

Uppsala kommun

Underlag till detaljplan för kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka A

Komfortvibrationer från spårväg, Bäverns gränd

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



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	Anton Hermansson	Andreas Sigfridsson	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 vibrationsstörningar från den planerade dragningen av spårväg längs Bäverns Gränd till närliggande byggnader innehållandes bostäder. Området bedöms kunna vara vibrationskänsligt då områdets jordlager består av lera, samt då vissa byggnader inom området är från 1800-talet med varierande grundförhållanden och bjälklagsuppbyggnader.

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 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 på Bäverns gränd föreligger till angränsande bostäder.

Då avståndet mellan byggnader och befintlig väg för Bäverns gränd är litet bör risk för komfortstörande vibrationer förekomma även i nuläget, framför allt i de fall då tung trafik passerar och om det finns ojämnheter i vägbanan.

Med avseende på framräknade resultat rekommenderas därmed att vibrationsisolerande åtgärder för spårvagnstrafik längs den aktuella sträckan utreds vidare. Normal grundläggning för spår bör inte utföras med avseende på risk för komfortstörande vibrationer. Som mest visar beräknade vibrationsnivåer att en reducering av 75% av vibrationsnivåerna kan krävas jämfört med fallet med normal grundläggning. Utöver förbättrad grundläggning för spår bör även hastighetsreglering övervägas för att ytterligare reducera risk för vibrationsstörningar.

I andra utredningar och litteratur finns exempel på åtgärder av spårana som kan reducera vibrationer med 30 – 90 %. Exempel på sådana åtgärder kan vara utskiftning av lösare lermassor till stabilare massor, kalk/cementstabilisering under bana eller betongdäck som stöds av palar ned till fastare jordlager.

Beräknade resultat bygger på anpassningar av befintliga utförda mätningar samt de underlag som fanns tillgängliga vid utredningstillfället. Om förutsättningar för geoteknik, byggnader och bjälklag är annorlunda än gjorda antaganden kan detta resultera i både högre och lägre vibrationsnivåer. Förutsättningar avseende markförhållanden och byggnader kan alltså behöva kontrolleras i ett senare skede.

Vår bedömning är att det är möjligt att bebygga etappen Bäverns gränd med spårväg om nämnda risker i denna utredning beaktas. Resultaten visar att en eller flera åtgärder krävs för att reducera spårvägens vibrationsalstring till närliggande byggnader.

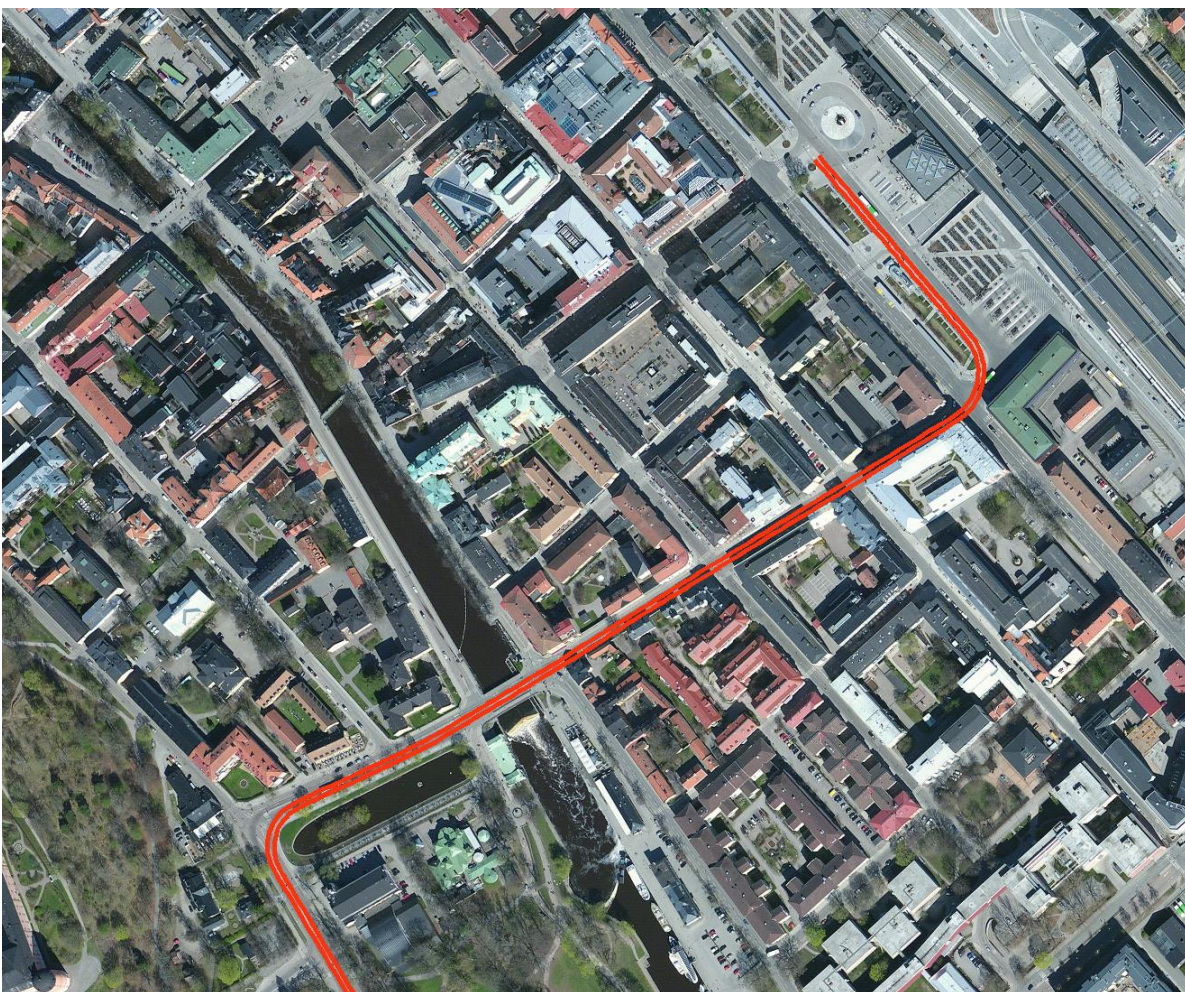
Innehåll

1	Bakgrund och uppdrag	5
2	Riktvärden	7
2.1	Svensk standard	7
2.2	Trafikverkets riktlinjer	7
3	Genomförande och metodik	8
4	Förutsättningar byggnader	9
4.1	Jorddjup till berg	9
4.2	Befintliga byggnader	10
5	Källdata utifrån mätningar på befintlig spårväg	11
5.1.1	<i>Egenfrekvenser för jordlager</i>	11
5.1.2	<i>Avståndsdämpning</i>	12
5.2	Överföring av vibrationer från mark till byggnad	12
6	Byggnadsresonanser	13
6.1	Genomgång befintliga ritningar	13
6.2	Beräkningar av lägsta egenfrekvenser	13
6.3	Sviktmätningar av lägsta egenfrekvenser	14
7	Resultat – Beräkning av vibrationsnivå i byggnader	15
8	Kommentarer till resultat	16

1 Bakgrund och uppdrag

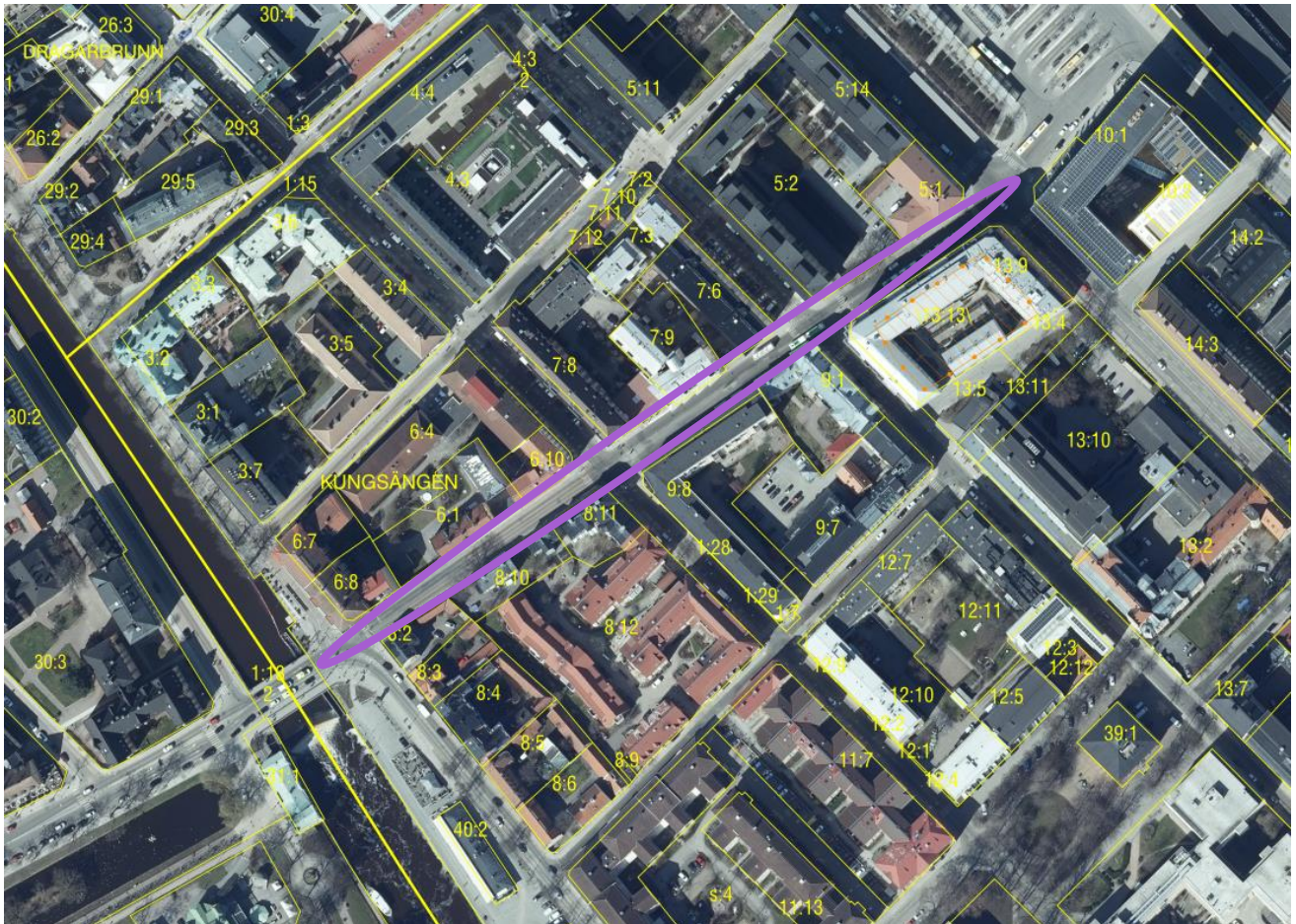
På uppdrag av Uppsala kommun har Norconsult Team Akustik fått i uppdrag att utreda om det föreligger risk för vibrationsstörningar från den planerade dragningen av spårväg längs Bäverns Gränd till närliggande byggnader innehållandes bostäder. Området bedöms kunna vara vibrationskänsligt då områdets jordlager består av lera, samt då vissa byggnader inom området är från 1800-talet med varierande grundförhållanden och bjälklagsuppbyggnader. För vissa av de närliggande fastigheterna har också större sättningar noterats vilket bidrar till bedömningen om att dessa kan vara vibrationskänslig.

Översiktsskarta över aktuellt område från centralstationen längs Bäverns gränd presenteras i figur 1.1.



Figur 1.1. Översiktsskarta över planerad spårvägstrafik.

Aktuell delsträcka för uppdraget (Bäverns gränd) redovisas som inringad med lila i figur 1.2 nedan:



Figur 1.2. Översiktspild 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 känslighetsgräns 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. I nästa steg har arbetet delats upp i följande steg:

- **Inventering geotekniska förutsättningar/ritningsunderlag för befintliga byggnader**
Genomgång av gamla handlingar för befintliga byggnader avseende bjälklagskonstruktioner, spännvidder, grundläggning, jorddjup, avstånd till planerad spårväg etc.
- **Framtagande av vibrationsdata för spårvägskälla.** 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.
- **Mätningar och beräkningar av resonanser inom byggnader.** För byggnader där bjälklagskonstruktionen inte framgår tydligt via ritningar, utförs mätningar av egenfrekvenser i bjälklag. För kända bjälklagskonstruktioner är egenfrekvenser i bjälklag framtagna genom beräkning.
- **Beräkningar av respons i byggnader.** För vibrationsnivåer i mark gäller normalt sett att dessa reduceras vid överföring till byggnadens sockel. Detta är beroende av vilken typ av grundläggning som aktuell byggnad innehar. För angränsande fastigheter inom området kommer alltså vibrationsnivåerna att vara starkt beroende av de olika byggnadernas egenskaper. Då dessutom egenfrekvenser i stomme och grundläggning potentiellt kan förstärka vibrationerna inom byggnaden har förstärkningar vid dessa egenfrekvenser enligt ovan beaktats.
- **Risikutvärdering avs. vibrationer.** Beräknade vibrationsnivåer jämförs därefter med gällande riktvärden enligt SS 460 48 61, och utmynnar i en riskanalys för de närmast belägna byggnaderna längs den aktuella spårvägssträckningen.

4 Förutsättningar byggnader

4.1 Jorddjup till berg

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 **postglacial lera** som underliggande lager med ett ovanliggande grundlager av **fyllning**. Jorddjupen till berg längs sträckan enligt SGU:s jorddjupskarta varierar mellan 3-5 m, 5-10 m, 10-20 m och 20-30 m.

I tabell 4.1 nedan redovisas jordlagerföljden inom de närliggande kvarteren till Bäverns gränd som beaktas i denna utredning.

Tabell 4.1 – Jordlagerförhållande för aktuella fastigheter.

Fastighet:	Jorddjup till berg enligt SGU-karta:
Kungsängen 13:9	Ca 30 m
Kungsängen 5:1	Ca 30 m
Kungsängen 5:2	Ca 25 m + 2-3 m sandblandad lera
Kungsängen 9:1	10-20 m
Kungsängen 9:8	Ca 30 m
Kungsängen 7:6	Ca 25 m
Kungsängen 7:9	35-40 m
Kungsängen 7:8	26-34 m
Kungsängen 8:11	3-5 m
Kungsängen 8:10	10-20 m
Kungsängen 8:2	10-30 m
Kungsängen 8:3	10-30 m
Kungsängen 6:10	3-20 m
Kungsängen 6:1	10-20 m
Kungsängen 6:8	10-30 m

4.2 Befintliga byggnader

Grundläggningsförhållanden och annan relevant information om berörda fastigheter har inventerats vid genomgång av gamla ritningar erhållna av Stadsbyggnadsförvaltningen på Uppsala kommun. Denna visar att för fastigheterna närmast belägna den planerade nya spårvägsleden utgörs av grundläggning enligt tabell 4.2. Observera att i de fall då uppgifter om grundläggning för respektive byggnad finns, ses dessa som mer tillförlitliga avs. avstånd till fast berg jämfört med SGU:s karta över jorddjup. I beräkningar är således primärt nedanstående uppgifter använda framför SGU:s.

Tabell 4.2 – grundläggningsförhållande för berörda fastigheter.

Fastighet:	Beskrivning	Grundläggning enl. gamla ritningar:	Byggår:	Avstånd till spårmit (m)
Kungsängen 13:9	Bostäder med lokaler i bottenplan	Pålning stålrör ca 30 m	2006	7
Kungsängen 5:1	Bostäder med lokaler i bottenplan	Stödpålar av btg ca 30 m	1982	7
Kungsängen 5:2	Bostäder	Betongpålar	1961	8,5
Kungsängen 9:1	Bostäder med lokaler i bottenplan / bostäder	Torpargrund/källare	1860-1880	4,5
Kungsängen 9:8	Bostäder i huvudsak	Kohesionspålar	1967	8,5
Kungsängen 7:6	Bostäder	Pålning	1967	5
Kungsängen 7:9	Bostäder med lokaler i bottenplan	Pålning	2005	5
Kungsängen 7:8	Vårdlokaler plan 1-2, i övrigt bostäder	Betongpålar 26-34 m	1975	5
Kungsängen 8:11	Bostäder med lokaler i bottenplan	Sannolikt Torpargrund / källare på rustbädd	1800-tal (?)	4,5
Kungsängen 8:10	Bostäder	Sannolikt torpargrund	1800-tal	4,5
Kungsängen 8:2	Bostäder	Torpargrund/källare	1921	4,5
Kungsängen 8:3	Bostäder	Torpargrund/källare	1921	24
Kungsängen 6:10	Kontor	Uppgift saknas	1941	5
Kungsängen 6:1	Bostäder	Sannolikt torpargrund	1837/1929	5 (Bäverns gränd 4) 15 (Bäverns gränd 6)
Kungsängen 6:8	Bostäder med lokaler i bottenplan	Pålning 12 m (troligen kohesionspålning)	1935	5

Störst risk för komfortstörande vibrationer bedöms föreligga för fastigheter med Rustbädd / Torpargrund dvs. fastigheter Kungsängen 9:1, 8:11, 8:10, 8:2, 8:3, 6:10, 6:1 och 6:8, men på grund av korta avstånd till planerad spårväg finns även risk för övriga byggnader.

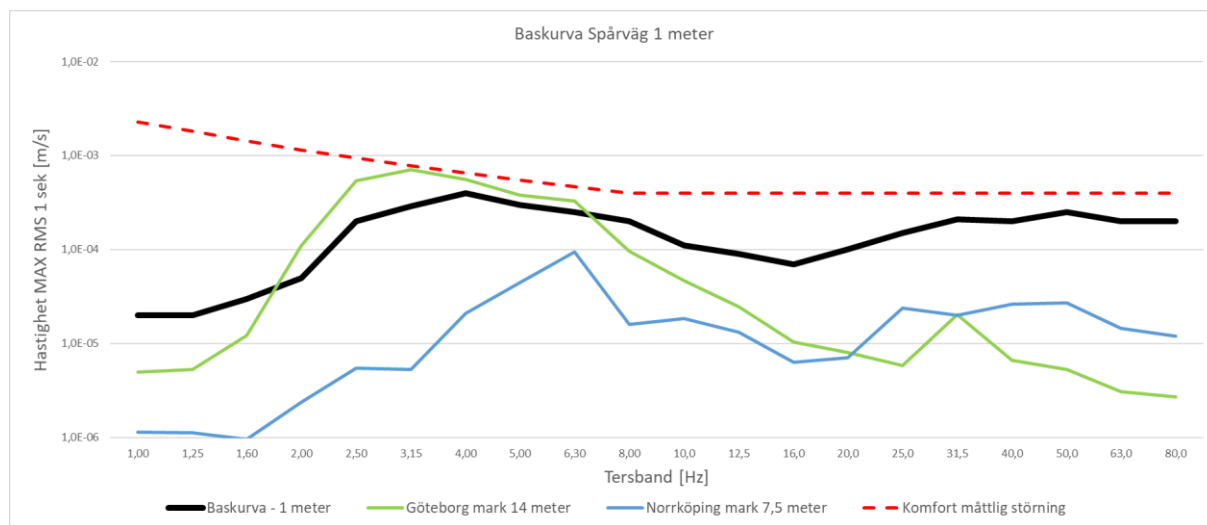
5 Källdata utifrån mätningar på befintlig spårväg

Uppmätt vibrationsrespons från spårväg varierar kraftigt beroende på de geotekniska förutsättningarna samt grundläggning av byggnad och uppbyggnad av spår. Över styvare jordlager och berg erhålls normalt mer högfrekvent vibrationsenergi som kan ge upphov till stomljud men för mer lösare jordlager med en viss mäktighet till berg erhålls normalt mer lågfrekvent respons. Då marken i närheten längs föreslagen sträcka utgörs av lera med varierande djup till berg har två tidigare mätningar från Göteborg och Norrköping valts ut i detta uppdrag som referensmätningar, där de geologiska förutsättningarna liknar förutsättningarna i Uppsala. 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 max 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.

5.1.1 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 skjuvväghastigheten 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.

5.1.2 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 Bäverns gränd har skjuvvågshastigheten $c_p = 200$ m/s använts för beräkningar. Markens dämpkvot har satts till $\xi = 0,2$ för 50 Hz.

Då aktuella fastigheter och byggnader inom detta uppdrag är belägna på relativt korta avstånd från planerad spårväg är det framför allt den geometriska dämpningen som är dimensionerande vid låga frekvenser i mjukare jordlager.

5.2 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. Vid pålning ned till fastare jordlager kan en faktor 0,4 vara mer aktuell att använda, framför allt för vertikal riktning. Flera av aktuella byggnader längs Bäverns gränd är pålade ner till fastare jordlager. För dessa fall presenteras ett resultat inom parentes i Tabell 7.1 som avser beräkningsresultat med just faktorn 0,4 i övergång mellan mark och byggnad.

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

6 Byggnadsresonanser

6.1 Genomgång befintliga ritningar

Efter genomgång av ritningsmaterial från Stadsbyggnadsförvaltningens arkiv är bjälklagsuppbyggnaden för vissa av fastigheterna kända, men för vissa inte möjligt att fastställa. För kända bjälklagstyper kan egenfrekvensen beräknas, men för okända bjälklagstyper har egenfrekvensen bestämts genom stickprovsmätningar.

För samtliga fastigheter där bjälklagen kontrollerats med mätning är dessa uppbyggda som träbjälklag.

6.2 Beräkningar av lägsta egenfrekvenser

För byggnader med betongbjälklag har tre tjocklekar identifierats för berörda fastigheter: 160 mm, 200 mm respektive 250 mm. Detta medför ytvikter på motsvarande 384 kg/m², 480 kg/m² respektive 600 kg/m².

Höjd på bjälklag, spännvidd samt infästning/uppläggning avgör vilken egenfrekvens som erhålls. Överslagsberäkningar är utförda för rektangulära tvärsnitt, fritt upplagda.

Tabell 6.1: Beräknade egenfrekvenser i bjälklag.

Fastighet:	Bjälklagstyp	Spännvidd (längsta) (m)	Beräknad egenfrekvens bjälklag
Kungsängen 13:9	250 mm btg	7	$f_0 = 8$ Hz
Kungsängen 5:1	200 mm btg	5,5	$f_0 = 10$ Hz
Kungsängen 5:2	160 mm btg	6	$f_0 = 7$ Hz
Kungsängen 9:8	160 mm btg	7	$f_0 = 5$ Hz
Kungsängen 7:6	160 mm btg	8	$f_0 = 4$ Hz
Kungsängen 7:9	250 mm btg	7	$f_0 = 8$ Hz
Kungsängen 7:8	160 mm btg	7	$f_0 = 5$ Hz
Kungsängen 6:10	Ej känt, antaget 160 mm btg	5	$f_0 = 10$ Hz

6.3 Sviktmätningar av lägsta egenfrekvenser

I de fastigheter där egenfrekvensen inte varit möjlig att bestämma utifrån ritningsunderlag har i stället mätning av denna utförts. Mätningen utförs genom s.k. hälexcitering av bjälklaget samtidigt som en vibrationsgivare i golvet mäter responsen då bjälklaget svänger av sig självt. Själva hälexciteringen utförs genom att en person går upp på tå och sedan faller ned på hälarna. Analys av bjälklagets svängning utförs därefter och en lägsta egenfrekvens plockas ut.

Stickprovsmätningar har utförts i 10 st. byggnader där risk för komfortstörningar tidigare bedömts föreligga. För aktuella utrymmen har mätningar utförts i 1-2 utrymmen med olika spännvidder. Resultat från mätningar ger följande lägsta egenfrekvens för uppmätta bjälklag:

Tabell 6.2: Uppmätta egenfrekvenser i bjälklag.

Fastighet	Uppmätt utrymme	Uppmätt egenfrekvens bjälklag
Kungsängen 9:1 (Dragarbrunnsgatan 63A)	Vardagsrum/kök plan 2 tr.	9 Hz resp. 13 Hz
Kungsängen 9:1 (Dragarbrunnsgatan 63C)	Vardagsrum plan 1 tr. Sovrum plan 2 tr (vind)	15,4 Hz 11 Hz
Kungsängen 8:11	Vardagsrum plan 2 tr	10,5 Hz
Kungsängen 8:10 (Bäverns gränd 3B)	Vardagsrum 1rok vind	13 Hz
Kungsängen 8:10 (Bäverns gränd 3A)	Vardagsrum och sovrumsplan 1 tr.	13,8 resp. 14,4 Hz
Kungsängen 8:2	Vardagsrum/kök plan 2 tr.	8,8 Hz resp. 11,7 Hz
Kungsängen 8:3	Vardagsrum plan 2 tr.	11,5 Hz
Kungsängen 6:1 (Bäverns gränd 4)	Rum 1rok 2 tr rakt fram	15 Hz
Kungsängen 6:1 (Bäverns gränd 6)	Vardagsrum lgh 2 tr	9,5 Hz
Kungsängen 6:8	Vardagsrum/matsal plan 2 tr.	12,5 Hz resp. 14,7 Hz

I flera fall är egenfrekvensen uppmätt för vindbjälklag. Det är sannolikt att egenfrekvensen i mellanbjälklag skiljer sig från detta, resultaten kan därmed variera något.

7 Resultat – Beräkning av vibrationsnivå i byggnader

Beräknade komfortnivåer har tagits fram för respektive byggnad, utifrån dess förutsättningar om lerdjup (utbredning vibrationer i mark), grundläggning, avstånd till spår, och egenfrekvenser i bjälklag. Resultat för respektive fastighet redovisas i tabell 7.1.

Tabell 7.1: Beräknade komfortnivåer för respektive fastighet.

Fastighet:	Grundläggning enl. gamla ritningar:	Beräknad vibrationsnivå med övergångsfaktor 0,8 (0.4)	Riktvärde för dimensionerande frekvens
Kungsängen 13:9	Pålning stålrör ca 30 m	0,7 mm/s @ 8 Hz (0,35mm/s)	0,40 mm/s
Kungsängen 5:1	Stödpålar av btg ca 30 m	0,5 mm/s @ 8 Hz (0,25mm/s)	0,40 mm/s
Kungsängen 5:2	Betongpålar	0,6 mm/s @ 8 Hz (0,3 mm/s)	0,40 mm/s
Kungsängen 9:1	Torpargrund/källare	0,4-1,4 @ 8 Hz [63A-B] 0,4-1,3 @ 6 Hz [63C]	0,40 mm/s 0,46 mm/s
Kungsängen 9:8	Kohesionspålar	1,5 mm/s @ 5 Hz (0,75 mm/s)	0,54 mm/s
Kungsängen 7:6	Pålning	1 mm/s @ 5 Hz (0,5 mm/s)	0,54 mm/s
Kungsängen 7:9	Pålning	0,8 mm/s @ 8 Hz (0,4 mm/s)	0,40 mm/s
Kungsängen 7:8	Betongpålar 26-34 m	2,0 mm/s @ 4 Hz (1,0 mm/s)	0,65 mm/s
Kungsängen 8:11	Sannolikt Torpargrund / källare på rustbädd	1,0 mm/s @ 8 Hz	0,4 mm/s
Kungsängen 8:10	Sannolikt torpargrund	0,4 mm/s @ 4 Hz [3B] 0,4 mm/s @ 4 Hz [3A]	0,65 mm/s 0,65 mm/s
Kungsängen 8:2	Torpargrund/källare	0,4 mm/s @ 8 Hz – 1,4 mm/s @ 8 Hz	0,40 mm/s
Kungsängen 8:3	Torpargrund/källare	0,2 mm/s @ 8 Hz	0,40 mm/s
Kungsängen 6:10	Uppgift saknas	0,9 mm/s @ 8 Hz	0,40 mm/s
Kungsängen 6:1	Sannolikt torpargrund	0,4 mm/s @ 16 Hz 0,5 mm/s @ 6,3 Hz	0,40 mm/s 0,46 mm/s
Kungsängen 6:8	Pålning 12 m (troligen kohesionspålning)	0,3 mm/s @ 3,15 Hz – 0,4 mm/s @ 8 Hz	0,78 mm/s 0,40 mm/s

8 Kommentarer till resultat

Beräknade nivåer i byggnader ligger generellt över gällande riktlinjer för bostäder vid en antagen övergångsfaktor på 0,8 från mark till byggnadsgrund. Då vissa av fastigheterna innefattar en pålad grundläggning bör denna faktor kunna reduceras till 0,4, framför allt med avseende på vibrationer i vertikal riktning.

Då byggnader med betongbjälklag ej har uppmätts på plats utan i stället beräknats från K-ritningar visar resultaten på lägre egenfrekvenser jämfört med de fastigheter där egenfrekvensen bestämts genom mätningar. I praktiken är dessa sannolik något högre och skulle då kunna innebära mindre risk för höga vibrationsnivåer.

Med avseende på resultaten ovan rekommenderas därmed att vibrationsisolerande åtgärder för spårvagnstrafik längs den aktuella sträckan utreds vidare. Normal grundläggning för spår bör inte utföras med avseende på risk för komfortstörande vibrationer. Som mest visar beräknade vibrationsnivåer att en reduktion av 75% av vibrationsnivåerna kan krävas. Utöver förbättrad grundläggning för spår bör även hastighetsreglering övervägas för att ytterligare reducera risk för vibrationsstörningar.

I andra utredningar och litteratur finns åtgärder av spårana som kan reducera vibrationer med 30 – 90 %. Exempel på åtgärder kan vara utskiftning av lösare lermassor till stabilare massor, kalk/cementstabilisering under bana eller betongdäck som stöds av pålar ned till fastare jordlager.

Tunga fordon passerar sträckan redan idag och om inga nya ojämnheter införs som kan förvärra dagens situation är bedömningen att likvärdiga vibrationsnivåer erhålls med utbyggd spårväg. Erfarenheter från Göteborg stad visar att busstrafik (eller annan tung trafik) som passerar i eller över spårvägsspår ofta kan generera högre vibrationsnivåer än själva spårvägstrafiken. Detta på grund av de ojämnheter som spåren per automatik innebär. Situationen kan därmed förvärras med avseende på vibrationer från tunga fordon i det fall spårväg anläggs, jämfört med enbart slät vägbana.

Tung trafik genererar ofta störningar inom frekvensområdet 8–12 Hz för vertikal riktning och för de byggnader där bjälklagens egenfrekvenser sammanfaller med detta frekvensområde föreligger risk för komfortstörande vibrationer. Detta gäller både nuläge och en framtida situation beroende på med vilken hastighet fordonen framförs samt hur stora ojämnheter är som trafiken passerar.

Beräknade resultat bygger på anpassningar av utförda mätningar i Göteborg och Norrköping samt de underlag som fanns tillgängliga vid utredningstillfället. Om förutsättningar för geoteknik, byggnader och bjälklag är annorlunda än gjorda antaganden kan resultaten medföra både högre och lägre vibrationsnivåer. Förutsättningarna kan alltså behöva kontrolleras i ett senare skede.

För vibrationsnivåer i horisontell riktning kan även egenfrekvensen i byggnadens stomme medföra förstärkt respons. Det finns enklare beräkningsmetoder för schablon-överslag av egenfrekvens i horisontell led som bygger på tumreglerna $f_0 = 10/(\text{antal våningsplan})$ alternativt $f_0 = 48/H$ där H är lika med höjden på byggnaden i meter. För 2–3 våningshus kan alltså egenfrekvens i horisontell riktning erhållas vid 3–5 Hz och vid förekomst av djupare lerlager kan alltså denna kombination även medföra förstärkning av komfortstörande vibrationer.

Vår bedömning är att det är möjligt att bebygga etappen Bäverns gränd med spårväg om nämnda risker i denna utredning beaktas. Resultaten visar att en eller flera åtgärder krävs för att reducera spårvägens vibrationsalstring till närliggande byggnader.