

Postboks 229, 5701 VOSS, NORWAY
Tlf. 56 51 35 00 Faks 56 51 64 54
Tel. +47 56 51 35 00 Fax +47 56 51 64 54
Tvildesvegen 16D, Voss

Avd. Bergen:
Tlf. 55 28 89 13 Faks 55 27 06 15
Postboks 27, 5032 Minde
Conrad Mohrsv. 23a

**STØY FRA ELEKTRISK
DREVNE TOG, 1993**

Voss, 15.03.94
Matias Ringheim
Frode Eikeland

Kvalitetskontroll: Sigurd Solberg
R671/P91099.2
Åpen/29s/13v

Lydavstråling fra de mest vanlige rutetogene i Norge ble målt sommeren 1993. Resultater for enkelt-tog og for hver togtype samlet er vist, både som A-veide verdier og uveide oktavbånd. De skal benyttes, sammen med tidligere målinger, som underlag for revisjon av nordisk beregningsmetode for jernbanestøy (NoJe94).

Utført for: –

Prepared for: –

NSB Bane
v/O.ark.Siri Kjær

kilde

INNHOLD	Side
1. SAMMENDRAG	3
2. BAKGRUNN OG FORMÅL	3
3. BANE OG TOG	3
3.1. Geometri	4
3.2. Baneoppbygning	4
3.3. Togtypene og trafikkforholdene	4
4. MÅLEOPPLEGG	5
4.1. Måleenheter	5
4.2. Måle- og analyseutstyr	6
4.3. Værforhold. Bakgrunnsstøy	6
5. ANALYSE AV MÅLERESULTAT	6
6. RESULTATENE	7
6.1. dB(A) 10m avstand	7
6.2. Spektralfordeling, 10m avstand	7
6.3. Maksimalt støynivå	8
7. STØYNIVÅ I ANDRE AVSTANDER	8
8. SLUTTORD	9
9. REFERANSER	9
FIGUR 1-19	11-29

VEDLEGG A: Kort om benyttet måleutstyr

VEDLEGG B: Supplerende figurer B1-B9

VEDLEGG C: Litt om lyd. Begrepsforklaringer.

TABELL 1 - 3F finnes som separat tillegg

1. SAMMENDRAG

Støymålingene ble utført på tog i vanlig rutetrafikk på Østfoldbanen sommeren 1993. De viktigste resultatene er vist i figur 4, for ulike togtyper, som funksjon av kjørefart. Godstog og langdistanse passasjertog (PASS) støyer mest, ICE 70 og B69 noe mindre. Alle verdier i denne figuren er normaliserte til en toglengde på 100m, og en måleavstand lik 10m.

Resultatene viser godt samsvar med eksisterende nordisk beregnings-metode for jernbanestøy. Dette og en første sammenligning med tidligere målinger viser at lydavstrålingen fra enkelttog er uendret i forhold til situasjonen tidlig i 1980-årene. Den store forskjellen i avstrålt støy fra ulike tog av samme type tyder på at det finnes gode muligheter for støyreduksjon på rullende materiell.

2. BAKGRUNN OG FORMÅL

Målingene som er rapportert her, er gjennomført for å framskaffe typiske 1993-data for lydavstråling fra norske tog. Resultatene skal brukes som delunderlag for revisjon av nordisk beregningsmetode for jernbanestøy. De kan dessuten benyttes til sammenligninger med eksisterende beregningsmetode (1), og lydforplantningsdelen i nordisk industristøymetode (2). Sistnevnte er metodeunderlag for revisjon av jernbanestøy-metoden (3).

Målingene er et supplement til andre undersøkelser som er utførte de siste 10-15 årene i Norge (bl.a. ref. 4-10), og i de andre nordiske landene (bl.a. ref. 11-16). Parallelt med målingene i Norge blir det i løpet av 1993-94 gjennomført tilsvarende undersøkelser i Danmark, Finland og Sverige.

Agnes Radich Melby og Kjell Hoff fra NSB ga verdifull assistanse ved gjennomføring av målingene.

3. BANE OG TOG

Målingene i 1993 ble utført to steder på Østfoldbanen: De fleste ved Tvetter, ca. 3km nord for Vestby stasjon, resten ved et gartneri ca. 2,5km nord for Ski stasjon. Begge steder var det dobbelspor. Tvettermålingene var kombinert med målinger på to støyskjermer, og representerer den uskjermede situasjonen av målingene som er nærmere beskrevet i ref. 17. De omfattet 8 måledager i slutten av august, og begynnelsen av september 1993. Målingene ved Ski ble utført 9.september 1993.

3.1. Geometri

Ved Tvetter var banen rettlinjert. Et representativt vinkelrett snitt er vist i figur 1 (begge banesider), og figur 2 (målepunkter på vestsiden). Vestre spor er nytt, og den harde flaten som er vist ved siden av sporet er restene av en anleggsveg. Markflaten ellers kan betraktes som myk, akustisk sett.

Målestedet nord for Ski ligger i en svak kurve. Figur 3 viser et snitt fra måleposisjonene, vinkelrett på banen. Dybden på grøfta mellom spor og målepunkt er størst omkring dette snittet, og minker ut til begge sidene. Den harde marka består av hardpakket grus og sand, og benyttes normalt som parkeringsareal.

3.2. Baneoppbygning

Skinneene lå på betongsviller over pukkbullast. Begge steder lå sporet på fylling. 49kg/m skinne på begge spor nord for Ski, og på østre spor ved Tvetter. Det nye vestre spor ved Tvetter hadde 54kg/m skinne. Skinneoverflaten på dette sporet var jevn (ujevnheter mindre enn 0,05mm, ikke synlige). Østre spor hadde synlige riller med "dybde" ca. 0,05-0,3mm (bølgelengde 100-200mm), og mer uregelmessige ujevnheter, maks 0,25-0,35mm og "bølgelengde" ca. 300-600mm. Ujevnheterne ble målt med en DIN-standard presisjonslinjal og mekanisk avstandsføler med blad-tykkelse fra 0,05mm i trinn på 0,05mm oppover. Nord for Ski var siktforholdene dårlige og trafikken så stor at det ikke ble gjort forsøk på å måle ujevnheterne. Banemesteren mener at skinnene på denne strekningen ikke er blitt slipt de siste åra.

3.3. Togtypene og trafikkforholdene

Begge steder ble målingene utført på tog i vanlig rutetrafikk. Togtype, lokomotivtype, antall vogner og (delvis) vogntype ble registrert. Kjøreferd ble målt ved å registrere passeringstid mellom to punkter med kjent avstand eller ved å måle passeringstid på vogner med kjent lengde. Bare målinger på tog med tilsynelatende jevn fart er tatt med i denne rapporten. I tillegg finnes data for tog under bremsing og oppstart. De viktigste dataene er vist i tabell 1. Informasjon om vogntyper og last er registrert på mange godstog, og vogntyper på endel passasjertog. Mange tog ble filmet.

Togene ble gruppert etter type på følgende måte (alle med elektrisk drift).

GODS	=	Alle godstog
PASS	=	Langdistanse passasjertog
B65/68	=	Eldre lokaltog med typenr. 65, 67 og 68.
ICE 70	=	Nytt intercity tog
B69	=	Nyere lokaltog med dette typenr.

Noen målinger på rullende materiell med dieseldrift finnes, men er ikke tatt med i analysen.

Utenlandske målinger tyder på at tog med skivebremser gir mindre støy enn tilsvarende med klossbremser. ICE 70 har skivebremser. B69 har skivebremser + "pusseklosser". En del sitte-og sovevogner under togtype PASS har skivebremser, f.eks. typene B7, WLAB-2, og noen få B3. Registreringen av vogner er ufullstendig, men tyder på at de aller fleste hadde kloss-bremser. Ett unntak kan være de utenlandstogene som delvis var sammen-satt av svenske og tyske vogner, og som ofte bruker svenske RC lokomotiv (utstyrt med skivebremser).

Lokomotivtype EI16 har skivebremser, men ble bare registrert som trekk-kraft for godstog (med klossbremser). Noen godstog hadde også RC lokomotiv. Et eventuelt redusert lydbidrag fra lokomotivet betyr lite i forhold til bidraget fra hele toget.

4. MÅLEOPPLEGG

Målingene ble primært utført i avstand 10m fra senterlinje av nærmeste spor, og 2m over skinnetopp. Supplerende målepunkter i avstander ut til 30m ble benyttet begge steder.

Måleposisjonene er vist i figur 1-3. Alle målingene ble gjennomført på dagtid, mellom kl. 09 og kl. 20. For hvert tog ble hele togpasseringen registrert, enten på lydbånd for senere analyse, eller som et "tidsforløp" i dBA og oktavbånd 63-4000Hz direkte på en tokenals frekvensanalysator. Ett eksempel på nivåvariasjon (= tidsforløp) ved passering av et godstog, er vist i figur 15.

4.1. Måleenheter

Grunnleggende begreper er forklart i vedlegg C.

De registrerte tidsforløpene ble delt opp i intervaller, i form av en serie 1 sek. ekvivalentnivåer, som vist i figur 15. Den høyeste verdien blir registrert som maksimalt støynivå for passeringen. Maksimalt støynivå kan skyldes ett enkelt dårlig hjul, en skranglete vogn e.l. Disse "tilfeldige" del-bidragene er mest tydelige når tidsforløpet blir registrert i kort måleavstand (f.eks. 10m). På avstander større enn ca. 30m, eller når skinne og hjul er avskjermet, blir tidsforløpet jevnere og maksimalnivået bestemmes av større deler av toget.

For at maksimalnivået ikke skal bestemmes av en tilfeldig del av toget, er det hensiktsmessig å definere middelveien av støytroppene, middelmaksnivået. Dette er middelveien (ekvivalent-nivået) over "støynivå-plataet" registrert i tidsrommet fra front lokomotiv passerer målesnittet til enden av siste vogn passerer samme snitt. Midlingstiden (= passerings-tiden) tilsvarer toglengde i meter dividert med kjørefart (m/s). Av disse to målene på støytroppene er middelmaksnivået mest praktisk å bruke i beregningsmessig sammenheng, fordi det er knyttet til en kjent kildelengde.

For å kunne bestemme ekvivalent støynivå, f.eks. over ett døgn, må vi ha et mål på lydbidraget fra hele togpasseringen. Dette får vi ved å summere alle 1 sek. ekvivalentnivåer i tidsforløpet. Vi får da en ettsekunds sum som har fått navnet SEL (Sound exposure level).

Med benyttet analysemetode var det relativt lett å bestemme SEL og maksimalt støynivå, mens middelmaksnivået ble beregnet ved å dividere SEL med "passeringstiden" (toglengde dividert med fart). Dette kan bare gjøres med akseptabel nøyaktighet for måleposisjoner tett ved toget. F.eks. i 10m avstand har tidsforløpet en så klar "platåform" at nesten all lydenergien finnes innenfor "passeringstiden".

Uttrykket L_{ax} benyttes enkelte steder om A-veid SEL verdi, f.eks. i tabeller der både A-veide nivåer og oktavbåndnivåer presenteres.

4.2. Måle- og analyseutstyr

Utstyret er kort beskrevet i vedlegg A.

4.3. Værforhold. Bakgrunnsstøy

Med unntak av en kort periode med enkelte regndråper ble målingene utført i tørt, delvis skyet vær, med mye sol. Temperaturen varierte mellom 10 og 20°C, og vindstyrken mellom 0-3m/s, men periodevis med vindkast inntil ca. 4-6m/s. P.g.a. terrengforholdene var vindretningen alltid langs banen.

Bakgrunnsstøyen ved Tveter lå mesteparten av tiden under 50dB i oktavbånd, og som A-veid nivå. På det verste gav en fórhøster et støynivå på 60-65dB i 125Hz båndet, mens enkelte vindkast kunne gi ca.60-65dB ved 63Hz (1 sek. L_{ekv} -nivå).

Ved Ski forårsaket vegtrafikk bakgrunnsstøy på inntil ca. 55dbA, og en traktor (3 togpasseringer) et støynivå på ca. 60dBA.

5. ANALYSE AV MÅLERESULTAT

Totalt omfattet målingene ca. 350 togpasseringer, de aller fleste med 2 eller 4 samtidige måleposisjoner. Ca. 280 passeringer gjelder målepunktene i 10m avstand og de togtypene som er beskrevet i avsnitt 3.3. Resultatene for de enkelte passeringene fins i tabell 1. (Tilgjengelig som eget rapport-tillegg sammen med tabell 2 og 3). For å kunne sammenligne de ulike togpasseringene og bestemme middel-verdien som funksjon av kjørefart, er SEL og middelmaks-nivåene:

- Omregnet (normaliserte) til en måleavstand = 10m for å eliminere den avstandsbestemte forskjellen mellom tog som passerte på vestre og østre spor. Innvirkning av mark forutsettes å være lik for begge togposisjonene.
- Omregnet til én toglengde = 100m.
- Togpasseringene gruppert i fartsintervaller 30-50, 51-70 og 71-90km/t, o.s.v. Standard-avvik og middelverdier er beregnet.

Maksimalnivåene ble ikke normalisert, men vises som målte verdier. Resultatene er vist i tabell 2, der togene er grupperte etter type og fartsintervall. (Se eget rapport-tillegg).

6. RESULTATENE

6.1. dB(A). 10m avstand

Middelverdien av normalisert SEL,dBA for de ulike fartsintervallene er vist som funksjon av kjørefart i figur 4, for hver togtype. Måleresultatene er vist sammen med beregnet verdi fra Nordisk beregningsmetode for togtypekorreksjon lik 0dB, (ref.1). Togtypene GODS, PASS og B65/68 skal ha typekorreksjon 0dB, og B69 skal ha -3dB, ifølge beregningsmetoden. Samsvaret mellom beregning og måling er bra. De nye ICE 70 togene gir omtrent samme støynivå som B69. Grupper som omfatter få tog, bør ikke tillegges stor vekt.

Dersom vi ser bort fra fartsintervall med bare én togpassering, ligger målte verdier stort sett innenfor ca. ± 2 dB. Unntak gjelder for PASS og B69 i intervallet 51-70km/t, der begge ligger ca. 4dB under beregnet nivå.

Tabellen under figuren viser middelverdien og antall målte tog i hvert fartsintervall,. Tilsvarende verdier for middelmaks, dBA, er gitt i figur 5. Middelmaks er her sammenlignet med maksimalt støynivå fra beregningsmetoden. En sammenligning av resultatene for alle målte tog viser at det er stor forskjell mellom de mest og de minst støyende, innenfor hver togtype, (se figur B1-B3, vedlegg B). Her ligger fremdeles et vesentlig støyreduksjonspotensiale på eksisterende, rullende materiell, nå som for 10 år siden (ref.7).

Sammenligningen med beregningsmetoden og en første sammenligning med tidligere måledata, tyder ikke på at togtrafikken er blitt mer stillegående i denne perioden.

Figur 4 og 5 viser energimiddel av målte verdier. Energimiddelverdien ligger litt høyere enn den aritmetiske middelverdien. Når standardavviket av målte verdier er mindre enn ca. 2dB, vil tillegget være mindre enn 0,5dB. Når standardavviket øker til ca. 4dB, blir tillegget 1,5-2dB. Energimiddelverdien skal benyttes ved sammenligning med beregnet ekvivalentnivå. Middelmaks-nivået bør derfor trolig også defineres slik at det tilsvarer energimiddelverdien av mange togpasseringer. Det er gjort her.

6.2. Spektralfordeling, 10m avstand

Energimiddelverdien av støynivå i oktavbånd er presentert på to måter:

- I figur 6-12 for enkeltfrekvenser etter tur, som funksjon av kjørefart for hver togtype. Her er uveide oktavnivåer vist, relativt tilsvarende A-veide nivåer fra figur 4 og 5. (D.v.s. at når verdien for B69 ved 63Hz og 100km/t er gitt som -10,1dB, er den absolutte SEL-verdien $96,3 - 10,1 = 86,2$ dB, og tilsvarende middelmaks verdi $90,7 - 10,1 = 80,6$ dB i dette oktavbåndet). Figur 6-12 kan således brukes til å finne både SEL og middelmaks oktavbånd-verdier.
- I vedlegg B er de uveide oktavbåndspektra (SEL-absolutte verdier) vist for hver togtype som funksjon av kjørefart (B5-B9).

I begge tilfeller gjelder at noen av verdiene er svært usikre p.g.a. få tog i det aktuelle fartsintervallet. Antall tog er gitt i tabelldelen av figur 6-12. Disse figurene viser ellers at togtypene PASS og B65/68 gir klart mindre lavfrekvent lyd enn de andre typene (figur 6-8). Støynivået ved disse frekvensene og 500Hz reduseres med økende fart, men øker ved 1000Hz. 500 og 1000Hz gir de høyeste oktavbånd-nivåene.

6.3. Maksimalt støynivå

Det støynivået som registreres tett ved en bane, varierer ikke bare som funksjon av kjørefart, togtype og frekvens. Støynivået varierer også under selve togpasseringen. Desto finere tidsoppløsning og kortere måleavstand som brukes, desto mer detaljinformasjon om hver vogn, hver boggie, hvert hjul og hver ujevnhet på skinne og hjul, kan framskaffes. Bl.a. for å begrense datamengden ble det valgt å bruke en minste tidsoppløsning på 1 sekund under måling og analyse. De støytoppene som da framkommer, tilsvarer nokså nøyaktig de verdiene som kan måles med meterinnstilling "SLOW". Fra en sjenansmessig betraktningvinkel kan det være ønskelig å registrere støytoppene med den "raskere" meterinnstillingen "FAST", som omtrent tilsvarer en tidsoppløsning på 0,1sek.

Figur 13 og 14 viser eksempler på to togpasseringer som ble registrert på lydbånd, og som etterpå er analysert både med 0,1sek. og 1sek. tidsoppløsning (midlingstid). Disse og andre sammenligninger viser at forskjellen mellom de registrerte støytoppene i det A-veide tidsforløpet typisk ligger på 1-3dB i 10m avstand fra toget. Når avstanden øker til ca. 30m blir detaljene i tidsforløpet borte, og forskjellen reduseres.

Dersom middelmaks-nivået skal benyttes som et mål på støytoppene, er det også interessant å se på forskjellen mellom middelmaks og den høyeste støytoppen som framkommer ved bruk av 1 sek. tidsoppløsning, se figur 16. De største differansene ligger på ca. 4dB. Forskjellen blir i mange tilfeller negativ. Dette skyldes metoden for beregning av middelmaks, feil ved registrering av kjørefart og i beregning av tog lengde.

7. STØYNIVÅ I ANDRE AVSTANDER

Som underlag for sammenligning med lydforplantingsmodellen i ref. 2, er de viktigste resultatene fra 20 og 30m avstand og noen ulike høgder tatt med i figur 17-19. Forskjellen i A-veide nivåer og oktavbåndnivåer er beregnet for alle togpasseringer som utgangspunkt for å finne aritmetisk middelværdi og standardavvik (av differansen). Figurene viser primært resultatene for SEL dBA, mens tabellen i figur 17 og tabell 3 viser middelværdier. Sistnevnte viser også resultater for enkelttog. (Se eget rapport-tillegg).

8. SLUTTORD

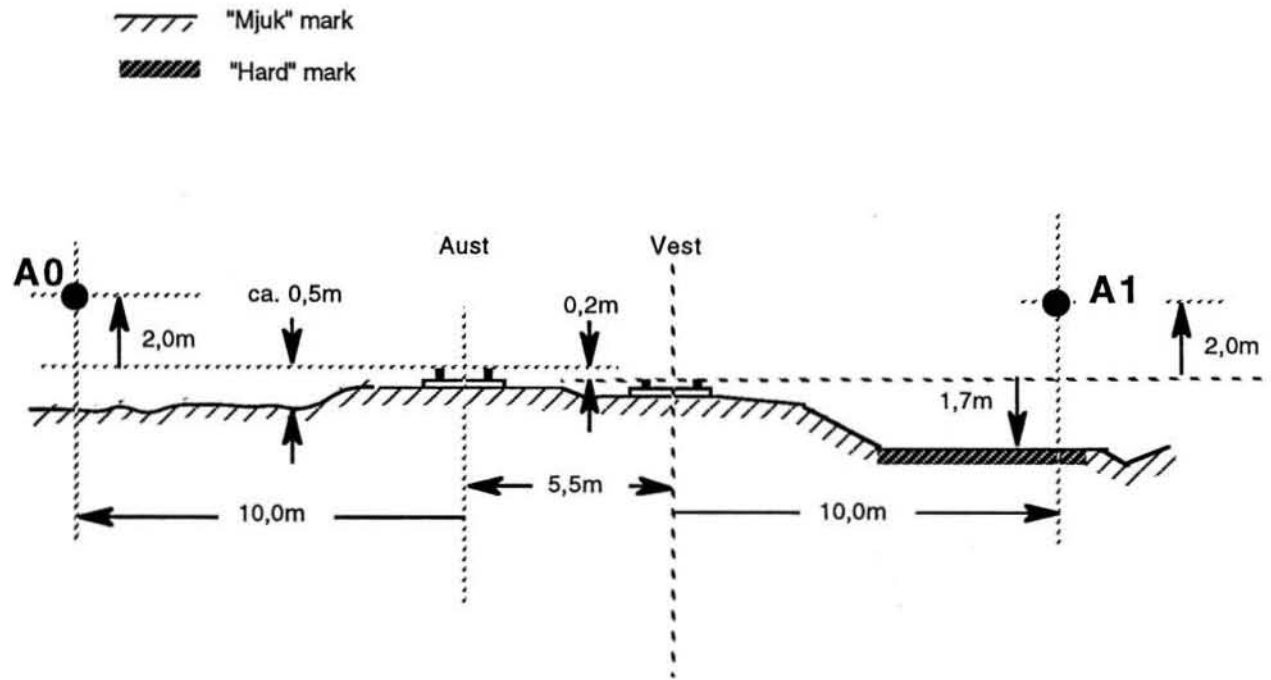
Før disse resultatene brukes som grunnlag i den reviderte nordiske beregningsmetoden, vil de bli supplerte med resultater fra andre målinger på norske tog og data for høgfartstog i utlandet.

Resultater bør suppleres med målinger på togtype B92, som det ikke var praktisk mulig å inkludere i 1993-målingene. Videre mangler fremdeles data for låg kjørefart (viktig for mange beregningssituasjoner nær stasjoner).

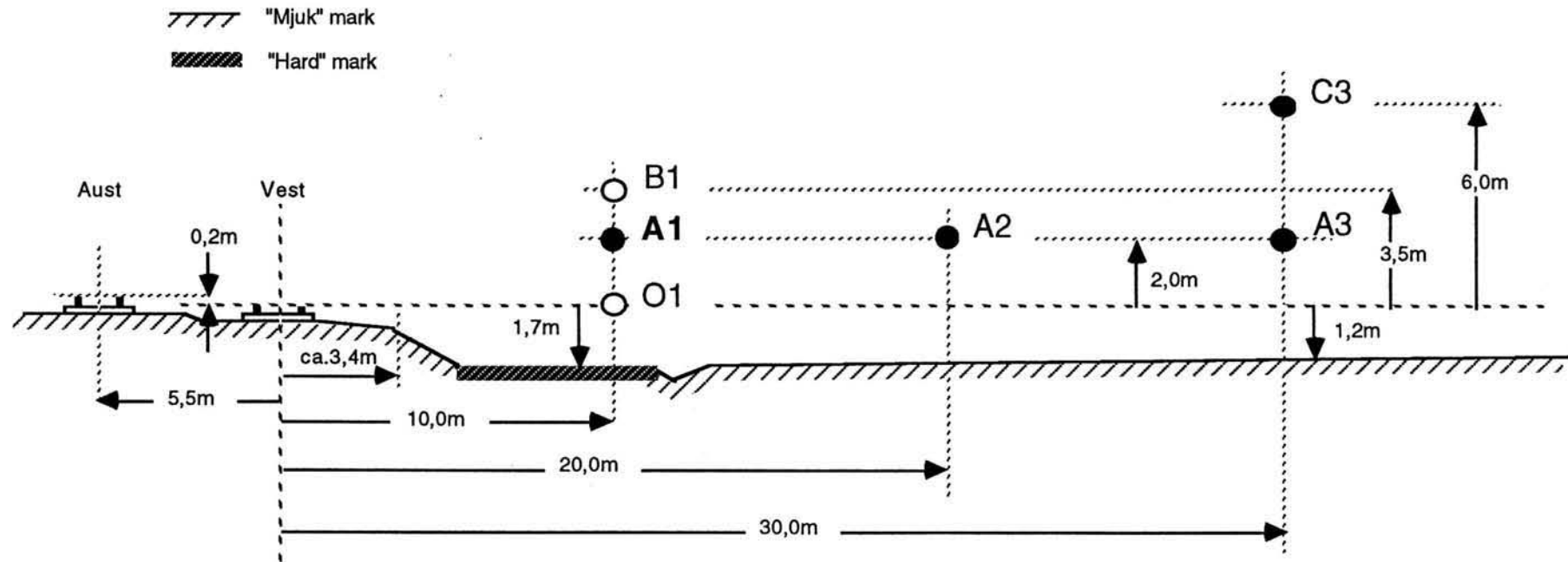
9. REFERANSER

1. M.RINGHEIM ET AL:
Støy fra skinnegående trafikk.
KILDE rapport R67, 2.utg. Voss, 1983.
SFT/NSB, Oslo 1984, og tilsvarende utgaver i de andre nordiske land.
2. J.KRAGH ET AL:
Environmental noise from industrial plants.
Lydteknisk Laboratorium, Lyngby, 1982.
3. M.RINGHEIM:
Revisjon av nordisk reknemetode for jernbanestøy.
KILDE rapport R634, Voss, 1993.
4. O.SOLBAKKEN AND A.USTAD:
Måling av jernbanestøy, Melhus 1977.
Akustisk Laboratorium, rapport STF44-A78021, Trondheim, 1978.
5. M.RINGHEIM:
Støymåling på skinnegående trafikk.
KILDE rapport R43, Voss, 1981.
6. M.RINGHEIM:
Støymessig effekt av skinnerliping.
KILDE rapport R103, Voss, 1984.
7. M.RINGHEIM:
Noise measurements on electrically driven trains.
KILDE rapport R148, Voss, 1985.
8. M.RINGHEIM:
Måling av direktivitet i lydavstråling frå elektrisk drevne tog.
KILDE rapport R323, Voss, 1989.

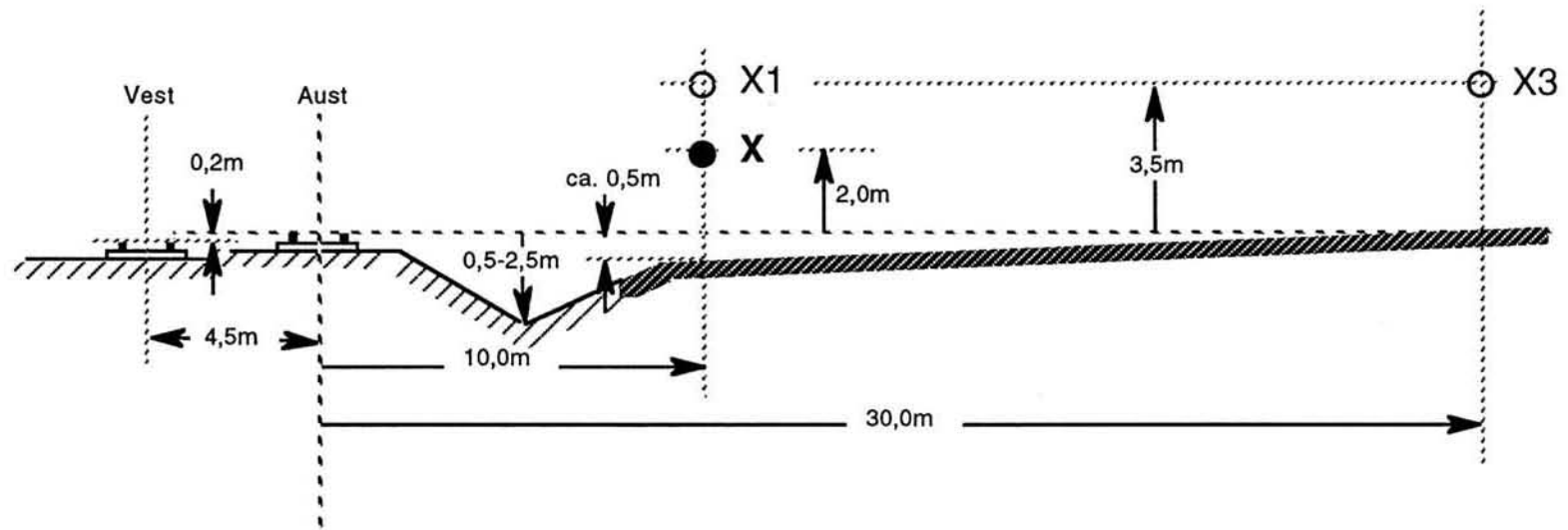
9. M.RINGHEIM:
Støyreduksjon ved bruk av låge skjermar.
KILDE rapport R616N, Voss, 1992.
10. S.SOLBERG:
Bakgrunnsstøy og togstøy i Moss.
KILDE rapport R655, Voss, 1993.
11. J.KRAGH AND O.CARLSEN:
Støy fra accelererende tog.
Lydteknisk Lab., Rapport LL 1260/82, Lyngby, 1982.
12. T.LATHI:
Outdoor noise measurements compared with predictions by Nordic models.
VTT, research note 300, Espoo, 1984.
13. T.STRØM:
Buller från snabbtåg. SP rapport 1991:43, Borås, 1991.
14. T.STRØM:
Buller från persontåg i høga hastigheter, SP rapport 1992:01, Borås, 1992.
15. J.TH.CHRISTENSEN:
Hjul-skinne-støyprosjektet "Runde hjul og glatte skinner".
DSB måleteknik rapport nr. MO 38/92. København, 1992.
16. T.STRØM:
Buller från persontåg i låga hastigheter. SP rapport 1993:37, Borås, 1993.
17. M.RINGHEIM:
Støyreduksjon ved bruk av låge skjermar. Rapport under arbeid.



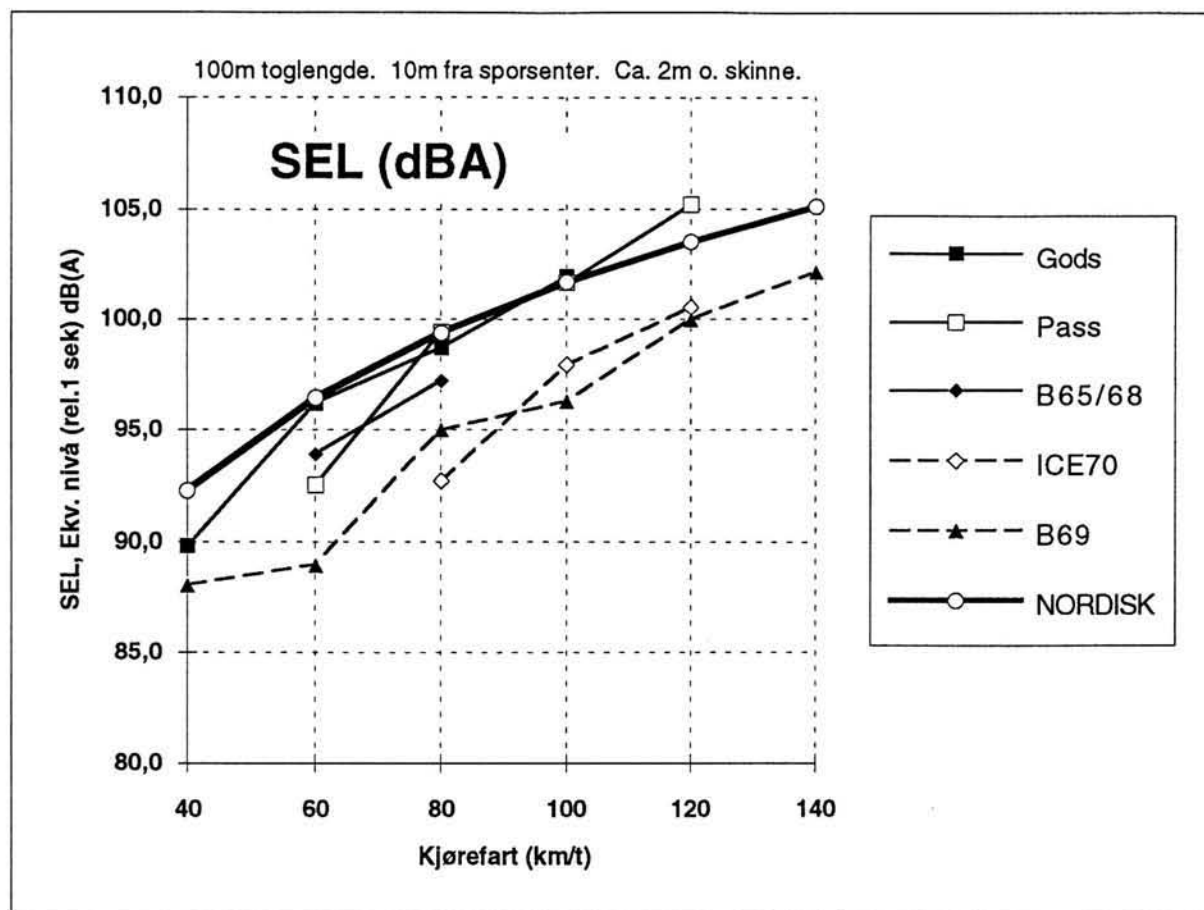
FIGUR 1.
MÅLEPOSISJONER, GEOMETRI OG MARKFORHOLD.
TVETER 1993



FIGUR 2.
ALLE MÅLEPOSISJONER PÅ VESTSIDEN AV BANEN.
GEOMETRI OG MARKFORHOLD.
TVETER 1993



FIGUR 3.
MÅLEPOSISJONER, GEOMETRI OG MARKFORHOLD.
ÅS (Ved gartneri) 1993.

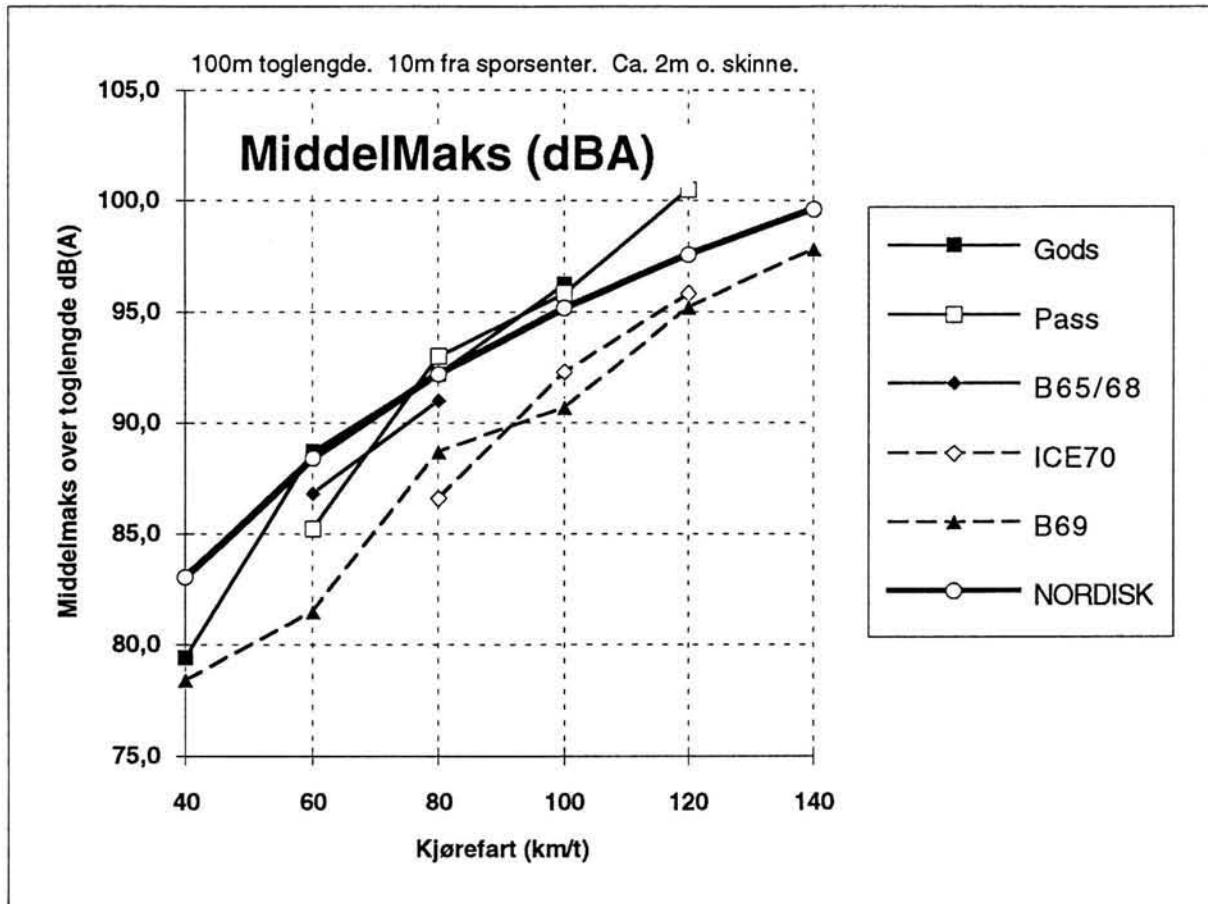


Energi middel av SEL ekv. støynivå. Antall målte tog.						
	Kjørefart km/t					
	40	60	80	100	120	140
Gods	89,8	96,2	98,7	101,9		
	1	20	20	2		
Pass		92,5	99,4	101,6	105,2	
		2	36	22	5	
B65/68		93,9	97,2			
		1	7			
ICE70			92,7	97,9	100,5	
			1	12	8	
B69	88,1	89,0	95,0	96,3	100,0	102,1
	2	7	23	77	27	10
NORDISK	92,3	96,4	99,4	101,6	103,5	105,1

Figur 4.

Ekvivalent støynivå (SEL) for togpassering, som funksj. av kjørefart.

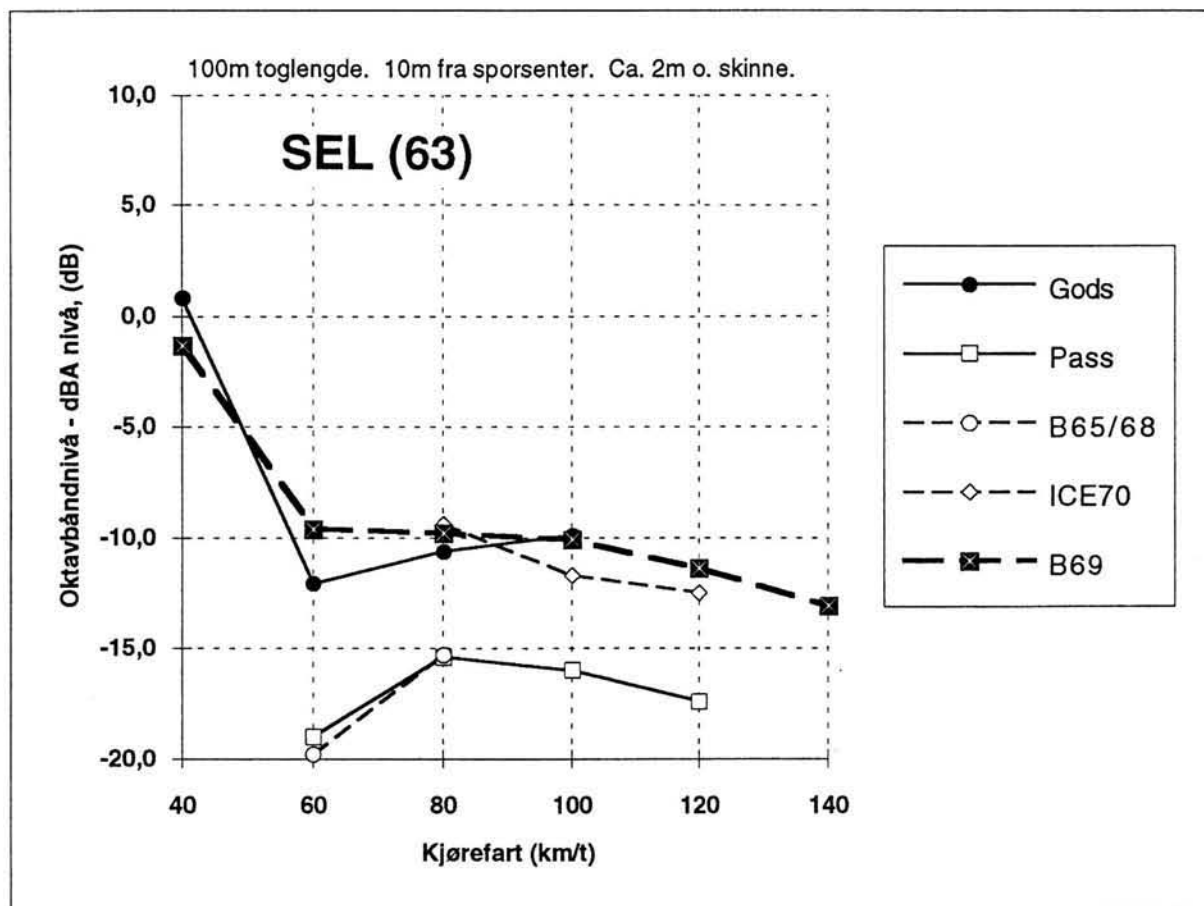
Sammenligning mellom målte verdier for ulike togtyper og 1983/84 utgaven av Nordisk beregningsmetode for jernbanestøy med togtypekorreksjon = 0 dB.



Energi middel av Middelmaks støynivå. Antall målte tog.							
	Kjørefart km/t						
	40	60	80	100	120	140	
Gods	79,4	88,7	92,2	96,2			dB(A)
	1	20	20	2			ant. tog
Pass		85,2	93,0	95,8	100,5		dB(A)
		2	36	22	5		ant. tog
B65/68		86,8	91,0				dB(A)
		1	7				ant. tog
ICE70			86,6	92,3	95,8		dB(A)
			1	12	8		ant. tog
B69	78,4	81,5	88,7	90,7	95,2	97,8	dB(A)
	2	7	23	77	27	10	ant. tog
NORDISK	83,0	88,4	92,2	95,2	97,6	99,6	dB(A)

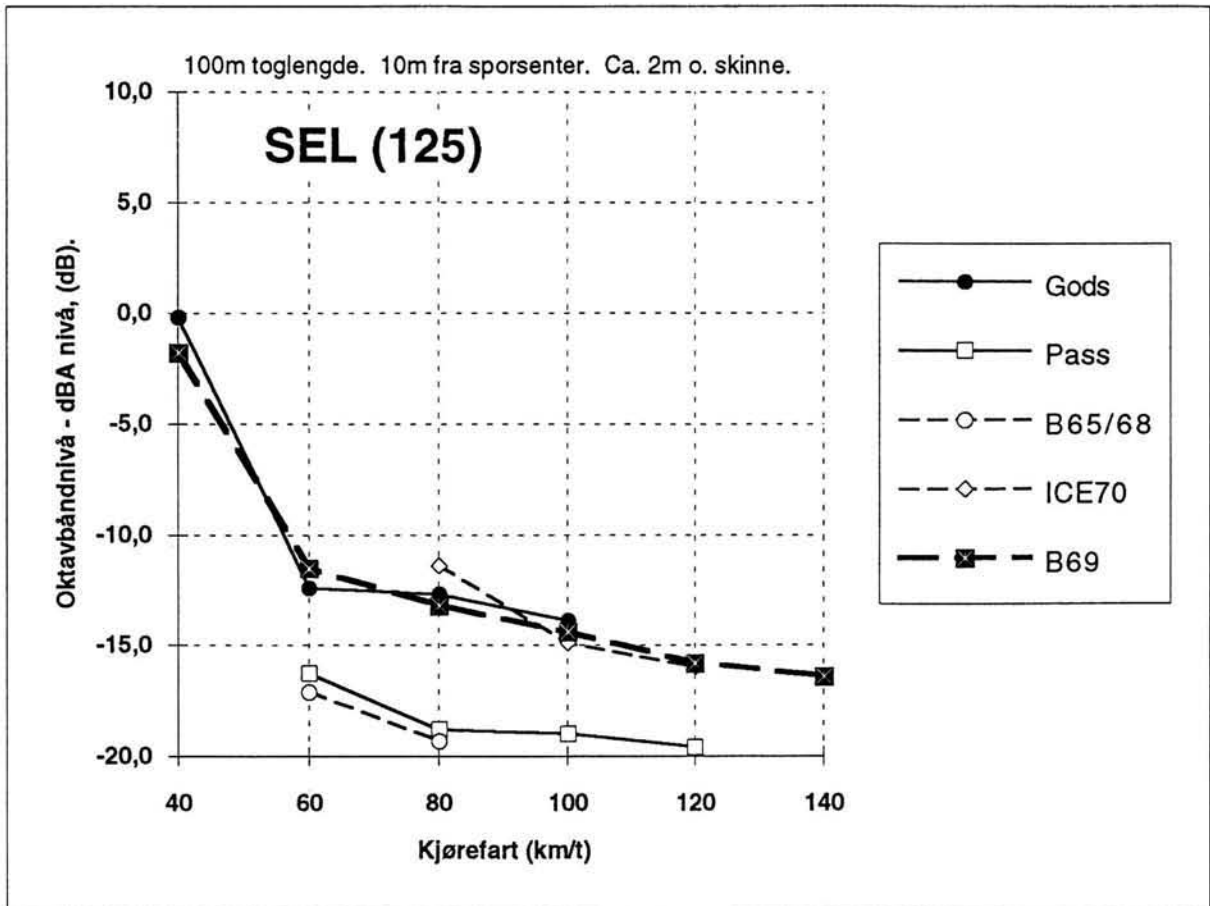
Figur 5.

"Middelmaks" støynivå for togpassering, som funksjon av kjørefart.
 Sammenligning mellom målte verdier for ulike togtyper og 1983/84 utgaven av Nordisk beregningsmetode for jernbanestøy med togtypekorleksjon = 0 dB.



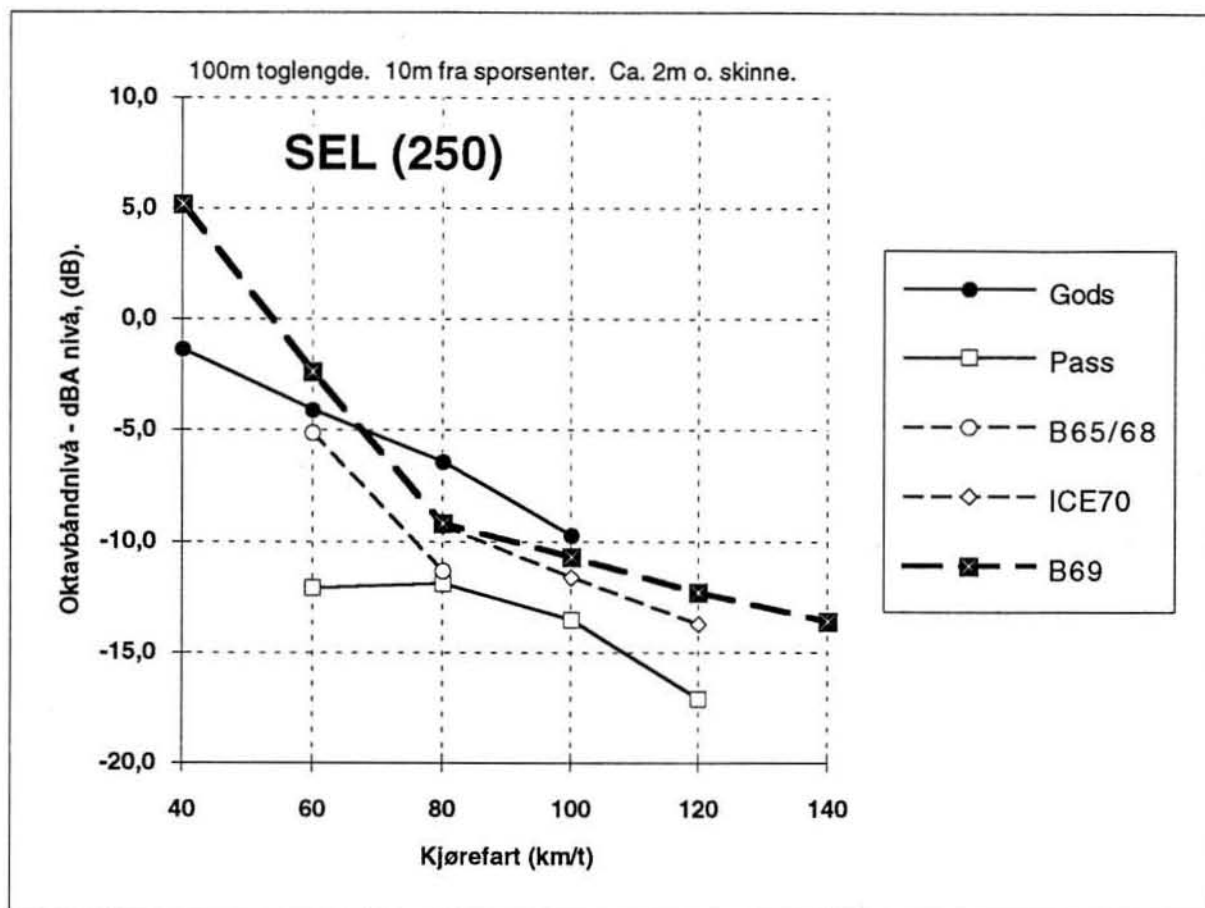
Oktavbåndnivå - dBA nivå. Antall målte tog.							
Kjørefart km/t							
	40	60	80	100	120	140	
Gods	0,8	-12,1	-10,6	-9,9			dB
	1	19	20	2			ant. tog
Pass		-19,0	-15,4	-16,0	-17,4		dB
		2	36	22	5		ant. tog
B65/68		-19,8	-15,3				dB
		1	7				ant. tog
ICE70			-9,4	-11,7	-12,5		dB
			1	12	8		ant. tog
B69	-1,3	-9,6	-9,8	-10,1	-11,4	-13,1	dB
	2	7	23	76	27	11	ant. tog

Figur 6.
Ekvivalent støynivå (SEL) i oktavbånd 63 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



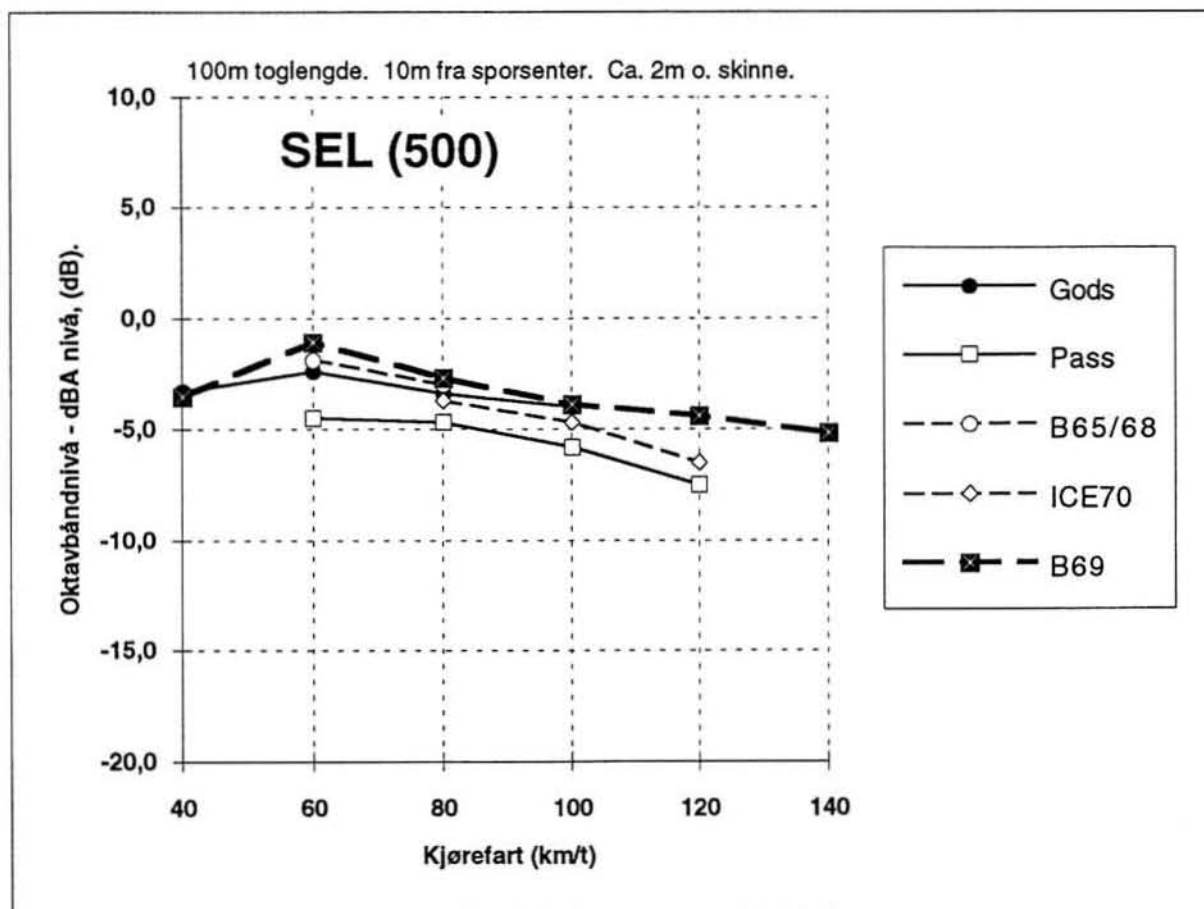
Oktavbåndnivå - dBA nivå. Antall målte tog.							
	Kjørefart km/t						
	40	60	80	100	120	140	
Gods	-0,2	-12,4	-12,7	-13,9			dB
	1	19	20	2			ant. tog
Pass		-16,3	-18,8	-19,0	-19,6		dB
		2	36	22	5		ant. tog
B65/68		-17,1	-19,3				dB
		1	7				ant. tog
ICE70			-11,4	-14,9	-16,0		dB
			1	12	8		ant. tog
B69	-1,8	-11,5	-13,2	-14,4	-15,8	-16,4	dB
	2	7	23	76	27	11	ant. tog

Figur 7.
Ekvivalent støynivå (SEL) i oktavbånd 125 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



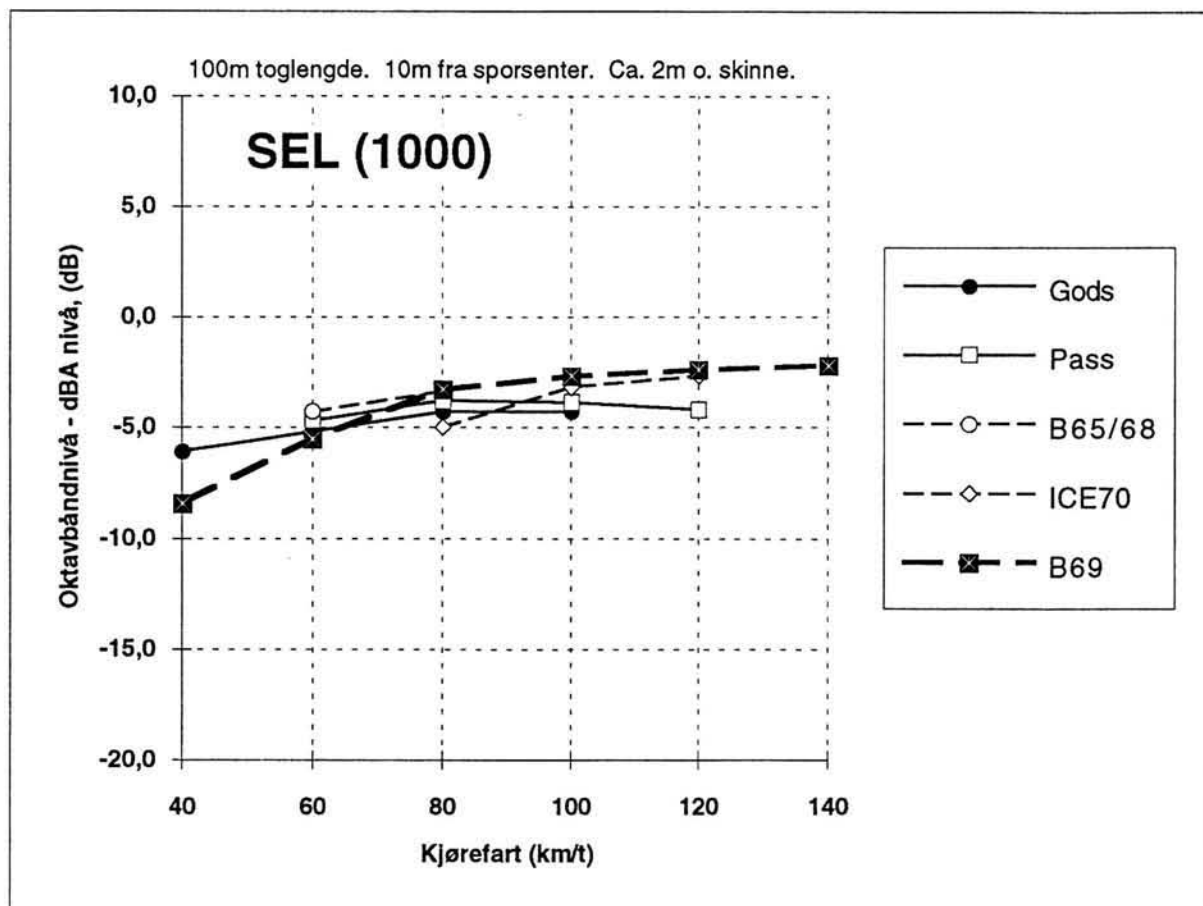
Standardavvik av Middelmaks støy nivå. Antall målte tog.							
Kjørefart km/t							
	40	60	80	100	120	140	
Gods	-1,4	-4,1	-6,4	-9,7			dB
	1	19	20	2			ant. tog
Pass		-12,1	-11,9	-13,5	-17,1		dB
		2	36	22	5		ant. tog
B65/68		-5,1	-11,3				dB
		1	7				ant. tog
ICE70			-9,3	-11,6	-13,7		dB
			1	12	8		ant. tog
B69	5,2	-2,4	-9,2	-10,7	-12,3	-13,6	dB
	2	7	23	76	27	11	ant. tog

Figur 8.
Ekvivalent støy nivå (SEL) i oktavnband 250 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



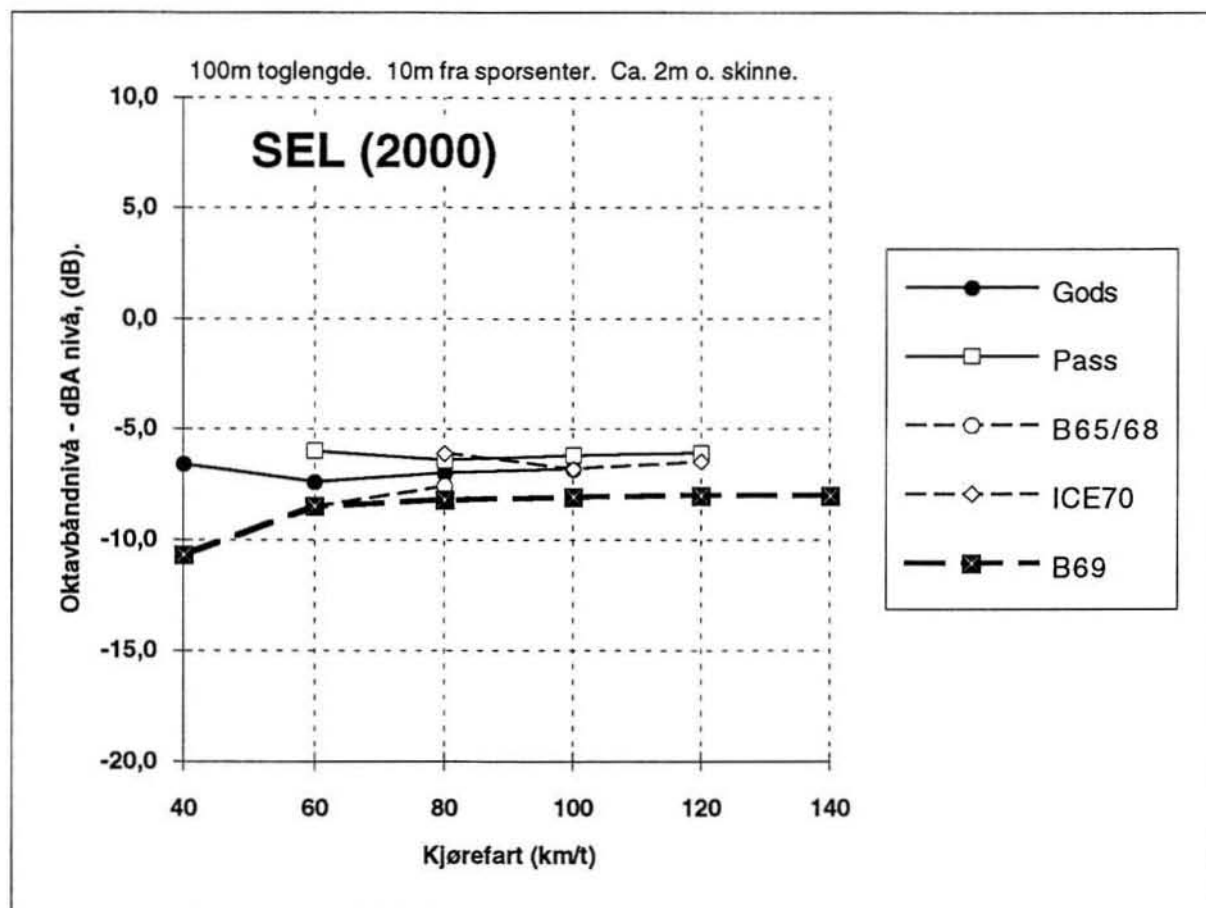
Oktavbåndnivå - dBA nivå. Antall målte tog.							
	Kjørefart km/t						
	40	60	80	100	120	140	
Gods	-3,3	-2,4	-3,4	-4,0			dB
	1	19	20	2			ant. tog
Pass		-4,5	-4,7	-5,8	-7,5		dB
		2	36	22	5		ant. tog
B65/68		-1,9	-3,0				dB
		1	7				ant. tog
ICE70			-3,7	-4,7	-6,5		dB
			1	12	8		ant. tog
B69	-3,5	-1,1	-2,7	-3,9	-4,4	-5,2	dB
	2	7	23	76	27	11	ant. tog

Figur 9.
Ekvivalent støynivå (SEL) i oktavbånd 500 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



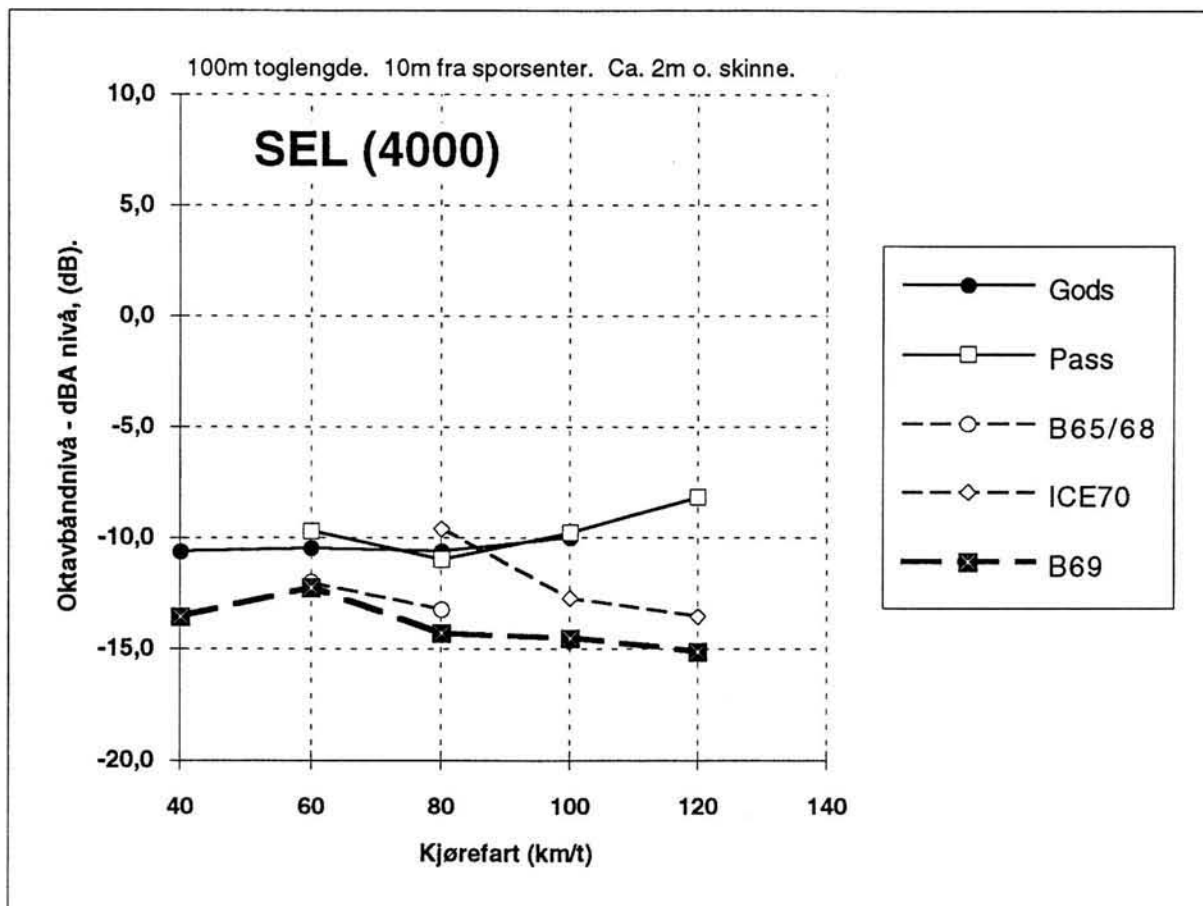
Oktavbåndnivå - dBA nivå. Antall målte tog.							
	Kjørefart km/t						
	40	60	80	100	120	140	
Gods	-6,1	-5,2	-4,3	-4,3			dB
	1	19	20	2			ant. tog
Pass		-4,7	-3,8	-3,9	-4,2		dB
		2	36	22	5		ant. tog
B65/68		-4,3	-3,4				dB
		1	7				ant. tog
ICE70			-5,0	-3,2	-2,7		dB
			1	12	8		ant. tog
B69	-8,4	-5,5	-3,3	-2,7	-2,4	-2,2	dB
	2	7	23	76	27	11	ant. tog

Figur 10.
Ekvivalent støynivå (SEL) i oktavbånd 1000 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



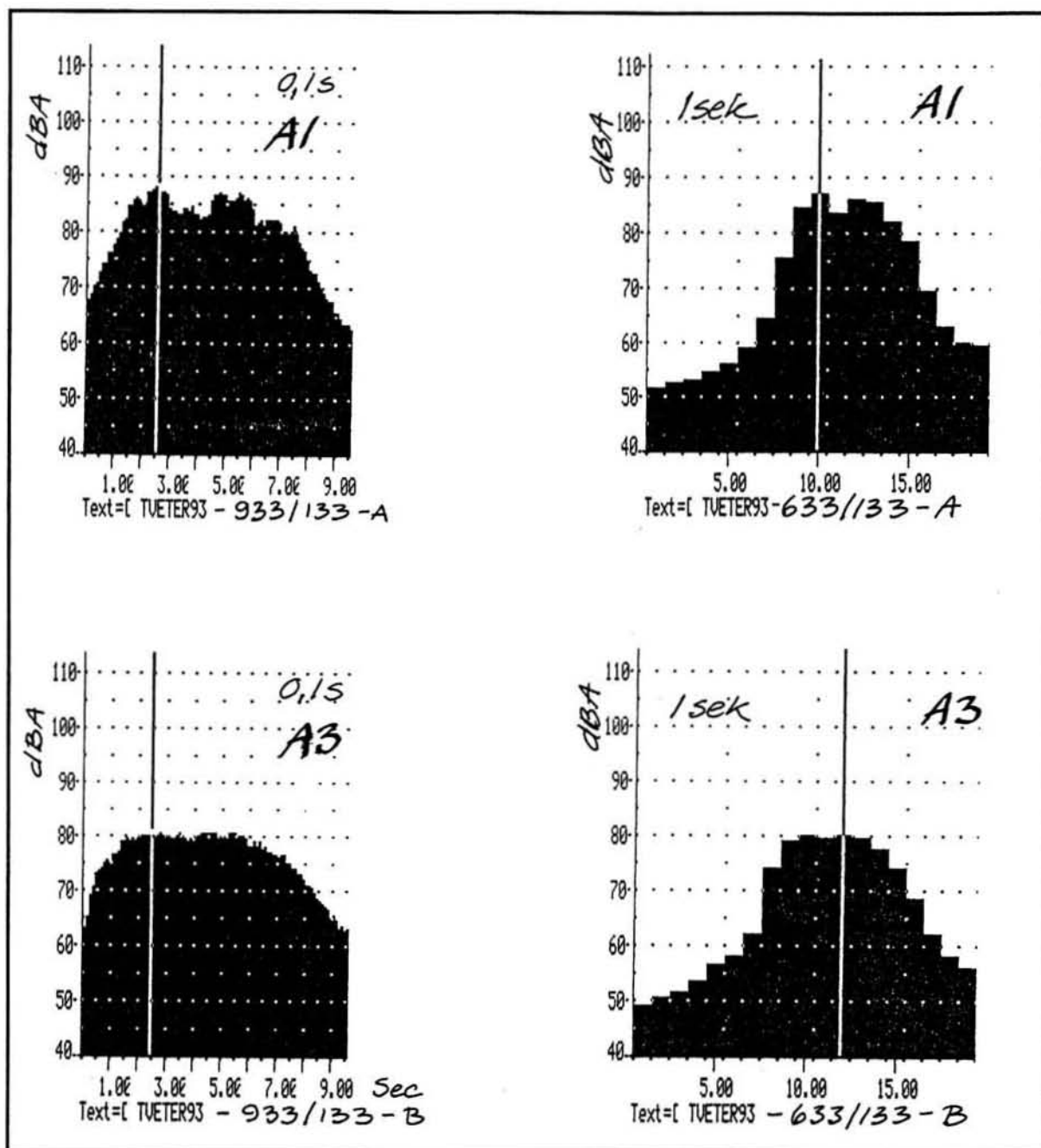
Oktafbåndnivå - dBA nivå. Antall målte tog.							
	Kjørefart km/t						
	40	60	80	100	120	140	
Gods	-6,6 1	-7,4 19	-7,0 20	-6,8 2			dB ant. tog
Pass		-6,0 2	-6,4 36	-6,2 22	-6,1 5		dB ant. tog
B65/68		-8,5 1	-7,6 7				dB ant. tog
ICE70			-6,1 1	-6,8 12	-6,5 8		dB ant. tog
B69	-10,7 2	-8,5 7	-8,2 23	-8,1 76	-8,0 27	-8,0 11	dB ant. tog

Figur 11.
Ekvivalent støynivå (SEL) i oktafbånd 2000 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



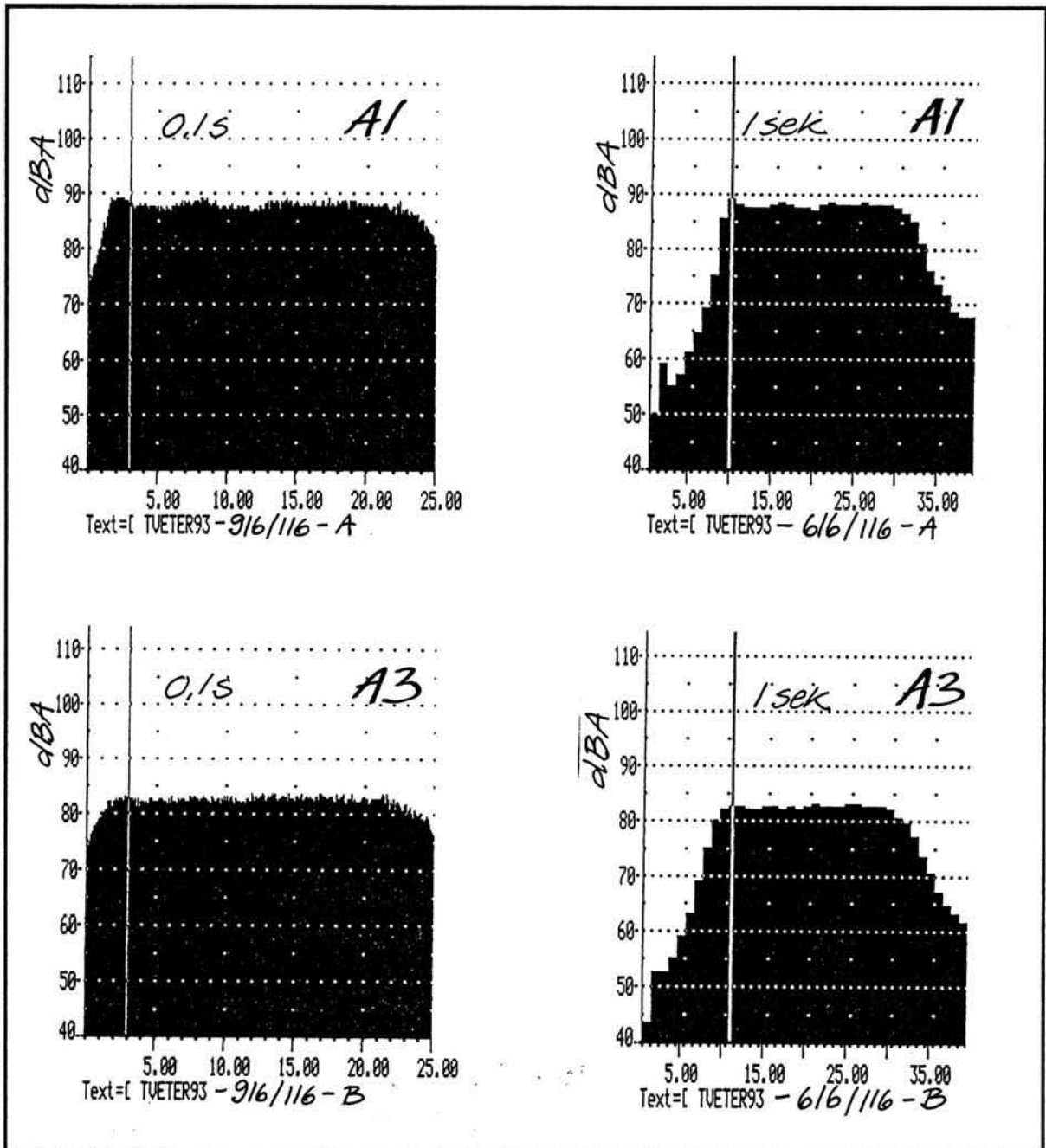
Oktavbåndnivå - dBA nivå. Antall målte tog.						
	Kjørefart km/t					
	40	60	80	100	120	140
Gods	-10,6	-10,5	-10,6	-10,0		
	1	19	20	2		
Pass		-9,7	-11,0	-9,8	-8,2	
		2	36	22	5	
B65/68		-12,0	-13,2			
		1	7			
ICE70			-9,6	-12,7	-13,5	
			1	12	8	
B69	-13,5	-12,2	-14,3	-14,5	-15,1	
	2	7	23	76	27	11

Figur 12.
Ekvivalent støynivå (SEL) i oktavbånd 4000 Hz rel. tilsvarende dB(A) nivå, som funksjon av kjørefart.



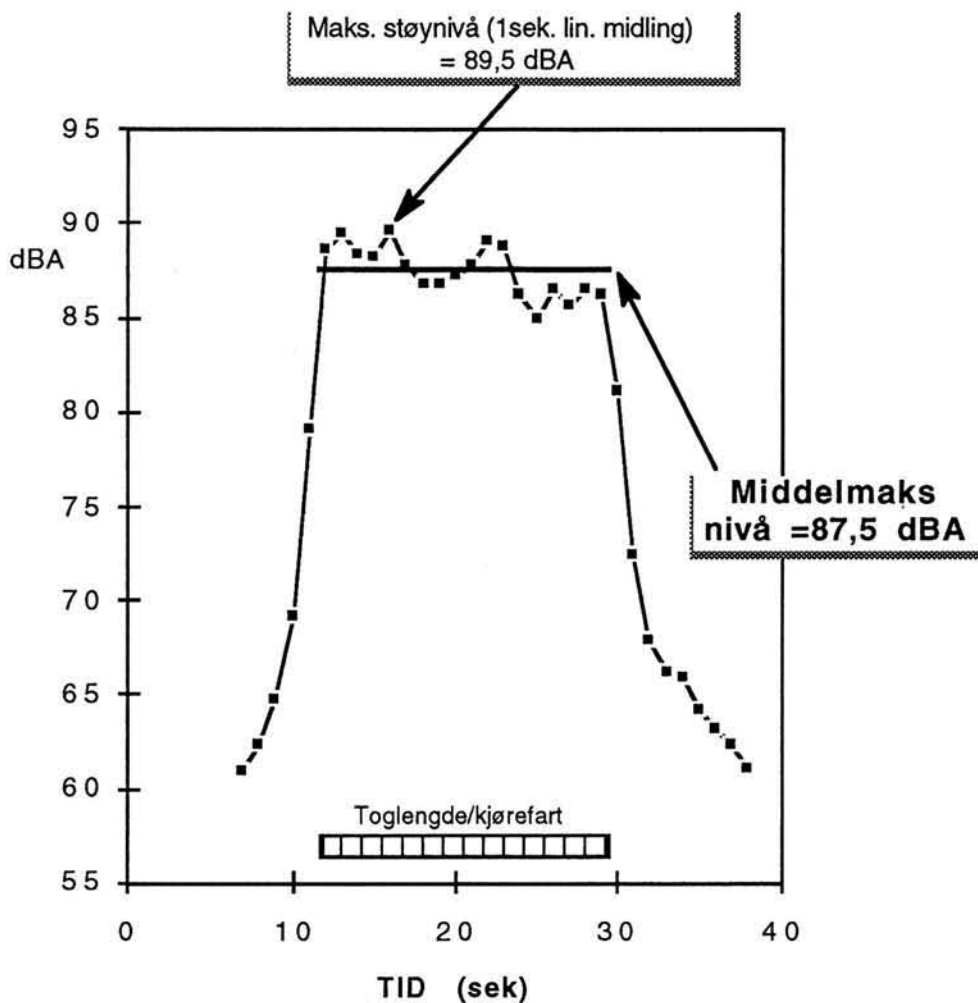
Tog nr 133. B69 lokaltog, 6 vogner, ca. 150 m lengde. Kjørefart ca.90 km/t på vestre spor

Figur 13.
Eksempel på ujevnt tidsforløp for støy ved en togpassering.
 Samme tog sammenliknet med tidsoppløsning 0,1 og 1,0 sekund
 lin. middel (Lekv), dBA.
 Målepunkt A1 i 10m avstand, A3 i 30m avstand.



Tog nr 116. Godstog med E14 lokomotiv og 29 tomme flatvogner, ca. 420 m lengde.
Kjørefart ca. 68 km/t på austre spor

Figur 14.
Eksempel på jevnt tidsforløp for støynivå ved togpassering.
 Målepunkt A1 i 10m avstand, A3 i 30m avstand.
 Tidsoppløsning 0,1 og 1,0 sekund (lin. middel = Lekv, dBA)

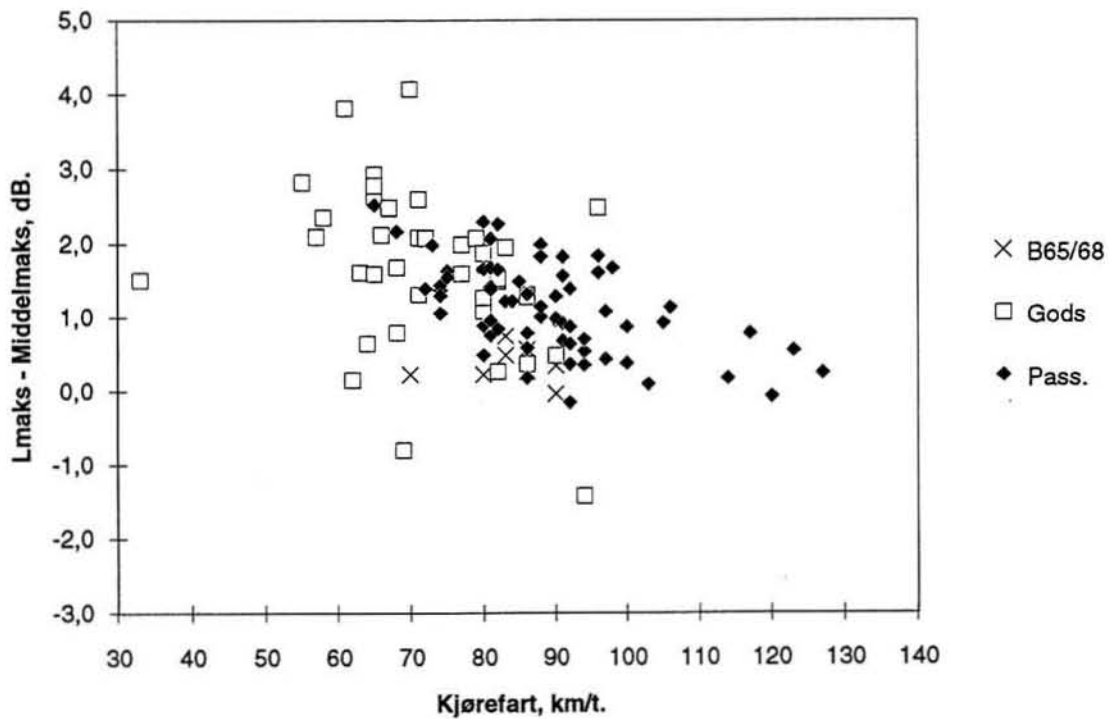
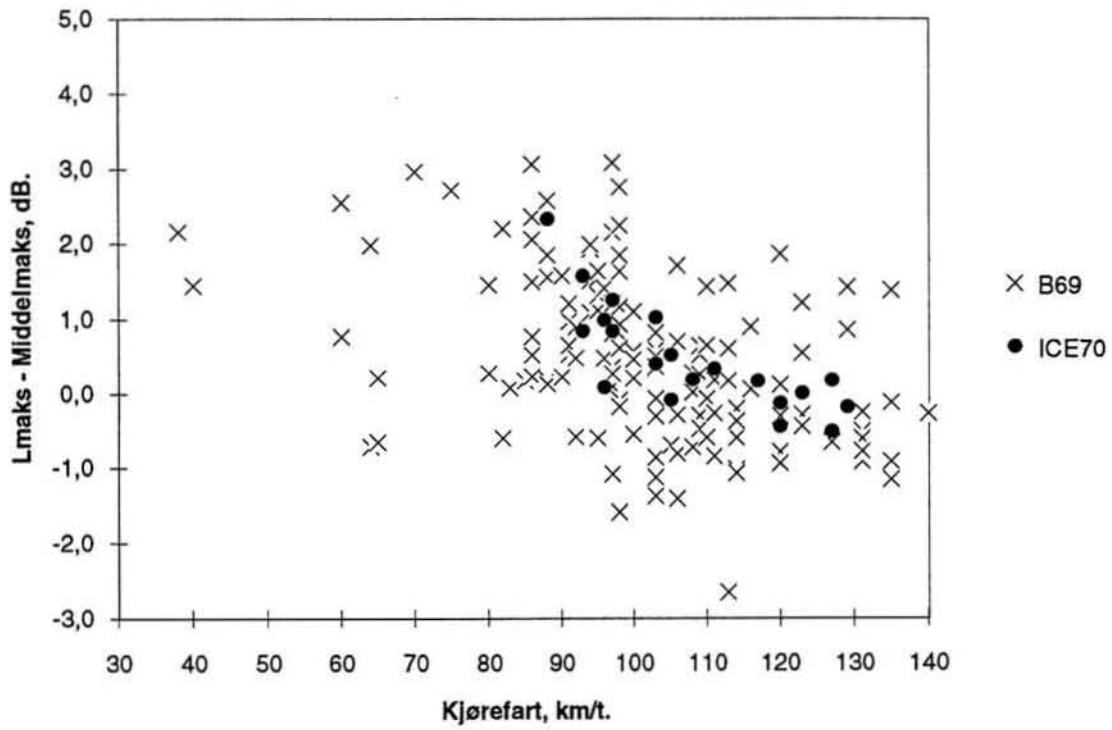


FIGUR 15.
Eksempel på tidsforløp, maksimalt støynivå og "middelmaks" støynivå for et godstog. Måleposisjon A1.

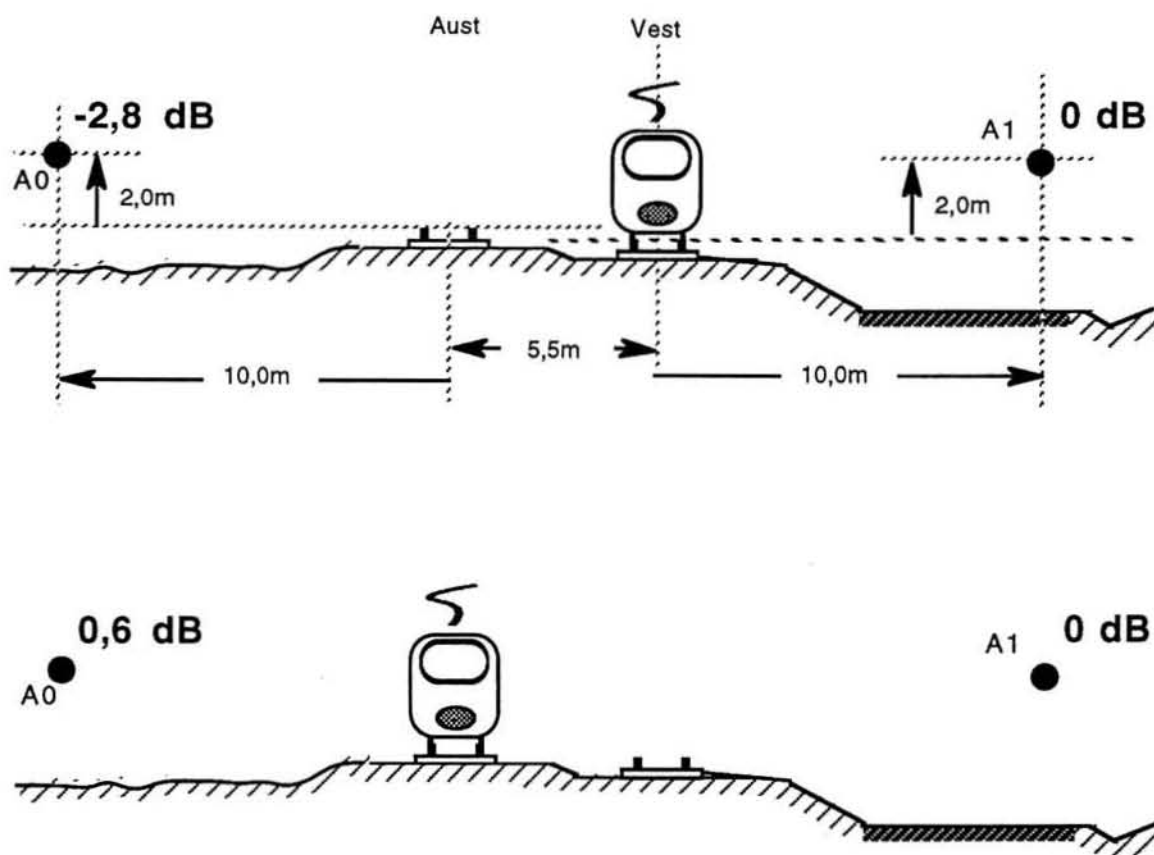
Tidsforløpet er registrert som en serie nivåer , hver med ett sekunds midlingstid (ett sek. lineær midling = ekvivalent lydnivå over 1 sek.)). Uttrykket **maksimalt støynivå** for togpasseringen blir brukt om den høyeste av disse verdiene.

Middelverdien over selve passeringstiden kalles **middelmaks-nivået**, dvs. ekvivalent lydnivå over passeringstiden (her er ca. 19 sek.).

I tillegg brukes måle-enheten **SEL** ("Sound exposure level") som er ekvivalent lydnivå for hele tidsforløpet , normalisert til ett sekund. Dette tilsvarer en energimessig summasjon av alle enkeltverdiene i tidsforløpet. I dette tilfellet blir SEL = 100,5 dBA.



FIGUR 16.
Differansen mellom Lmaks og Middelmaks, dBA
Før normalisering. Begge spor.

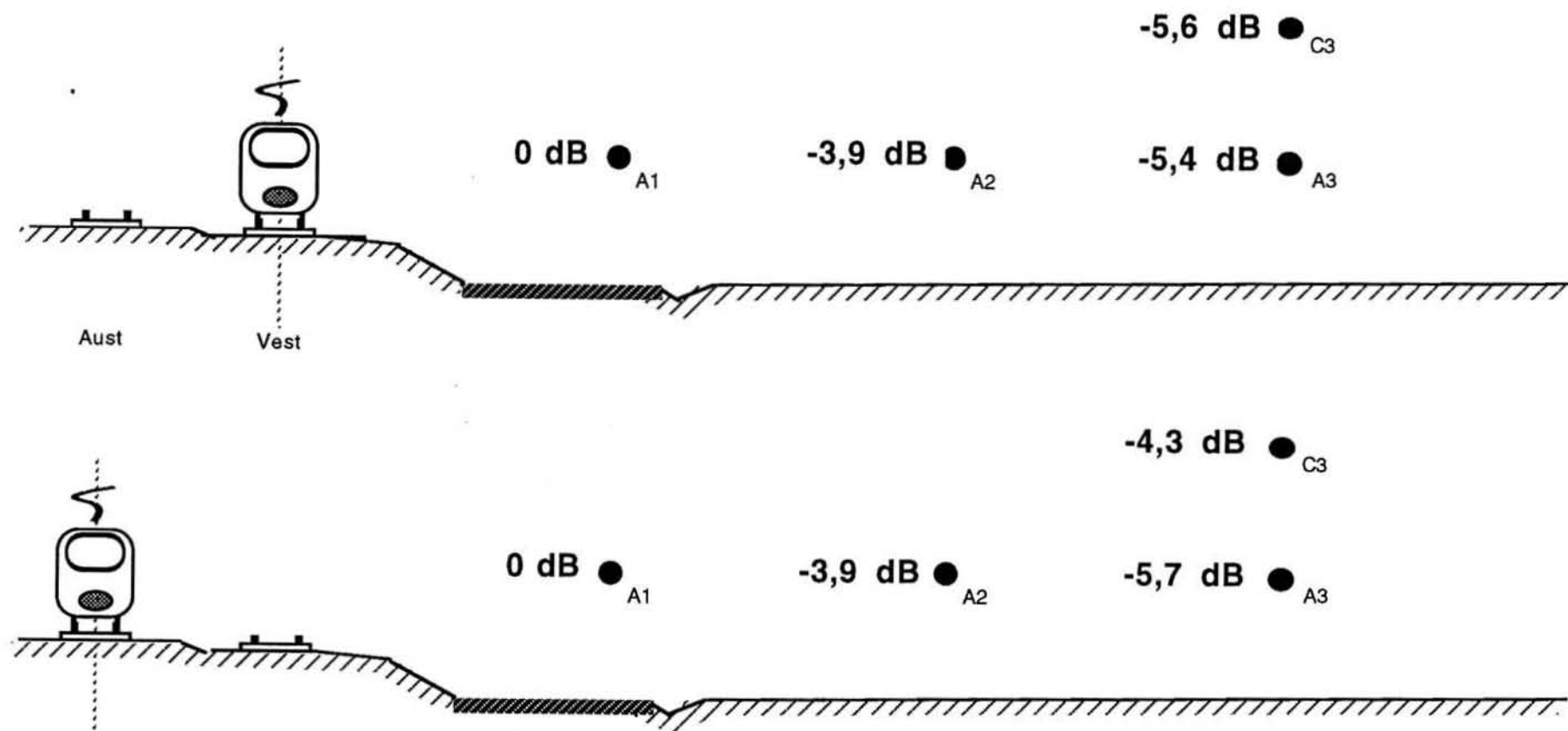


Posisjoner Nivå i første minus nivå i andre.	Spor V=vest A=aust	Differansenes aritmetiske middelværdi. Standard avvik for differanser. dB										
		Lmaks dBA	Sound Exposure Level (SEL) ved passering.									
			Oktavband, senterfrekvens (hz)									
		dBA	63	125	250	500	1000	2000	4000			
A0-A1 :	A	Arit.midl.	0.6	0.6	4.7	3.6	2.4	0.8	0.5	0.2	2.1	
	A	std.av.	1.1	0.8	0.9	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	0.6	
A0-A1	V	Arit.midl.	-3.2	-2.8	-3.8	-6.8	-3.5	-4.6	-3.2	-1.8	-0.9	
	V	std.av.	1.1	0.7	1.1	1.2	0.9	0.5	0.9	0.8	0.6	

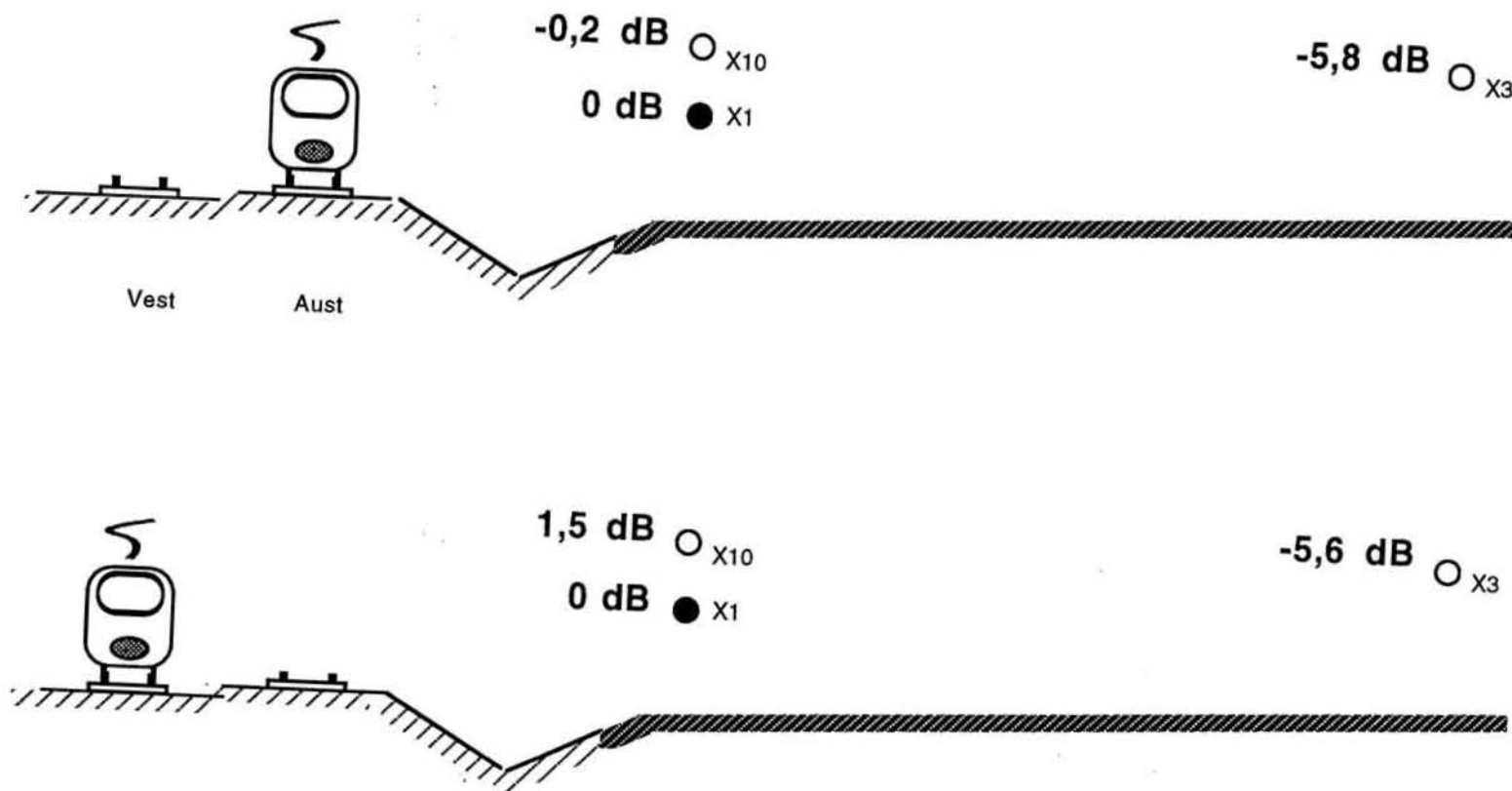
FIGUR 17.

Forskjell i støynivå mellom måleposisjon A1 og andre posisjoner.

Middelværdi av forskjeller i SEL dBA for alle enkelt-tog er vist i tegning. Tilsvarende tall for oktavbånd og maks.nivå, dBA er gitt i tabell.



FIGUR 18.
Forskjell i støynivå mellom måleposisjon A1 og andre posisjoner.
 Middelerdi av forskjeller i SEL dBA for alle enkelt-tog.
 Avstander og høyder er vist i figur 2



FIGUR 19.
Forskjell i støynivå mellom måleposisjon X1 og andre posisjoner.
Middelverdi av forskjeller i SEL dBA for alle enkelt-tog.
Avstander og høyder er vist i figur 3.

KORT OM BENYTTET MÅLEUTSTYR

For registrering av støyen ved passering av tog, ble det benyttet 1/2" mikrofoner (4165) og forforsterkere, av fabrikat Brüel og Kjær. Mikrofonene ble montert med aksene vinkelrett på togets kjøreretning. Signalene ble registrert på en B&K 2144 tokenals frekvensanalysator, og en NAGRA IV-SJ tokenals båndopptaker. Målekjedene ble kalibrert med en B&K 4230 kalibrator før og etter hver måleserie.

B&K 2144 var innstilt til å gi 1 sekunds L_{eq} verdier fortløpende for hele togpasseringer, i dBA og oktavbåndene 31,5-4000Hz. Verdiene i 31,5Hz båndet ble ikke analysert videre. Opptakene fra NAGRA ble analysert v.h.a. B&K 2144 på tilsvarende måte.

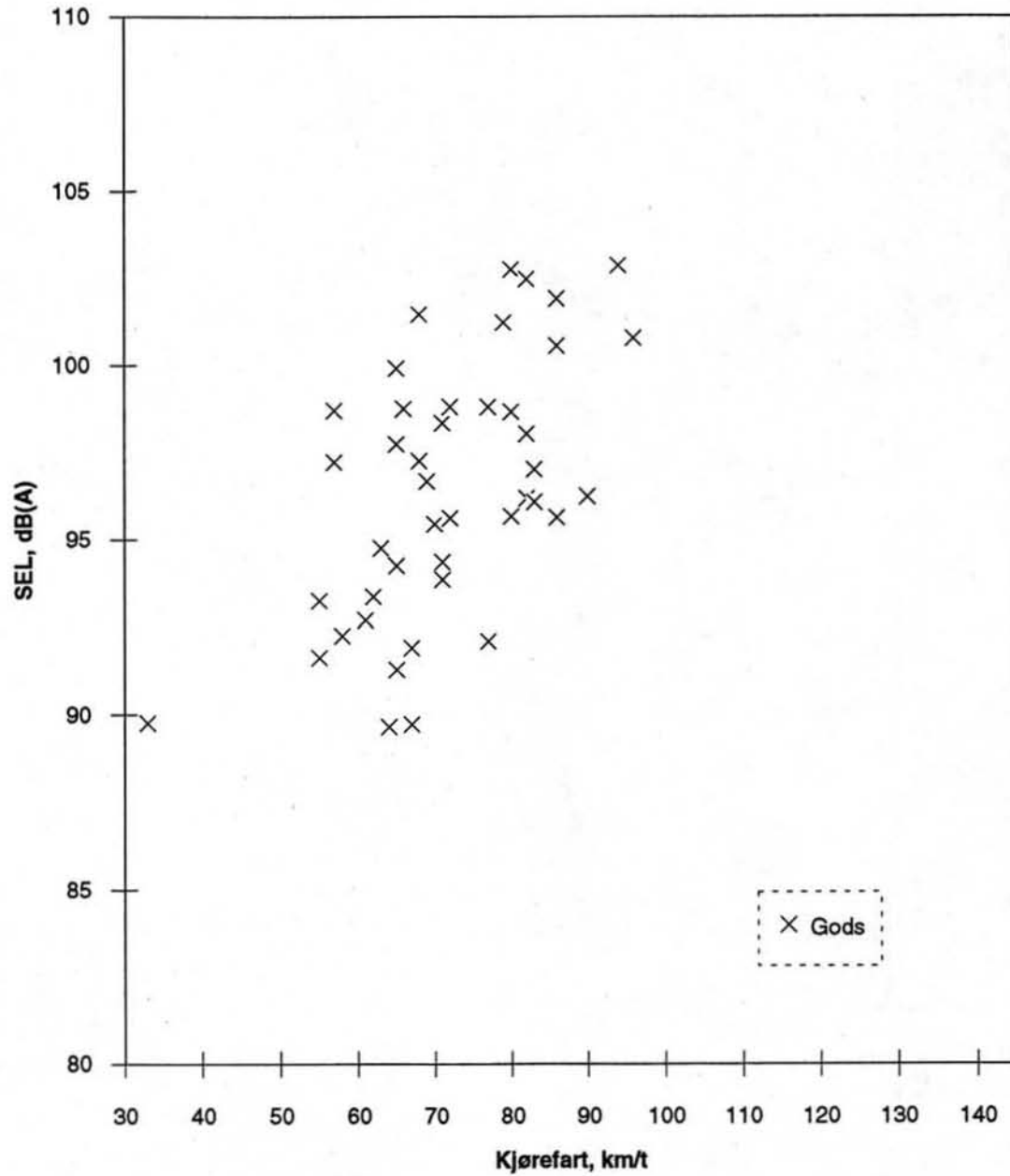
Videre analyse av resultatene er beskrevet i hovedrapporten.

Vindstyrke og retning ble målt i ca. 2m høyde over mark.

Supplerende figurer.

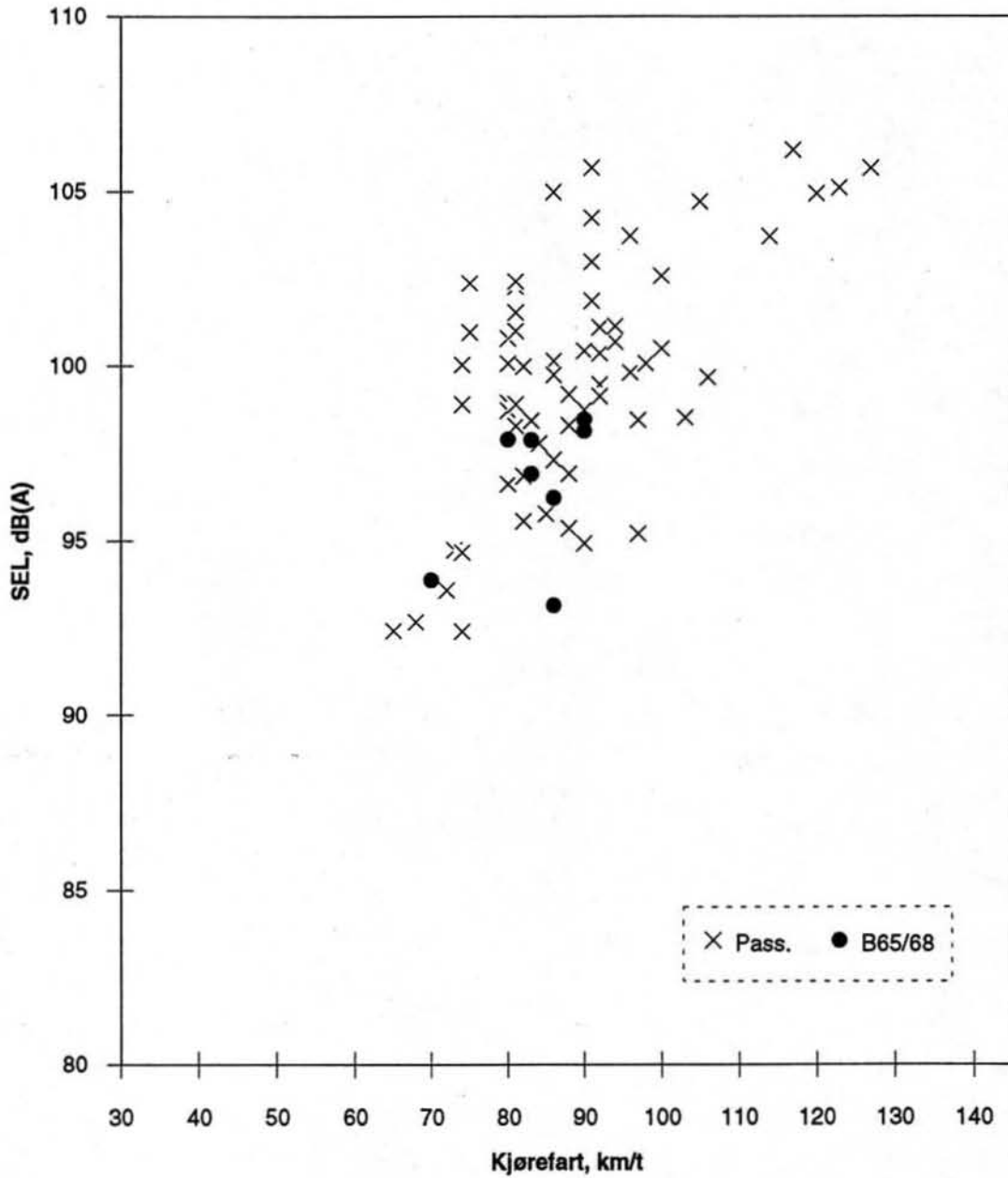
Figur B1-B9

Figur B1. A-vegd SEL-verdi for enkelttog. Verdiene er normalisert til toglengthe 100m og avstand 10m.



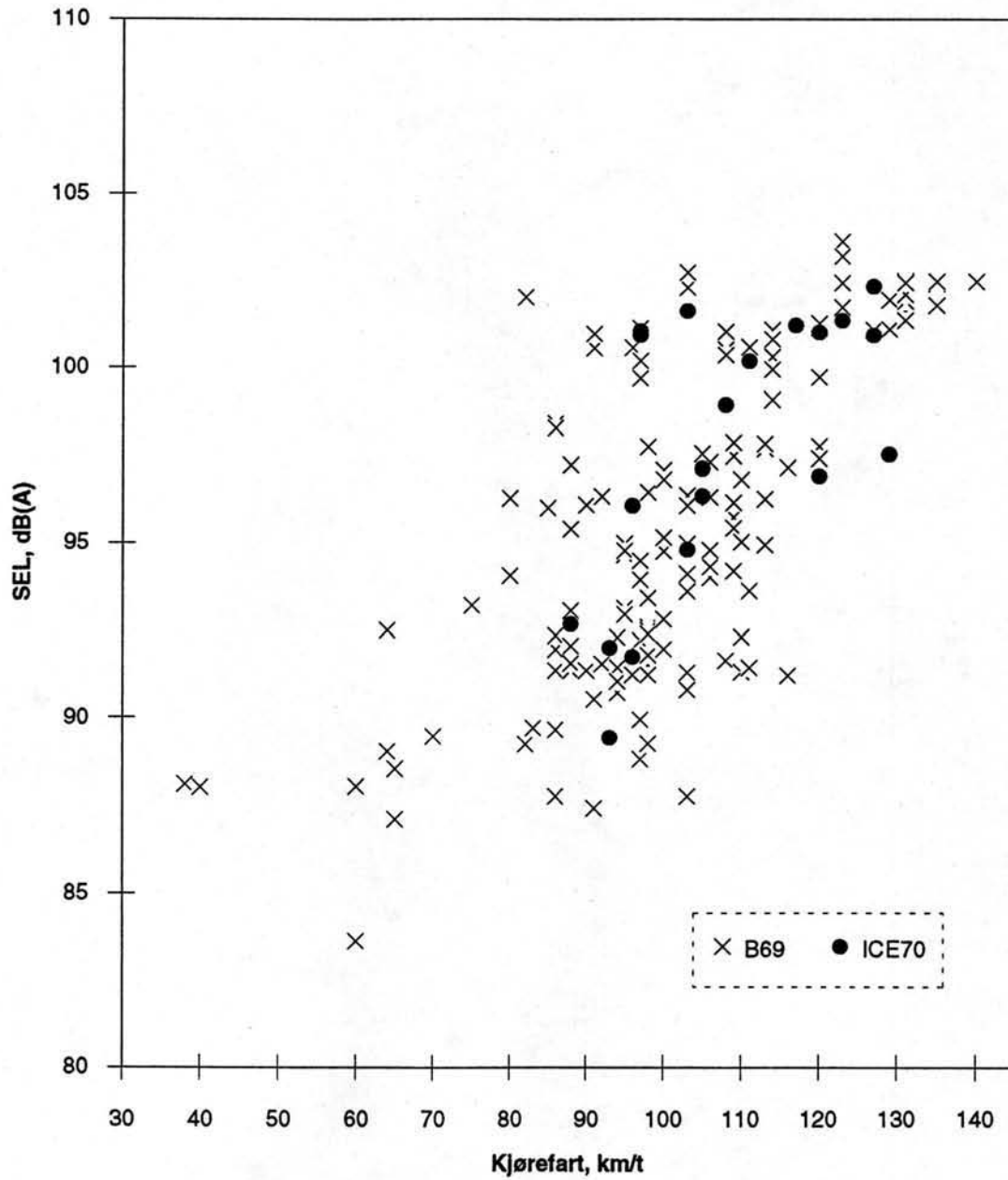
Figur B1.

Figur B2. A-vegd SEL-verdi for enkelttog. Verdiene er normalisert til 100m toglangde og avstand 10m.



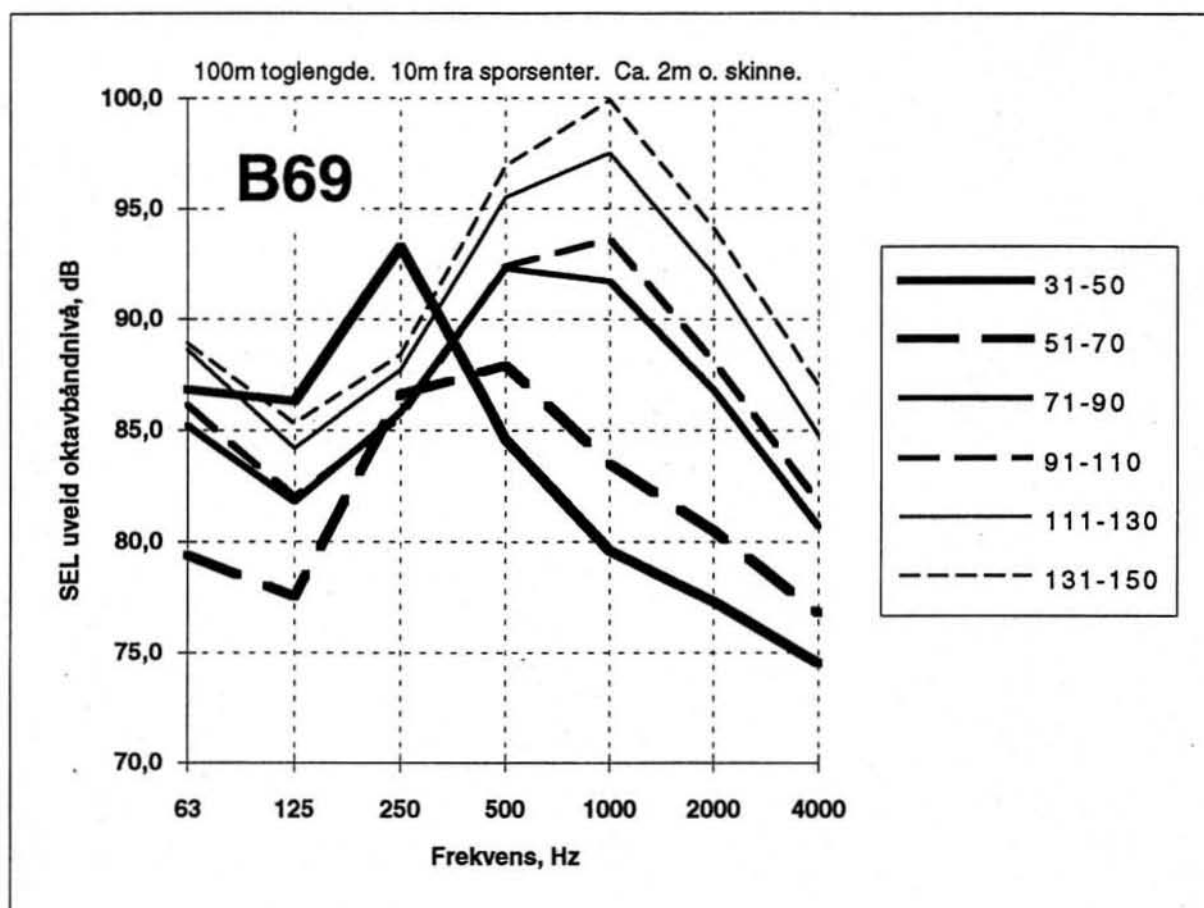
Figur B2.

Figur B3. A-vegd SEL-verdi for enkelttog. Verdiene er normalisert til toglengthe 100m og avstand 10m.



Figur B3.

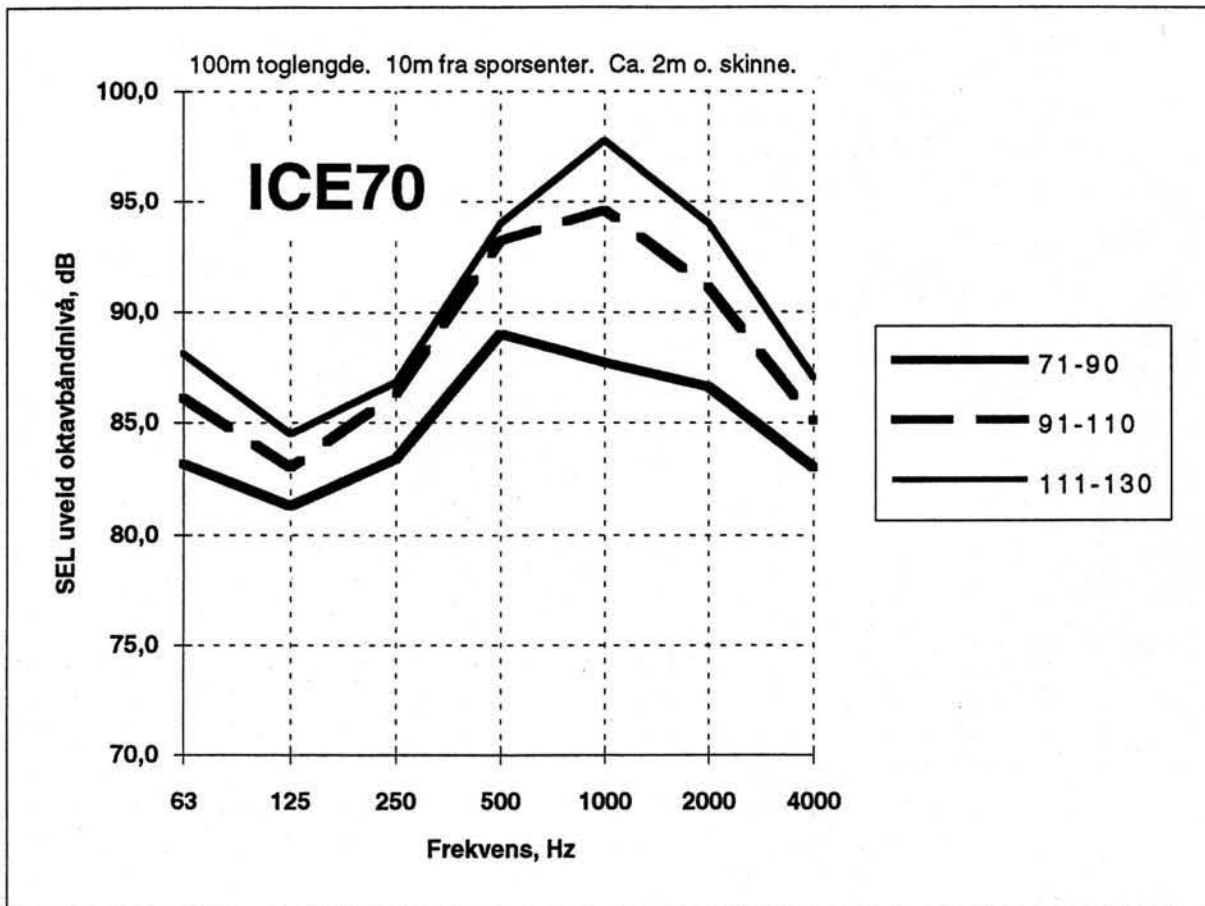
Togdata.FigurB5



SEL Oktavbandnivå, dB. Antall målte tog.							
km/t.	Frekvens, Hz						
Ant. tog	63	125	250	500	1000	2000	4000
31-50 2	86,8	86,3	93,3	84,6	79,6	77,3	74,5
51-70 7	79,4	77,5	86,6	87,9	83,5	80,5	76,8
71-90 23	85,2	81,8	85,8	92,3	91,7	86,8	80,7
91-110 77	86,1	82,0	85,6	92,4	93,6	88,1	81,8
111-130 27	88,6	84,2	87,7	95,5	97,5	92,0	84,8
131-150 10	88,9	85,3	88,4	96,9	99,9	94,1	87,0

Figur B5.

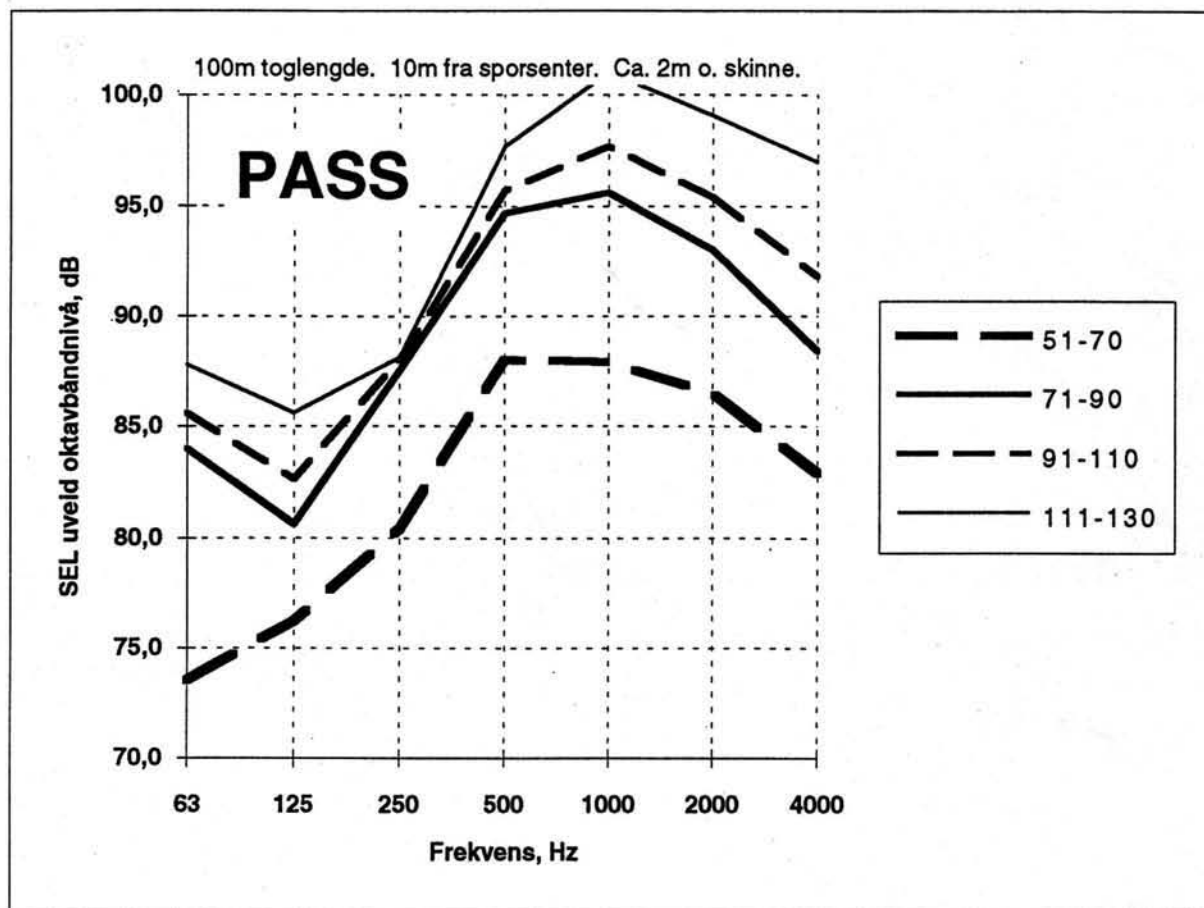
Togtype B69. Uveide oktavbandverdier, SEL i forskjellige fartsintervaller.



SEL Oktavbandnivå, dB. Antall målte tog.							
km/t.	Frekvens, Hz						
Ant. tog	63	125	250	500	1000	2000	4000
51-70							
71-90 1	83,2	81,3	83,4	89,0	87,7	86,6	83,0
91-110 12	86,1	83,0	86,3	93,2	94,6	91,1	85,1
111-130 8	88,1	84,5	86,8	94,0	97,8	94,0	87,0
131-150							

Figur B6.

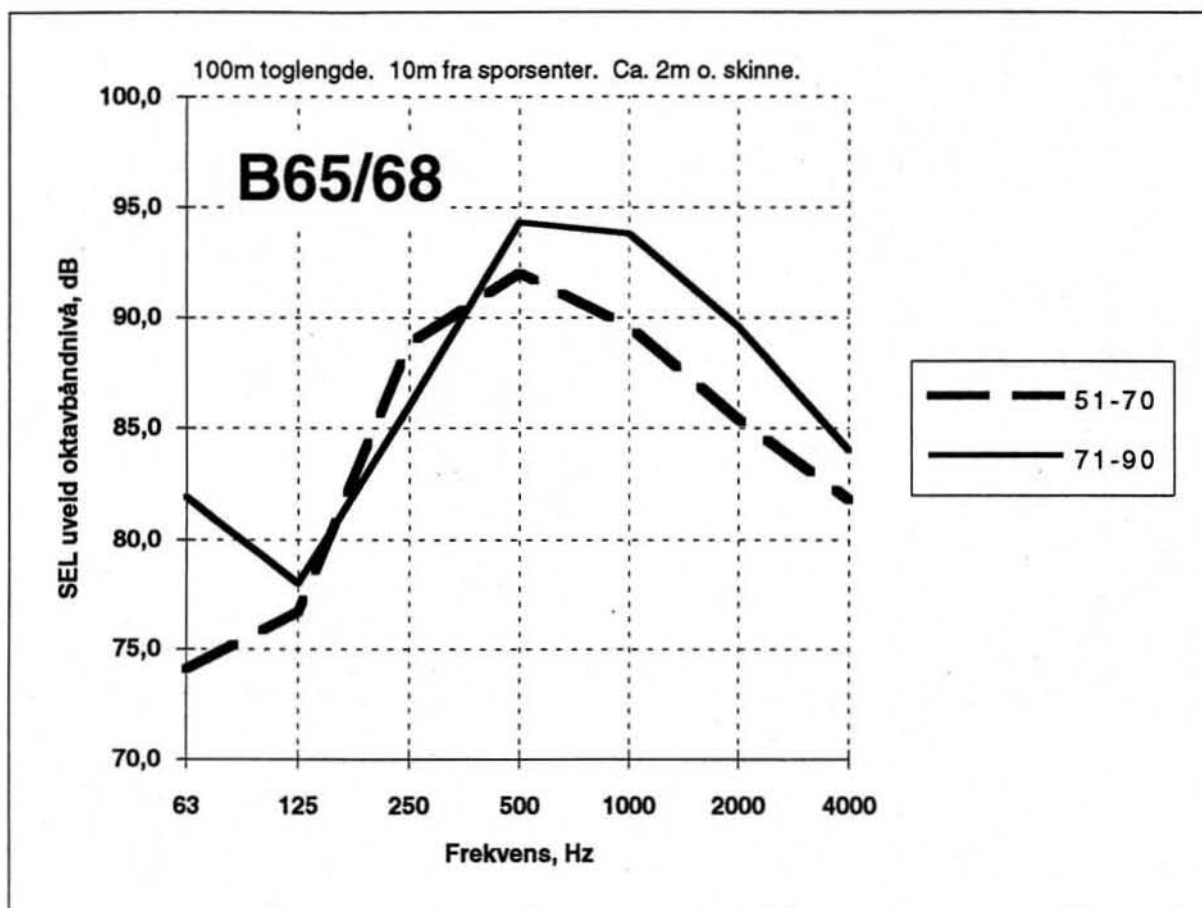
Togtype ICE70. Uveide oktavbandverdier, SEL i forskjellige fartsintervaller.



SEL Oktavbåndnivå, dB. Antall målte tog.							
km/t.	Frekvens, Hz						
Ant. tog	63	125	250	500	1000	2000	4000
51-70 2	73,5	76,2	80,4	88,0	87,9	86,5	82,9
71-90 36	84,0	80,6	87,5	94,7	95,6	93,0	88,4
91-110 22	85,6	82,6	88,0	95,7	97,7	95,4	91,8
111-130 5	87,8	85,6	88,1	97,7	101,0	99,1	97,0

Figur B7.

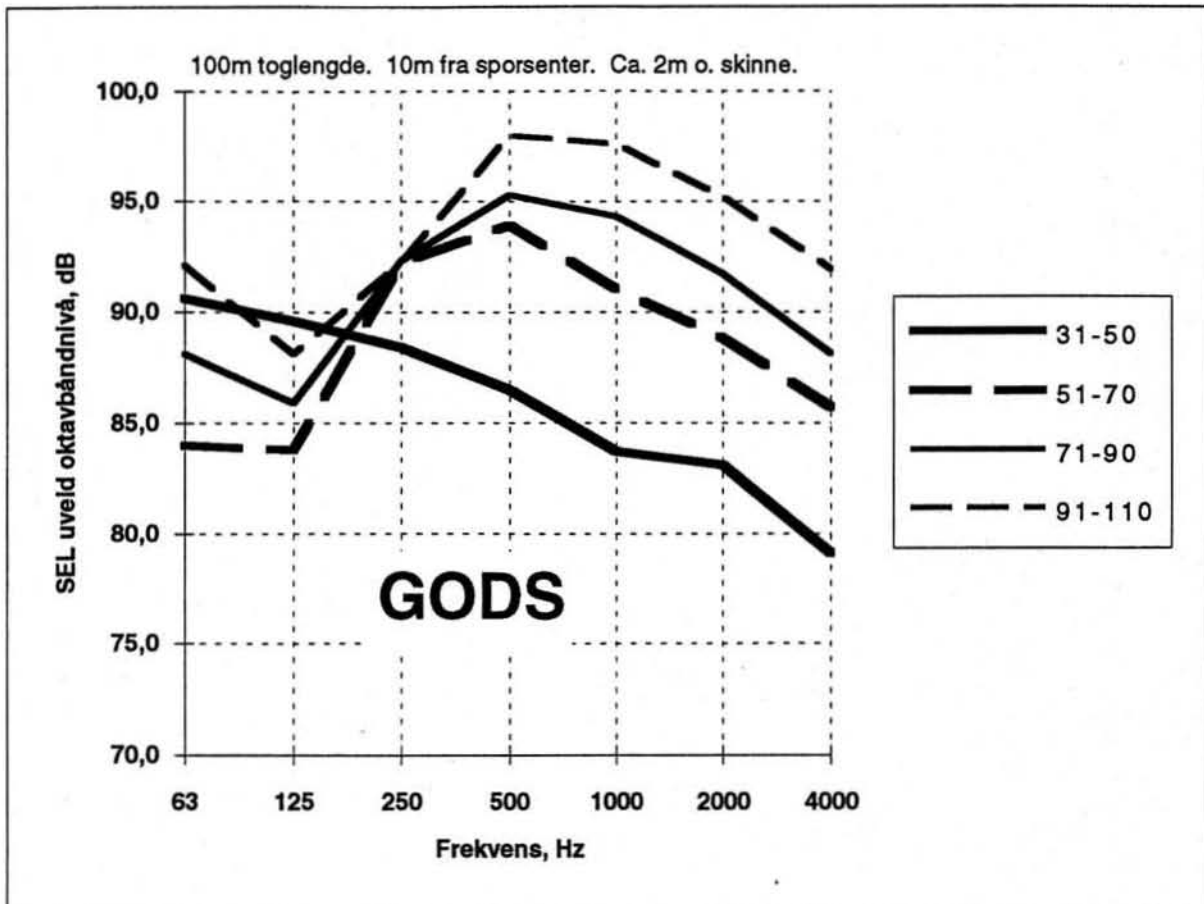
Togtype PASS. Uveide oktavbåndverdier, SEL i forskjellige fartsintervaller.



SEL Oktavbåndnivå, dB. Antall målte tog.							
km/t.	Frekvens, Hz						
Ant. tog	63	125	250	500	1000	2000	4000
51-70 1	74,1	76,7	88,8	92,0	89,6	85,4	81,8
71-90 7	81,9	78,0	86,0	94,3	93,8	89,6	84,0

Figur B8.

Togtype B65/68. Uveide oktavbåndverdier, SEL i forskjellige fartsintervaller.



SEL Oktavbandnivå, dB. Antall målte tog.							
km/t.	Frekvens, Hz						
Ant. tog	63	125	250	500	1000	2000	4000
31-50 1	90,6	89,6	88,4	86,5	83,7	83,1	79,1
51-70 20	84,0	83,8	92,2	93,9	91,0	88,8	85,7
71-90 20	88,1	85,9	92,3	95,3	94,3	91,7	88,1
91-110 2	92,1	88,1	92,2	98,0	97,6	95,2	91,9

Figur B9.

Togtype GODS. Uveide oktavbandverdier, SEL i forskjellige fartsintervaller.

Litt om lyd

Det øret vårt oppfatter som lyd er ørsmå trykkbølger i luften omkring oss. Bølgene kan bli skapt av en vibrerende flate (en høgtaler-membran er et eksempel), en pulserende luftstrøm (utløpet på et eksos-anlegg), en rask forbrenningsprosess (eksplosjon i en forbrenningsmotor), e.l.

Trykkbølgene forplanter seg med ein fart på ca. 340m/sek. bort fra lydkilden, i luft. Bølgene blir svakere etter hvert som de sprer seg over et større volum. Bølgene kan ha et regelmessig, impulsaktig eller vilkårlig varierende trykkforløp.

Frekvenser

Dersom en høgtalermembran svinger regelmessig fram og tilbake 20 ganger hvert sekund, vil den skape 20 trykksvingninger hvert sekund i lufta omkring. Talet på svingninger i sekundet blir kalt lydens frekvens. I stedet for det tungvinte begrepet "svingninger i sekundet", brukes måleenheten Hertz (Hz). 20 Hz = 20 svingninger i sekundet, er omtrent den lågste frekvensen øret vårt kan oppfatte som lyd. 20 000 Hz er omtrent den høgste frekvensen et "uskadd" øre hos eit ungt menneske kan oppfatte som lyd.

Lydtrykk

Trykkvariasjonene i lydbølgene blir, som andre trykk, målt i Newton/kvadratmeter = Pascal (Pa). Øret er et svært følsomt organ, og kan registrere trykk-variasjoner ned til ca. 0,00002 Pa. Som andre "presisjonsinstrumenter" kan hørselen vår bli ødelagt av for høge lydtrykk. Når trykk-variasjonene får en styrke på ca. 200 Pa risikeres momentan hørselskade. Ved varig påvirkning, f.eks. i støyende arbeid, kan hørselen gradvis bli ødelagt ved langt lågere lydtrykk.

Desibel

Det er lite praktisk å bruke lydtrykk direkte som måleenhet når vi er interesserte i en spennvidde på minst 0,00002-200 Pascal. Det er derfor mer vanlig å definere en skala frå 0-140 med måleenhet desibel (dB). 0dB tilsvarer da omtrent den svakeste lyden vi kan høre (0,00002 Pa) og 140dB tilsvarer omtrent den lyden som vil gi momentan, varig hørselskade og øresmerter (200 Pascal).

Støy

Støy blir gjerne definert som lyd vi ikke ønsker. Støy blir målt i desibel. I motsetning til musikalsk lyd, tale og annen lyd som inneholder "informasjon", er støy gjerne lyd som forstyrrer søvn, hvile, musikk-opplevelse, samtale, konsentrasjon, e.l.

Spektrum

Bortsett fra de enkleste, regelmessige lydtrykkvariasjonene som tilsvarer en ren tone (= lyd ved en enkel frekvens), er de fleste lydene sammensatt av mange frekvenser med ulike lydtryknivåer. Det er ofte av interesse å vite hvordan lydtrykk-nivået er fordelt på ulike frekvenser. En slik fordeling av lydtryknivået som funksjon av frekvens blir kalt et spektrum.

dBA

Øret er mest følsomt for frekvenser omkring 1000 Hz. Det er minst følsomt for de lågeste, hørbare frekvensene. De fleste måleinstrumentene er laget slik at de kan etterligne øret sin demping av de låge frekvensene. Egentlig bør denne dempingen være avhengig av lydstyrken, men det er nå blitt vanlig å bruke en type demping (eller "veging" av lydtrykket), som blir kalt A-veging. Når et instrument blir brukt med denne vegefunksjonen innkoblet, blir det registrerte lydnivået ikke lenger målt i dB, men i dBA ("desibel A").

Oktavbånd

Et frekvensbånd som har en slik bredde at den høyeste frekvensen i båndet er det dobbelte av den lågeste, blir kalt et oktavbånd. Det er vanlig å samle de ulike frekvenskomponentene av en lyd i eit fåtall oktavbånd. Oktavbåndene blir gitt et "navn" som tilsvarer senterfrekvensen i båndet. Disse senter-frekvensene er definert i internasjonale standarder, og har frekvens-verdier:.....63, 125, 250, 500,1000, 2000, 4000.....Hz. Alle lydkomponenter mellom 707 og 1414 Hz blir således samlet i oktavbåndet med senterfrekvens 1000 Hz, alle lydkomponenter mellom 353 og 706 Hz i 500 Hz oktavbåndet, o.s.v.

Ekvivalent støynivå.

Vanligvis varierer støynivået over tid. Det ekvivalente støynivået (energi-ekvivalent lydnivå) er et mål på det gjennomsnittlige nivået for en varierende støy over en bestemt måle-periode. Måleenheten er i praksis ofte dBA. Ekvivalentnivået blir ofte forkortet til Lekv (Leq i engelsk litteratur).

SEL.

Dersom ekvivalent støynivå for en tidsperiode (f.eks. et døgn), tenkes samlet i en måleperiode på ett sekund, kalles den resulterende (normaliserte) verdien Sound Exposure Level (SEL).

Maksimalt støynivå

er den høyeste støytoppen i en varierende støy. Når maksimalt støynivå (L_{maks}) blir målt, må responstid eller integrasjonstid for måleutstyret spesifiseres ("FAST", "SLOW", 1 sek. L_{ekv} , e.l.) Maksimalt støynivå for tog kan skyldes ett enkelt dårlig hjul, en skranglete vogn, e.l. Disse "tilfeldige" delbidragene er mest tydelige når tidsforløpet blir registrert i kort måleavstand (f.eks. 10m). På avstander større enn ca. 30m, eller når skinne og hjul er avskjermet, blir tidsforløpet jevnere og maksimalnivået bestemmes av større deler av toget.

MIKROMAC

Jernbaneverket

Biblioteket

JBV



09TU05209

200000026138