

Stortrykk 409 NSB

## **Evaluering av støyeffekt som følge av skinnesliping**



**Utarbeidet  
av**

**Jernbaneverket,  
Teknikk Premiss og utvikling  
Baneteknikk**

**30.08.04**

**(revidert versjon 20.12.04)**

EKS. 1

Starttrykk 409 7 BV  
q 656.2.053.7 NSB Eva

## Forord

Jernbanelverket har de siste årene gjennomført en omfattende støykartlegging langs banenettet knyttet til ny forskrift til Forurensningsloven (F-loven). Jernbanelverket skal innen år 2005 foreta tiltak på de boliger hvor innendørs døgnkvivalent støynivå er over 42 dB(A). Videre har man i arbeidet med "Nasjonale mål for støy" foretatt kartlegging og tiltaksvurderinger i ulike scenarier av boliger med døgnkvivalent støynivå over 35 dB(A) innendørs.

Skinnesliping er et av flere sentrale tiltak som vurderes og utredes. I "Krengetrogprosjektet for Østfoldbanen" er det på strekningen Oslo – Ski gjennomført skinnesliping i år 2002. Det er foretatt sliping av alle gamle skinner, samt de 10 km med spor hvor det er byttet til nye hodeherdede skinner (byttet i 2000 og 2001). Det ble også i samme periode gjennomført noe skinnesliping på Drammenbanen. I denne anledning er det gjennomført flere serier med støymålinger for å verifisere og dokumentere støyeffekt som følge av skinnesliping.

I det følgende er det gitt en oppsummering og evaluering av skinnesliping med blant annet vurdering av støyeffekt av skinnesliping under norske forhold.

**Innholdsfortegnelse**

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>3</b>
<b>1.0 Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>2.0 Bakgrunn</b> .....	<b>5</b>
<b>3.0 Mål for prosjekt støymåling ved skinnesliping</b> .....	<b>6</b>
<b>4.0 Skinnekvalitet, bølgedybde og bølgelengde, jmf. JD532</b> .....	<b>6</b>
<b>5.0 Måle- og beregningsresultater</b> .....	<b>7</b>
<b>6.0 Kommentarer til måleresultatene</b> .....	<b>8</b>
<b>7.0 Effekt av skinnesliping i ulike hastighetsintervall</b> .....	<b>9</b>
<b>8.0 Målinger av bølgedybde vs. støyemisjon</b> .....	<b>9</b>
<b>9.0 Effekt av slipning på nye hodeherdede skinner</b> .....	<b>10</b>
<b>10.0 Oppsummering / konklusjon</b> .....	<b>11</b>
<b>11.0 Vedlegg</b> .....	<b>12</b>
<b>Definisjoner</b> .....	<b>13</b>
<b>Litteratur og referanser</b> .....	<b>16</b>
<b>Oversikt over akustiske begreper som er brukt i rapporten</b> .....	<b>18</b>

## 1.0 Sammendrag

Jernbaneløst har de siste årene gjennomført kartlegging og tiltaksutredning med hensyn til grenseverdiforskriften for støy. Skinnesliping vurderes i denne sammenheng både som et supplerende og alternativt støytiltak. Det er i denne anledning gjennomført målinger av støy fra jernbanen før og etter skinnesliping ved Østfoldbanen (Oslo-Ski) og Drammenbanen vår/høst 2002.

Målingene viser at der sporet har mye rifler og bølger før sliping reduseres normalisert SEL nivå med ca 5-6 dB for lokaltog og BM70 etter sliping. For godstog og fjertog er reduksjonen i normalisert SEL nivå ca 3-4 dB. Effekten av sliping er like god i lave som i høye hastigheter.

For strekninger med variert togtrafikk (person- og godstog) anbefales følgende utgangspunkt ved vurdering av effekt av skinnesliping :

- |  |                     |
|--|---------------------|
| - Lite rifler / bølger – gjennomføring av skinnesliping mht. støyreduksjon | - 3dB reduksjon     |
| - Noe rifler / bølger - normalt vedlikehold av spor                        | 0 dB korleksjon     |
| - Mye rifler / bølger – sjelden skinnesliping / dårlig spor                | + 3 dB økt støynivå |

Resultatene fra målingene vil kunne benyttes som erfaringsoverføring til andre banestrekninger, samt som supplement til grunnlagsdatabasen for støy fra ulike togtyper ved ulike skinneslipingskvaliteter.

## 2.0 Bakgrunn

Skinnesliping foretas i hovedsak for å forlenge levetid på skinner og andre sporkomponenter, samt på det rullende materiell. Sliping utføres for å forhindre eller forsinke utvikling av bølger og andre slitaskader på skinnene, som overflateutmatning og utvalsing av tverrprofil.

Bølgedannelse kan ha flere årsaker, men det vanligste er korte bølger på innerstrengen i skarpe kurver. Overflateutmatningsdefekter kan f.eks være «kjørkantsprekker» (head-checks), som etter en tids trafikkbelastning kan gi avskallinger og sprekktilvekst i dypet, noe som øker risikoen for skinnebrudd.

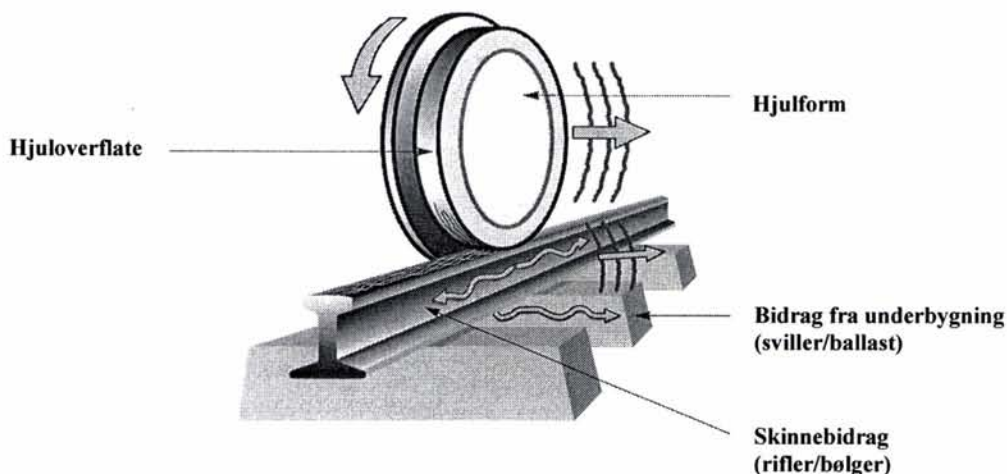
Konsekvensene av skadene kan være økt nedbrytning av spor og sporkomponenter, skader på rullende materiell, nedbrytning av ballast, økt støy og vibrasjoner og økt energiforbruk.

Det gjelder å redusere/minske skadelige overflatedefekter eller å skape en gunstigere kontakt mellom hjul og skinne, for å forlenge tiden innen problemene oppstår eller har fått for stort omfang. Dette kan oppnås ved å slippe til bestemt tverrprofil tilstrekkelig ofte.

Kontaktflaten mellom skinne og hjul er den dominerende støykilden. Et av de viktigste tiltakene mot støy vil derfor være å bruke "runde hjul på flate skinner", dvs. godt vedlikehold ved skinnesliping.

Variable som kjørehastighet, type materiell, hjultilstand og skinnejevnheter vil i stor grad avgjøre størrelsen på støyreduksjonen ved skinnesliping.

Skinnejevnheter har avgjørende betydning på jernbanestøyen, og ujevnheter med korte bølgelengder er viktigst (ca. 10 - 100 mm). Amplituder ned til noen få mikrometer er av interesse, og målinger må utføres med spesialutstyr.



Økonomi - vurdering av årlige vedlikeholdskostnader

Omfanget av sliping må veies mot innsparinger pga. lengre levetid for sporkomponenter, lavere vedlikeholds- og utskiftningskostnader for sporet og kostnader til bygging av støyskjermer. Togenes forbedrede komfort og gangegenskaper må også vurderes. Likeså økt levetid og mindre vedlikeholdskostnader hos det rullende materiell. Under er gitt en sammenstilling basert på årgangsanalyser som viser at skinnesliping kan forventes å forlenge levetiden/ redusere vedlikeholdskostnadene vesentlig. I oversikten er det **ikke** tatt hensyn til:

- støyeffekt-/tiltak
- komfort/gangegenskaper
- vedlikehold av rullende materiell
- energikostnader

	kostnad/ meter spor (1999)	Ingen sliping		Sliping hver 40 MGT	
		levetid/intervall [år]	Kostnad/år/m	levetid/intervall [år]	kostnad /år/m
Skinner	kr 1 500	25	kr 60	35	kr 43
Betongsviller	kr 1 800	35	kr 51	45	kr 40
Isolatorer	Kr 170	15	kr 11	20	kr 9
Ballast	kr 1 100	20	kr 55	30	kr 37
Sporjustering	kr 20	3	kr 7	4,5	kr 4
Sliping	kr 40			4	kr 10
		<b>Totalt /år/m</b>		<b>kr 184</b>	
				<b>kr 143</b>	

**3.0 Mål for prosjekt støymåling ved skinnesliping**

Målet med prosjektet har vært følgende :

- Bedre kjennskapen til støy som følge av ruhet (rifler og bølger) på skinner
- Forbedret kjennskap til og dokumentasjon av støyegenskaper fra ulike togtyper i ulike hastighetsområder
- Fremskaffe underlag for behandling og vurdering av måledata fra målevognskjøring med ny målevogn Roger 1000
- Måling av støyforhold før og etter skinnesliping i de utvalgte målepunktene
- Forslag til bruk av forventede generelle effekter av skinnesliping
- Analyse av måledata over tid på samme sted for å estimere veksthastigheten på bølgene

**4.0 Skinn kvalitet, bølgedybde og bølgelengde, jmf. JD532**

Skinnesliping er behandlet i JD532, kap. 4.3.

Skinnesliping foretas for å forlenge levetiden på skinner, øvrige sporkomponenter og rullende materiell, og for å redusere støy og vibrasjoner og for å bedre komforten og gangegenskapene til det rullende materiell. I JD532 deles rifler og bølger inn i 3 kategorier avhengig av bølgelengde :

rifler	bølgelengde 30 – 80 mm	dybde ≤ 0,5 mm
korte bølger	bølgelengde 80 – 300 mm	dybde ≤ 1,2 mm
lange bølger	bølgelengde 250 – 300 mm	dybde < 5 mm

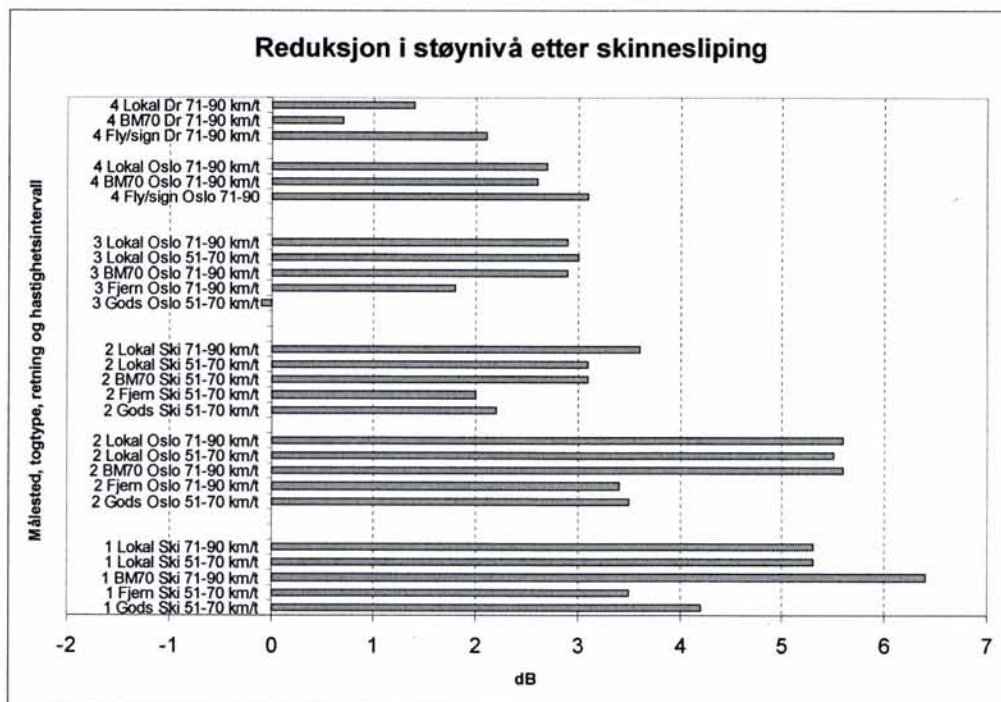
I JD532 forutsettes det at sliping iverksettes når bølgedybden for korte bølger overstiger 0,05 mm i boligområder i tettbygde strøk med utendørs støynivåer > 65 dBA.

## 5.0 Måle- og beregningsresultater

I figur 1 vises de viktigste resultatene fra målingene sortert etter togtype. Alle resultater er aritmetiske middelverdier. Differansen i SEL verdi for de ulike målepunktene og togtypene vises også i figur 1. For hvert målested og retning vises resultatene for det hastighetsintervall med flest passeringer før og etter sliping. Resultater for målesteder, togtyper, og retninger der antall passerende tog er mindre enn 3 er ikke vist. I selve målerapporten (Brekke & Strand) vises resultatene for alle de ulike hastighetsintervallene. Hastighetsintervallene er :

- 11-30 km/t (kun noen tog)
- 31-50 km/t
- 51-70 km/t
- 71-90 km/t

I målerapporten vises også SEL verdier i oktavbånd (SEL verdiene i oktavbånd er ikke A-veide). SEL verdiene i målerapporten (tabellene 3-8) er normalisert for tog lengde og avstand fra mikrofon til støykilde, som forklart ovenfor.  $L_{Amax}$  og Middelmaks er ikke normalisert. Middelmaks er beregnet ut fra SEL verdien og togets passeringstid, som vist ovenfor. Positiv verdi for differansen, innebærer en reduksjon i støyen etter sliping. Negativ verdi for differansen innebærer at støyen har økt etter sliping.



Figur 1. Reduksjon i SEL<sub>norm</sub> verdi etter skinnesliping for de ulike målestedene og togtypene.

## 6.0 Kommentarer til måleresultatene

Målingene viser at effekten av skinneslipingen varierer fra plass til plass avhengig av sporets tilstand før slipingen. Måleresultatene varierer også i forhold til skinnehardhet, spesielt ved bruk av nye hodeherdede skinner.

### Resultater for steder med standard skinnetype

#### Ingolf Ruuds vei 4A/B – utgående spor mot Ski

For Ingolf Ruuds vei var det på forhånd målt mye rifler og bølger på utgående spor (skinnetilstandklasse 3). Der viser også målingene god effekt av skinneslipingen. Effekten er best for BM70 og lokaltogene.

Målt ved den nærmeste mikrofonposisjonen reduseres  $SEL_{norm}$  verdien for lokaltog med 5 dB etter slipingen. Dette gjelder både for hastighetsintervallet 51-70 km/t og 71-90 km/t. Målingen i oktober viste ikke noen endring i støynivået sammenlignet med målingene i juni.

For BM70 i hastighetsintervallet 71-90 km/t viste målingene i juni en reduksjon av  $SEL_{norm}$  verdien med 6 dB. Ved målingene i oktober var det ikke tilstrekkelig med tog for å kunne trekke konklusjoner vedrørende effekten av slipingen.

For godstog i hastighetsintervallet 51-70 km/t, viste målingene i juni en reduksjon av  $SEL_{norm}$  verdien med 4 dB. Ved målingen i oktober var det ikke tilstrekkelig med tog for å kunne trekke konklusjoner vedrørende effekten av slipingen. Det kan ikke utelukkes at forskjellig sammensetning av togene ved de ulike måletidspunktene kan ha innvirket på resultatene for godstogene.

For fjerntog i hastighetsintervallet 51-70 km/t, var effekten av slipingen på  $SEL_{norm}$  verdien ca 3,5 dB både ved målingen i juni og i oktober.

#### Breidablikkveien 6 - Inngående spor (mot Oslo)

Ved Breidablikkveien 6 var det målt mye rifler og bølger før sliping (skinnetilstandklasse 3).

Målingene viser god effekt av slipingen. Effekten er best for BM70 og lokaltogene. For BM70 i hastighetsintervallet 71-90 km/t minsker  $SEL_{norm}$  med ca 5 dB. Det samme gjelder for lokaltog både i hastighetsintervallet 51-70 km/t og 71-90 km/t. For godstog i hastighetsintervallet 51-70 km/t og fjerntog i hastighetsintervallet 71-90 km/t er reduksjonen ca 3 dB.

#### Breidablikkveien 6 - Utgående spor (mot Ski)

Ved Breidablikkveien 6 var det målt mye rifler og bølger før sliping (skinnetilstandklasse 3).

Målingene viser noe mindre effekt av slipingen enn for inngående spor. For BM70 i hastighetsintervallet 51-70 km/t og for lokaltog (hastighetsintervall 51-70 km/t og 71-90 km/t) minsker  $SEL_{norm}$  verdien med ca 3 dB. For godstog i hastighetsintervallet 51-70 km/t og for fjerntog i hastighetsintervallet 71-90 km/t minsker  $SEL_{norm}$  verdien med ca 2 dB. Målt støynivå før sliping er imidlertid lavere fra utgående spor enn fra inngående spor for samtlige togtyper. Etter sliping er støynivået likt eller fortsatt lavere fra utgående enn fra inngående spor. Dette indikerer at skinnetilstanden sannsynligvis var bedre for utgående enn for inngående spor før slipingen.

#### Breidablikkveien 10 - Inngående spor (mot Oslo)

Ved Breidablikkveien 10 var det målt lite rifler og bølger før slipingen (skinnetilstandsklasse 1). Det ble imidlertid registrert slurespor på inngående spor før slipingen. Sluresporene var også synlige etter slipingen. For inngående spor er reduksjonen i  $SEL_{norm}$  ca 3 dB for BM70 i hastighetsintervallet 71-90 km/t og for lokaltog (hastighetsintervall 51-70 km/t og 71-90 km/t). For fjerntog i hastighetsintervallet 71-90 km/t er reduksjonen ca 2 dB. For godstog i hastighetsintervallet 51-70 km/t er støynivået uforandret etter slipingen.



### Halvorsensvei på Blommenholm

Ved Halvorsens vei på Blommenholm var det lite rifler og bølger før sliping (skinnetilstandsklasse 1). Det er kun for lokaltog og fly/signaturtog i hastighetsintervallet 71-90 km/t som underlaget er stort nok for å kunne trekke konklusjoner vedrørende effekten av sliping.

For inngående spor (mot Oslo) er reduksjonen i støynivå ca 3 dB for lokaltog og flytog. For utgående spor (mot Drammen) er reduksjonen i støynivå ca 2 dB for flytog og 1 dB for lokaltog.

## 7.0 Effekt av skinnesliping i ulike hastighetsintervall

For lokaltogene er antallet målinger så stort at det også er mulig å si noe om effekten av sliping i ulike hastighetsintervaller. I tabell 1 og 2 vises effekten av sliping i to hastighetsintervaller 51-70 km/t og 71-90 km/t for de målepunkter og spor der det var mye rifler og bølger før sliping. For Breidablikkveien 6 vises også hastighetsintervallet 31-50 km/t.

Tabell 1. Effekt av sliping i ulike hastighetsintervaller. Ingolf Ruuds vei, spor mot Ski.

Hastighetsintervall km/t	SEL <sub>norm</sub> før sliping dB	Hast før sliping, km/t	Antall tog før sliping	SEL <sub>norm</sub> etter sliping dB	Hast etter sliping, km/t	Antall tog etter sliping	Δ dB
51-70	99,0	64,4	27	93,7	64,9	37	5,3
71-90	99,8	74,1	34	94,5	74,3	45	5,3

Tabell 2. Effekt av sliping i ulike hastighetsintervaller. Breidablikkveien 6, spor mot Oslo.

Hastighetsintervall km/t	SEL <sub>norm</sub> før sliping dB	Hast før sliping, km/t	Antall tog før sliping	SEL <sub>norm</sub> etter sliping dB	Hast etter sliping, km/t	Antall tog etter sliping	Δ dB
31-50	90,2	37,0	10	85,1	36,2	15	5,1
51-70	95,7	67	24	90,2	67,7	21	5,5
71-90	96,6	75,3	54	91	75,4	69	5,6

Målingene viser at effekten av skinnesliping ikke endres merkbart med hastigheten for lokaltog.

## 8.0 Målinger av bølgedybde vs. støyemisjon

I nordisk beregningsmetode for jernbanestøy forutsettes 'alminnelig god' skinnetilstand med skinner montert på betong- eller tresviller i ballast og med jevnlig skinnesliping. For mer ujevne skinner og/eller hjuloverflater enn normalt, kan man regne med (1- >3) dB økning i støyemisjonen. Med svært ujevne skinner og/eller hjul må en regne med en økning på (4 - > 6) dB. For spesielt godt vedlikeholdte skinner kan man regne med (1- >3) dB redusert støyemisjon og for skinner og hjul med permanent jevne overflater opptil (4- >6) dB reduksjon.

Beregningsmetoden forutsetter at bruk av redusert støyemisjon er basert på dokumenterte feltmålinger. I forhold til bølgedybde for korte bølger antas følgende sammenheng med støyemisjon:

Støyemisjon :	Bølgedybde korte bølger :
- (4 - 6) dB	< 0,025 mm
- (1 - 3) dB	0,025 - 0,05 mm
0-dB nivå, alminnelig god standard	0,05 - 0,1 mm
+ (1 - 3) dB	0,1 - 0,2 mm
+ (4 - 6) dB	> 0,2 mm

Med bakgrunn i foreløpige erfaringer med målesystemet for rifler og bølger på målevogn Roger 1000, som kan synes å ha problemer med å måle (nøyaktig) for kortere bølgelenger, vil det imidlertid ikke være riktig å bruke tabellen over (5 nivåer ut ifra resultater / erfaringer fra andre

tilsvarende undersøkelser). En tilsvarende praktisk inndeling for oppfølging av rifler og bølger med Roger 1000, vil forslagsvis være følgende 3 nivåer for bølgedybde vs. støyemisjonsforhold :

-3 dB - < 0,035 mm

0 dB > 0,035 - < 0,15 mm

+ 3 dB > 0,15 mm

## 9.0 Effekt av sliping på nye hodeherdede skinner

### Ingolf Ruuds vei 4 A/B - Inngående spor (mot Oslo)

På inngående spor ved Ingolf Ruuds vei var det lite rifler og bølger før sliping (skinnetilstandklasse 1). Her er det imidlertid nye hodeherdede skinner (hardere stålkvalitet). Målt SEL<sub>norm</sub> verdi før sliping var ca 10 dB lavere enn målt SEL<sub>norm</sub> verdi for utgående spor mot Ski som hadde mye bølger og rifler før sliping (standard skinnetype).

Målingene etter sliping viser at støynivået fra inngående spor har økt etter sliping. Ved målingen i juni hadde SEL<sub>norm</sub> verdien ved nærmeste mikrofon økt med opp til 3 dB med størst økning for fjern tog og lokaltog. Målt SEL<sub>norm</sub> verdi er imidlertid fortsatt lavere enn målt SEL<sub>norm</sub> verdi for utgående spor mot Ski. En studie av frekvensspektret fra målingene i juni viser at det har skjedd en dreining av frekvensspektret mot mer høyfrekvent støy etter sliping. Under 250 Hz gir sliping en klar reduksjon i støynivå men spesielt ved 1000 Hz gir den en økning. Ved målingene i juni ble det også registrert en skrikelyd etter sliping. En smalbandsanalyse av lyden i viser en frekvens på 970 Hz.

Ved målingen i oktober hadde SEL<sub>norm</sub> verdien minsket sammenlignet med målingen i juni. Støynivået var imidlertid fortsatt opp til 1,2 dB høyere enn før sliping.

### Breidablikkveien 10 - Utgående spor (mot Ski)

Ved Breidablikkveien 10 var det målt lite rifler og bølger før sliping (skinnetilstandklasse 1). Her er det nye hodeherdede skinner. For lokaltog minsket SEL<sub>norm</sub> verdien med ca 0,5 dB etter sliping.

For BM70, gods og fjern tog var SEL<sub>norm</sub> verdien uforandret etter sliping. Også ved Breidablikkveien 10 ble det registrert skrikelyder med frekvens rundt 1000 Hz fra utgående spor ved målingen i juni.

### Kommentar til resultatene for hodeherdede skinner

Ved sliping på nye hodeherdede skinner dreier frekvensspektret mot mer høyfrekvent støy. Målingene viser at frekvenser rundt 1000 Hz forsterkes. Etter sliping ble det registrert skrikelyder fra skinnene både på inngående spor ved Ingolf Ruuds vei og på utgående spor ved Breidablikkveien. Der det er nye hodeherdede skinner har sliping derfor liten effekt og støynivået kan tom øke noe etter sliping. Sannsynligvis skyldes økningen i støyen at slipeprosessen har skapt ujevnheter i skinnene (sliperoser), som må slites ned før støynivået kan synke. Ved ny måling ved Ingolf Ruuds vei i oktober hadde støynivået fra inngående spor minsket noe sammenlignet med målingene i juni, men var fortsatt høyere enn før sliping. Dette indikerer at slipesporene ikke er slipt helt ned etter 6 måneder. Etter sliping er imidlertid støynivået fra inngående spor med hodeherdede skinner fortsatt lavere enn støynivået fra utgående spor med standard skinner.

## 10.0 Oppsummering / konklusjon

I tabell 3 vises en sammenstilling av konklusjonene fra målingene. I tabellen vises ikke resultatene for nye hodeherdede skinner. De er istedenfor kommentert i eget avsnitt nedenfor. Resultatene for utgående spor Breidablikkveien 6 vises ikke i tabellen nedenfor da målingene indikerer at skinnetilstanden ikke var like dårlig for dette spor som for inngående spor før sliping.

Tabell 3. Effekt av skinnesliping på SEL verdien for spor med mye og lite rifler, standard skinnetype.

Type tog	Effekt av sliping i dB	
	Spor med mye rifler/bølger	Spor med lite rifler/bølger
Lokal	5,5	1,5-3
BM70	6,5	0,5-3
Fjern	3,5	1,5
Gods	4	0
Fly/signatur	-	2-3

En sammenligning av resultatene i ulike hastighetsintervaller for lokaltog viser at effekten av sliping er like god ved lave (31-50 km/t) som ved middels (51-70 km/t) respektive høye hastigheter (71-90 km/t).

Målingene viser at der sporet har mye rifler og bølger før sliping reduseres normalisert SEL nivå med ca 5-6 dB for lokaltog og BM70 etter sliping. For godstog og fjerntog er reduksjonen i normalisert SEL nivå ca 3-4 dB. Effekten av sliping er like god i lave som i høye hastigheter.

For strekninger med variert togtrafikk (person- og godstog) anbefales følgende utgangspunkt ved vurdering av effekt av skinnesliping :

- Lite rifler / bølger – gjennomføring av skinnesliping mht. støyreduksjon      - 3dB reduksjon
- Noe rifler / bølger - normalt vedlikehold av spor                                      0 dB korreksjon
- Mye rifler / bølger – sjelden skinnesliping / dårlig spor                                + 3 dB økt støynivå

Resultatene fra målingene vil kunne benyttes som erfaringsoverføring til andre banestrekninger, samt som supplement til grunnlagsdatabasen for støy fra ulike togtyper ved ulike skinnkvaliteter.

Med bakgrunn i foreløpige erfaringer med målesystemet for rifler og bølger på målevogn Roger 1000, som kan synes å ha problemer med å måle (nøyaktig) for kortere bølgelenger, vil det imidlertid ikke være riktig å bruke tabellen over (5 nivåer ut ifra resultater / erfaringer fra andre tilsvarende undersøkelser). En tilsvarende praktisk inndeling for oppfølging av rifler og bølger med Roger 1000, vil forslagsvis være følgende 3 nivåer for bølgedybde vs. støyemisjonsforhold :

-3 dB - < 0,035 mm

0 dB > 0.035 - < 0,15 mm

+ 3 dB > 0,15 mm

## 11.0 Vedlegg

- 1 Definisjoner
- 2 Litteratur og referanser
- 3 Oversikt over akustiske begreper

## Vedlegg 1

### Definisjoner

#### Rifler og bølger

De periodiske ujevnheterne som kan observeres på skinnhodet deles opp i rifler, korte bølger og lange bølger.

Alle typene kjennetegnes ved at de dannes ved plastisk deformasjon av skinnhodets overflate, dvs. at stålet har flytt, og det dannes opphørte soner med martensitt. Årsakene til de forskjellige fenomenene er ulike, med felles er at vibrasjoner eller slipp (dvs. at hjulet spinner litt) fører til at overflatespenningene i skinnen gått over stålets flytegrense.

#### Rifler

Rifler har en bølgelengde på 3 - 8 cm og en bølgedybde på 0.02 - 0.4 mm. De forekommer hovedsakelig på rettlinje og i slake kurver. De danner regelmessige mønstre i skinnoverflaten med blanke topper i martensitt og matte bunner mellom riflene. I toppen av en rifle kan hardheten nå opp i ca. 900 HV (Vickers), mens gjennomsnittet er 290 HV, en økning på over 300%.

Rifledannelse er vanlig på baner med høye hastigheter, og er et fenomen som gir svært mye støy og vibrasjoner. Rifledannelse relativt sjelden i Norge.

Rifler opptrer ikke overalt hvor forholdene ellers later til å være like. Hos Deutsche Bahn viser undersøkelser at 12-15% av skinnen danner rifler, hvorav 80% er på rettlinje og 20% i kurver med  $R > 1000$ m. Det er mistanke om at et svært stivt spor kan medføre raskere dannelse av rifler.

Årsaken til rifledannelse er ennå ikke fullt ut forklart, men det synes som om det kommer av vibrasjoner/resonans pga. små initielle ujevnheter i skinnene som setter hjulsatsen i svingninger. Av den grunn vil det kunne hjelpe å slippe de nye skinnene umiddelbart etter innlegging for å fjerne valsehud og få en jevnere overflate.

#### Korte bølger

Korte bølger har en bølgelengde på 8-30 cm og en bølgedybde på 0.1 - 1.2 mm. De forekommer i innerstrengen i skarpe kurver ( $R < 600$  m). Alvorlige bølgedannelser skjer i kurver med  $R < 350-400$  m.

På grunn av kurvaturen ved det norske banenettet er korte bølger svært vanlige, og er et stort problem på flere baner. De inducerer kraftige vibrasjoner i hjulsatsene som øker kreftene i overbygningen vesentlig.

Årsaken til korte bølger er «rulleslipp» i kurver. Jernbanemateriell er utstyrt med koniske hjul som styrer hjulsatsen langs skinnene. Dersom hjulsatsen forskyver seg sideveis, vil rulleradiusen bli forskjellig for de to hjulene og hjulsatsen forsøker å sentrere seg på nytt. I slake kurver vil denne forskjellen i hjulradius kompenseres med den forskjellige lengden de to hjulene skal tilbakelegge, og hjulsatsen kan rulle fritt gjennom kurven (uten flenskontakt).

Er kurvens radius derimot skarpere enn ca. 600 m, klarer ikke rulleradiusdifferansen å utligne forskjellen i lengde mellom de to strengene. Et av hjulene må «slippe» (eller spinne) for at hjulsatsen skal kunne komme gjennom kurven. Dette skjer periodisk hver gang horisontalkraften blir større enn

friksjonskraften, bl.a. som følge av torsjon i akselen. Kontaktspenningene hjul/skinne blir så store at stålet flyter.

Bortsett fra i kurver, kan korte bølger også oppstå andre steder hvor materiellet settes i vibrasjon, f.eks. på steder hvor sporets elastisitet er ujevn, hvor en skifter fra skinner med en strekkfasthet til en annen, ved lave isolerte skjøter, ved sporveksler, ved brukar eller ved sveiste skjøter med dårlig geometri.

Skinner med stor strekkfasthet kan utsette dannelsen av korte bølger. Det kan være en del å vinne på ha skinner med høy strekkfasthet på innerstrengen.

### **Lange bølger**

Lange bølger har en bølgelengde på 0.25 - 2.0 m og en bølgedybde på 0.5 - 5 mm. Lange bølger forekommer sjelden i dag

Lange bølger skyldes at valsene som former skinnene ikke er helt runde. Dersom kontrollen med valsene ikke er god nok, vil de kunne bli elliptiske og dermed lage en liten periodisk ujevnheter i skinnene. I en del tilfeller er det ikke ujevnheten i skinnene som utvikles, men derimot ujevnheter i ballasten. Sliping vil ikke kunne avhjelpe ujevnheter som oppstår i ballasten.

### **Ruhet (Roughness)**

Ifølge ref. /29/ brukes, som generell terminologi, begrepet «microroughness» om ujevnheter med bølgelengder mindre enn 10 mm, og «roughness» om ujevnheter med bølgelengder større enn 10 mm.

Ifølge ref. /30/ brukes «roughness» om korte, dvs. millimeter bølgelengde, og gir som eksempel bølgelengder opp til 10 mm hos DB (Deutsche Bahn).

Ruhet brukes i litteraturen både om overflatedefekter med bølgelengder i størrelsesorden < 10 mm og om bølgedannelse. Ruhet brukes også om slipe-«ripene» som oppstår ved sliping, dette er ikke en defekt i seg selv, men må holdes innen visse grenser.

Ruhets-parametre ifølge ref. /4/:

Ra = aritmetisk middelværdi av overflateprofilen over en gitt målelengde  
Ry = største enkelt topp- til bunnverdi innen målelengden  
Rz(DIN) = middel av største topp- til bunnverdi av fem delmålelengder.

Begrepet ruhet brukes ofte i støysammenheng.

### **Konsekvenser av rifler / bølger og sideveis slitasje**

#### **Belastning på overbygningen**

Togtrafikken forårsaker krefter som påvirker overbygningen på forskjellige måter. Belastningen kan deles opp i en statisk, en kvasistatisk og en dynamisk del.

Kvasistatiske og dynamiske krefter øker med hastigheten. Den statiske lasten utgjøres av aksellasten, mens de kvasistatiske skyldes omlagring av hjullasten i forbindelse med kjøring gjennom kurver. På grunn av omlagring fra innerstreng til ytterstreng ved kjøring gjennom en kurve fås endrede vertikallaster og sidekrefter mot skinnene.

Den dynamiske lasten kan deles opp i impulslast og vibrasjonslast. Impulslast skyldes ujevnheter i skinnenes overflate eller at hjulene ikke er helt runde. Impulslastene kan være meget høye. Målinger har vist opp til 2.5 ganger den statiske aksellasten. Vibrasjonslast kan ha flere ulike årsaker. Det rullende materialet i seg selv kan indusere vibrasjoner eller det kan være rifler og bølger på skinneoverflaten som induserer vibrasjoner, eller det skyldes svillene. Svillene ligger med en viss avstand fra hverandre og gir en noe ulik elastisitet i sporets lengderetning.

#### Nedbrytende effekter fra rifler og bølger

Rifler og bølger (og andre ikke periodiske ujevnheter i sporet) gir kraftige påvirkninger av spor og materiell pga. økte dynamiske krefter og vibrasjoner. Dette fører bl.a. til kortere levetid på sporets komponenter og på sporjusteringen, slitasje på rullende materiell, dårligere komfort, økt støy og økt energiforbruk.

Impulslast som skyldes rifler og bølger har tydelig innflytelse på nedbrytningen av hele overbygningen. Dette kan observeres på steder som har slike feil, der det sannsynligvis vil finnes stor slitasje på sviller/befestning og nedbrytning av ballasten som følge av de store kreftene som oppstår.

Vibrasjonslastene i sporet som følge av rifler og bølger kan også bli meget store og bidra sterkt til nedbrytning av sporets komponenter. Både skinner, befestning, sviller og ballast utsettes for store krefter. Dersom de angripende kreftene har en frekvens som er lik konstruksjonens egenfrekvens, kan det dessuten oppstå en risiko for resonans. Dette kan medføre sprekkdannelse i betongsviller. Vibrasjonslast kan også gi «flyt» i ballasten. Dette betyr at ballasten flytter seg litt for hver togpassering og sporets justeringsstandard vil raskt nedbrytes.

Bølger med stor stigning (f.eks. korte og dype bølger) på hard grunn, kan gi spesielt høye tilleggskrefter, under slike forhold kan tilleggskraften kan komme opp i over 300kN. «Hard grunn» forekommer mye på norske spor pga. frosset spor vinterstid, samt tilnærmet også i fjellskjæringer etc. sommerstid.

Rifler og bølger har altså også store økonomiske virkninger i tillegg til virkningen på komforten.

## Vedlegg 2

### Litteratur og referanser

1. Sørli, Per Herman. Sliping og høvling. Notat fra kurs i Baneteknikk 06.04.92.
2. Sørli, Per Herman. Overbygningens komponenter. Notat 787. Forelesningsnotat i faget Jernbaneteknikk VK ved NTH, 1993.
3. NSB Bane Region Nord, Teknisk kontor. Ballastrensing, sliping og høvling i BrN. Rapport 27.04.95.
4. Banverket. Rålsslipning på linjen och i spårväxlar. Föreskrift BVF 524.16. Remissutgåva 1996. Merknad [TØr1]:
5. Guidat, Alain. The fundamental benefits of preventive rail grinding. Rail Engineering International Edition 1996 number 1.
6. Lærebøker i jernbaneteknikk, JBBT 1990/2000.
7. Kalousek, Joseph. Keeping heavy haul track corrugation-free. Railway Gazette International, August 1989.
8. BN grinds out longer rail life. Progressive Railroading, April 1990.
9. Jernbaneverket Teknisk regelverk. Overbygning - regler for vedlikehold, JD 532.
10. Janssens, R.D. Adoption of routine rail-head re-profile grinding to combat corrugation and side-wear on South african railway network. Rail Engineering International Vol 14 nr 1 1985.
11. Lamson, S.T. Asymmetrical grinding challenges heavy-haul punishment. Railway Track and Structures Vol. 80 nr. 2 1984.
12. Speno International and Rail Rectification. Conference notes. 1995.
13. Hannafious, J, and Steele, R. Studying til effects of rail profile grinding. Railway Track & Structures, November 1994.
14. Profile rail grinding pays off for BN. Railway Track & Structures, Vol. 85 nr. 10 1989.
15. Kilde, siv ing Falch og Ringheim. Støymessig effekt av skinnesliping. KILDE rapport 103, 1984.
16. Støjen på 236 km spor skal slibes væk. DSB bladet 2/94.
17. DSB, Bo Nilsen. Notat/brev om hodeherdede skinner, datert 19-06-96.
18. Krüger, F. Research programme for the reduction og noise in short-distance rail transport. UITP Revue Vol 38-4.1989.
19. Rivier, R.E. og Korpanec, I. Effective management of truck maitenance within sight. Railway Gazette International juni 1996.
20. Kramer, J. Noise and vibration: What transit systems are doing for attenuation. Railway Track & structures. April 1996.
21. NSB Bane Region Øst. Skinnesliping i Baneregion Øst 1994, rapport.
22. DSB banes skinneslibepolitikk. Infrastruktur Forvaltning Øst. September 1995.
23. Bachinsky, G. Preventive profile grinding and third-party control. Railway Track & Structures. August 1993.



24. Mogard, B. Besiktning av Dovrebanan. Fåberg - Dombås, 1996-02-08. Rapport.
25. Mitchell, R., Stewart, P.J., Sroba, P.S. Rail grinding from a contractor's and operators perspective. Mechanical Engineering Transactions - Institution of Engineers, Australia. Volume 15 No.2. 1990.
26. NSB Gardermobanen A/S. Tilbudsinndrivelse for utførelse av sporarbeider for Gardermobanen, 06.12.95.
27. ERII D 173/RP 3. Rail rolling contact fatigue. Track tests on naturally-hard and head-hardened test rails. (Interim report). Utrecht, January 1993.
28. ERII D 173/RP 13. Rail rolling contact fatigue. Track tests on naturally-hard and head-hardened test rails. (2nd Interim report). Utrecht, June 1994.
29. ERII D 185/RP 2. Reduction in corrugation of rails. Analysis og geometric measurements of rail corrugation and metallurgical examinations carried out on the CFF, DB and NS corrugation track tests. July 1996.
30. LORAM. Proceedings of the Scandinavian Grinding Conference organised by Loram Rail Limited and held in Huddinge, Sweden 9-10 May 1995.
31. Maintenance Experience on DB High-Speed Lines. Deutsch Bahn AG. Geschäftsbereich Netz. Dipl.-Ing. Wolfgang Thiele. Nov.1995.
32. Hemsworth, B. Recent developments in wheel/rail noise research. Journal of Sound and Vibration. Vol. 66, No. 3, 297-310. Oct. 8, 1979.
33. Jernbaneløst Tekniske spesifikasjoner : Sliping av skinner - ver.3.0, JDMTB/FT, 27.01.00.

**Vedlegg 3****Oversikt over akustiske begreper som er brukt i rapporten**

Akustiske begrep	Forkortelse	Forklaring
Lydtrykknivå	Lp	$L_p = 20 \log(p/p_0)$ Referansetrykk $p_0$ : 20 $\mu$ Pa
Ekvivalent lydtrykknivå	Lp <sub>ekv</sub>	Gjennomsnittlig lydtrykknivå over en periode. Enhet dB eller dB(A)
Sound Exposure Level	SEL	Ekvivalent lydtrykknivå normalisert til 1 sekund.
Maksimalt lydtrykknivå	Lp <sub>maksF</sub>	Maksimalt lydtrykknivå innenfor en gitt periode. Enhet dB eller dB(A).
Middelmaksverdi	Lp <sub>maksM</sub>	Maksimalt lydtrykknivå gitt som gjennomsnittlig energinivå over hele tog lengden.
A-veiet lydtrykknivå	-	Justerte lydtrykknivå etter menneskeørets følsomhetskurve.

Classic DFS, 1.5 mm for 1-15 sheets 320  
[www.bindomatic.com](http://www.bindomatic.com)

MIKROMARC  
BIBLIOTEKSYSTEM



71592609