

PM Markkvibrationer

Detaljplan för Bro torg, Upplands-Bro kommun



Sweco Sverige AB
Uppdrag
Uppdragsnummer
Kund
Upprättad av
Datum
Dokumentreferens

RegNo 556767-9849
Bro torg
30096753
Upplands-Bro kommun
Freddie Theland
2026-04-22
PM Markvibrationer Bro torg_260422

Innehållsförteckning

1	Uppdrag	4
2	Syfte	4
3	Objektbeskrivning	4
4	Underlag	5
5	Mätplan	5
	5.1 Placering av mätpunkter	6
	5.2 Riktvärden	6
6	Mätsystem	7
	6.1 Utrustning	7
	6.2 Insamling och redovisning av data	8
7	Resultat	9
	7.1 MP1	9
	7.2 MP2	10
	7.3 MP3	11
8	Analys	12
	8.1 Risk för skador på byggnader	12
	8.2 Överföring av vibrationer till byggnader	12
9	Rekommendationer	14
10	Referenser	15

1 Uppdrag

Sweco Sverige AB har på uppdrag av Upplands-Bro Kommun utfört en vibrationsutredning för att ge underlag för kravställning vid upprättande av detaljplan Bro torg.

2 Syfte

Syftet med utredningen är att kartlägga risken för trafikinducerade vibrationer i byggnader inom fastigheter som omfattas av detaljplanen baserat på geotekniska förutsättningar och närhet till källor till markvibrationer. Utredningen syftar även till att ge rekommendationer för utformning av grundläggning och byggnader för att minimera risken för komfortstörande vibrationer i byggnader. Risk för byggnadsskador bedöms ej föreligga på grund av vibrationer från vägtrafik men verifieras även genom insamlade mätdata.

3 Objektbeskrivning

Figur 1 ger en överblick över detaljplanens område och planerad bebyggelse. Den planerade bebyggelsen utgörs främst av bostäder, men också offentlig verksamhet och kommersiell service.



Figur 1: Strukturplan för Bro torg med Enköpingsvägen markerat i rött, förslag november 2025.

Detaljplanens södra del innefattar Enköpingsvägen, vilket är en befintlig trafikerad väg med busstrafik. I planens sydöstra del består marken av fyllning på lös lera på morän ovan berg. De geotekniska förutsättningarna medför risk för betydande nivåer av markvibrationer från vägtrafiken som kan spridas via marken och vidare in i närliggande byggnader.

4 Underlag

Följande underlag har använts för planering av vibrationsmätningar och analys av resultat:

- PM Geoteknik för Bro torg, Upplands-Bro kommun, 2023-02-14
- Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik för Bro Torg, Upplands-Bro Kommun, 2023-02-14
- SS 4604861:2022, "Vibration och stöt – Mätning och vägledning för bedömning av komfort i byggnader"
- SS ISO 2631-1, "Vibration och stöt – Vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan – Del 1: Allmänna krav"
- SS 25211, "Vibration och stöt – Riktvärden och mätmetod för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning"
- TDOK 2017:0686, "Buller och vibrationer vid planering av Bebyggelse", 2018-10-19

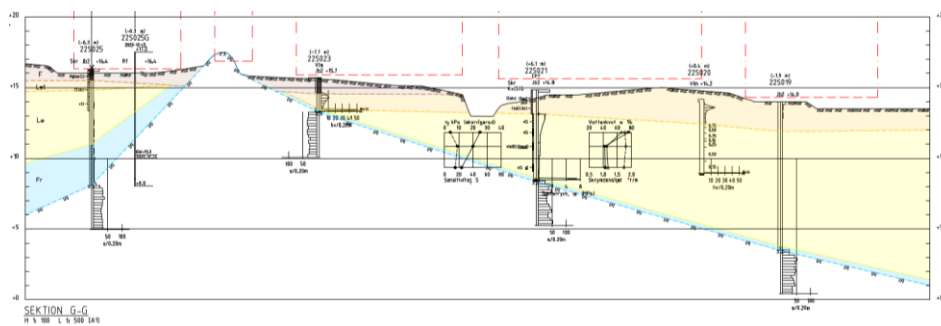
Referenser till vetenskaplig litteratur i löpande text hänvisas till referenslistan i kapitel 10.

5 Mätplan

Eftersom Enköpingsvägen är en befintlig väg kan markvibrationsnivåer mätas vid pågående trafik för att erhålla en representativ bild av vibrationerna på platsen.

Markvibrationer från vägtrafik uppstår främst där ojämnheter i vägen förekommer och på platser där lösa jordar förekommer ned till betydande djup under och i närhet till vägen. Det relevanta djupet beror på det lösa jordlagrets mäktighet och styvhet, vilket styr frekvensinnehållet av markvibrationerna som kan spridas som ytvågor. Markvibrationer genererade av vägtrafik har generellt ett huvudsakligt frekvensinnehåll i spannet 5 – 25 Hz [1]. Vibrationsnivåerna avtar med ökande avstånd från vägen, vilket innebär att risken för markinducerade vibrationer i byggnader är som störst för byggnaderna inom detaljplanen som är placerade närmast Enköpingsvägen.

Figur 2 ger en överblick över de tolkade jordlagerföljderna strax norr om Enköpingsvägen baserat på geotekniska undersökningar som utförts i läget för de planerade byggnadskropparnas södra fasader.



Figur 2: Jordlagertolkning i sektion strax norr och parallellt med Enköpingsvägen med tolkad torrskorpelera (orange), lera (gul) och morän (blå) från ritning 100G1233, MUR /Geoteknik.

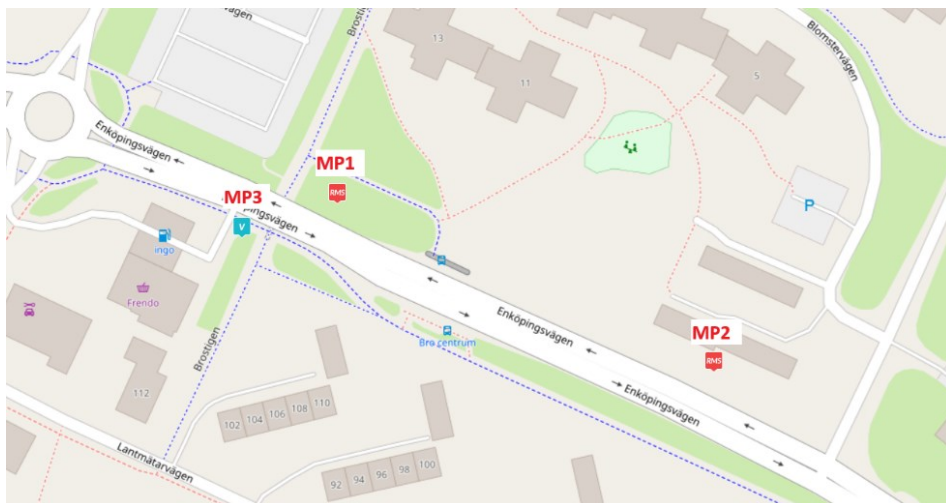
5.1 Placering av mätpunkter

Tre mätpunkter har placerats ut baserat på närhet av planerad bebyggelse till Enköpingsvägen samt de geotekniska förutsättningarna. Placeringen av punkterna längs Enköpingsvägen återfinns i Figur 3. Mätpunkterna MP1 och MP3 har placerats på vardera sida vägen i närheten av en plattrambo där jorddjupen är ca 5 m och MP2 har placerats där jorddjupet är ca 11 m. Övergången mellan väg och bro medför en styvhetsförändring, vilket kan ge upphov till vibrationer från fordonspassager.

Vid mätpunkt MP2 är jorddjupet som störst. Den lägsta frekvensen f_c som ger upphov till ytvågor kan för vattenmättad jord uppskattas från den lägsta frekvens där stående skjuvvågor uppstår i jordlagret:

$$f_c = \frac{C_s}{4h} \quad (1)$$

där C_s är skjuvvågshastigheten i jorden och h är djupet till berg. Baserat på de geotekniska undersökningarna skattas skjuvvågshastigheten för den lösa leran i intervallet 70 – 100 m/s, vilket medför en lägsta frekvens på 1.6 – 2.3 Hz för MP2 respektive 3.5 – 5.0 Hz för MP1 och MP3.



Figur 3: Mätpunkternas position i relation till Enköpingsvägen.

För att erhålla en representativ bild av vibrationerna från trafiken har mätningar utförts under mer än en veckas tid under en normal vecka.

5.2 Riktvärden

Olika typer av mätvärden används internationellt för att utvärdera vibrationer i byggnader. Även olika riktvärden för förnimmelse av vibration används. I Sverige används frekvensvägd vibrationshastighet v_W som utgångspunkt och dess kvadratiske medelvärde $v_{W,RMS}$ beräknad med tidskonstant 1 s för utvärdering enligt svensk standard SS 4604861:2022.

Tabell 1 kan användas som vägledning för utvärdering av icke tillfälliga störningar så som väg- eller järnvägstrafik.

Tabell 1: Exempel på effekter vid olika vibrationsnivåer (Tabell B.1, SS 4604861:2022).

Effekter	$v_{w,RMS}$ [mm/s]
Ungefärlig känseltröskel enligt SS-ISO 2631-1	0.2
Vibrationsnivå från tågtrafik där mätbar påverkan på sömn startar	0.4
Ungefär 1 av 3 personer är störda av vibrationer från tågtrafik	0.7

Trafikverket tillämpar nivån $v_{w,RMS} = 0.4$ mm/s som riktvärde vid planering av ny bebyggelse i närhet av statliga vägar och järnvägar.

Risken för byggsador utvärderas genom att beakta maximal svängningshastighet från trafik uppmätt under perioden. Mätresultaten jämförs med gränsen satt för vibrationer från packning för normala bostadsbyggnader av stål, armerad betong och/eller träkonstruktion vilket motsvarar ett gränsvärde 7.2 mm/s enligt SS 25211.

6 Mätssystem

6.1 Utrustning

Mätssystemet utgörs av två stycken triaxiella 4.5 Hz geofoner och tre vertikala 4.5 Hz geofoner kopplade till mätsystem av modell AvaTrace M80. Sensorerna fastskruvas i betongplattor av dimension 350 mm × 170 mm med 50 mm tjocklek, som för mätpunkterna MP1 och MP2 även utrustades med vertikala geofoner som fungerar som trigger. Plattorna har grävts ned till 0.5 m under befintlig markyta som återfylldes efter installation av sensorerna, se Figur 4. De triaxiella sensorerna har monterats med sensors longitudinella riktning mot söder vinkelrätt mot vägens längsriktning, transversalriktningen i vägens riktning (mot öster för MP1 och MP2, och mot väster för MP3) och vertikalriktningen riktad uppåt. För samtliga enheter har en samplingsfrekvens 6 kHz tillämpats. Tabell 2 sammanställer information angående mätsystemet.

Tabell 2: Mätutrustning använt vid de olika mätpunkterna.

Mät punkt	Typ	ID	Instrument	Avstånd till Enköpingsvägen [m]
MP1	Triaxiell Geofon G3	6642	AvaTrace M80 LTE 10988	8.5
	Vertikal Geofon G3	2570		
MP2	Triaxiell Geofon G3	1852	AvaTrace M80 LTE 5344	10
	Vertikal Geofon G3	2498		
MP3	Vertikal Geofon G3	3078	AvaTrace M80 LTE 5296	10



Figur 4: Uppställning för mätpunkt MP1 innan återfyllning.

6.2 Insamling och redovisning av data

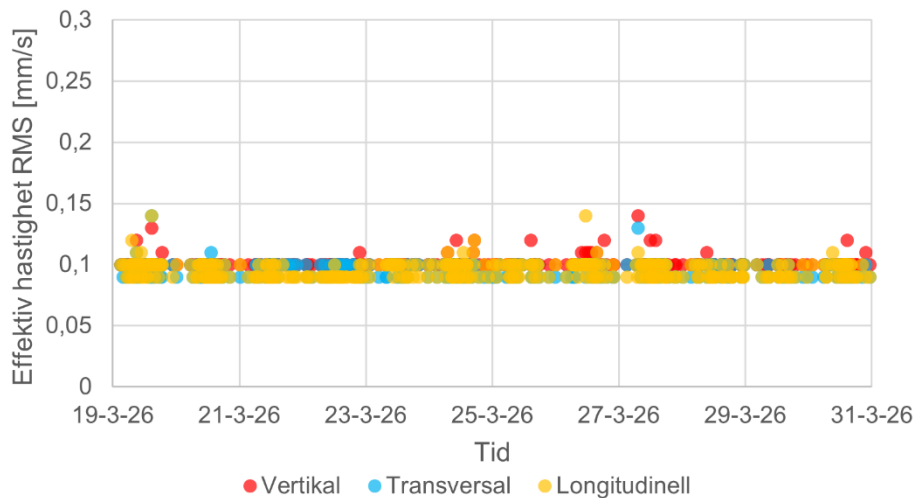
Vibrationsdata har registrerats kontinuerligt under tidsperioden 2026-03-19 – 2026-03-31. Data presenteras som effektivvärde av hastighet (v_W) och dess maximala kvadratiska medelvärde (RMS) ($v_{W,RMS}$) för varje timme för data insamlad från de triaxiella geofonerna i MP1 och MP2. Signalernas effektivvärden erhålls efter filtrering i enlighet med SS 4604861:2022. Signaler baserade på trigger-värden har även insamlats för att analysera vibrationernas maximala momentana värden samt frekvensinnehåll. Endast rådata insamlade baserat på trigger-värden har insamlats för MP3 där mätningar endast utförts i vertikalriktningen. Trigger-värdet för alla tre mätpunkter har satts till 0.2 mm/s. Triggersignalerna används för bedömning av risken för byggsador till följd av markvibrationer baserat på maximal svängningshastighet (PPV) samt för analys av signalernas frekvensinnehåll.

Frekvensinnehållet analyseras i frekvensintervallet 1 – 100 Hz vilket motsvarar det beaktade bandet för beräkning av v_W . För analys av tidssignaler och frekvensinnehåll har signalen kompenserats med avseende på geofonernas nominella egenfrekvens och dämpning [1].

7 Resultat

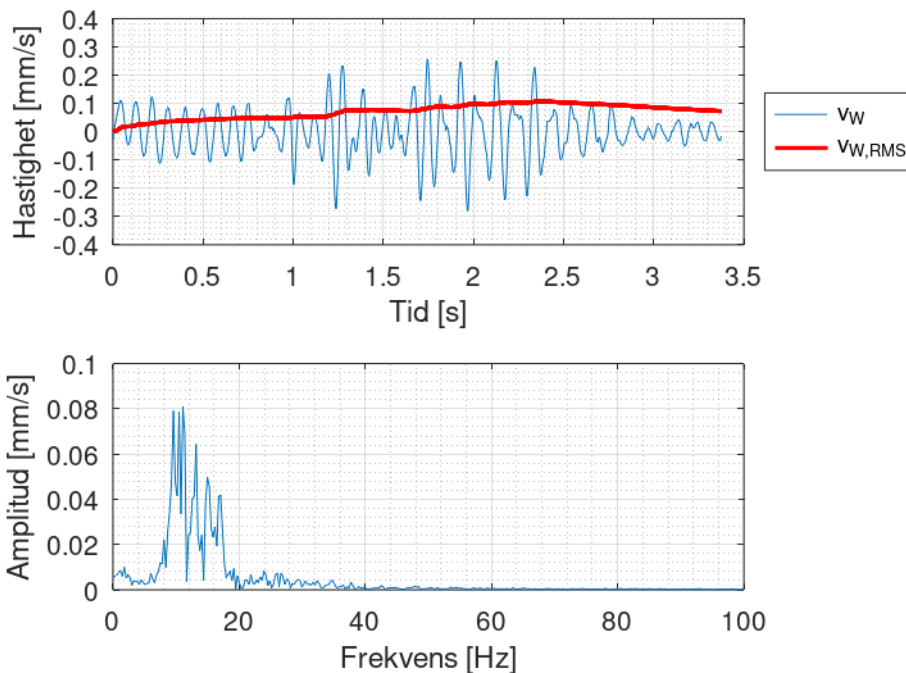
7.1 MP1

Figur 5 visar maximala kvadratiska medelvärden $v_{W,RMS}$ uppmätta inom varje timmesintervall under mätperioden. Mätvärden för alla tre riktningar understiger känsltröskeln för vibrationer i byggnader definierad i SS ISO 2631-1 som $v_{W,RMS} = 0.2 \text{ mm/s}$. Maximal svängningshastighet under mätperioden är 0.49 mm/s PPV .



Figur 5: Effektivvärden för hastighet v_{RMS} i MP1 utvärderade för varje timme.

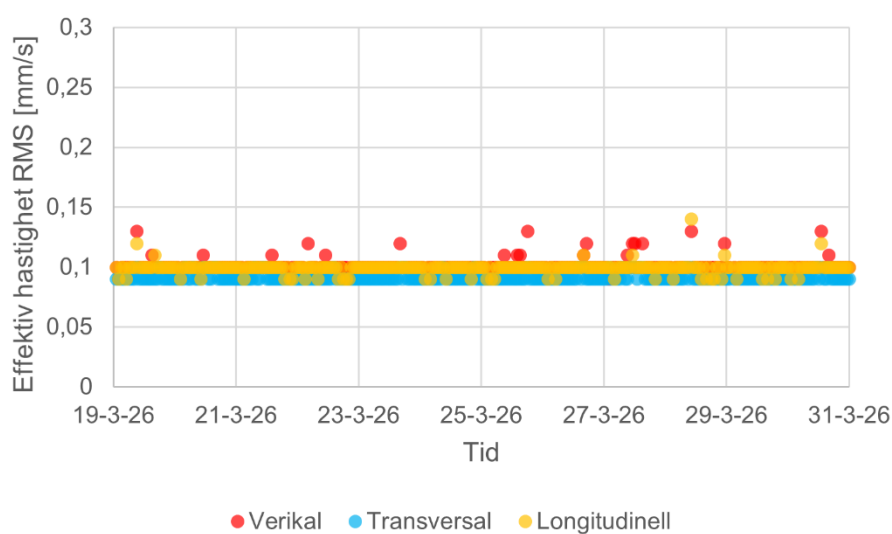
Figur 6 ger ett exempel på en typisk tidssignal registrerad i MP1 med ett maximalt värde $v_{W,RMS} = 0.11 \text{ mm/s}$. Signalens frekvensinnehåll är koncentrerat mellan $8 - 20 \text{ Hz}$.



Figur 6: Exempel på registrerad tidssignal, dess löpande RMS-värde och dess frekvensinnehåll för vertikalriktningen i mätpunkt MP1.

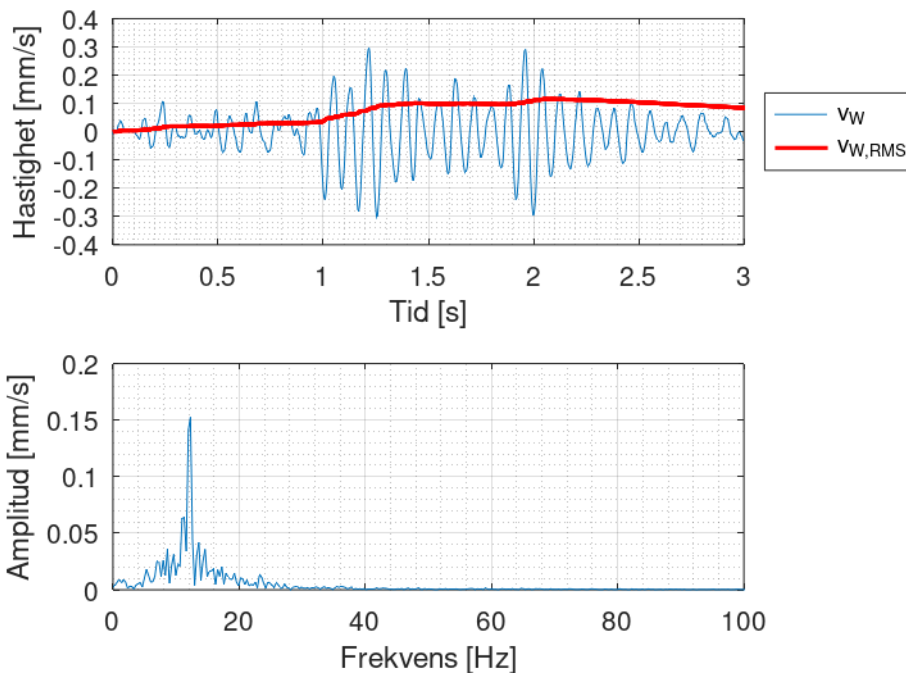
7.2 MP2

Figur 7 visar maximala kvadratiska medelvärden uppmätta inom varje timmesintervall under mätperioden. Mätvärden för alla tre riktningar understiger känsletröskeln för vibrationer i byggnader definierad i enligt SS ISO 2631-1 som $v_{W,RMS} = 0.2 \text{ mm/s}$. Maximal svängningshastighet under mätperioden är 0.51 mm/s PPV.



Figur 7: Effektivvärden för hastighet v_{RMS} i MP2 utvärderade för varje timme.

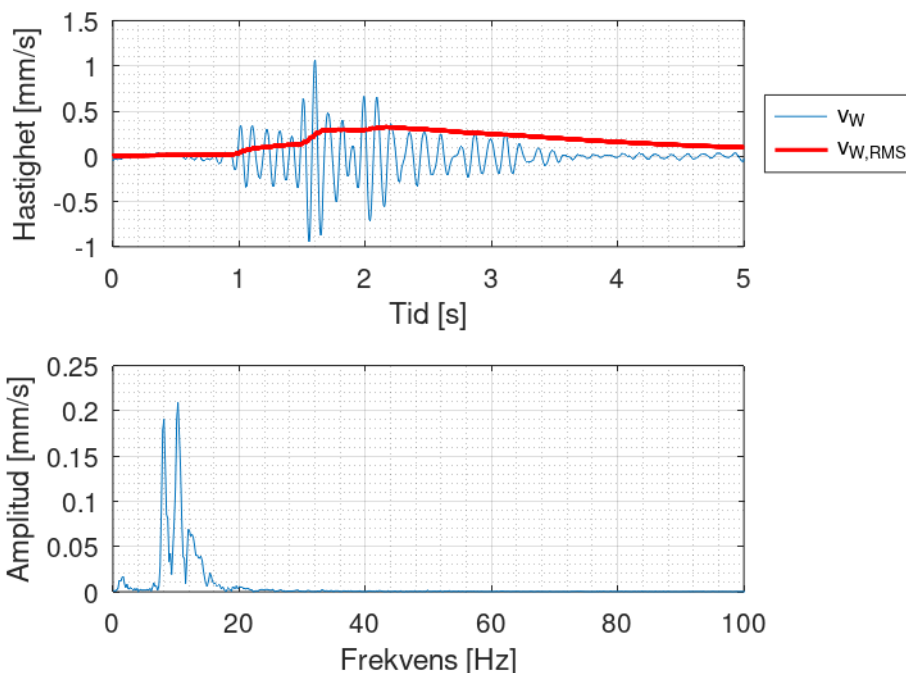
Figur 8 visar ett exempel på en typisk tidssignal registrerad i MP2 med ett maximalt värde $v_{W,RMS} = 0.12$ mm/s. Signalens frekvensinnehåll är likt signalen i Figur 6 koncentrerat mellan 8 – 20 Hz men har en distinkt topp kring 12 Hz.



Figur 8: Exempel på registrerad tidssignal, dess löpande RMS-värde och dess frekvensinnehåll för vertikalriktningen i mät punkt MP2.

7.3 MP3

Figur 9 presenterar den maximala responsen uppmätt i MP3 under mätperioden med ett maximalt värde $v_{W,RMS} = 0.32$ mm/s vilket understiger riktvärdet $v_{W,RMS} = 0.4$ mm/s som tillämpas av Trafikverket, där mätbar störning av sömn sker enligt SS ISO 2631-1. Signalens frekvensinnehåll är koncentrerat mellan 8 – 20 Hz men har två distinkta toppar kring 8 och 10 Hz. Maximal svängningshastighet är 1.05 mm/s PPV. Det ska noteras att denna signal motsvarar den högst uppmätta under mätperioden och utmärker sig bland de registrerade signalerna. Övriga data överensstämmer i stort med värden $v_{W,RMS} \leq 0.2$ mm/s uppmätt i MP1 och MP2 presenterade i Figur 5 och Figur 7.



Figur 9: Tidssignal, dess löpande RMS-värde och dess frekvensinnehåll för vertikalriktningen i mätpunkt MP3 för signalen med störst amplitud över mätperioden.

8 Analys

8.1 Risk för skador på byggnader

Baserat på de maximala svängningshastigheterna under mätperioden förefaller det inte föreligga någon risk för byggsador. Maximal svängningshastighet 1.05 mm/s har uppmätts i MP3 vilket understiger gränsvärdet 7.2 mm/s.

8.2 Överföring av vibrationer till byggnader

Markvibrationer som registreras vid markytan ger en indikation av vibrationsnivåer på platsen. Vibrationer som uppstår i byggnader till följd av vägtrafik beror dock inte bara på vägens utformning och markens beskaffenhet utan även av utformningen av framförallt byggnadens grundläggning och bjälklag. Vid mätning av vibrationer i byggnader dominerar oftast den vertikala komponenten vid mätning på fribärande delar av byggnadens bjälklag.

Överföringen från marken till en byggnads grund ger upphov till en reduktion av vibrationerna i relation till de som registreras vid markytan. Storleken av denna reduktion beror på typen av grundläggning, byggnadens area, jordens styvhet, vibrationernas riktning och frekvensinnehåll.

I det aktuella området har geotekniska utredningar visat på förekomst av lös lera och grundläggning med spetsburna pålar har föreslagits för byggnaderna närmast Enköpingsvägen. Överföringen av vertikala vibrationer till spetsburna pålar kan uppskattas genom att betrakta överföringen till en enskild påle [2]. En reduktionsfaktor kan erhållas baserat på pålens slankhet h/d och dess styvhet relativt jordens E_p/E_s [4, 5]:

$$\bar{I}_v = 0.578 \left(\frac{h}{d} \right) \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{-0.6} - 0.034 \quad (2)$$

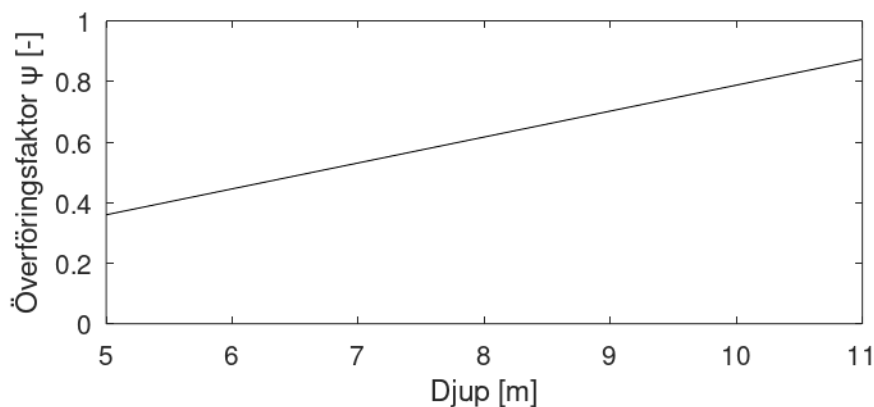
För prefabricerade betongpålar med ett kvadratisk tvärsnitt 235 mm × 235 mm med elasticitetsmodul $E_p = 40$ GPa installerade i lös lera med skjuvvågsfart mellan $70 \text{ m/s} \leq C_s \leq 100 \text{ m/s}$ återfinns den relativa styvheten i intervallet $700 \leq E_p/E_s \leq 1500$. För det studerade området varierar djupet till fast botten mellan ca 5 – 11 m, vilket ger ett intervall för pålarnas slankhet $19 \leq h/d \leq 41$, baserat på en ekvivalent påldiameter $d = 2 \cdot 235/\sqrt{\pi} = 265$ mm.

Vibrationerna kan å andra sidan förstärkas i byggnader på grund av bjälklagsresonanser. Dessa beror på bjälklagens utformning och styrs av bjälklagens böjstyvhet och massa. Därmed påverkar spännvidd och material indirekt bjälklagens egenfrekvenser. Vanligtvis har bjälklag i flervåningshus egenfrekvenser mellan ca 15 – 20 Hz för träbjälklag och 20 – 30 Hz för betongbjälklag, men dessa kan variera utanför intervallen beroende på utformning [5]. Globala horisontella egenfrekvenser med störst förstärkning återfinns vanligtvis vid frekvenser under 5 Hz. Resonanser ger upphov till förstärkning som också kan variera starkt beroende på position och dämpning, men kan uppskattas vara i storleksordningen 6 dB vilket motsvarar en förstöringsfaktor $\alpha \approx 2$.

Kombinationen av grundläggningens inverkan och bjälklagens förstärkningar vid resonans ger en skattad överföringsfaktor:

$$\psi = \alpha \bar{I}_v \quad (3)$$

vilken används för att uppskatta vertikala vibrationer i byggnaderna. Denna faktor beror endast av jorddjupet och varierar därför linjärt längs Enköpingsvägen mellan positionerna för MP3 och MP2. Variationen av den skattade överföringsfaktorn med jorddjup illustreras i Figur 10.



Figur 10: Reduktionsfaktor som funktion av djup till fast botten längs med Enköpingsvägen mellan MP3 och MP2.

Tabell 3 sammanställer de maximala mätvärdena och de resulterande skattade vertikala vibrationsnivåerna. Reduktionen vid överföring till byggnadernas grundläggning medför att risken för problem med kännbara vibrationer i de planerade husen är låg baserat på att varken tröskelvärdet $v_{W,RMS} = 0.2$ mm/s eller riktvärdet $v_{W,RMS} = 0.4$ mm/s överskrids för någon av mätpunkterna.

Tabell 3: Sammanställning av maximala och reducerade RMS-värden.

Mätpunkt	Maximal $v_{W,RMS}$ [mm/s]	Överföringsfaktor ψ [-]	Reducerad $\psi v_{W,RMS}$ [mm/s]
MP1	0.14	0.36	0.05
MP2	0.14	0.87	0.12
MP3	0.32	0.36	0.12

9 Rekommendationer

Baserat på utförda mätningar förväntas nivåer för kännbara vibrationer inte överskridas i de planerade byggnaderna närmast Enköpingsvägen eller i övriga hus inom detaljplanen. Inga särskilda föreskrifter med avseende på omgivningsvibrationer bedöms därför nödvändiga att införa i detaljplanen. På grund av betydande osäkerheter rörande inverkan av byggnadernas utformning bör byggherren åläggas ansvaret för beaktande av detta vid projektering.

Denna rekommendation baserat på följande antaganden:

- Byggnader som uppförs närmast Enköpingsvägen grundläggs med spetsburna pålar.
- Nuvarande trafiksituation är representativ för framtida trafikering av Enköpingsvägen. En ökad mängd tung trafik, tyngre tillåten trafik och högre hastigheter kan leda till högre nivåer av markvibrationer.
- Vägunderhåll utförs kontinuerligt så att vägens nuvarande skick bibehålls.
- Inga förändringar av vägens utformning sker som innebär risk för generering av högre nivåer av markvibrationer som exempelvis införande av farthinder.

Vid avvikelser från dessa förutsättningar bör kompletterande utredningar utföras.

10 Referenser

- [1] G. R. Watts, "CASE STUDIES OF THE EFFECTS OF TRAFFIC INDUCED VIBRATIONS ON HERITAGE BUILDINGS," 1988.
- [2] R. Brincker, T. L. Lagö, P. Andersen och C. Ventura, "Improving the Classical Geophone Sensor Element by Digital Correction," 2005.
- [3] F. Theland, G. Lombaert, S. François, A. Zangeneh, F. Deckner och J.-M. Battini, "The influence of pile-soil-pile interaction on the vertical response of end-bearing pile groups in soil on bedrock subjected to a vertical load at the soil's surface," *Transportation Geotechnics*, p. 101525, 2025.
- [4] F. Theland, G. Lombaert, S. François, A. Zangeneh, F. Deckner och J.-M. Battini, "Design procedure for estimating the vertical response of end-bearing piles from free field vibrations produced by a nearby surface load," *Structures*, p. 108063, 2025.
- [5] F. Theland, G. Lombaert, S. François, A. Zangeneh, F. Deckner och J.-M. Battini, "Measurements and predictions of vibration response of end-bearing pile group in soft clay due to vertical ground surface load," *Engineering Structures*, p. 119932, 2025.
- [6] Federal Transit Administration, "Transit Noise and Vibration Impact, FTA Report No. 0123," 2018.