

Handläggare
Mats Hammarqvist
Tel
+46 (0)10 505 84 33
E-post
Mats.hammarqvist@efterklang.se

Datum
2020-09-03
Projekt ID
763254

Kund
Göteborgs stad, Stadsbyggnadskontoret

TR 763254 Vibrations och stomljudsutredning – Underlagsrapport MKB

Detaljplan för Bostäder, verksamheter och uppgångar
för Västlänken norr om Nordstan i Göteborgs kommun

Efterklang del av AFRY

Upprättad av
Mats Hammarqvist

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	5
1.1	Utbyggnadsalternativ enligt erhållet underlag	7
2	Bakgrund	9
2.1	Geoteknik.....	10
2.2	Planerad bebyggelse och konstbyggnader	12
2.3	Samrådssynpunkter.....	14
2.4	Förutsättningar trafikering.....	15
3	Metodbeskrivningar	16
3.1	Stomljud	16
3.1.1	Spårvagnar	16
3.1.2	Vägtrafik.....	16
3.1.3	Tågtrafik.....	16
3.2	Vibrationer	18
3.2.1	Spårvagnar	18
3.2.2	Vägtrafik.....	18
3.2.3	Tågtrafik.....	19
3.2.4	Generellt.....	19
4	Riktvärden.....	21
4.1	Riktvärde Stomljud.....	21
4.1.1	Förslag bestämmelse detaljplan	21
4.1.2	Naturvårdsverket	21
4.1.3	Trafikverket (Västlänken).....	21
4.2	Riktvärde Stomljud - Fläktar och installationer i tunnel	23
4.3	Riktvärde vibrationer – detaljplan.....	23
4.3.1	Riktvärde vibrationer - Svensk Standard SS 460 48 61	24
4.3.2	Riktlinjer vibrationer - Trafikverket.....	24
4.3.3	Riktvärden -Trafikkontoret Göteborg	25
5	Tidigare utredningar i området.....	26
6	Mätningar.....	26
6.1	Vibrationshastigheter i mark.....	27
6.2	Vibrationshastighet i sockel pelare.....	30
7	Slutsats.....	31
7.1	Vibrationer	31
7.1.1	Järnvägstunnel - Västlänken.....	31
7.1.2	Spårvagnsramper.....	31
7.1.3	Götaleden	32
7.1.4	Vägtrafik.....	32
7.2	Beräknade markvibrationer vägtrafik	32

7.3	Stomljud trafik.....	33
7.3.1	Järnvägstunnel - Västlänken.....	33
7.3.2	Spårvagnsramper.....	33
7.3.3	Götaleden	34
7.3.4	Evakueringfläktar, pumpar, ventilationsutrymmen och teknisk utrustning i Västlänken och Götatunneln	34
8	Åtgärder.....	34

Bilagor

Bilaga 1	Allmänt om vibrationer
Bilaga 2	Trafikinformation

Sammanfattning

- Det är viss risk för vibrationer från vägtrafik på gator. Undvik farthinder typ gupp i närheten av bostäder
- Det är låg risk för vibrationer från vägtrafik på Götaleden
- Det är låg risk för vibrationer från spårvagnstrafik på ramper
- Det finns viss risk för vibrationer från Västlänken
- Det är hög risk för stomljud från järnvägstrafik i Västlänken. Åtgärder bör utredas för att stomljudisolera byggnader i tillräcklig grad då åtgärder inte planeras inom spårsystemet
- Det är viss risk för stomljud från spårvagnstrafik. Betongkonstruktioner för ramper och deras grundläggning får inte ha kontakt med byggnader. Kompletterande stomljudsisolerande åtgärd kan behövas vilket innebär att riktlinjer klaras.
- Det är låg risk för stomljud från vägtrafik på Götaleden
- Det är låg risk för stomljud från installationer för Götatunneln och Västlänken om maskinell utrustning förses med normal stomljudsisolering

Planbestämmelser

Planbestämmelser rekommenderas med avseende på vibrationer samt stomljud. Följande bestämmelser rekommenderas:

Stomljud:

- **Bostäder** 32 dBA maximal ljudnivå tidsvägning FAST¹ samt frekvensanalys i sovrum mot lågfrekvenskrav i Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus i FoHMFS 2014:13.
- **Kontor och liknande utrymmen** tillämpas riktvärdet 42dBA FAST.

Vibrationer:

Riktvärde för maximal vibrationsnivå för planeringsfall nybyggnad är 0,4 mm/s vägd RMS vilket avser vibrationsnivå nattetid (22-06). Riktvärdet gäller i bostadsrum i permanentbostad och fritidsbostad samt i vårdlokaler avseende utrymme för sömn och vila, eller utrymme med krav på tystnad. **Värdet får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt men får dock inte överskrida 0,7 mm/s vägd RMS.**

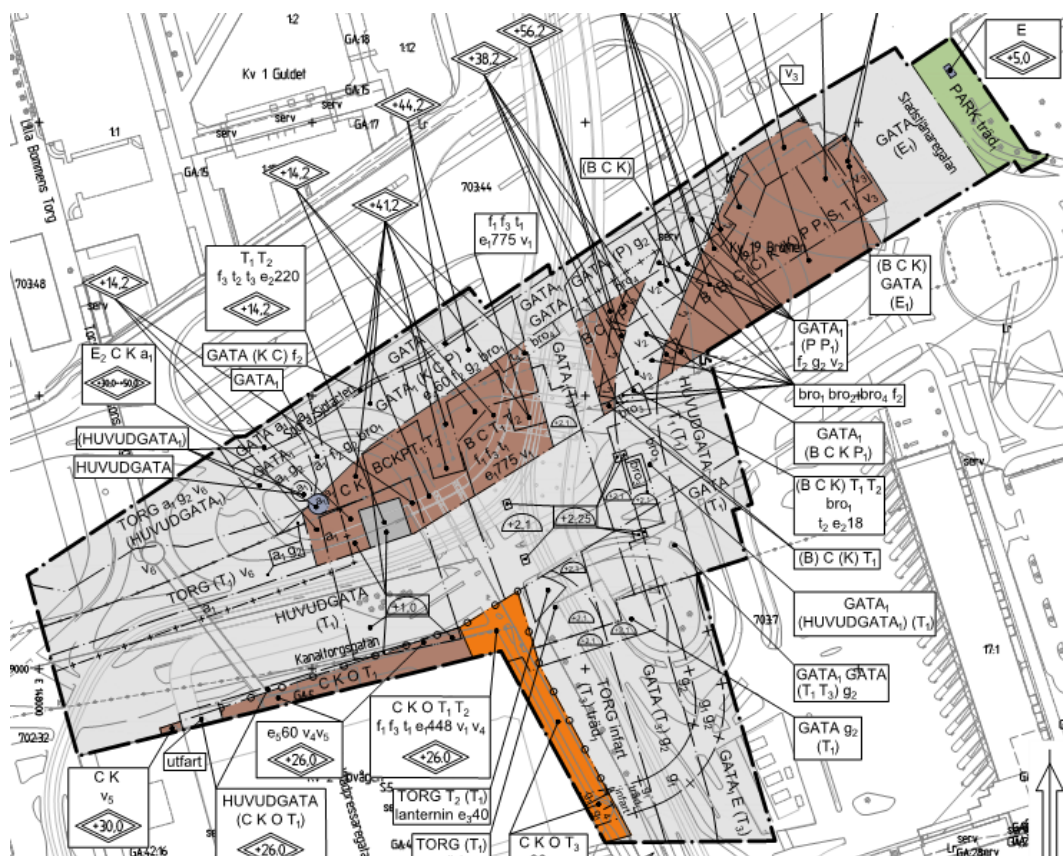
Notera att för spårvagnstrafik och vägtrafik kommer sannolikt luftburet buller att vara dimensionerande ($L_{pAmax} = 45$ dBA inomhus/BBR) vilket överensstämmer med Trafikverkets syn på att det endast är källor i tunnel som har det hårdare riktvärdet [kan man hänvisa till intern remiss Trv?].

Exempel på möjliga åtgärder redovisas i rapporten.

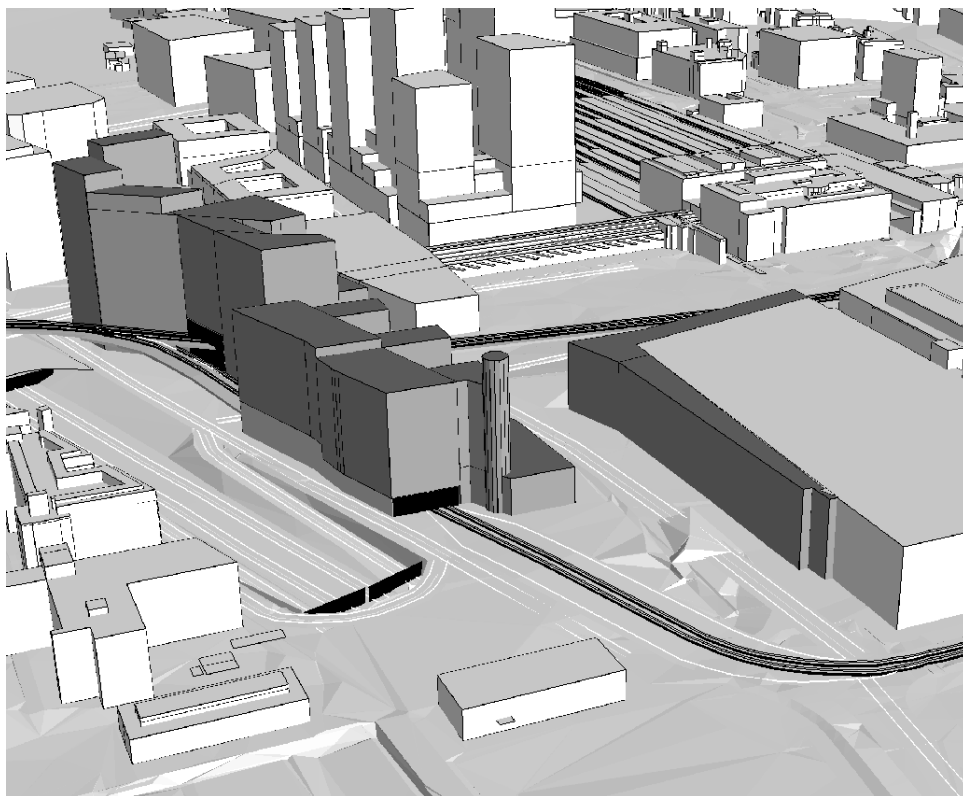
¹ Skillnaden mellan tidsvägning FAST och SLOW är 2 dBA. FAST

1 Inledning

Inom detaljplan norr om Nordstan planeras bostäder och kontor i närheten av vägar som Götaleden, spårvagnsramper och Västlänken (järnvägstunnel). Då grundläggning av byggnader sker över och i direkt närhet av trafikerade tunnlar och broar har Efterklang fått i uppdrag att redovisa risker för att kommande bebyggelse utsätts för stömljud eller vibrationer. I detta arbete ingår att presentera förslag på planbestämmelse samt indikera om åtgärder eller vidare utredningar krävs.



Figur 1 Detaljplan över området (ARBETSMATERIAL)



Figur 2 Utbyggnadsalternativ enligt erhållet underlag (vy från nordväst)



Figur 3 Utbyggnadsalternativ enligt erhållet underlag (vy från sydväst)

1.1 Utbyggnadsalternativ enligt erhållet underlag



Byggrätterna inom detaljplan Norr om Nordstan består av tre sammanhängande byggnadskroppar (A,B och C i figur) samt tillbyggnad på Nordstans köpcentra.

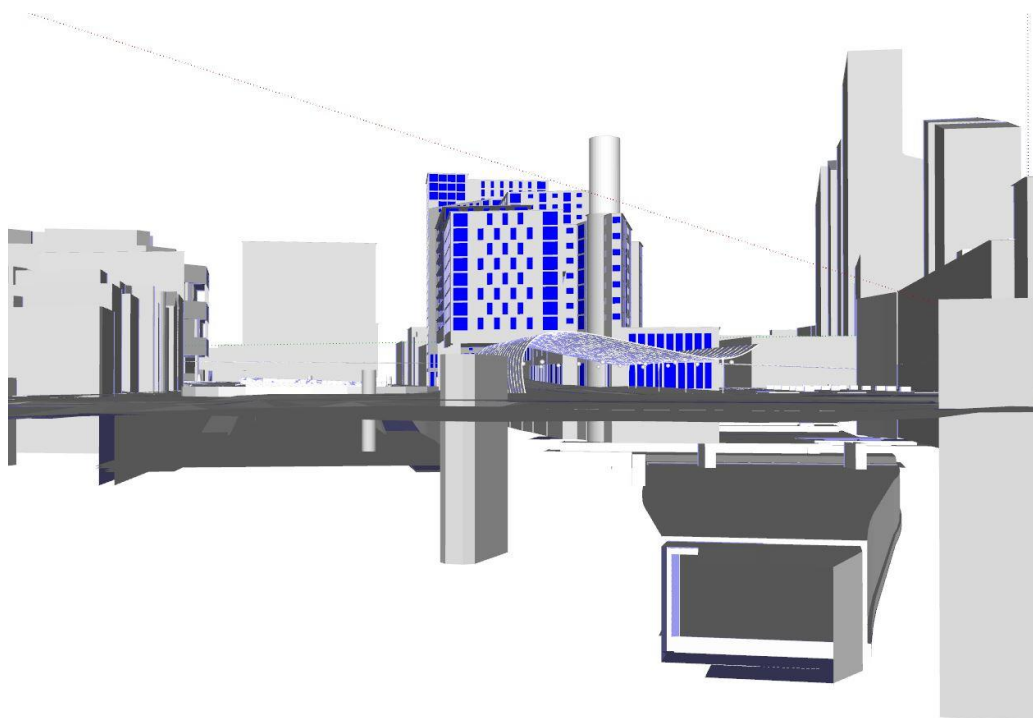
Detaljplanen avser att tillåta en blandning av kontor, handel och bostäder inom området. För att öppna upp för stråket mellan Nils Ericssonplatsen och Lilla Bommens torg går en mindre gata mellan kvarter A och B, vilken i illustrationerna är dimensionerad i enlighet med Trafikkontorets trafikförslag från februari 2019.

I östra hörnet av kvarter A ligger en av uppgångarna från Västlänkens station Centralen. Längs boulevarden är byggrätterna anpassade för att tillåta handel och liknande publik verksamhet.

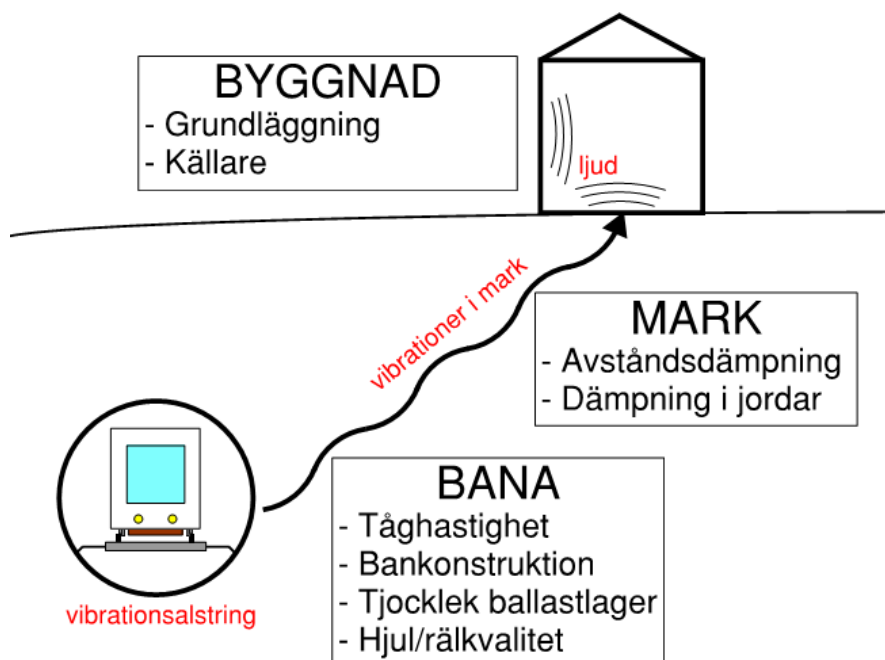
Kontorsbebyggelse är planerad att komplettera Nordstan delvis över järnvägstunneln Västlänken. Västlänken med tunnel och station ligger delvis under planerad bebyggelse med kontor och bostäder.

Norr om detaljplanen finns Götaleden, väg E45, med Götatunneln mot väst.

Spårvagnsspår går på ramper igenom området dels som en ramp genom Kv B och dels som ramp under högbyggnad i norra delen av Kv A.



Figur 4 Detaljplanens placering över tunnlar, Järnväg Västlänken längst till höger och Götatunneln till vänster



Figur 5 Schematisk beskrivning hur vibrationer i mark uppstår från fordonet och överförs till byggnad där det kan upplevas som kännbara vibrationer eller som ljud, vilket då kallas stomljud.

2 Bakgrund

Det som redovisas i denna utredning utifrån tillgängligt underlag är:

- Risk för vibrationer från järnvägstrafik och spårvagnstrafik
- Risk för vibrationer från vägtrafik
- Risk för stomljud från järnvägstrafik och spårvagnstrafik
- Risk för stomljud från vägtrafik
- Risk för stomljud från installationer för Götatunneln

Förutsättning är att trafikeringen i vägtunnlar är hög och Västlänken trafikeras dygnet runt.

Möjliga åtgärder redovisas i utredningen.

Som underlag för att bedöma risk inom aktuellt område har följande underlag använts:

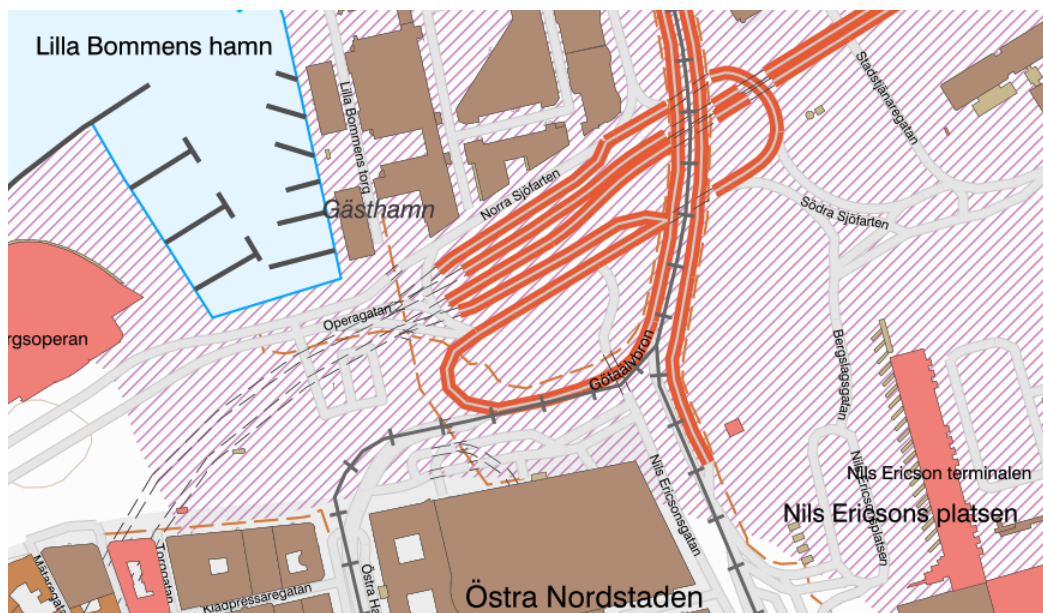
- Förutsättningar för utbyggnad av byggrätter inom dP Norr_om_nordstan 191014
- Detaljplan för bostäder, verksamheter och uppgångar för Västlänken norr om Nordstaden och Gullbergsvass i Göteborg, Göteborg 2020-02-07, SBK Göteborg
- SGU:s Kartvisare "Jordarter 1:25 000–1:100 000"
- PM GEOTEKNIK – Norr om Nordstan, Geoteknisk utredning för detaljplan, ÅF Infrastructure AB 2018-11-08
- modell-fil (IFC) av planerade byggnader, SketchUp_export4.ifc
- Olskroken planskildhet och Västlänken, Underlagsrapport Ljud, stomljud och vibrationer, Ramböll och ÅF Infrastructure AB/TrV, 2014-09-01, TrV2013/92338
- Intervju rörande stomljud från vägtunnel med Trafikverkets Nationella experter på vibrationer och buller, Alf Ekblad samt Lars Dahlbom
- A079228/4/02/4/RAP001 - Vibrationsutredning för bebyggelse ovanpå Götaleden, 2016-05, COWI på uppdrag av Stadsbyggnadskontoret i Göteborg
- Mätrapporter från Södra vägen, Göteborg (Trafikkontoret/ÅF Infrastructure AB)
- Mätrapport från delprojekt inom detaljplan Vasastaden 1:16 m.fl (Norra Station) i stadsdelen Vasastaden i Stockholm (Metron)

2.1 Geoteknik

Information om geoteknik inom detaljplanen har inhämtats dels från SGU:s översiktliga jordartskarta på nätet dels från PM GEOTEKNIK – Norr om Nordstan, Geoteknisk utredning för detaljplan, ÅF. Då det kommer att utföras omfattande arbeten inom området och det är okänt hur återfyllning av de stora infrastrukturer som byggs eller planeras att byggas sker så är förutsättningar för beräkningar och bedömningar osäkra.



Figur 6 Jordartskarta (övre lager) 1:25000-1:100000, SGU/ Rött - urberg / senapsfärgat - postglacial sand /gult - Postglacial lera/ skrafferat - fyllning normalt 2-3 meter som mest 6 meter.



Figur 7 JORDARTSKARTA (underliggande lager) 1:25000-1:100000, SGU/ Skrafferat rött - ÄLV- och svämsediment .

Fyllningens mäktighet varierar inom området men uppgår generellt till ca 2-3 m, vilket motsvarar nivåer på underkant fyllning mellan ca 0 och -1. Lokalt har fyllnadsmäktigheter på upp till ca 6 m uppmätts. Fyllnadsmassorna består huvudsakligen av sand och grus men har stora inslag av silt, lera, tegel och trärester, framförallt i den nedre delen av fyllningen. Då området har fyllts ut allteftersom genom åren varierar fyllnadsmassornas innehåll inom området samt mot djupet. Lerans mäktighet uppgår till ca 100 m inom aktuellt område. I många av undersökningspunkterna är leran sulfidhaltig och har inslag av silt och/eller skal. I vissa undersökningspunkter förekommer även gyttja eller inslag av gyttja.

...

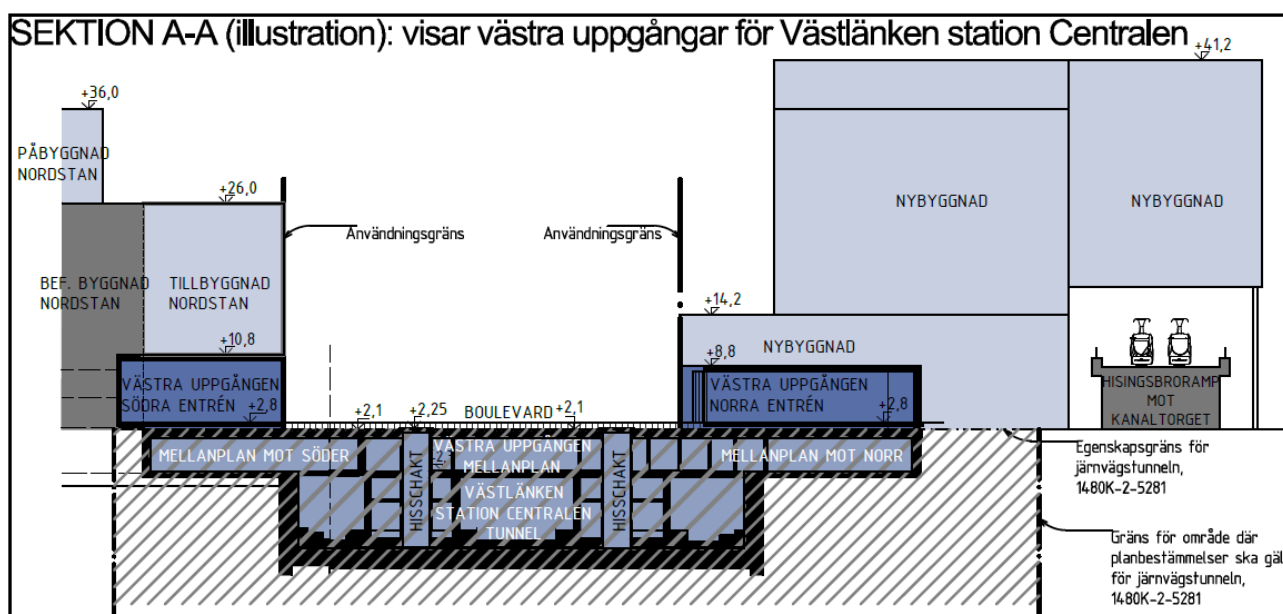
Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet är utvärderad till ca 20 kPa ner till nivå -7. Därunder ökar den mot djupet med ca 1,2 kPa/m.

Figur 8 Sammanställning, "PM GEOTEKNIK – Norr om Nordstan, Geoteknisk utredning för detaljplan"

2.2 Planerad bebyggelse och konstbyggnader

Byggnader och konstruktioner inom detaljplanen har stor påverkan sinsemellan. De källor som vi har identifierat som kan ge upphov till vibrationer och stömljud i planerad bebyggelse med bostäder och kontor är:

- Västlänken med tågtrafik i tunnel och station
- Götaleden med stor mängd fordon
- Spårvagnar på ramper mot Hisingsbron
- Bussar och tung vägtrafik på det lokala vägnätet
- Maskinell utrustning som behövs för väg och tågtunnlar








Vi utreder inte maskinell utrustning som behövs för de planerade byggnaderna som hissar, rulltrappor, fläktar, pumpar och liknande.

I dagsläget så är informationen begränsad om hur grundläggning kommer se ut och hur det påverkar stömljuds- och vibrations-spridning. Denna utredning redovisar att detta arbete även bör ta hänsyn till vibrations- och stömljudsisolering mellan de olika anläggningarna och byggnader för att inte få vibrationshastigheter eller stömljudsnivåer som överskrider föreslagna riktvärden/planbestämmelser.



Fig. 3 Grundläggningsområden för Västlänken och Hisingsbron, och områden kritiska för grundläggning av kvarter.

-  Grundläggningsområde för Västlänken, ca. 5m utanför tunnelvägg
-  Grundläggningsområde för Hisingsbron, inklusive brostöd, säkerhetsavstånd om 3m samt pålningsområde om 25x25m per brostöd
-  Kritiskt grundläggningsområde där samverkan med Hisingsbron krävs för utbyggnad
-  Kritiskt grundläggningsområde där samverkan med Västlänken krävs för utbyggnad
-  Kritiskt grundläggningsområde där samverkan med både Hisingsbron och Västlänken krävs för utbyggnad

Figur 9 Olika byggnadsverks påverkan på varandras grundläggning (Kaminsky arkitekter)

2.3 Samrådssynpunkter

I samband med samråd erhöles följande synpunkter som har relevans för stomljud och vibrationer. Ambitionen är att i denna utredning svara på frågor och ge kompletterande information utifrån dessa

Vidare har planbestämmelse satts gällande vibrationer i byggnad men inte gällande stomljud. Det nämns i planbeskrivning att även stomljud är tänkt att regleras till att inomhus i bostäder inte överskrider ljudnivån 30 dB(A) på grund av stomljud från järnvägsanläggning men Trafikverket har inte kunnat hitta denna bestämmelse i plankartan. Kommunen behöver därför tydligare visa hur detta är tänkt säkerställas. Det finns inte möjlighet att göra större förändringar i projekteringen av Västlänken för att säkra detta så det måste göras i projekteringen av byggnaderna

Figur 11 Trafikverkets synpunkter i samråd av Detaljplan för Bostäder, verksamheter och uppgångar för Västlänken norr om Nordstan i Göteborgs kommun, 2020-04-07

Det framgår av planbeskrivningen att för att klara riktvärdena för stomljud från Västlänken kommer stomljudsisolerande åtgärder krävas utmed stora delar av tunnelsträckan. Skyddsåtgärder behöver göras både i själva tunneln/spårkonstruktionen, vilket regleras i järnvägsplanen och i nya byggnader i närheten av denna vilket behöver hanteras i detaljplanen. I aktuell detaljplan har en planbestämmelse införts för vibrationer vilket länsstyrelsen anser är lämpligt. Länsstyrelsen anser att en planbestämmelse även ska införas avseende stomljud.

Eftersom ramper för kollektivtrafik bl a spårväg kommer att utföras genom byggnader, behöver risk för vibrationer och stomljud i bostäder utredas även för dessa konstruktioner och möjliga åtgärder behöver beskrivas i planen

Figur 10 Länsstyrelsens synpunkter på Förslag till detaljplan för bostäder, verksamheter och uppgångar för Västlänken norr om Nordstan inom stadsdelarna Nordstan och Gullbergsvass i Göteborgs Stad, Västra Götalands län, 2020-04-09

Denna utredning har som syfte att komplettera kunskap och svara på de frågor som remissinstanserna har.

2.4 Förutsättningar trafikering

Denna utredning fokuserar på de olika vibrations- eller stömljudshändelserna som förväntas uppstå.

Bussar och spårvagnar trafikering

<i>Del i infrastrukturen</i>	<i>Buss</i>	<i>Spårvagn</i>
Hisingsbron	75	60
Kollektivtrafikramp mot hpl Kanaltorget	24	36
Kollektivtrafikramp mot hpl Nordstan	36	24
Boulevarden (Kanaltorgsgatan/Bergslagsgatan idag)	20 från öster 15 från norr (HB) 15 från söder	-
Nils Ericsonsgatan	51	24
Östra Hamngatan	24	36

Tabell 1. Antal dubbelturer/riktning under maxtimmen, Västtrafik

Vi har inte i vår utredning tagit hänsyn till att fordonen på många sträckor och i korsningar inte kan hålla 50 km/h utan hastigheter är lägre.

Västlänken

I beräkningar har följande trafikering använts:

Bandel	Tågtyper	Antal tåg Nu-noll (per dygn)	Antal tåg driftskede (per dygn)	Medel- längd (m)	Max- längd (m)	Hastig- het nu- noll (km/h)	Hastighet driftskede (km/h)
8 – Västlänken	Fjärrtåg	-	-	-	-	-	-
	Regiontåg	-	120	161	161	-	80
	Lokaltåg	-	340	149	223	-	80
	Godståg	-	-	-	-	-	-

Källa : Underlag till järnvägsplaner Olskroken planskildhet och Västlänken Göteborgs Stad och Mölndals stad, Västra Götalands län Underlagsrapport Ljud, stömljud och vibrationer TRV 2013/92338 2014-09-01

Vägtrafik

Trafikmängder redovisas i Bilaga 2 – trafikmängder

Hastigheter har förutsatts vara 50 km/h på lokalgator och 70 km/h på Götaleden.

Vi har inte i vår utredning tagit hänsyn till att fordonen på många sträckor och i korsningar inte kan hålla 50 km/h.

3 Metodbeskrivningar

3.1 Stomljud

Här beskrivs de metoder vi använt för att bedöma risken för stomljudsnivåer som överskrider föreslagna riktvärden för stomljud inom planerade byggnader.

3.1.1 Spårvagnar

Bedömning om risk för stomljudsnivåer i byggnader från spårvagnar har utförts utifrån mätningar på Göta-älvbron pelare och översiktliga beräkningar av vad dessa vibrationshastigheter skulle innebära för utstrålad ljudnivå inom en kopplad byggnad. Detta ger en bild av hur stor stomljudsisolering som krävs för att klara riktvärde.

3.1.2 Vägtrafik

Bedömning av stomljudsnivåer från trafik har utförts utifrån tidigare utredning för överdäckning av Götatunneln med bostäder på överdäckning, mätningar på ett motsvarande projekt i Stockholm samt intervju med experter på Trafikverket.

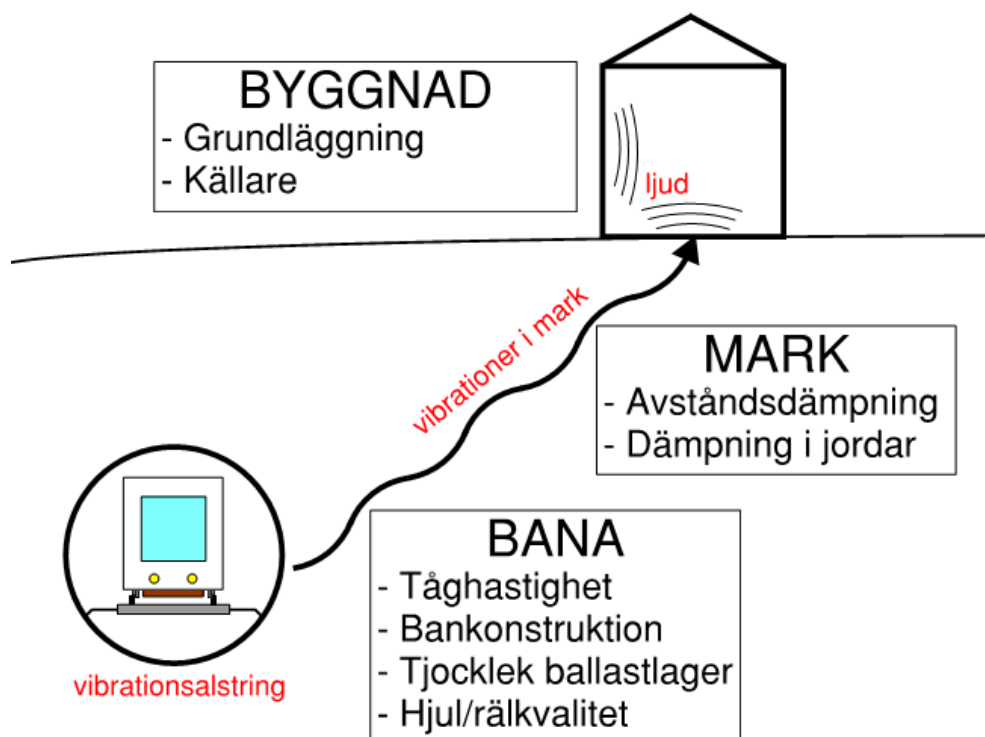
Vi belyser endast risk för stomljud från Götaledens vägtrafik då den är delvis underjordisk.

3.1.3 Tågtrafik

Bedömning av risk för stomljud från järnvägsanläggningen har utförts genom att använda oss av en semi-empirisk beräkningsmodell för stomljud från järnvägstunnelar.

Beräkningsprogram för stomljud från tåg (Beräkning av stomljud från tågtrafik, Version 0.16, ÅF Ljud och Vibrationer, 2013-05-14) har använts utgår från en ursprungligen empirisk modell baserad på mätningar från tunnelar med spårburen trafik i Sverige och Norge. Beräkning avser stomljudsnivå (dBA, tidsvägning FAST).

Beräkningsmodellen bygger på korrekationer för olika förutsättningar i varje beräkningsfall. Korrektionsfaktorerna i modellen kan delas upp i tre huvudkategorier: bana, mark och byggnad, se Figur 12 och förklaring nedan.



Figur 12 Korrektionsfaktorer i beräkningsmodell.

- **Bana** - I banan sker själva vibrationsalstringen och där beaktar modellen tågtyp, tågets hastighet, banans konstruktion, tjocklek på eventuellt ballastlager och skick på hjul och räler.
- **Mark** - Vibrationerna som alstras i banan fortplantar sig i marken. Vibrationsnivåerna dämpas ju längre transportvägen blir, därför görs en korrektion för avståndsdämpning och materialdämpning. Dessutom sker dämpning vid övergången mellan två marktyper, exempelvis mellan berg och lera, vilket också representeras av en korrektionsfaktor i modellen.
- **Byggnad** – Stomljudet uppstår när vibrationerna sprids in i byggnadselement och får dessa att vibrera. Byggnadens konstruktion har därmed betydelse för stomljudsnivån. I beräkningsmodellen görs korrektioner för olika typer av grundläggning, eventuell jordarts mäktighet under byggnad samt förekomsten av källare.

Vi har räknat med 2 våningsplan mellan spår och mottagare. Vi har antagit en 4 meter fyllning mellan byggnad och tunnelkonstruktion. Detta innebär att förutsätter att tunneln inte är sammangjuten med byggnad och det finns en viss stomljudsisolering mellan byggnadsstommar (dilatationsfog).

3.2 Vibrationer

3.2.1 Spårvagnar

Vi har valt att främst bedöma risk för kännbara vibrationer från spårvagnar i byggnader utifrån mätningar utförda på och vid pelare till Göta Älvbron.

Några beräkningar av vibrationshastigheter från spårvagnstrafiken har utförts med egenutvecklad semi-empirisk beräkningsmodell. Detta för att bedöma avstånd till spårvagnsbana där byggnadens utformning bör utformas med hänsyn till risk för markvibrationer. Dessa beräkningar motsvarar en spårvagnslinje direkt på mark.

”Beräkning av vibrationshastighet från tågtrafik”, ver. 1-0-2020 som använts i flertalet infrastrukturprojekt och successivt kontrollerats inom olika projekt varav flera spårvagnsprojekt. I modellen bestäms följande parametrar tillsammans med val i denna utredning

- Fordonstyp – spårvagn
- Fordonshastighet – 50 km/h
- Avstånd till byggnad – avstånd till riktvärde beräknas
- Utformning spårvägsbana – vi antar 1,6 meter ballast som då inkluderar effekt av fyllning över lera (fyllning är i området 2–3 meter)
- Grundläggning – vi har förutsatt att byggnader utförts med en grundläggning som motsvarar pålning på grund av jordarter på plats. Pålar som inte når fast botten (kohesionspålning)
- Marktyp – lös lera, odränerad skjuvhållfasthet på cirka 20 kPa och ökande med djupet
- Hus- och bjälklagstyper – betong med spännvidder bjälklag upp till 8 m (fördelaktigt med mindre spännvidder för att få upp egenfrekvensen över 15-20 Hz)

Bedömningar har även jämförts med erfarenheter från mätningar på andra platser i Göteborg som till exempel vibrationsmätningar utförda på Södra vägen mellan Engelbrektsgatan och Korsvägen (2013).

3.2.2 Vägtrafik

För bussar och tunga vägfordon har vi utfört översiktliga beräkningar för att beskriva vibrationshastigheters spridning i omgivningen beroende på hinder i vägbana. Erfarenhetsmässigt så ger trafik på en slät och jämn vägbana liten spridning av vibrationer till omgivningen. Vid en vägbana med farthinder av typ gupp eller andra ojämnheter kan dock vibrationshastigheter bli höga på lerjordar. Tjockt lager med fyllning är fördelaktigt.

Risk för vibrationsbidrag från Götaleden har dock bedömts utifrån tidigare utredning från COWI angående planerade bostäder över Götaleden samt dialog med Trafikverkets experter. Detta på grund av konstruktionens komplexa utformning med stora mängder betongväggar som förstyrkar. Det bör poängteras att det inte finns någon standardiserad nationell beräkningsmodell för att beräkna vibrationer från spårvagnar, järnvägar eller vägtrafik. Det finns ramverk för att utföra beräkningar till exempel SS-ISO 14837-1:2005, Vibration och stöt – Markburet buller och markburna vibrationer från järnvägstrafik eller NT ACOU 082 Buildings: ”Vibration and shock, evaluation of annoyance”.

Bedömningar har även jämförts med mätningar utförda på tunnelkonstruktion i Stockholm med överdäckning av E4.

Intervju med Trafikverkets experter på ljud och vibrationer har genomförts.

3.2.3 Tågtrafik

För tågtrafik har en konservativ bedömning utförts där järnvägssystem i betongtunnel endast har en vibrationsisolering som motsvarar ett pålat betongdäck. Att skapa den beräkningsmodell som krävs för att med större säkerhet beräkna vibrationer i hus är en komplex och omfattande insats vilket inte ryms i detta uppdrag. Tunnel, mark, grundläggning och byggnader skulle behöva modelleras med en Finit elementmetod eller motsvarande.

”Beräkning av vibrationshastighet från tågtrafik”, ver. 1-0-2020 som använts i flertalet infrastrukturprojekt och successivt kontrollerats inom olika projekt. I modellen bestäms följande parametrar tillsammans med val i denna utredning:

- Fordonstyp – passagerartåg
- Fordonshastighet – 80 km/h
- Avstånd till byggnad – minsta avstånd cirka 10 meter
- Utformning tunnel/järnväg– vi antar pålad betongplatta under spår
- Grundläggning – vi har förutsatt att byggnader utförts med en grundläggning som motsvarar pålning på grund av jordarter på plats. Pålarna som inte når fast botten (kohesionspålning). Inga pålar på Västlänkens anläggning.
- Marktyp – lös lera, odränerad skjuvhållfasthet på cirka 20 kPa och ökande med djupet
- Hus- och bjälklagstyper – betong med spännvidder bjälklag upp till 8 m (fördelaktigt med mindre spännvidder för att få upp egenfrekvensen över 15-20 Hz)

3.2.4 Generellt

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

Vi har tagit begränsad hänsyn till hur markvibrationerna i värsta fall kan förstärkas då frekvensen i mark överensstämmer med bjälklag och byggnad. Det finns fall då förstärkningsfaktorn kan vara så stor som $Q = 10$. Vi har antagit att bjälklaget har en överföringsfaktor relativt mark på ungefär $Q = 2$. Detta grundar sig på Trafikverkets senare inventeringar där de utrett överföringsfaktorer från mark till byggnad (.).

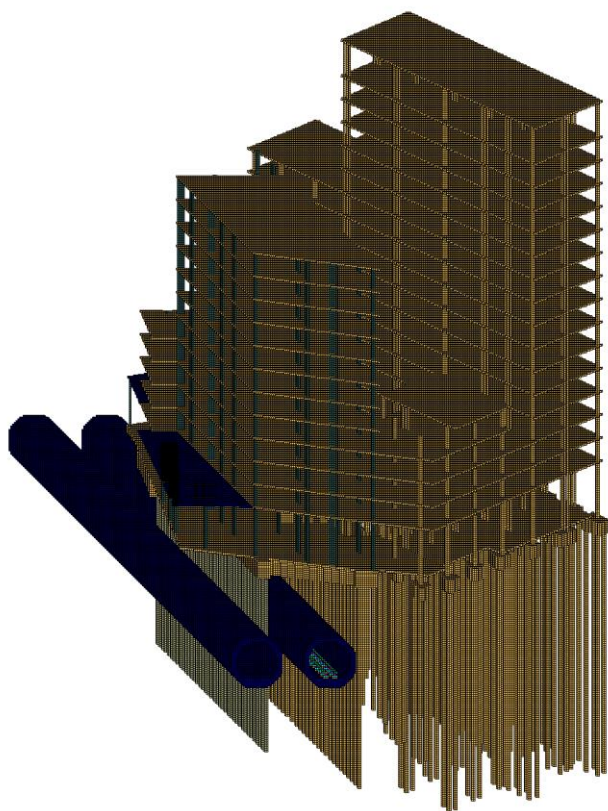
Spårvagnar har vanligtvis en lägre störfrekvens än bussar och andra tunga fordon så om byggnader är anpassade efter bussar och tunga fordon så bör de även ha egenfrekvenser i bjälklag över spårvagnarnas egenfrekvens, $>10-20$ Hz.

Uppmätta högsta frekvenser i mark vid pelare Göta Älvbron ligger på cirka 8 Hz vid spårvagnspassager. Bussar ger erfarenhetsmässigt något högre vibrationshastigheter i omgivningen än spårvagnar.

Som alternativ till beskriven metod skulle vi kunna utfört mätningar av vibrationshastigheter i mark från bussar och andra tunga fordon samt utfört mätningar av vibrationshastigheter från spårvagnstrafik på annan plats i Göteborg för att bedöma vibrationer från Spårvagn i leran på olika avstånd.

Orsaken till val av vår metod är följande:

- Spårvagnar trafikerar kommer framförallt att befinna sig på ramper vilket innebär att vi inte kan mäta trafikslaget
- Vår semi-empiriska modell för att räkna vibrationer från spårburna fordon har utarbetats under många år och kontrollerande mätningar har skett för att kontrollera att beräkningar ger rimliga resultat.
- Området har fyllning som översta jordlager och vi bedömer att det finns risk för stora variationer inom området på vad det lagret består av och hur detta påverkar vibrationshastigheter. Framtida nybyggnader på platsen kommer påverka mängden fyllningar samt en stor mängd konstruktioner under mark påverkar resultatet. På samma sätt kan det vara svårt att hitta annan mätplats i Göteborg med motsvarande förutsättningar geotekniskt
- En mer avancerad modell saknar information om planerade byggnader och ställer mycket höga krav på kunskap om infrastrukturens utformning, geotekniska förhållande och fordon som trafikerar



Figur 13 Exempel på avancerad beräkningsmodell för vibrationer och stömljud från spårburen trafik. FindWave är ett beräkningsprogram som skapar en finit differensmodell som används i komplexa situationer

4 Riktvärden

4.1 Riktvärde Stomljud

4.1.1 Förslag bestämmelse detaljplan

Det finns i dag inget förslag på detaljplanebestämmelse rörande stomljud i byggnader.

Då nybyggnation kan behöva stomljudsisolerande åtgärder för att det inte i den färdigbyggda byggnaden uppkommer stomljud rekommenderas att planen innehåller planbestämmelse för stomljud.

Vår utgångspunkt är att de riktvärden som använts för befintliga bostäder och nybyggnad av järnväg även bör tillämpas vid befintlig järnväg och nybyggnad av bostäder. Enligt vår bedömning bör det finnas transparens mellan olika projekt och lämpliga riktvärden vid stomljud från spårburen trafik i närheten av Västlänken är:

- **Bostäder** 32 dBA maximal ljudnivå tidsvägning FAST² samt frekvensanalys mot lågfrekvenskrav i Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus FoHMFS 2014:13.
- **Kontor och liknande utrymmen** tillämpas riktvärdet 42dBA FAST.

Tabell 1. Lågfrekvenskrav per tersband enligt FoHMFS 2014:13.

Tersband [Hz]	Ljudtrycksnivå, L_{eq} [dB]
31,5	56
40	49
50	43
63	42
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

I bedömningen tas hänsyn till att bostäderna och Västlänken kommer att samexistera under mycket lång tid.

4.1.2 Naturvårdsverket

Regeringen har gett myndigheterna uppdraget att inom samarbetet "Nationell samordning av omgivningsbuller" samordna bullerhantering då omgivningsbuller hanteras av flera svenska myndigheter. Arbetet leddes av Naturvårdsverket. Under 2015 togs en rapport fram för att ligga som grund för nationellt riktvärde för stomljud i bostäder. Projektgruppen med olika myndigheter har i kommentar 2016-10-05 föreslagit nationella riktvärden för stomljud från spårburen trafik: $L_{pAF,max} = 35$ dBA [FAST] samt $L_{pA,eq24h} = 30$ dBA för bostäder. Detta förslag motsvarar ungefär $L_{pAS,max} = 33$ dBA [SLOW].

4.1.3 Trafikverket (Västlänken)

Det pågår arbete inom Trafikverket för att införa ett nationellt riktvärde för stomljud. Västlänken har inte ställt upp krav på sin anläggning för framtida byggnader till aktuell

² Skillnaden mellan tidsvägning FAST och SLOW är 2 dBA. FAST

detaljplan men har riktvärden för tunnel nära befintlig bebyggelse. Det innebär att det inte finns stomljudsisolering åtgärder i spårssystemet under planerad bebyggelse.

Det finns idag inga svenska nationella myndighetskrav på stömljud från spårburen trafik i tunnel. I många järnvägsprojekt i Sverige och Skandinavien baserar man val av riktvärde på nationell och internationell praxis. Denna praxis bygger på begränsad kunskap om koppling till hur människor upplever störningen.

I underlagsmaterial till MKB för Järnvägsutredningen till Västlänken har en omfattande genomgång av riktvärden för stömljud från tåg gjorts. I sammanställningen ingår:

- Projektspecifika riktvärden för 10 skandinaviska och 3 internationella tågtunnelprojekt
- Regionala riktlinjer som behandlar stömljud från Malmö och Stockholm
- Nationella riktlinjer för buller inomhus (Folkhälsomyndigheten och Boverkets byggregler)
- Internationella riktlinjer, normer och praxis (USA, Storbritannien, Österrike, Danmark och WHO)

Ställda krav på stömljud från trafik i driftskede för projekt Västlänken är 30 dBA maximal ljudnivå (slow) och 40 dBA för kontor och liknande utrymmen. Kraven relateras även till Folkhälsomyndighetens allmänna råd där frekvensanalys utförs mot tabell för lågfrekvent buller i Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus FoHMFS 2014:13.

Stömljud

För stömljud gäller projektspecifika riktvärden, framtagna i samråd med Naturvårdsverket, Länsstyrelsen och Göteborg Stads miljöförvaltning. Samtliga värden avser maximala ljudnivåer [slow].

- 25-30 dB(A) i konsertsalar, opera, ljudstudios och andra känsliga byggnader
- 30 dB(A) i bostäder, vårdlokaler, kyrkor och hotell
- 35 dB(A) i teatrar, skolor, bibliotek, konferenscentra
- 40 dB(A) i kontor och liknande utrymmen.

Kraven relateras även till Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus FoHMFS 2014:13 (Folkhälsomyndigheten, 2014) avseende ekvivalenta ljudtrycksnivåer beskrivna i tertsband i nämnda författningssamling. Mättidsintervallen är fem minuter inklusive passage av mest bullrande tågtyp.

Figur 14 Underlag till Järnvägsplaner - Olskroken planskildhet och Västlänken / Underlagsrapport Ljud, Stömljud och vibrationer 2014-09-01

4.2 Riktvärde Stomljud - Fläktar och installationer i tunnel

Trafikverket har följande krav från installationer i tunnlar i deras dokument, Trafikverkets Tekniska krav för tunnel TRVK Tunnel 11, Trafikverkets tekniska krav Tunnel TRV publ nr 2011:087.

Stomtransmitterat ljud från installationer i en tunnel till intilliggande byggnader får inte medföra att ljudtrycksnivån i dessa blir högre än värden per oktavband enligt tabell B.4-1. Kraven avser enbart buller från tunnelinstallationer och gäller vid absorptionsmängden 1 m² Sabine/m² golvyta.

Objektspecifikt byggherreval, se A.1.3.

Tabell B.4-1 Högsta tillåten ljudtrycksnivå per oktavband, dB(A)

Mittfrekvens för oktavband, Hz:	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Bostäder, vårdlokaler, undervisningslokaler etc.	50	41	35	26	19	15	12	9
Kontor etc.	60	51	39	31	24	20	17	14

Figur 15 Trafikverkets Tekniska krav för tunnel TRVK Tunnel 11, Trafikverkets tekniska krav Tunnel

Anm värdena avser sannolikt linjära värden och inte dB(A) som står i rubrik på samma sätt som i folkhälsomyndighetens krav rörande eftersom det annars skulle accepteras mycket höga värden.

Det är oklart om det finns uppställda krav på tunnlar installationer till aktuell detaljplan.

4.3 Riktvärde vibrationer – detaljplan

I föreslagen detaljplan redovisas följande:

4. STÖRNINGSSKYDD
 Gällande riktlinjer för vibrationer i byggnad, 0,4 mm/s vägs RMS, får inte överskridas.

- 1) Gör ingen åtskillnad på olika nyttjande; boende, kontor etc. Inom kontor är praxis att tillåta något högre vibrationshastigheter.
- 2) Hade kanske varit bra med hänvisning till relevant standard
- 3) Notera att text skulle kunna kompletteras med enligt Trafikverket: "Avser vibrationsnivå nattetid (22-06) och får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt. Vibrationsnivån får dock inte överskrida 0,7 mm/s vägd RMS"
- 4) Notera att skrivning avviker något från Trafikkontorets mål

4.3.1 Riktvärde vibrationer - Svensk Standard SS 460 48 61

Markvibrationer kan ge påverkan både på människor och på byggnader. Känslig utrustning kan också påverkas och i extrema fall finns det en risk att skador på byggnader och andra konstruktioner kan uppstå. Människor kan uppleva vibrationer på olika sätt främst beroende på frekvensområde (relevant frekvensområde är 1-80 Hz) eller som ljud.

Tabell 1 Riktvärden för komfort i byggnader enligt Svensk Standard SS 460 48 61 "Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader". Riktvärdena nedan avser vägd hastighet

	Vägd hastighet [RMS 1s]	Upplevelse
Måttlig störning	0,4 – 1,0 mm/s	Ger i vissa fall anledning till klagomål
Sannolik störning	> 1 mm/s	Kännbara vibrationer och upplevs av många som störande.

Enligt den bedömning som gjorts i samband med framtagningen av angivna riktvärden i svensk standard, anses mycket få människor uppleva vibrationer under skiktet "Måttlig störning" som störande då detta ligger mycket nära känseltröskeln.

Riktvärdena bör tillämpas vid nyetableringar och vid nybebyggelse. De kan tillämpas mindre strikt för kontor än för bostäder. Riktvärdena bör tillämpas mer strikt för bostäder nattetid eftersom störd sömn är den viktigaste hälsomässiga konsekvensen av vibrationer. Riktvärdena kan vidare användas som målsättning för långsiktig förbättring av vibrationsförhållanden i befintliga miljöer.

4.3.2 Riktlinjer vibrationer - Trafikverket

I Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg, TDOK 2014:1021, som gäller från 2016-01-01, beskrivs riktvärde som konkretisering av vad Trafikverket anser vara en god eller i vissa fall godtagbar miljö. Riktvärdena utgör Trafikverkets målnivå vid genomförande av skyddsåtgärder mot höga vibrationsnivåer inom bostäder och vårdlokaler.

Riktvärde för maximal vibrationsnivå för planeringsfall nybyggnad är 0,4 mm/s vägd RMS vilket avser vibrationsnivå nattetid (22-06). Riktvärdet gäller i bostadsrum i permanentbostad och fritidsbostad samt i vårdlokaler avseende utrymme för sömn och vila, eller utrymme med krav på tystnad. **Värdet får överskridas högst fem gånger per trafikårsmedelnatt men får dock inte överskrida 0,7 mm/s vägd RMS.**

Med maximal vibrationsnivå avses den högsta vibrationsnivån i samband med en enskild vibrationshändelse under en viss tidsperiod. Komfortvibrationer uttrycks som det maximala effektivvärdet (RMS-värdet) med tidsvägning S (slow enligt SS IEC 651) av den vägda hastighetsnivån i mm/s (1–80Hz).

Det finns inga riktlinjer för skola, kontor och liknande verksamheter.

4.3.3 Riktvärden -Trafikkontoret Göteborg

Trafikkontoret i Göteborg tog 2006 fram ett Miljöprogram för trafiken i Göteborg som stödjande dokument som avstamp för deras konkreta handlingsplaner. Där specificerades deras syn på vilka vibrationsnivåer som inte skulle överskridas.

För närvarande gäller, Principbeslut om hantering av vibrationer TN § 111/15.

Riktvärden för människor i byggnader, vid planering

En komfortvägd vibrationshastighet på 0,4 – 0,6 mm/s [RMS] ska eftersträvas i permanentbostäder, fritidsbostäder och vårdlokaler. Det gäller i utrymmen där människor vistas stadigvarande.

Känsltröskeln för individer varierar inom vida gränser, bl.a. beroende av vilket psykologiskt tillstånd personen befinner sig i och vad man för tillfället sysslar med.

(Enligt Trafikverkets tekniska dokument TDOK 2014:1021 ver 2.0 anges att om vibrationsnivåerna uppgår till mellan 0,4 mm/s och 0,7 mm/s och riktvärden för buller överskrids ska ett särskilt övervägande göras om vilka skyddsåtgärder som är tekniskt möjliga och ekonomiskt rimliga beaktat den totala störningssituationen)

5 Tidigare utredningar i området

Det saknas utredningsunderlag rörande Västlänkens påverkan på omgivningen med avseende på stömljud och vibrationer inom den specifika detaljplanen.

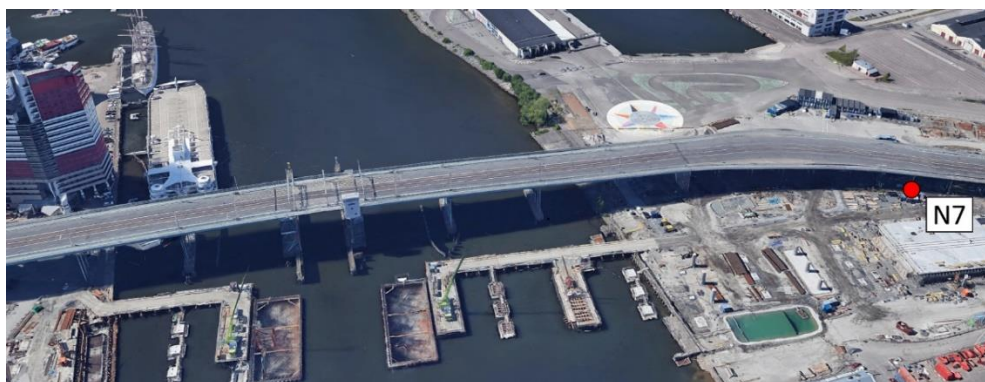
Eventuella störningar från Götaleden till planerad bebyggelse över Götaleden har utretts i A079228/4/02/4/RAP001 - Vibrationsutredning för bebyggelse ovanpå Götaleden, 2016-05, COWI på uppdrag av Stadsbyggnadskontoret i Göteborg

6 Mätningar

Mätningar har utförts vid Göta Älvbron på älvens norra sida vid pelare N7. Orsaken till att vi utförde mätningar här var att det var så mycket ovidkommande störningar från byggverksamheten inom framtida detaljplaneområde.

Information om använda instrument finns registrerat i mätprotokoll.

Mätningar utfördes under två mätintervall 2020-06-01—2020-06-09 samt 2020-06-09—2020-06-11. Inför mätintervall 2 justerades riktningar på mätninggivare då givare på pelarsockel var felmonterad. Hänsyn har tagits till det vid utvärdering.



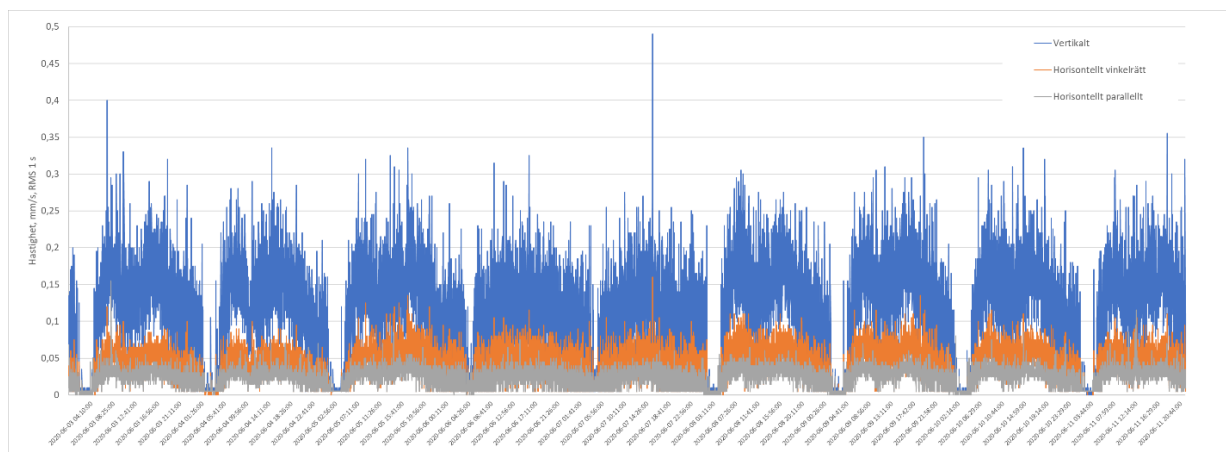
Figur 16 Placering av mätare vid pelarrad N7



Figur 17 Placering givare på pelarsockel samt i mark

6.1 Vibrationshastigheter i mark

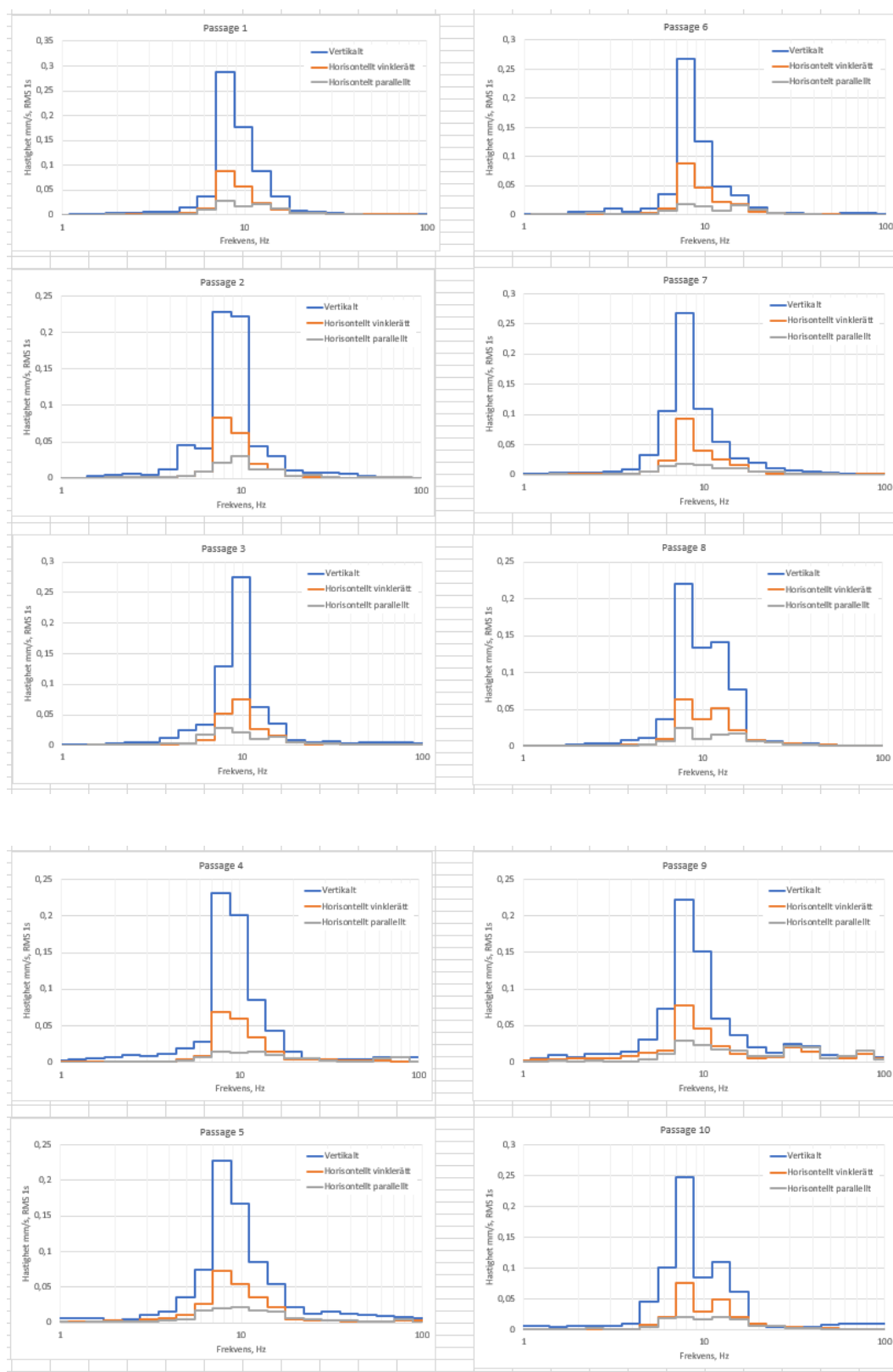
I diagram redovisas vibrationshastigheter i marken i tre ledder. Vertikalt, horisontellt vinkelrätt mot bronns riktning och horisontellt parallellt med bronns riktning. I denna redovisas alla störningar på platsen, vilket kan inkludera fordon som kör på marken i närheten av givarna. Vi har vid utvärderingen exkluderat dessa störningar och presenterar värden från de högsta förekommande passager som förekommer på bron. Urvalet har skett genom att passager som utvärderats haft höga vibrationsnivåer även i pelare där trigg-signal monterats. Transienter har även kontrollerats för att se att det är passerande fordon på bron.



Figur 18 Komfortvägd vibrationshastighet i marken v_w [RMS Slow] under mätperioden

2020-06-01 18:12			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,36	0,11	0,04
2020-06-10 14:44			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,34	0,11	0,04
2020-06-10 18:50			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,32	0,09	0,04
2020-06-11 21:37			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,32	0,10	0,03
2020-06-10 12:42			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,31	0,10	0,04
2020-06-11 08:18			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,31	0,11	0,03
2020-06-10 08:00			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,31	0,11	0,03
2020-06-11 19:06			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,30	0,09	0,04
2020-06-11 08:12			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,30	0,10	0,04
2020-06-11 14:09			
Maximala RMS-värden			
	Vertikal	Vinkelrätt spåret	Parallellt spåret
Mätpunkt	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s	RMS slow mm/s
MP2 - Mark	0,29	0,10	0,04
Högsta vibrationshastighet	0,4	0,1	0,04

Figur 19 Komfortvägda vibrationshastigheter i mark från de 10 högsta registrerade passagerarna

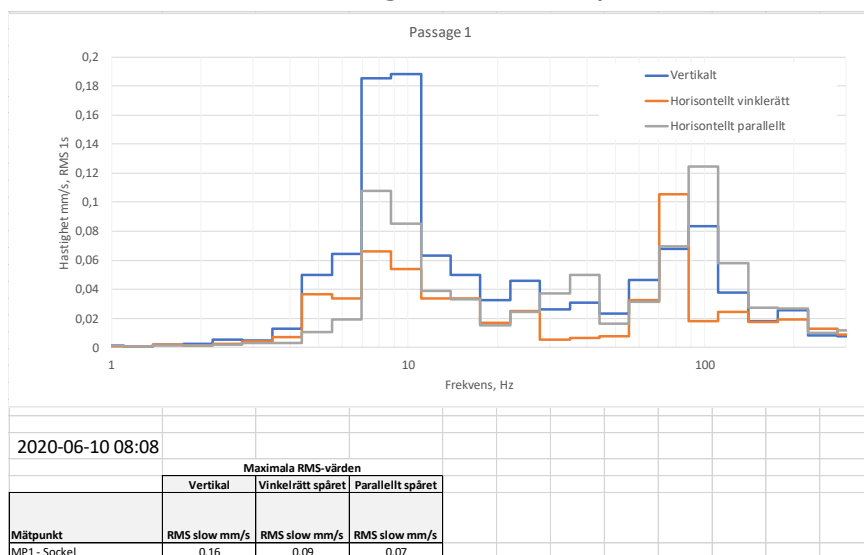


Figur 20 Frekvensinnehåll hos de tio högsta passagera i mark mm/s RMS, slow

Vibrationshastigheter i mark är i storleksordningen att de kan vara kännbara men klarar riktvärden (0,4 mm/s). Om en byggnad har en respons som förstärker vibrationerna så finns risk att riktvärde överskrids i byggnaden.

Byggnader bör utformas med tunga material samt ha egenfrekvenser i ingående byggdelar som överskrider 12 Hz eller på längre avstånd från källan. Framtida Hisingsbro samt spårvagn på ramper och mark kan ha avvikande störfrekvens. Utredning med bland annat mätningar rekommenderas inför projektering av hus och deras grundläggning.

6.2 Vibrationshastighet i sockel pelare



Figur 21 Frekvensinnehåll hos de tio högsta passagera i pelares sockel mm/s RMS, slow

Det som kan utläsas av mätta värden i pelare är att vibrationshastigheterna även har ett höga vibrationer vid högre frekvenser. Detta område utstrålar effektivt ljud till omgivningen. Det innebär att dessa vibrationer kan ge en byggnad höga stomljudsnivåer om byggnaden är sammanbyggd med pelaren.

Vi kan även utläsa att vibrationshastigheterna i pelaren är något lägre än vad de är i mark som presenterats i tidigare avsnitt. Vibrationerna förstärks något i marken. Vibrationerna är sannolikt inte kännbara men kan ge upphov till utstrålat ljud (stomljud). I utomhusmiljö är det sannolikt inte hörbart för det överlagras av omgivningens ljud.

7 Slutsats

7.1 Vibrationer

7.1.1 Järnvägstunnel - Västlänken

Trafikverket har inte tagit hänsyn till framtida bebyggelse inom aktuell detaljplan i samband med utformning av Västlänken då det inte var en förutsättning för deras projektering.

Mätningar utförda på i ett liknande projekt i Stockholm med överdäckning av järnväg indikerar vibrationsnivåer i storleksordningen 0,4-0,5 mm/s (ovägd peak) och $v_w = 0,1$ mm/s [RMS Slow komfortvägda] i tunnelvägg. Vid redovisat värde krävs hänsyn för att inte trafiken ska ge upphov till kännbara vibrationer då erfarenheten är att peak-värdet ger en bra indikation på komfortvägda värden i byggnaden. Den nivå som finns över tunnel får då inte förstärkas inom byggnaden. Förstärkning kan ske om egenfrekvensen i byggnad eller bjälklag överensstämmer med störningens frekvens i tunnel.

Vid indikativa beräkningar erhålls en vibrationshastighet på $v_w = 0,2$ mm/s [RMS Slow komfortvägda] som är lägre än föreslaget riktvärde på $v_w = 0,4$ mm/s. Beräkningar har utförts på en enklare konstruktion som motsvarar en järnväg på en pålad platta.

Det går dock inte från föreliggande underlag att utesluta att framtida vibrationsnivåer i byggnader kan överskrida 0,4 mm/s med ogynnsamma egenfrekvenser i Tunnelkonstruktion Västlänken, byggnaden och dess samordnade grundläggning.

Vi rekommenderar en fortsatt utredning med mätningar på järnvägstunnel och i husets grundläggningspunkter alternativt mer avancerade beräkningar i samband med projektering av hus och dess grundläggning. Mätning bör dock utföras inför projektering hus med färdig Västlänk för att mer noggrant beskriva vibrationer i underlaget/tunnel. Konstruktioner inom byggnad som bjälklag bör inte utföras med en egenfrekvens som överensstämmer med uppmätta frekvenser i mark. I detta projekt gick det godståg i tunneln. Då det finns stora osäkerheter i beräkningarna och att byggnader ligger rakt över tunnel och station så finns det dock en risk att de enkla beräkningar som utförts underskattar vibrationerna. Mätningar bör utföras efter att Västlänken är utförd alternativt genom mer avancerade beräkningar för att framtida byggnader ska utformas på ett sätt så att kännbara vibrationer inom överskrider riktvärde.

Det som talar för att vibrationshastigheterna är lägre är att tunneln är tyngre än den konstruktion som ligger till grund för beräkningen. Något som talar för att vibrationshastigheterna är lägre är stationens/tunnels stora tyngd och styvhet.

7.1.2 Spårvagnsramper

Uppmätta vibrationshastigheter i närheten av befintlig Götaälv-bro indikerar att risken är låg för vibrationer till planerad bebyggelse. Vi förutsätter att Hisingsbron utförs med en konstruktion och grundläggning som är bättre eller motsvarar Göta-älv-brons grundläggning.

7.1.3 Götaleden

Vid mäktiga leror kan det finnas risk för vibrationer från vägtrafik. Enligt utredning utförd av COWI inför byggande av bostäder över Götatunneln i Göteborg finns det liten risk kännbara vibrationer. Slutsats av mätningar på en liknande överdäckning över E4 i Stockholm samt dialog med Trafikverkets experter om erfarenhet av störningar från tunnlar ger att risken är liten att störningar ska uppstå.

7.1.4 Vägtrafik

Bussar och andra tunga fordon riskerar att överskrida riktvärde 0,4 mm/s om de placeras för nära byggnadernas fasader på platser med djupa leror. Mätningar på andra platser samt beräkningar visar att avståndet bör överskrida ca 10 meter till busstråk och gator med omfattande tung trafik och att det är av stor vikt att vägbanan är jämn och inte innehåller diskontinuiteter som fartgupp och liknande. Bussar ger erfarenhetsmässigt något högre vibrationshastigheter till omgivningen än spårvagnar.

Vid utskiftning av lera till stort djup med friktionsjord/fyllning eller då det finns underjordiska konstruktioner som förstyrkar reduceras vibrationshastigheter till omgivningen och riktvärde klaras även på kortare avstånd.

7.2 Beräknade markvibrationer vägtrafik

I beräkningar har vi placerat förhöjning skada i vägbanan på kortaste avstånd från gata till byggnad för att visa konsekvensen av farthinder/ojämnhet inom byggnad (vägbanejämnhet 25 mm).

Vägyta som bara trafikeras av bussar har ansatts vara slät utan några sneda brunnar eller andra ojämnheter. Vägbanejämnhet är ansatt till max 5 millimeter.

Området har generellt ett övre lager med fyllning som är fördelaktigt men under detta finns tjocka lösa leror som är negativt. Gupp och skador i spår och vägbanan kan få stor konsekvens på vibrationerna till omgivningen.

Resultatet förutsätter att byggnader är utformade på ett sådant sätt att de inte har konstruktioner som har stora förstärkningar från mark till byggnad. Vi har valt att ansätta en förstärkningsfaktor på 1,8 mellan mark och byggnad. Förstärkningsfaktorn kan i speciella fall bli upp emot $Q=10$ i enskilda frekvenser om markvibrationsens störningsfrekvens sammanfaller med bjälklagens egenfrekvenser. Vi har dock sneplat på senare tids forskning utförd av Trafikverket som redovisar att förstärkningsfaktorn på det komfortvägda värdet brukar vara kring 1.

Spårvagnsbana på mark och busstråk/tunga fordon inom området bör vara utformade med grundläggning motsvarande minst 2-3 meter fyllning/bank (friktionsmaterial) och släta spår- eller vägytor. Avstånd som då beräkningsmässigt krävs är cirka 10 meter till byggnad för att inte riskera att riktvärde, 0,4 mm/s, överskrids inom bostäder med mindre ojämnheter. Detta förutsätter att byggnaden är utformad så den inte förstärker vibrationshastigheter i mark med mer än faktorn $Q=2$ vilket innebär att byggnader och bjälklag inte har egenfrekvenser vid dominerande störningsfrekvenser i mark. Inför projektering byggnad bör mätning av förekommande vibrationer i mark utföras.

7.3 Stomljud trafik

7.3.1 Järnvägstunnel - Västlänken

Beräknad stomljuds nivå är i storleksordningen 34-44 dBA. Detta är mycket osäkra värden eftersom använd beräkningsmodell inte är anpassad för att beräkna spridning från en så speciell konstruktion som en underjordisk järnvägsstation med dels direkta anslutningar mot byggnaden dels med fyllningsmaterial mellan tunnel och byggnad. Avståndet är dock så kort så att vi bedömer att stomljuds nivåer som överskrider riktvärde inom bostäder kommer att uppstå om inga stomljuds isolerande åtgärder utförs.

I "Underlag till järnvägsplaner Olskroken planskildhet och Västlänken Göteborgs Stad och Mölndals stad, Västra Götalands län Underlagsrapport Ljud, stomljud och vibrationer TRV 2013/92338 2014-09-01" indikeras att sträckan kan komma att utföras med "måttlig åtgärdsnivå" som skulle kunna innebära ett system motsvarande "embedded block" som är en stomljuds isolerande åtgärd (fig 11.3). Då vi inte har kunnat avgöra om denna åtgärd kommer utföras så har vi inte tagit med den i våra beräkningar.

7.3.2 Spårvagnsramper

Det är för avsikt att pelare till spårvagnsramper inte ska ha anslutning till byggnadsstomme. Mätningar i pelare Göta Älvsbron indikerar att en oavsiktlig sammanjutning av framtida spårvagnsramp med byggnaden skulle ge höga stomljuds nivåer i byggnader. Då överskrids beräkningsmässigt föreslaget riktvärde, 32 dBA. Uppmätt vibrationshastighet är idag i pelare som högst $v_{RMS} = 0,12$ mm/s vid cirka 80-100 Hz.

Mycket förenklat kan vibrationshastigheten då relateras till ljudtrycksnivå i ett rum på följande sätt för att visa konsekvensen av att avskiljning från byggnadsstomme inte fungerar.

$$L_v = 20 * \log\left(\frac{v_{rms}}{v_{ref}}\right)$$

L_v – vibrationsnivå [dB ref 10^{-9} m/s]

v_{rms} – vibrationshastighet, effektivvärde [m/s]

$L_p = L_v - 27$ dB [Kurzweil och senare Thompson] $L_p = L_v - 28$ dB [UMTA] $L_p = L_v - 33$ dB [TCRP] $L_p = L_v - 16$ till 22 dB [Vogiatzis]

Figur 22 Tumregler för att relatera vibrationsnivå till ljudtrycksnivå enligt olika forskningsinstitut. A-vägning vid 100 Hz är därutöver 19 dB.

Ljudtrycksnivån blir då i storleksordningen 50 dBA. Vid denna beräkning har vi inte tagit hänsyn till förluster från pelare via byggnad fram till utstrålande vägg och tak och planerat "skyddsavstånd" till byggnader.

Framtida brokonstruktion är försett med ett infästningssystem för rälererna med en beräknad insättningsdämpning på cirka 20 dB vid 80-125 Hz vilket minskar vibrationshastigheterna i framtida spårvagnsramp och därmed risk för stomljud till byggnader. Även med denna planerade stomljuds isolering rekommenderas att ramper och deras grundläggningar inte byggs samman med byggnader.

7.3.3 Götaleden

Enligt utredning utförd av COWI inför byggande av bostäder över Götatunneln i Göteborg finns det risk för hörbart ljud fast vid en lägre än planbestämmelsen vid en betongtunnel med bostäder på överdäckning. De anger dock att det vid resonans i byggnadsdel kan Folkhälsomyndighetens råd rörande lågfrekvent buller tangeras. De byggnader som planeras är en integrerad del av överbyggnaden och därmed närmare än aktuella byggnader.

Vi har kontrollerat med Trafikverkets nationella specialister om det finns en risk för störande ljud och vibrationer till kontor och bostäder och deras erfarenhet var att risken för detta är låg. De har inte kännedom om någon betongtunnel där det förekommer klagomål på störningar från tunnel med avseende på rulljud på vägbanan.

I liknande projekt i Stockholm (Överdäckning E4) har mer utförliga mätningar av vibrationer mellan 20–500 Hz utförts. Vibrationer i grundläggningspunkter har räknats om till förväntad stomljudsnivå i byggnaden Slutsatsen av denna utredning är att det inte finns risk för stomljud inom liknande projekt.

Byggnader inom aktuell detaljplan är inte i Götaledens direkta närhet eller sammanbyggd med dess konstruktioner. Risken för stomljud och vibrationer från Götaleden är låg. Bullerkällan får även ses som en källa med ett dominerande bidrag som luftburet buller till projektet.

7.3.4 Evakueringfläktar, pumpar, ventilationsutrymmen och teknisk utrustning i Västlänken och Götatunneln

Intervju – Trafikverkets erfarenhet är att de inte känner till något sentida tunnelprojekt där det förekommer stomljud i lokaler/bostäder över tunnel. Ref. Lars Dahlbom.

Det finns tydliga tekniska föreskrifter på Trafikverket som anger högsta tillåtna stomljudsnivå till omgivningen från installationer i tunnel.

Vi förutsätter att Trafikverket utformar teknisk utrustning i maskinrum och tunnel inom detaljplanen på sådant sätt att stomljud inte sprids vidare till byggnadskonstruktioner.

8 Åtgärder

Följande risker finns att stomljud eller vibrationer överskrider föreslaget riktvärde i byggnader:

- Det är viss risk för vibrationer från vägtrafik på gator (tung trafik)
- Det finns viss/låg risk för vibrationer från Västlänken
- Det är hög risk för stomljud från järnvägstrafik i Västlänken.
- Det är viss risk för stomljud från spårvagnstrafik på ramper vid otillräcklig avskiljning

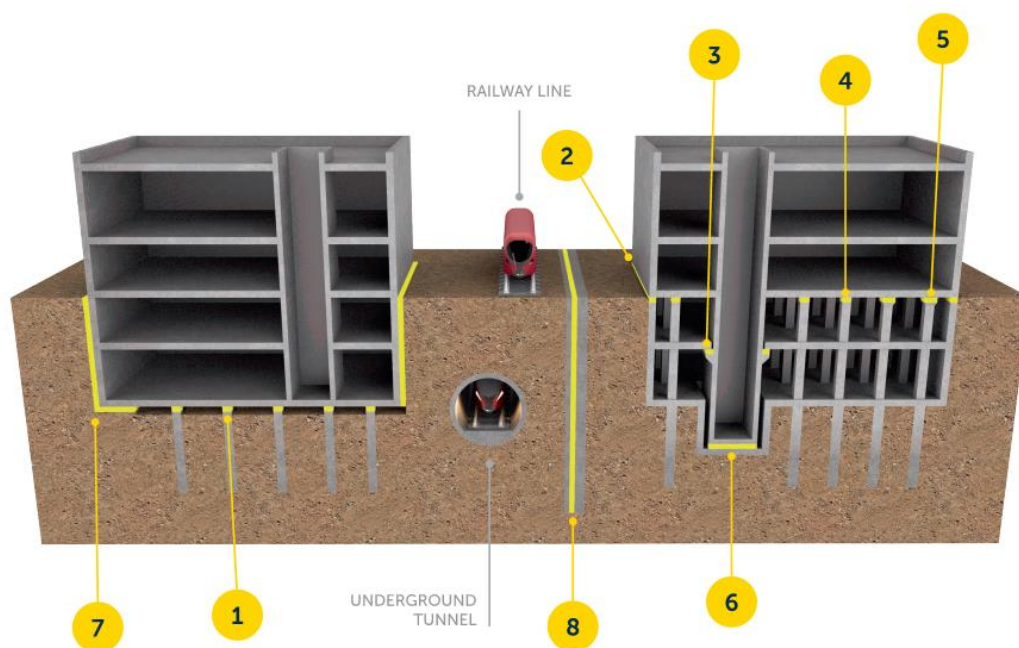
Det är låg risk för stomljud från installationer för Götatunneln och Västlänken om maskinell utrustning förses med normal stomljudsisolering

De åtgärder som redovisas är exempel på åtgärder som kan användas. Mätningar och beräkningar krävs i projekteringskedje av byggnader för att fastställa behov och åtgärdstyp.

En övergripande åtgärd är att byggnader ska utformas så att ingående byggdelar inte har egenfrekvenser som sammanfaller med utifrån kommande störningar. Olika stomtyper har olika typiska frekvensområden. Betongstommar har vanligtvis egenfrekvenser som ligger något högre än trähus. Långa bjälklag har lägre frekvenser än korta. Det pågår forskning för att t.ex. trähus ska anpassas bättre för etablering i områden med höga markvibrationer.

Åtgärder behövs sannolikt för att säkerställa att stömljud inte uppkommer i byggnad i anslutning till Västlänken. Det mest effektiva hade varit att integrera den stömljudsisolerande åtgärden i spårsystemet men det är också möjligt att införa isolerande system i byggnadernas grundläggning. Trafikverket kan inte göra större åtgärder i tunnel enligt samråd " *Det finns inte möjlighet att göra större förändringar i projekteringen av Västlänken för att säkra detta så det måste göras i projekteringen av byggnaderna*". Vad detta innebär är inte utrett. Det finns indikationer att system innehåller stömljudsisolering av typ "Booted block" på sträckan förbi detaljplanen ("måttlig åtgärd") eller likvärdigt.

Om så behövs kan mellanlägg kring byggnaden utföras med elastiska och dämpande mattor som elastomerer av olika fabrikat eller stenullsmattor. Vid mycket höga krav kan byggnaden ställas på stålfjädrar med mycket låg egenfrekvens (vibrationsåtgärd vid kännbara vibrationer).



Figur 23 Olika placeringar av en byggnads vibrations-/stömljudsisolering. Källa CDM Nederländerna

Åtgärder för att undvika vibrationer från tung trafik och bussar på gator på lerjordar uppnås främst genom att hålla avstånd till byggnader med bostäder samt att säkerställa att diskontinuiteter i farbanor blir minimal. Viss hänsyn behöver tas vid utformning av byggnader för att egenfrekvenser i byggdelar inte ska sammanfalla med störningsfrekvens i mark. Utskiftning av lösa leror till fyllning/friktionsmaterial till relativt stort djup reducerar vibrationer till omgivningen.

Åtgärder för att säkerställa att spårvagnstrafik på ramper inte för in stomljud i byggnader är att se till att strukturen inte är styvt sammankopplad med byggnadsstomme eller dess grundläggning. Om så behövs kan mellanlägg utföras med elastiskt och dämpande material som elastomerer av olika fabrikat eller stenullsmattor. Planerat infästningssystem av räler kommer att ha viss insättningsdämpning för stomljud vilket är fördelaktigt för omkringliggande byggnader.