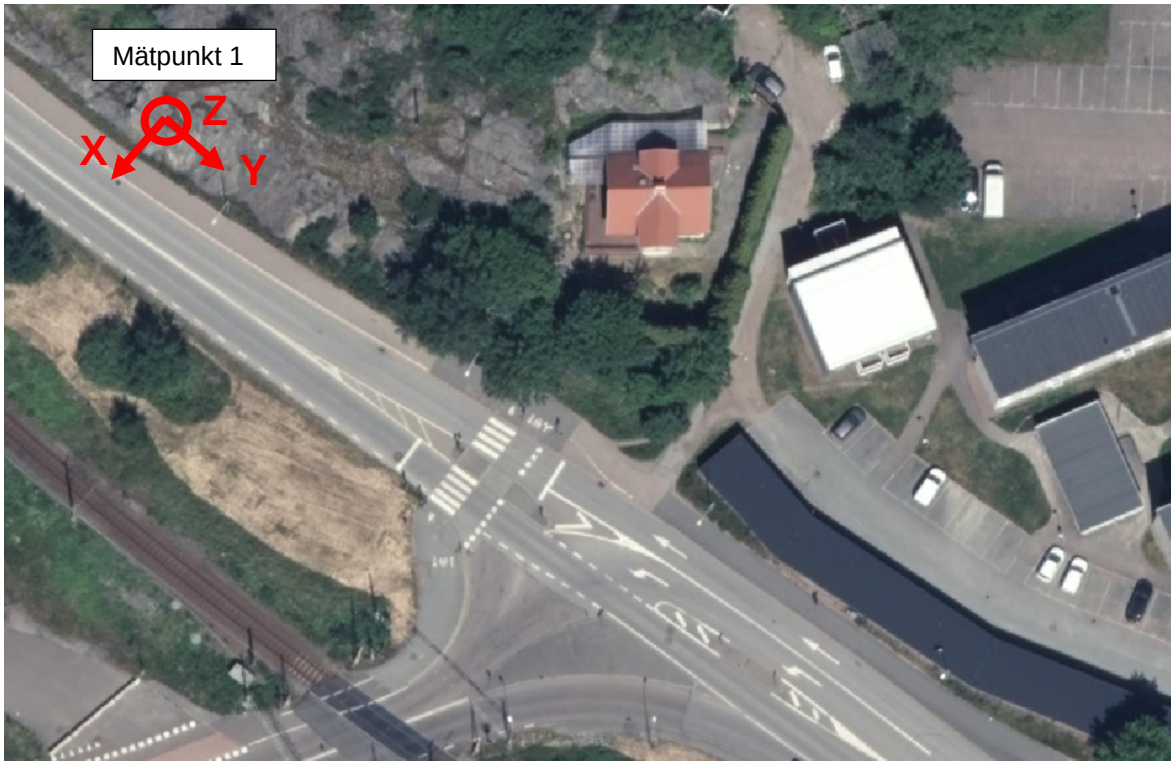
där n = 0, 1, 2, …, och H = tjocklek av jordlagrets mäktighet.

4.4 Stomljudsmätningar

Mätningar av markvibrationer på berg från järnvägstrafik har utförts och mätförfarande redovisas i **Bilaga 2**. Mätningar utfördes i 3 riktningar i en punkt, tvärs- vertikalt och längsgående Bohusbanan. Givarens position är markerad i **Figur 4.2**. Givare är monterad direkt på berg för att få fram underlag för stomljudsberäkningar till planerad bebyggelse. Mätdata loggades varje sekund i intervall av 20 minuter åt gången. Under mättillfället noterades 7 tågpassager varav ett godståg med ca 15 tankvagnar.

Från uppmätta markvibrationer från tågpassager beräknas sedan en resulterande stomljudsnivå på första våningen i ett betonghus. Denna stomljudsnivå jämförs sedan med ovan redovisade riktvärden.

Analyser har utförts i Excel och Matlab med hjälp av egna skript.



Figur 4.2. Kartbild över järnvägsövergång tvärs Västra Magårdsvägen. Mätpunkter för mätning av markvibrationer i på berg är markerad och koordinatsystem angivet. Kartbild hämtad från Lantmäteriet, 2023.

5 Geotekniska förutsättningar

Som underlag till denna utredning finns den geotekniska utredningen som: gjorts av Norconsult för detaljplanen *Detaljplan för bostäder och förskola vid Brunnsbo, Backa 866:694 m fl, Göteborg Stad*.

Från utredningen finns följande beskrivning över området (*Område C*):

Enligt jordartskartan utgörs jordlagren huvudsakligen av lera med varierande djup. Sand och berg i dagen förekommer längs med Tingstadsvägen.

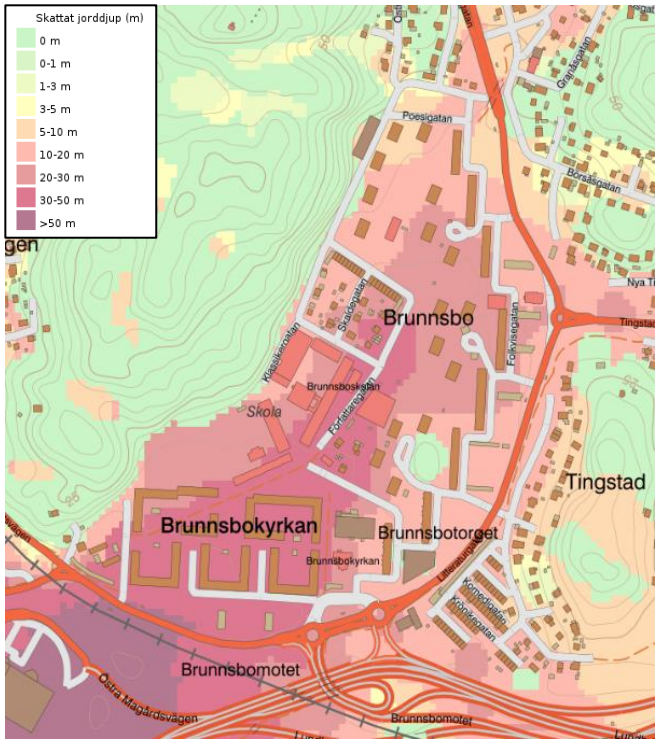
Större delen av område C utgörs av en fastare lera med varierande djup, från 0 till mer än 20 m. Lerans vattenkvot varierar mellan 30 – 60 % och konflytgräns mellan 40 – 60 %. Densiteten varierar mellan 16–18 kN/m3 och sensitiviteten är låg till mellansensitiv. Den karakteristiska skjuvhållfastheten varierar mellan 15 – 20 kPa i de övre lerlagren och ökar mot djupet med ca 1 kPa/m. Leran underlagras av friktionsjord ner till berg och skikt av sand förekommer där lerdjupen är grunda eller överlagras av sand.

Från Litteraturgatan och utmed Tingstadsvägen överlagras leran av ca 1 – 2 m sandlager. Detta sandlager återfinns utmed södra delen av Litteraturgatan från Tingstadsvägen och söderut mot Brunnsbomotet. På norra och södra sidan om Tingstadsvägen har berg i dagen observerats och djupet till fast botten varierar kraftig inom detta område, från 0 till ca 30 m.

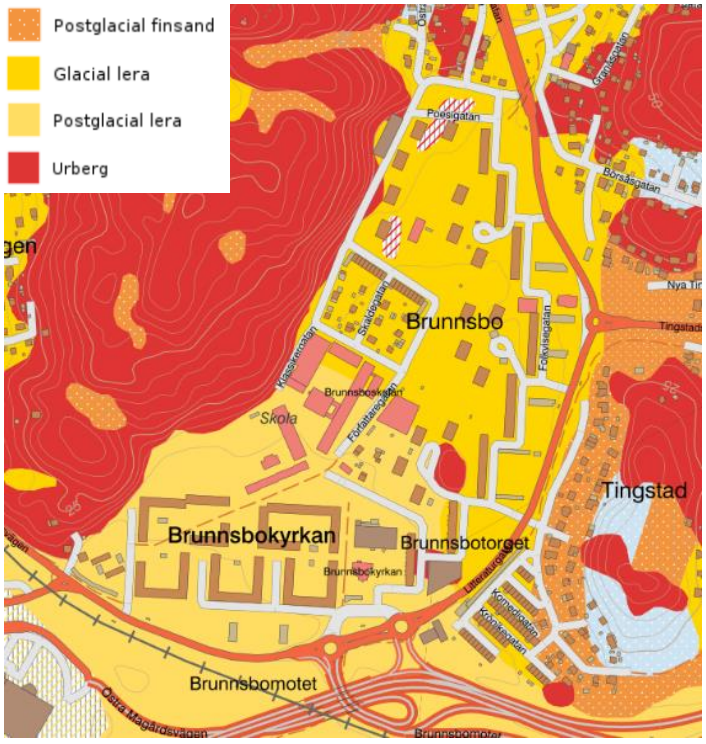
Område vid Brunnsbotorget utgörs av en lösare siltig lera med varierande djup, från 10 och upp till 50 m. Lerans vattenkvot varierar mellan 40 – 80 % och konflytgränsen mellan 40 – 60 %. Densiteten varierar mellan 15 – 17 kN/m3 och sensitiviteten är låg. Den karakteristiska skjuvhållfastheten varierar från ca 10 kPa strax under torrskorpan/fyllning och ökar med ca 1 kPa/m mot djupet.

Enligt tidigare geotekniska undersökningar pågår idag sättningar inom området på grund av uppfyllnader och konstruktionsanläggningar (tunnlar o dyl.). Tidigare utförda CRS-försök vid Brunnsbomotet visar att leran i den delen av området är normal- till svagt överkonsoliderad dvs leran är sättningskänslig vid påförd belastning.

SGU:s jordartskarta visar att de naturliga jordlagren längs sträckan till största del består av **postglacial finsand, postglacial lera** och **glacial lera**. Jorddjupen till berg längs sträckan enligt SGU:s jorddjupskarta varierar mellan 0 och 20 m för befintlig bebyggelse längs Litteraturgatans östra sida mellan Brunnsbomotet och Tingstadsvägen. I **Figur 5.1** presenteras jordartskarta och i **Figur 5.2** jorddjupskara för området enligt SGU.



Figur 5.1. Jorddjupskarta över området. Kartbild hämtad från SGU, 2023.



Figur 5.2. Jordartskarta över området. Kartbild hämtad från SGU, 2023.

5.1 Grundläggningsförhållanden – befintlig och planerad bebyggelse

Underlag från SGUs kartdatabas har använts för att uppskatta djup till berg samt jordlagerföljd för respektive fastighet.

Grundläggningsförhållanden och annan relevant information om berörda fastigheter har inventerats vid genomgång av ritningsunderlag för fastigheterna. Erhållen information visar att för fastigheterna närmast belägna den planerade nya vägen utgörs av grundläggning enligt tabeller nedan. Observera att i det fall då uppgifter om grundläggning för respektive byggnad finns, ses dessa som mer tillförlitliga avs. avstånd till fast berg jämfört med SGU:s karta över jorddjup. I beräkningar är således primärt dessa uppgifter använda framför SGU:s.

5.1.1 Förutsättningar befintliga byggnader

Grundläggningsförhållanden och annan relevant information om berörda fastigheter har inventerats vid genomgång av ritningsunderlag för fastigheterna. Denna information presenteras i **Tabell 5.1** för fastigheter norr om Litteraturgatan och **Tabell 5.2** för fastigheter söder om Litteraturgatan. Observera att i det fall då uppgifter om grundläggning för respektive byggnad finns, ses dessa som mer tillförlitliga avs. avstånd till fast berg jämfört med SGU:s karta över jorddjup. I beräkningar är således primärt dessa uppgifter använda framför SGU:s.

Tabell 5.1. Grundläggningsförhållanden för berörda fastigheter, norr och väster om Litteraturgatan.

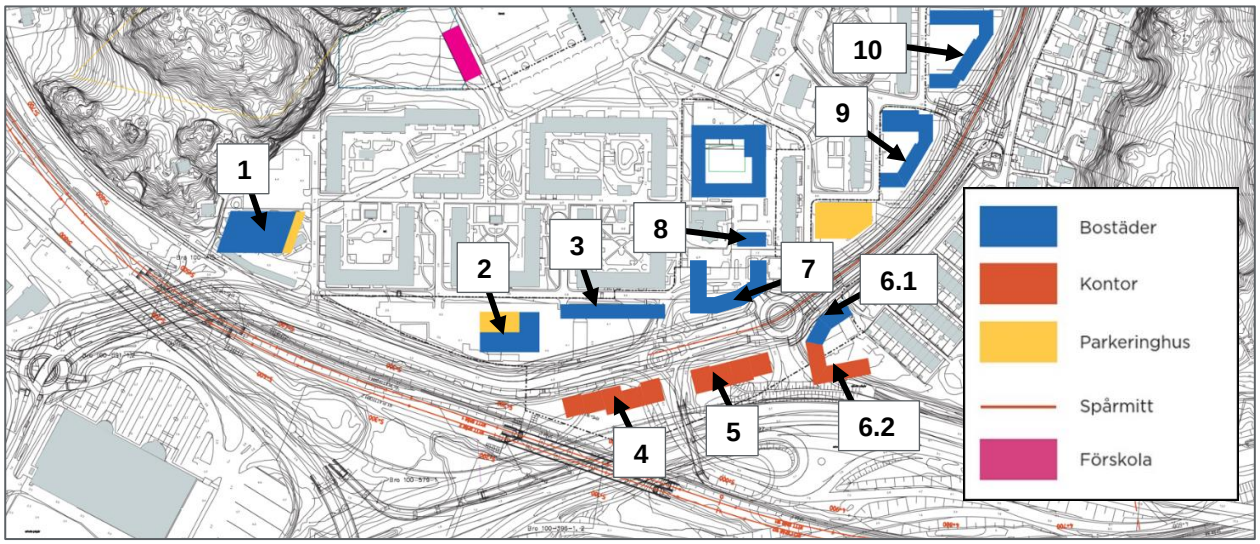
Fastighet	Beskrivning	Grundläggning enligt bygglovshandlingar	Byggår/ Bygglovs-besked	Avstånd till väg / spårmitt / Bohusbanan (m)	Jorddjup till berg enligt SGUs jorddjupskarta (m)
Backa 1:8	Bostäder	Kohesionspålar	1963	26 / 32 / 65	30–50 m
Backa 1:7	Bostäder	Kohesionspålar	1963	61 / 68 / 101	30–50 m
Backa 1:6	Bostäder	Kohesionspålar	1963	42 / 52 / 134	30–50 m
Backa 1:4	Bostäder	Betongpålar till berg	1963	34 / 42 / 224	10–20 m
Backa 7:4	Bostäder	Betongpålar till berg	1963	38 / 44 / -	10–20 m
Backa 7:3	Bostäder	Betongpålar till berg	1963	46 / 58 / -	10–20 m
Backa 7:22 Söder	Bostäder	Betongpålar till fast botten	1962	57 / 63 / -	10–30 m
Backa 7:22 Norr	Bostäder	Betongpålar till fast botten	1962	40 / 49 / -	20–30 m
Backa 7:12	Bostäder	Betongpålar till fast botten	1963	34 / 41 / -	10–30 m
Backa 7:17	Bostäder	Betongpålar till fast botten	1963	44 / 50 / -	10–30 m
Backa 7:18	Bostäder	Betongpålar till berg	1965	58 / 63 / -	10–30 m

Tabell 5.2. Grundläggningsförhållanden för berörda fastigheter öster och söder om Litteraturgatan.

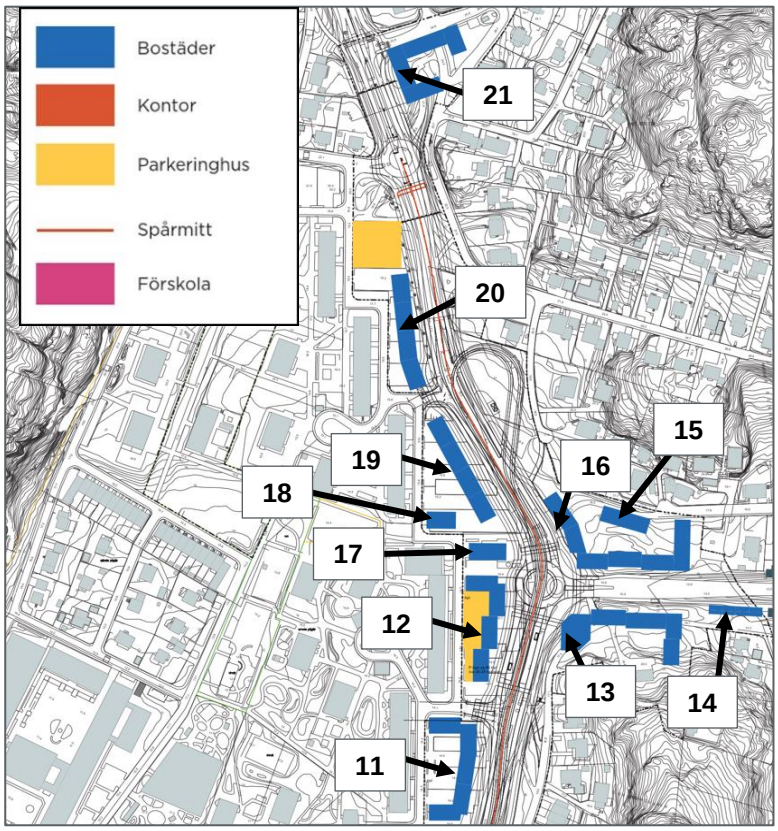
Fastighet	Beskrivning	Grundläggning enligt bygglovshandlingar	Byggår/ Bygglovs-besked	Avstånd till väg / spårmitt (m)	Jorddjup till berg enligt SGUs jorddjupskarta (m)
Backa 144:1	Bostäder	Kantförstyvad platta på mark	1986	32 / 47	10–20 m
Backa 144:37	Bostäder	Torpargrund	1985	28 / 41	10–20 m
Backa 144:2	Bostäder	Torpargrund	1985	38 / 48	10–20 m
Backa 144:3	Bostäder	Betongplatta, cementhålsten	1960	37 / 45	5–10 m
Backa 144:4	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1974	37 / 45	5–10 m
Backa 144:19	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1983	35 / 40	10–20 m
Backa 144:18	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1983	33 / 39	10–20 m
Backa 144:17	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1947	33 / 39	10–20 m
Backa 144:16	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1947	34 / 40	10–20 m
Backa 144:15	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1950	35 / 42	10–20 m
Backa 144:14	Bostäder	Murad grund av betonghålsten, betongplatta	1950	36 / 45	10–20 m
Backa 866:494	Bostäder	Källargrund	1948	36 / 52	5–10 m
Backa 144:34	Bostäder	Platta på mark	1969	35 / 53	5–10 m
Backa 144:33	Bostäder	Kantförstyvad platta på mark	1976	47 / 56	5–10 m
Backa 9:1	Bostäder	Betongpålar till berg	1964	30 / 38	10–20 m
Backa 10:1	Bostäder	Betongpålar till berg	1964	30 / 37	5–20 m
Backa 11:1	Bostäder	Betongpålar till berg	1964	32 / 38	10–20 m
Backa 12:1	Bostäder	Betongpålar till berg	1964	36 / 42	10–20 m
Backa 13:1	Bostäder	Betongpålar till berg	1964	42 / 48	10–30 m

5.1.2 Förutsättningar planerade byggnader

I **Figur 5.3** och **5.4** presenteras de planerade byggnaderna uppdelade i två områden. Byggnader som beaktas i denna utredning har numrerats i figurerna för att kunna refereras till.



Figur 5.3. Södra delen av detaljplaneområdet. Numrering av byggnader för vilka beräkningar utförts.



Figur 5.4. Norra delen av detaljplaneområdet. Numrering av byggnader för vilka beräkningar utförts.

I **Tabell 5.3** presenteras uppmätta avstånd till väg, spår- och järnväg från de planerade byggnaderna, samt djup till berg enligt SGUs jorddjupskarta. Avstånd till Bohusbanan redovisas endast för byggnader 1–7. Redovisade avstånd avser den del av byggnad med kortast avstånd till respektive trafikbana.

Tabell 5.3. Avstånd från planerad bebyggelse till väg, spår- och järnväg.

Huskropp	Avstånd till spårmitt [m]	Avstånd till väg [m]	Avstånd till Bohusbanan [m]	Djup till berg [m]
1	38	25	38	10–50
2	22	16	47	30–50
3	26	17	96	20–50
4	18	8	17	20–40
5	21	14	72	10–30
6.1	28	14	109	10–30
6.2	18	9	143	10–30
7	21	11	147	10–30
8	57	45	-	10–20
9	18	12	-	10–20
10	18	12	-	10–20
11	18	13	-	10–30
12	19	9	-	10–30
13	22	12	-	0–30
14	128	9*	-	10–30
15	48	39	-	10–20
16	16	8	-	10–30
17	22	14	-	10–30
18	44	36	-	10–30
19	18	12	-	10–20
20	18	6	-	5–10
21	18	11	-	5–10

** Avstånd till befintlig väg, Tingstadsvägen.*

6 Resultat - Mätning av trafikinducerade markvibrationer

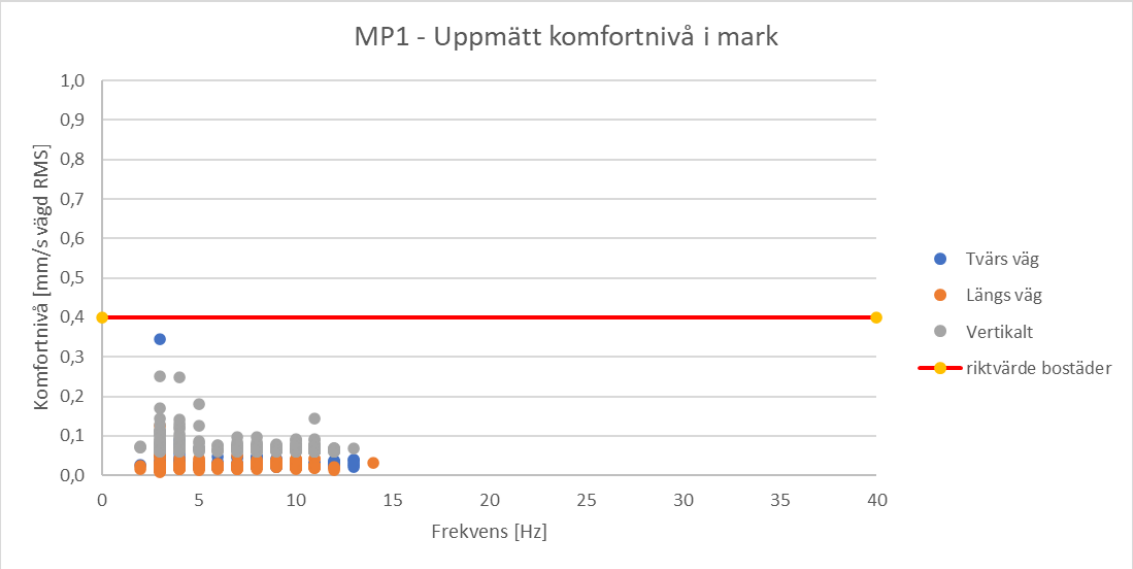
6.1 Komfortvibrationer

Från mätresultaten i **Bilaga 1** har uppmätta tidsdata importerats och analyserats, resultaten för komfortnivåer i mark beroende mätpunkt och syfte med dess placering redovisas här.

6.1.1 Mätpunkt 1

Syfte med denna mätpunkt är framför allt att plocka ut ingångsdata för framtida spårväg, placering är vald i område där tung trafik passerar över spårområdet. Uppmätta nivåer har även plockats ut över respektive tersband och redovisas i senare stycke.

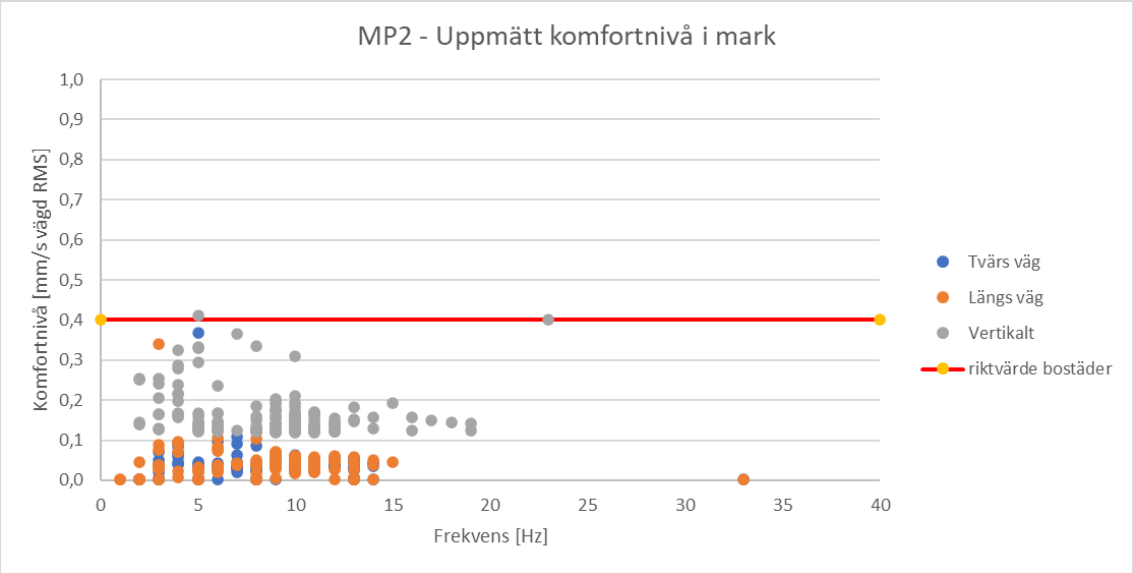
I **Figur 6.1** presenteras uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 1. Resultaten redovisas mot dominant frekvenskomponent (acceleration) för respektive registrering och har begränsats upp till 40 Hz.



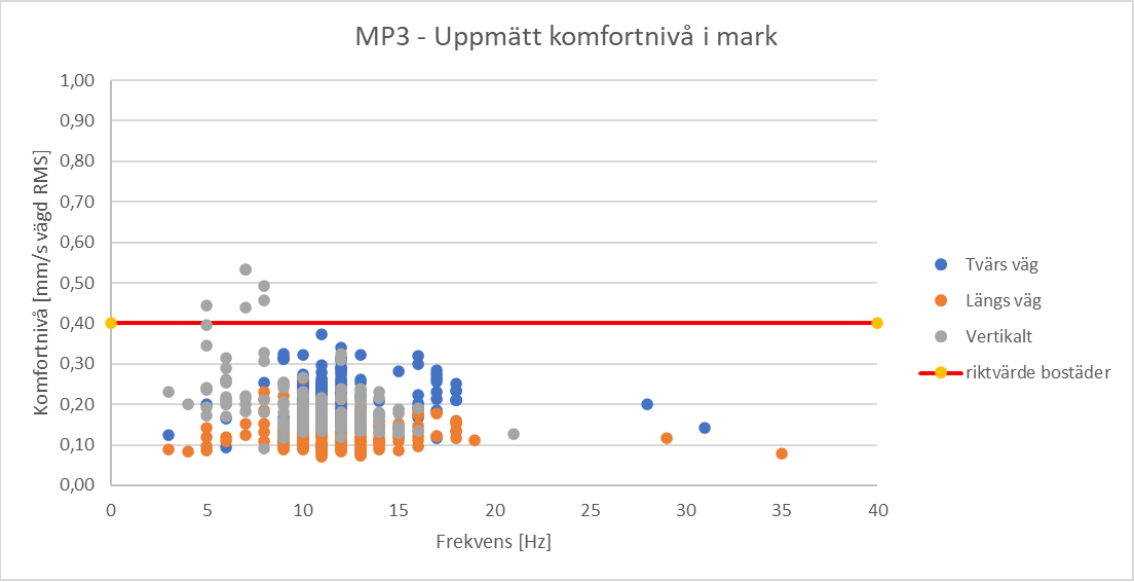
Figur 6.1. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 1.

6.1.2 Mätpunkt 2 och 3

I **Figur 6.2** och **6.3** presenteras uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 2 och 3. Resultaten redovisas mot dominant frekvenskomponent (acceleration) för respektive registrering och har begränsats upp till 40 Hz för MP2 – MP3. Syfte med dessa mätpunkter är kartläggning av omkringliggande trafik dvs både tung trafik och spårtrafik på Bohusbanan.



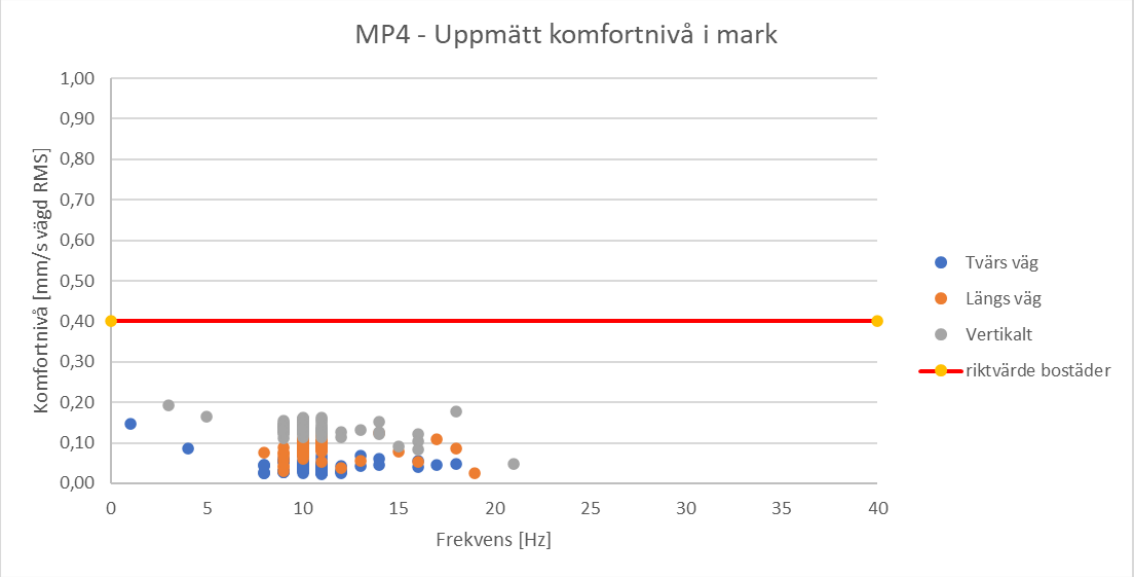
Figur 6.2. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 2.



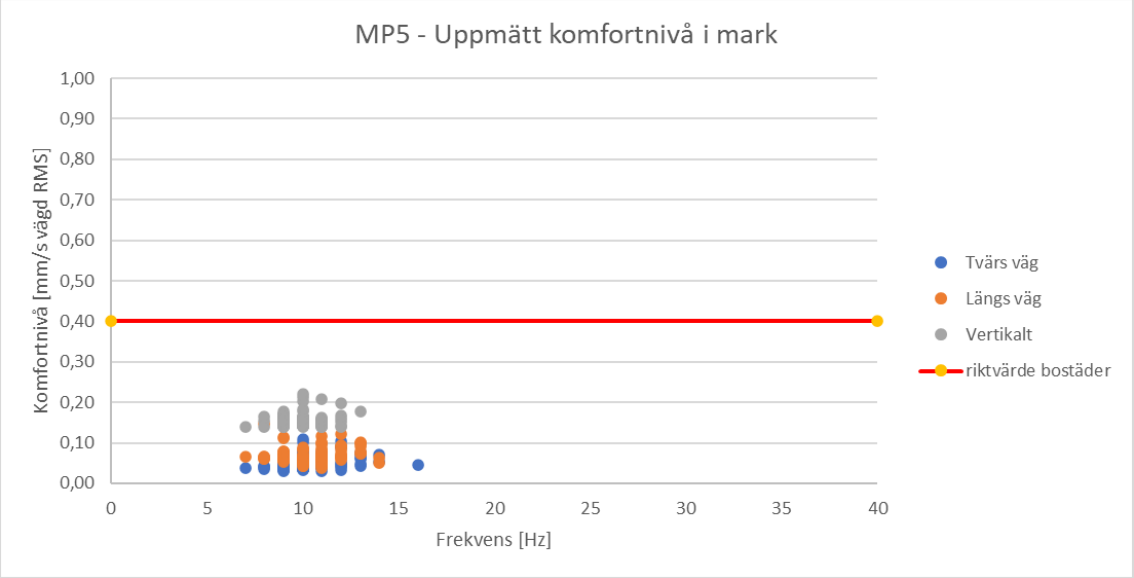
Figur 6.3. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 3.

6.1.3 Mätpunkt 4, 5 och 6

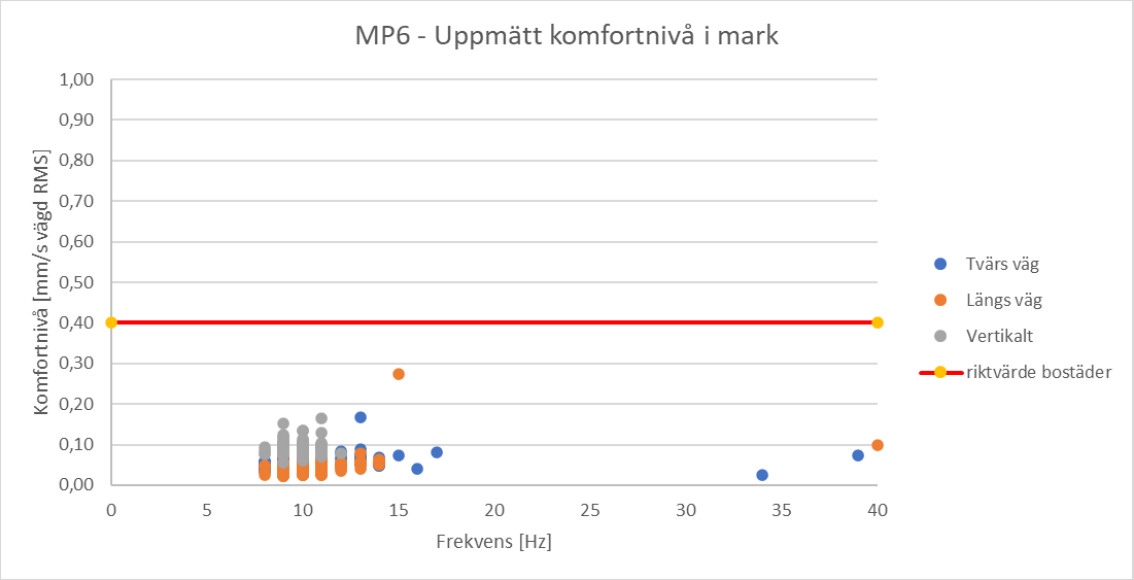
I **Figur 6.4 – 6.6** presenteras uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 4 – 6 under 2 dygn och normala trafikförhållanden. Resultaten redovisas mot dominant frekvenskomponent (acceleration) för respektive registrering och har begränsats upp till 40 Hz för MP4 – MP6 Syfte med dessa mätpunkter är att visa vibrationsnivåer i mark för befintlig väg och framför allt passager av tung trafik. Uppmätta nivåer kan skilja sig mycket beroende på vägens skick och avstånd mellan mätpunkt och eventuella större ojämnheter i vägbana.



Figur 6.4. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 4.



Figur 6.5. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 5.



Figur 6.6. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 6.

6.2 Responsspektraberäkningar

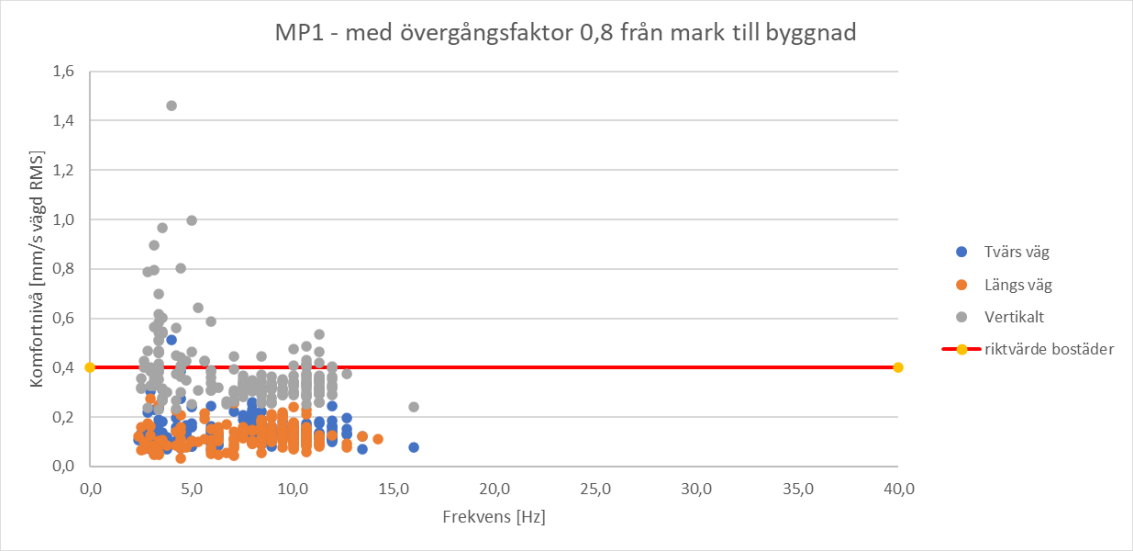
För ett flerplanshus skulle egenfrekvenser i byggnaden kunna ge upphov till högre komfortvärden jämfört med marken, om egenfrekvens i bjälklag och den exciterande markvibrationens frekvens sammanfaller. Vid beräkning av responsspektra på uppmätta vibrationsdata har en förstärkningsfaktor på Q=10 (normal förstärkningsfaktor vid låga frekvenser) antagits. Resultaten är korrigerade med en faktor 0,8 för övergång från mark till byggnad (motsvarande fallet för platta på mark). För vertikal riktning är det egenfrekvenser i bjälklag som är av intresse och för horisontell riktning är det egenfrekvenser i grund och byggnad som är av intresse.

För samtliga registreringar i mark över tröskelnivå har responsspektra beräknats och maximal komfortnivå (som inträffar vid viss frekvens) från dessa beräkningar presenteras nedan i **Figur 6.7 – 6.12** för de olika mätpunkterna. Data har filtrerats för 1 - 40 Hz då syfte med denna analysmetod är att utreda risker vid de lägsta egenfrekvenserna för byggnadskomponenter.

De beräknade vibrationsnivåerna skall ses som ett ”worst case”, och bedömningar av deras amplituder bör sedan utföras med hänsyn till vibrationskälla, frekvens och risken för att störning sammanfaller med någon byggnadsdel i de planerade byggnaderna inom utredningsområdet.

6.2.1 Mätpunkt 1

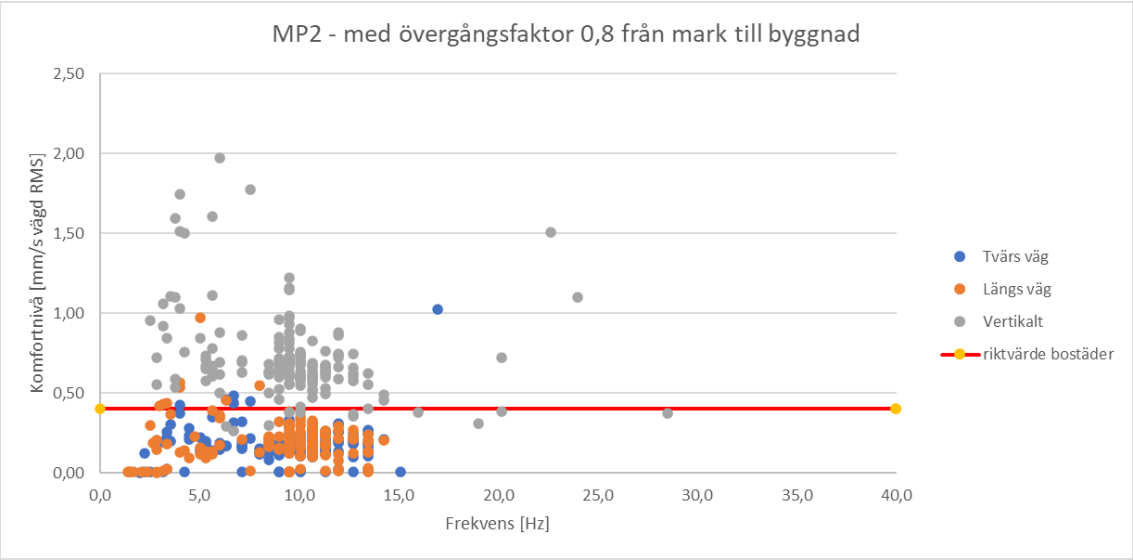
Då denna mätpunkts syfte framför allt används för framtagning av källdata inför ny spårväg blir resultaten mer fiktiv men visar att för detta läge med ett något större jorddjup skulle komfortnivåer i vertikal riktning kunna uppgå till 1,5 mm/s vägd RMS, med förutsättning platta på mark (Övergångsfaktor 0,8 från mark till byggnad) och en egenfrekvens i bjälklag på cirka 3–5 Hz.



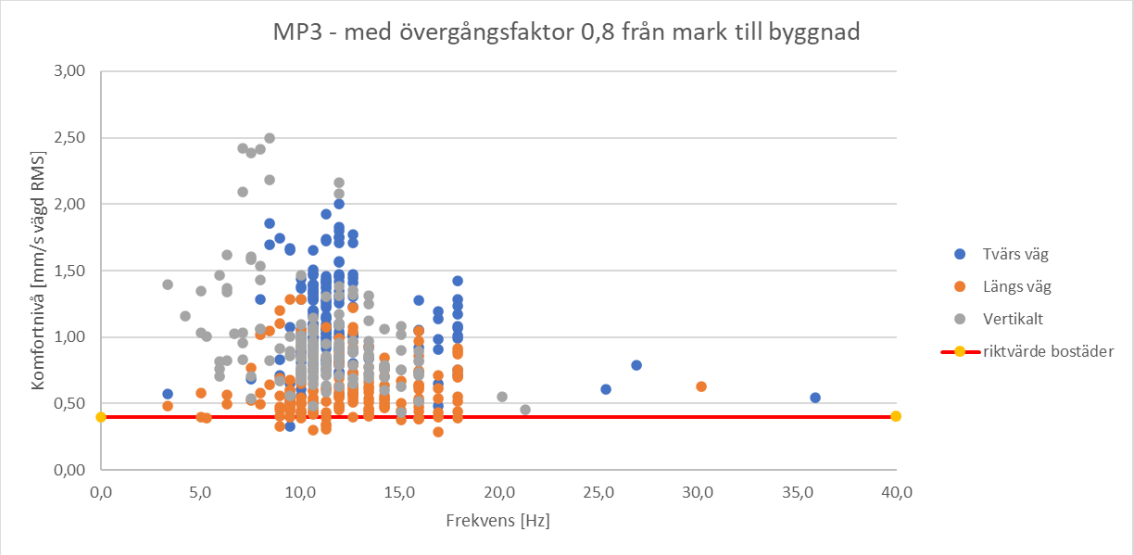
Figur 6.7. Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar (Q=10) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits, mätpunkt 1. Resultat vid högre frekvenser än 40 Hz har filtrerats bort.

6.2.2 Mätpunkt 2 och 3

För mätpunkt 2 och 3 erhålls vibrationer både från vägtrafik och spårtrafik på Bohusbanan. Uppmätta registreringar har också stor spridning över frekvensområdet. För MP 2 uppgår de högre responsspektraberäkningarna till ca 2,0 mm/s vägd RMS och motsvarande för MP 3 så uppgår responsspektraberäkningar till ca 2,5 mm/s vägd RMS.



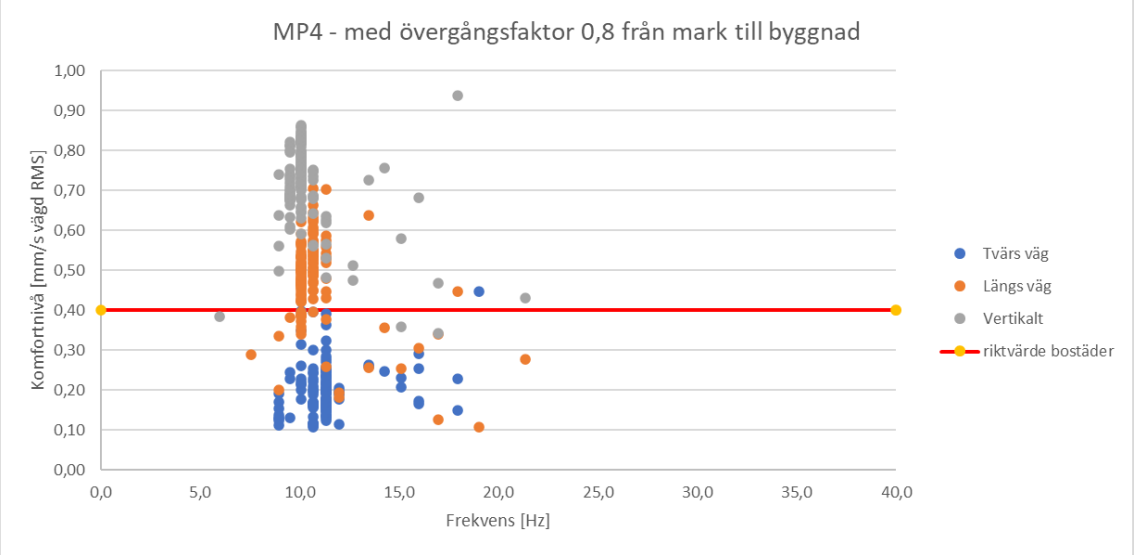
Figur 6.8. Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar (Q=10) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits, mätpunkt 2. Resultat vid högre frekvenser än 40 Hz har filtrerats bort.



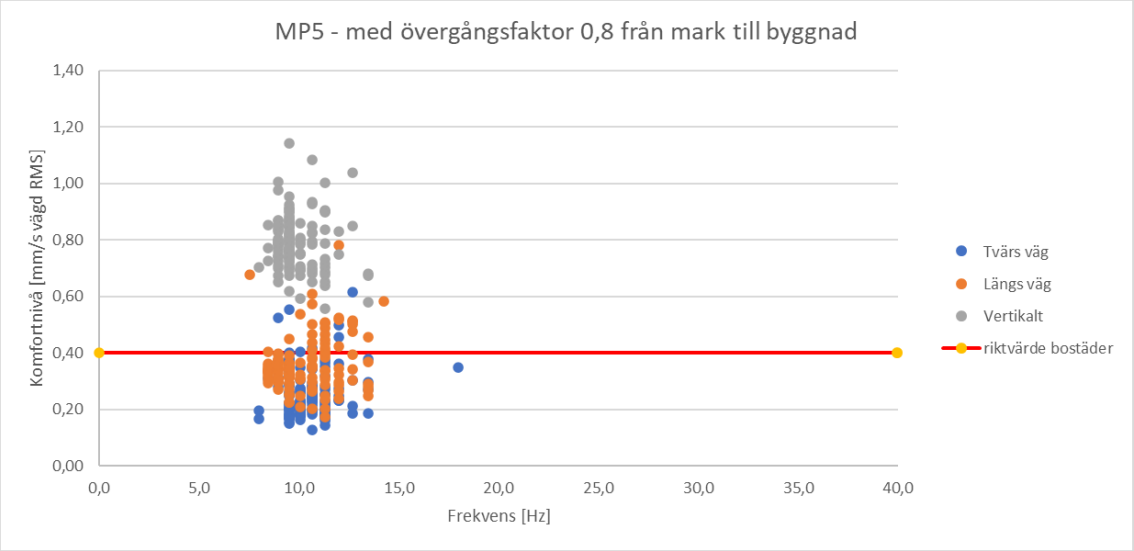
Figur 6.9. Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar (Q=10) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits, mätpunkt 3. Resultat vid högre frekvenser än 40 Hz har filtrerats bort.

6.2.3 Mätpunkt 4 – 6

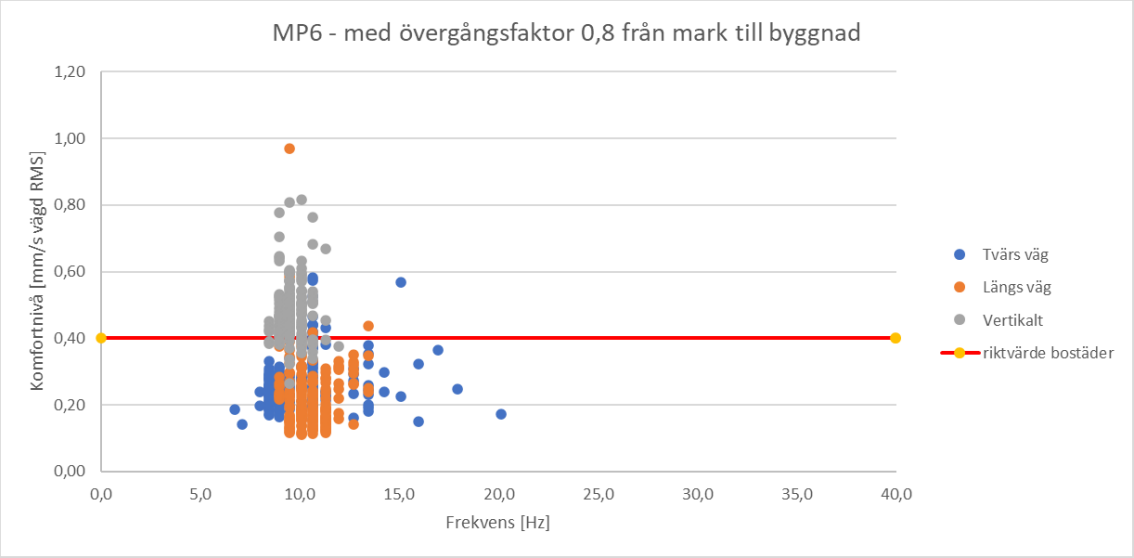
För mätpunkt 4 – 6 pågick mätningar under 2 dygn, resultatet speglar alltså nuläge men är starkt beroende var längs väg ojämnheter kan finnas. Avstånd till vägkant är cirka 30 m för MP 4 och MP6 och cirka 10 m för MP 5. Tung trafik orsakar tydligt störningar omkring 10 Hz.



Figur 6.10. Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar (Q=10) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits, mätpunkt 4. Resultat vid högre frekvenser än 40 Hz har filtrerats bort.



Figur 6.11. Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar (Q=10) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits, mätpunkt 5. Resultat vid högre frekvenser än 40 Hz har filtrerats bort.

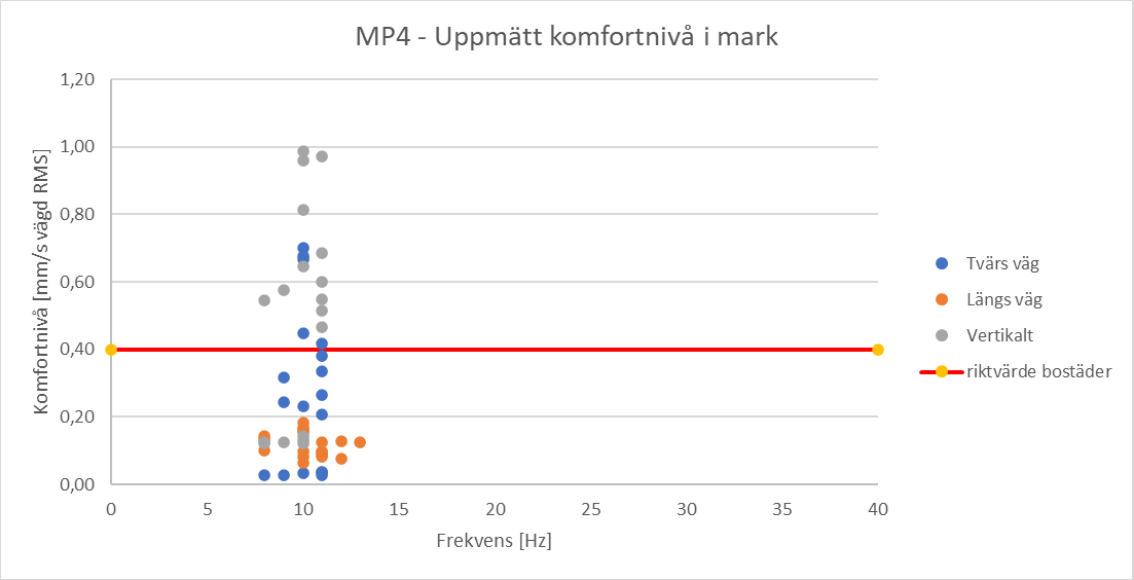


Figur 6.12. Högsta komfortnivå från responsspektraberäkningar (Q=10) och vid vilken frekvens den uppträder för registreringar där tröskelvärdet i mark överskridits, mätpunkt 6. Resultat vid högre frekvenser än 40 Hz har filtrerats bort.

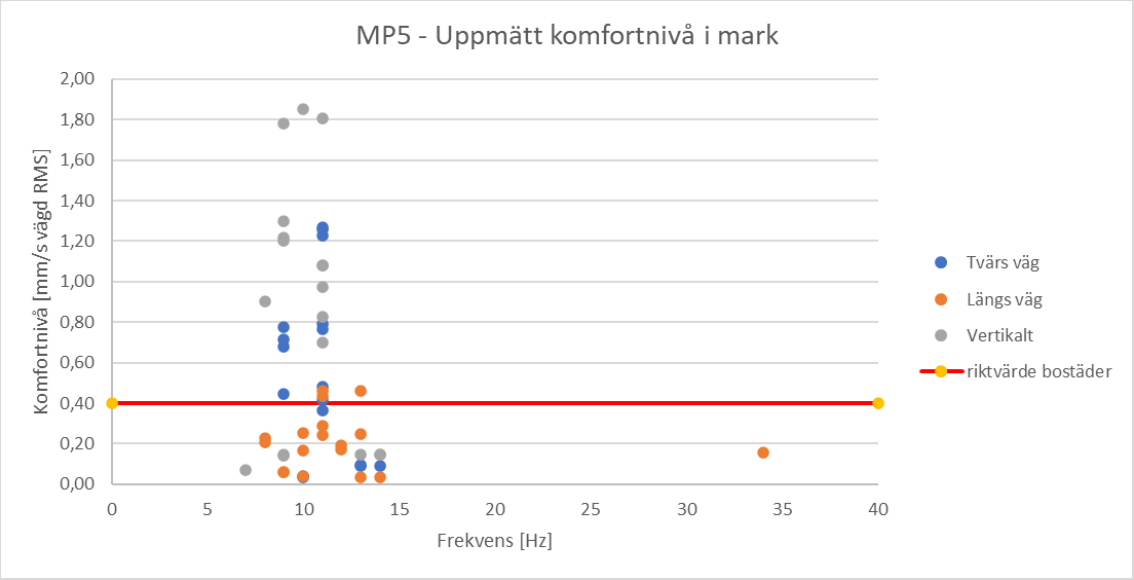
6.3 Temporärt farthinder

6.3.1 Komfortvibrationer

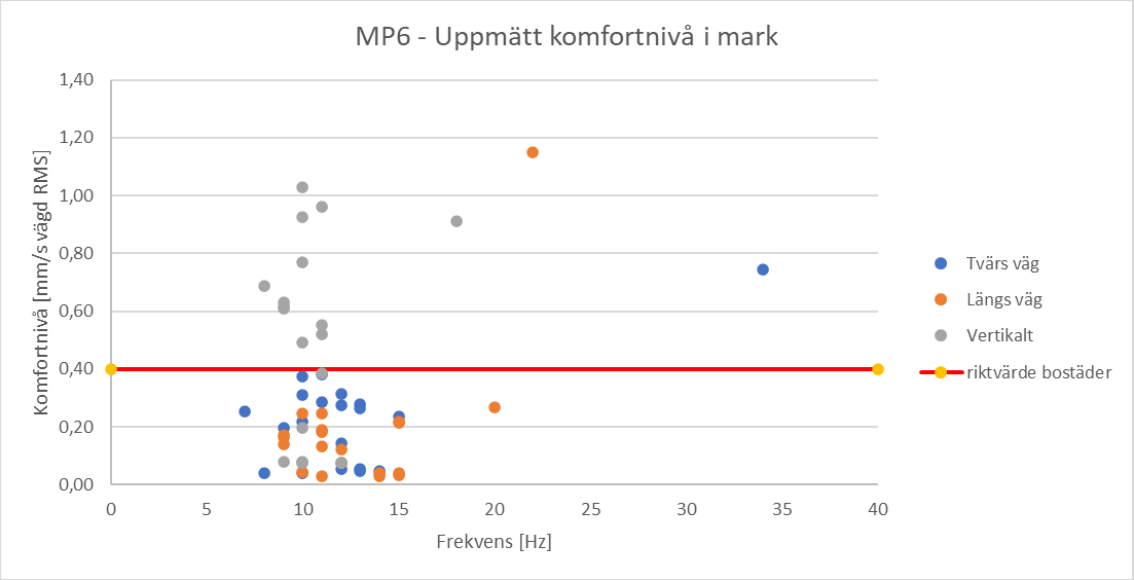
Tester med ett temporärt farthinder (höjd cirka 45 mm) i höjd med mätpunkter MP4 – MP6 utfördes med inhyrd lastbil. Jämförelse mellan teoretisk avståndsdämpning för ytvågen (R-våg) och uppmätta nivåer stämmer väl överens då avståndet ökar från 10 meter till 30 meter. Beräkningsmässigt förväntas vibrationsnivåer reduceras med en faktor 0,58 (1,8 till 1,0 mm/s vägd RMS) då avståndet ökas med en faktor 3. I **Figur 6.13 – 6.15** presenteras uppmätta komfortnivåer för test med lastbil i olika hastigheter enligt **Bilaga 1**.



Figur 6.13. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 4 vid tester med temporärt farthinder.



Figur 6.14. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 5 vid tester med temporärt farthinder.



Figur 6.15. Uppmätta komfortnivåer i mark för mätpunkt 6 vid tester med temporärt farthinder.

6.3.2 Responsspektraberäkningar

Likvärdiga responsberäkningar (med en övergångfaktor 0,8 från mark till byggnad) som i tidigare mätningar av trafik har utförts för dessa tester och resultaten visar att responsberäkningar med en förstärkningsfaktor Q=10 medför på uppmätt data att komfortnivåer ökar med en faktor 5. Maximalt beräknas följande komfortnivåer för MP4 – MP6:

- MP4 – ca 4,8 mm/s vägd RMS
- MP5 – ca 9,0 mm/s vägd RMS
- MP6 – ca 5,6 mm/s vägd RMS

6.4 Stomljud

Mätningar av markvibrationer på berg från järnvägstrafik har utförts och mätförfarande redovisas i **Bilaga 2**. Utifrån mätresultaten har resulterande stomljudsnivåer inomhus beräknats och dessa redovisas i **Tabell 6.1**. Beroende på förstärkning i stommen presenteras ett spann på resulterande ljudnivå, $L_{p,AFmax}$.

Tabell 6.1. Resulterande stomljudsnivå inomhus.

Riktning	Mätpunkt 1, Lp,AFmax [dB]
X	33 - 43
Y	29 - 39
Z	31 - 41

Resultaten utgår från att byggnadsstomme placeras direkt på berg. Termisk isolering eller jordlager mellan berg och byggnad bedöms reducera dessa beräknade stomljudsnivåer.

Då jorddjupen ökar öster ut från mätpunkt bedöms detta reducera stomljudsnivåer i berg ytterligare. Vår bedömning är alltså att mycket liten risk för stomljud från Bohusbanan inom området föreligger då samtliga nya byggnader närmast spår innefattar stora jorddjup.

För ny spårväg är sträckning enligt SGU´s jorddjupskarta förlagd där jorddjup uppgår till minst 10 meter. Undantaget är vändslinga längst i norr (5-10 meter) men där är hastigheter också betydligt lägre.

Skulle det visar sig under senare skeden att jorddjupen är mindre och att spårväg förläggs på berg kan detta behöva studeras närmare. Det finns dock åtgärder att förlägga under spår som reducera stomljud till angränsande byggnader om det är aktuellt.

7 Teoretiska beräkningar och metod för framtagning av möjlig områdespåverkan

7.1 Beräkningsmodell – Transport and Road Research Laboratory

Transport and Road Research Laboratory i England (G. R. Watts, 1990) har tagit fram en formel för att skatta vägtrafikinducerade vibrationer mot byggnader från tung trafik. Resultat avser vibrationsnivå i grundmur och har anpassats baserat på erfarenhet från mätningar av Norconsult till vägda komfortnivåer för där dominant energi erhålls vid cirka 8 – 12 Hz.

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

Med följande beteckningar:

PPV	*Vibrationernas topphastighet, Peak Particle Velocity [mm/s]*
a	*Vägbaneojämnhet (topp-till-topp) [mm]*
v	*Maximal hastighet på passerande fordon [km/h]*
t	*Markfaktor, 3 för lös lera [-]*
p	*0,75 om vägojämnhet endast finns i det ena hjulspåret, annars 1,0 [-]*
r	*Avstånd till vägbana [m]*
x	*Avståndspotens, beroende av jordart, -1,06 för lera [-]*

Som exempel och jämförelse med senare avsnitt kan ojämnheter i storleksordning motsvarande 5, 25 och 45 mm generera vibrationsnivåer enligt **Tabell 7.1** för 30, 40 respektive 50 km/h. Beräkningar har utförts för avstånden 10, 20 och 30 m från vägkant och redovisade värden avser vibrationshastighet i grundmur. Beräkningar avser ojämnhet endast i ena hjulspåret för ojämnhet på 5 mm samt 25 mm (båda för 45 mm).

Denna modell har en linjär avståndsdämpning, mätningar med temporärt farthinder visar mer likt vanlig geometrisk avståndsdämpning av ytvåg (R-våg) varpå modell har anpassats efter detta.

Tabell 7.1 - Beräknade vibrationsnivåer från passerande tung trafik vid olika hastigheter.

Hastighet och avstånd	5 mm ojämnhet (mm/s vägd rms)	25 mm ojämnhet (mm/s vägd rms)	45mm (motsvarande test med farthinder) (mm/s vägd rms)
30 km/h vid 10 meters avstånd	0,07	0,36	0,88
30 km/h vid 20 meters avstånd	0,05	0,25	0,62
30 km/h vid 30 meters avstånd	0,04	0,21	0,51
40 km/h vid 10 meters avstånd	0,09	0,47	1,12
40 km/h vid 20 meters avstånd	0,07	0,33	0,79
40 km/h vid 30 meters avstånd	0,05	0,27	0,65
50 km/h vid 10 meters avstånd	0,12	0,59	1,44
50 km/h vid 20 meters avstånd	0,08	0,42	1,02
50 km/h vid 30 meters avstånd	0,07	0,34	0,83

7.2 Anpassning av teoretiska beräkningar för fordonstrafik - bjälklag

Då responsspektraberäkningar (Q=10) från tester med temporära farthinder i denna utredning (samt tidigare erfarenheter) visar att uppmätta vibrationsnivåer förstärks med en faktor 5 kan resultaten i tabell 7.1 räknas om till förväntad vibrationsnivå på bjälklag. Resultaten avser alltså ett ”värsta fall” för då egenfrekvens i bjälklag sammanfaller med störfrekvens från trafik, i detta fall omkring 10 Hz.

Med denna information erhålls komfortnivåer enligt **Tabell 7.2** på bjälklag för byggnad genom platta på mark.

Tabell 7.2. Beräknade vibrationsnivåer på bjälklag från passerande tung trafik vid olika hastigheter.

Hastighet och avstånd	5 mm ojämnhet (mm/s vägd rms)	25 mm ojämnhet (mm/s vägd rms)	45mm (motsvarande test med farthinder) (mm/s vägd rms)
30 km/h vid 10 meters avstånd	0,4	1,8	4,4
30 km/h vid 20 meters avstånd	0,3	1,3	3,1
30 km/h vid 30 meters avstånd	0,2	1,0	2,5
40 km/h vid 10 meters avstånd	0,5	2,4	5,6
40 km/h vid 20 meters avstånd	0,3	1,7	4,0
40 km/h vid 30 meters avstånd	0,3	1,4	3,2
50 km/h vid 10 meters avstånd	0,6	3,0	7,2
50 km/h vid 20 meters avstånd	0,4	2,1	5,1
50 km/h vid 30 meters avstånd	0,3	1,7	4,2

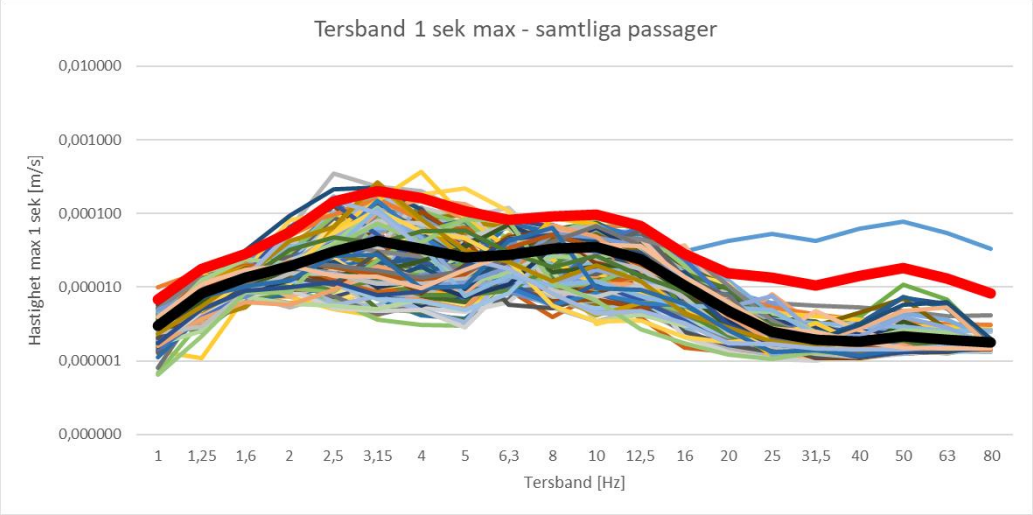
Resultaten avser alltså övergångsfaktor 0,8 dvs exempelvis mindre byggnad med platta på mark. Erfarenhetsmässigt har mätningar visat för större tyngre byggnader med pålad grundläggning är denna övergångsfaktor snarare omkring 0,2 – 0,4 för tung fordonstrafik.

8 Markvibrationer från spårväg

Från mätningar i MP1 har uppmätta resultat analyserats. Resultaten innehåller markvibrationer genererade för både spår- och vägtrafik.

8.1 Mätningar MP1

Från mätningar under 7 dygn har de registreringar med kraftigaste registreringar analyserats (211 stycken) och maximal vibrationsnivå över respektive tersband har beräknats för dessa registreringar. Resultaten presenteras i **Figur 8.1** tillsammans med medelvärde (svart grov linje). Utöver medelvärde har standardavvikelse beräknats och röd grov linje representerar MV + 3 x std, vilket inkluderar de flesta passager men vissa avvikande registreringar kan därmed överskrida. I fortsatt analys har alltså denna MV + 3 x std använts för vidare beräkningar.



Figur 8.1. Uppmätta registreringar för MP1 presenterade som maximal vibrationsnivå (RMS, 1 sek) över respektive tersband.

8.2 Beräkningar komfortvibrationer på bjälklag

Från uppmätt data har komfortnivåer beräknats för olika avstånd och resultaten presenteras i **Tabell 8.1**. I dessa resultat har en förstärkning för spårvägstrafik och fordonstrafik baserat på resultat från responsspektraberäkningar antagits till en faktor 5 med förutsättning endast att egenfrekvens för bjälklag erhålls inom frekvensområdet 5–10 Hz (normal förekommande för bjälklag). Resultat avser komfortnivå för maximalt tersband då förstärkning av egenfrekvens i bjälklag endast kan förekomma vid en viss frekvens.

Tabell 8.1. Komfortnivåer i byggnad utifrån avstånd till källa och grundläggningstyp.

	Övergångsfaktor	10 meter	20 meter	30 meter	40 meter
Tungt flervåningshus / pålat	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1
källare enligt ACOU	0,4		0,4	0,3	0,2
Platta på mark	0,8		0,7	0,5	0,4

9 Sammanställning av resultat

Mätningar, beräkningar och förutsättningar sammanställs här för respektive byggnad, uppdelat för befintliga och planerade byggnader.

9.1 Befintliga byggnader

För befintliga byggnader har vibrationer från Bohusbanan ej beaktats då den också är befintlig i nuläget.

Spårtrafik och fordonstrafik över eller i spår har beräknats från framtaget störspektrum enligt kapitel 8 och redovisas per fastighet i **Tabell 9.1**. För tung trafik längs Litteraturgatan uppgår avstånd till byggnader till minst 28 meter och för normala ojämnheter dvs mindre än 5 mm bedöms därmed mycket liten risk för att vibrationsstörningar ska kunna uppstå. Marken är dock vibrationskänslig inom området och om större ojämnheter införs genom farthinder eller uppstår över tid kan dock högre vibrationsnivåer erhållas.

Tabell 9.1. Beräknade komfortnivåer för befintliga byggnader öster och söder om Litteraturgatan.

Fastighet	Avstånd till spårmitt [m]	Avstånd till vägmitt [m]	Jorddjup till berg enligt SGUs jorddjupskarta [m]	Övergångs-faktor mark/byggnad	Komfortnivå fordons- och spårtrafik [mm/s vägd RMS]
Backa 144:1	47	32	10–20	0,8	0,4
Backa 144:37	41	28	10–20	0,8	0,4
Backa 144:2	48	38	10–20	0,8	0,4
Backa 144:3	45	37	5–10	0,8	0,4
Backa 144:4	45	37	5–10	0,8	0,4
Backa 144:19	40	35	10–20	0,8	0,4
Backa 144:18	39	33	10–20	0.8	0,4
Backa 144:17	39	33	10–20	0,8	0,4
Backa 144:16	40	34	10–20	0,8	0,4
Backa 144:15	42	35	10–20	0,8	0,4
Backa 144:14	45	36	10–20	0,8	0,4
Backa 866:494	52	36	5–10	0,4	0,2
Backa 144:34	53	35	5–10	0,8	0,3
Backa 144:33	56	47	5–10	0,8	0,3
Backa 9:1	38	30	10–20	0,4	0,2
Backa 10:1	37	30	5–20	0,4	0,2
Backa 11:1	38	32	10–20	0,4	0,2
Backa 12:1	42	36	10–20	0,4	0,2
Backa 13:1	48	42	10–30	0,4	0,2

För befintliga fastigheter, norr och väster om Litteraturgatan, gäller även här att avstånd till väg och spårväg är relativt stort men här innefattar samtliga byggnader en pålad grundläggning. Resultaten för spårväg redovisas i **Tabell 9.2**.

Riskavstånd för dessa byggnader med avseende på tung fordonstrafik (50 km/h och 5 mm ojämnhet) uppgår riskområde till mindre än 10 meter, jämförelsevis blir motsvararande riskområde för 10 mm ojämnhet cirka 18 meter).

Tabell 9.2. Grundläggningsförhållanden för befintliga fastigheter, norr och väster om Litteraturgatan.

Fastighet	Avstånd till spårmitt [m]	Avstånd till vägmitt [m]	Jorddjup till berg enligt SGUs jorddjupskarta (m)	Övergångs-faktor mark/byggnad	Komfortnivå fordons- och spårtrafik [mm/s vägd RMS]
Backa 1:8	32	26	30–50 m	0,4	0,3
Backa 1:7	68	61	30–50 m	0,4	0,1
Backa 1:6	52	42	30–50 m	0,4	0,2
Backa 1:4	42	34	10–20 m	0,4	0,2
Backa 7:4	44	38	10–20 m	0,4	0,2
Backa 7:3	58	46	10–20 m	0,4	0,2
Backa 7:22 Söder	63	57	10–30 m	0,4	0,1
Backa 7:22 Norr	49	40	20–30 m	0,4	0,2
Backa 7:12	41	34	10–30 m	0,4	0,2
Backa 7:17	50	44	10–30 m	0,4	0,2
Backa 7:18	63	58	10–30 m	0,4	0,1

9.2 Planerade byggnader

Samtliga dessa större byggnader förutsätts behöva pålas med avseende på de geotekniska förutsättningarna inom området, därmed har beräkningar utförts med övergångsfaktor 0,4 respektive 0,3 för spårvägs- och fordonstrafik. ***För 5 mm ojämnhet och 50 km/h*** efterlevs 0,4 mm/s vägd RMS för samtliga fastigheter. För att visa på känsligheten har i stället höjd på ojämnhet ökats till 10 mm (50 km/h) och resultaten redovisas i **Tabell 9.3**.

Tabell 9.3. Beräknade komfortnivåer för planerade byggnader med avseende på spårvägstrafik och fordonstrafik (längs Litteraturgatan).

Hus-kropp	Avstånd till spårmitt [m]	Avstånd till väg [m]	Djup till berg [m]	Övergångsfaktor mark/ byggnad	Komfortnivå spårväg [mm/s vägd RMS]	Komfortnivå fordonstrafik, 50 km/h och 10 mm [mm/s vägd RMS]
1	38	25	10–50	0,4 / 0,3	0,2 / 0,2	0,4 / 0,3
2	22	16	30–50	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
3	26	17	20–50	0,4 / 0,3	0,3 / 0,2	0,5 / 0,3
4	18	8	20–40	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,7 / 0,5
5	21	14	10–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
6.1	28	14	10–30	0,4 / 0,3	0,3 / 0,2	0,5 / 0,4
6.2	18	9	10–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,6 / 0,5
7	21	11	10–20	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,6 / 0,4
8	57	45	10–20	0,4 / 0,3	0,2 / 0,1	0,3 / 0,2
9	18	12	10–20	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
10	18	12	10–20	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
11	18	13	10–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
12	19	9	10–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,6 / 0,5
13	22	12	0–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
14	128	9*	10–30	0,4 / 0,3	<0,1	0,6 / 0,5
15	48	39	10–20	0,4 / 0,3	0,2 / 0,1	0,3 / 0,2
16	16	8	10–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,7 / 0,5
17	22	14	10–30	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
18	44	36	10–30	0,4 / 0,3	0,2 / 0,1	0,3 / 0,2
19	18	12	10–20	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4
20	18	6	5–10	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,8 / 0,6
21	18	11	5–10	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,6 / 0,4

Men avseende på spårtrafik på Bohusbanan har beräkningar utförts med övergångfaktor mellan mark och byggnad till 0,4 då samtliga byggnader förutsätts uppföras med pålad grundläggning. Resultaten för huskropp 1–7 med avseende på Bohusbanan presenteras i **Tabell 9.4 och 9.5**, för vertikal respektive horisontell riktning.

För vertikal riktning är det lägsta egenfrekvens i bjälklag som är av intresse.

Tabell 9.4. Beräknade komfortnivåer för planerade byggnader, vertikal riktning.

Huskropp	Avstånd till Bohusbanan [m]	Djup till berg [m]	Beräknad komfortnivå Bohusbanan (Grundmur – bjälklag) Övergångfaktor 0,4
1 (MP2)	38	10–50	(0,2 – 1,3)
2	47	30–50	(0,2 – 1,1)
3	96	20–50	(0,1 – 0,6)
4 (MP3)	17	20–40	(0,2 – 1,4)
5	72	10–30	(0,1 – 0,7)
6.1	109	10–30	(0,1 – 0,5)
6.2	143	10–30	(0,1 – 0,5)
7	147	10–20	(0,1 – 0,5)

För horisontella vibrationer är det egenfrekvens i grundläggning och byggnadsstomme som är av störst intresse. Lägsta egenfrekvens kan förenklat beräknas generellt $f_0 = 48/H$, där H är höjd på byggnad i meter.

Tabell 9.5. Beräknade komfortnivåer för planerade byggnader, horisontell riktning.

Huskropp	Avstånd till Bohusbanan [m]	Djup till berg [m]	Beräknad komfortnivå Bohusbanan (Grundmur – översta plan) Övergångfaktor 0,4
1 (MP2)	38	10–50	(0,1 – 0,6)
2	47	30–50	(0,1 – 0,7)
3	96	20–50	(0,1 – 0,5)
4 (MP3)	17	20–40	(0,1 – 1,1)
5	72	10–30	(0,1 – 0,5)
6.1	109	10–30	(0,1 – 0,4)
6.2	143	10–30	(0,1 – 0,4)
7	147	10–20	(0,1 – 0,4)

10 Kommentarer till resultat

För responsspektraberäkningar avser resultaten ett ”värsta fall” för när de lägsta egenfrekvenserna i byggnad eller byggnadsdelar sammanfaller med uppmätta störfrekvenser. Dvs för vertikal riktning förväntas vibrationsnivåer på bjälklag uppgå till mellan redovisade nivåer för grundmur respektive responsspektraberäkningar på bjälklag beroende på hur väl denna matchning sker. Med avseende på risker i detta detaljplaneskede utgår bedömning från resultaten av responsspektraberäkningar men beroende på byggnaders slutliga val av stomme och grundläggning kan alltså denna risk i senare skede reduceras.
Olika övergångfaktorer har använts för övergång från mark till byggnad beroende på förutsättningar avseende grundläggning. Denna faktor är svår att med säkerhet fastställa beroende på olika byggnaders grundläggning och tyngd.
Erfarenhetsmässigt kan denna överföringsfaktor reduceras vid stora tunga byggnader eller pålade grundläggningar, framför allt vid beaktning av fordonstrafik.

Omvänt gäller även att om byggnad väljs med lättare stomme som trä och utan pålad grundläggning kan en högre (sämre) övergångfaktor behöva beaktas.

10.1 Bohusbanan

Uppmätta nivåer för MP2 och MP3 är generellt något höga i mark och för de kraftigaste registreringarna uppgår komfortnivåer i mark till cirka 0,4 – 0,5 mm/s vägd RMS, vilket redan i mark överskrider riktvärdet enligt svensk standard. Maximalt uppgick komfortnivåer i mark för vertikal riktning till 0,53 mm/s vägd RMS för MP3. De kraftigaste registreringar erhålls från tågpassager och maximal energi erhålls vid cirka 5-8 Hz.

Beräkningar av responsspektra (Q=10) och ”värsta fall” visar att maximalt skulle komfortnivåer kunna uppgå till **2,0 mm/s vägd RMS** för MP2 respektive **2,5 mm/s vägd RMS** för MP3. Då dessa byggnader förutsätts behöva pålad grundläggning ansätts en lägre överföringsfaktor av 0,4. Med avståndkorrirering för skillnad mellan mätpunkt och byggnader så beräknas maximala komfortnivåerna för Huskropp 1 och Huskropp 4 till 1,3 respektive 1,4 mm/s vägd RMS, vilket klart överskrider riktvärde för bostäder på 0,4 mm/s vägd RMS.

De maximala vibrationsnivåerna uppstår omkring 3-8 Hz för MP2 samt 7-12 Hz för MP3 och för vertikal riktning är det egenfrekvens i bjälklag som är av intresse. Normalt ligger egenfrekvens för bjälklag inom frekvensområdet 5 – 10 Hz. Högre ordning av moder kan dock fortfarande matcha störfrekvens men då med något lägre Q-faktor.

Risk för vibrationsstörningar bedöms därmed föreligga inom delar av området. Risken avser framför allt de byggnader närmast spår nummrerade 1-7, då med betoning på byggnader 1,2 och 4. Då riktvärden framför allt avser bostäder och vissa av byggnader utgörs av parkeringshus / kontor kan dessa hanteras separat.

För horisontell riktning är nivåerna något lägre men fortsatt beräknas risk om inte grundläggning och byggnadsstomme beaktas, framför allt är det vid MP3 och huskropp 4 som störst risk föreligger.

För parkeringshus finns inga riktvärden som behöver beaktas då riktvärden behandlar komfortvibrationer och ej andra orsaker som t ex risk för skador på byggnader.

För kontor finns inte heller några riktvärden enligt Trafikverkets riktlinjer (TDOK 2014:1021) eller inom Göteborg stad och Trafikkontorets riktlinjer (TH 2023:1 – 2023-01-03). Ambition rekommenderas ändå vara att projektera efter 0,4 mm/s vägd RMS för att undvika klagomål, erfarenhetsmässigt har i andra uppdrag vid klagomål använts riktvärde omkring 0,7 mm/s vägd RMS. Över 0,7 mm/s vägd RMS ökar alltså sannolikheten för klagomål även i kontorsbyggnader.

10.2 Spårväg

För planerad spårväg bedöms risk för vibrationsstörningar till befintliga fastigheter som liten. Normalt är det passager av tung vägtrafik i eller över spår som kan medföra den kraftigaste vibrationsalstringen. Mätningar från MP1 med korsande trafik har beaktats i dessa beräkningar och resultaten visar på mycket liten risk vid avstånd större än 38 meter från spår (förutsatt grundläggning genom platta på mark) vilket gäller de aktuella fastigheterna inom detta planområde.

För planerade framtida byggnader är avstånden betydligt mindre men genom att förutsätta att dessa nya byggnader kommer att ha en pålad grundläggning (övergångsfaktor 0,3–0,4 från mark till byggnad) så reduceras riskavstånd till cirka 10–15 meter från spårväg. Närmsta byggnad som planeras är alltså precis utanför detta riskområde men kräver alltså åtgärder i form av en pålad grundläggning för att dessa byggnader ska innehålla riktvärden.

För överfarter är det viktigt att minimera ojämnheter i den mån det är möjligt för att därmed också minimera vibrationsalstring till omgivningen.

10.3 Fordonstrafik

Idag är Litteraturgatan skyltad till 50 km/h vilket har förutsatts även för den nya vägen. För normal biltrafik föreligger ingen risk avseende markvibrationer och resultat enligt **Bilaga 2** visar att vibrationsnivåer från bil uppgår till cirka 1/10 av vibrationsnivåer från lastbil (tung trafik).

För tung trafik längs Litteraturgatan bedöms mycket liten risk för komfortstörningar föreligga för beftinliga byggnader. Dock skulle beräkningsmässigt en ojämnhet på 10 mm medföra risk för de byggnader med grundläggning genom platta på mark.

För nya planerade byggnader med betydligt kortare avstånd till väg finns risk att beakta beroende på storlek på ojämnhet, hastighet som fordon framförs med samt utformning av byggnad.

Beräkningar som avser slät väg och ojämnhet i ena hjulspår på max 5 mm så efterlevs riktvärden för samtliga nya byggnader, detta bör alltså bedömas som ett normalfall för en jämn väg. I redovisade resultat har även en ojämnhet på 10 mm använts för att visa på känsligheten vid korta avstånd till väg. Beräkningar för en tung pålad byggnad med övergångfaktor 0,3 från mark till byggnad visar då att riskavstånd uppgår till cirka 10 meter. Ytterligare känslighetstest visar att en övergångsfaktor på 0,4 från mark till byggnad ökar detta riskområde till 18 meter. Vilket då får en påverkan med avseende risk för komfortstörningar för majoriteten av de nya byggnaderna inom planområdet.

För ny väg är det alltså av stor vikt att beakta ojämnheter som kan uppstå från brunnslock eller dagvattenbrunnar som är förlagda i hjulspår.

För trafikövergångar dvs där fordonstrafik passerar över spår där större ojämnheter kan förekomma är dock hastigheten normalt betydligt lägre än 50 km/h. Detta gäller även farthinder men om sådana planeras inom området är det viktigt att beakta avstånd till befintliga eller framtida byggnader och dess respektive grundläggning.

För lättare byggnader utan pålad grundläggning så blir riskområdet betydligt större och skulle beräkningsmässigt uppgå till 18 meter vid 5 mm ojämnhet och motsvarande cirka 60 meter vid en ojämnhet på 10 mm. Det är dock ovanligt med vibrationsstörningar i byggnader på avstånd större än 30 meter.

10.4 Riskområde och principiella åtgärder - Bohusbanan

Baserat på resultat från responsspektraberäkningar krävs att avståndet till järnvägsspår uppgår till minst 170 meter för en byggnad med pålad grundläggning för att efterleva riktvärdet 0,4 mm/s vägd RMS. Generellt kan följande åtgärder utföras för att reducera vibrationsnivåer i byggnader:

- Pålning för ”låsning” av grunden i lager med lägre vibrationsamplitud.
- Byggnad uppförs med tung stomme.
- Bygga tung källargrund
- Styva bjälklag

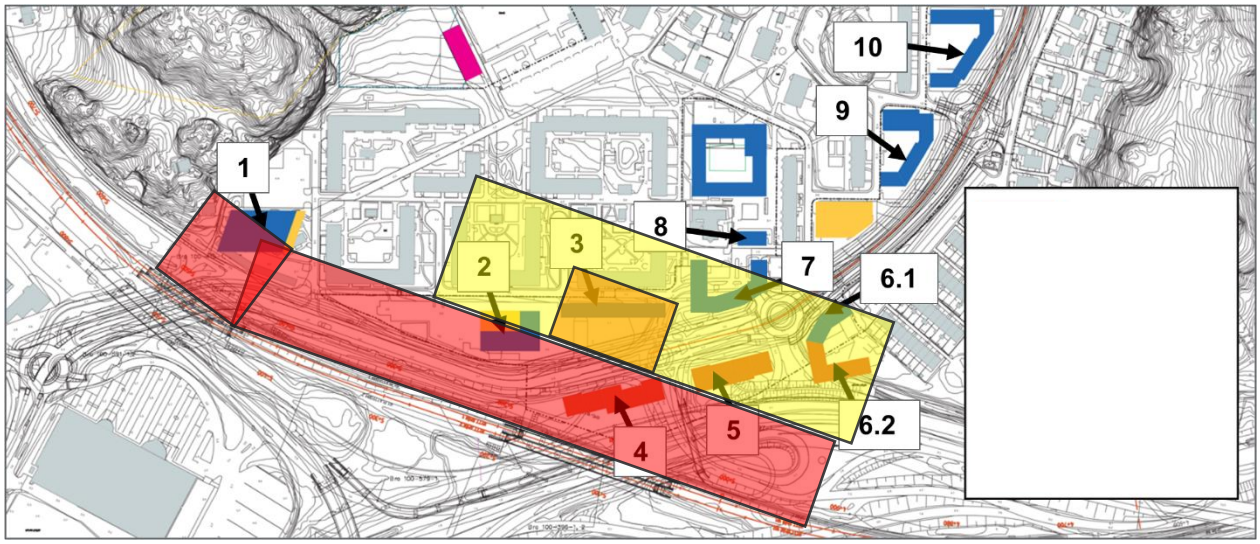
Gult område enligt **Figur 10.1** avser risk för komfortvibrationer mellan 0,4 – 0,7 mm/s vägd RMS enligt responsspektraberäkningar för pålad grundläggning. Inom detta område beskrivs risker för aktuella byggnader enligt nedan.

För Huskropp 6.1 och 7 bedöms risk kunna hanteras genom pålad grundläggning och tung stomme med styva bjälklag (lägsta egenfrekvens över ca 10 Hz).

Huskropp 5 och 6.2 bedöms kunna planeras som kontor då komfortnivåer maximalt beräknas uppgå till 0,7 mm/s vägd RMS samt att det endast är ett fåtal passager under mätperiodens 7 dygn som medför överskridanden över 0,4 mm/s vägd RMS i responsspektraberäkningar.

Orange område runt huskropp 3 enligt **Figur 10.1** avser risk för komfortvibrationer mellan 0,4 – 0,7 mm/s vägd RMS enligt responsspektraberäkningar för pålad grundläggning. För bostäder i Huskropp 3 beräknas dock överskridande med åtgärder enligt ovan för Huskropp 6 och 7. Responsspektraberäkningar visar att 2 passager under mätperiodens 7 dygn skulle kunna medföra komfortnivåer på 0,5 mm/s vägd RMS. Men det kräver då att egenfrekvens i bjälklag sammanfaller med störfrekvens vid cirka 12 Hz. Denna huskropp 3 medför därmed viss risk enligt beräkningar. Det kan vara möjligt att med utökad analys och åtgärder som t ex FE-analys eller liknande reducera denna risk för att möjliggöra planerande av bostäder. Värt att nämna är också att befintliga byggnader (t ex GÖTEBORG BACKA 1:8) är uppförda på liknande avstånd.

Rött område enligt **Figur 10.1** avser risk för komfortvibrationer över 0,7 mm/s vägd RMS enligt responsspektraberäkningar för pålad grundläggning. Detta gäller Huskroppar 1,2 och 4. För dessa byggnader föreligger risk för komfortstörande vibrationer med avseende på bostäder och kontor.



Figur 10.1. Riskområde med avseende på Bohusbanan