

Uppsala kommun

► **DP Gårdsvägen**

Vibrationsutredning

Uppdragsnr.: 108 79 10 Revision: 1 Datum: 2023-10-13



Uppdragsgivare: Uppsala kommun
Uppdragsgivarens kontaktperson: Erika Mickelsson
Konsult: Norconsult Sverige AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg
Uppdragsledare: Andreas Sigfridsson
Handläggare: Marco Persson

Revision	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt
1	2023-10-13	Vibrationsutredning	Marco Persson		

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.

► Innehåll

1	Bakgrund och uppdrag	3
1.1	Geotekniska förutsättningar	3
2	Riktvärden	5
2.1	Svensk standard	5
2.1.1	Frekvensvägning	5
2.1.2	Störning	5
2.2	Trafikverkets riktlinjer	5
3	Genomförande och metodik	6
4	Förutsättningar byggnader	7
4.1	Jorddjup till berg samt grundläggningstyp	7
5	Teoretiska beräkningar och metod för framtagning av möjlig områdespåverkan	8
5.1	Beräkningsmodell – Transport and Road Research Laboratory	8
5.2	Eigenfrekvenser för jordlager	9
5.3	Överföring av vibrationer från mark till byggnad	9
5.4	Avståndskorrigerings	9
5.5	Anpassning av de teoretiska beräkningarna med avseende på maximala vibrationer i bjälklag	10
5.6	Kommentarer till resultat	11
5.6.1	Teoretiska beräkningar	11
5.6.2	Farthinder	11
6	Slutsats	12
6.1	Riskområde	12
6.2	Samlad bedömning	12

1 Bakgrund och uppdrag

Norconsult Sverige AB avdelning Akustik, härmed Norconsult, har på uppdrag av Uppsala Kommun, utfört en vibrationsutredning för den planerade omläggning av Södra Banvägen i Bergsbrunna, Uppsala. Vägen är i nuläget en grusväg som ska anläggas till asfaltsväg som del av Detaljplan Gårdsvägen.

Utredningen syftar till att utreda risk för att markvibrationer från tung trafik på den planerade vägen sprider sig till befintliga närliggande byggnader. Hastighet för den blivande vägen var inte fastställd vid denna utredning varför beräkningar gjorts för hastigheter av 30 och 40 km/h.

Översiktskarta över aktuellt område visas i Figur 1.1.

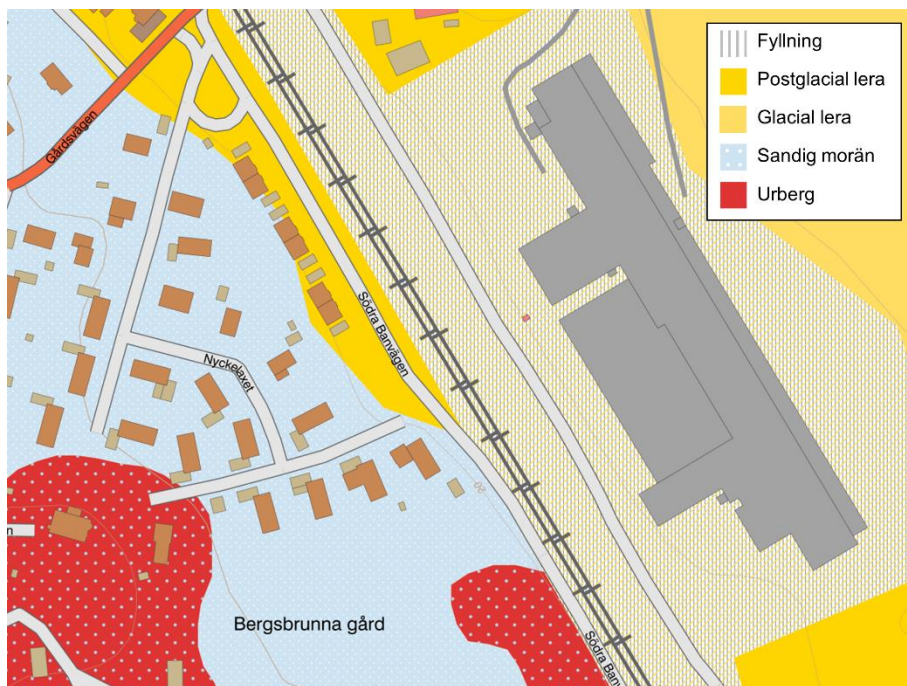


Figur 1.1 – Fastighetskarta över den planerade vägsträckningen, markerad i rött. Karta hämtad från Lantmäteriet, 2023.

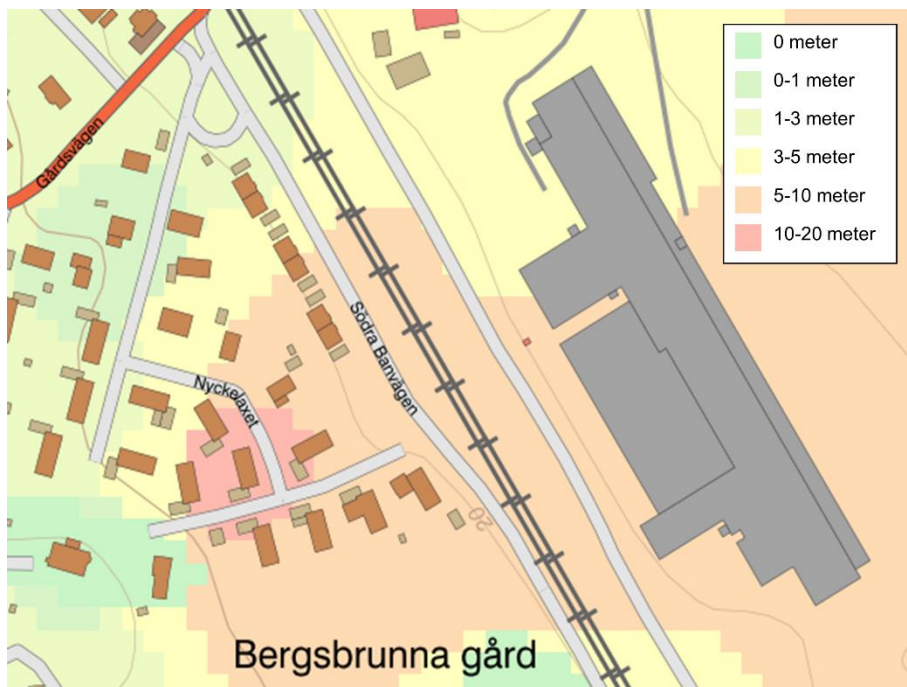
1.1 Geotekniska förutsättningar

Som underlag till denna utredning finns den geotekniska utredningen som gjorts av WSP för detaljplanen *Detaljplan Gårdsvägen, PM Geoteknik, 2023-09-26*.

I **Fel!** Hittar inte referenskölla. presenteras jordartskarta och i Figur 1.3 jorddjupskarta för området enligt SGU.



Figur 1.2 – Jordartskarta över området. Hämtad från SGU, 2023.



Figur 1.3 – Jorddjupskarta över området. Hämtad från SGU, 2023.

2 Riktvärden

Generella krav för störande vibrationer existerar inte, 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 Svensk standard

2.1.1 Frekvensvägning

Frekvensvägningen för riktvärdet dokumenteras i "SS 460 48 61: Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader" (*Svensk Standard 2022*). Frekvensvägningen viktar vibrationer lägre för frekvenser som understiger 8 Hz, på grund av att människans känslighet för vibrationshastigheten avtar för frekvenser under 8 Hz. Denna frekvensvägda vibrationshastighet kallas ofta för "komfortvärde".

2.1.2 Störning

Enligt standarden SS 460 48 61 – 2022 utgör komfortvärdet 0,2 mm/s ungefärlig känseltröskel för vibrationer. Vidare anges 0,4 mm/s som gräns för vibrationsnivå från tågtrafik där mätbar påverkan på sömn startar. Vid 0,7 mm/s är enligt samma standard ungefär 1 av 3 personer störda av vibrationer från tågtrafik.

Dessa värden borde kunna tillämpas mindre strikt för kontor jämfört med bostäder enligt tidigare utgåvor.

2.2 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.

3 Genomförande och metodik

Vibrationer från tung trafik så som bussar och lastbilar uppstår framför allt på grund av ojämnheter i vägbana, som t ex farthinder, potthåll, brunnstock eller liknande. Denna ojämnheter medför då vanligen att den avfjädrade massan sätts i rörelse och beroende på massans storlek samt styvhet på fjädern erhålls en vibrationsalstring vid ett visst frekvensområde. Från erfarenheter genom mätningar av vibrationer i mjukare jordlager erhålls ofta dimensionerande störfrekvens för tung trafik runt 8 - 12 Hz (bussar med luftfjädring genererar vanligen vibrationer inom lägre frekvensområde runt 3 - 5 Hz). Hur kraftig amplitud som erhålls beror till största del på höjden av ojämnheten och med vilken hastighet fordonet framförs.

Styvhetsändringar i mark kan också orsaka vibrationsalstring, exempel på detta kan vara vid tunnlar under vägbana eller schakt som lagts igen och inte är lika hårt (eller hårdare) packade.

Beroende på de geotekniska förhållandena för framför allt jorddjup och jordart så kan de alstrade vibrationerna från tunga fordon sprida sig mer eller mindre effektivt till närliggande byggnader. Vid lösare jordarter, t ex lera eller silt, fortplantar sig lågfrekventa vibrationer mer effektivt i jämförelse med fastare jordarter som berg för vilka minimalt med lågfrekventa vibrationer erhålls.

Vid vissa jorddjup kan även en "stående våg" erhållas som förstärker de alstrade vibrationerna från fordonet.

För detta uppdrag utförs arbetet i följande delar:

- **Inventering av geotekniska förutsättningar/ritningsunderlag för befintliga byggnader.**
Genomgång av handlingar för befintliga byggnader avseende grundläggning, jorddjup, avstånd till planerad väg etc.
- **Överslag med teoretisk beräkningsmodell.**
Tillgängliga och applicerbara beräkningsmodeller för beräkning av markvibrationer presenteras, tillsammans med resultat för rådande förutsättningar.
- **Risikutvärdering avseende komfortvibrationer.**
Beräknade vibrationsnivåer jämförs därefter med gällande riktvärden enligt SS 460 48 61, och utmynnar i ett riskområde med avseende på olika typer av ojämnheter i vägbana.

4 Förutsättningar byggnader

4.1 Jorddjup till berg samt grundläggningstyp

Underlag från SGU:s kartdatabas har använts för att uppskatta djup till berg samt jordlagerföljd för respektive fastighet. Uppgifter om djup till berg finns även att hitta för vissa av fastigheterna genom dokumentation om grundläggning erhållna av Stadsbyggnadsförvaltningen på Uppsala Kommun.

SGU:s jordartskarta visar att de naturliga jordlagren längs sträckan till största delen består av **glacial lera** och **sandig morän**. Jorddjupen till berg längs sträckan enligt SGU:s jorddjupskarta varierar mellan 1-3 m, 3-5 m och 5-10 m.

I tabell 4.1 nedan redovisas jordlagerföljden kring de fastigheter som är belägna längs den planerade vägsträckningen i denna utredning.

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

Tabell 4.1 - Grundläggningsförhållande för berörda byggnader.

Fastighet:	Beskrivning:	Grundläggning enl. gamla ritningar:	Byggår:	Avstånd till byggnad: (Bef väg / fastighetsgräns)	Jorddjup till berg:
Bergsbrunna 13:2	Bostäder	Torpargrund, grundlägg.djup 0,8 m	1987	10 m / 7 m	1-3 m
Bergsbrunna 13:3	Bostäder	Torpargrund, grundlägg.djup 0,8 m	1987	10 m / 7 m	1-5 m
Bergsbrunna 13:4	Bostäder	Torpargrund, grundlägg.djup 0,8 m	1987	10 m / 7 m	3-5 m
Bergsbrunna 13:5	Bostäder	Torpargrund, grundlägg.djup 0,8 m	1987	10 m / 7 m	5-10 m
Bergsbrunna 13:6	Bostäder	Torpargrund, grundlägg.djup 0,8 m	1987	10 m / 6 m	5-10 m
Bergsbrunna 13:7	Bostäder	Torpargrund, grundlägg.djup 0,8 m	1987	10 m / 6 m	5-10 m
Bergsbrunna 15:17	Bostäder	Platta på mark, grundlägg.djup 0,2 m	1965	13 m / 8 m	5-10 m

5 Teoretiska beräkningar och metod för framtagning av möjlig områdespåverkan

5.1 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	vägbaneojämnheter (topp-till-topp) [mm]
v	maximal hastighet på passerande fordon [km/h]
t	markfaktor, 3 för lös lera [-]
p	0,75 om vägojämnheter 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 mm och 25 mm generera vibrationsnivåer enligt Tabell 5.1 och Tabell 5.2 för hastigheter av 30 respektive 40 km/h. Tabellerna redovisar vibrationsnivå mot grundmur för jordlager av lös lera respektive sandig morän. Överskridande av riktvärde har markerats med orange. Beräkningar avser ojämnheter endast i ena hjulspåret.

Tabell 5.1 - Beräknade vibrationsnivåer från tung trafik vid olika hastigheter. Byggnader grundlagda på lera.

Hastighet och avstånd	5 mm ojämnheter [mm/s vägd rms]	25 mm ojämnheter [mm/s vägd rms]
30 km/h @ 6 meters avstånd	0,07	0,34
30 km/h @ 10 meters avstånd	0,04	0,20
30 km/h @ 20 meters avstånd	0,02	0,09
40 km/h @ 6 meters avstånd	0,09	0,45
40 km/h @ 10 meters avstånd	0,05	0,26
40 km/h @ 20 meters avstånd	0,03	0,13

Tabell 5.2 - Beräknade vibrationsnivåer från tung trafik vid olika hastigheter. Byggnader grundlagda på sandig morän.

Hastighet och avstånd	5 mm ojämnheter [mm/s vägd rms]	25 mm ojämnheter [mm/s vägd rms]
30 km/h @ 8 meters avstånd	0,02	0,08
30 km/h @ 16 meters avstånd	0,01	0,05
40 km/h @ 8 meters avstånd	0,02	0,11
40 km/h @ 16 meters avstånd	0,01	0,07

5.2 Egenfrekvenser för jordlager

Då tung trafik kör över vägbanan alstras vibrationer vilka ger upphov till en excitering vid vissa frekvensområden. Om en eller flera egenfrekvenser för ett jordlager sammanfaller med frekvensen hos källan så kan dessa vibrationer bli förstärkta varvid en s.k. resonans uppstår. Vid vilken frekvens denna resonans erhålls beror på skjuvvågshastigheten i jordlagret, c_s , och jordlagrets mäktighet.

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

där $n = 0, 1, 2, \dots$, och H = tjocklek av jordlagrets mäktighet i meter.

Enligt SGF¹ anges $c_s = 80$ -180 m/s för lös lera, halvfast lera anges till $c_s = 180$ -300 m/s och fast lera $c_s = 200$ -500 m/s. Därmed ökar frekvensen för den stående vågen i marken med fastheten på jordlagret och sjunker med jordlagrets mäktighet. För denna utredning har skjuvvågshastigheten $c_s = 150$ -200 m/s använts för beräkningar. Resulterande risk för förstärkning i frekvens för olika jorddjup redovisas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 - Frekvensband vid vilka stående våg kan uppstå i mark beroende av jordlagrets djup.

Jordlagrets djup	Risk för stående våg
3 m	12,5 – 17 Hz
5 m	7,5 – 10 Hz
10 m	4 – 5 Hz

5.3 Överföring av vibrationer från mark till byggnad

På sockeln av en byggnad är vibrationerna lägre än vad de skulle ha varit i marken i motsvarande 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 i första hand faktorn 0,8 för övergång från mark till grund på byggnad.

Erfarenhetsmässigt har betydligt lägre övergångsfaktorer uppmätts från fordonstrafik till stora tunga byggnader. Denna övergång kan ses som en punktexcitering och de uppmätta faktorerna är ofta kring 0,2 - 0,4. Dessa störningar inträffar ofta runt 8-10 Hz och är mer kortvariga, ca 2-4 sekunder.

5.4 Avståndskorrigerigering

För vibrationsstörning från fordonstrafik är det normalt ytvågen (R-våg) som är dominerande och dess amplitud avtar vid avståndsdubbling med:

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

För 4 gånger större avstånd, dvs från 5 meter till 20 meter skulle korrekturen uppgå till 0,5.

¹ SGF Informationsskrift 1:2012, Markvibrationer, Version 2013-12-18 (sida 13)

5.5 Anpassning av de teoretiska beräkningarna med avseende på maximala vibrationer i bjälklag

Norconsult har, med erfarenhet av liknande projekt där mätningar utförts på markvibrationer inducerade av tung trafik, kunnat konstatera att en förstärkning mellan 4 – 5 gånger kan förväntas mellan inkommande vibrationsamplitud och resulterande amplitud på bjälklag. Detta efter beräkningar av responsspektra där en förstärkningsfaktor $Q=10$ använts på uppmätt vibrationsdata (normal förstärkningsfaktor vid låga frekvenser) från tung fordonstrafik.

Genom att använda en faktor 5 på teoretiskt beräknade nivåer för grundmur kan maximala vibrationsnivåer på bjälklag skattas för när egenfrekvens i bjälklag sammanfaller med störfrekvens från passerande tungt fordon.

Med den informationen beräknas följande vibrationsnivåer på bjälklag enligt Tabell 6.1 baserat på tidigare teoretiskt beräknade vibrationsnivåer i Tabell 4.1 (grundmur). Även i denna beräkning efterlevs riktvärden vid en ojämnhetsnivå på 5 mm (med undantag för 6 meter och 40 km/h vid lera) men för 25 mm ojämnhetsnivå överskrider riktvärden på 6, 10 och 20 meters avstånd i fallet med lera. Vid beräkning för sand så reduceras beräknade nivåer kraftigt och endast fallet 40 km/h på 8 meters avstånd med 25 mm ojämnhetsnivå överskrider riktvärde.

Tabell 5.4 – Beräknade vibrationsnivåer på bjälklag från tung trafik vid olika hastigheter. Byggnader grundlagda på lera.

Hastighet och avstånd	5 mm ojämnhetsnivå [mm/s vägd rms]	25 mm ojämnhetsnivå [mm/s vägd rms]
30 km/h @ 6 meters avstånd	0,34	1,70
30 km/h @ 10 meters avstånd	0,20	0,99
30 km/h @ 20 meters avstånd	0,09	0,47
40 km/h @ 6 meters avstånd	0,45	2,26
40 km/h @ 10 meters avstånd	0,26	1,32
40 km/h @ 20 meters avstånd	0,13	0,63

Tabell 5.5 – Beräknade vibrationsnivåer på bjälklag från tung trafik vid olika hastigheter. Byggnader grundlagda på sandig morän.

Hastighet och avstånd	5 mm ojämnhetsnivå [mm/s vägd rms]	25 mm ojämnhetsnivå [mm/s vägd rms]
30 km/h på 8 meters avstånd	0,08	0,42
30 km/h på 16 meters avstånd	0,05	0,25
40 km/h på 8 meters avstånd	0,11	0,55
40 km/h på 16 meters avstånd	0,07	0,33

5.6 Kommentarer till resultat

5.6.1 Teoretiska beräkningar

Beräkningar och mätningar visar att risk för komfortstörande vibrationer kan uppstå i bjälklag om byggnader innefattar mer än ett våningsplan inom följande avstånd baserat på ansatta ojämnheter i vägbana.

5 mm ojämnheter

Riskområde <7 meter vid grundläggning genom platta på mark och torpargrund.

25 mm ojämnheter

För fallet där fordon framförs i 40 km/h uppgår riskområdet till cirka 30 meter om byggnad är grundlagd genom platta på mark på lera och ca 15 meter på lera. Denna typ av ojämnheter bedöms förekomma om det finns t ex en skada i vägbana, brunnstock, dagvattenbrunnar eller andra styvhetsförändringar i vägbana. Denna typ av risk bedöms kunna åtgärdas genom underhåll av vägbana eller att brunnstock och dagvattenbrunn ej förläggs i hjulspår eller planeras på tillräckligt stort avstånd från aktuella byggnader.

För fastighet Bergsbrunna 13:2 där SGU visar på ett betydligt lägre jorddjup bedöms också risken för vibrationsstörningar vara lägre. För fastighet Bergsbrunna 15:17 som enligt SGU är belägen på sand minskar också risken för vibrationsstörningar från väg enligt beräkningar i detta dokument. Informationen från SGU är dock inte exakt så därför har vi i denna rapport framför allt bedömt fallet lera och likvärdigt djup längs sträckan. Detta kan alltså ses som konservativt för dessa nämnda fastigheter.

5.6.2 Farthinder

Tidigare erfarenheter från mätningar på farthinder är att dessa mer motsvarar en ojämnheter upp mot 40–50 mm enligt beräkningar i denna utredning. Normalt är dock hastigheter betydligt lägre dvs <30 km/h.

Då området med lera bedöms vara känsligt med avseende på vibrationer bedöms riskområde för farthinder till byggnader med grundläggning genom platta på mark eller likvärdigt uppgå till cirka 40 meter.

Beräkningar avser ett "värsta fall" för då störfrekvens och egenfrekvens i bjälklag sammanfaller.

Ovannämnda risker gäller alltså enbart för bjälklag, dvs byggnader med fler våningsplan. För bottenplan och platta på mark uppgår riskområde till <10 meter. Viss osäkerhet kan föreligga för byggnader med "Torpgrund" men i andra utredningar har denna typ av grundläggning jämförts med platta på mark.

6 Slutsats

6.1 Riskområde

Riskområde avseende vibrationsnivåer på bjälklag baserat på hastighet och typ av ojämnheter presenteras i Tabell 6.1. Riskområde är bedömt för ett "värsta fall" då egenfrekvens i bjälklag sammanfaller med inkommande störfrekvens från tung trafik.

Tabell 6.1 – Riskområde med avseende på ojämnheter, fordonets hastighet och grundläggningstyp för byggnad.

Fordonshastighet / Grundläggning byggnad	5 mm	25 mm	Eventuella farthinder
25 km/h / platta på mark	-	-	Ca 40 meter
30 km/h / platta på mark	<5m	ca 25 m	-
40 km/h / platta på mark	<7m	ca 30 m	-

6.2 Samlad bedömning

Sammanfattning av framtagna riskområde med avseende på byggnader längs aktuell väg ger:

- Inga bostäder ligger så nära vägen att små ojämnheter, max 5 mm, bedöms orsaka komfortvibrationer över 0,4 mm/s vägd RMS. Mindre risk beräknas för fallet 40 km/h och endast 6 meter till väggkant, då vi har 6 meter som närmst till fastighetsgräns bedöms det vara ytterligare något större avstånd till väggkant för ny planerad väg.
- Utgallrade bostäder som ligger närmast vägen ligger på cirka 6–13 meters avstånd från ny planerad väg. Vid större ojämnheter, 25 mm, riskerar då att orsaka komfortvibrationer över 0,4 mm/s vägd RMS i bostaden (bjälklag).
- Vid bostäder inom 40 meter från eventuella farthinder riskeras vibrationer över 0,4 mm/s.

Ovanstående gäller för byggnader grundlagda med platta på mark.