



Buller och stomljud

Tunnelbana till Nacka och söderort

Titel: Buller och stomljud

Uppdragsledare: Magnus Grandin, Sweco/TYPSA

Projektledare: Martin Hellgren, FUT

Bilder & illustrationer: Sweco/TYPSA och SLL där inget annat anges

Dokumentid: 2320-N21-24-00041

Diarienummer: FUT 2017-0093

Utgivningsdatum: 2017-11-07

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana

Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	4
2	Metod för beräkning av stomljud	5
3	Riktvärden	10
4	Effekter under driftskedet	14
	4.1 Allmänt.....	14
	4.3 Luftburet buller från spår ovan jord	19
	4.4 Vibrationer.....	22
	4.5 Buller från fasta installationer	22
	4.6 Löpande underhåll.....	22
5	Effekter av nollalternativet	23
	5.1 Tunnelbanesträckningen.....	23
	5.2 Luftburet buller från spår ovan jord	23
6	Referenser.....	27

Bilagor

Bilaga 1: Beräknad stomljuds nivå utan stomljuddämpande åtgärder

Bilaga 2: Beräknad stomljuds nivå med stomljuddämpande åtgärder

Bilaga 3: Stomljuds nivåer i Planalternativ, driftskede, för sakägare i järnvägsplan

1 *Sammanfattning*

Denna underlagsrapport avhandlar stomljud, luftburet buller samt komfortstörande vibrationer från tunnelbanetåg i driftskedet. Kunskapsunderlaget har använts under framtagandet av förslag till järnvägsplan för att skapa möjlighet att finna så goda lösningar som möjligt och för att framhålla risker för negativ miljöpåverkan. Beräknade nivåer på stomljud och luftburet buller redovisas. För stomljud redovisas även den beräkningsmetod som använts. Projektspecifika riktvärden, samt behov av stomljuddämpande åtgärder för att innehålla dessa, redovisas.

Även riktvärden för fasta installationer redovisas.

Stomljudsnivåer från tunnelbanan, över gällande riktvärden, förväntas uppstå på följande platser om inte stomljuddämpande åtgärder vidtas:

- Blasieholmen
- Södermalm söder om ny station Sofia.
- Hammarby sjöstad
- Hela sträckan genom Nacka kommun där bostäder finns, eller planeras, i anslutning till tunneln.
- Planerade nya bostäder inom nuvarande Slakthusområdet.
- Enskede i närhet av tunnelmynningen mot befintlig station Sockenplan.

På dessa sträckor föreslås att stomljuddämpande åtgärder läggs under spårunderbyggnaden. Stomljuddämpande åtgärder ska vidtas så att riktvärdet inte överskrids i någon byggnad.

Kontakten mellan tunnelbanetågets hjul och rälsen ger upphov till vibrationer som sprider sig i berget. Där en byggnad har kontakt med berget medför vibrationerna att väggar och bjälklag börjar vibrera och avger stomljud. Om det inte finns någon byggnad uppstår heller inget stomljud, bara en vibration i berget som inte hörs.

Luftburet buller förekommer endast i södra anslutningen och med måttliga ljudnivåer.

Komfortstörande vibrationer förekommer inte.

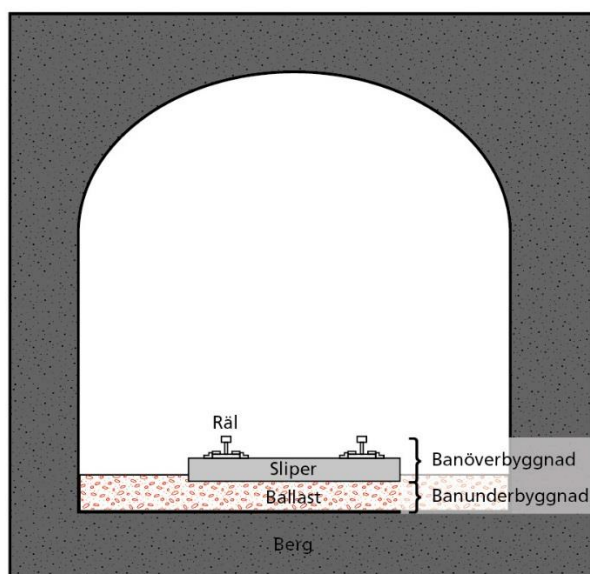
Med undantag för kortare passager under industrimark i Hammarby sjöstad, Globenområdet, Värmdövägen, kyrkogård vid Nacka kyrka samt enstaka mindre grönområden, utgörs mark ovan tunneln, alternativt kommer att utgöras, av områden med tät bostadsbebyggelse med stort antal bosatta. Vårdlokaler, skolor och förskolor och annan känslig verksamhet förekommer i hög utsträckning.

Stomljud och luftburet buller med ljudnivåer över riktvärdet uppstår inte med planförslaget inklusive föreslagna stomljuddämpande åtgärder. Dock kan det inte uteslutas att de ljudnivåer som uppstår blir hörbara, trots att de ligger under riktvärdet.

2 Metod för beräkning av stomljud

När tunnelbanetåg åker i de nya tunnlarna genereras kraft i kontakt mellan hjul och räls. Kraftens storlek styrs av tågets hastighet och tyngd samt av ojämnheter på hjul och räls. Dessa krafter skapar vibrationer i rälsen. Krafterna ökar med högre hastighet och tyngre tåg. Vid stora ojämnheter blir krafterna större men även med nyslipade hjul och spår skapas vibrationer.

Vibrationerna i rälsen sprids genom banunderbyggnaden ut i berget. Beroende på banunderbyggnadens utformning är energiförlusterna olika stora. I den nya tunnelbanan projekteras banunderbyggnaden med ballasterat spår. Det betyder att rälsen sitter fast i sliprar som i sin tur vilar på en bädd av krossad sten, även kallad ballast. Denna banunderbyggnad har större energiförlust jämfört med om spåret skulle ha varit fastgjutet i betong. Detta är positivt då det betyder att det dämpar vibrationerna i viss mån innan de når berget.

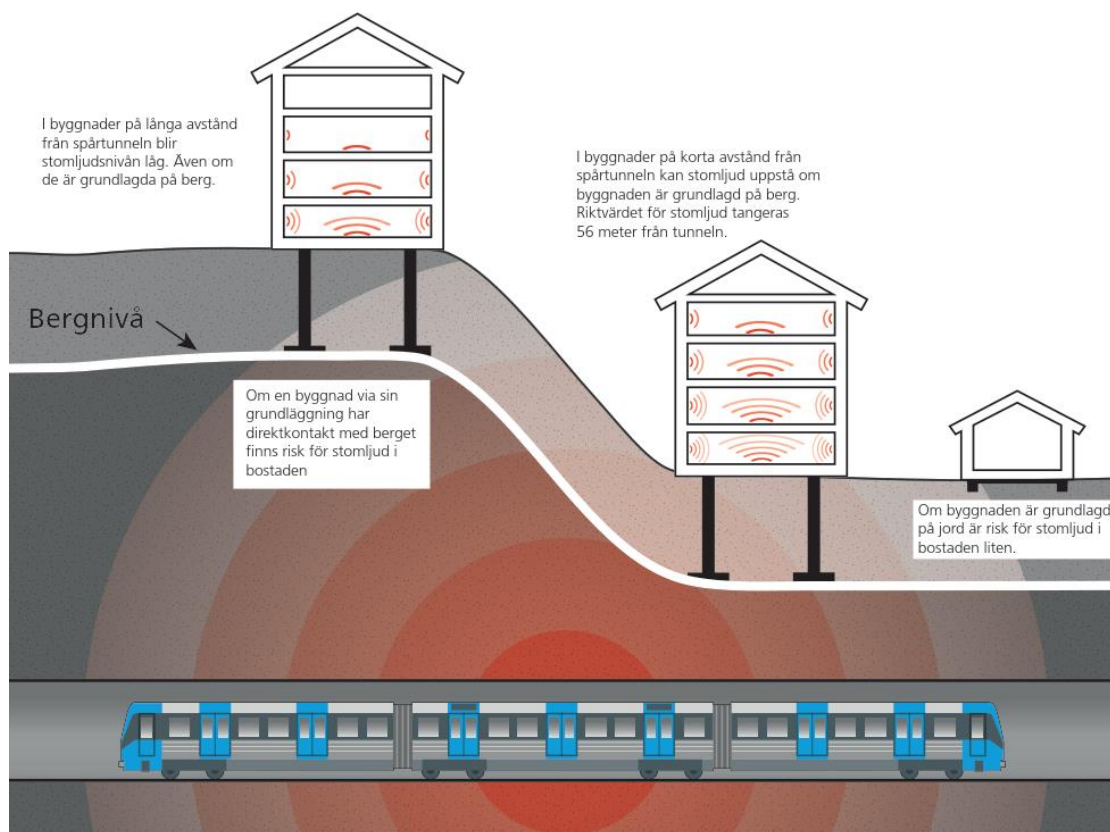


Figur 1. Banöver- och banunderbyggnad.

Vibrationerna sprider sig vidare i berget. Berg har på grund av sin höga styvhet en mycket god förmåga att sprida högfrekventa vibrationer på långa avstånd. Energiförlusterna i homogent och osprucket berg är mycket måttliga. Det medför att det finns risk för att vibrationerna kan vara betydande när de når upp till markytan.

En byggnad grundlagd på berget kan komma att börjar vibrera av de vibrationer som transporteras genom berget. När byggnaden börjar vibrera kan golv, väggar och tak i sin tur komma att överföra dessa till vibrationer i luften. Detta uppfattar vi som ljud. Fenomenet att vibrationer i mark överförs till byggnader och genererar hörbart ljud kallas för stomljud.

Detaljerad kunskap om grundläggning och undergrund saknas för de byggnader som ansluter till spårtunneln. Utifrån tillgänglig punktdata för bergöverytan har en förenklad bergmodell upprättats. Denna modell ger en viss, om än osäker, information om huruvida byggnaderna vilar direkt på berget eller om det finns jordlager ovanpå berget. Denna modell visar tydligt på en mycket begränsad jordtäckning inom hela utredningsområdet. Någon byggnad där det är orimligt att anta att grundläggningen står i direkt kontakt med berget har inte identifierats. Därför har beräkningar utan dämpning i jord utförts för samtliga byggnader. Detta antagande kan innebära en överskattning av stomljudsnivån om det skulle visa sig att identifierade byggnader inte har direktkontakt med berget.

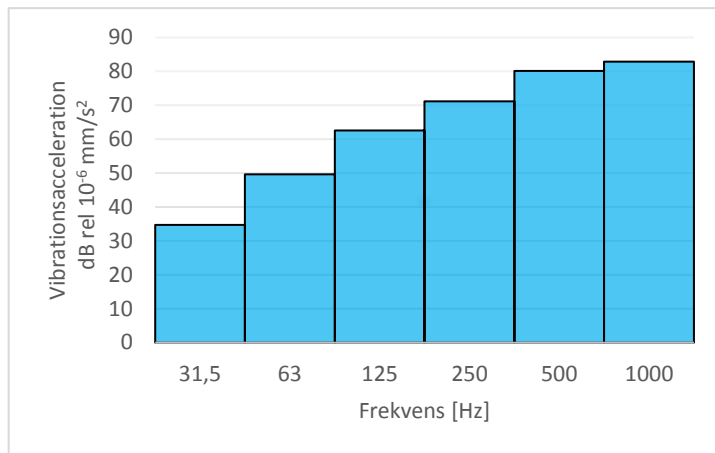


Figur 2. Vibrationsutbredning i berg som skapar stomljud i byggnader.

Stomljud har beräknats med hjälp av en semi-empirisk modell. Att en beräkningsmodell är semi-empirisk betyder att den baseras på en blandning av formler framtagna utifrån teoretisk kunskap om hur stomljud fungerar respektive matematiska samband framräknade ut mätdata. Beräkningsmodellen har utgått från samband presenterade i *Ground-borne noise and vibration from underground rail systems* (Kurzweil 1979) men har även kalibrerats mot mätningar utförda på uppdrag åt FUT (SLL/WSP 2015). Nedan följer en redovisning av den beräkningsmodell som använts.

Som utgångsvärde används uppmätt vibration i tunnelvägg hämtad från *PM, dokumentation av nya vibrationsmätningar i befintlig tunnelbana för kontroll av källstyrka*. Värdet per oktavband¹ redovisas i Figur 3 på nästa sida.

¹ Oktavbandsanalys är ett sätt att beskriva ljudets sammansättning av olika frekvenser.



Figur 3. Vibration i tunnelvägg för tunnelbanetåg i hastigheten 60 km/tim.

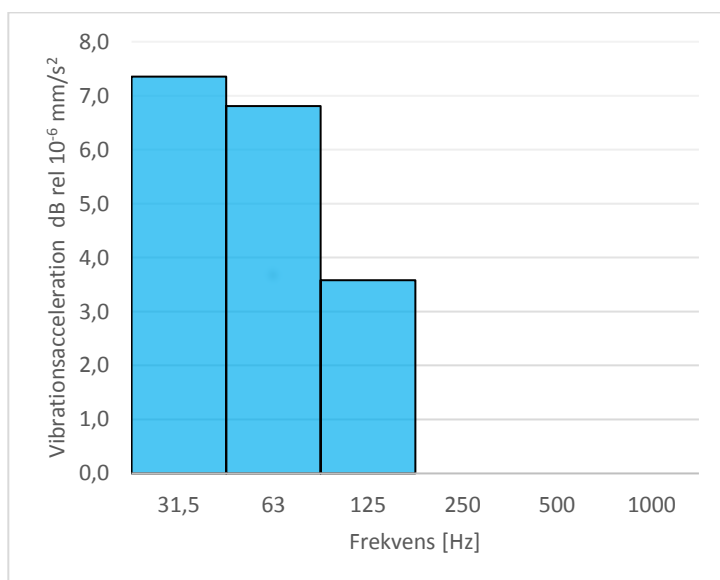
Den nivå som redovisas är maximal nivå under en tågpassage med tidsvägning SLOW, vilket betyder att ljudenergin integreras över en sekund. För många andra ljudsituationer, exempelvis luftburet trafikbuller, tillämpas tidsvägningen FAST. Med tidsvägningen FAST integreras värdet under 1/8 sekund. Det betyder att mätinstrumentet reagerar snabbare på korta förändringar i ljudnivån när man redovisar i FAST vilket betyder att samma ljud har ett högre värde mätt i FAST än i SLOW. Hur stor skillnaden är varierar från ljud till ljud men ett typiskt värde på 3-4 dB kan uppskattas när det gäller skillnaden för stomljud från ett tåg.

Värdena avser moderna tunnelbanetåg av typen C20.

Utgångsvärdet kompenseras för att hastigheten för den nya tunnelbanan kommer att vara 90 km/tim enligt förhållandet:

$$+10 \cdot \log_{10}\left(\left(\frac{90}{60}\right)^2\right)$$

När tåget passerar genom en växel finns det risk för ökad ljudnivå på grund av slag i ojämnheter genom växeln. Storleken på ökningen är svår att förutse. Ett påslag för ljudökning i växlar har beräknats utifrån uppgifter i beräkningsprogrammet VIBRA 1-2-3 (Ziegler 2010). Påslaget har applicerats där växlar förekommer.



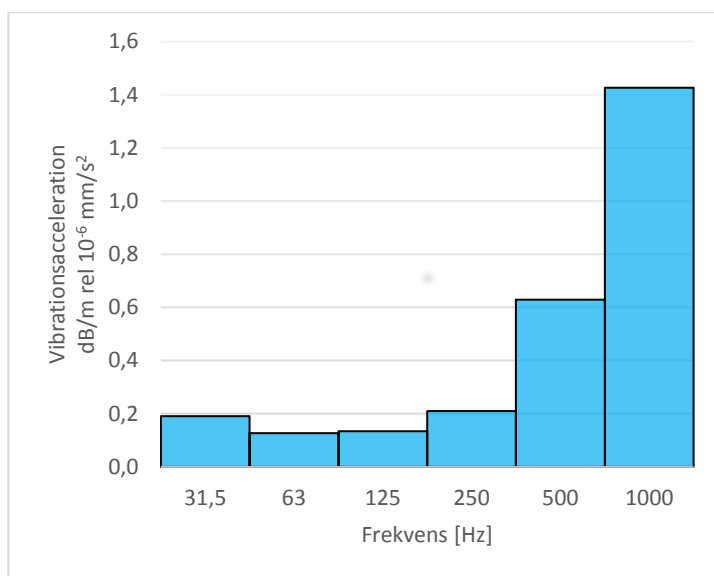
Figur 4. Ökning på grund av växlar.

Avståndsdämpningen beräknas som:

$$-10 \cdot \log_{10}\left(\frac{(2,1 + X)}{2,1}\right)$$

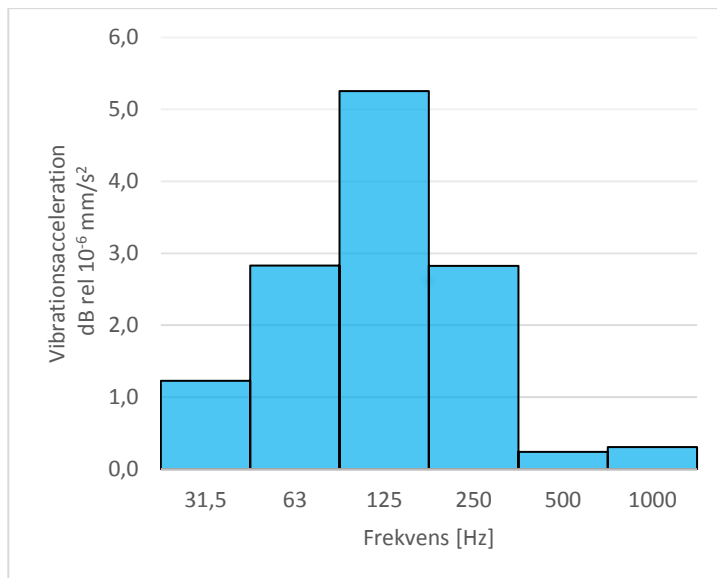
Där X är avstånd mellan tunnelvägg och mottagarpunkt och 2,1 är avstånd från spårmit till tunnelvägg. Båda anges i meter.

Utifrån de genomförda mätningarna definierades, förutom vibration i tunnelvägg, även en förlustfaktor i berget som framgår av Figur 5. Det betyder att styrkan i vibrationen sjunker med ökande avstånd, inte bara på grund av att vibrationsenergin sprids över en större yta, utan även på grund av energiförluster i berget. Denna förlust ökar ju längre ljudet måste transporteras genom berget.



Figur 5. Utbredningsdämpningsförlust per meter.

Vidare uppmättes en förlust i övergången mellan berg och husgrund som dras bort från den vibrationsnivå som når byggnaden. Förlustfaktorn mellan berg och husgrund bygger på att grunden är vilande direkt på fast berg. Om byggnaden har pålgrundläggning blir vibrationsnivån i grunden lägre. Om byggnaden är grundlagd på jordmassor, utan direktkontakt med berget, blir nivåerna avsevärt mycket lägre. De beräkningsresultat som redovisas i denna utredning avser ljudnivå i byggnad grundlagd direkt på berg. Ingen hänsyn har tagit till att vissa byggnader kan ha andra grundläggningstyper.



Figur 6. Förlust mellan berg och husgrund direkt på berg.

Överföringsfunktion mellan vibration i byggnad och ljudtrycksnivå i rum beräknas som:

$$L_p = L_a - 20 \cdot \log_{10}(f) + 37$$

Där L_a är vibrationsnivå i byggnaden och f är oktavbandets frekvens. Efter att ljudtrycksnivån i respektive oktavband beräknas filtreras nivån enligt ett så kallat A-filter så att nivån ska motsvara örats känslighet för ljud med olika frekvenser. Den framräknade nivån avser maximal ljudnivå i dB(A) och tidsvägning SLOW vid en tågpassage.

De beräknade nivåerna avser ett rum beläget i en byggnads bottenplan. Med ökande våningsantal minskar ljudnivån med uppskattningsvis 3 dB per våning. Någon hänsyn till detta tas inte i de beräkningsresultat som redovisas.

Till de beräknade värdena har en säkerhetsmarginal på 3 dB adderats innan de redovisats och jämförts med gällande riktvärden.

Den beräkningsmodell som används, och de förenklingar som redovisas ovan, antas leda till att de beräknade värdena är konservativa, vilket betyder att de är räknade på säkra sidan och troligen är högre än de värden som kommer att uppstå i verkligheten.

I utredningen har hänsyn tagits till befintliga bostäder i Stockholm och Nacka. I Stockholm har planerade bostäder och kontor inom Slakthusområdet med flera inkluderats i utredningen. I Nacka har planerad bebyggelse i enlighet med den strukturplan som upprättats för exploatering i anslutning till den nya tunnelbanan inkluderats. De illustrerade lägena för ny bebyggelse är hämtade från strukturplanen och ska betraktas som schematiska. Samtliga nya byggnader i Nacka har hanterats som bostäder när behov av skyddsåtgärder analyserats. Vid val av stomljudsdämpande åtgärder har ingen skillnad gjorts på befintlig och planerad bebyggelse. Syftet med detta är att göra all mark som skall exploateras byggbar för bostäder utan risk för höga stomljudsnivåer.

3 Riktvärden

För projektet gäller riktvärden för buller och vibrationer från tunnelbanetrafiken i enlighet med *Riktlinjer Buller och vibrationer - SL-S-419701 – 2015-07-02*, framtagna av Trafikförvaltningen inom Stockholms läns landsting. Eftersom Trafikförvaltningen är den part inom landstinget som ansvarar för drift av anläggningen tillämpas TFs riktlinjer. Riktlinjer Buller och vibrationer benämns fortsättningsvis RiBuller i texten.

Tabell 1. Mål för högsta ljudnivå från luftburet buller i dB(A) vid nybyggnation av spårinfrastruktur.

Mål för högsta ljudnivå från luftburet buller i dB(A) vid nybyggnation av spårinfrastruktur		
	<i>Dygnsequivärent ljudnivå dB(A)</i>	<i>Maximal ljudnivå dB(A) FAST</i>
Utomhus (frifältsvärde)		
uteplats invid fasad	55	70
rekreationsområden.	55	-
friluftsområden	40	-
skolor (skolgård)	55	-
Inomhus		
bostadsrum	30	45
undervisningslokaler	-	45
vårdlokaler	-	45
arbetslokaler för tyst verksamhet	-	60
hotell	30	45

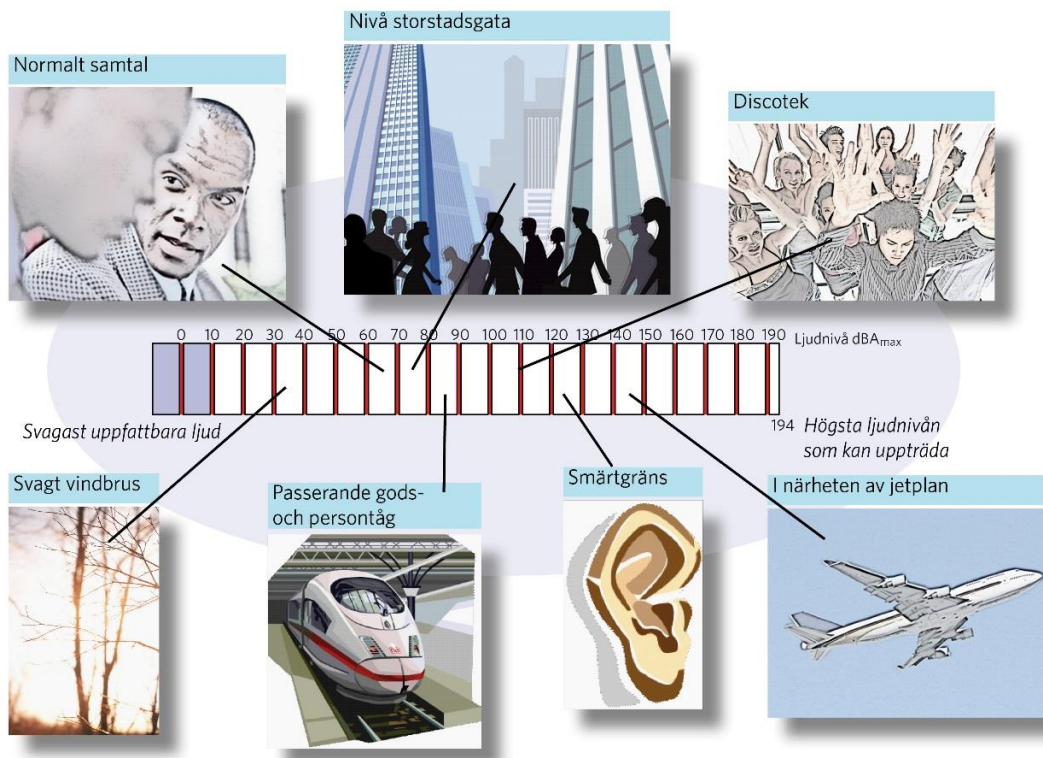
Utöver ovanstående bör även 60 dB(A) ekvivalentnivå utomhus innehållas invid fasad vid nybyggnation av spårinfrastruktur och åtgärder i befintlig miljö, förutsatt att inte avsteg medges i gällande detaljplan och eventuellt järnvägsplan.

För definitioner och tolkningar gällande Bostadsrum, Uteplats, Bostadsområdet i övrigt, Rekreationsytor i tätort, Friluftsområden, Undervisningslokaler, Arbetslokaler, Hotell och Vårdlokaler se RiBuller.

Fritidshus bör enligt Trafikförvaltningen inte bedömas utifrån riktvärden för bostäder.

Äldreboende bedöms som bostad avseende såväl inom- som utomhusmiljö.

Exempel på ljudnivåer



Tabell 2. Mål för högsta ljudnivå från stomljud i dB(A) vid nybyggnation av spårinfrastruktur, utrymmen för sömn och vila samt för undervisning och vård.

Mål för högsta ljudnivå från stomljud i dB(A) vid nybyggnation av spårinfrastruktur, utrymmen för sömn och vila samt för undervisning och vård		
	<i>Maximal ljudnivå dB(A) SLOW</i>	<i>Maximal ljudnivå dB(A) FAST</i>
Inomhus		
bostadsrum	30	-
lokaler med utrymme för sömn och vila	30	-
undervisningslokaler	-	45
vårdlokaler	-	45

Exempel på lokaler med utrymme för sömn och vila är förskola, hotellrum och patientrum för övernattnig.

Enligt RiBuller bör en marginal till ovanstående värde med 3-5 dB(A) eftersträvas vid projektering av ny anläggning.

Högsta sammanvägda ljudnivå **bör** i *övriga lokaler* uppfylla kraven i svensk standard SS 25268:2007 som i korthet redovisas nedan. Riktvärdet gäller i förekommande fall för ljud från flera ljudkällor, alternativt från en kombination av stom- och luftljud från samma ljudkälla.

Tabell 3. Mål för högsta trafikbullernivå i vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell. Gäller för lokaler som inte omfattas av tabeller ovan.

Mål för högsta trafikbullernivå i vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell. Gäller för lokaler som inte omfattas av tabeller ovan.		
	<i>Dygnsekvivalent ljudnivå dB(A)</i>	<i>Maximal ljudnivå dB(A) FAST</i>
Utrymme för presentationer (>ca 20 personer) i kontorslokaler	30	45
Utrymmen för enskilt arbete, samtal eller vila	35	50
Övriga utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt	40	55 (gäller endast hotell)
Utrymme där människor vistas tillfälligt	45	60 (gäller endast hotell)

Riktvärden för andaktsrum saknas i RiBuller men liksom i projekt Citybanan tillämpas samma riktvärden för stomljud i kyrkor och andra andaktsrum som i bostäder, det vill säga maximal ljudnivå 30 dB(A) SLOW.

Som framgår ovan gäller riktvärde för maximal ljudnivå med tidsvägning SLOW i vissa rum och FAST i andra. I detta projekt hanteras detta genom att endast maximal ljudnivå SLOW beräknas. Om någon lokal med riktvärden redovisat med tidsvägning FAST får en beräknad nivå i närheten av riktvärdet görs en bedömning från fall till fall.

Buller från fasta installationer, som exempelvis frånluftfläktar från spårtunnel och stationer, får inte överskrida riktvärden enligt Naturvårdsverkets rapport 6538 *Vägledning om industri- och annat verksamhetsbuller*. Då fläktar kan antas vara i drift dygnet runt blir dimensionerande krav att den ekvivalenta ljudnivån nattetid (22-06) vid bostäder, skolor, förskolor och vårdlokaler inte får överskrida 40 dB(A) (frifältsvärde vid fasad) samt att den maximala ljudnivån inte får överskrida 55 dB(A) (frifältsvärde vid fasad). Om installationer placeras så att stomljud i bostäder kan uppstå ska riktvärden i RiBuller gällande stomljud från installationer inte överskrids. Vid projektering av installationer ska det säkerställas att samtliga dessa riktvärden klaras.

Vibrationer från tunnelbanetåg regleras i RiBuller. Riktvärdet definieras som komfortvägd vibrationsnivå och är olika beroende på hur byggnaden används. För ny spåranläggning gäller att:

- Komfortvägd vibrationsnivå i bostadsrum i bostäder inte ska överskrida 0,4 mm/s.
- Komfortvägd vibrationsnivå i undervisningslokal för tyst verksamhet i skolor inte ska överskrida 0,4 mm/s.
- Komfortvägd vibrationsnivå i kontor för tyst verksamhet inte bör överskrida 0,4 mm/s.
- Komfortvägd vibrationsnivå i affärslokaler inte ska överskrida 1,0 mm/s. Dock bör målsättningen vara att 0,4 mm/s inte överskrids vid nybyggnation.

I detta projekt tillämpas börkravet gällande 0,4 mm/s i affärslokaler som ett riktvärde.

Med komfortvägd vibrationsnivå avses värden enligt svensk standard SS 460 48 61 det vill säga max RMS-värden, tidsvägning SLOW och frekvensvägt enligt svensk standard SS-EN ISO 8041:2005 inom frekvensområdet 1–80 Hz.

Anläggningen projekteras för att innehålla riktvärden enligt ovan vilket betyder att den uppfyller krav i enlighet med Trafikförvaltningens riktlinjer redovisade i RiBuller.

4 Effekter under driftskedet

4.1 Allmänt

Principerna för ljudutbredningen från tunnelbanetåg under mark är den samma längs med hela sträckan varför stomljudsfenomen beskrivs samlat under avsnitt 4.2. Spridning av luftburet buller beskrivs under avsnitt 4.3.

4.2 Stomljud från tunnelbanesträckningen

Stomljudsnivåer har beräknats enligt ovan redovisad beräkningsmodell. I Bilaga 1 redovisas beräknad maximal ljudnivå inomhus utan stomljuddämpande åtgärder på en plankarta.

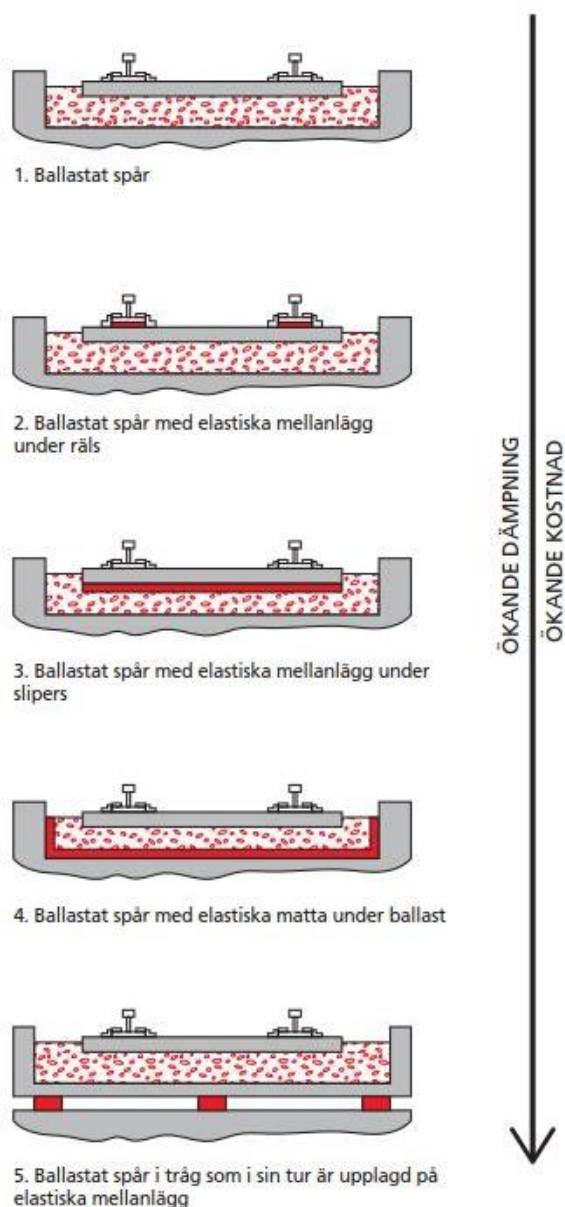
Som framgår av bilagan så förväntas riktvärden enligt ovan överskridas inom följande områden:

- Blasieholmen
- Södermalm söder om ny station Sofia.
- Hammarby sjöstad
- Hela sträckan genom Nacka kommun där bostäder finns, eller planeras, i anslutning till tunneln. Det betyder hela sträckan med undantag för kortare passager under Värmdövägen, kyrkogården vid Nacka kyrka samt enstaka mindre grönområden.
- Planerade nya bostäder inom nuvarande Slakthusområdet.
- Enskede i närhet av tunnelmynningen mot befintlig station Sockenplan.

Såväl befintliga som planerade bostäder och verksamheter har beaktats när det gäller vilka områden som utsätts för överskridanden.

Beräknade stomljudnivåer för respektive fastighet redovisas i Bilaga 3.

För att inte riktvärdet för stomljud i bostadsrum ska överskridas krävs att stomljuddämpande åtgärder vidtas. Möjliga åtgärder kan exempelvis vara att mjuka mellanlägg läggs mellan spår och slipers alternativt att en ballastmatta läggs under ballastbädden. Syftet med båda åtgärderna är att skära av vibrationens utbredningsväg och hindra att den sprids i berget. Olika alternativa stomljudsisoleringar beskrivs översiktligt i Figur 7. Ballastmatta är en mycket mer effektiv skyddsåtgärd än mellanlägg. Då mjuka mellanlägg inte kommer att räcka som åtgärd på hela sträckan har som ett exempel beräknats, och redovisats, effekten av att lägga en ballastmatta på de sträckor där de beräknade ljudnivåerna utan stomljuddämpande åtgärder överskrider riktvärdet i byggnader. Resultatet redovisas i Bilaga 2. Vid projektering av stomljuddämpande åtgärder skall åtgärder optimeras så att riktvärden innehålls i samtliga bostäder och verksamheter där risk för överskridanden har, eller kommer att, identifierats. Lämplig åtgärd kan variera på olika avsnitt av banan. De stomljuddämpande åtgärder som redovisas i denna handling skall bara ses som exempel på vilka åtgärder som kan bli aktuella.



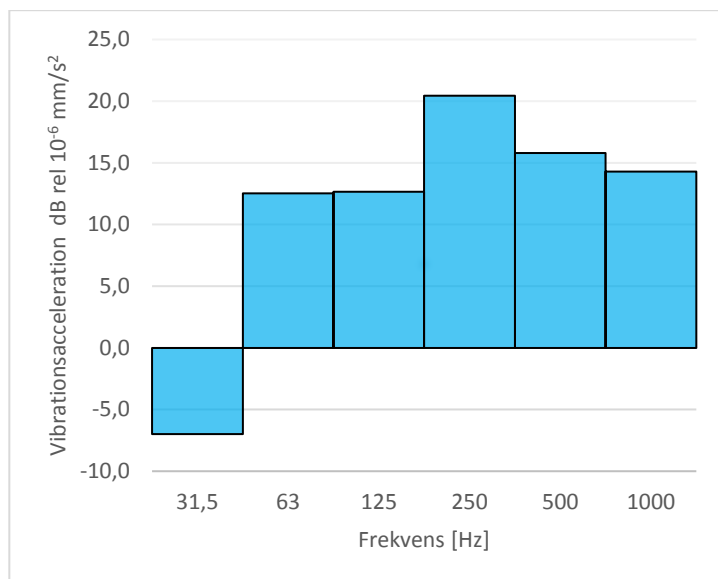
Figur 7. Exempel på stomljudsisolering under spår.

Åtgärder vidtas på alla sträckor där de beräknade nivåerna i bostäder, skolor, förskolor, andaktsrum och arbetslokaler överskrider gällande riktvärden. Hänsyn har även tagits till områden där bebyggelse planeras men ännu inte uppförts för att framtida problem med stomljud inte ska uppstå. I beräkning har en dämpning i ballastmattan som ska motsvara ett typiskt värde för de produkter som finns på marknaden använts, se Figur 8. Med redovisade exempel på stomljudsdämpande åtgärder överskrider inte stomljudet gällande riktvärden med vissa undantag.

För ett mycket begränsat antal byggnader visar beräkningen på risk för överskridanden även med hänsyn till ballastmatta med typisk stomljudsdämpning. Dessa byggnader ska särskilt beaktas vid val av stomljudsdämpande åtgärder så att riktvärdet uppfylls så långt det är tekniskt möjligt. Då dämpningsbehovet är mycket stort går det inte att helt utesluta att riktvärden överskrids i någon eller några av dessa byggnader, se bilaga 3 för mer detaljer.

Det kan inte uteslutas att hörbara ljudnivåer, under riktvärdet, uppstår i byggnader. Riktvärdet ligger på en nivå som är under krav gällande maximal ljudnivå från installationer i nybyggda

bostäder. Det är därför rimligt att anta att stömljud under riktvärdet i allmänhet inte kommer att ge upphov till betydande störningar.



Figur 8. Dämpning i en ballastmatta jämfört med ballasterat spår utan stömljudsdämpande åtgärder.

På följande sträckor behöver stömljudsdämpande åtgärder:

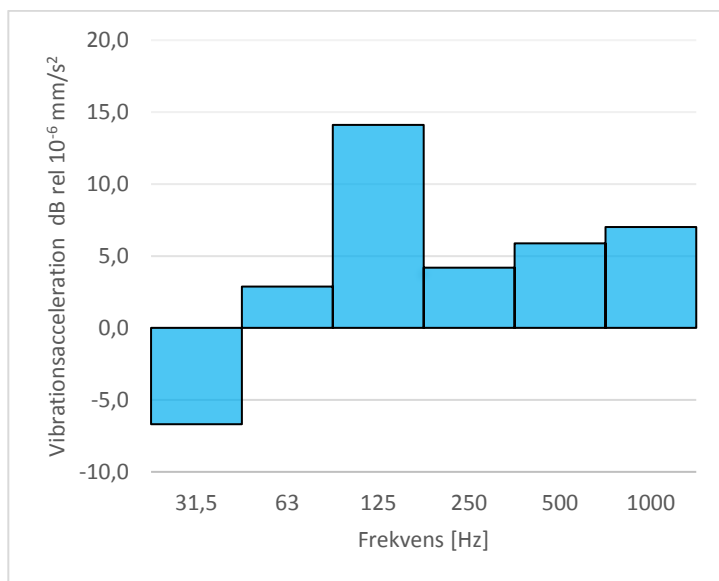
- Km 0+000 – 0+410 (Blasieholmen).
- Km 2+730 – 8+100 (Katarina Bangata, Södermalm, Stockholm – Nacka Centrum).
- Km 2+880 – 3+620 (Tullgårdsgatan, Södermalm, Stockholm – Hammarbybacken, Mårtensdal, Stockholm).
- Km 4+300 – 5 + 500 (Arenavägen, Stockholm – Sockenplan, Stockholm).

Som framgår av Figur 8 ovan har ballastmattan (Figur 7, bild nr 4) mycket god dämpningsförmåga med undantag för det lägsta oktavbandet. Anledningen till att dämpningen i 31,5 Hz till och med är negativ är att vibrationsisolerande material har en resonansfrekvens som är unik för varje material och styrs av dess dynamiska egenskaper. Ovanför resonansfrekvensen kan dämpningen vara mycket god men under resonansfrekvensen svänger den bara med utan att tillföra någon dämpning. I materialets resonansfrekvens uppstår till och med en förstärkning av vibrationen. Resonansfrekvensen för en ballastmatta ligger ofta i oktavbandet 31,5 Hz. Som framgår av Figur 3 är vibrationsenergin i de låga frekvenserna relativt liten varför resonansfrekvensen inte bedöms som ett problem för stömljudsnivåerna i detta projekt.

För sträckor där den beräknade stömljudsnivån överskrider 30 dBA , men inte 35 dBA, är det vår bedömning att en stömljudsdämpande åtgärd som reducerar stömljudsnivåerna med minst 5 dB, jämfört med ballasterat spår utan stömljudsdämpning, är tillräcklig. Ett exempel på en sådan åtgärd kan vara ett elastiskt mellanlägg under spår. De områden där detta kan bli aktuellt är:

- Km 2+730 – 4+450 (Katarina Bangata, Södermalm, Stockholm – Fannys Väg, Nacka).
- Km 2+880 – 3+620 (Tullgårdsgatan, Stockholm – Hammarbybacken, Hammarbybacken, Mårtensdal, Stockholm).
- Km 4+300 – 4+850 (Arenavägen, Stockholm – Hallvägen, Stockholm).

I Figur 9 redovisas dämpning i elastiskt mellanlägg under spår (Figur 7, bild nr 2) som ska motsvara ett typiskt värde för de produkter som finns på marknaden.



Figur 9. Dämpning i ett elastiskt mellanlägg under spår jämfört med ballasterat spår utan stomljuddämpande åtgärder.

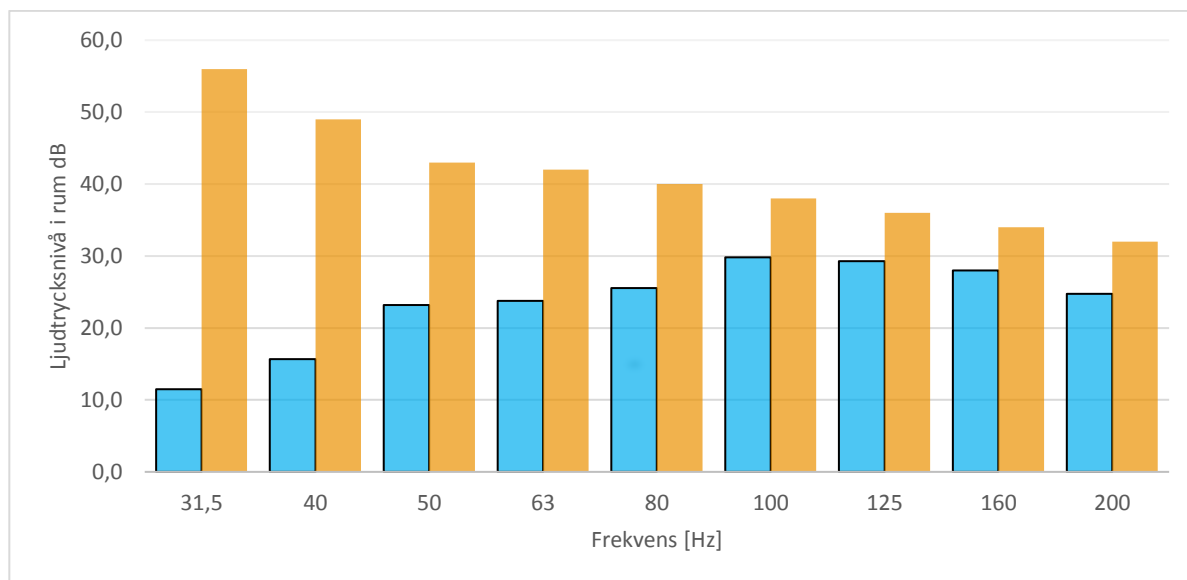
Utöver de riktvärden som redovisas under avsnitt 3 finns även Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus FoHMFS 2014:13. Denna skrift reglerar bedömningen om olägenhet föreligger i bostäder. De riktvärden som redovisas i FoHMFS 2014:13 gällande maximala och ekvivalenta ljudnivåer i dBA överensstämmer med det som redovisas i avsnitt 3. Utöver detta ställs krav på lågfrekvent ljud redovisat som högsta tillåtna ekvivalenta ljudnivåer i tersbanden² 31,5 - 200 Hz.

² Tersbandsanalys är ett sätt att beskriva ljudets sammansättning av olika frekvenser mer detaljerat än oktavbandsanalys. Ett oktavband har samma omfång som tre tersband.

Tabell 4. Bedömning av om olägenhet för människors hälsa enligt FoHMFS 2014:13, lågfrekvent buller.

Bedömningen av om olägenhet för människors hälsa enligt FoHMFS 2014:13, lågfrekvent buller.	
Tersband Hz	Ekvivalent ljudnivå dB
31,5	56
40	49
50	43
63	42
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

Nedan redovisas den beräknade maximala ljudnivån, per tersband, i ett rum där ljudnivån tangerar 30 dBA. Som tydligt framgår är de låga frekvenserna under nivå för olägenhet. Observera även att den beräknade ljudnivån avser *maximal* ljudnivå och kravet avser *ekvivalent* ljudnivå. Den ekvivalenta ljudnivån från stomljud har inte beräknats i detta projekt men vår bedömning är att den dygnsekvivalenta ljudnivån är av storleksordningen 15 dB lägre än den maximala, jämför Figur 12 och Figur 13.



Figur 10. Beräknad *maximal* ljudnivå i ett rum där riktvärdet 30 dBA tangeras (blått) jämfört med högsta tillåtna värden för *ekvivalent* ljudnivå enligt FoHMFS 2014:13 (orange).

På de ställen där stomljudsdämpande åtgärder vidtas ökar det lågfrekventa ljudets andel av den totala ljudnivån. Det medför att den beräknade *maximalnivån* överskrider redovisade kravvärdena för *ekvivalent* ljudnivå i tersbanden 100-200 Hz när den sammanlagda ljudnivån tangerar 30 dBA. Observera att detta ändå betyder att den dygnsekvivalenta ljudnivån ligger väl under kravvärdet gällande olägenhet.

4.3 Luftburet buller från spår ovan jord

I projektets södra ände, i anslutning till befintlig bana mot Sockenplan, går den nya bansträckningen ovan mark en kort sträcka. Det betyder att tunnelbanetågen på denna sträcka avger luftburet buller till omgivningen. Buller från denna sträcka har beräknats i enlighet med den samnordiska beräkningsmodellen för spårburen tågtrafik, Naturvårdsverkets rapport 4935. I enlighet med SL:s bullerkartläggning för befintlig tunnelbanan, Gröna linjen daterad 2011-11-17, har 265 stycken 139 meter långa C20-tåg i 70 km/tim använts i beräkningen för nuläget. För planalternativet har samma hastighet och tåglängd använts. Antal tåg enligt scenario ”4-minuterstrafik” har använts i beräkning av planalternativet vilket innebär att 374 tåg trafikerar sträckan.

Bostäder som i dagsläget inte är exponerade för ljudnivåer över riktvärden för maximal och/eller ekvivalent ljudnivå kommer heller inte att bli det efter att den nya tunnelbanan tagits i drift.

För de enfamiljshus som ligger väster om spåret, norr om den punkt där det nya spåret böjer av mot tunneln, sjunker ljudnivån. Sänkningen varierar från hus till hus.

Söder om den punkt där det nya spåret böjer av mot tunneln bli den ekvivalenta ljudnivån något högre än i nuläget på grund av att trafikmängden ökar. Den maximala ljudnivån blir oförändrad. Den norra delen av Lantarbetaren 13 får en ökning av ljudnivån med 1 dB på grund av att avståndet till spåret minskar, dock utan att gällande riktvärden överskrids.

3 enfamiljshus exponeras för maximala ljudnivåer över riktvärdet för uteplats. Bostadshus med maximal ljudnivå över 70 dB(A) redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 5. Bostadshus med maximal ljudnivå över 70 dB(A).

		Nuläge				Planalternativ			
		Utomhus vid fasad		Inomhus		Utomhus vid fasad		Inomhus	
Fastighet	Våning	Maximal ljudnivå (dB(A))	Ekvivalent ljudnivå (dB(A))	Maximal ljudnivå (dB(A))	Ekvivalent ljudnivå (dB(A))	Maximal ljudnivå (dB(A))	Ekvivalent ljudnivå (dB(A))	Maximal ljudnivå (dB(A))	Ekvivalent ljudnivå (dB(A))
Lantarbetaren 13	1	75	55	45	24	75	56	45	26
	h	75	56	45	24	75	57	45	27
Vinkällaren 11	1	71	53	41	22	71	54	41	24
	h	71	53	41	22	71	54	41	24
Vinkällaren 12	1	72	53	42	22	72	54	42	24
	h	72	53	42	22	72	55	42	25
Vinkällaren 13	1	73	54	43	22	73	55	43	25
	h	73	54	43	22	73	55	43	25

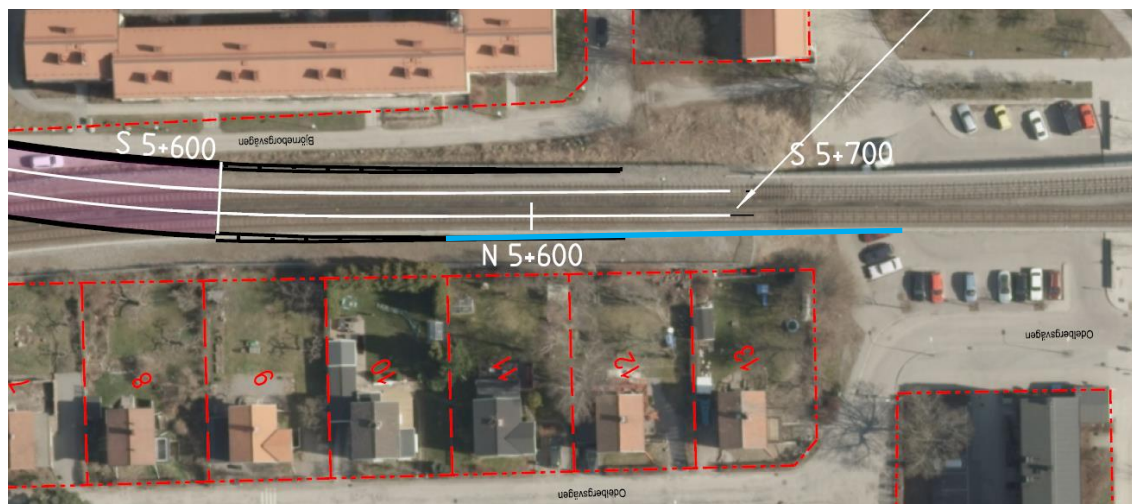
Förklaringar till kolumner:

- Orange färg markerar nivåer som överskrider riktvärde.
- Kolumn Våning anger 2 m över mark (1) respektive våningsplan med högst ljudnivå (h).
- Värdet ”Utomhus vid fasad”, Våning 1 motsvarar ljudnivå på uteplats.

För fastigheterna Vinkällaren 11, 12 och 13 kommer en spårnära bullerskyddsskärm att säkerställa att riktvärdena för uteplats klaras. Lantarbetaren 13 har inte uteplatser mot tunnelbanespåret, och således behövs inga åtgärder vidtas.

Skärmen placeras 2,4 meter från spårmittpunkt för N-spåret. Skärmen ska vara akustiskt tät, ansluta tätt mot bankroppen och förses med en ljudabsorbent på sidan mot spåret. Ljudabsorbenten utgörs lämpligen av 40 mm mineralull med en glespanel eller motsvarande skydd mot åverkan. Öppen area för det skyddande skiktet ska vara minst 25 %.

Skärmen behöver vara 70 m lång och 1,5 m hög, räknat från rälsöverkant. Planläget framgår av Figur 11 nedan (blått streck).



Figur 11. Föreslagen bullerskyddsskärm.

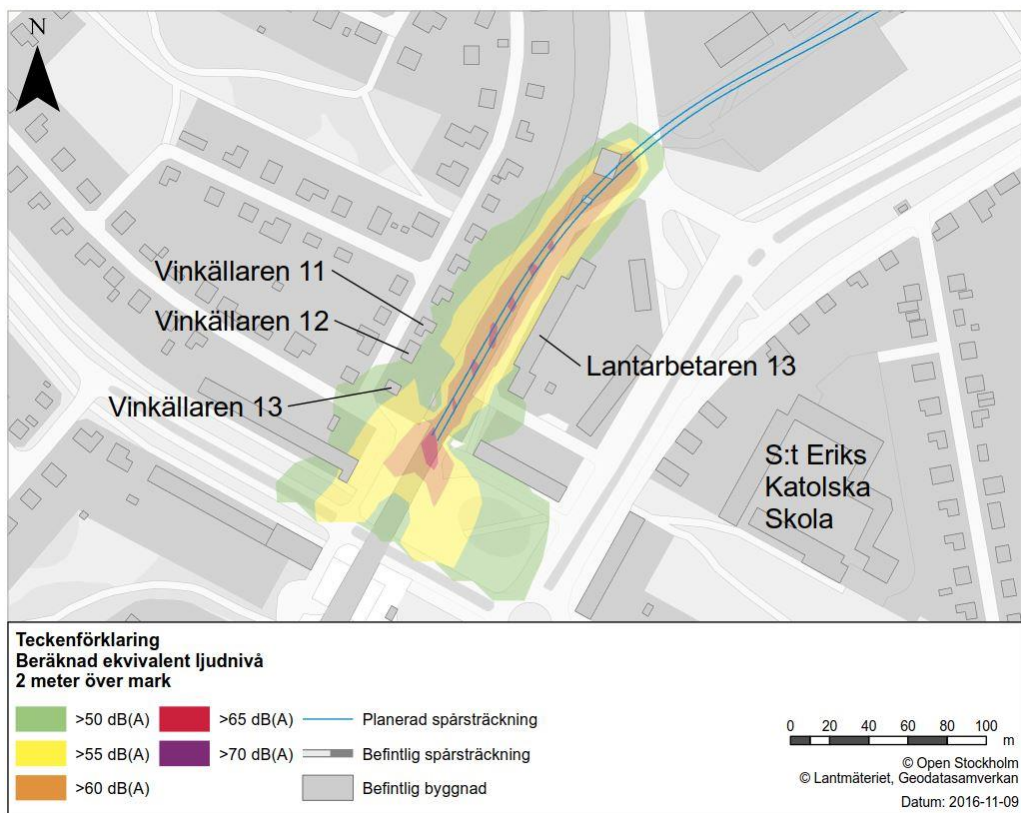
Med ovanstående skärm innehålls riktvärdet om maximal ljudnivå 70 dBA vid uteplats (frifältsvärde).

Övriga riktvärden innehålls. Då inga riktvärden överskrids beskrivs inte ljudnivåerna mer noggrant än ovanstående redovisning.

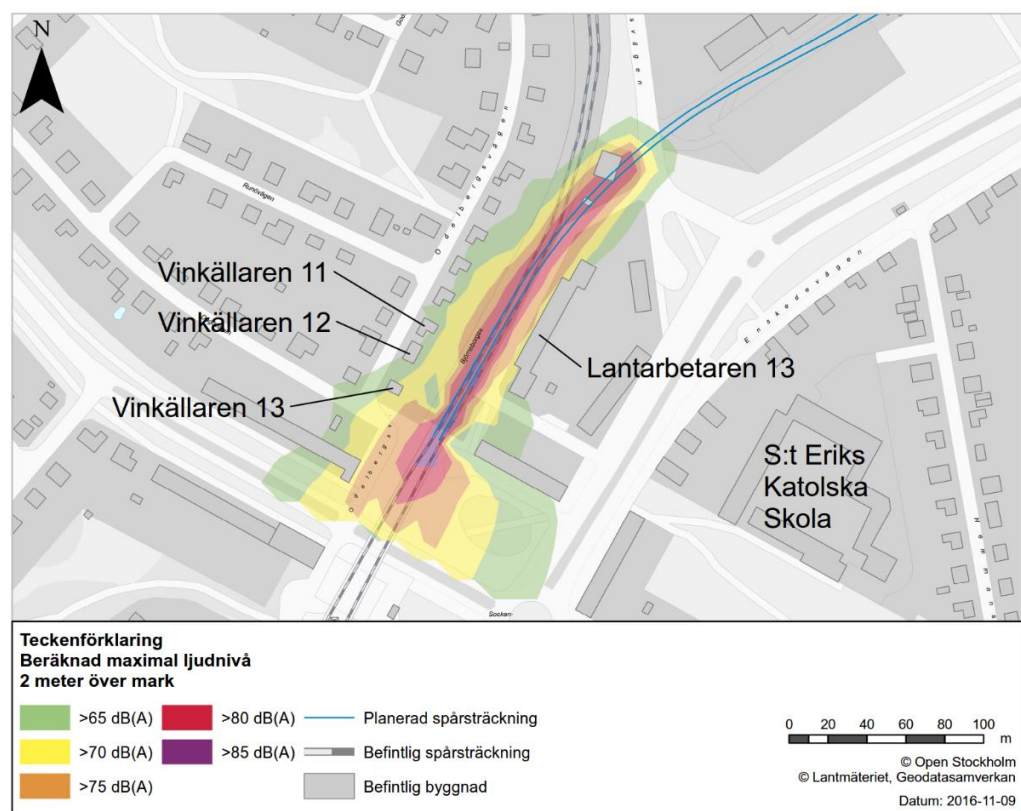
Vid beräkning av ljudnivåer inomhus har det antagits att befintliga fasader dämpar ljudnivån med 30 dBA relativt den beräknade nivån utomhus.

Inga skolgårdar exponeras för ljudnivåer enligt gällande riktvärden. Inte heller ljudnivåer över Boverkets rekommendation om att det är "önskvärt med högst 50 dBA ekvivalentnivå dagvärde på de delar av gården som är avsedda för lek, rekreation och pedagogisk verksamhet" förekommer.

Beräknade ljudnivåer utomhus redovisas på figurer nedan



Figur 12. Ny spåranslutning. Ekvivalent ljudnivå 2 meter över mark.



Figur 13. Ny spåranslutning. Maximal ljudnivå 2 meter över mark.

Luftburet buller riskerar även att uppstå vid de tryckutjämningschakt som anordnas. Schakten kommer att möjliggöra ljudspridning från tunneln till omgivningen. En utredning har utförts för att studera om ljud via dessa schakt kan komma att bli så höga att de överskrider något riktvärde: *Externbuller från tryckutjämningschakt – Station Järlna*. Utredningen visar på att de ljudnivåer

som kan förväntas ligga med betryggande säkerhetsmarginal under uppställda riktvärden. Bedömningen är att situationen är motsvarande för tryckutjämningschakt på de övriga stationerna.

4.4 Vibrationer

Komfortstörande vibrationer från tågtrafik uppstår när tunga tåg sätter marken i lågfrekventa rörelser som fortplantar sig till byggnader. Höga nivåer uppstår vanligen när tunga tåg åker i hög hastighet på mjuka jordar, i synnerhet lera, samt att det finns byggnader grundlagda på samma jord nära järnvägen.

Tunnelbanetågen är relativt lätta och har en måttlig hastighet. I detta fall görs bedömningen att risken för höga vibrationsnivåer är låg. I de avsnitt där tunnelbanan går i berg, vilket är den dominerande sträckan, gör bergets styvhet att lågfrekventa vibrationer inte uppstår.

I anslutning till befintligt spår mot Sockenplan går spåret i dagen en kort sträcka. Enligt geologiska kartan SGU utgörs marken i det området av berg i dagen alternativt grunt berg med ett tunt lerlager över.

Den samlade bedömningen är att risken för vibrationsstörningar inte behöver beaktas ytterligare.

4.5 Buller från fasta installationer

Placering och omfattning av fasta installationer för tunnelbanans drift är inte fastställda i detta skede. Därför är buller från dessa inte beskrivet i denna utredning. Det kan exempelvis röra sig om ventilationsfläktar, rulltrappor och hissmotorer.

När installationer projekteras ska det göras med hänsyn till buller så att de riktvärden som redovisas under kapitel 3 inte överskrids.

4.6 Löpande underhåll

Buller och stomljud från arbetsfordon och service av järnvägsanläggningen, exempelvis vid spårunderhåll, ingår inte i beräkningen. Dessa ljud uppstår vanligen nattetid. Det går inte att utesluta att högre ljudnivåer från service och arbetsfordon uppstår, jämfört med fordon i linjetrafik.

5 *Effekter av nollalternativet*

5.1 Tunnelbanesträckningen

Om inte tunnelbanan byggs uppstår heller inget stomljud från trafiken. Den tillkommande trafiken på den nya tunnelbanan kan i någon mån antas påverka trafik på övriga trafikleder i och utanför planområdet, en effekt som inte skulle uppstå i nollalternativet. Dessa effekter bedöms som försumbara för ljudnivåerna i anslutning till dessa trafikleder.

5.2 Luftburet buller från spår ovan jord

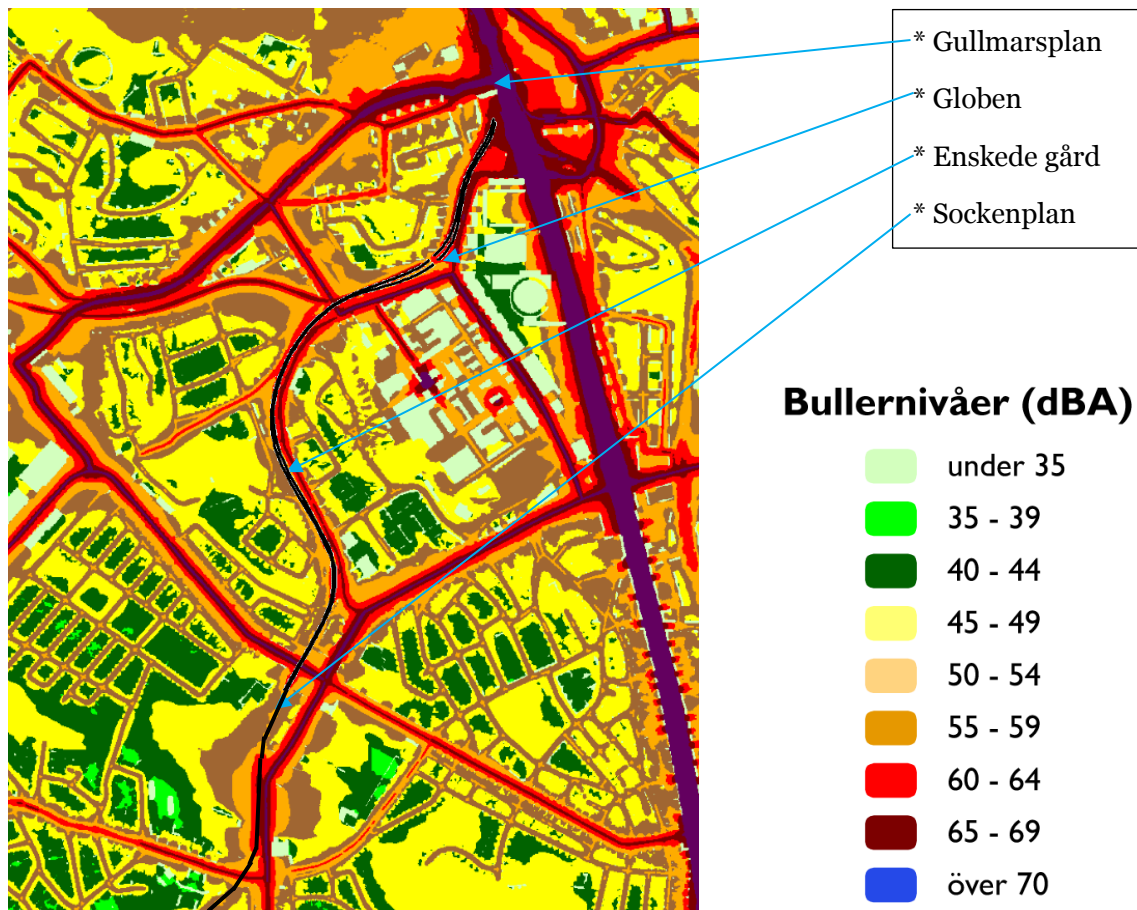
Om den nya tunnelbanan inte byggs blir den befintliga tunnelbanan förbi Globen och Enskede gård kvar i drift. Den sträckningen går i ytläge vilket betyder att den avger buller till sin omgivning. Denna ljudkälla försvinner om planalternativet genomförs men blir kvar i nollalternativet, se figurer nedan.



Figur 14. Befintligt spår mellan Gullmarsplan och Sockenplan. Ekvivalent ljudnivå 2 meter över mark.



Figur 15. Befintligt spår mellan Gullmarsplan och Sockenplan. Maximal ljudnivå 2 meter över mark.



Figur 16. Ekvivalent ljudnivå för sträckan mellan Gullmarsplan och Sockenplan i nuläget. Ekvivalent ljudnivå 2 meter över marken, samtliga ljudkällor (Stockholms stads bullerkartläggning).

Området är i nuläget starkt bullerexponerat med ljudnivåer som domineras av vägtrafiken.

6 Referenser

Artiklar

Kurzweil, *Ground-borne noise and vibration from underground rail systems*. Journal of Sound and Vibration 1979.

Litteratur

Ziegler, *VIBRA-1 Manual version 4.3*. Ziegler Consultant 2010

Rapporter

Scheuer, PM, *dokumentation av nya vibrationsmätningar i befintlig tunnelbana för kontroll av källstyrka*. Stockholms Läns Landsting/WSP 2015.

Scheuer, PM, *dokumentation av vibrationsmätningar i och ovan befintlig tunnelbana för bestämning av källstyrka och överföringsfunktion*. Stockholms Läns Landsting/WSP 2015.

Söderberg, Rapport, *Externbuller från tryckutjämningschakt – Station Järla*. SWECO 2016.

Dickson, PM, *Bedömning av spårtrafikbuller från Gröna linjen (södra delen) – Sweco 2012 med hänvisning till ”WSP:s bullerkartläggning för Gröna linjen använts daterad 111117”*

Riktvärden

Riktlinjer Buller och vibrationer. SL-S-419701. Revisionsnummer 4. Stockholms Läns Landsting, Trafikförvaltningen 2015-12-21

Zetterling, Dickson, Nayeri. *RAPPORT 10117327 Tågbullerberäkningar*. WSP 2010.

Gör plats för barn och unga! En vägledning för planering, utformning och förvaltning av skolans och förskolans utemiljö. RAPPORT 2015:8, Boverket 2015.

Standarder

Svensk standard SS 25268:2007. *Byggakustik – ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell*. 2007-10-04

Svensk standard SS 460 48 61. *Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader*. 2004-09-09.

Svensk standard SS-EN ISO 8041:2005. *Vibration och stöt – Vibrationers inverkan på människan – Mätinstrument*. 2005-04-22.

Vårt uppdrag är att genomföra tunnelbanans utbyggnad och övriga åtgärder inom ramen för 2013 års Stockholmsförhandling. Det innebär planering, projektering och byggnation av ny tunnelbana och nya stationer på fyra olika sträckor. För att kunna genomföra utbyggnaden behöver också depåkapaciteten ökas och nya tåg köpas in.

Byggstarten för utbyggnad av tunnelbana till Nacka och söderort planeras 2018/2019 och byggtiden beräknas pågå cirka 7–8 år.