

# InterCity Dovrebanen

## KU Fagrapport Strukturstøy og vibrasjoner

Mai 2016



## Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>INNLEDNING .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>GENERELT OM STØY, STRUKTURSTØY OG VIBRASJONER.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>GRENSEVERDIER.....</b>	<b>4</b>
3.1	STRUKTURSTØY .....	4
3.2	VIBRASJONER.....	4
<b>4</b>	<b>BEREGNEDE VERDIER .....</b>	<b>6</b>
4.1	STRUKTURSTØY .....	6
4.2	VIBRASJONER.....	7
<b>5</b>	<b>TILTAK FOR REDUKSJON AV STRUKTURSTØY .....</b>	<b>10</b>
5.1	MULIGE TILTAK .....	10
5.2	ANBEFALTE TILTAK .....	12
<b>6</b>	<b>TILTAK FOR REDUKSJON AV VIBRASJONER.....</b>	<b>14</b>
6.1	MULIGE TILTAK .....	14
6.2	ANBEFALTE TILTAK .....	15
<b>7</b>	<b>KONSEKVENSVURDERING.....</b>	<b>16</b>
7.1	BESKRIVELSE AV KONSEKVENSER VEDRØRENDE STRUKTURSTØY OG VIBRASJONER .....	16
7.2	RANGERING AV ALTERNATIVENE.....	16
<b>8</b>	<b>VIBRASJONER OG STRUKTURSTØY I ANLEGGSPHASEN.....</b>	<b>18</b>
8.1	VIBRASJONER.....	18
8.2	STRUKTURSTØY .....	18
<b>9</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>21</b>

# 1 Innledning

Brekke & Strand akustikk as har i forbindelse med IC SHL fra Sørli til Brumunddal gjennomført kartlegging av strukturstøy og vibrasjoner. Kartleggingen omfatter beregning av strukturstøynivå i boliger over tunnelene og vibrasjoner på dagstrekningene.

Rapporten er utarbeidet på grunnlag av våre erfaringer med baner i Osloområdet, der det i hovedsak har vært skifrige bergarter og leire. I området Sørli – Brumundal er mye morenemasser. Vi vil foreta vibrasjonsmålinger fra eksisterende bane i området for å få mer nøyaktige data til beregninger og dermed sikrere resultater og anbefalinger.



## 2 Generelt om støy, strukturstøy og vibrasjoner

Når man står ute og togene passerer forbi, hører man støy. Denne støyen kalles luftoverført støy eller luftlyd, fordi den overføres i lufta.

Når togene passerer, vil det også overføres vibrasjoner fra hjulene ned i skinnene, og videre via sviller og ballast til bakken. I bakken vil vibrasjonene forplantes bort til der man står, og kroppen kan føle vibrasjoner eller rystelser. Hvis man står inne i en bygning inntil banen, kan vibrasjonene på gulvet være kraftigere enn på bakken utenfor.

Det er vibrasjonene med lave frekvenser man føler som rystelser. Det vil også overføres vibrasjoner med høyere frekvenser, og disse vil avstråle støy. Denne støyen kalles strukturlyd. Når togene passerer i tunneler vil det overføres vibrasjoner opp til overflaten, som avstråler strukturstøy. Denne vil på grunn av annen støy normalt ikke være hørbar utendørs. Hvis det imidlertid kommer bygninger over tunnelen, vil strukturstøyen forsterkes inne i rommene i forhold til utendørs, og vil i noen tilfeller være godt hørbart og gi sjenanse.

## 3 Grenseverdier

### 3.1 Strukturstøy

Strukturstøy fra tunneler er av en annen art enn støy som kommer gjennom vinduene. Publikum tolererer mindre støy fra en tunnel som går under huset og som de ikke ser, enn fra et tog som går forbi foran vinduet. Derfor er det strengere grenser for strukturlyd fra tunneler enn fra luftoverført støy gjennom fasader.

I veiledningen til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven vises det til NS 8175 "Lydforhold i bygninger. Lydklassifisering av ulike bygningstyper" for grenseverdier for bl.a. strukturstøy. I standarden er det gitt grenseverdier i klasser, A, B, C, og D, der A er best lydforhold, og D er dårligst. Det angis at klasse C oppfyller minimumskravene i byggeforskriften. Grenseverdien for strukturstøy fra trafikk i kulvert og tunnel er  $L_{p,AF,maks} = 32$  dB i klasse C. Kravet gjelder kun for kulverter og tunneler.

For dagstrekninger finnes det ikke offisielle støygrenser som omhandler strukturstøy spesielt. Det er den samlede støyen (luftlyd og strukturstøy) som skal holdes innenfor grenseverdien for maksimalt lydnivå i oppholdsrom og soverom nattetid,  $L_{p,AF,maks} = 45$  dB i klasse C. I rom som vender mot banen er ofte luftlyd som går gjennom fasaden klart dominerende over strukturstøyen. I rom som vender vekk fra banen, i kjellerrom, eller i boliger bak støyskjerm kan derimot strukturstøyen være den dominerende støykilden. Når strukturstøy opptrer alene eller er den dominerende støykilden er det naturlig å stille strengere krav, da toleransegrensen er lavere for støy fra en kilde som ikke kan sees.

På dagstrekninger settes grenseverdien for luftlyd og strukturstøy samlet til  $L_{p,AF,maks} = 45$  dB i oppholdsrom og soverom på natt. For boliger der strukturstøy er klart dominerende over luftlyd, legges  $L_{p,AF,maks} = 37$  dB til grunn som en målsetning.

Vi anbefaler at følgende grenseverdier legges til grunn for strukturstøy i prosjektet:

Tunnel og kulvert: Grenseverdi i NS 8175:  $L_{p,AF,maks} = 32$  dB

Dagstrekninger: Målsetting  $L_{p,AF,maks} = 37$  dB

### 3.2 Vibrasjoner

I veiledningen til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven fastlegges det at bygninger med sove- og oppholdsrom må beskyttes mot vibrasjoner som kan føre til vesentlig plage for brukerne. Videre står det at "grenseverdiene for vibrasjoner må bestemmes ut fra brukenes følbarehet for vibrasjoner og hensyn til konstruksjonssikkerhet." Veiledningen viser til Norsk Standard NS 8176 "Vibrasjoner og støt – Måling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker" for kriterier for bedømmelse av helkroppsvibrasjoner og for veiledende grenseverdier.

NS 8176 inneholder veiledende grenseverdier for vibrasjoner i ulike klasser. Klasse C tilsvarer grenseverdi for vibrasjoner i nye boliger og i forbindelse med planlegging og bygging av nye samferdselsanlegg. For klasse C er grenseverdien;  $v_{W,95} = 0,3$  mm/s.  $v_{W,95}$  er en statistisk verdi for mange togpasseringer og innebærer at det er 5 % sannsynlighet for at en tilfeldig valgt passering gir høyere vibrasjonsnivå enn  $v_{W,95}$ . Grenseverdier for vibrasjoner i boliger er gitt i NS

8176. Det er gitt grenser i klasse A, B, C og D på tilsvarende måte som i NS 8176, og klasse C oppfyller minimumskravene i byggeforskriften.

NS 8176 spesifiserer målemetoden for vibrasjoner. Vibrasjonene måles med et veiefilter, slik at målt verdi tilsvarer hvordan kroppen oppfatter vibrasjoner, verdien kalles  $v_w$ . Det måles vibrasjoner fra et antall togpasseringer og maksimalverdien ved hver passering registreres. På grunnlag av disse maksimalverdiene beregnes det som kalles statistisk maksimalverdi. Denne kalles  $v_{w,95}$ . Det er 5% sannsynlighet for at en tilfeldig valgt togpassering skal overskride  $v_{w,95}$ . NS 8176 angir grense i klasse C som  $v_{w,95} = 0.3$  mm/s.

Det er relativt store usikkerheter i beregninger av vibrasjoner fra bane. Den største usikkerheten er vibrasjonsoverføring fra bakke til bygning. I noen tilfeller er det lavere vibrasjoner i bygning enn på bakken, men det kan også være vesentlig høyere vibrasjoner i bygning enn på bakken. Dette kan ikke forutsies på forhånd med særlig sikkerhet. Hvis vibrasjonsgrensen settes til kun  $v_{w,95} = 0.3$  mm/s må det i noen tilfeller legges inn betydelige tiltak for å ta vare på usikkerheter. Av den grunn er vibrasjonsgrensen i mange baneprosjekter satt til  $v_{w,95} = 0.3-0,6$  mm/s i reguleringsbestemmelser, og «den laveste grenseverdien skal legges til grunn som en målsetning»

For dette og andre jernbaneprosjekter anbefaler vi at følgende grenseverdi legges til grunn for vibrasjoner:

Grenseverdien for vibrasjoner settes til  $v_{w,95} = 0,3-0,6$  mm/s. Den laveste av de parvise grenseverdiene legges til grunn som en målsetning.

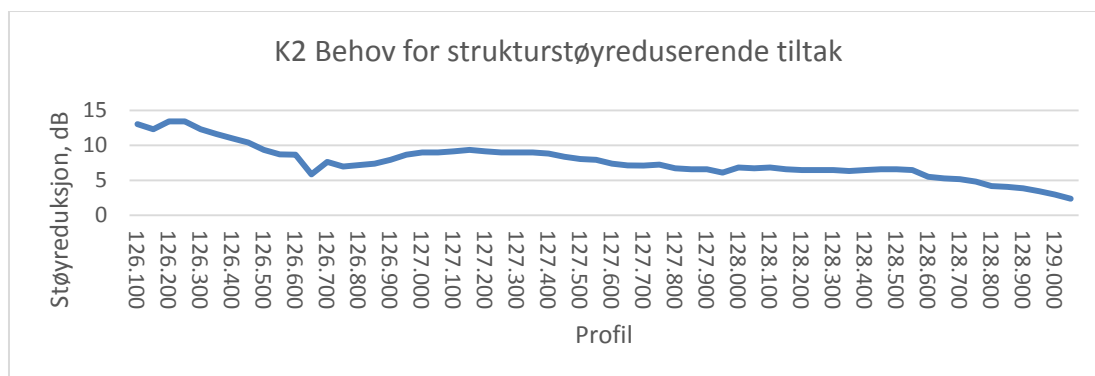
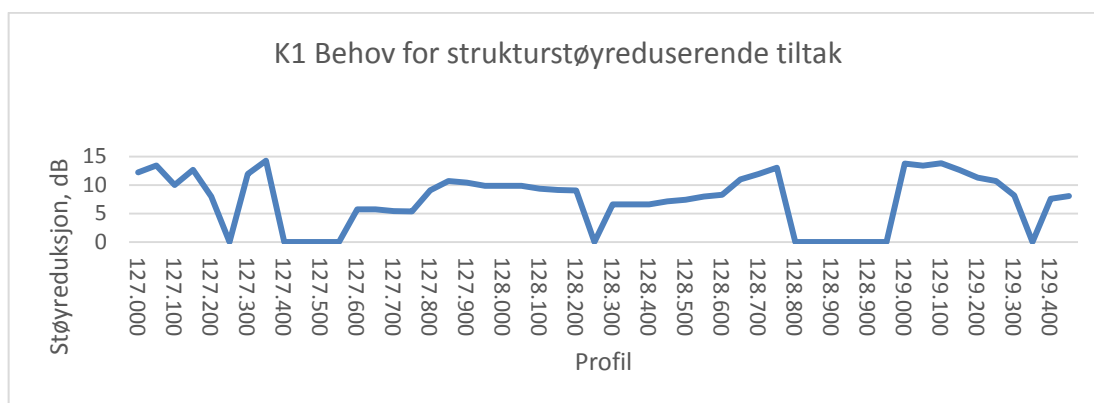
Dette er den samme formuleringen som er lagt til grunn for Dobbeltsporet Lysaker – Asker fra Bærum kommune.

## 4 Beregnede verdier

### 4.1 Strukturstøy

I denne rapporten er det beregnet og vurdert strukturstøy fra fjelltunnelene i Hamar. Det er ikke offentlige grenseverdier for strukturstøy på dagstrekninger. Dette vil bli vurdert i senere faser av prosjektet.

Vi har beregnet strukturstøynivåer med vår empirisk beregningsmodell på grunnlag av målinger av strukturstøy fra fjelltunneler i Osloområdet. Strukturstøynivåene avtar med avstanden mellom spor og bygning. Noe av dette skyldes geometrisk demping, på samme måte som at støy fra jernbane utendørs avtar med økt avstand fra banen. I tillegg vil vibrasjonene i fjellet reduseres på grunn av svingetap, dette skyldes først og fremst oppsprekking i fjellet. Fjellet i Osloområdet er i hovedsak sedimentære kalk- og leirskifere, som er forholdsvis mye oppsprukket. Tunnelene i Hamar går også i sedimentære bergarter med kalkstein og skifer. Vi regner at dette vil gi omtrent de samme strukturstøynivåene, og har ikke lagt inn korreksjon for fjelltype. I fig 1 er vist beregnet behov for strukturstøyreduserende tiltak i tunnelene. Dette er differansen mellom beregnet strukturstøynivå og grenseverdien på  $L_{p,AF,maks} = 32$  dB.



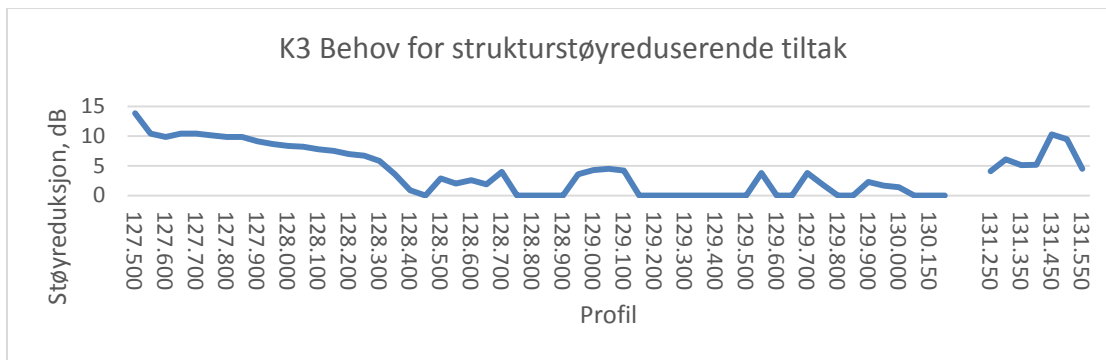


Fig 1. Beregnet behov for strukturstøyreduserende tiltak for tunnelene Korridor 1 alternativ 2b, Korridor 2 alternativ 1A og Korridor 3. Det er ulike målestokk på horisontalaksene.

Våre beregninger er for standard ballastspor og vanlig utsprenning. Tunnel K3 er meget lang, og det vurderes derfor å bruke tunnelboremaskin, TBM. I borede tunneler er det kun skinneinnfestingen som gir elastisitet mellom skinne og fjell på strekninger der det ikke gjøres tiltak mot strukturstøy. I utsprenge tunneler er det elastisitet i skinneinnfesting, ballast, og i massene under formasjonsplanet. Generelt vil derfor sannsynligvis strukturstøynivåene være lavere fra utsprenge tunneler enn borede tunneler.

## 4.2 Vibrasjoner

Vibrasjoner fra jernbane forplanter seg inn i bygninger når både bane og bygning ligger på løsmasser, og vibrasjonene er høyere jo mykere løsmassene er. Hvis banen går på fjell og/eller bygningen står på fjell vil det ikke overføres vibrasjoner av betydning, kun strukturstøy.

Vi har beregnet vibrasjoner i boliger langs banen med vår semiempiriske beregningsmetode. Vi har ikke kontrollerte relevante data som inngår i beregningsmetoden for de aktuelle grunnforholdene. Det samme gjelder hastighetskorreksjonen. Erfaringen fra Gardermobanen der det er grunnforhold med leire var at godstog i 80 km/t ga omtrent like vibrasjonsnivåer som flytog i 200 km/t.

I beregningene har vi lagt inn forventede parametre for grunnforhold med morene. I senere fase vil det bli foretatt vibrasjonsmålinger for mer nøyaktig bestemmelse av parametrene. I beregningene gir høyhastighetstog i 250 km/t høyere vibrasjonsnivåer enn godstog i 100 km/t, men marginalt lavere ved 200 km/t.

På grunnlag av det vi har av data har vi beregnet vibrasjoner på bakken fra høyhastighetstog i 250 km/t ved ulike grunnforhold og avstander som vist i fig 2. Dette er verdier som bli justert etter at det er foretatt vibrasjonsmålinger.



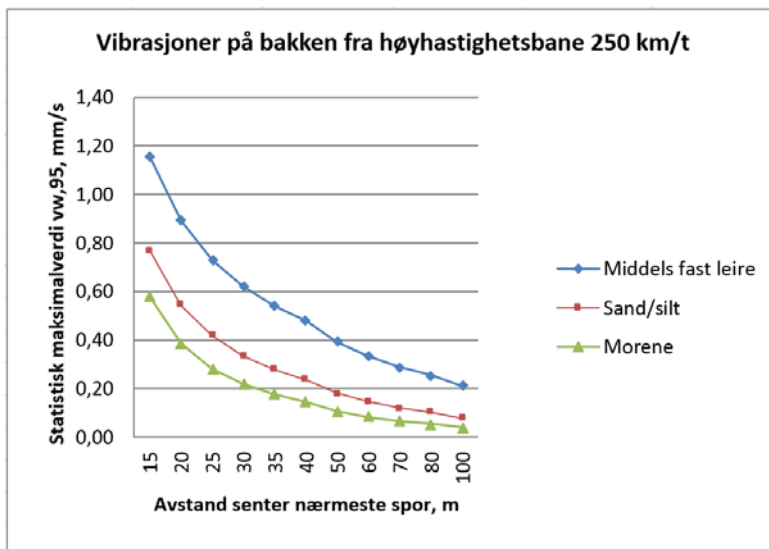


Fig 2. Foreløpig beregnede vibrasjoner fra høyhastighetsbane med tog i 250 km/t.

Figur 2 viser vibrasjoner målt på bakken. Vibrasjoner i bygning er vibrasjoner på bakken multiplisert med en forsterkningsfaktor,  $f_B$ . Denne vil variere sterkt fra bygning til bygning. Faktoren slår betydelig ut på beregninger av vibrasjoner i bygninger. Fastsettelse av forsterkningsfaktoren må gjøres med tanke på risiko for stor forsterkning i enkelthus. Faktoren vil være lavere for høyfrekvente enn for lavfrekvente vibrasjoner ettersom de viktige resonansfrekvensene i bygninger ligger rundt 10 – 20 Hz. I vurderingene i denne rapporten har vi brukt  $f_B = 2$ , som kan innebære noe sikkerhet.

I tabell 2 er vist antall bolighus som etter våre foreløpige beregninger får overskridelse av grenseverdien for vibrasjoner på  $v_{w,95} = 0,3$  mm/s. I beregningene er det forutsatt at sporene går på løsmasser bortsett fra steder der man allerede nå vet at banen vil gå på fjell. Antall boliger i tabellen kan bli redusert når vi får bedre kjennskap til grunnforholdene. Beregningene vil også bli sikrere når vi til våren får målt vibrasjoner i området for sikrere bestemmelse av parameterne som inngår.

Tabell 2. Strekninger før og etter Hamar. Boliger som får overskridelse av grenseverdien på  $v_{w,95} = 0,3$  mm/s uten tiltak

Strekning	Profil	Antall bolighus som får beregnet overskridelse	Kommentarer
Sørli - Stange	110.600 – 113.350	5	
Stange	113.350 – 115.500	30	Størst overskridelser 115.050 - 115.450
Stange – Hamar. Alt 1A	115.500 – 124.000	6	Alt 2A får totalt antall: 7
Hamar – Brumundal.	130.900 – 137.700	0	
Brumundal	137.700 – 140.300	33	Størst overskridelser 138.850 - 139.950.
Sum		74	

I Stange er det tidligere foretatt omfattende grunnboringer langs eksisterende bane. Det er faste grunnforhold med morene i relativt små dybder. Noen steder er det så små dybder med løsmasser at sporene kommer ned på fjell. De høyeste vibrasjonsnivåene er ved profil 115.000 – 115.500, der bolighus ligger i avstand 15 – 20 meter fra banen. Nylige grunnboringer i området

viste ca 7 meter til fjell. Sporene skal her senkes noe, det er mulig det kan gi reduksjon av vibrasjonene.

I Brumundal ligger noen boliger rundt 20 meter fra nærmeste spor og vil få relativt store overskridelser. I tabellen er disse med i antallet.

I Hamar går korridor 1 alternativ 1B i dagen gjennom boligområdene, og et stort antall boliger ville fått overskridelser av grenseverdien. For de andre alternativene og korridorene er det fjelltunneler under det meste av boligområdene, og det er kun på strekningene før fjelltunnelene det kan oppstå vibrasjoner i boliger. I tunnelene må det gjøres tiltak mot strukturstøy, det vil bevirke at vibrasjoner ikke kan kjønes i boligene. I tabell 3 er vist antall boliger som etter våre foreløpige beregninger får overskridelse av grenseverdien for vibrasjoner.

**Tabell 3. Korridorer i Hamar. Boliger som får overskridelse av grenseverdien på  $v_{w,95} = 0,3$  mm/s uten tiltak**

Strekning		Profil	Antall bolighus som får beregnet overskridelse	Kommentarer
Korridor 1	Alt. 2b	126.500 – 127.000	0	
	Alt. 3b	126.500 – 127.000	0	
Korridor 2	Alt.1a og 2	125.250 – 126.100	0	Bane på fjell for begge alternativer
Korridor 3	Alt.3	125.850 – 126.100	6	Noen av disse kan bli innløst

## 5 Tiltak for reduksjon av strukturstøy

### 5.1 Mulige tiltak

#### Generelt

Reduksjon av strukturstøy gjøres i hovedsak i sporet ved at det legges inn elastiske elementer som gir vibrasjonsisolering. For høyhastighetsbaner er det en utfordring å få tilstrekkelig støyreduksjon fordi de høye hastighetene stiller strenge krav til stivt spor. Figur 2 gir en oversikt over mulige tiltak.

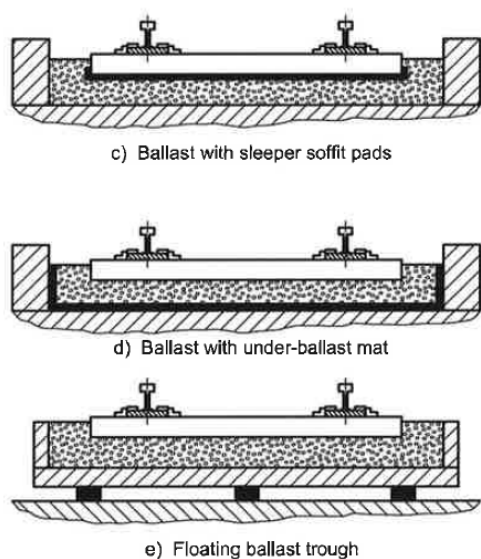


Fig 2. Tiltak for reduksjon av strukturstøy fra ballastspor. Fra ISO 14387-1.

Tiltakene er kommentert i det etterfølgende.

#### Svillematter

Svillematter støpes fast under svillene på svillematerfabrikk. Typisk tykkelse er 25 – 30 mm. Tiltaket har vært benyttet en del på T-banenettet i Oslo. Vi kjenner imidlertid ikke til at svillematter har vært benyttet for reduksjon av strukturstøy på jernbanespor i Norge. De senere årene har stive svillematter vært benyttet for reduksjon av ballastknusing i noen europeiske land. Disse mattene er imidlertid for stive til å kunne gi reduksjon av strukturstøy av betydning. Vi har regnet med at man kan oppnå rundt 10 dB støyreduksjon med svillematter på T-bane, men med sannsynlige stivhetskrav basert på Jernbaneverkets regelverk, vil man få vesentlig lavere støyreduksjon. Vi regner ikke med at tiltaket kan være aktuelt i prosjektet Sørli – Lillehammer.

#### Ballastmatter

Dette er det mest vanlige tiltaket for reduksjon av strukturstøy fra jernbane og T-bane i Norge. Tiltaket er at elastiske matter, kalt ballastmatter, legges ut på formasjonsplanet. De kan i prinsippet også legges i underbygningen. Typisk tykkelse er 30 – 90 mm. Tiltaket er benyttet i stort omfang i tunnelene på dobbeltsporet Skøyen – Asker. Støydempingen man oppnår avhenger av ballastmattenes stivhet. I Jernbaneverkets tekniske regelverk står det krav til stivhet

av ballastmatter som vist i fig 2.

Aksellast (kN)	Hastighet (km/h)	C <sub>STAT</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
≤ 160	v ≤ 120	≥ 0,02
	v ≤ 120	≥ 0,03
160 - 250	120 < v ≤ 200	≥ 0,03
	v ≥ 200	≥ 0,10

Fig 3. Krav til stivhet for ballastmatter i teknisk regelverk. 25/8-2015.

På dobbeltsporet Skøyen – Asker ville man ikke klare kravet til strukturstøy i boliger over tunnelene mange steder hvis ballastmattene skulle være så stive som regelverket krevet. Det ble derfor gitt dispensasjon for å bruke mykere matter. Dette etter at det var gjennomført en undersøkelse med målinger av deformasjoner i spor med myke ballastmatter og teoretiske studier. Hastigheten i tunnelene er 160 km/t

I beregningene av strukturstøy i denne rapporten har vi brukt stivhetsdata som er i overenstemmelse med regelverket. Vi regner at ballastmattene vil gi ca 10 – 12 dB støyreduksjon for hastigheter opp til 200 km/t. Det er et sprang i krav stivhet når hastigheten overskrider 200 km/t. Teoretisk får man derfor ikke mer enn rundt 3 - 5 dB støyreduksjon med ballastmatter i de delene av tunnelene der hastigheten er 250 km/t.

#### Ekstra dypsprengning

Dette tiltaket er ikke med i figur 2. På dobbeltsporet Skøyen – Asker ga ikke ballastmatter tilstrekkelig reduksjon av strukturstøy ved et par tunnelmunninger, selv om man brukte stivheter som var lavere enn krav i regelverket. Det ble da benyttet et tiltak med ekstra utsprengning ved at det ble sprengt 2 meter dypere. I utgangspunktet var tanken at massene kunne avrettes etter sprengning, men kvaliteten på de skifrige massene ble ansett å bli for dårlig. Massene ble derfor fjernet og erstattet av sprengstein.

På grunnlag av fullskalatester i sporet og strukturstøymålinger i en bolig ved tunnelmunningen i Asker, ble det konkludert at tiltaket ville gi 4 dB støyreduksjon.

#### Flytende ballasttrau

Tiltaket har ikke vært benyttet i Norge. I figur 2 er vist en løsning med ballasttrau på isolatorer. Det finnes ulike grader av tiltaket. Høyest støyreduksjon kan oppnås med elastiske punktopplagringer som vist i figuren. Best resultat oppnås da med stålfjærer, men også isolatorer av elastomerer kan gi godt resultat. Dette er løsninger vi har sett har vært benyttet der sporene går på betongplater i lokkprosjekter og lignende. I en utsprengt tunnel vil imidlertid dette bli omfattende og kostbare løsninger fordi isolatorene må festes i betongbjelker eller betongplater som må støpes ut. En enklere løsning er å støpe ballasttrauet på elastiske matter som legges ut på formasjonsplanet.

## 5.2 Anbefalte tiltak

Figur 1 gir en oversikt over strekninger der det er behov for strukturstøyreduserende tiltak. Behov for tiltak i antall meter lengde av tunnelene er oppsummert i tabell 4.

**Tabell 4. Antall meter av tunnelen der det er behov for tiltak i sporet med hhv 10-15 og 5-9 dB dempingsbehov**

Alternativ	Dempingsbehov 10 – 15 dB	Dempingsbehov 5 – 9 dB	Totalt
Korridor 1	1700	150	1850
Korridor 2	2550	400	2950
Korridor 3	900	1050	1950

Som nevnt er dimensjonerende hastighet avgjørende for valg av tiltak. Det er ballastmatter som først og fremst er aktuelt tiltak. I tabell 5 er stilt opp nødvendige tiltak ved ulike dempingsbehov og hastigheter.

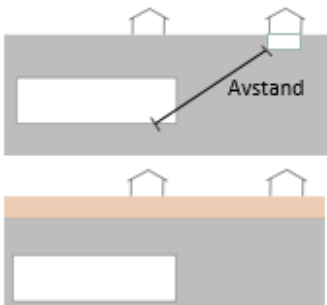
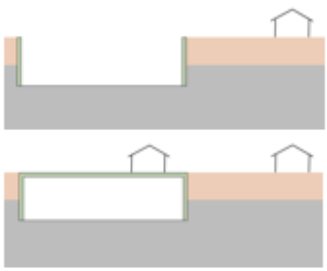
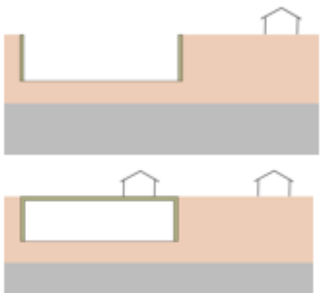
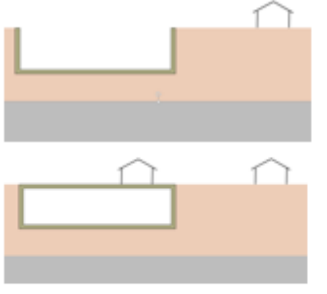
**Tabell 5. Tiltak ved ulike dempingsbehov og toghastigheter**

Dimensjonerende hastighet	Dempingsbehov 10 – 15 dB	Dempingsbehov 5 – 9 dB
< 200 km/t	Ballastmatter og dypsprengning	Ballastmatter
200 - 250 km/t	Elastisk opplagret ballasttrau	Ballastmatter og dypsprengning

På strekninger i tunnelene med dimensjonerende hastigheter over 200 km/t vil man ikke kunne klare støyreduksjon større enn 8 - 9 dB uten spesielle tiltak. I tabellen er angitt en ballasttrau på isolatorer eller elastiske matter. Det må utredes hvorvidt man vil klare så høy støyreduksjon med de strenge nedbøyningskrav til sporet som er ved hastigheter på 250 km/t.

Når det gjelder tiltak mot strukturstøy på bysiden av tunnelene gir tabell 5 en oversikt. Det angis hvor nært tunnel/kulvert man kan bygge boliger, og i hvilke situasjoner det kan bygges boliger eller næringsbygg på lokket.

Tabell 6. Situasjoner med kulvert og fjelltunnel i Hamar. Nødvendige minimumsavstander til bygninger.

Situasjon	Tiltak i sporet	Tiltak på bygning	Avstand nærmest spor til nærmeste fundament, m
<p><b>Fjelltunnel</b></p> 	<p>Ballastmatter</p> <p>Ballastmatter</p>	<p>Ingen tiltak</p> <p>Elastomerlagre</p>	<p>Hus på fjell: 20</p> <p>Hus på 3 m <u>løsmasser</u>: 15</p> <p>Hus på 6 m <u>løsmasser</u>: 10</p> <p>Hus på fjell: Ingen minimumsavstand</p>
<p><b>Kulvert på fjell og i løsmasser, drenert grop</b></p> 	<p>Ballastmatter</p> <p>Ballastmatter</p> <p>Ballastmatter</p>	<p>Ingen tiltak</p> <p>Elastomerlagre</p> <p>Elastomerlagre</p>	<p>Hus på fjell: 20</p> <p>Hus på <u>løsmasser</u>: 10-15</p> <p>Hus på fjell: Ingen minimumsavstand</p> <p>Hus på lokket: Minst to etasjer under boliger.</p> <p>Hvis bygningen går utenfor lokket, må hele bygningen på lagre</p>
<p><b>Kulvert i løsmasser, drenert grop</b></p> 	<p>Ballastmatter</p> <p>Ballastmatter</p> <p>Ballasttrau</p>	<p>Ingen tiltak</p> <p>Elastomerlagre</p> <p>Elastomerlagre</p>	<p>Hus på <u>løsmasser</u>: 15 meter</p> <p>Hus på lokket: Minst en etasje under boliger. Kulvertvegger går til fjell.</p> <p>Hus på lokket: Minst en etasje under boliger. Lokk på stålkjernepeler til fjell.</p>
<p><b>Kulvert i løsmasser, vanntett støp</b></p> 	<p>Ballastmatter</p> <p>Ballasttrau</p>	<p>Ingen tiltak</p> <p>Elastomerlagre</p>	<p>Hus på <u>løsmasser</u>: 15 meter. Bunnplate må ligge over grunnvannet.</p> <p>Hus på lokket: Kun næringsbygg. Det er for usikkert på generelt grunnlag å angi at boliger kan bygges på lokket. Det kan <u>evt</u> utredes hvis dette er aktuelt og ønskelig.</p>

## 6 Tiltak for reduksjon av vibrasjoner

### 6.1 Mulige tiltak

#### Generelt

Vibrasjoner som merkes inne i boligene har lavere frekvenser enn vibrasjoner som gir strukturstøy, jfr forklaring i kap 2. Tiltakene for reduksjon av strukturstøy vil ha en eller flere resonansfrekvenser ved lave frekvenser som gir forsterkning av vibrasjonene. Tiltak i sporet mot strukturstøy vil derfor i de fleste tilfeller ikke kunne brukes når banen går på løsmasser fordi vibrasjonene forsterkes. Dette gjelder først og fremst når banen går på myke masser som leire.

Massene på strekningen Sørli – Lillehammer er imidlertid i hovedsak faste og stive slik at vibrasjonene fra banen har høyere frekvenser enn fra bane på leire. Man kunne derfor tenke seg at myke ballastmatter kunne gi reduksjon av vibrasjoner. Banen dimensjoneres imidlertid for 250 km/t som ikke gjør det mulig å bruke myke ballastmatter. Det er derfor lite trolig at ballastmatter kan gi reduksjon av vibrasjoner.

#### KC-peler

Tiltak mot vibrasjoner for bane på leire er i hovedsak basert på det som kalles kalkcementpeler. Det er at det vispes inn kalk og cement i leiren slik at det dannes stive peler. Disse kan enten etableres under sporene eller som stive barrierer i bakken mellom bane og bygning. Hvis det påvises strekninger med leire er kalkcementpeler under sporet et meget effektivt tiltak.

#### Betongbjelker under sporene

Et annet tiltak mot vibrasjoner er å legge avstivende langsgående betongbjelker under sporene. Tiltaket fordeler laster fra boggene over en lengre del av sporet. For myke strekninger er det nødvendig med høye bjelker, størrelsesorden 1,5 meter, for at tiltaket skal fungere. På strekninger med stivere masser vil imidlertid sannsynligvis tiltaket virke med lavere bjelker enn dette, og tykke betongplater kan gi virkning. Vi har sett referanser med gode måleresultater på løsninger med betongplate og ballastmatte.

#### Dype grøfter med mykt materiale

Et tiltak som ofte nevnes og beregnes teoretisk, men som vi har sett få referanser på, er å grave dype grøfter langs sporet som vist i fig 3.

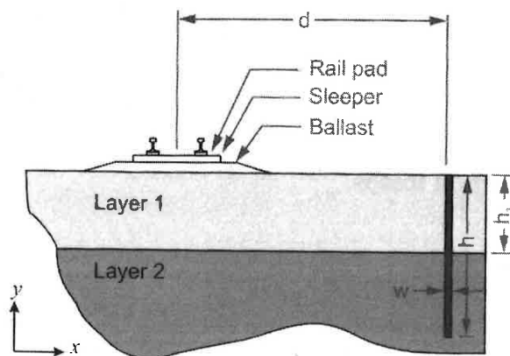


Fig 3. Tiltak med dyp grøft. Fra J.Jiang et al 11th IWRN. Uddevalla 2013.

Tiltaket er særlig effektivt ved lagdelt grunnforhold og det øverste laget er bløtere enn de under.

Det finnes spesielle luftfylte matter som kan senkes ned i grøften. En annen mulighet er å bruke myk ekspandert polystyren, mineralull, eller andre myke materialer.

Teoretiske beregninger i referansen i fig 3 er gjort med 6 meter dyp grøft. Resultatene er meget gode, men det vil trolig bli for omfattende å etablere så dype grøfter. Typisk dybde for grøfter som er testet er ca 3 meter.

Vi kjenner ikke til at tiltaket har vært prøvet i Norge. De fleste steder det har vært gjort tiltak mot vibrasjoner i Norge er det leire, og KC-peler er da det naturlige valg. For en situasjon med fastere grunnforhold har man færre muligheter for tiltak. Grøfter bør da vurderes.

## *6.2 Anbefalte tiltak*

Før det kan vurderes hvilke eventuelle vibrasjonsreducerende tiltak som bør gjøres er det nødvendig å måle vibrasjoner fra eksisterende jernbane i området. Dette blant annet for å få typisk frekvensinnhold i vibrasjonene. Det er også nødvendig med mer kjennskap til hvilke type løsmasser det er på de ulike steder det er behov for tiltak.

Som nevnt har man færre muligheter å spille på når banen går på faste masser som morene. Av tiltakene som er nevnt i kap 6.1 mener vi at de to mest aktuelle tiltakene er:

- Betongplate under sporene med eller uten ballastmatte.
- Dyp grøft langs banen med mykt materiale.



## 7 Konsekvensvurdering

### 7.1 Beskrivelse av konsekvenser vedrørende strukturstøy og vibrasjoner

#### 7.1.1 Sørli – Bekkelaget

Nye linjer følger i stor grad dagens trasé i bebygde områder bortsett fra i nord. Ved Bekkelaget passerer planlagte linjer i tunnel under boliger. Det er liten forskjell mellom alternativ 1a og 2a.

Tiltakets konsekvens er først og fremst for beboere i Stange der boliger ligger nært banen, og togene passerer i stor hastighet. Det kan bli nødvendig med omfattende tiltak for at grenseverdier for vibrasjoner skal tilfredsstilles i alle boliger.

#### 7.1.2 Hamar

##### **Alternativ K1-2b og 3b – Dagens stasjon**

Det er marginal forskjell på de to alternativene. Ingen boliger vil bli utsatt for vibrasjoner av betydning. Det må gjøres strukturstøyreduserende tiltak i tunnelen slik at grenseverdi for strukturstøy i boliger blir tilfredsstillt.

##### **Alternativ K2-1a og 2 – Stasjon ved rådhuset**

Det er marginal forskjell på de to alternativene. Ingen boliger vil bli utsatt for vibrasjoner av betydning. Det må gjøres strukturstøyreduserende tiltak i tunnelen slik at grenseverdi for strukturstøy i boliger blir tilfredsstillt.

##### **Alternativ K3-3 – Stasjon ved Vikingskipet**

Noen boliger mellom Vikingskipet og tunnelinnløpet vil bli utsatt for vibrasjoner. Det må gjøres strukturstøyreduserende tiltak i tunnelen slik at grenseverdi for strukturstøy i boliger blir tilfredsstillt.

#### 7.1.3 Furnes (Furuberget – Brumunddal)

Tiltakets konsekvens er først og fremst for beboere i Brumundal der boliger ligger nært banen, og togene passerer i stor hastighet. Det kan bli nødvendig med omfattende tiltak for at grenseverdier for vibrasjoner skal tilfredsstilles i alle boliger.

### 7.2 Rangering av alternativene

#### 7.2.1 Stange (Sørli – Bekkelaget)

Med hensyn til strukturstøy og vibrasjoner er det liten forskjell mellom alternativene.

#### 7.2.2 Hamar

Med hensyn til strukturstøy og vibrasjoner er det ikke forskjell på alternativene for beboere i Hamar. Det må forutsettes at tiltak dimensjoneres slik at grenseverdien for strukturstøy tilfredsstilles i alle boliger over tunnelene.

Kostnadmessig vil det være behov for strukturstøydemping der hastigheten er 250 km/t som har størst betydning. Dette gjelder særlig der dempingsbehovet er 10 dB eller høyere, der det er

nødvendig med spesielløsninger. På alternativ K1 og K2 er det ingen steder i tunnelene dempingsbehov 10 dB eller høyere der hastigheten er 250 km/t. På K1 er det en strekning på ca 400 meter med dempingsbehov på 10 dB eller høyere. Dette alternativet kommer derfor dårligst ut. Alternativ K3 har minst utstrekning av steder og lavere krav til demping der hastigheten er 250 km/t. Det er også det alternativet som har minst utstrekning totalt der det er behov for tiltak. Dette alternativet kommer dermed best ut.

Rangeringen blir:

1. Alternativ K3
2. Alternativ K2
3. Alternativ K1

### 7.2.3 Furnes (Furuberget – Brumunddal)

Kun ett alternativ foreligger.

## 8 Vibrasjoner og strukturstøy i anleggsfasen

### 8.1 Vibrasjoner

#### 8.1.1 Grenseverdier

Det vurderes her kun komfortgrenser for vibrasjoner, dvs grenser med tanke på sjenanse for personer. Vibrasjoner som kan gi bygningskader, med grenser i NS 8141, er ikke vurdert.

NS 8176 gir grenser for vibrasjoner i boliger fra samferdsel. Det finnes ikke tilsvarende grenseverdier for vibrasjoner fra anleggsarbeider og anleggstrafikk. For boliger som ligger inntil veier der det er anleggstrafikk med lastebiler og anleggsmaskiner, og som pågår over mange måneder eller år, mener vi man som et utgangspunkt skal anvende grense i klasse D i NS 8176 på  $v_{W,95} = 0,6$  mm/s. Hvis det er tett trafikk og over et års varighet kan det vurderes om man skal stille strengere grense.

Når det gjelder anleggsarbeider er grenseverdier for sprengninger gitt i NS 8141 med tanke på bygningskader. For andre arbeider som boring, pigging, spunting og graving må grenseverdier vurderes i det enkelte tilfelle ut fra type vibrasjoner, nærhet til boliger, og varighet av arbeidene.

#### 8.1.2 Vurderinger og anbefalinger

Anleggsveier som kommer tett inntil boliger må utføres med solid underbygning og asfaltdekke. Planheten av vegbanen har avgjørende betydning for vibrasjonene.

Vibrasjoner fra ulike anleggsaktiviteter må vurderes i det enkelte tilfelle. Vår generelle erfaring er at støy fra anleggsaktiviteter gir vesentlig større sjenanse for publikum enn vibrasjoner. Dette vil sannsynligvis gjelde i enda større grad på strekningen Sørli – Brumundal fordi lømassene i stor grad er faste morener i små dybder som gir mindre vibrasjonsoverføring enn bløtere masser.

### 8.2 Strukturstøy

#### 8.2.1 Grenseverdier

Arbeider i tunnelene med boring, sprengning, og pigging vil gi godt hørbare strukturstøynivåer i boliger over tunnelene. Grenseverdier for støy er gitt i T-1442/2012: "Retningslinjer for behandling av støy i arealplanleggingen".

T-1442/2012 angir grenser for bygge- og anleggsstøy. Ofte vil det ikke være mulig å tilfredsstille disse. Spesielt for slike situasjoner men også generelt gjelder at publikum må varsles. Dette er det lagt stor vekt på i T-1442/2012. Varsling er et meget viktig verktøy for å redusere publikums støysjenanse.

I T-1442/2012 er det gitt klarere grenseverdier for støy fra tunneldrift enn ved tidligere utgaver av retningslinjen. Det skilles mellom arbeider om natt, kveld og på dagtid. Det er grenser for innendørs støy som er aktuelle her. Grensene for støy fra tunneldrift er av impuls- og tonekarakter, grensene skjerpes med 5 dB for denne type arbeider. For eksempel er den generelle grensen på dagtid  $L_{pAeq12h} = 40$  dB, for tunneldrift er grensen  $L_{pAeq12h} = 35$  dB. I tabell I er grenseverdiene for tunneldrift oppsummert.

**Tabell 6. Krav til støy fra tunneldrift i T1442/2012**

Dagtid 07 - 19	Kveld 19 – 23 Helligdager 07 - 23	Natt 23 - 07
Innendørs støygrense: $L_{pAeq12h} = 35$ dB	Innendørs støygrense: $L_{pAeq4h} = 30$ dB kveld $L_{pAeq16h} = 30$ dB helligdager	Sprengning som gir støynivå mer enn $L_{AFmax} = 50$ dB innendørs (angitt som fra tunnel med ca 200 m overdekning) blir frarådet. Boring og pigging og aktivitet med tilsvarende dominerende aktivitet drives høyst 2 dager og med avstand minst 30 meter fra nærmeste bygning. Innendørs støygrense: $L_{pAeq8h} = 25$ dB.
Avvik bør bare tillates for kortvarig drift inntil 2 uker, og støygrensene bør ikke heves mer enn 5 dB		

Grenseverdiene er gitt som gjennomsnittsverdier (ekvivalentverdier) over de aktuelle tidsperiodene. Eksempelvis er grensen for dagtid gitt som ekvivalentnivået over 12 timer,  $L_{pAeq12h}$ .

## 8.2.2 Vurdering av grenseverdiene

### Arbeider om natten

Støykravene for nattdrift i T-1442 er svært strenge. Retningslinjen fraråder sprengninger når avstanden er mindre enn ca 200 meter. Det synes derfor helt klart at sprengninger ikke kan foretas om natten i tunneler under boliger.

For boring og pigging angis det en minsteavstand til bolig på 30 meter, og en litt uklar formulering om at "aktivitet drives høyst to dager". Vi tolker dette som at man kun kan arbeide 2 netter i avstander rundt 30 meter.

I tillegg til kravene som er nevnt stilles det et meget strengt støykrav om natten på  $L_{pAeq8h} = 25$  dB. Erfaringsmessig må man minst 60 – 80 meter fra drivestedet med boring og pigging for å kunne komme ned på så lave støynivåer.

Vi mener støykravene er så strenge at sprengning, boring og pigging ikke kan foretas om natten der tunnelene går under boliger. Andre typer arbeider som opplasting og injisering kan imidlertid gjøres. I målinger av støy fra tunelldrift som vi har foretatt har vi ikke registrert støy fra opplasting av stein på lastebiler. Det vil imidlertid bli støy fra lastebilene når de kommer ut av tunellen som må vurderes.

### Arbeider på dagtid og kveldstid

Støykravene er satt til det «gjennomsnittlige» (ekvivalente) støynivået i løpet av hhv dagtid  $L_{pAeq12h}$  og kveldstid  $L_{pAeq4h}$ . Støynivået vil avhenge av avstand, antall sprengninger og antall timer med hhv boring og pigging. For å kunne bedømme hvorvidt tunnelarbeider vil gi overskridelse av grenseverdiene, må man ha tall for disse fire parameterne.

Kveldsperioden i T-1442 er på kun fire timer, mens dagperioden er tolv timer. Eksempelvis vil derfor 2 timer boring i løpet av kvelden 19-23 gi 5 dB høyere ekvivalent støynivå enn 2 timer boring i løpet av en 12 timers dag 07-19. På samme måte vil en sprengning på kvelden gi 5 dB høyere ekvivalent støynivå enn en sprengning på dagen.

### 8.2.3 Vurderinger og anbefalinger

Kravene i T-1442 innebærer at det blir meget store overskridelser av grenseverdier ved nattarbeide. Vi anbefaler at det ikke tillates boring, sprengning eller pigging om natten. Andre typer arbeider som opplasting og injisering kan imidlertid gjøres.

Det vil ha store kostnadmessige konsekvenser hvis man også skal forby arbeider om kvelden. For kveldsarbeider anbefaler vi at det ikke sprenges, men tillates pigging og boring. Hvis man regner en fremdrift på 20 – 25 meter i uken, vil boliger som ligger over tunnel med de minste overdekningene få overskridelse av grenseverdien i ca 3 – 4 uker. De høyeste overskridelsene er 10 – 15 dB, men det vil kun være når man befinner seg rett under boligene. Nivået i den enkelte bolig vil avta relativt raskt når arbeidene forflyttes lenger unna.

For arbeider på dagtid vil perioden med overskridelser vare ca 4 – 6 uker. Perioden blir lengre hvis det ikke tillates kveldsarbeide.

### 8.2.4 Rangering av alternativene

Det som kan skille alternativene er hvor store lengder av tunnelene som er under boliger, slik at det må tas hensyn til dette når det gjelder arbeidstider. Lengder under boligområder er ca 2,5 km for alt K1, 3 km for alt K2 og 4 km for alt 3. For sistnevnte brutto lengde er det imidlertid innkludert en lengde på 1 km der det ikke er boliger, slik at K2 og K3 blir omtrent like. K1 kommer best ut.

## 9 Referanser

TEK10 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) (No. FOR-2010-03-26-489), 2010. Kommunal- og moderniseringsdepartementet.

NS 8175: 2012. Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper.

NS 8176: 2005. Målinger i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel og veiledning for bedømmelse av virkninger på mennesker.

ISO 14387-1: «Ground-borne noise and vibration arising from rail systems». 2005

J. Jiang, M.G.R. Toward, A. Dijckmans, D.J. Thomson, G. Degrande, G. Lombaert, J. Ryue: « Reducing railway induced ground-borne vibration by using trenches and buried soft barriers». 11th international workshop on railway noise, IWRN. Uddevalla 2013.

T-1442/2012: "Retningslinjer for behandling av støy i arealplanleggingen"

**ICP Dovrebanen KU Fagrapport Strukturstøy og vibrasjoner**

**Utgitt** mai 2016

**Utgave** 1

**Utgitt av** Jernbaneverket

**Foto** Jernbaneverket

**Postadresse** Jernbaneverket, Postboks 4350, N-2308 Hamar

**E-post** [postmottak@jbv.no](mailto:postmottak@jbv.no)

**05280**

Sentralbord/vakttelefon