

Teknikspecifikt PM för Detaljplan

ANALYS OCH REKOMMENDATIONER INFÖR DETALJPLAN,
NÖDINGE, ALE KOMMUN

Vibrationsutredning

Teknikansvarig
Mats Hammarqvist
Teknikområde

Datum
2022-05-30
Version
Rev04

Projekt ID
741924

Rapport-ID
Vibrationsutredning
Kund
Ale Kommun

Vibrationsutredning

Teknikspecifikt PM för Detaljplan

**ANALYS OCH REKOMMENDATIONER INFÖR
DETALJPLAN, NÖDINGE, ALE KOMMUN**

Innehållsförteckning

1	Underlag	7
1.1	Geoteknik.....	7
2	Metod	9
2.1	Mätningar.....	12
2.1.1	Slutsats och kommentarer mätningar	17
2.2	Beräkningar.....	18
2.2.1	Spårburen trafik.....	18
2.2.2	Vägtrafik.....	31
3	Riktvärden.....	32
3.1	Riktvärden Svensk Standard	32
3.2	Riktlinjer Trafikverket	33
4	Slutsats.....	34
4.1	Projektering av bostadsbyggnader.....	34
4.2	Projektering av grundläggning	35
4.3	Projektering av närliggande gator.....	35
4.4	Behov av hänsyn till vibrationerna i fortsatt projektering.....	35
4.5	Bedömningsgrund	36

Bilagor

inga

Sammanfattning

Det förekommer vibrationer i marken som innebär hänsyn till detta krävs vid projektering av gator, byggnader och grundläggning. Järnvägen är den dominerande vibrationskällan.

För bostäder i de kvarter som är närmast järnvägen behöver byggnaderna utformas så att ingen förstärkning av vibrationerna från mark/byggnadsgrund gör att 0,4 mm/s RMS överskrids i bjälklagen.

Utifrån mätningar i mark och byggnadsgrund har vibrationsnivån 0,6 mm/s RMS beräknats med förstärkningsfaktorer redovisade i avsnitt 2.2.1.1. Förstärkning upp i byggnaden baserades på observerade förstärkningar i andra projekt (2.2.1.1 Metod 1). Observera att detta resultat redan förutsätter grundläggning med spetsburna pålar, betongstomme och spännvidder på högst 8 meter. Detta är alltså inte åtgärder som kan antas sänka de beräknade nivåerna ytterligare, då de redan är medräknade. Ytterligare åtgärder kommer krävas.

För att få en uppfattning om hur vertikala och horisontella vibrationer förstärktes upp i byggnaden för aktuell konstruktion gjordes även beräkningar med modalanalys (se avsnitt 2.2.1.1 Metod 2) baserat på 20 meter pålar, 10 våningsplan, 250 mm tjocka betongbjälklag, med 200 mm tjocka lägenhetsskiljande betongväggar. Fasaden har antagits utgöras av utfackningsväggar med VKR-pelare, men en styvare fasad skulle med stor sannolikhet vara positivt. Beräkningarna visade att en lägre förstärkning än Metod 1 kan klaras och med de erhållna förstärkningarna skulle 0,4 mm/s ej överskridas. Med fasad i betong som till exempel sandwich-element bedöms värden vid fasad bli likvärdiga.

En FEM-modell för vibrationsberäkningar, baserad på aktuella ritningar för bostadsbyggnaderna bör tas fram under projekteringen för att kunna se var vibrationerna förstärks som mest och med hur mycket. Visar det sig då att de beräknade vibrationerna ligger över 0,4 mm/s RMS så måste åtgärder dimensioneras så att 0,4 mm/s RMS klaras. Exempel på sådana åtgärder kan vara förstärkta konstruktioner på delar av byggnaden, såsom förstärkta ytterväggar, förkortade spännvidder eller förstyvande konstruktioner så att det inte uppstår förstärkningar som medför nivåer över 0,4 mm/s RMS. Se avsnitt 4.4 nedan för mer detaljer.

Med sådana anpassningar bör det gå att klara 0,4 mm/s RMS, men det måste verifieras med FEM-beräkningar för planerad utformning av byggnaden från ett större underlag av vibrationsmätningar.

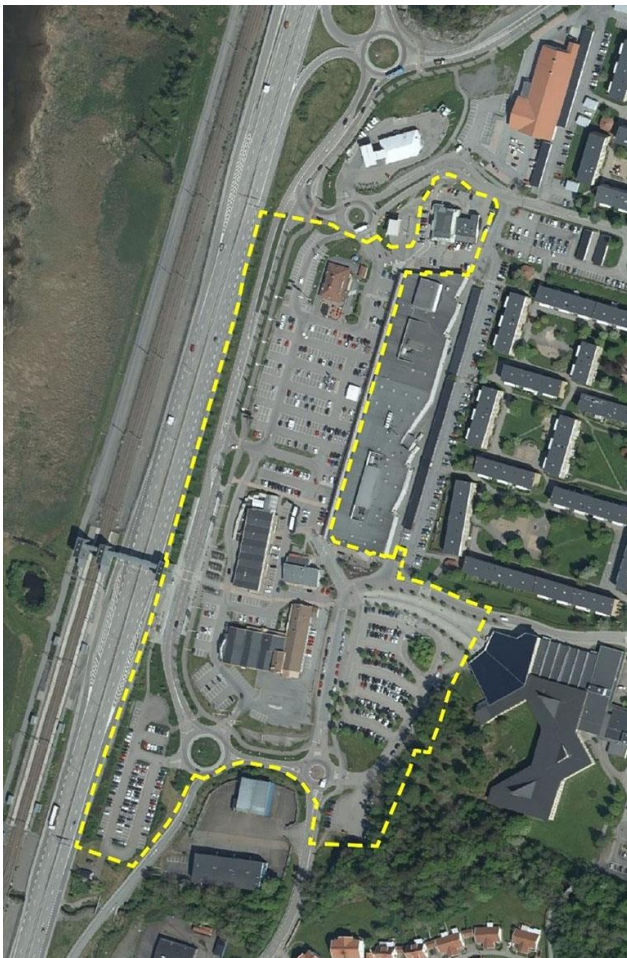
Bakgrund

Ale kommun har ett pågående planarbete för Nödinge centrum.

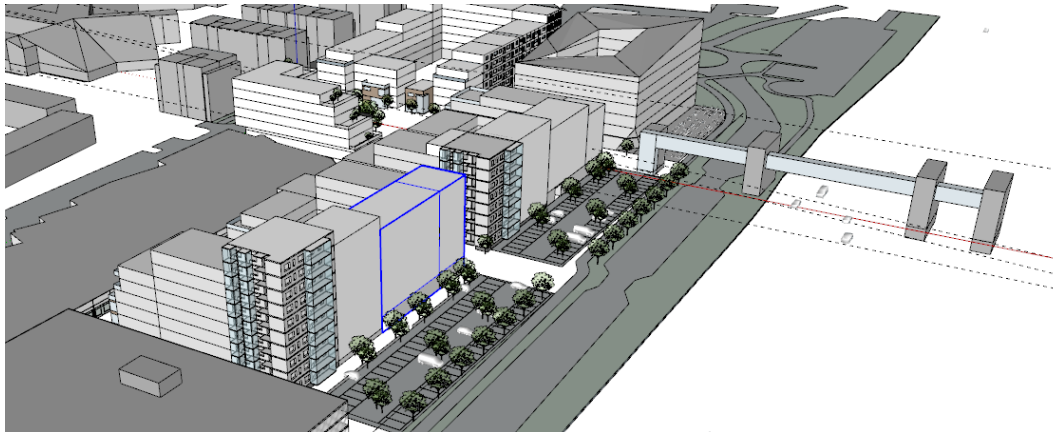
Planområdet är beläget i centrala Nödinge strax öster om väg E45, i direkt anslutning till Nödinge pendeltågstation. Området är plant och består i huvudsak av hårdgjorda ytor och bebyggelse för centrum- och verksamhetsändamål. Planområdet är cirka 7 hektar stort. Marken ägs i huvudsak av Ale kommun och Balder fastighets AB. Delar av planområdet har markanvisats till Alebyggen och Peab.

Detaljplanens syfte är att pröva lämpligheten av planområdet för i huvudsak centrumändamål, bostäder och kontor samt parkering. Syftet är också att skapa en sammanhängande småstadsstruktur med välutformade byggnader och platser samt att förstärka kopplingen till stationsområdet.

Efterklang (del av AFRY) har fått i uppdrag att komplettera underlaget med en vibrationsutredning baserat på de vibrationsmätningar som utförts på platsen som redovisas i rapport 741924, "VIBRATIONSUTREDNING INFÖR DETALJPLAN, NÖDINGE, ALE KOMMUN", 2022-05-30. Som en del i detaljplanarbetet har Efterklang utrett hur vibrationer från omkringliggande infrastruktur, främst järnvägen, påverkar om planen är genomförbar med hänsyn till vibrationer och om bebyggelse behöver anpassas med avseende på vibrationer.

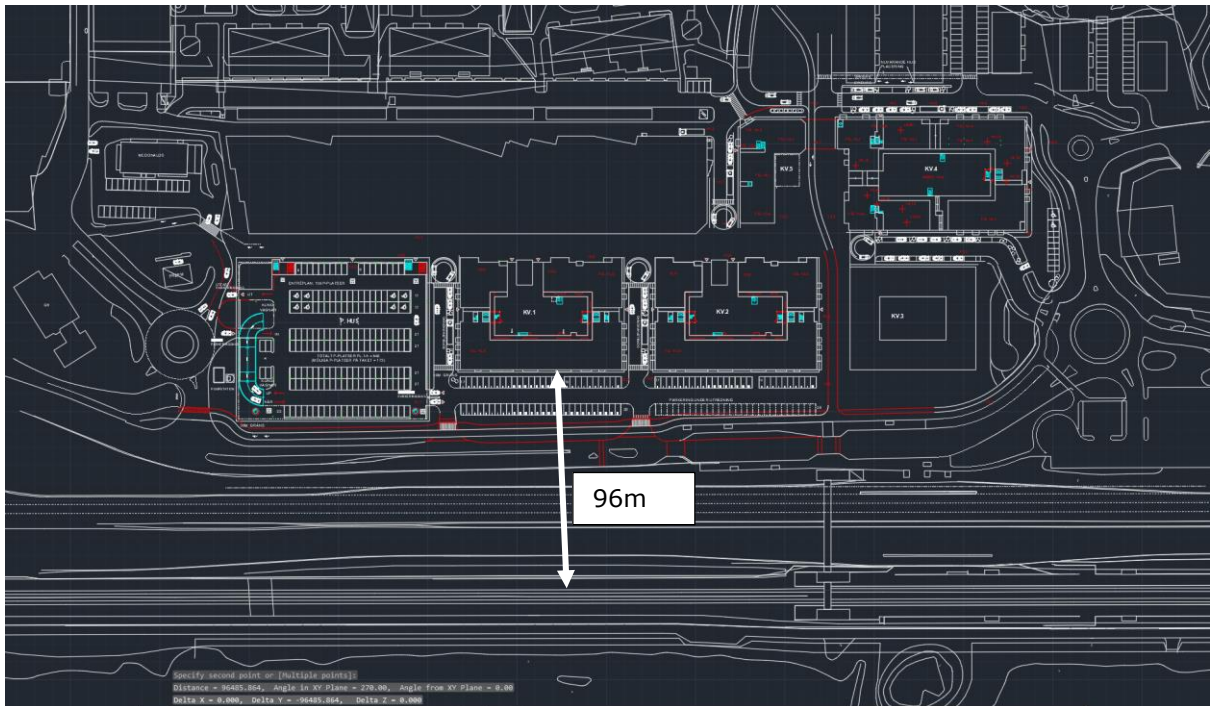


Figur 1. Utredningsområde markerad med gul streckad linje.

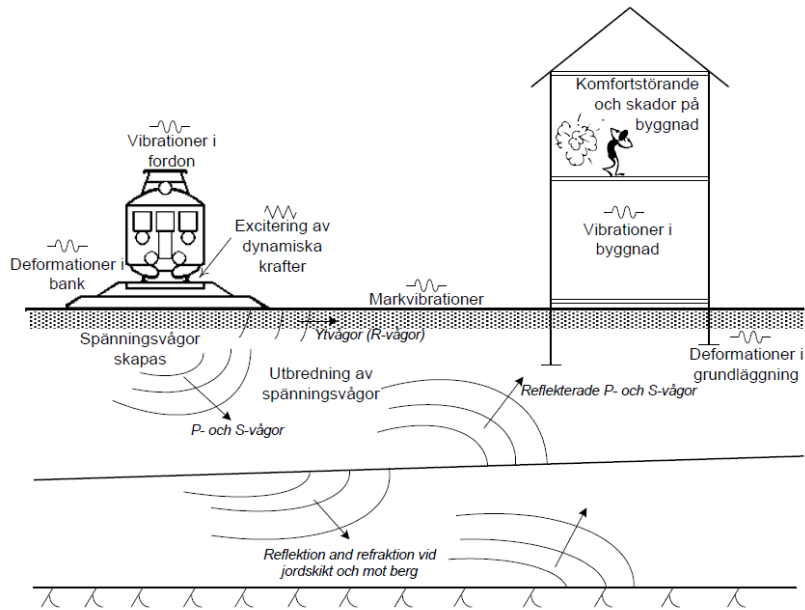


Figur 2. Tidig illustration av området med järnvägen cirka 96 meter från planerade bostäder

Bostäderna planeras vara 10 våningar.



Planerade bostäder. Kv.1, KV.2 och Kv. 3 ca 96 meter från spåret. Kv 4, Kv 5 är placerade ca 158 meter från spår. Dvs närmaste bostad ca 96 meter från spår.



Figur 3. Schematisk beskrivning hur vibrationer i mark uppstår från fordonet och överförs till byggnad (Källa: Jord- och bergdynamik, IVA Rapport 206)

1 Underlag

- Rapport 741924, "VIBRATIONSUTREDNING INFÖR DETALJPLAN, NÖDINGE, ALE KOMMUN", 2022-05-19, Efterklang
- Byggnadsritningar "Ale Torg_2022_05_12.zip", erhållna av Arkitektbyrå design 2022-05-12.

1.1 Geoteknik

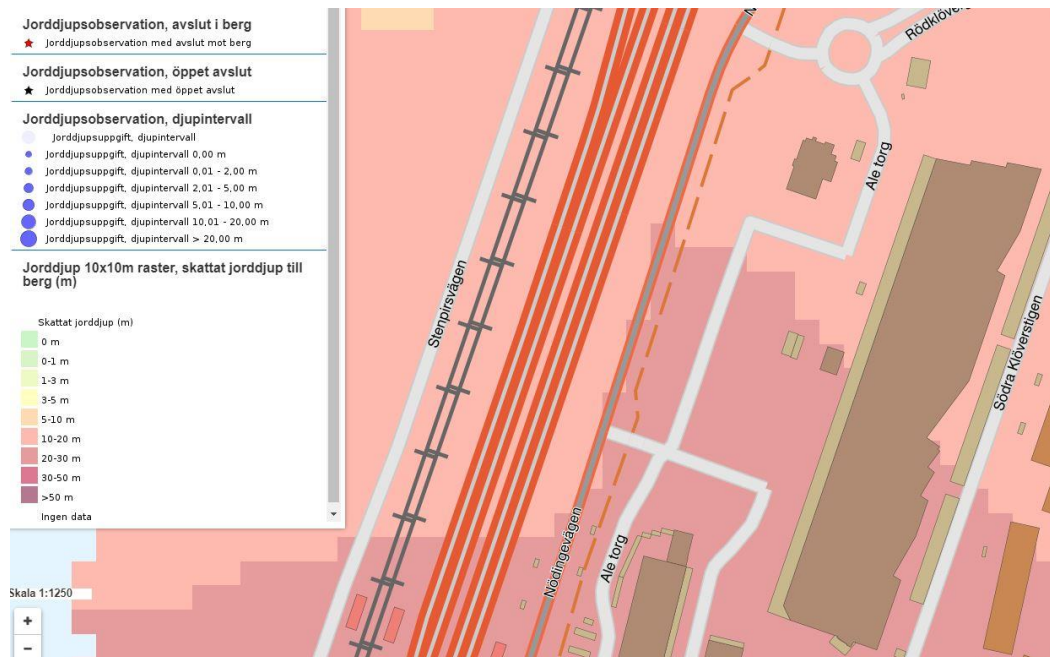
Följande underlag har använts för att avgöra geotekniska förutsättningar för vibrationsutredningen:

- Teknisk PM Geoteknik GEOTEKNIK, upprättad av NollTre Konsult AB med uppdragsnummer 6011-1801, daterad 2018-12-14
- "Ale Torg, Markteknisk undersökningsrapport, MUR" upprättad av NollTre Konsult AB med uppdragsnummer 6011-1801, daterad 2018-12-14.
- Teknisk PM Geoteknik GEOTEKNIK, NollTre Konsult AB, PM-002 Göteborg 2021-01-31 (Endast del av områdets sydöstra del)
- SGU:s Kartvisare "Jordarter 1:25 000–1:100 000"
- SGU:s Kartvisare , Jorddjup
- https://gis.swedgeo.se/metodik_kvicklera/



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).

 Postglacial lera



Figur 5 SGU - jorddjupskarta (10-30 meter på platsen)

Vid kontroll för risk för kvicklera så anges att detta vara ett område där kvicklera förekommer. Närmare Göta älv finns område med gyttja, kärrtorv och svämsediment vilket kan påverka vibrationsspridningen då järnvägen ligger i detta område.

Jorddjupet inom området för bostäder och järnväg är 10-35 meter. Detta är ett jorddjup som utifrån Trafikverkets databas med mätningar ofta är kopplat till förekomst av höga vibrationshastigheter från järnväg, ref. Ground and building

vibration estimation for health impact research, Occupational and environmental medicine, Sahlgrenska Academy.

Lerans skjuvhållfasthet varierar mellan att vara extremt låg till låg och ökar med djupet inom området.

Järnvägen är grundlagd på kalkcementpelare vilket påverkar vibrationer till omgivningen (halverar vibrationshastigheter) samt har på vissa sträckor lättfyllning under järnvägen med osäker påverkan på vibrationer till omgivning.

2 Metod

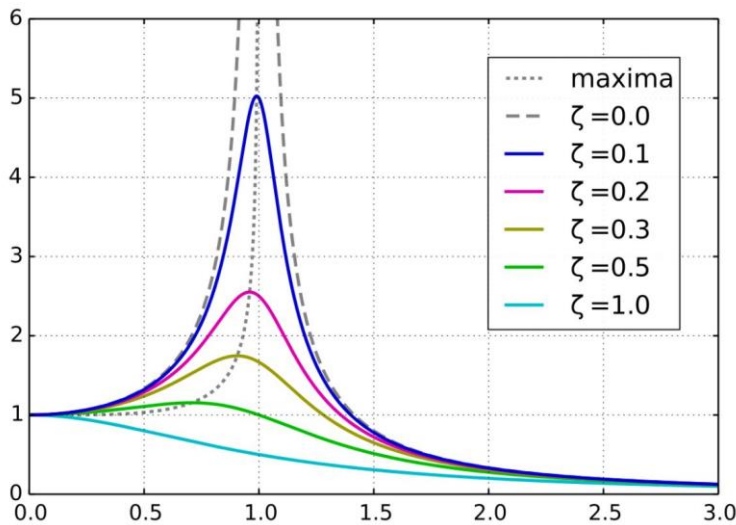
Utredningen har valt att göra mätningar av vibrationshastigheter från järnvägstrafiken. Avståndskorrigerad har utförts med egenutvecklad semi-empirisk beräkningsmodell.

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

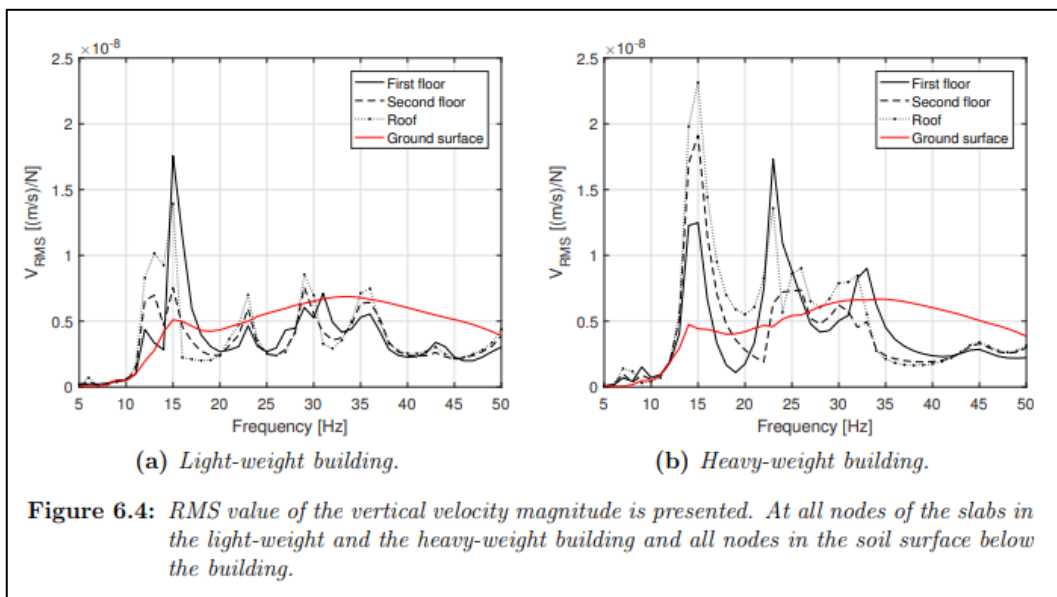
För att bedöma risken för vibrationer i framtida byggnader har vi inventerat vilken så kallad förstärkningsfaktor som normalt kan förekomma vid byggnader. En generell utredning som sammanställer detta är "Analysis and Estimation of Residential Vibration Exposure from Railway Traffic in Sweden", Chalmers/TrV, (Arnesson, Analysis and Estimation of Residential Vibration Exposure from Railway Traffic in Sweden, 2016) som innehåller en sammanställning av mätningar inom ett mycket stort antal hus längs Sveriges järnvägar. Förstärkningsfaktor Q har i denna utredning visat sig vara som mest ca $Q = 1,5$.

Det finns fall då förstärkningsfaktorn kan vara så stor som $Q = 10$ i nästan odämpade konstruktioner (Figur 6). Det kan dock konstateras att då denna redovisas i NT ACOU 082 Buildings: "Vibration and shock, evaluation of annoyance" så avser den överföringen från hussockel till våningsplan (där överföringsfaktorn kan bli större och mer osäker). Vi brukar anta att bjälklag kan ha en överföringsfaktor relativt mark på $Q=3-4$ vid lätt byggnad/ trähus med regelstomme (Figur 7) och kring $Q = 2$ för betongstommar för flerbostadshus. Detta är värden med stor standardavvikelse och bedöms som ett konservativt antagande. Värdena grundar sig dels på Trafikverkets inventeringar där de utrett överföringsfaktorer för ett stort antal från mark till byggnad, dels på examensarbete från Lunds Universitet (Rickard Torndahl, 2017). Trafikverkets utredning anger lägre överföringsfaktor i normalfallet. Vi förutsätter alltså en något ofördelaktig anpassning av byggnadens egenfrekvenser och markens egenfrekvenser.

I detta fall har vi antagit högre överföringsfaktor Q mellan mark och övre bjälklag för att ta hänsyn till att det är ett relativt högt flerbostadshus (se avsnitt 2.2.1.1).



Figur 6 Amplitudrespons för ett enfrihetsgradssystem vid en **kontinuerlig** harmonisk vibration vid diskreta frekvenser ω/ω_0 beroende av dämpningskvot (dämpning relativt kritisk dämpning).



Figur 7 Exempel på beräkningsmässig respons hos lätt relativt tung byggnad med pelare och bjälklag i betong. Röd linje avser vibrationshastighet i mark. (Rickard Torndahl, 2017)

Husets respons förutsätter att hus är utformat enligt följande eller likvärdigt dokument:

- Design of floor structures for human induced vibrations, JRC – ECCS cooperation
- Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk - Byggnaders samt gång- och cykelbroars brukbarhet med hänsyn till svängningar och vibrationer ISO 10137:2007, IDT)- SS-ISO 10137:2008

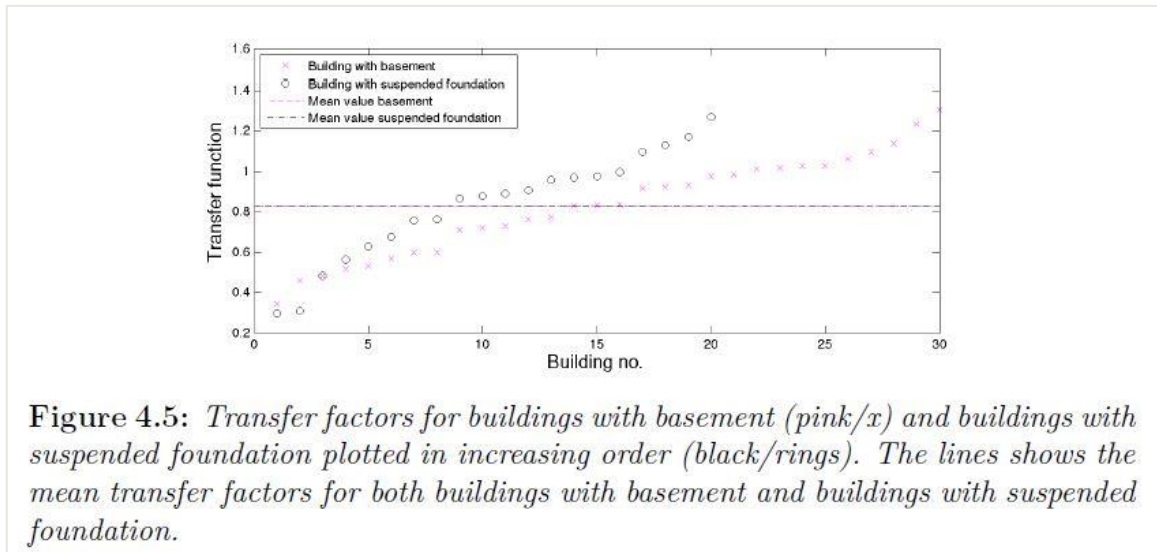


Figure 4.5: Transfer factors for buildings with basement (pink/x) and buildings with suspended foundation plotted in increasing order (black/rings). The lines shows the mean transfer factors for both buildings with basement and buildings with suspended foundation.

Figur 8 Uppmätt förstärkningsfaktor i 52 hus i svensk geologi. Stor inventering utförd på uppdrag av Trafikverket (Arnesson, Analysis and Estimation of Residential Vibration Exposure from Railway Traffic in Sweden, 2016). Notera att det endast är en delmängd av husen som är flerbostadshus.

Orsaken till val av metod är följande:

- Då det finns en befintlig järnväg och vägtrafik så är det enklast att mäta vibrationshastigheter på plats.
- Mätningar får med åtgärder utförda vid järnväg och geotekniska förutsättningar på plats
- Att göra en analytisk modell i FEM eller liknande är en omfattande arbetsuppgift som är känslig för val av ingående material, bärande stomsystem och knutpunkters egenskaper. Detta är dock något som bör göras under projekteringen för att verifiera vibrationer i bjälklag på olika våningsplan och för att kunna dimensionera eventuellt nödvändiga åtgärder för att dämpa vibrationerna, exempelvis förstärkning av vissa ytterväggar eller bjälklag.

En nackdel med mätningar är att mätningar endast redovisar vibrationshastigheter på den plats där mätningen utförs. Beräkning krävs ändå för att bedöma hur mätpunktens värde förhåller sig till vibrationshastighet i framtida byggnad. Detta är en komplex uppgift och grundar sig på en lång tids empiri från mätningar och beräkningar på olika konstruktioner och jordar.

Bedömning av förstärkningsfaktorer varierar mellan olika byggnader. Vi har genom utförd inventering av typiska förstärkningsfaktorer valt ett värde som vi bedömer ligga på säkra sidan.

Beräkning med enklare beräkningsmodell har utförts för att bedöma risk för vibrationer från järnväg och rimlighet i mätningar och antagande i denna utredning.

Parametrar som tas hänsyn till i beräkningarna är avstånd mellan källa och mottagare och mellan mätpunkt och planerad byggnad, järnvägens egenskaper, markens egenskaper och överföringsfaktor mark till byggnad. För beräkning av vibrationer i bjälklag utifrån uppmätta nivåer i mark tas hänsyn till grundläggning (spetsburna pålar), material för stomme, spännvidder på bjälklag och antal våningsplan.

2.1 Mätningar

Mätningar redovisas i rapport 741924, "VIBRATIONSUTREDNING INFÖR DETALJPLAN, NÖDINGE, ALE KOMMUN", 2022-01-10.

Mätresultat redovisar de 10 högsta tågpassagerna i respektive riktning per mätpunkt. MP1 (McDonalds) har tagits bort då det var väldigt många störningar där från passerande bilar vilket visar att även gatutrafik kan påverka på korta avstånd.

MP5 var ej monterad på korrekt vis, istället för att monteras på en tung markplatta som grävdes ned var den monterad på en lättare mätplatta avsedd för inomhusbruk, något som vid andra mätningar gett upphov till oväntat höga nivåer i horisontalled. MP5 har ersatts av mätpunkterna MP6-MP8, som monterades på tung mätplatta, som uppfyller villkor från ISO 4866.

I övrigt är mätningar utförda i byggnadssockel vilket brukar ge ett något lägre värde än motsvarande mätning i mark.

Tabell 1. MP2, högsta registreringar av vibrationshastigheter i mm/s RMS i respektive riktning.

MP2				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2021-04-15 15:06:00	0,08	0,005	0,01	3-4.5 Hz
2021-04-09 23:00:00	0,06	0,005	0,005	-
2021-04-15 19:24:00	0,06	0,01	0,01	2.5 Hz
2021-04-12 06:54:00	0,055	0,01	0,01	-
2021-04-09 19:02:00	0,05	0,005	0,01	-
2021-04-13 16:32:00	0,05	0,01	0,015	2-4 Hz
2021-04-14 09:58:00	0,05	0,01	0,02	2Hz, 3.5 Hz
2021-04-16 21:26:00	0,05	0,005	0,01	
2021-04-12 11:00:00	0,045	0,005	0,005	
2021-04-12 19:32:00	0,045	0,01	0,01	
MP2				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2021-04-14 08:22:00	0,03	0,025	0,015	
2021-04-12 15:56:00	0,03	0,015	0,025	
2021-04-14 04:56:00	0,03	0,015	0,015	
2021-04-16 19:34:00	0,02	0,015	0,085	
2021-04-19 07:38:00	0,02	0,015	0,005	
2021-04-17 09:54:00	0,005	0,015	0,015	
2021-04-15 19:24:00	0,06	0,01	0,01	
2021-04-12 06:54:00	0,055	0,01	0,01	
2021-04-13 16:32:00	0,05	0,01	0,015	
2021-04-14 09:58:00	0,05	0,01	0,02	
MP2				

<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
2021-04-12 15:56:00	0,03	0,015	0,025
2021-04-18 19:54:00	0,01	0,005	0,025
2021-04-14 19:48:00	0,005	0,005	0,025
2021-04-14 09:58:00	0,05	0,01	0,02
2021-04-11 15:32:00	0,015	0,005	0,02
2021-04-14 08:22:00	0,03	0,025	0,015
2021-04-14 04:56:00	0,03	0,015	0,015
2021-04-17 09:54:00	0,005	0,015	0,015

Tabell 2. MP3, högsta registreringar av vibrationshastigheter i mm/s RMS i respektive riktning.

MP3					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>	
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>		
2021-04-15 19:24:00	0,31	0,015	0,035	2.5 Hz	
2021-04-13 08:00:00	0,255	0,015	0,03	3.5 Hz, 3.65 Hz	
2021-04-12 06:54:00	0,225	0,015	0,02	-	
2021-04-09 19:02:00	0,21	0,01	0,025	-	
2021-04-16 19:58:00	0,155	0,01	0,015	1.9 Hz	
2021-04-17 04:06:00	0,155	0,01	0,02	3.8Hz, 5.6Hz	
2021-04-12 06:00:00	0,15	0,01	0,015	-	
2021-04-15 15:58:00	0,15	0,025	0,03	3.5-4 Hz	
2021-04-16 11:30:00	0,15	0,02	0,025	4-6 Hz	
2021-04-17 04:08:00	0,15	0,01	0,02	3.7Hz, 5.6Hz	
MP3					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>		
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>		
2021-04-15 15:58:00	0,15	0,025	0,03	3.8 Hz	
2021-04-18 16:32:00	0,125	0,025	0,03		
2021-04-18 15:28:00	0,115	0,025	0,07		
2021-04-14 18:30:00	0,095	0,025	0,02		
2021-04-14 15:42:00	0,09	0,025	0,025		
2021-04-12 15:56:00	0,075	0,025	0,015		
2021-04-19 04:38:00	0,05	0,025	0,02		
2021-04-16 11:30:00	0,15	0,02	0,025	4-6 Hz	
2021-04-13 16:32:00	0,135	0,02	0,03		
2021-04-19 03:36:00	0,135	0,02	0,025		
MP3					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>		
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>		

2021-04-10 02:44:00	0,05	0,02	0,04	-
2021-04-18 15:54:00	0,04	0,01	0,04	-
2021-04-18 15:52:00	0,045	0,005	0,04	-
2021-04-15 19:24:00	0,31	0,015	0,035	2,5 Hz
2021-04-13 20:22:00	0,115	0,015	0,035	3.9Hz
2021-04-15 15:58:00	0,15	0,025	0,03	1-5 Hz
2021-04-18 16:32:00	0,125	0,025	0,03	1.8Hz, 3.4Hz
2021-04-13 16:32:00	0,135	0,02	0,03	1.3Hz

Tabell 3. MP4, högsta registreringar av vibrationshastigheter i mm/s RMS i respektive riktning.

MP4				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2021-04-15 19:24:00	0,2	0,02	0,035	2.6Hz
2021-04-12 15:28:00	0,185	0,04	0,045	-
2021-04-13 08:00:00	0,175	0,03	0,015	-
2021-04-15 15:58:00	0,165	0,03	0,04	-
2021-04-12 19:32:00	0,155	0,02	0,035	-
2021-04-10 14:26:00	0,15	0,025	0,03	-
2021-04-13 16:32:00	0,15	0,03	0,035	-
2021-04-15 14:56:00	0,15	0,03	0,03	-
2021-04-16 21:26:00	0,15	0,025	0,025	-
2021-04-17 14:26:00	0,15	0,02	0,025	-
MP4				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2021-04-12 15:28:00	0,185	0,04	0,045	-
2021-04-13 08:00:00	0,175	0,03	0,015	-
2021-04-15 15:58:00	0,165	0,03	0,04	-
2021-04-13 16:32:00	0,15	0,03	0,035	-
2021-04-15 14:56:00	0,15	0,03	0,03	-
2021-04-13 20:22:00	0,12	0,03	0,03	-
2021-04-10 02:44:00	0,05	0,03	0,035	-
2021-04-10 14:26:00	0,15	0,025	0,03	-
2021-04-16 21:26:00	0,15	0,025	0,025	-
MP4				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2021-04-12 15:28:00	0,185	0,04	0,045	-
2021-04-15 15:58:00	0,165	0,03	0,04	-
2021-04-13 16:32:00	0,15	0,03	0,035	-
2021-04-10 02:44:00	0,05	0,03	0,035	-

2021-04-15 19:24:00	0,2	0,02	0,035	2.6Hz
2021-04-12 19:32:00	0,155	0,02	0,035	-
2021-04-15 14:56:00	0,15	0,03	0,03	-
2021-04-13 20:22:00	0,12	0,03	0,03	-
2021-04-10 14:26:00	0,15	0,025	0,03	-
2021-04-18 17:00:00	0,145	0,02	0,03	-

Tabell 4. MP6 (markpunkt), högsta registreringar av vibrationshastigheter v_w i mm/s RMS i respektive riktning.

MP6				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2022-05-04 06:01:05	0,325	0,075	0,055	2,68Hz
2022-04-28 19:07:51	0,27	0,07	0,055	
2022-05-03 17:58:16	0,265	0,09	0,075	
MP6				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2022-05-02 16:27:56	0,215	0,15	0,095	5,92Hz
2022-05-04 15:42:42	0,085	0,135	0,09	
2022-05-02 08:06:39	0,065	0,135	0,04	
MP6				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2022-04-29 16:43:03	0,105	0,115	0,105	23,1Hz

Tabell 5. MP7 (markpunkt), Högsta registreringar av vibrationshastigheter v_w i mm/s RMS i respektive riktning.

MP7				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2022-04-29 10:35:49	0,245	0,145	0,08	4,23Hz
MP7				
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>Dominerande frekvens</i>
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	
2022-04-29 10:35:49	0,245	0,145	0,08	9,3Hz
2022-05-05 06:37:23	0,155	0,135	0,08	
2022-05-05 09:44:59	0,19	0,135	0,14	

MP7					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>		
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>		
2022-05-05 09:44:59	0,19	0,135	0,14		10,7Hz
2022-04-29 08:38:37	0,14	0,12	0,105		10,5Hz

Tabell 6. MP8 (markpunkt), Högsta registreringar av vibrationshastigheter v_w i mm/s RMS i respektive riktning.

MP8					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>		
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>Dominerande frekvens</i>	
2022-05-06 17:47:08	0,31	0,105	0,085		3,79Hz
2022-05-06 15:08:00	0,27	0,08	0,105		3,6Hz

MP8					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>		
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>		
2022-04-29 16:45:13	0,19	0,13	0,09		11,0Hz
2022-05-05 20:14:44	0,17	0,105	0,04		6Hz

MP8					
<i>Time</i>	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>T</i>		
	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>		
2022-04-29 10:34:03	0,17	0,09	0,105		8,67Hz
2022-05-02 13:10:31	0,19	0,09	0,105		10,2Hz
2022-05-06 15:08:00	0,27	0,08	0,105		

2.1.1 Slutsats och kommentarer mätningar



Figur 9 Mätpunkternas placering

- Vertikala vibrationer var generellt högre än horisontella vibrationer.
- I MP1 har passagerarna inte gått att verifiera pga väldigt mycket störningar, mätaren var fäst på McDonalds-byggnaden och bilar passerade drive-through precis intill mätaren. De flesta av de högsta nivåerna kan inte kopplas till tåg i tågföringen och visar sannolikt vibrationer från bilar som passerat nära givaren.
- I MP2 har vibrationshastigheten uppmätts som högst till $v_w = 0,08$ mm/s RMS vertikalt $v_w = 0,025$ mm/s horisontellt, från ett resandetåg.
- I MP3 har vibrationshastigheten uppmätts som högst till $v_w = 0,31$ mm/s RMS vertikalt och $v_w = 0,04$ mm/s RMS horisontellt, från ett resandetåg.
- I MP4 har vibrationshastigheten uppmätts som högst till $v_w = 0,2$ mm/s RMS vertikalt och $v_w = 0,045$ mm/s RMS horisontellt, från ett resandetåg.
- MP5 var ej monterad på korrekt vis, istället för att monteras på en tung markplatta som grävdes ned var den monterad på en lättare mätplatta avsedd för inomhusbruk, något som vid andra mätningar gett upphov till oväntat höga nivåer i horisontalled. MP5 har ersatts av mätpunkterna MP6-MP8, som monterades på tung mätplatta, som uppfyller villkor från ISO 4866.
- I MP6 (mark) har vibrationshastigheten uppmätts som högst till $v_w = 0,325$ mm/s RMS vertikalt från godståg och $v_w = 0,15$ mm/s RMS horisontellt, från ett resandetåg.
- I MP7 (mark) har vibrationshastigheten uppmätts som högst till $v_w = 0,245$ mm/s RMS vertikalt och $v_w = 0,145$ mm/s RMS horisontellt, från ett resandetåg.

- I MP8 (mark) har vibrationshastigheten uppmätts som högst till $v_w = 0,31$ mm/s RMS vertikalt och $v_w = 0,13$ mm/s RMS horisontellt, från ett resandetåg.
- Generellt så mäts vibrationshastigheter med sitt huvudsakliga energiinnehåll under 10 Hz.

2.2 Beräkningar

Översiktliga beräkningar har utförts med avseende på spårburen och tung vägtrafik som bussar och lastbilar i närområdet. 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".

2.2.1 Spårburen trafik

För att framförallt korrigera vibrationshastigheter till avstånd för planerade byggnader så används en av Efterklang 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 denna utredning har beräkningar skett med avsikt att beräkna förväntade vibrationshastigheter på avstånd som motsvarar planerade byggnader samt en övergripande kontroll för att se om mätningar ger rimliga värden.

2.2.1.1 Beräkning utifrån mätningar i mark, MP6-MP8

Överföring vibrationer från mark till bjälklag plan 1

Som indata i beräkningarna används mätvärde från mätning i mark i mätpunkterna MP6-MP8. Beräkningarna utgår från de högsta uppmätta nivåerna som verifierats komma från tågtrafik i respektive riktning (vertikala och horisontella vibrationer).

För vertikala vibrationer var det högsta uppmätta värdet i mark $v_{\text{mark},V}=0,32$ mm/s RMS (MP1) och för horisontella vibrationer var det högsta uppmätta värdet i mark $v_{\text{mark},H}=0,15$ mm/s RMS.

För att räkna om vibrationerna till grundmur för en byggnad på spetsburna pålar, används överföringsfaktorn 0,3.

För att räkna om vibrationerna till bjälklag, för stomme av betong och spännvidder under 8 meter, används överföringsfaktorn 2.

I bjälklaget beräknas då $v_{\text{bjälklag},V}=0,20$ mm/s RMS och $v_{\text{bjälklag},H}=0,09$ mm/s RMS.

Överföring vibrationer från bjälklag plan 1 till högre våningsplan

För överföring upp i byggnaden används två olika metoder för att bedöma hur vibrationer förstärks/dämpas till högre våningsplan.

Metod 1) Inventering av utförda mätningar och beräkningar för flerbostadshus i betong där vibrationer redovisats på olika våningsplan

Metod 2) Modalanalys - en teoretisk beräkning baserad på antal våningar, bjälklagens massa mm för aktuell byggnad

Metod 1 – överföring till högre våningsplan inventering

I beräkningar för ett större kvarter i Göteborg vid Västkustbanans direkta närhet utfördes omfattande beräkningar för att säkerställa att byggnader inte erhöll för höga vibrationer i de höga husen. Högsta huset var 16 våningar högt. Beräkningar visar då en förstärkning från plan 1 till 10 med en faktor 2 både i vertikalplan och horisontalplan. Åtgärder utfördes som reducerade denna förstärkning.

Från tidigare mätningar i Halmstad har resultat från liknande byggnad sett till utformning och konstruktion använts. I det fallet jämfördes nivåer på plan 1 och plan 6, där de vertikala nivåerna på plan 6 inte hade någon förstärkning eller dämpning jämfört med nivåerna på plan 1, men de horisontella vibrationerna på plan 6 hade förstärkts med en faktor 4 jämfört med plan 1. Om man gör ett grovt antagande att nivåerna ökar linjärt upp i byggnaden, skulle de vertikala vibrationerna på plan 10 fortfarande vara oförändrade jämfört med plan 1, men de horisontella vibrationerna skulle förstärkas med en faktor 7 jämfört med plan 1.

I bjälklaget på plan 10 beräknas utifrån "Halmstadsprojektet" då de vertikala vibrationerna $V_{\text{bjälklag plan 10,V}}=0,20-0,40$ mm/s RMS och de horisontella vibrationerna $V_{\text{bjälklag plan 10,H}}=0,6$ mm/s RMS.

Vi bedömer att aktuellt byggnadskvarter har en avsevärt mer fördelaktig utformning än detta projekt vad avser förstärkning i horisontalplan på grund av sin större utsträckning tvärs järnväg. Det är inte orimligt att en byggnadsanpassning kan halvera vibrationsresponsen i horisontalplanet vilket styrks av beräkningar i samband med byggnadstekniska åtgärder för "Göteborgsprojektet".

Metod 2 – överföring till högre våningsplan beräkningsmodell

Detta utförs genom att jämföra uppmätta vibrationer i marken mot byggnadens respons genom modalanalys. I modalanalysen omvandlas mätdata från tidsdomän till frekvensdomän via Newmark-metoden till ett spektrum i respektive riktning, som sedan breddas för att öka säkerheten i analysen. Byggnadens huvudmoder beräknas sedan, tillsammans med så kallade *modal participation factors*, och multipliceras med respektive värde från responspektrat. Antalet medtagna moder ska motsvara ca 90 % av total exciterad massa. Responsen från respektive mod kan sedan kombineras med antingen SRSS eller CQC. Till denna beräkning har en grov kombination av dessa använts.

Då horisontella (laterala och transversala) vibrationer har bedömts som tillräckligt små i kombination med kvarterets design enkelt kan göras styv har fokus lagts på att kontrollera vertikala vibrationer (vilket av erfarenhet ofta utgör det största problemet för denna typ av frågeställning).

Antaget byggnadssystem bygger på 250 mm tjocka betongbjälklag, med 200 mm tjocka lägenhetsskiljande betongväggar. Fasaden har antagits utgöras av utfackningsväggar med VKR-pelare, men en styvare fasad skulle med stor sannolikhet vara positivt. Egenfrekvenser tas ut från en förenklad modell i 10 våningar, grundlagd på 20 m pålar. Våningarna är 3 m höga, bortsett från källarplan som är 4 m högt, och utgörs av 250 mm tjocka betongväggar såväl invändigt som utvändigt.

Första vertikalknoten ligger runt 4 Hz med ca 68 % modulmassa, tillsammans med andra knuten runt 7 Hz och ca 30% modulmassa motsvarar nästan 100 % medsvängande massa. Dessa egenfrekvenser dominerar byggnadens respons.

Beräkningsresultat blir lite olika beroende på vilken mätinformation som används som indata. Frekvensinnehåll från mätningar vid MP1 har sin första topp under förväntad egenfrekvens för byggnaden, vilket är positivt.

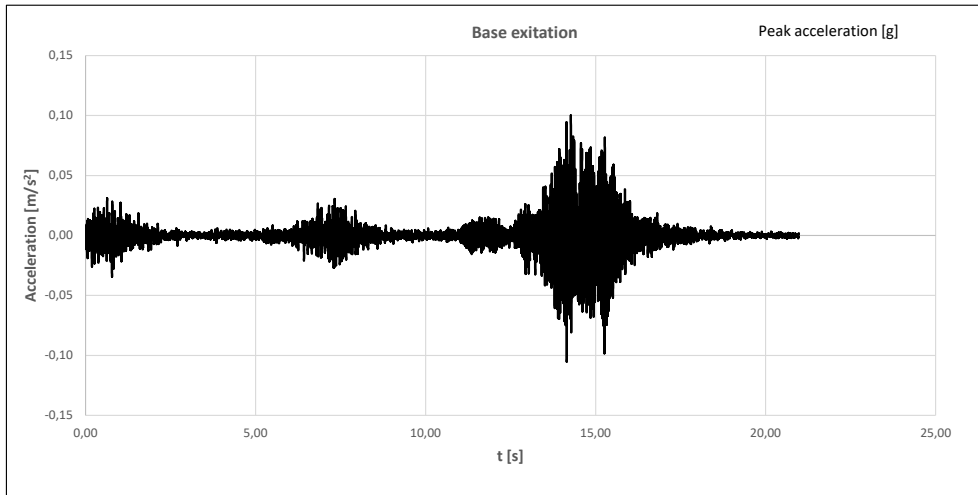
Frekvensinnehåll från mätningar vid MP3 har sin första topp rakt på förväntad egenfrekvens för byggnaden, varpå förstystyande åtgärder kan rekommenderas för att minska påverkan.

Frekvensinnehåll från mätningar vid MP2 har dock sin första topp strax ovanför förväntad egenfrekvens för byggnaden, vilket kan utgöra en risk för att stor del av vibrationerna kommer in i byggnaden.

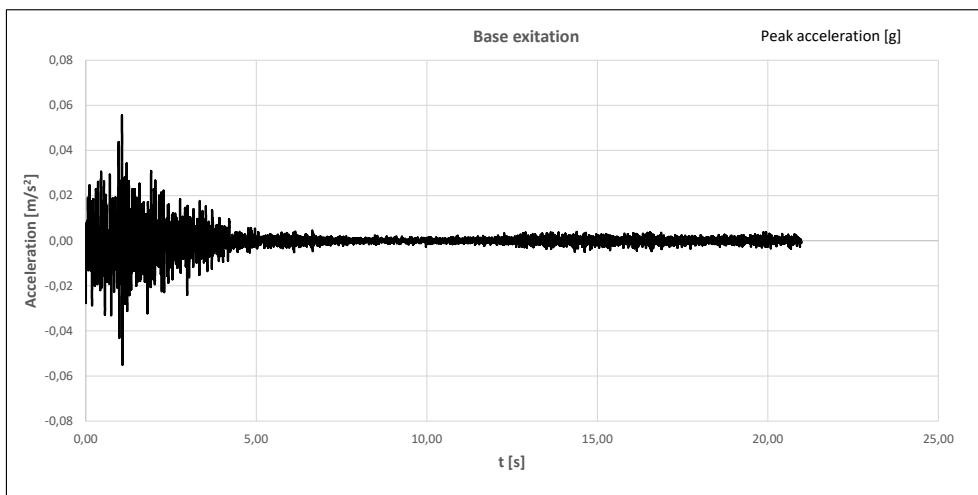
Vid framtida detaljprojektering krävs ett större underlag av vibrationsmätningar för att dimensionera byggnad utifrån korrekta tidssignaler/frekvensinnehåll i mark.

Tidssignal - Mätpunkt 1 (Mp1)

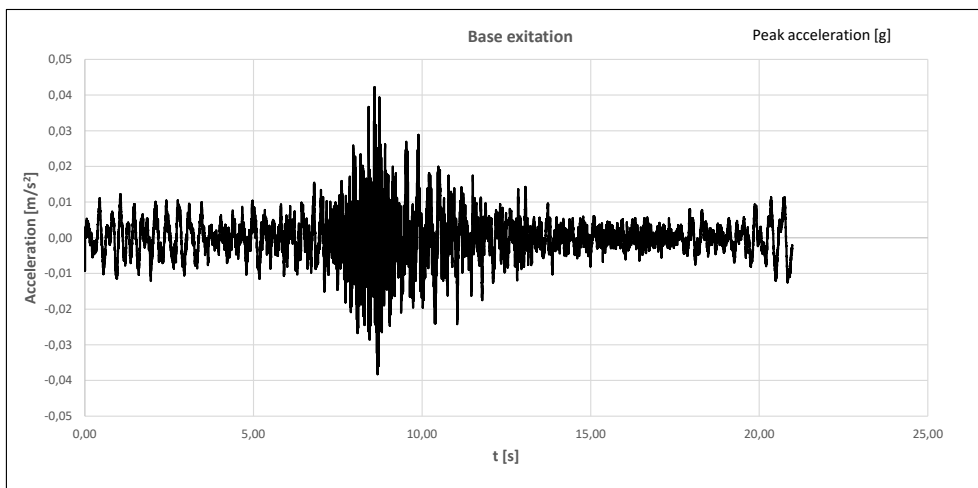
Lateral



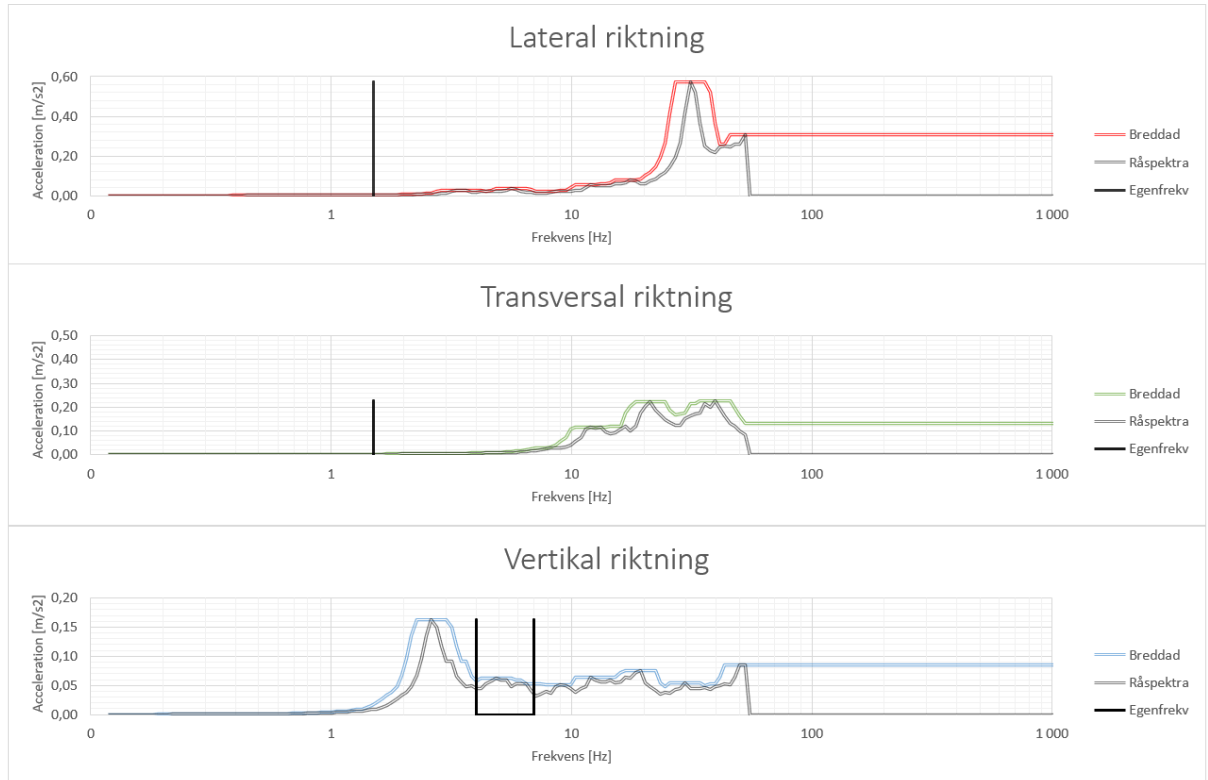
Transversal



Vertikal



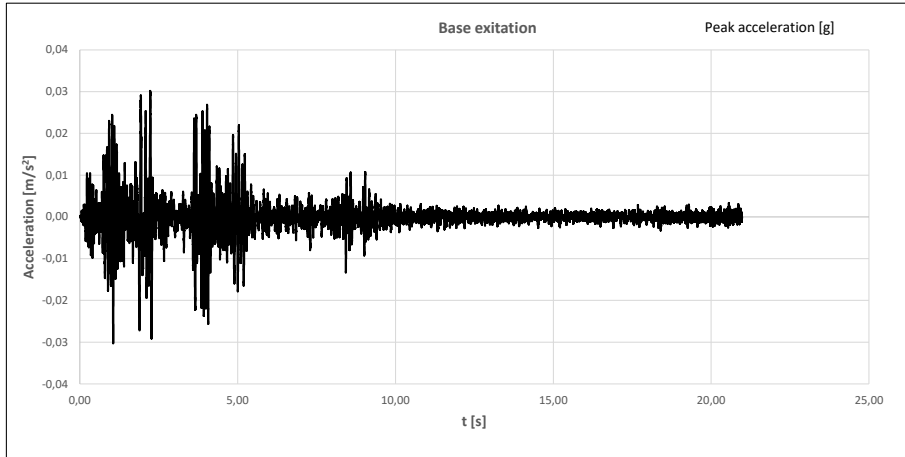
Responsspektran



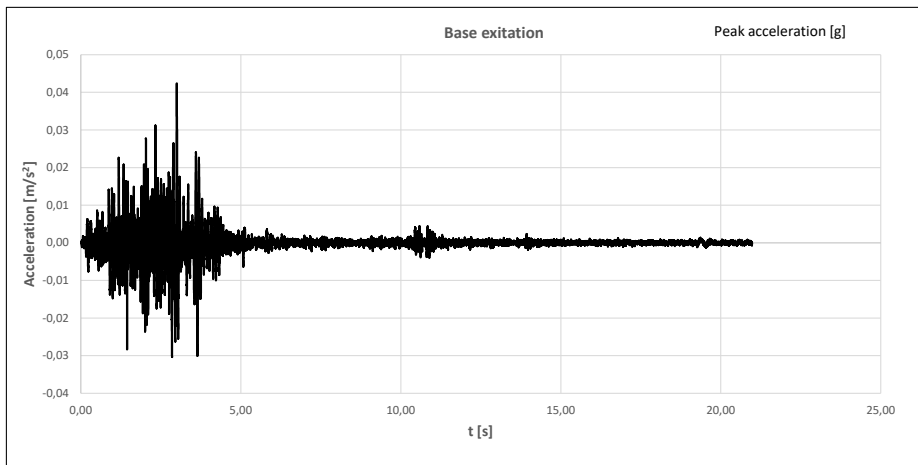
Figur 10 Excitationsspektra samt byggnadens lägsta egenfrekvenser

Tidssignal - Mätpunkt 2 (Mp2)

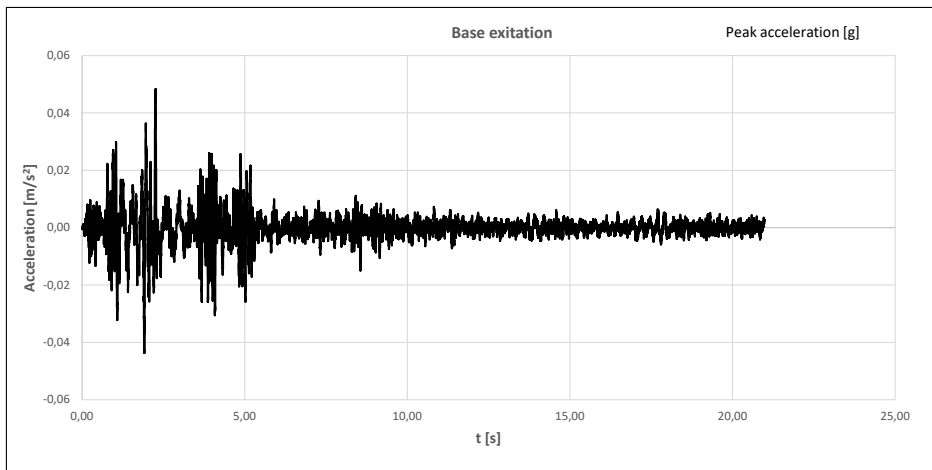
Lateral



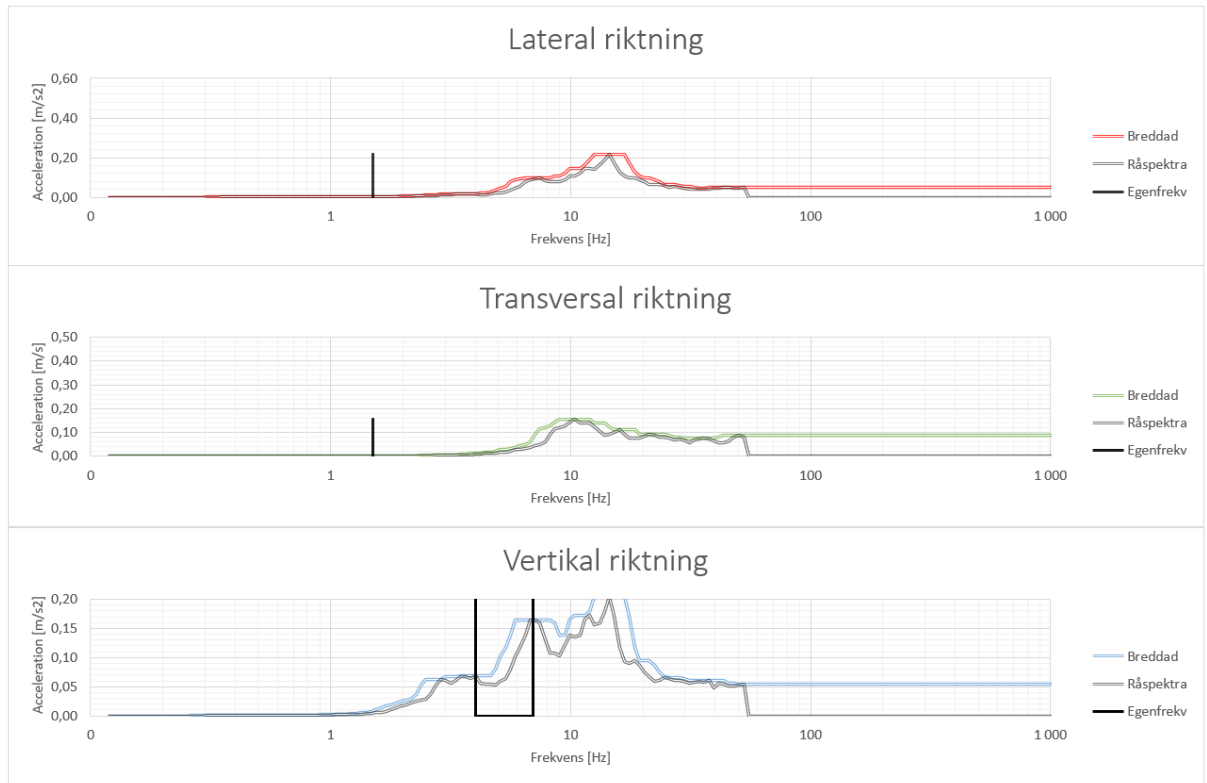
Transversal



Vertikal



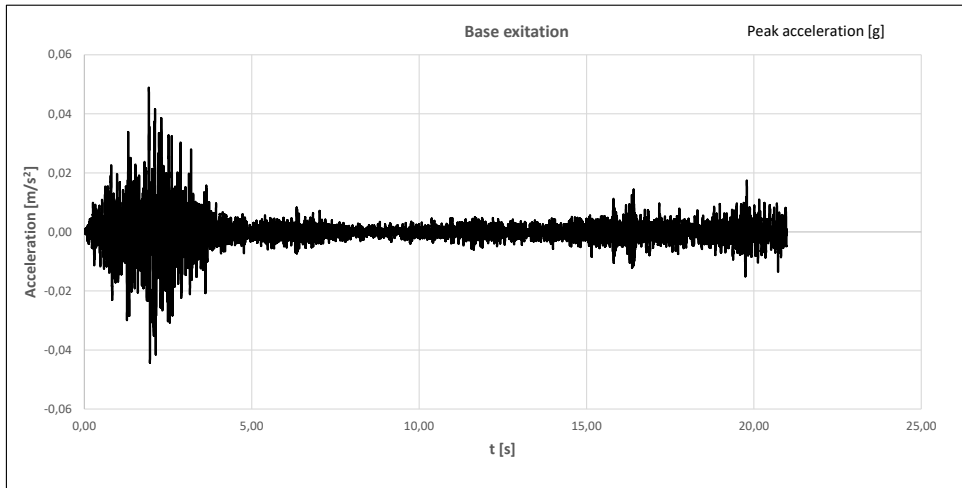
Responsspektran



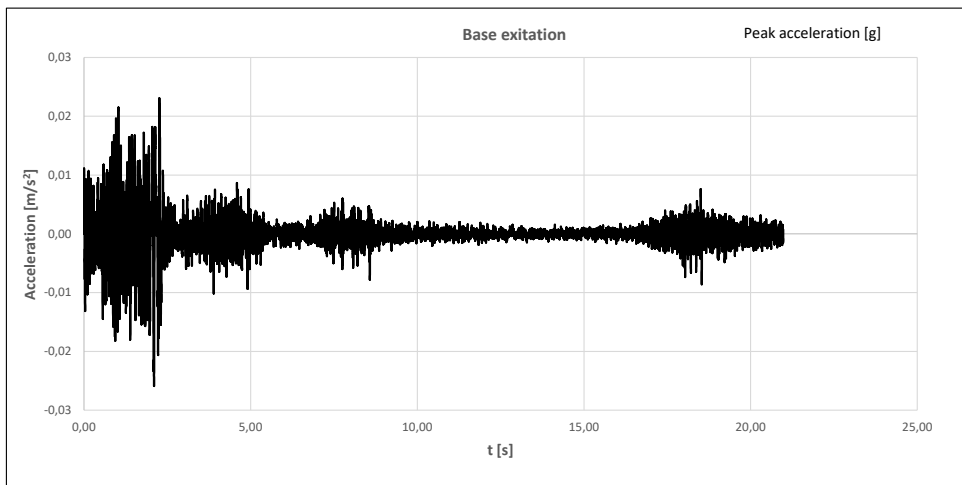
Figur 11 Excitationsspektra samt byggnadens lägsta egenfrekvenser

Tidssignal - Mätpunkt 3 (Mp3)

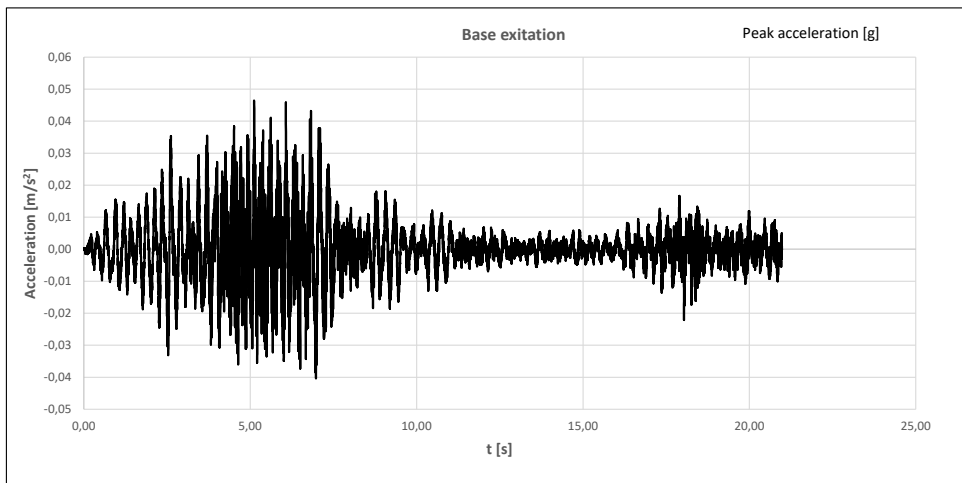
Lateral



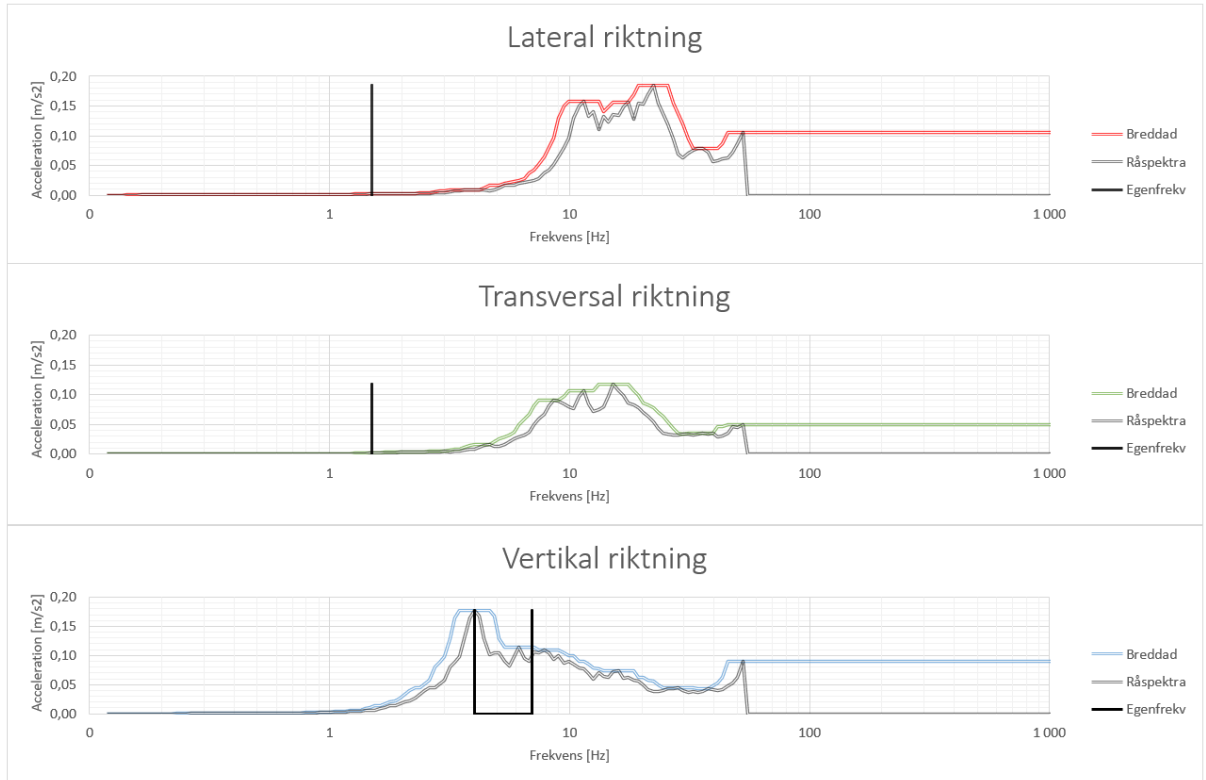
Transversal



Vertikal

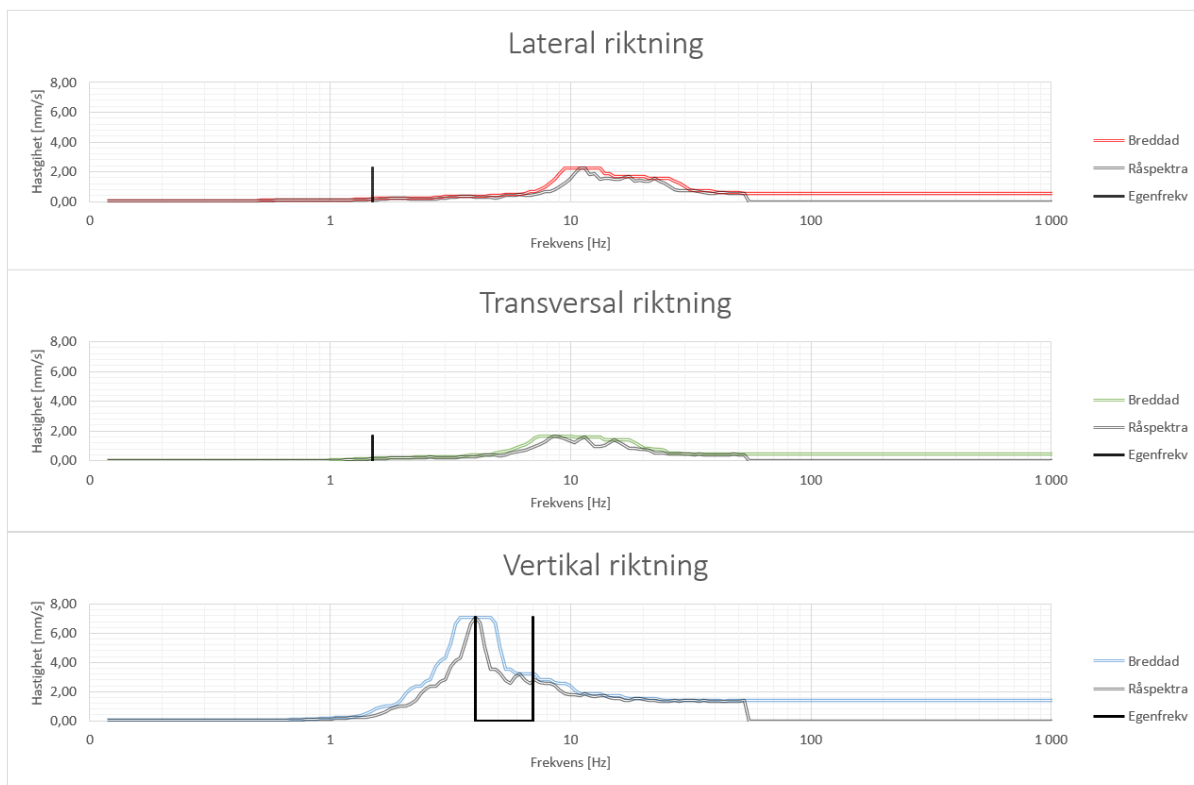


Responsspektra - acceleration



Figur 12 Excitationsspektra samt byggnadens lägsta egenfrekvenser

Responsspektran - Hastighet

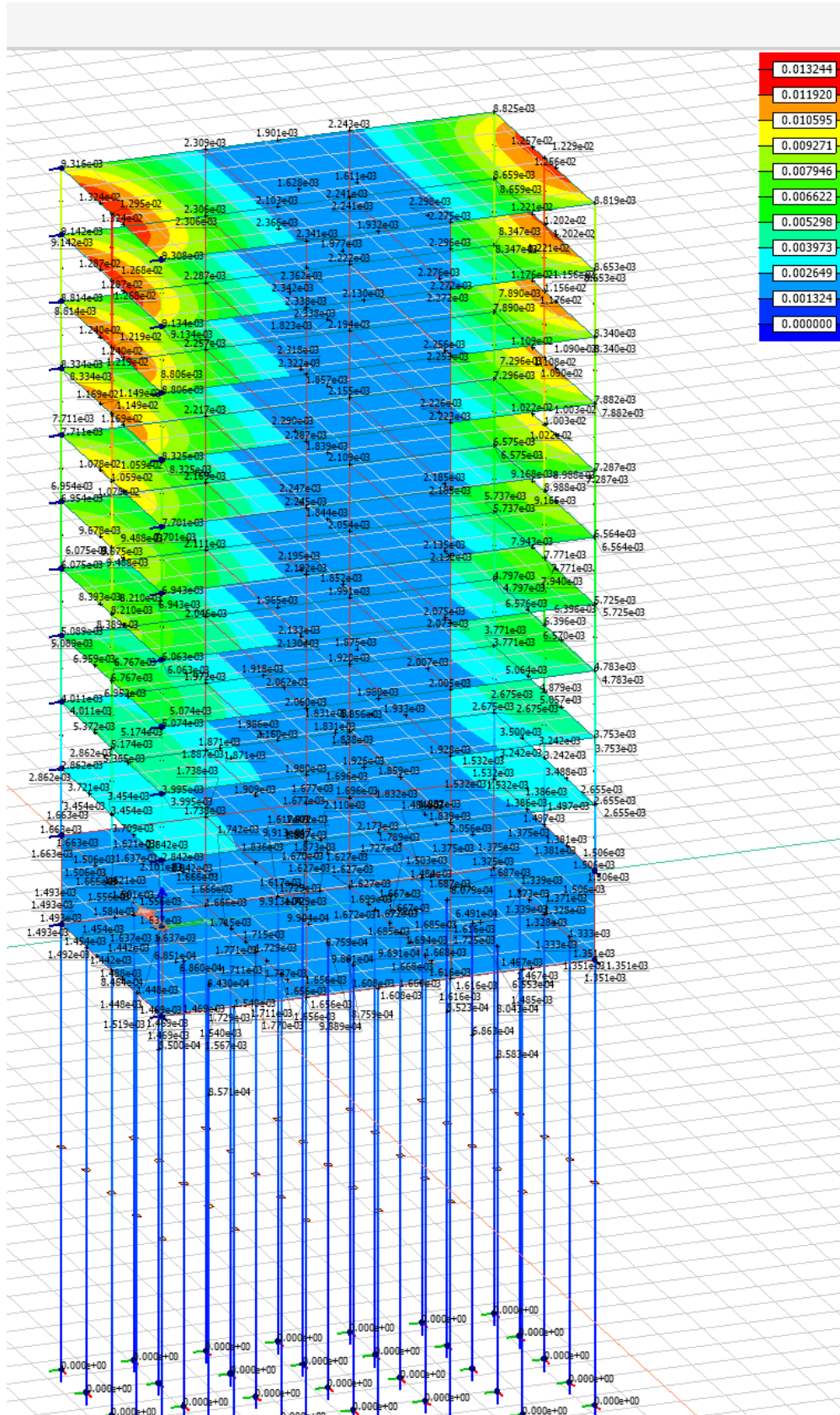


Figur 13 Excitationsspektra samt byggnadens lägsta egenfrekvenser

my'[%]	mz[%]	
71.5	0.0	^
0.0	67.7	
0.0	0.0	
1.9	0.3	
0.0	30.2	
0.0	0.0	
0.0	0.0	▼

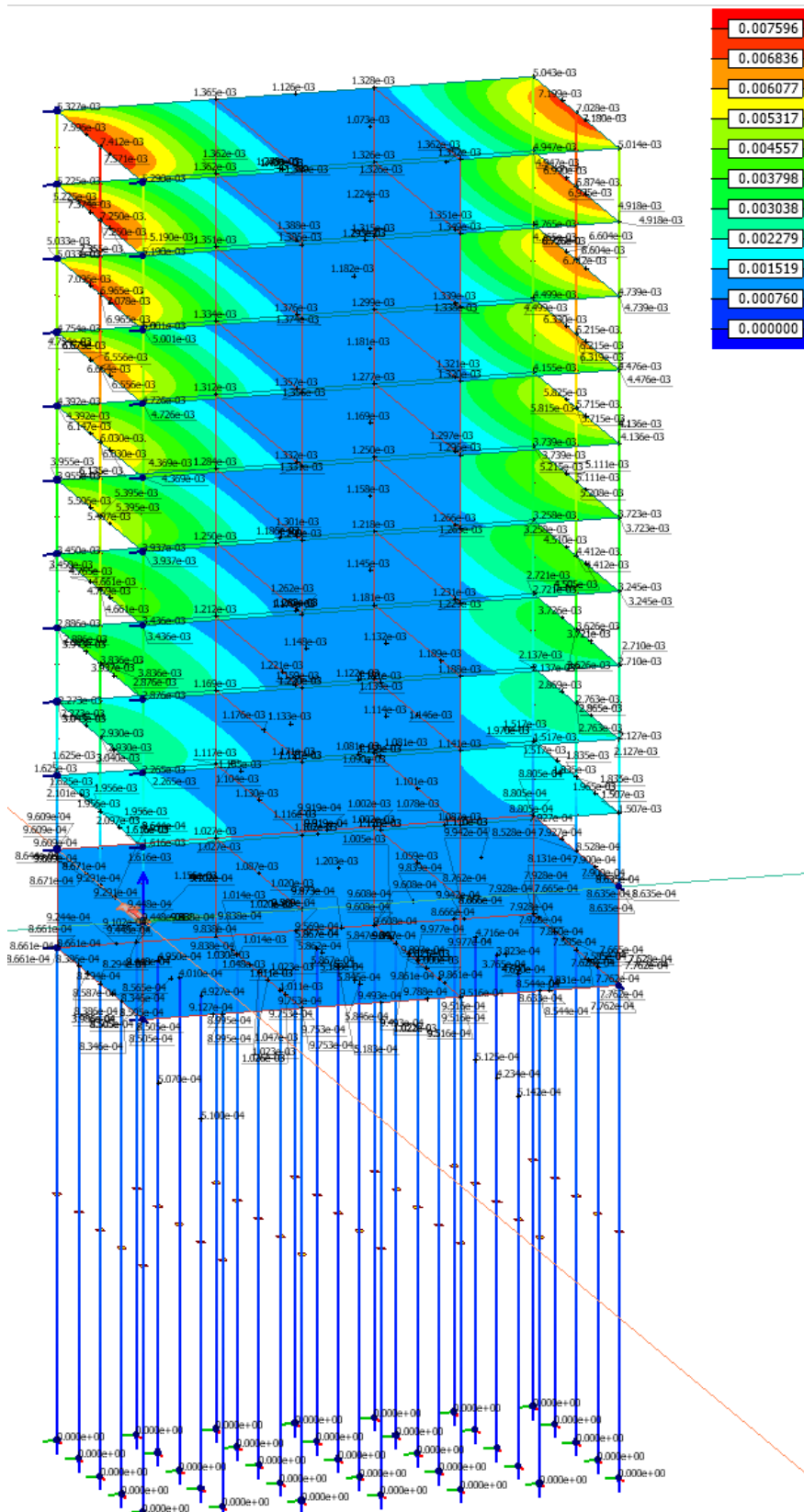
Figur 14 Redovisning av modalmassa vilken visar att nästan hela energiinnehållet ligger i studerade egenfrekvenser vilket innebär att de nästan helt styr vibrationer i betraktat hus.

Resultat spektra MP1



Figur 15 Byggnadens respons på excitationsspektra (kan notera skillnader mellan våningsplan).
Pelare VKR i utfackningsvägg

Resultat MP3



Figur 16 Byggnadens respons på excitationsspektra (notera skillnader mellan våningsplan). Pelare VKR i utfackningsvägg

Överslagsberäkning av förväntad vibrationshastighet

För rand vid pelare

Mpf1 ca 0,31

Mpf2 ca 0,05

Ovanför väggar

Mpf1 ca 0,06

Mpf2 ca 0,01

MP3 för rand vid pelare:

$$v1=0,31*7=2,17 \text{ mm/s}$$

$$v2=0,05*3=0,15 \text{ mm/s}$$

$$v=\sqrt{2,17^2 + 0,15^2} = 2,17 \text{ mm/s}$$

RMS ca 0,7 av v

$$v_{\text{RMS}}=1,5 \text{ mm/s}$$

MP3 ovanför väggar

$$v1=0,06*7=0,42 \text{ mm/s}$$

$$v2=0,01*3=0,03 \text{ mm/s}$$

$$v=\sqrt{0,42^2 + 0,03^2} = 0,42 \text{ mm/s}$$

RMS ca 0,7 av v

$$v_{\text{RMS}}=0,3 \text{ mm/s}$$

Slutsats metod 2: Det går att reducera förstärkningen av vibrationer på högre våningsplan väsentligt. Genom en studie av diagram så konstaterar vi att förstärkning nästan helt uteblir centralt i byggnad där lägenhetsskiljande väggar i betong styr styvhet. Vi bedömer att ett byte av fasadelement till utfackningsvägg kan reducera ökningen väsentligt och att värde lägre än 0,4 mm/s kan nås.

2.2.1.2 Beräkning utifrån mätningar i byggnadsgrund, MP2-MP4

Som indata i beräkningarna används mätvärde från mätning i byggnadsgrund i mätpunkterna MP2-MP4. Beräkningarna utgår från de högsta uppmätta nivåerna som verifierats komma från tågtrafik i respektive riktning (vertikala och horisontella vibrationer).

För vertikala vibrationer var det högsta uppmätta värdet i mark $v_{\text{mark,V}}=0,31$ mm/s RMS (MP3) och för horisontella vibrationer var det högsta uppmätta värdet i mark $v_{\text{mark,H}}=0,045$ mm/s RMS.

Byggnaderna vid MP3 och MP4 vad grundlagda med platta. De planerade bostadsbyggnaderna antas pålas med spetsburna pålar, vilket bedöms kunna ge en halvering av vibrationsnivåerna. Under det antagandet skulle i så fall vibrationerna i byggnadsgrunden bli $v_{\text{mark,V}}=0,16$ och $v_{\text{mark,H}}=0,023$.

Om man jämför uppmätta nivåer vid MP2, som var monterad på en pålad byggnad, men nivåerna i MP3 och MP4, ser man att nivåerna där är lägre. Dock låg MP2 på större avstånd från järnvägen, då de lägre nivåerna där inte enbart beror på att grunden är pålad utan också på avståndsdämpning.

För att räkna om vibrationerna från grundmur till bjälklag, för stomme av betong och spännvidder under 8 meter, används överföringsfaktorn 2.

I bjälklaget beräknas då $v_{\text{bjälklag,V}}=0,31$ mm/s RMS och $v_{\text{bjälklag,H}}=0,045$ mm/s RMS.

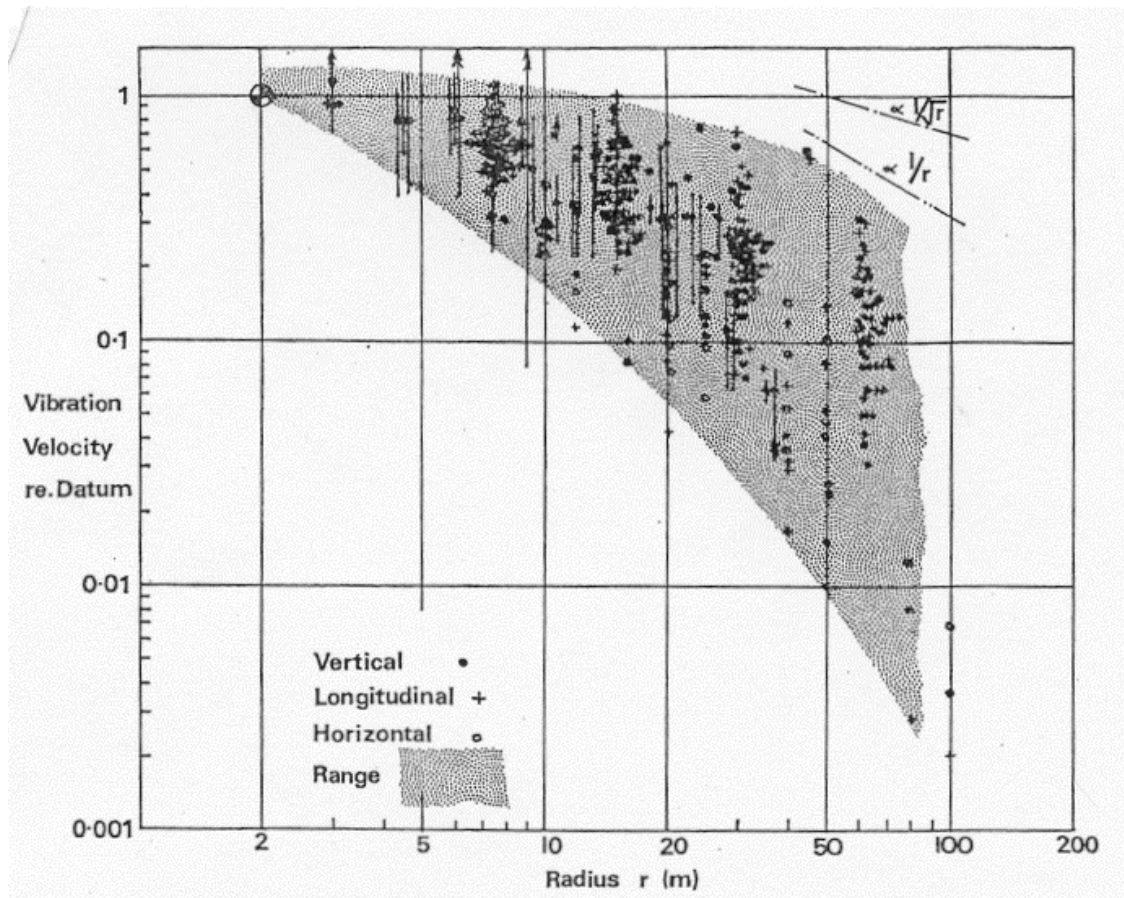
Med samma metod som i avsnittet ovan räknas sedan nivåerna på plan 10 till $v_{\text{bjälklag plan 10,V}}=0,6$ mm/s RMS för de vertikala vibrationerna och $v_{\text{bjälklag plan 10,H}}=0,3$ mm/s RMS för de horisontella vibrationerna.

Vi bedömer att aktuellt byggnadskvarter har en avsevärt mer fördelaktig utformning än de referensprojekt vi inventerat vad avser förstärkning i horisontalplan på grund av sin större utsträckning tvärs järnväg. Det är inte orimligt att en byggnadsanpassning kan halvera vibrationsresponsen i horisontalplanet vilket styrks av beräkningar i samband med byggnadstekniska åtgärder för "Göteborgsprojektet".

2.2.2 Vägtrafik

Mycket översiktlig beräkning har utförts. Beräkningsmodellen är vidareutvecklad och anpassad av Efterklang (tidigare ÅF Ljud & Vibrationer) för att prediktera komfortstörande vibrationer och för utvärdering enligt SS 4604861, bland annat genom Vägverkets beräkningshandledning och en mängd mätresultat från mätningar som ÅF Ljud & Vibrationer genomfört.

Vid jämn gatuyta bör inte störande vibrationer uppstå inom framtida byggnader (avstånd ca 30 meter) vilket mätningar också indikerar. Då geotekniken inom området är dålig ur vibrationshänseende bör hänsyn tas vid utformning av gator och andra trafikerade ytor. Tungt fordon kan ge kännbara vibrationer inom framtida byggnader om inte gator, byggnader och grundläggning utformas på rätt sätt. Farthinder av typ gupp bör inte utföras i gator och konstruktioner som kan ge större diskontinuiteter i vägbanan undvikas. Till exempel brunnar bör ej brunnar placeras i körbanornas farbana för hjul då sättningar kring brunnen med tiden innebär att det uppkommer diskontinuiteter.



Figur 17 Exempel på minskning av markvibration med avståndet för att exemplifiera riskavstånd.
(Källa: Transport and Road Research Laboratory)

3 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. På nationell nivå finns det inga uttryckliga riktvärden för kontor.

3.1 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.

3.2 Riktlinjer Trafikverket

I Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg, TDOK 2014:1021 v 3.0, som gäller från 2021-01-01, 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.

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 Slutsats

Det förekommer vibrationer i marken som innebär hänsyn till detta krävs vid projektering av gator, byggnader och grundläggning. Järnvägen är den dominerande vibrationskällan.

För bostäder i de kvarter som är närmast järnvägen behöver byggnaderna utformas så att ingen förstärkning av vibrationerna från mark/byggnadsgrund gör att 0,4 mm/s RMS överskrids i bjälklagen.

Utifrån mätningar i mark och byggnadsgrund har vibrationsnivån 0,6 mm/s RMS beräknats med förstärkningsfaktorer redovisade i avsnitt 2.2.1.1. Förstärkning upp i byggnaden baserades på observerade förstärkningar i andra projekt (2.2.1.1 Metod 1). Observera att detta resultat redan förutsätter grundläggning med spetsburna pålar, betongstomme och spännvidder på högst 8 meter. Detta är alltså inte åtgärder som kan antas sänka de beräknade nivåerna ytterligare, då de redan är medräknade. Ytterligare åtgärder kommer krävas.

För att få en uppfattning om hur vertikala och horisontella vibrationer förstärktes upp i byggnaden för aktuell konstruktion gjordes även beräkningar med modalanalys (se avsnitt 2.2.1.1 Metod 2) baserat på 20 meter pålar, 10 våningsplan, 250 mm tjocka betongbjälklag, med 200 mm tjocka lägenhetsskiljande betongväggar. Fasaden har antagits utgöras av utfackningsväggar med VKR-pelare, men en styvare fasad skulle med stor sannolikhet vara positivt. Beräkningarna visade att en lägre förstärkning än Metod 1 kan klaras och med de erhållna förstärkningarna skulle 0,4 mm/s ej överskridas. Med fasad i betong som till exempel sandwich-element bedöms värden vid fasad bli likvärdiga.

En FEM-modell för vibrationsberäkningar, baserad på aktuella ritningar för bostadsbyggnaderna bör tas fram under projekteringen för att kunna se var vibrationerna förstärks som mest och med hur mycket. Visar det sig då att de beräknade vibrationerna ligger över 0,4 mm/s RMS så måste åtgärder dimensioneras så att 0,4 mm/s RMS klaras. Exempel på sådana åtgärder kan vara förstärkta konstruktioner på delar av byggnaden, såsom förstärkta ytterväggar, förkortade spännvidder eller förstyvande konstruktioner så att det inte uppstår förstärkningar som medför nivåer över 0,4 mm/s RMS. Se avsnitt 4.4 nedan för mer detaljer.

Med sådana anpassningar bör det gå att klara 0,4 mm/s RMS, men det måste verifieras med FEM-beräkningar för planerad utformning av byggnaden från ett större underlag av vibrationsmätningar.

4.1 Projektering av bostadsbyggnader

Utifrån högsta uppmätta nivåer (dimensionerande blir mätresultat från horisontella vibrationer i markpunkt) beräknas vibrationshastigheten i bjälklaget kunna hamna runt $v_w=0,6$ mm/s RMS, baserat på beräkning för en 10-våningsbyggnad, grundläggning med spetsburna pålar och betongbjälklag med spännvidder under ca 8 meter ($f_0 > 10$ Hz), se avsnitt 2.2.1.1. För större spännvidder eller träkonstruktioner kan nivåerna bli högre. Notera att det är en förenklat direktiv då markvibrationernas frekvensinnehåll kan styra vilka specifika spännvidder som kan användas.

Att bostäderna konstrueras i betong med betongbjälklag tillsammans med en begränsning av maximala tillåtna spännvidder på plattor (<8m) har antagits vara fallet i beräkningarna och bedöms därmed vara nödvändigt för att klara kraven på komfortvibrationer. Det kommer också eventuellt bli nödvändigt med förstärkta ytterväggar, förkortade spännvidder eller förstyvande konstruktioner på delar av byggnaden, se avsnitt 4.4 nedan.

4.2 Projektering av grundläggning

Pålning mot berggrund är fördelaktigt sett till att minska vibrationerna i byggnaden.

Resultaten från beräkningarna förutsätter pålning med spetsburna pålar och pålning med spetsburna pålar bedöms därmed vara nödvändigt för att klara kraven på komfortvibrationer.

I den geotekniska utredningen som utförts har det inventerats tidigare utförda undersökningar inom området, enligt vilka maximala djupet till berg inom planområdet uppgår till 38 m. SGU:s jorrdjupskarta samt modeller för djup till berg som togs fram i Trafikverkets utredning för E45 styrker även att jorrdjupet är maximalt ca 40 m.

Leran är lös och sättning känslig varför man vill slå pålarna ned till berg. Hade det varit 60-70 m ned till berg hade det möjligen varit aktuellt med kohesionspålning (dvs "svävande pålar" som slås ned till fastare lerlager).

De aktuella byggnaderna är relativt höga och därmed behöver stora krafter föras ned till marken. Skulle det mot förmodan visa sig vara lokalt djupare någonstans inom planområdet (ex 50-55 m) kommer man antagligen ändå slå ned pålarna till berg.

4.3 Projektering av närliggande gator

Vid projektering av närliggande gator bör beaktning tas till hur farthinder utformas. Branta farthinder kan medföra att passerande trafik alstrar vibrationer, men detta kan undvikas genom att inte placera farthinder på vägsträckorna intill byggnaderna, alternativt utforma farthinder med mindre lutning.

4.4 Behov av hänsyn till vibrationerna i fortsatt projektering

Enligt planbestämmelsen skall 0,4 mm/s RMS klaras, så det gäller för att få bygga.

En FEM-modell för vibrationsberäkningar, baserad på aktuella ritningar för bostadsbyggnaderna bör tas fram för att kunna se var vibrationerna förstärks som mest och med hur mycket. Visar det sig då att de beräknade vibrationerna ligger över 0,4 mm/s RMS så måste åtgärder dimensioneras så att 0,4 mm/s RMS klaras. Exempel på sådana åtgärder kan vara förstärkta konstruktioner på delar av byggnaden, såsom förstärkta ytterväggar, förkortade spännvidder eller förstyvande konstruktioner.

Exempel på fördjupade och avancerade studier av byggnadsstomme finns i kvarteret Tändstickan (ÅF Infrastructure AB, Martin Carlsson, 2016-12-05) och byggda bostäder i Halmstad. Hela den framtida byggnaden beräknades i ett FEM-program och förväntade vibrationshastigheter beräknades på bjälklag utifrån mätta vibrationsnivåer i marken.

Med hjälp av modellen kunde man bestämma vilka väggar som skulle förstärkas för att sänka vibrationerna i byggnaden, och kunde i beräkningsmodellen då sänka vibrationsnivåerna på de värst utsatta våningsplanen med ca 40%. Ett motsvarande tillvägagångssätt är nödvändigt här för att kontrollera vibrationsnivåer i bjälklagen och dimensionera eventuella åtgärder för att klara 0,4 mm/s RMS, dvs en FEM-modell baserad på aktuella ritningar byggs och beräkningar görs med indata från aktuella vibrationsmätningar. Beräknas vibrationerna till över 0,4 mm/s RMS, måste åtgärder såsom förstärkning av väggar eller ändring av spännvidder modelleras för att kontrollera att de ger en tillräcklig sänkning av vibrationerna.

Det är exploatörens ansvar att säkerställa att byggnader och deras grundläggning utformas så att kraven klaras.

4.5 Bedömningsgrund

Riktvärden i SS 460 48 66 anger 0,4 mm/s RMS som nivå för måttlig störning och att riktvärdet bör tillämpas mer strikt för bostäder nattetid.

Enligt planbestämmelsen skall 0,4 mm/s RMS klaras.