

Uppsala kommun

Underlag till detaljplan för kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka B

Komfortvibrationer från spårväg, Vårdsättravägen
Gallring av fastigheter

Uppdragsnr: 108 27 59 Version: 1 Datum: 2022-07-08



Norconsult 

Uppdragsgivare: Uppsala kommun
Uppdragsgivarens kontaktperson: Maria Leander
Konsult: Norconsult AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg
Uppdragsledare: Andreas Sigfridsson
Handläggare: Anton Hermansson

1	2022-07-08	Rapport komfortvibrationer	Andreas Sigfridsson	Anton Hermansson	Andreas Sigfridsson
Version	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt

Detta dokument är framtaget av Norconsult AB 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

På uppdrag av Uppsala kommun har Norconsult Team Akustik fått i uppdrag att utreda om det föreligger risk för komfortstörningar från den planerade dragningen av spårväg längs Vårdsåtravägen till närliggande fastigheter. Uppdraget avser en första gallring baserat på avstånd till spår och övergripande geologiska förutsättningar för aktuella byggnader.

För att bedöma risken för komfortstörande vibrationer har beräkningar av förväntade vibrationsnivåer från framtida spårväg utförts. Beräkningarna har sin utgångspunkt i tidigare mätningar av vibrationsnivåer från spårvagnstrafik dels från Göteborg, dels från Norrköping. Dessa mätningar ger utgångspunkten för en hypotetisk storkälla med en viss amplitud och frekvensfördelning över vibrationer motsvarande spårvagnstrafik.

Vibrationer som alstrats i marken kan i värsta fall förstärkas i närliggande byggnader till följd av förekomst av resonanser i mark samt byggnadselement eller byggnadsstomme. Detta kan hända då störfrekvensen i marken sammanfaller med resonansfrekvensen i byggnaden. Utförda beräkningar i denna utredning utgår från att så kan ske och i de fall maximal störfrekvens sammanfaller med egenfrekvens i byggnad motsvarar därmed resultaten ett "värsta fall". Resultaten från beräkningar visar att risk för komfortstörande vibrationer från spårvägstrafik längs Vårdsåtravägen föreligger till flertalet redovisade fastigheter i denna utredning.

Efter utförd gallring rekommenderas en fortsatt utredning gällande risk för komfortstörande vibrationer där man noggrannare studerar de geologiska förutsättningarna och aktuella byggnaders grundläggning och stomme.

Om enbart en av dessa resonanser beaktas beräknas påverkansområde reduceras till cirka 10 meter och då inga inventerade fastigheter längs aktuell sträcka förekommer inom detta avstånd reduceras risk för komfortstörande vibrationer markant.

Vissa av fastigheterna är belägna på urberg och denna utredning avser ej bedömning gällande risk för stömljud.

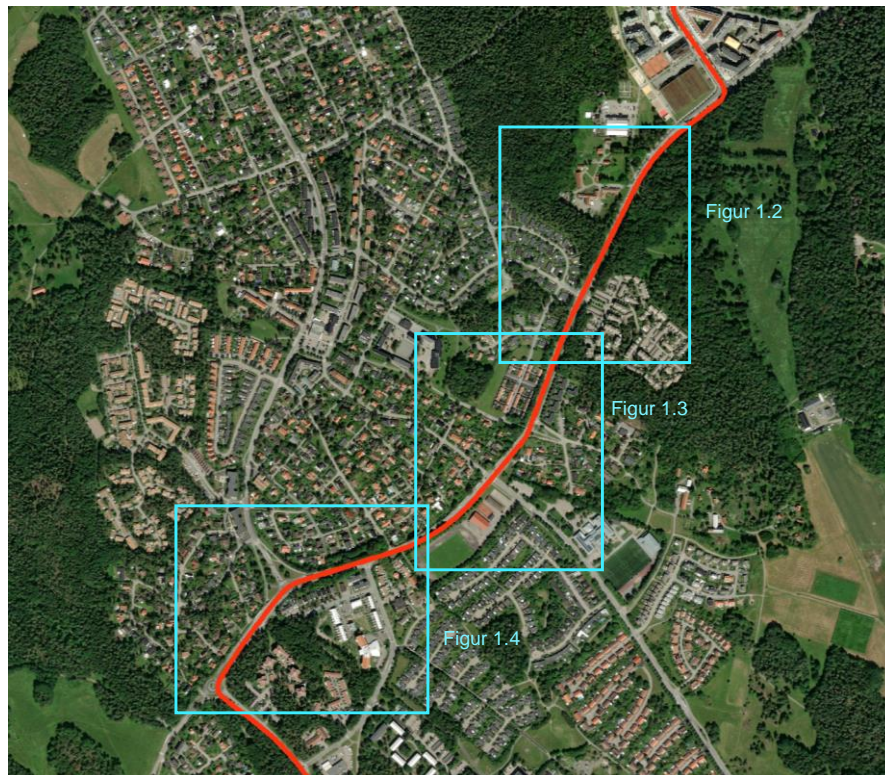
Innehåll

1	Bakgrund och uppdrag	5
2	Riktvärden	9
2.1	Svensk standard	9
2.2	Trafikverkets riktlinjer	9
3	Genomförande och metodik	10
4	Geologiska förutsättningar	11
4.1	Jordart och jorddjup enligt SGU's kartdatabas	11
5	Källdata utifrån mätningar på befintlig spårväg	13
5.1	Egenfrekvenser för jordlager	13
5.2	Avståndsdämpning	14
5.3	Överföring av vibrationer från mark till byggnad	14
6	Områdespåverkan	15
7	Bedömning och sammanställning av förutsättningar	16
8	Gallring – Sammanställning av fastigheter med bedömd risk	18
9	Kommentarer till resultat	19

1 Bakgrund och uppdrag

På uppdrag av Uppsala kommun har Norconsult Team Akustik fått i uppdrag att genomföra en första gallring av fastigheter längs delsträcka B och Vårdsättravägen. Gallringen avser att plocka ut de fastigheter där en risk för komfortstörande vibrationer föreligger med avseende på avstånd till föreslagna spårdragning och de geotekniska förhållandena i området. Gallring utförs efter en första bedömning om att området kan vara vibrationskänsligt då aktuellt jordlager består av lera.

Översiktskarta över aktuellt område för delsträcka B och aktuell del längs Vårdsättravägen presenteras i figur 1.1. Aktuell delsträcka för uppdraget har delats upp i tre delar för att närliggande fastigheter ska kunna presenteras tydligare. I figur 1.2 – 1.4 presenteras översiktsbilder för de fastigheter längs Vårdsättravägen som har beaktats i utredningen.

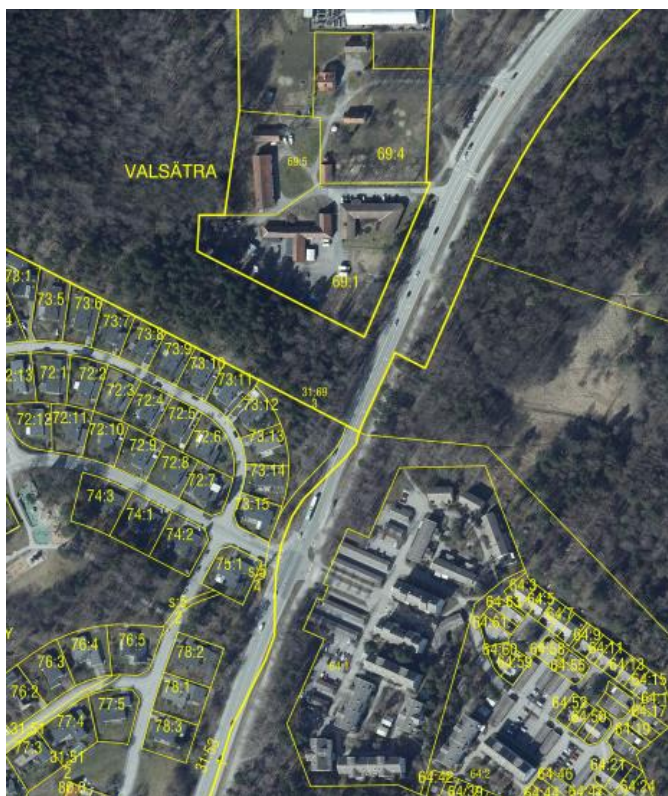


Figur 1.1. Översiktsbild över planerad spårvägstrafik längs Vårdsättravägen.

Commented [AH1]: Är det två olika saker, eller är delsträcka B samma som Vårdsättravägen?

Dvs. ska det vara "och" eller "inkl."

I figur 1.2 presenteras den nordligaste delen av sträckan, här är det framför allt de närmsta bostäderna på västra sidan som kan vara av störst intresse.



Figur 1.2. Översiktbild över aktuell delsträcka för planerad spårvägstrafik. (källa Lantmäteriet)

I figur 1.3 presenteras den mellersta delen av sträckan, här är det bostäder på båda sidor om Vårdsättravägen som kan vara av intresse.



Figur 1.3. Översiktbild över aktuell delsträcka för planerad spårvägstrafik. (källa Lantmäteriet)

I figur 1.4 presenteras den sydligaste delen av sträckan, även här är det bostäder på båda sidor om Vårdsättravägen som kan vara av intresse.



Figur 1.4. Översiktbild över aktuell delsträcka för planerad spårvägstrafik. (källa Lantmäteriet)

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

Frekvensvägning

Frekvensvägningen för komfortvibrationer dokumenteras i "SS 460 48 61: Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader" (Svensk Standard 1992). Frekvensvägningen viktar ner vibrationer för frekvenser som understiger 8 Hz, eftersom människan inte är lika känslig för vibrationer vid dessa frekvenser. Denna frekvensvägda vibrationshastighet kallas ofta för "komfortvärde".

Störning

Enligt standarden SS 460 48 61 utgör komfortvärdet 0,4 mm/s den nedre gränsen för ett amplitudintervall betecknat "måttlig störning", se tabell 2.1 nedan.

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 samma standard 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.

Tabell 2.1: Gränser för störningar avs. komfortvibrationer.

	Komfortvägd hastighet
Måttlig störning	0,4 – 1,0 mm/s
Sannolik störning	> 1 mm/s

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

Efter genomgång av förutsättningar för mark och berörda byggnader för den planerade spårsträckan bedöms initialt att risk för komfortstörande vibrationer i befintliga byggnader kan komma att uppstå. För att i tidigt skede gå igenom aktuell del av sträckan och gallra ut om risk för några fastigheter föreligger har följande arbetsgång använts:

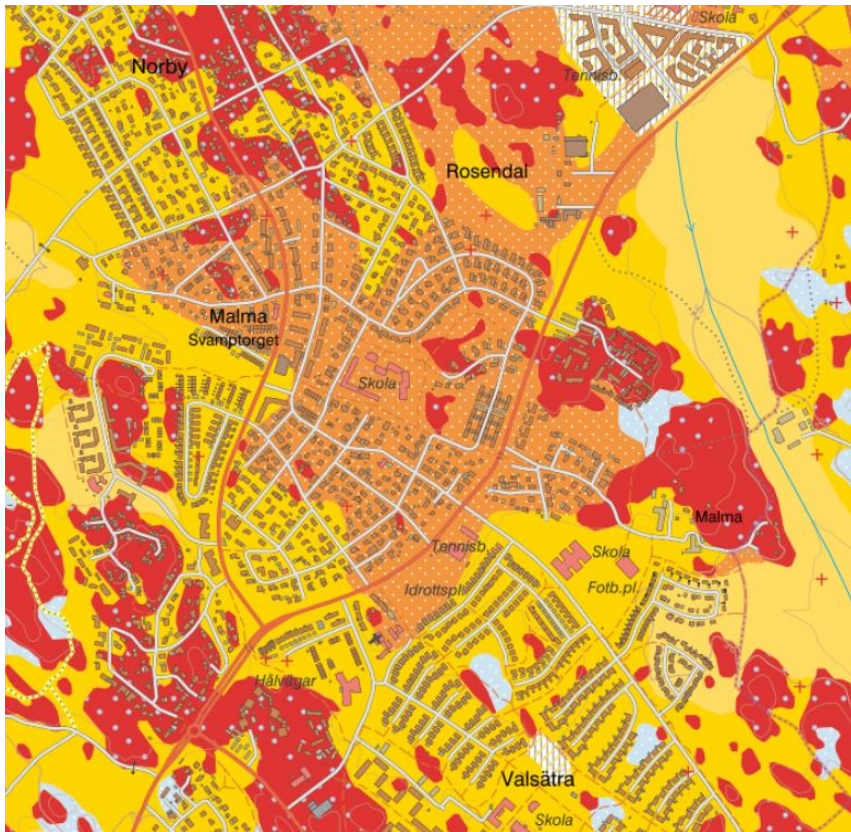
- Framtagning av påverkansområde.
 - o Översiktlig beräkning av riskområde vid markförhållanden med lera för aktuella jorddjup. Ett värsta fall beräknas då egenfrekvens i byggnad sammanfaller med egenfrekvens i mark.
 - o För att bedöma risk för komfortstörande vibrationer har resultat från tidigare mätningar av vibrationer med avseende på aktuell störkälla (spårvagnstrafik) använts. Mätningarna har utförts på spårväg dels i Göteborg, dels i Norrköping. 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 anpassas till aktuellt jorddjup vid passering av respektive fastighet.
- Sammanställning av fastigheter inom påverkansområde.
- Inventering geotekniska förutsättningar och avstånd till planerat spår för aktuella byggnader inom påverkansområdet
- Bedömning av risk för komfortstörningar med avseende på gällande riktlinjer enligt SS 460 48 61, baserat på sammanställd information enligt föregående steg.
- Slutlig gallring av fastigheter - sammanställning av de fastigheter där risk bedöms föreligga för komfortstörande vibrationer.
 - o För dessa fastigheter behöver risk för komfortstörande vibrationer utredas närmare.

4 Geologiska förutsättningar

4.1 Jordart och jorddjup enligt SGU's kartdatabas

Underlag från SGU's kartdatabas har använts för att uppskatta jordart samt jorddjup till berg för respektive fastighet. I figur 4.1 presenteras först jordart där färger motsvarar följande:

- Rött – Urberg
- Rött med ljusa prickar – Morän / Urberg
- Orange med vita prickar - Postglacial sand
- Gult – Glacial lera



Figur 4.1. Jordartskarta över aktuellt område (Källa: SGU 2022)

För jorddjup har information i följande karta använts för att plocka ut jorddjup vid respektive fastighet, se figur 4.2. Gröna färger representerar liten mäktighet på jordlager dvs litet jorddjup. Rödare färger representerar större mäktighet för jordlager.



Figur 4.2. Jorddjupskarta över aktuellt område (Källa: SGU 2022)

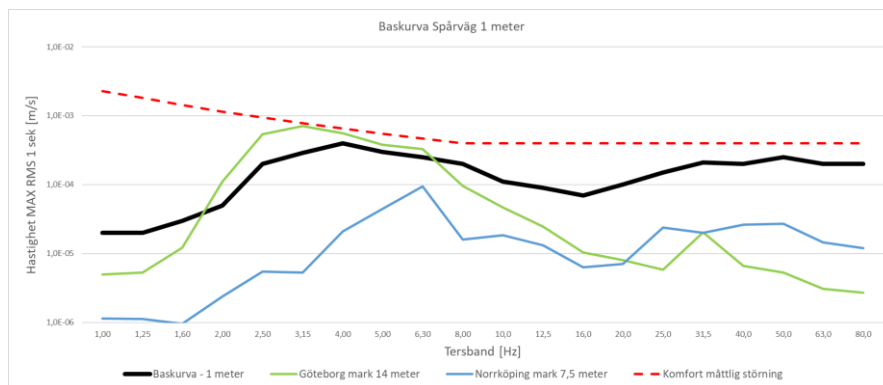
5 Källdata utifrån mätningar på befintlig spårväg

Slutlig vibrationsrespons från spårväg varierar kraftigt beroende på de geologiska förutsättningarna samt grundläggning av byggnad och uppbyggnad av spår. Över styvare jordlager och berg erhålls normalt mer högfrekvent vibrationsenergi som kan ge upphov till stömljud men för mer lösare jordlager med en viss mäktighet till berg erhålls normalt mer lågfrekvent respons. Då marken längs planerad sträcka för Vårdsättravägen delvis utgörs av lera med varierande djup till berg har två tidigare mätningar med liknande förutsättningar från Göteborg och Norrköping valts ut i detta uppdrag som referensmätningar. Detta för att kunna bedöma riskavstånd för vibrationsstörningar förhållande till avståndet till planerad spårväg. För uppmätta spårvägssträckor bedöms att inga vibrationsreducerade åtgärder finns, utan att dessa representerar vibrationsnivåer för "generellt" uppbyggd spårväg.

De två tidigare mätningar av vibrationsnivåer i mark med avseende på spårvägspassager har utförts på följande avstånd:

- Göteborg, 14 meter från spår.
- Norrköping, 7,5 meter från spår.

Uppmätta resultat redovisas tillsammans med framtagen baskurva i figur 5.1 som maximal RMS (1 sekund) över respektive tersband (1–80 Hz), vibrationsnivåerna jämförs med frekvenskurvan för komfortnivån på 0,4 mm/s vägd RMS som alltså motsvarar undre gräns för "Måttlig störning".



Figur 5.1. Uppmätta vibrationsnivåer i mark från två referensmätningar i Norrköping respektive Göteborg tillsammans med framtagen baskurva för projektet.

5.1 Egenfrekvenser för jordlager

Då spårtrafik framförs över spårväg alstras vibrationer och skapar 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 som denna resonans erhålls beror av skjuvvågshastigheten i jordlager, C_s , och jordlagrets mäktighet.

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

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

Commented [AH2]: Geologiska?

Commented [AH3]: Kanske skriva "maximal hastighet RMS... "?

Commented [AH4]: Rubriknivå 2 istället för 3?

5.2 Avståndsdämpning

Ju större avstånd från spårväg, desto lägre vibrationsnivåer förväntas. För korrektion för avståndsdämpning används Bornitz ekvation¹. Ekvationen består av två delar: geometrisk dämpning och materialdämpning. Den geometriska dämpningen beror på vibrationskällans karaktär och hur vågen fortplantar sig i marken, medan materialdämpningen beror på energiförluster i marken under vågens fortplantningsväg. Materialdämpningen är frekvensberoende och är större i jordar än i berg.

Enligt Bornitz ekvation är vibrationshastigheten i en punkt på avståndet r från vibrationskällan:

$$v = v_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^m e^{-\alpha(r-r_0)}$$

där v_0 är vibrationsnivån i marken vid ett känt avstånd r_0 . Koefficienten m är 0,5 för en ytvåg från en punktkälla längs ytan.

$$\alpha = \frac{2\pi f \xi}{c_p}$$

Där f är frekvensen, ξ markens dämpkvot och c_p utbredningsfart i den aktuella marktypen.

Enligt SGF¹ anges $c_p = 80$ – 180 m/s för lös lera, halvfast lera anges till 180 – 300 m/s och fast lera 300 – 500 m/s. För denna utredning och aktuell delsträcka längs Vårdsåtravägen har skjuvvågshastigheten $c_p = 200$ m/s använts för beräkningar. Markens dämpkvot har satts till $\xi = 0,2$ för 50 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.

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

6 Områdespåverkan

Beräkningar visar att om jordart och jorddjup medför att en resonans uppstår runt 5–10 Hz och då sammanfaller med egenfrekvens i stomme dvs bjälklag för vertikal riktning, så erhålls störst risk för komfortstörande vibrationer. Detta innebär i så fall kännbara vibrationer på högre våningsplan dvs ej bottenplatta inom byggnaden. Denna typ av beräkning visar på ett "värsta fall" och skulle för lera med en mäktighet på cirka 5–10 meter motsvara detta fall. Vid djupare lerlager blir denna egenfrekvens lägre och riskerar då även påverka vibrationer i horisontell riktning. I dessa fall är istället egenfrekvens för grundläggning och stomme av störst intresse.

Beräkningar visar att då egenfrekvens i mark och byggnad sammanfaller omkring 5–10 Hz så kan påverkansområde med avseende på komfortnivå för "Måttlig störning" uppgå till cirka 30 – 40 meter. Detta kräver alltså en fullständig matchning mellan egenfrekvens i mark och i byggnad vilket bör ses som ett extremt värsta fall. Då egenfrekvens för bjälklag normalt är något högre än just 5 Hz då störst risk föreligger bedöms ett mer rimligt påverkansområde uppgå till cirka 30 meter från spår.

Kontroll har även utförts för fallet postglacial sand och visar på samma påverkansområden, dock skiljer sig ingående parametrar något och framför allt kan utbredningsfarten förväntas vara något högre. Detta påverkar då även lägsta egenfrekvens i mark som då ökar.

Om ingen överensstämmelse mellan resonans i mark och resonanser byggnader förekommer utan förstärkning från endast en av dessa beaktas sjunker påverkansområdet till cirka 10 meter från spår.

7 Bedömning och sammanställning av förutsättningar

I tabell 7.1 och 7.2 redovisas de sammanställda förhållandena för aktuella fastigheter inom 30 meter från planerad spårdragning. Uppdelning av fastigheter för de olika tabellerna har gjorts för **norr om spår** respektive **söder om spår**.

Baserat på beräkningar och sammanställda förutsättningar har risk för komfortstörande vibrationer utvärderats och redovisas i sista kolumnen.

Tabell 7.1. Sammanställning av fastigheter och förutsättningar inom 30 meter från spår längs den norra sidan.

Fastighet:	Jorddjup till berg [m]	Jordart	Avstånd till spår [m]	Bedömd risk
VALSÄTRA 69:1	0	Postglacial sand	25	Mycket liten risk
NORBY 73:14	1–3	Postglacial sand	24	Mycket liten risk
NORBY 73:15	1–3	Postglacial sand / Glacial lera	21	Mycket liten risk
NORBY 75:1	1–3	Postglacial sand / Glacial lera	21	Mycket liten risk
NORBY 78:2	0	Morän / Urberg	18	Mycket liten risk
NORBY 78:1	3–5	Postglacial sand	18	Liten risk
NORBY 78:3	3–10	Postglacial sand	24	Risk
NORBY 81:12	5–10	Postglacial sand	15	Risk
NORBY 81:11	5–10	Postglacial sand	15	Risk
NORBY 81:10	5–10	Postglacial sand	16	Risk
NORBY 81:9	5–10	Postglacial sand	18	Risk
NORBY 81:8	5–10	Postglacial sand	19	Risk
NORBY 81:7	5–10	Postglacial sand	19	Risk
NORBY 87:4	5–10	Postglacial sand	29	Risk
NORBY 87:7	5–10	Postglacial sand	25	Risk
NORBY 87:15	10–20	Postglacial sand	23	Risk
NORBY 87:8	10–20	Postglacial sand	30	Risk
NORBY 100:2	3–10	Postglacial sand	28	Risk
NORBY 104:9	5–10	Glacial lera	20	Risk
NORBY 104:12	5–10	Glacial lera	24	Risk
NORBY 111:6	0–1	Urberg	25	Mycket liten risk
NORBY 111:1	0–1	Glacial lera	24	Mycket liten risk
NORBY 113:13	0	Urberg	28	Mycket liten risk
NORBY 113:7	0	Urberg	25	Mycket liten risk
NORBY 113:4	1–3	Morän / Urberg	22	Mycket liten risk

Tabell 7.2. Sammanställning av fastigheter och förutsättningar inom 30 meter från spår längs den södra sidan.

Fastighet:	Jorddjup till berg [m]	Jordart	Avstånd till spår [m]	Bedömd risk
VALSÄTRA 62:4	3–10	Postglacial sand	26	Risk
VALSÄTRA 7:2	5–10	Postglacial sand	18	Risk
VALSÄTRA 59:3	5–10	Postglacial sand / Glacial lera	16	Risk
VALSÄTRA 70:1	5–10	Glacial lera	27	Risk
VALSÄTRA 58:14	0	Glacial lera	28	Mycket liten risk
VALSÄTRA 58:13	0	Glacial lera	28	Mycket liten risk
VALSÄTRA 58:12	0	Glacial lera	27	Mycket liten risk
VALSÄTRA 58:11	0	Glacial lera	24	Mycket liten risk
VALSÄTRA 58:10	0	Glacial lera	21	Mycket liten risk
VALSÄTRA 58:9	0–3	Glacial lera	18	Mycket liten risk

8 Gallring – Sammanställning av fastigheter med bedömd risk

För både norr och söder om spår har fastigheter med risk plockats ut och sammanställs i tabell 8.1.

Tabell 8.1: Beräknade komfortnivåer för respektive fastighet.

Fastighet:	Jorddjup till berg [m]	Jordart	Avstånd till spår [m]	Bedömd risk
NORBY 78:1	3–5	Postglacial sand	18	Liten risk
NORBY 78:3	3–10	Postglacial sand	24	Risk
NORBY 81:12	5–10	Postglacial sand	15	Risk
NORBY 81:11	5–10	Postglacial sand	15	Risk
NORBY 81:10	5–10	Postglacial sand	16	Risk
NORBY 81:9	5–10	Postglacial sand	18	Risk
NORBY 81:8	5–10	Postglacial sand	19	Risk
NORBY 81:7	5–10	Postglacial sand	19	Risk
NORBY 87:4	5–10	Postglacial sand	29	Risk
NORBY 87:7	5–10	Postglacial sand	25	Risk
NORBY 87:15	10–20	Postglacial sand	23	Risk
NORBY 87:8	10–20	Postglacial sand	30	Risk
NORBY 100:2	3–10	Postglacial sand	28	Risk
NORBY 104:9	5–10	Glacial lera	20	Risk
NORBY 104:12	5–10	Glacial lera	24	Risk
VALSÄTRA 62:4	3–10	Postglacial sand	26	Risk
VALSÄTRA 7:2	5–10	Postglacial sand	18	Risk
VALSÄTRA 59:3	5–10	Postglacial sand / Glacial lera	16	Risk
VALSÄTRA 70:1	5–10	Glacial lera	27	Risk

9 Kommentarer till resultat

Från tidigare erfarenheter är risken betydligt mindre för komfortstörande vibrationer då avstånd mellan spår och byggnader är mer än 15–20 meter. Beräkningar i denna rapport avser mer ett värsta fall för när egenfrekvens i mark är likvärdig med egenfrekvens i byggnadselement eller stomme för byggnad.

I nästa steg behöver detta beaktas närmare för de fastigheter som denna gallring avser.

Om enbart en av dessa resonanser beaktas beräknas påverkansområde reduceras till cirka 10 meter och då inga inventerade fastigheter längs aktuell sträcka förekommer inom detta avstånd reduceras risk för komfortstörande vibrationer markant.

Vissa av fastigheterna är belägna på urberg och denna utredning avser ej bedömning gällande risk för stömljud.