



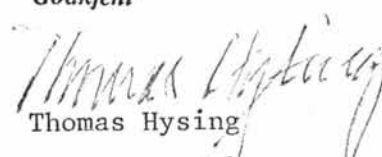
Rapport 78 06 07 - 4

Norges Statsbaner  
Hovedadministrasjonen

FORSØK MED KRENGENDE VOGN  
Beregning av parametere for passasjerkomfort  
ved kjøring med SBB krenningsvogn

30. oktober 1979



<i>Oppdrag nr.</i> 78 06 07	<i>Rapport nr.</i> 78 06 07 - 4	<i>Rapporttype</i> Sluttrapport
<i>Oppdragets tittel</i> Forsøk med kreggende vogn	<i>Rapportens tittel</i> Beregning av parametere for passasjerkomfort ved kjøring med SSB-krengningsvogn	
<i>Prosjektleder / Prosjektansvarlig</i> Knut L. Seip / Thomas Hysing	<i>Forfatter(e)</i> Knut L. Seip Medarbeidere: Asbjørn Arnestad, Jan Gjølme	
<i>Faggruppe eller felt</i> Databehandling	<i>Referat</i> Parametere som på ulike måter uttrykker passasjerkomfort, er undersøkt ved kjøring med SSB-krengningsvogn. Tidsseriene for aksellerasjon av vognkasse og boggi er digitalisert og analysert. Krengning av vognkasser er vist å redusere den kvasistatiske aksellerasjon, men ikke å ha signifikant betydning for de kvasistatiske rykk eller på parametere som er avledet av de dynamiske svingninger, dvs. hurtige aksellerasjoner, rykk og Wz-tall. Økt overhastighet og sporkrumning er vist å øke verdien av alle de ovennevnte parametere.	
<i>Oppdragsgiver</i> Norges Statsbaner Hovedadministrasjonen	<i>4 emneord</i> Krengningsvogn Aksellerasjonsspekter Komfortparametere Togvibrasjon	
<i>Oppdragsgivers ref.</i> Overing. Per Sture	<i>Antall blad inkl. bilag</i> 88	<i>Dato</i> 30. oktober 1979
<i>Tilgjengelighet:</i>  Denne rapport / Denne side Begrenset / Åpen	<i>SI's ref.</i> THy/KLS/khj/ios	<i>Godkjent</i>  Thomas Hysing  (Sign.)

**NSB**  
Dokumentasjonstjenesten



## SAMMENDRAG

*Krengning av SBB-krengningsvogn minsker den kvasistatiske aksellerasjon merkbart. Den gir imidlertid ikke signifikant reduksjon i de kvasistatiske rykk, og den har meget liten virkning på parametere som avledes av de dynamiske svingninger, dvs. hurtige aksellerasjoner, rykk og  $Wz$ -tall.*

Det er antatt at en ved å krenge vognkassen i forhold til boggien ved kjøring i kurver kan beholde passasjerenes komfort selv om hastigheten økes. Formålet med det foreliggende arbeidet har vært å analysere en serie målinger av de aksellerasjoner som oppstår i vognen og i boggiene under ulike kjørebetingelser, og med særlig hensyn på virkningene av krengning.

Vognpassasjerenes komfort kan uttrykkes på en rekke måter, men et skille synes å gå mellom to hovedtyper, der den ene tar utgangspunkt i de kvasistatiske aksellerasjoner og rykk som oppstår ved kjøring i kurver, og den andre bygger på de dynamiske aksellerasjoner. (De ulike typer aksellerasjoner er illustrert i fig. 7b.)

## METODER

Det har vært nødvendig å benytte to ulike metoder ved behandling av de to hovedtyper av signaler. I begge tilfelle har imidlertid de analoge signalene blitt digitalisert. Ved den første typen, dvs. de kvasistatiske svingninger, har tidsseriene blitt glattet numerisk eller grafisk, mens en ved den annen type signaler har fremstilt frekvensspektra ved hjelp av en såkalt Fast Fourier Transform (FFT). De fremkomne spektra er representative for forholdene ved kjøring med krengning og for et gitt sett kjørebetingelser. Usikkerheten i bestemmelse av kjørebetingelser er diskutert og vist å være betydelig, men likevel ikke større enn at en del hovedkonklusjoner kan trekkes med rimelig grad av sikkerhet.

Når det gjelder hvor effektiv krengningen av togets vognkasse har vært ved de utførte testkjøringer, har det vært vanskelig å vurdere dette. Den har bl.a. åpenbart skjedd med en viss tidsforsinkelse. Stort sett er den midlere aksellerasjon, som vi antar skyldes sentrifugalkraften, av samme størrelsesorden som de kortvarige aksellerasjoner (dvs. aksellerasjoner med frekvens  $> 0,5$  Hz).





I det følgende vil vi referere resultatene i den orden som er angitt for analysens hovedgrupper i NSB-notat nr. 5. Dvs. vi vil først se på virkningene av økt overhastighet, deretter på benyttelse av ulike deteksjonsmetoder for igangsetting av krenghingen og til slutt på virkningen av krenghing. Data fra S-kurven nær Ørgenvika stasjon er benyttet i en stor del av analysearbeidet, og resultatene vil, når intet annet er bemerket, gjelde kjøring i denne kurven. Radius i kurven er 250 m og 475 m og nominell hastighet 65 km/t.

Resultatene av analysen er her i alminnelighet anført kvalitativt. Når vi konstaterer at det er en endring i en parameter  $y$ , mener vi at det som regel er en numerisk endring i den omtalte parameter på mer enn 20% over det aktuelle variasjonsområde for argumentet  $x$  (mindre endringer kan skyldes usikkerhet i resultatene). De numeriske endringer er for øvrig fremstilt i tabeller og figurer og diskutert i teksten.

#### VIRKNING AV OVERHASTIGHET

Det kvasistatiske siderykk øker tilnærmet proporsjonalt med overhastigheten (hastigheten over nominell tillatt hastighet).

Den kvasistatiske sideaksellerasjon øker tilnærmet proporsjonalt med hastigheten i det aktuelle hastighetsområdet 60-80 km/t for både boggi og vognkasse når denne siste krenger, men slik at vognkassens aksellerasjon ligger mellom 0,8 og 1,0  $\text{m/s}^2$  under boggiens aksellerasjon for samme hastighet.

Vi har også beregnet ulike uttrykk for kjørekomfort basert på de dynamiske svingninger. Vi har sett på sideaksellerasjon, ulike formuleringer av rykk og på det såkalte  $Wz$ -tallet. Parametrene er fremstilt på histogramform som funksjon av frekvens og varighet av signalene. Som indikasjon på dårligere passasjerkomfort får en økende verdi av de nevnte parametrene.

Vi har vist at sideaksellerasjonen, rykkstørrelsene og  $Wz$ -tall øker med økende overhastighet i kurver (10-80% pr. 10 km/t). Parametrene øker også med økende krumning (50-200% fra rett linjestrekning og til en kurve med radius 250 m. Overhastigheten er konstant, men den nominelle hastighet og dermed den faktiske hastighet kan være endret.) Innenfor de aktuelle variasjonsområder for de to variablene overhastighet og krumning er altså virkningen av krumning mest markert.





Vi har også undersøkt om en ved å se på den midlere verdien av aksellerasjon og rykk over visse terskelverdier ville få et annet resultat enn det ovennevnte (verdier under terskelnivået antas å være umerkbare), men denne metoden gav ingen vesentlige endringer i konklusjonene.

Videre har vi som mål på komfort antatt at antall rykk pr. sekund kunne benyttes. Resultatene fra undersøkelsen av denne parameteren viste at antallet økte med økende overhastighet, relativt mer markert for rykk med lang varighet ( $> 0,5$  s) enn for rykk med kort varighet (0,1-0,5 s). Antall rykk økte også med krumningen av jernbanesporet.

Vi har undersøkt om noen frekvensområder for de dynamiske svingningene påvirkes markert av økt overhastighet eller krumning ved å studere data fra kjøring på rett spor og i en kurve ( $R = 410$  m). På rett spor er det liten endring i aksellerasjon, rykk eller Wz-tall som følge av økt overhastighet, mens det ved kjøring i kurven er en økning, vesentlig ved frekvenser lavere enn ca. 10 Hz.

Det digitaliserte frekvensspekteret er delt opp i 20 intervaller á 52 frekvenser. Vi har undersøkt virkningene av kjøring i kurver ved å telle antall frekvenser i hvert intervall som har aksellerasjons- og rykkverdier over en viss nedre grense. (Aksellerasjon og rykk med verdier lavere enn den gitte grense antas å ikke være merkbare.) Resultatene viser at antall frekvenser med merkbare aksellerasjons- og rykkverdier øker på en krum strekning i forhold til en rett strekning og at disse faktorene blir merkbare ved stadig høyere frekvenser. F.eks. er aksellerasjoner og rykk med frekvenser over 2-5 Hz ikke merkbare på en rett linjestrekning, mens en ved kjøring i en kurve med radius 410 m merker frekvenser opp til ca. 10 Hz.

#### VIRKNING AV ULIKE DETEKSJONSMETODER

Den kvasistatiske sideaksellerasjon synes å være noe større ved selv-deteksjon ( $\approx 0,6 \text{ m/s}^2$ ) enn ved normal- og spesialdeteksjon ( $\approx 0,4 \text{ m/s}^2$ ) i kurven med radius 250 m. Det er imidlertid vanskelig å vurdere om resultatet er signifikant, fordi utslagene er svært små i andre kurver med større radius.

Uttrykk for kjørekomfort basert på de dynamiske svingningene, slik som hurtige aksellerasjoner, rykk og Wz-tall, viser ingen signifikante forskjeller. Heller ikke histogramfremstilling av Wz-tall og rykk viser noen ulikheter mellom deteksjonsmetodene.



#### VIRKNING AV KRENGNING

Det kvasistatiske siderykk påvirkes ikke signifikant av om vognen krenger eller ikke. Usikkerheten i måleresultatene er imidlertid stor. Det er mulig at en mer effektiv kreningsmekanisme med mindre tidsforsinkelse ville endre dette resultatet.

Den kvasistatiske sideaksellerasjon minsker ved krenning. Relativt få data har vært tilgjengelige for å teste dette forhold, men hvis resultatene er representative for kjøring med og uten krenning, kan disse tolkes slik at krenning tillater kjøring med mellom 15 og 20 km/t høyere hastighet med hensyn på denne faktoren.

Dynamiske aksellerasjoner, rykk og  $W_z$ -tall beregninger basert på de dynamiske aksellerasjonsmålingene viser ingen tydelig trend i ulikhet mellom kjøring med og uten krenning, men under ellers like betingelser.

#### KONKLUSJONER

Vår hovedkonklusjon er etter dette at krenningen av SSB-kreningsvogn minsker den kvasistatiske aksellerasjon merkbart. Den gir imidlertid ikke signifikante reduksjoner i de kvasistatiske rykk, og den har meget liten virkning på parametere som avledes av de dynamiske svingninger.

Økt overhastighet og krumning av sporet gir seg imidlertid utslag i en økning av samtlige parameteres verdier. Når det gjelder de parametere som avledes av de dynamiske svingninger, er det relativt god sammenheng mellom de uttrykkene vi har valgt ved karakterisering av de ulike kjørebetingelser. Et av resultatene for det beregnede  $W_z$ -tall, nemlig at det øker ved kjøring på strekninger med økende krumning, er i motstrid med målinger utført direkte med et såkalt  $W_z$ -måleinstrument. Dette søkes forklart i rapporten.

De resultatene vi har kommet fram til, baserer seg stort sett på forholdstall. Det ville være ønskelig i høyere grad å benytte absolutte tall, og prosedyrer for å oppnå dette blir foreslått.

Endelig gis det forslag til hvordan de metodene vi har benyttet i det foreliggende arbeid kan forbedres og forenkles, slik at resultater kan oppnås raskere og med større sikkerhet.



## INNHOLD

1	INNLEDNING .....	side 7
2	TIDLIGERE ARBEIDSNOTATER .....	9
3	MÅLERESULTATER .....	11
4	METODE .....	13
5	NOEN KOMMENTARER OM VISUELL VURDERING AV TIDS- SERIENE FOR AKSELLERASJON. BEREGNING AV OVER- HASTIGHET .....	14
6	SIGNALBEARBEIDING .....	23
6.1	Antall rykk som funksjon av nedre grense for rykkverdien (Dynamisk sideaksellerasjon)	28
6.2	Virkning av overhastighet .....	31
6.3	Anvendelse av ulike deteksjonsmetoder .....	50
6.4	Virkning av kregning .....	60
6.5	Virkning på de kvasistatiske rykk av kregning .....	64
7	DISKUSJON OG KONKLUSJON .....	69
7.1	Bruk av midlere verdier .....	70
7.2	Komfort parametere .....	70
8	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	73
	Referanser .....	74
	Tabeller (oversikt) .....	75
	Figurer (oversikt) .....	76

## APPENDIKS I





## 1 INNLEDNING

På utvalgte punkter i et tog er det tidligere foretatt målinger av horisontal- eller vertikalaksellerasjonene som oppstår når toget blir kjørt under ulike betingelser, slik som forhøyet hastighet, krenkning av vogn i forhold til boggi etc. Formålet med den foreliggende analyse har vært, med utgangspunkt i de ovennevnte data, å gi den nødvendige informasjon for å kunne svare på om krenkning er aktuelt ved NSB (NSB-notat nr. 5). Om arbeidsmetoden skrives det videre: "Analysen av måleresultatene og valg av fremstillingsmåter (kurver, tabeller etc.) må derfor rettes mot de punkter/områder som er viktige og bestemmende i denne vurdering. Det er m.a.o. informasjonsverdiene som er bestemmende."

Som vesentlige punkter for en vurdering av måleresultatene er tidligere angitt at: "Begrepene komfort eller irritasjon må derfor brukes i dette arbeidet." (NSB-arbeidsdokument nr. 1.)

En utdypning av oppdragets spesifikasjoner er gitt i brev av 9.7.1978 fra NSB ved overingeniør Per Sture. Oppdragets utforming ble også diskutert på et møte på Sentralinstitutt for industriell forskning den 30.3.1978. (Se "Referat fra møtet på SI torsdag den 30.3.1978.")

Vognpassasjerenes komfort kan uttrykkes på en rekke måter, men et skille synes å gå mellom to hovedtyper. Den ene tar utgangspunkt i de kvasistatiske aksellerasjoner som oppstår ved kjøring i kurver. Den andre bygger på frekvenser over ca. 0,5 Hz. Som mål på komfort har vi foretatt beregninger av aksellerasjoner, rykk av ulik varighet, og dessuten beregnet det såkalte  $W_z$ -tallet.

Ved beregning av de ovennevnte parametere har vi benyttet to metoder: ved identifisering av de kvasistatiske aksellerasjoner har vi dels beregnet løpende middelerverdier, dels foretatt grafisk glatting. Ved høyfrekvente svingninger har vi benyttet en såkalt Fast Fourier Transform (FFT), som identifiserer og bestemmer amplituden på de frekvenser som forekommer i tidsserien.



Et særlig problem har oppstått i forbindelse med fastsettelse av togets hastighet. Både for kortvarige og for kvasistatiske svingninger er det en positiv sammenheng mellom den hastighet toget kjører med og de sideaksellerasjoner som oppstår. Dette innebærer at det er av vesentlig betydning å sørge for at hastigheten er den samme når en skal sammenligne kjøring med og uten krenkning, eventuelt at en finner en måte å korrigere for ulikheter i hastighetene.

Vi har i denne rapporten foretatt en sammenligning av flere metoder å fastsette hastigheter på. Vi har behandlet komfort parametere (herunder  $W_z$ -tallet) for svingninger med frekvens større enn ca. 0,5 Hz, og også sett på bidraget til disse parametrene fra ulike deler av frekvensspekteret. Ulike måter å beregne komfort på med utgangspunkt i de kvasistatiske svingninger er deretter beskrevet, og en vurdering er gitt av kjøring med og uten krenkning.



## 2 TIDLIGERE ARBEIDSNOTATER

Under bearbejdingen av oppdraget har iølgende notater og rapporter blitt utarbeidet av SI:

- 231 - 78 03 12 - 1, 13.3.78. Norges Statsbaner. Assistanse v/måling på kregende vogner.

Rapporten beskriver måleoppgaver, måleoppstillingen og data for identifisering av de aktuelle måledata slik de foreligger på magnetbånd.

- SI 78 03 12, 20.4.78. Måling på kregende vogn. 20 s.  
I notatet er Wz-tallet og rykk verdier beregnet grafisk for en rekke kjørebetingelser.
- SI 78 06 07-1, 22.6.78. Måling på kregende vogn, aksellerasjonsmålinger. 19 s.

I notatet er analoge utskrifter av aksellerasjonsmålinger stilt sammen etter kjørebetingelser, slik at visuell vurdering av resultatene kan foretas.

- SI 78 06 07-2, 17.8.78. Analyse av data fra forsøk med kregende vogn - NSB. 21 s.

I notatet er metodene ved analyse av data fra kregende vogn beskrevet. En del tentative resultater er gjengitt som grunnlag for diskusjon av parametervalg etc.

- SI 78 06 08-3, 5.9.78. Analyse av data fra forsøk med kregende vogn - NSB. 10 s.

I notatet er gjengitt de viktigste resultater av den digitale analyse av data fra kregende vogn forsøkene. En del hovedkonklusjoner er trukket.



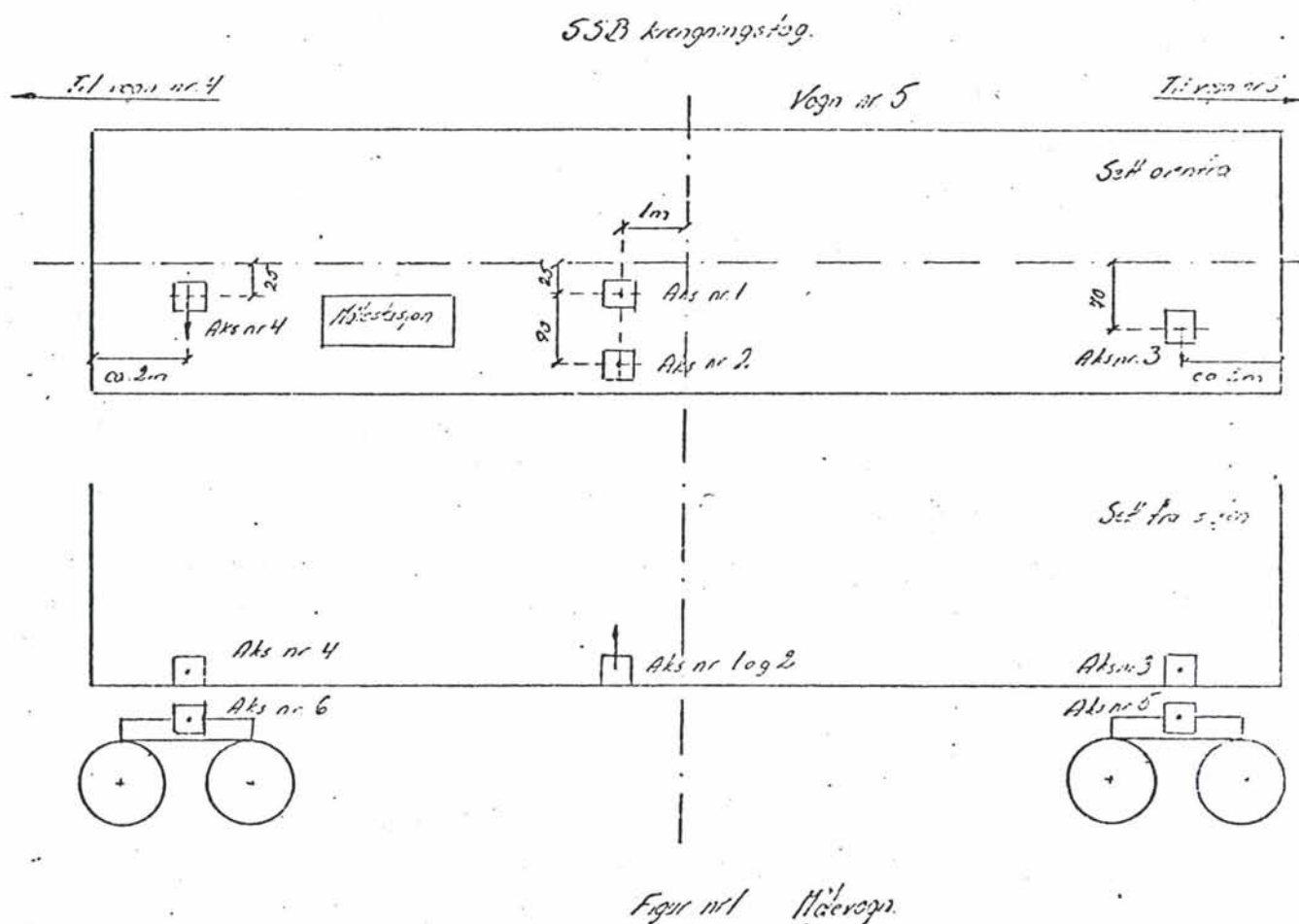


Av NSB har følgende notater og dokumenter blitt utarbeidet:

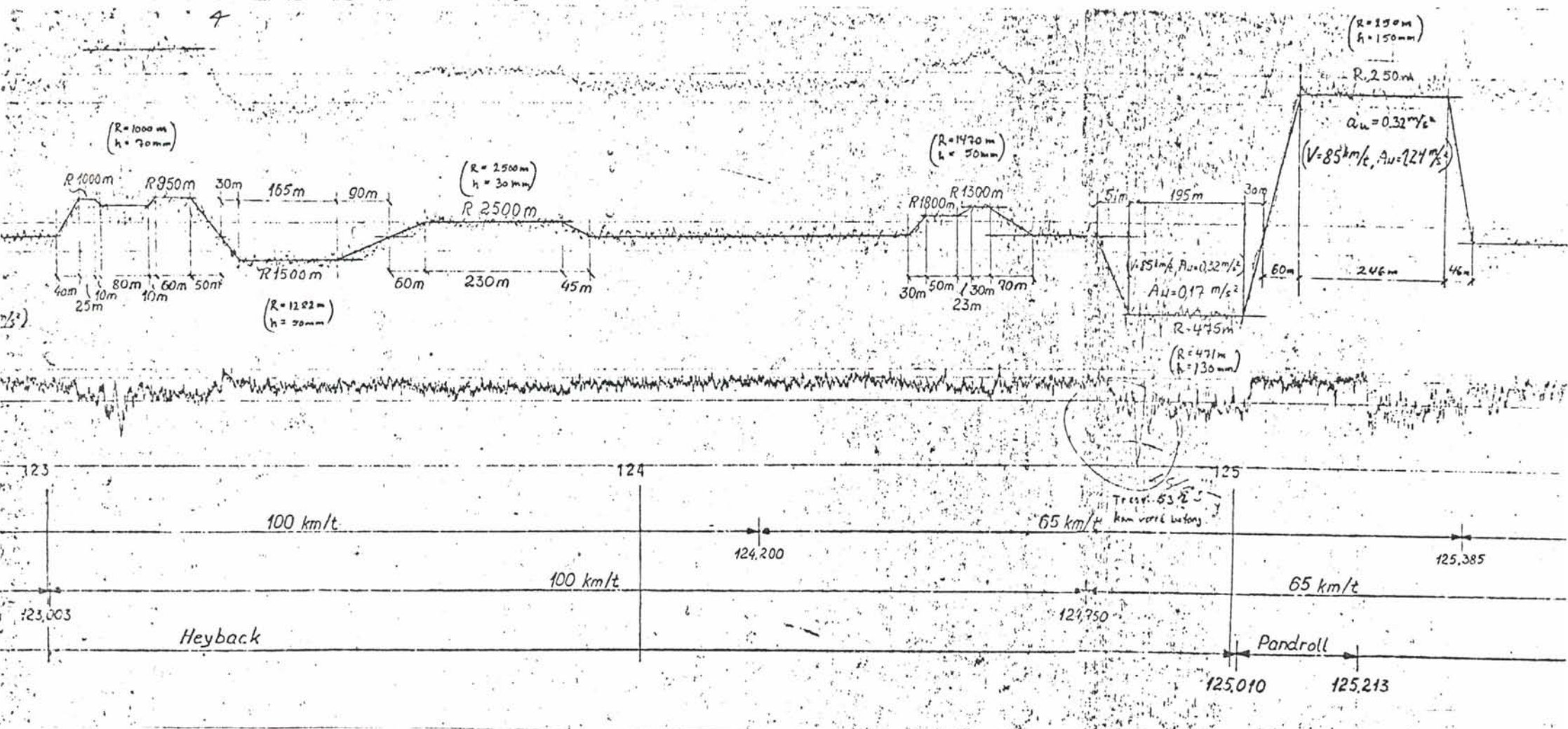
- NSB-notat 28.4.73. Problemnotat 11 s.
- NSB-notat 13.3.78
- NSB-arbeidsdokument nr. 1. Forsøk med kregning 14 s.  
Notatet inneholder en oversikt over studier om vibrasjonskomfort.
- NSB-arbeidsdokument nr. 3. Registrering av Wz-tallet 5 s.  
Notatet inneholder en gjennomgang av måleruller fra våren 1978/SSB-vogn.
- NSB-arbeidsdokument nr. 4. Forsøk med kregning. Valg av komfortkriterier. 3 s.  
Notatet gjennomgår valg av komfortkriterier.
- NSB-notat nr. 5. Forsøk med kregning. Analyse og dokumentasjon fra målinger våren 1978. 6 s.  
Notatet er for enkelte punkter en oppsummering etter konferanse 27.7.78 mellom P. Sture (NSB) og K.L. Seip (SI).

De ovennevnte notater og dokumenter vil bli referert i det følgende, men der opplysningene i disse er vesentlige for forståelsen av den foreliggende rapport, er disse oppsummert.

Måleoppgave, måleoppstilling, kalibrering av måleutstyr etc. er beskrevet i SI-rapport 78 03 12 - 1. Her skal kort gjengis plassering av målepunktene på målevognen. Disse er tegnet inn på figur 1. Vi har vesentlig behandlet resultatene av målingene fra aksellerometrene 4 og 6. Disse viser horisontalaksellerasjonen på vogn og boggi på den siden av målevognen som er koblet til vogn 4. Data for testkjøringene er også gitt i ovennevnte rapport, samt meldinger om eventuelle uregelmessigheter under forsøkene. De vesentligste data for de tester som har vært aktuelle i det foreliggende arbeid, er gjentatt i de følgende avsnitt. I figur 2 har vi reproduisert et utsnitt av en figur som viser linjestrekningen mellom Sokna (114 km) og Ørgenvika (128 km). Utsnittet viser en bestemt S-kurve på denne strekningen (125 km) som vil bli tillagt vekt i den senere bearbeiding av materialet.



Figur 1. Målepunktene plassering på målevogn (etter SI-rapport 231 - 78 03 12 - 1).



Figur 2. Utsnitt av jernbanetrasé.





## 4 METODE

I alt 14 av testene som ble utført i tidsrommet 22.2.-2.3.1978 på kreggende vogn, er digitalisert (se SI-rapport 231 - 78 03 12 - 1). Testene er valgt ut slik at de danner grunnlag for komparative analyser.

Stort sett er følgende prosedyre fulgt:

- a) Vi har identifisert de tidsserieavsnitt som inneholder
  - kvasistatiske svingninger i utvalgte kurver
  - aksellerasjoner på utvalgte rette og krumme sporstrekninger
- b) Beregnet overhastighet på disse strekningene etter 4 ulike kriterier og sammenlignet resultatene.
- c) Beregnet rykk på grunnlag av de kvasistatiske aksellerasjoner ved hjelp av numerisk og grafisk glatting.
- d) Beregnet rykk og Wz-tall på grunnlag av aksellerasjoner med frekvenser høyere enn ca. 0,5 Hz ved hjelp av den såkalte Fast Fourier metode.
- e) Fremstilt komfortparametere ved kjøring med og uten kregning som funksjon av overhastighet.
- f) Vurdert om det er noen signifikante forskjeller i komfortparametrenes verdi for kjøring med og uten kregning.

De benyttede metodene er beskrevet mer utførlig i appendiks I.



5 NOEN KOMMENTARER OM VISUELL VURDERING AV TIDSSERIENE FOR AKSELLERASJON. BEREGNING AV OVERHASTIGHET.

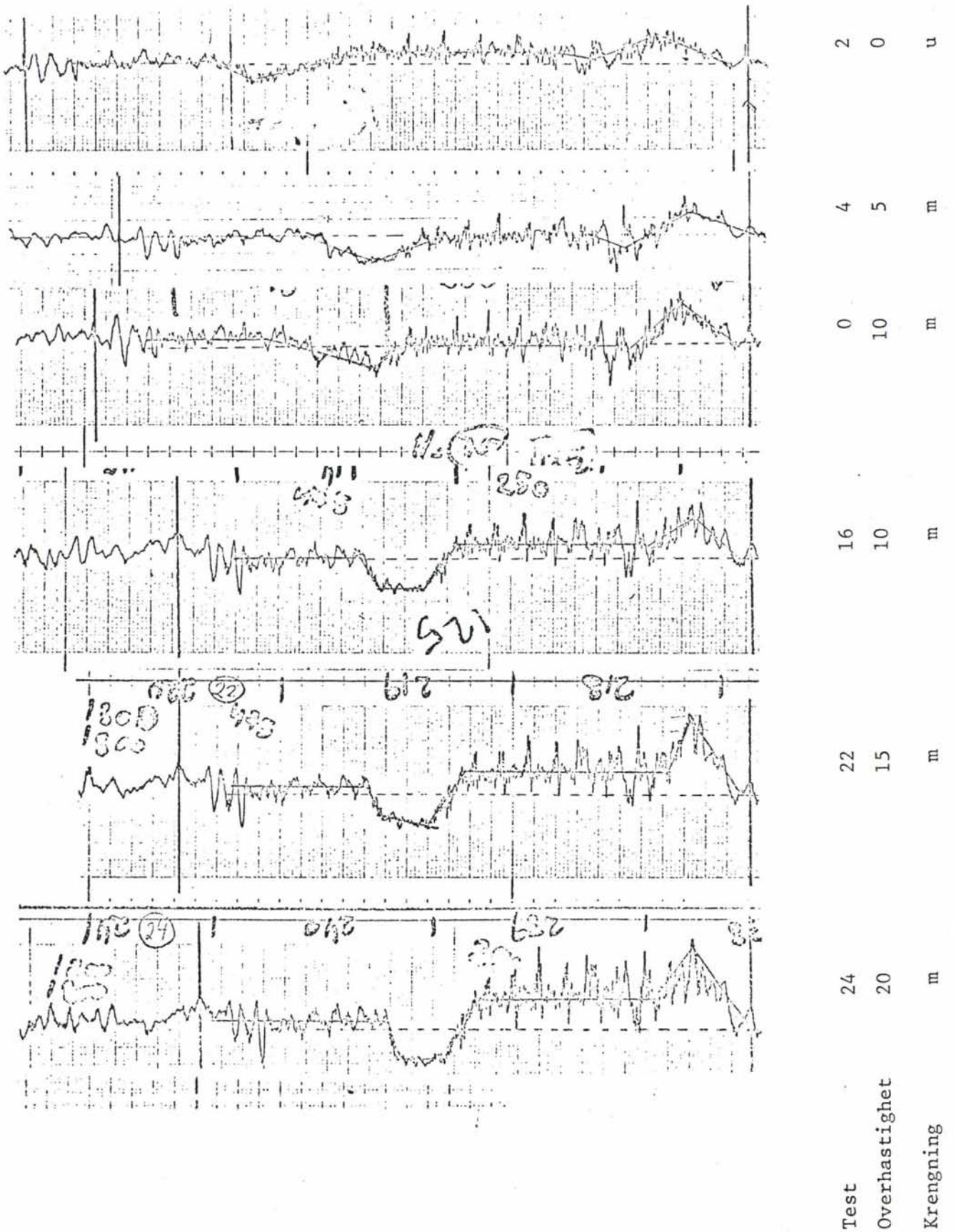
På den samme linjestrekning kan detaljer i tidsseriene gjenkjennes fra test til test. Dette indikerer at egenskaper ved jernbanesporet er av stor betydning for den form spekteret får. Resultatene i rapport 78 06 07 - 1 indikerer at vognenes kjøreegenskaper kan diskuteres ut fra en visuell vurdering av tidsseriene og frekvensspekteret, og at de numeriske parametrene vi beregner, kan sees i relasjon til en slik visuell vurdering. Et par eksempler på slike sammenlignbare tidsserier vil bli gitt.

I figur 3 har vi gjengitt aksellerasjonsforløpet for bl.a. testene 16, 22 og 24, som viser virkningene av økende overhastighet. Strekningen som vises, begynner ved ca. km 124,2 og slutter ved ca. km 125,4. S-kurven  $\bar{S}_1$  som det vil bli referert til senere, vises på denne figuren. Sammenligner en forløpet for test 16 og test 24 synes det umiddelbart ut til å være større rystelser i test 24 enn i test 16.

I figur 4 har vi vist aksellerasjonsforløpene for bl.a. testene 1 og 3, som viser virkningen av krenkning. En ser at den kvasistatiske aksellerasjon for en hel kurvegjennomgang er redusert betydelig, men det er vanskelig å bedømme visuelt hvordan de øvrige endringer i aksellerasjonsseriene vil slå ut i et frekvensspekter eller i Wz-tall o.l.

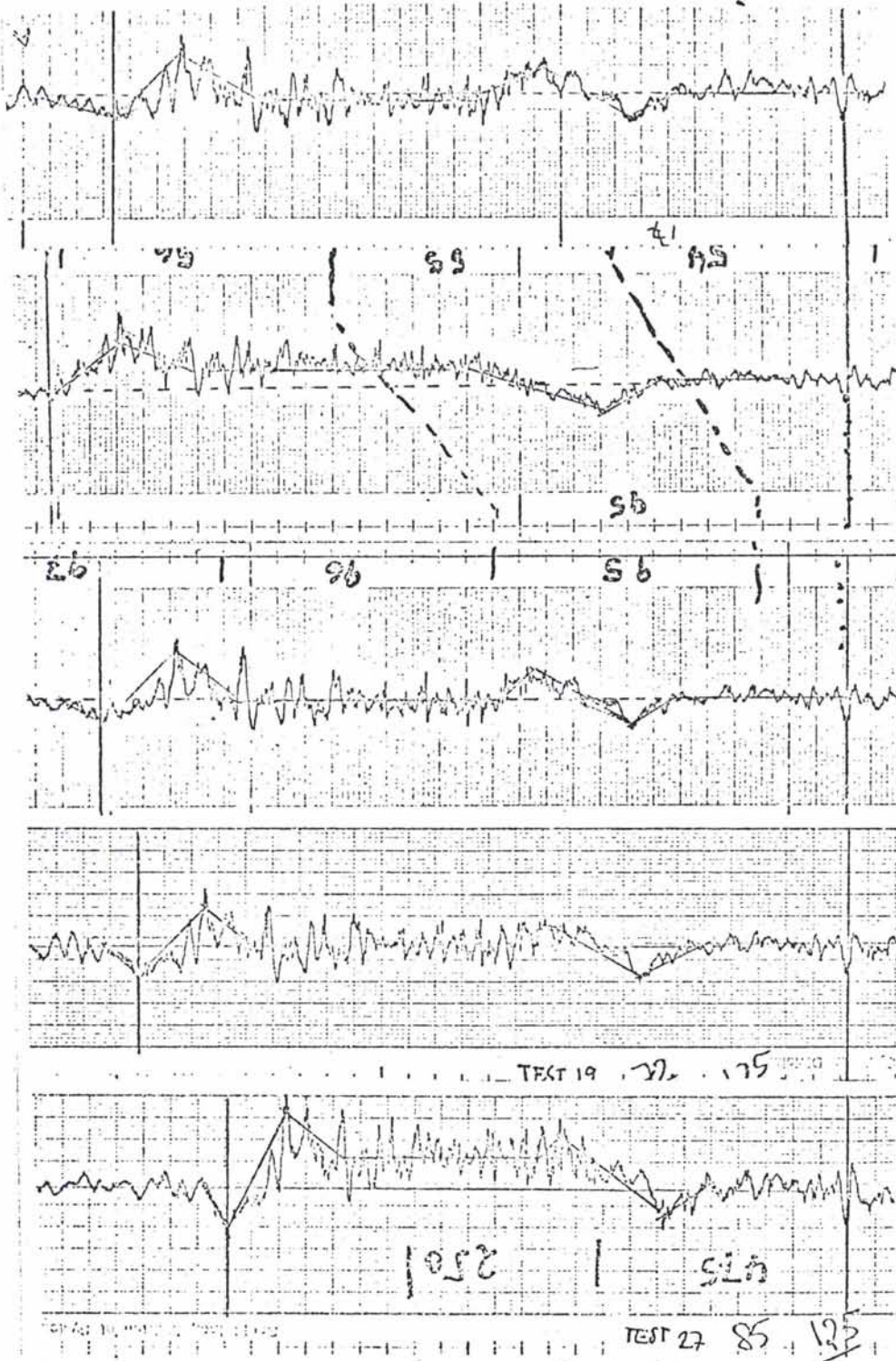
I figur 5 har vi vist analogutskrift og numerisk glattet kurve for et segment av tidsseriene for test 2. Glattingsintervallet har her vært ca. 2 sek, men også andre intervall vil kunne benyttes.

Par av vertikale linjer gjennom tidsseriene markerer avstander som er like lange for alle testene i en enkelt figur. En ser at sekvensen av tester med stadig høyere overhastighet i figur 3 ikke er særlig godt gjennomført, og at testene som i figur 4 nominelt har like stor overhastighet her, må ha betydelig forskjell i hastighet.



Figur 3. Tidsserier for aksellerasjonsforløpet på strekningen Ørgenvika-Sokna ved km ca. 125.





17	0	m
1	0	u
3	0	m
19	5	m
27	10	m
TEST	Overhastighet	Krengning

Figur 4. Tidsserie for aksellerasjonsforløpet på strekningen Sokna-Ørgenvika ved km 125.



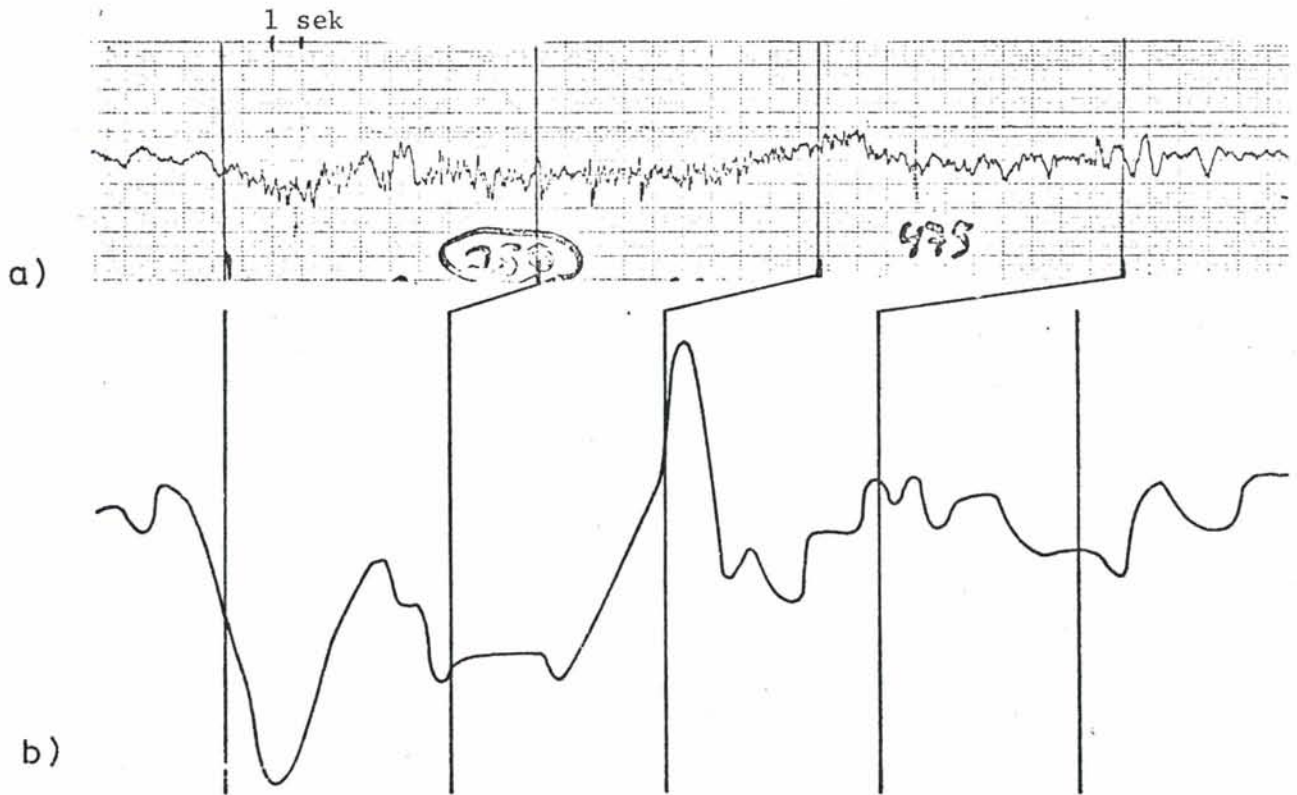


Fig. 5a. Analog utskrift av tidsserie for test 2.

Fig. 5b. Numerisk glattet tidsserie for test 2 svarende til analogutskriften i fig. 5a. Glattingsintervall ca. 2 sek.



Ved å benytte test 2 (nominell overhastighet 0 km/t) som referanse har vi så beregnet de "faktiske" hastigheter i S-svingen like etter tunnelen ved Ørgenvika (km 125 i figur 2). Resultatene er ført opp i tabell I. (Sammenligning mellom avstandene innenfor tester med samme kjøreretning er lettere å utføre sikkert enn en sammenligning mellom tester med motsatt kjøreretning. Vi har derfor i det følgende behandlet data fra de to kjøreretningene adskilt.)

For kjøreretningen Ørgenvika-Sokna har vi også ført opp hastighetene slik de er innlest fortløpende på analogbåndet, og dessuten beregnet hastighetene etter formelen for den teoretiske sideaksellerasjon (Glomnes 1977):

$$v = \sqrt{(a + g \cdot \sin \phi) \frac{r}{\cos \phi}} \quad (1)$$

der  $r$  er kurvens radius

$a$  er boggiens midlere sideaksellerasjon i kurven

$\phi$  er sporets hellingsvinkel

Resultatene av disse 3 måtene å fastsette overhastigheten på er gjengitt i figur 6 for strekningen Ørgenvika-Sokna. Vi har foretatt lineær regresjon mot den nominelle overhastighet, og får da resultatene:

a)	$y = 0,95 x + 2,23$	$r^2 = 0,78$	måling langs analogutskrift
b)	$y = 0,70 x + 4,00$	$r^2 = 0,45$	innlest hastighet
c)	$y = 1,44 x + 1,20$	$r^2 = 0,95$	formel (1)

der  $x$  er den nominelle overhastighet

$y$  er beregnet overhastighet etter henholdsvis metodene a), b) og c).

Metodene a) og c) gir bedre korrelasjon enn metode b). Stigningskoeffisienten i uttrykket a) ligger også rimelig nær den ideelle verdi på 1,0. Korrelasjonskoeffisienten for den lineære regresjon mellom hastighetene beregnet etter metodene a) og c) er  $r^2 = 0,98$ , som indikerer at begge metodene gir gode uttrykk for de faktiske relative overhastigheter. Vi har ved bestemmelse av togets hastighet benyttet begge metodene a) og c) og av praktiske grunner også den nominelle overhastighet. (Den siste metoden er særlig blitt benyttet i forbindelse med beregning av Wz-tallet.)

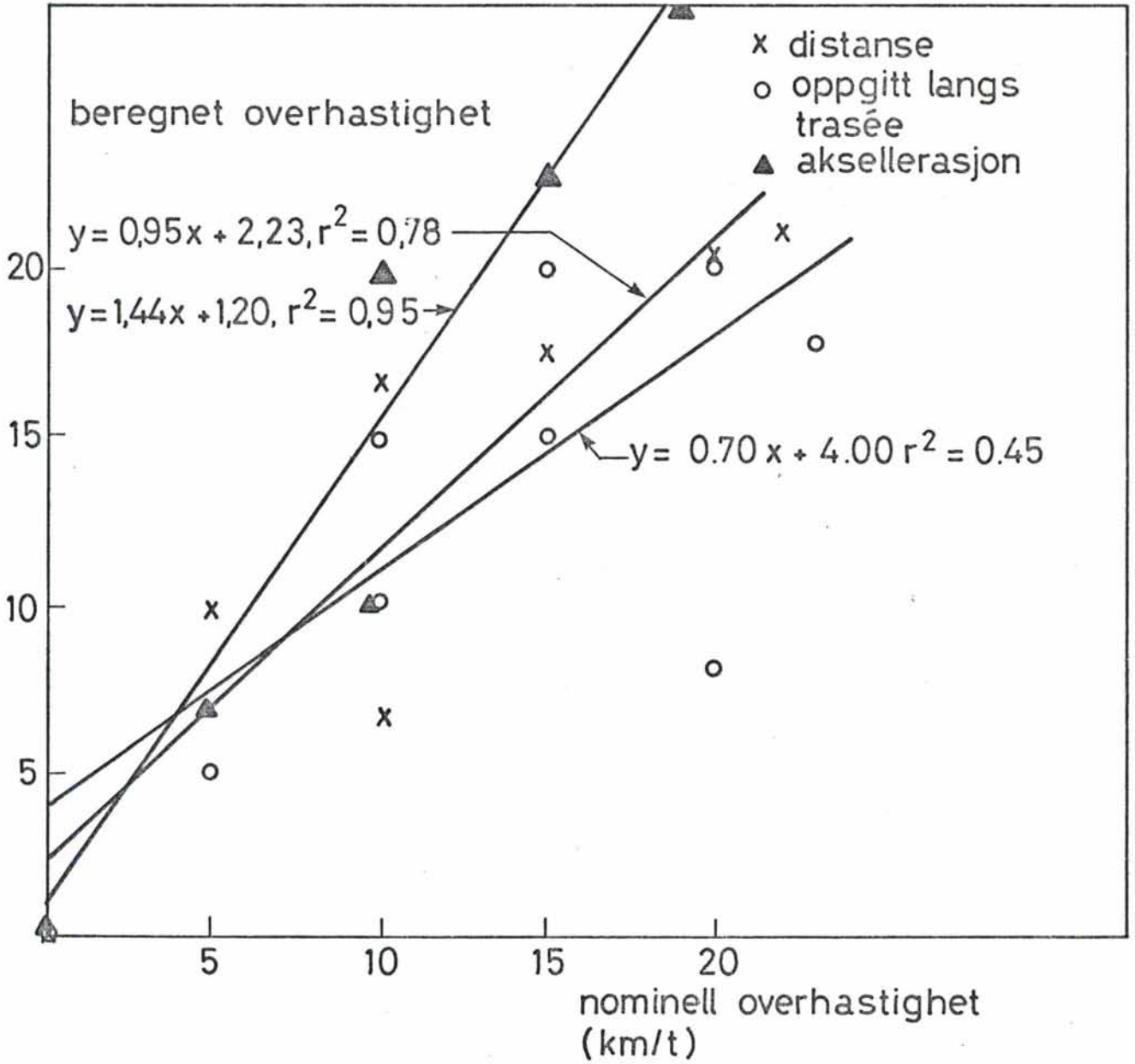


Fig. 6. Overhastighet fastsatt på tre ulike måter som funksjon av nominell overhastighet. Kjøreretning Ørgenvika-Sokna.



TABELL 1 a

Fastsettelse av overhastighet. Nominell tillatt hastighet 65 km/t - Ørgenvika/Sokna.

Retn.	Test	Krengning	Nominell overhastighet	Oppgitt hastighet	Papirlengde	Beregnet hastighet	Differens tillatt/ beregnet	Side- aksellerasjon		Beregnet hastighet
								boggi	vogn	
		m/u	km/t	km/t	cm	km/t		m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	km/t
ØS	2	u	0	55-60	17,15	65*	0	0,4	0,4	65
ØS	4	m	5	70	14,90	74,8	9,8	0,7	0,0	72
ØS	0	m	10	75	15,55	71,7	6,7	-	-	-
ØS	16	m	10	80-82	13,65	81,7	16,7	1,3	0,4	85
ØS	22	m	15	80-85	13,55	82,3	17,3	1,4	0,6	88
ØS	24	m	20	73-85	13,10	85,10	20,10	1,65	0,7	93

\* Test benyttet til kalibrering.

TABELL 1 b

Fastsettelse av overhastighet. Nominell tillatt hastighet 65 km/t - Sokna/Ørgenvika.

Test	Krengning	Nominell overhastighet	Oppgitt hastighet	Papirlengde	Beregnet hastighet	Differens tillatt/ beregnet	Side- aksellerasjon		Beregnet hastighet
							boggi	vogn	
	m/u	km/t	km/t	cm	km/t		m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	km/t
1	u	0		15,0 (10,6)	65,7	0,7			-
3	m	0		14,0	70,4	5,4	0		
17	m	0	70	13,7 9,7(2)	72	7,0	0		
19	m	5		13,3	74,1	9,1		-	
27	m	10		11,1	88,9	23,9			-



For strekningen Sokna-Ørgenvika har vi undersøkt hvilken sammenheng vi får mellom overhastighet beregnet etter metode a) og nominell overhastighet. De grafiske resultater er fremstilt i figur 7, og den resulterende regresjonsligning er:

$$y = 1,70 x + 4,27 \quad r^2 = 0,89$$

der  $x$  er den nominelle overhastighet

$y$  er den beregnede overhastighet etter metode a)

Regresjonskoeffisienten  $r^2$  er noe høyere enn i den foregående testserie, men vinkelkoeffisienten 1,70 er vesentlig høyere enn den ideelle verdi på 1,0.

Det synes noe vanskeligere å fastlegge boggiens sideaksellerasjon på denne strekningen; metode c) er derfor ikke benyttet her.

Vi vil derfor konkludere med at de resultatene vi vil komme fram til vedrørende komfortforholdene ved kjøring med og uten krenkning vil være best og mest pålitelige på strekningen Ørgenvika-Sokna.

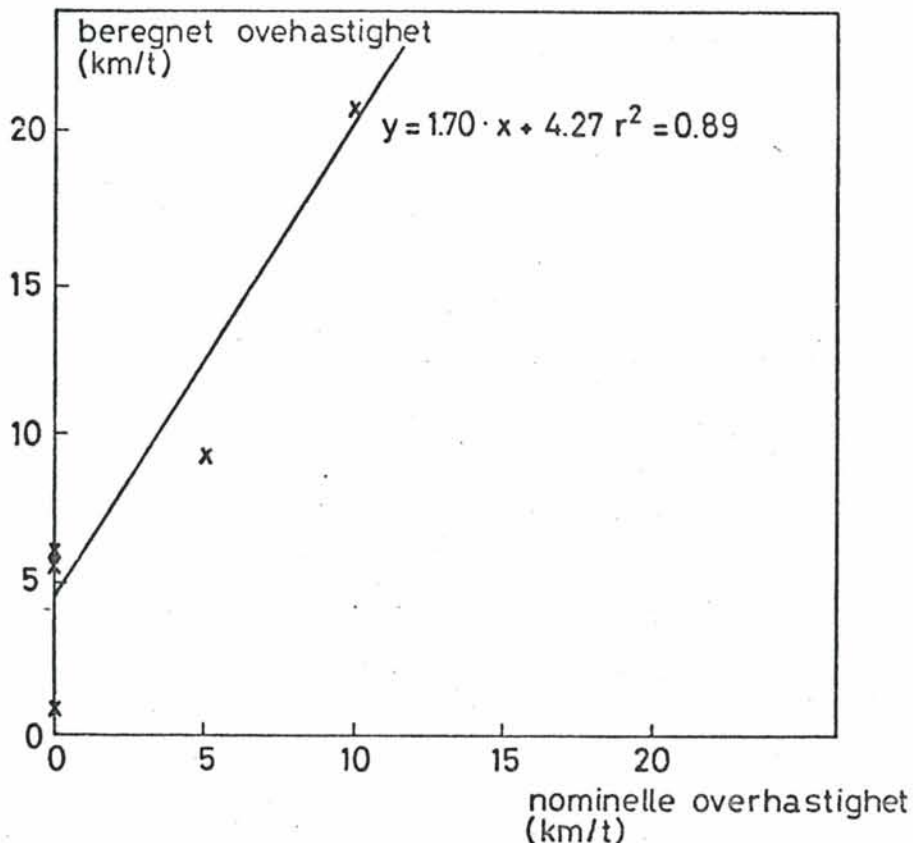


Fig. 7. Overhastighet beregnet ut fra analogstrimmellengde som funksjon av nominell overhastighet.





## 6 SIGNALBEARBEIDING

Vi har valgt å utføre signalbearbeidingen etter de tabeller som er ført opp i SI-notat nr. 78 06 07 - 1 og diskutert i NSB-notat nr. 5. Analysen faller i tre hovedgrupper.

## A. Virkning av overhastighet

Her benyttes normaldeteksjon, testnumrene er angitt i tabellene III og IV.

## B. Virkning av ulike deteksjonsmetoder.

Her studeres virkningene av normaldeteksjon, spesialdeteksjon og selvdeteksjon. Testnumrene er angitt i tabell V.

## C. Sammenligning av kjøring med og uten krenkning. Krenkning utføres med normaldeteksjon. Testnumrene er angitt i tabell VI.

Innen hver hovedgruppe har vi utført helt eller delvis følgende sett av beregninger (se tabell II).

- 1.1 Siderykk, herunder kvasistatisk siderykk
- 1.2 Kvasistatisk sideaksellerasjon i vognkasse og på boggi
- 1.3 Wz-tall horisontalt

TABELL II

Oversikt over beregninger og analyseoppgaver.

Beregning	Type sideaksellerasjon	Analyse		
		Overhastighet	Deteksjonsmetode	Krenkning
Rykk	Dynamisk	x	x	x
	Kvasistatisk	x		x
Aksellerasjon	Dynamisk	x	x	x
	Kvasistatisk	x	x	x
Wz-tall	Dynamisk	x	x	x



Den kvasistatistiske aksellerasjon er definert som den gjennomsnittlige aksellerasjon man får ved en midlingslengde som er stor i forhold til de dynamiske svingninger, men liten i forhold til en eventuell overgangskurves lengde (NSB brev av 7. mai 1979).

I fig. 7b har vi antydnet hvilke typer svingninger som ligger til grunn for de ulike beregningene.

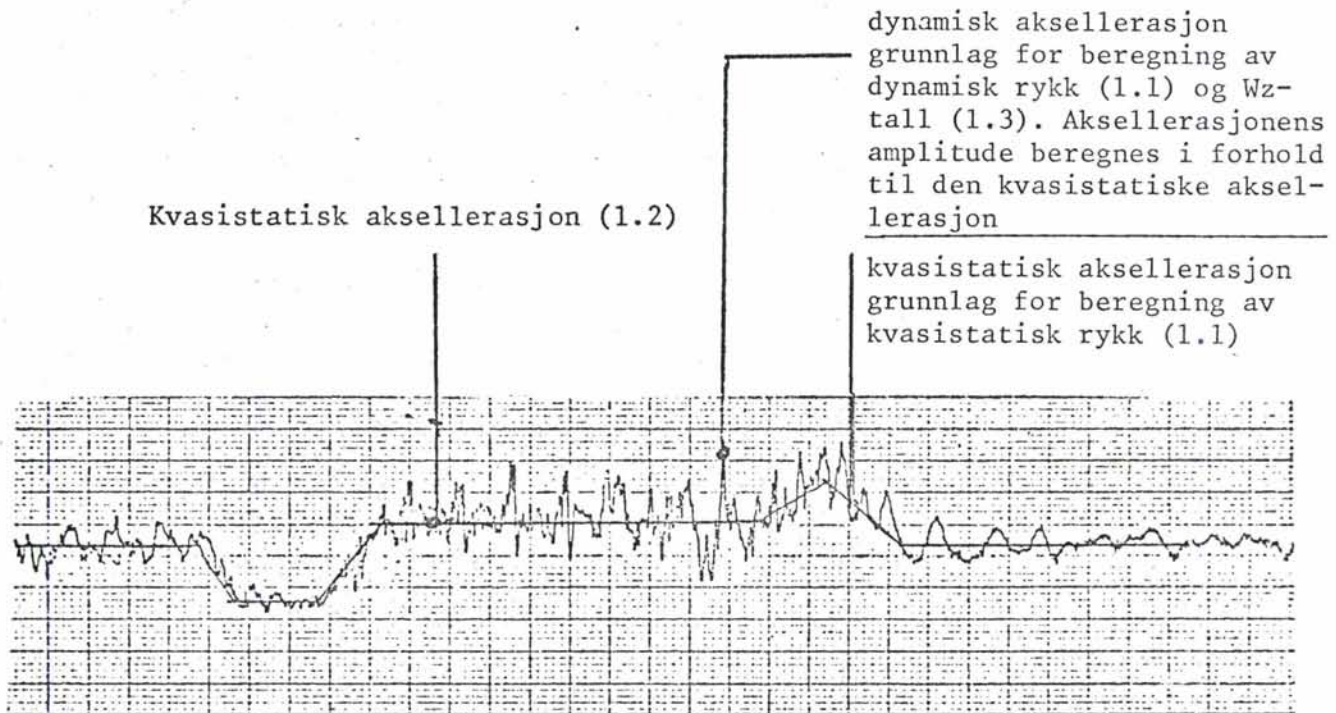


Fig. 7b. Svingningene (direkte eller glattet) som danner grunnlaget for analysene. Numrene i parentes viser til nummereringen av beregningene.

Beregningene er presentert slik at resultatene for overhastighet kommer først, dernest resultatene for deteksjonsmetode og til slutt resultatene for krenkning. En del av resultatene for overhastighet benyttes ved tolkning av resultatene for krenkning.

Den enkelte type beregning er presentert slik de fremkom ved bearbeidelsen, bl.a. var det naturlig å presentere resultatene av de dynamiske sideaksellerasjonene for seg.



Beregningene basert på den dynamiske sideaksellerasjon er behandlet relativt grundig. I tillegg til å se på samlende uttrykk for de tre parametrene rykk, aksellerasjon og Wz-tall, har vi fremstilt resultatene som funksjon av frekvens og/eller varighet av signalene.

Beregningene basert på den kvasistatiske sideaksellerasjon er mindre omfattende enn de ovennevnte beregninger. På den utkjørte strekning mellom Ørgenvika og Rallerud synes S-svingen umiddelbart etter tunnelen ved Ørgenvika i retning Rallerud best egnet for beregning av den kvasistatiske aksellerasjon, bl.a. fordi aksellerasjonen i denne kurven er relativt konstant. Vi har derfor tatt utgangspunkt i data fra denne S-kurven i de følgende beregninger.

I tabellene har vi ført opp de testserier som ble benyttet i analysen. I tillegg gir matriseformen i tabellene mulighet for å identifisere kjøreparametere for eventuelle ytterligere testserier, dersom dette skulle være aktuelt.

Under signalbearbeidingen har vi lagt vekt på å illustrere de sannsynlige usikkerheter i resultatene ved å beregne usikkerhetene som standardavvik, ved en del typiske serier. Resultatene for disse seriene er også gjengitt i tabellform. For øvrig henvises til notat SI 78 06 07-2.

I det følgende presenteres resultatene for sideaksellerasjon, målt med aksellerometer nr. 4 på fig. 1.





TABELL III

Virkning av overhastighet på tidsserien for aksellerasjon.  
Strekningen Ørgenvika - Sokna. Normaldeteksjon.

<u>Overhastighet km/t</u>	<u>Test nr.</u>	<u>Testdubletter</u>
0	2*	
5	4	
10	16	
15	22	10, 8
20	24	12, 14

TABELL IV

Virkning av overhastighet på tidsserien for aksellerasjon.  
Strekningen Sokna - Ørgenvika. Normaldeteksjon.

<u>Overhastighet km/t</u>	<u>Test nr.</u>	<u>Testdubletter</u>
0	17	3, 11, 23, <u>29</u> **
5	19	13, 21
10	27	5, 9
15	ingen	
20	ingen	

\* Referansetest, kjøring uten krenning.

\*\* Understrekede tester er tatt ut på skriver.



TABELL V

Testnummere ved studiet av ulike deteksjonsmetoder.  
Strekningen Ørgenvika - Sokna (lok. ca. 125 km)

<u>Deteksjonsmetode</u>	<u>Overhastighet km/t</u>				
	<u>0</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>20</u>
Normaldeteksjon			16		
Selvdeteksjon			20		
Spesialdeteksjon			18		

---

TABELL VI

Testnummere ved studiet av krenkning.  
Strekningen Sokna - Ørgenvika

<u>Krenkningsmode</u>	<u>Overhastighet km/t</u>				
	<u>0</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>20</u>
Uten krenkning	1				
Med krenkning	3, 17*				

---

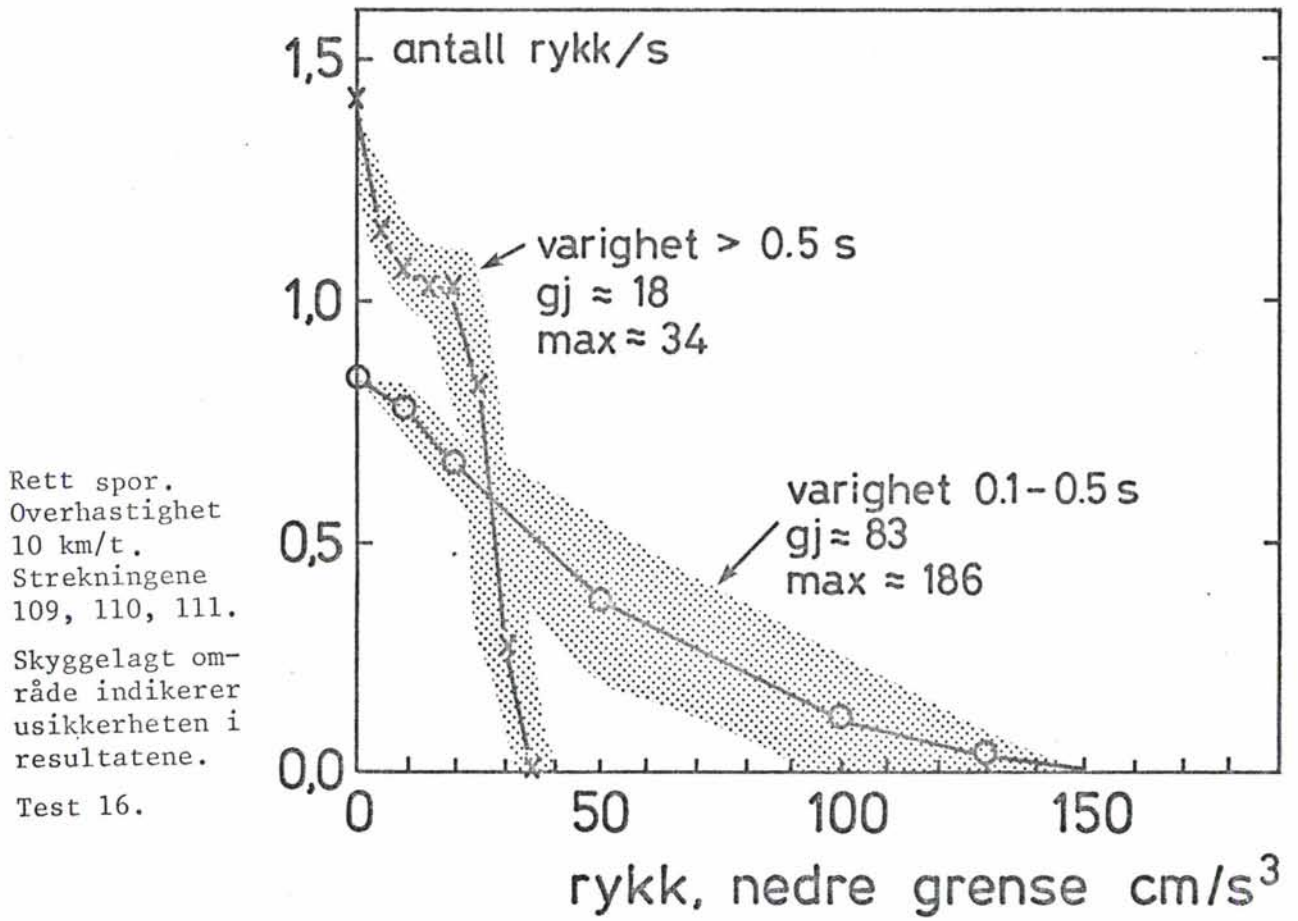
\* Dublett



Som nevnt under punkt 5, er det en del usikkerheter forbundet med å fastslå de presise hastigheter toget har kjørt med på de enkelte linjestrekninger. Det samme fremgår av tabell III i notat SI 78 06 07-2 og tabell VII her. Vi har derfor foretatt beregninger for en rekke linjetraséer med ulik krumning og i et tilfelle utført de samme beregningene for begge kjøreretningene. Vi antar at den tendens som disse beregningene samlet viser, gir et rimelig sikkert uttrykk for tendensene i materialet. De hovedkonklusjoner vi vil komme til å trekke, må sees i lys av den sikkerhet vi kan oppnå i resultatene ved å "reprodusere" forsøksbetingelsene på denne måten. En bedre bearbeiding kan oppnås ved å benytte en enda større del av det materialet som foreligger analogt på bånd, men det vil kreve ytterligere tid og arbeid.

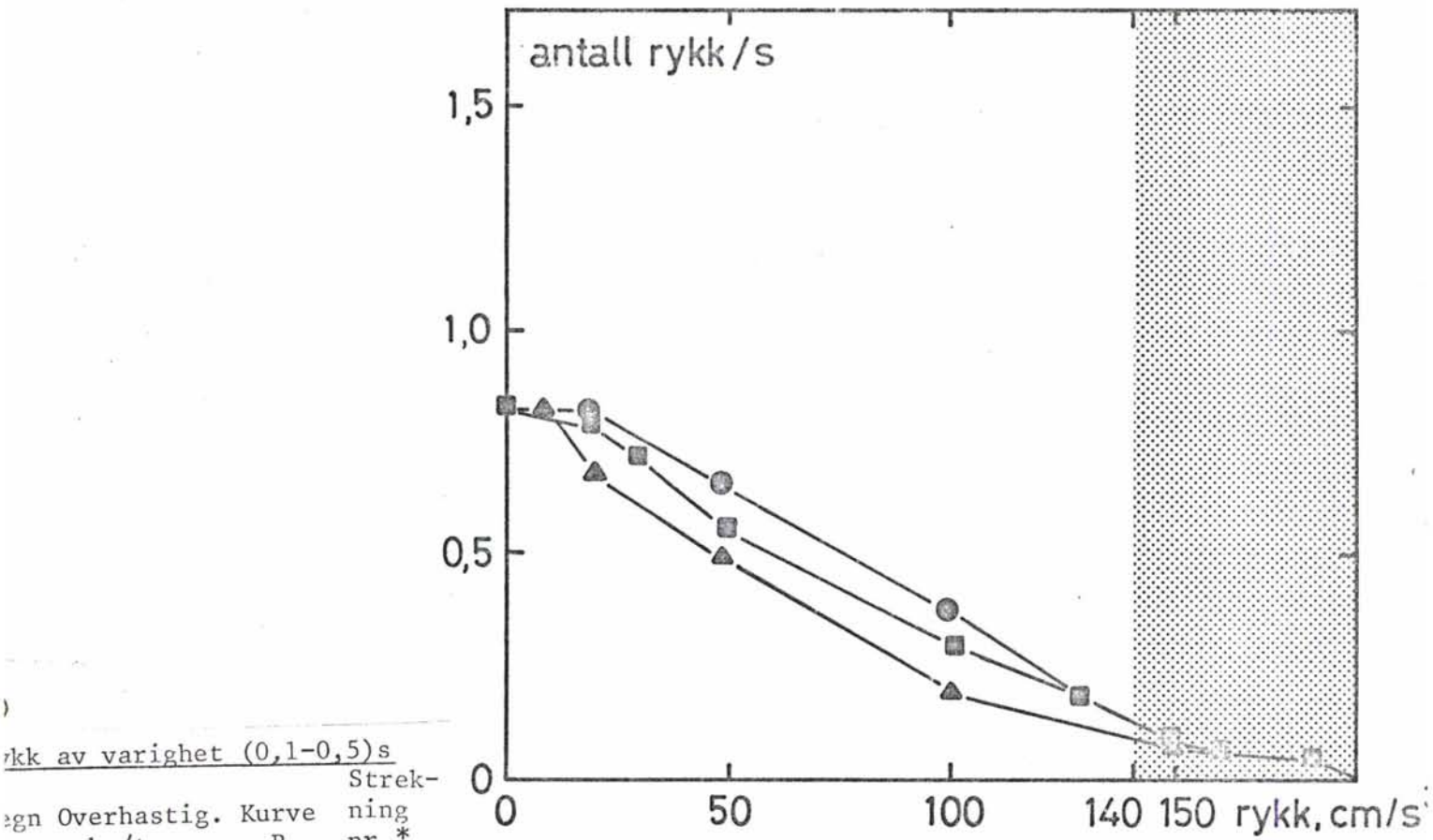
#### 6.1 ANTALL RYKK SOM FUNKSJON AV NEDRE GRENSE FOR RYKKVERDIEN (DYNAMISK SIDEAKSELLERASJON)

Vi har tidligere studert hvordan antall rykk pr. tidsenhet endres med den nedre grense for hvor store rykk som registreres. Se SI-notat nr. 78 06 07-2. Vi har gjentatt disse beregningene på et større tallmateriale, bl.a. for å skaffe en oversikt over usikkerheten i resultatene på strekninger som ideelt sett er identiske og som kjøres med samme overhastighet. Resultatene er fremstilt i figurene 8 og 9.



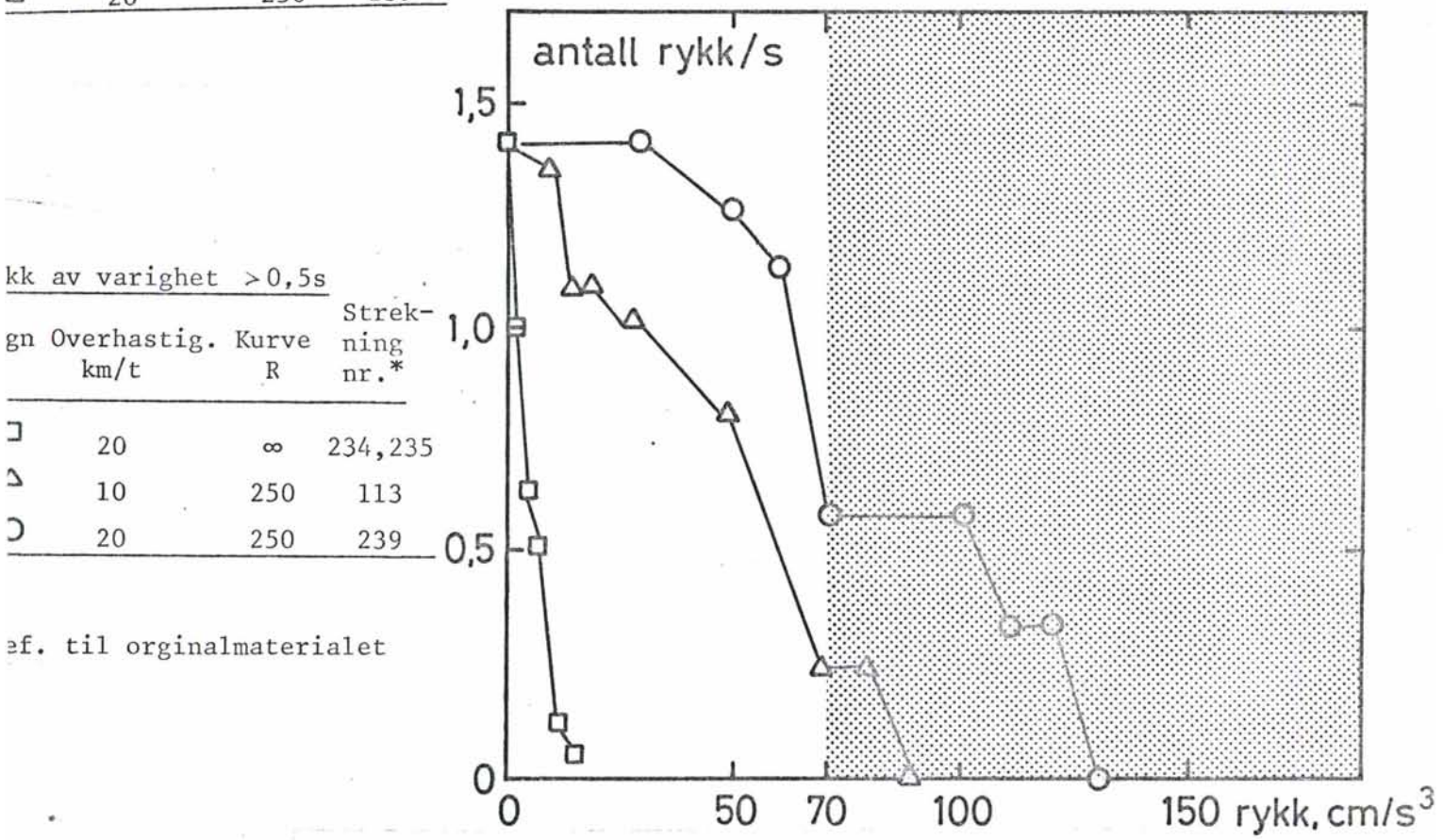
Figur 8. Antall rykk som funksjon av nedre grense for rykkverdi. Det gjennomsnittlige og maksimale rykk er også angitt.





rykk av varighet (0,1-0,5)s

Overhastig. km/t	Kurve R	Strekning nr.*
20	∞	234,235
10	250	113
20	250	239



rykk av varighet >0,5s

Overhastig. km/t	Kurve R	Strekning nr.*
20	∞	234,235
10	250	113
20	250	239

ref. til originalmaterialet

Figur 9. Antall rykk som funksjon av nedre grense for rykkverdi. Verdier over toleranse-grensene er skyggelagt.



Ved vurdering av resultatene for lave nedre grenser må vinduet for frekvensspekteret tas i betraktning. Dette er her 0,05-20,00 Hz med frekvensincrement 0,05 Hz. Nå svarer varighetene 0,1 og 0,5 s til henholdsvis frekvensene 2,5 Hz og 0.5 Hz, og ved en grenseverdi på 0 fremkommer tall som er en funksjon av disse frekvensene.

Kurvene har karakter av å være stepfunksjoner. Dette gjelder særlig kurvene for rykk av lang varighet. "Usikkerheten" i disse verdiene kan derfor bare antydes. For rykk av kort varighet ser en at usikkerheten er betydelig, slik at en ikke kan regne med at denne parameteren vil kunne gi et godt uttrykk for ulike kjørebetingelser.

Resultatene indikerer generelt at antall rykk av lang varighet øker med økende hastighet og med økende krumning.

Med den valgte kalibrering svarer de numeriske verdiene langs x-aksen til rykk i  $\text{cm/s}^3$ . Bare ved høye overhastigheter og sterk krumning får en et vesentlig antall rykk som overstiger toleransegrensen på  $70 \text{ cm/s}^3$  for rykk av lang varighet. For rykk av kort varighet derimot ser det ut til at det lille antall rykk som forekommer, er tilnærmet uavhengig av kjørebetingelsene.

## 6.2 VIRKNING AV OVERHASTIGHET

Vi har tidligere rapportert en del resultater vedrørende virkningen av overhastighet på sideaksellerasjonen ved kjøring i retning Ørgenvika - Sokna (notat nr. 78 06 07-2). Vi har her bearbeidet et større materiale og sett på virkningene på strekninger med varierende krumning fra rett linje til en strekning med radius 250 m.

Resultatene er gjengitt i tabell VII og fremstilt grafisk i figurene 10 og 11.



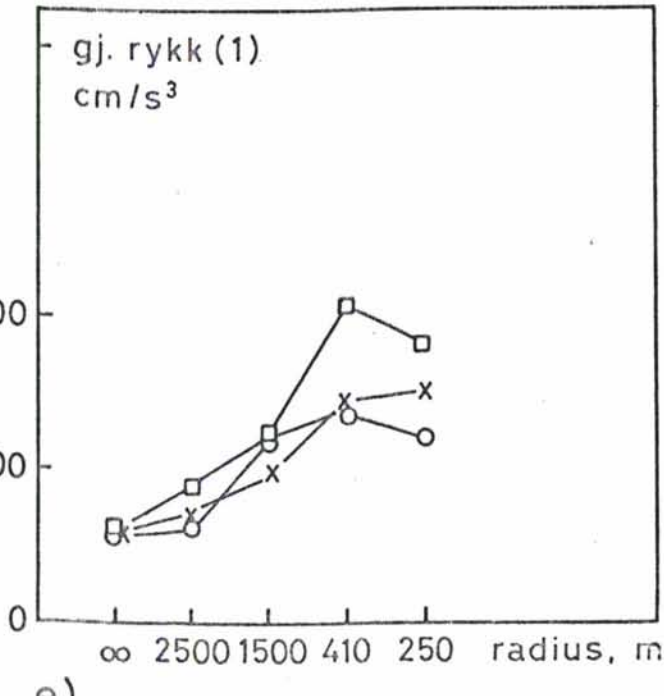
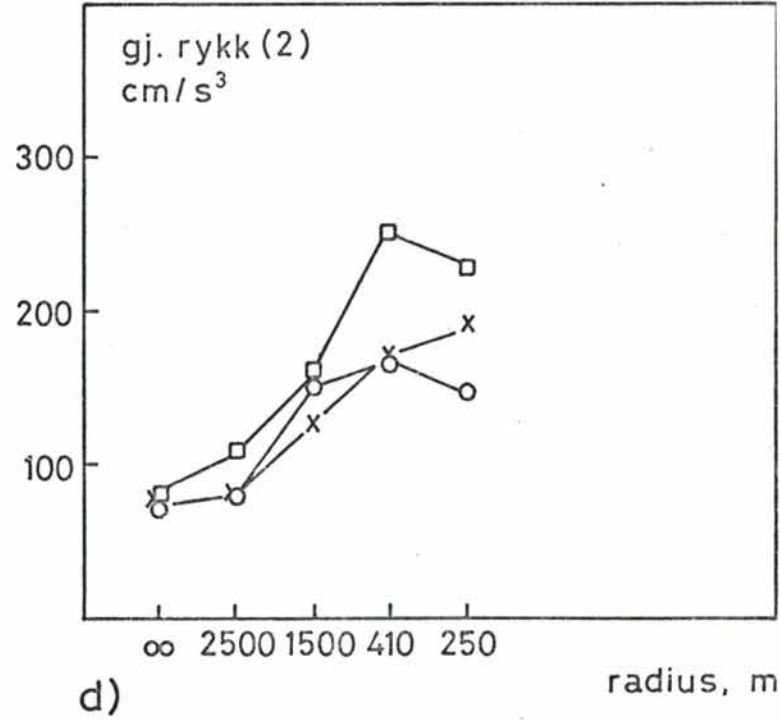
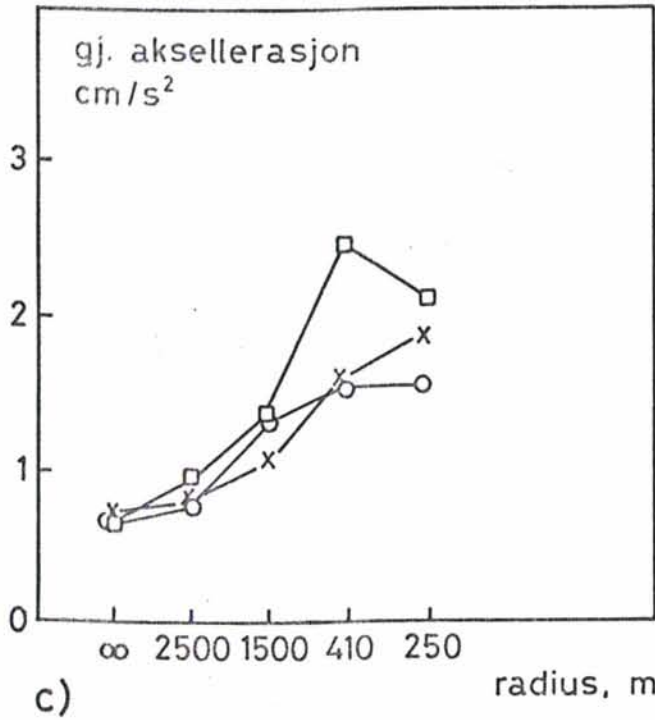
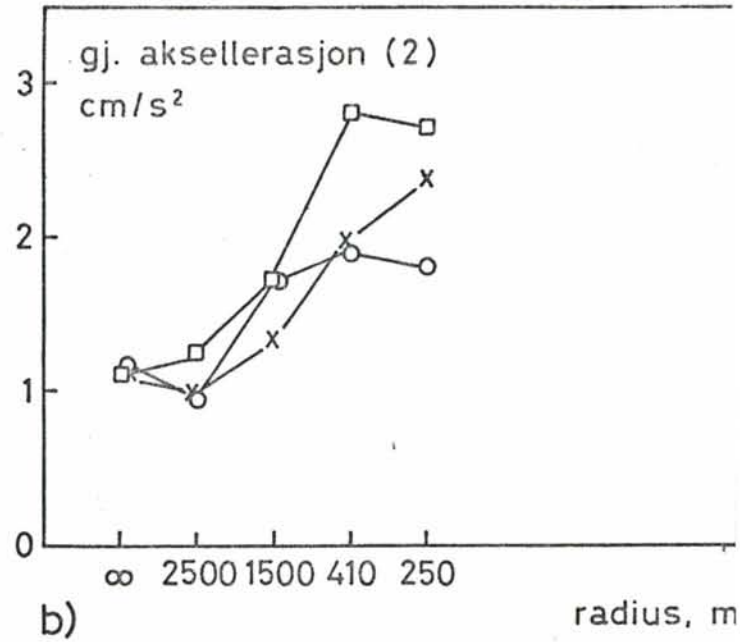
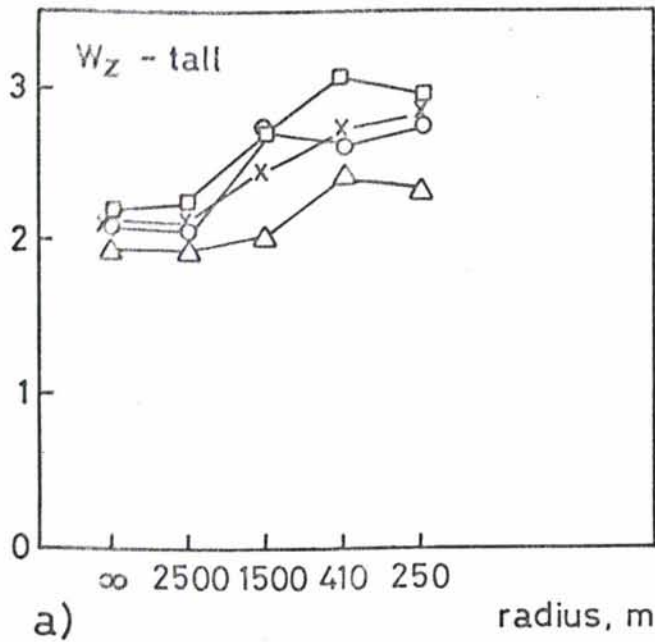
TABELL VII

Virkning av overhastighet på aksellerasjon, vogn  
Kjøreretning Ørgenvika - Sokna, rett strekning  $R = \infty$  (i området: km 126)  
Normaldeteksjon. Frekvensvindu 0,05 Hz - 20. Hz.  
Standard hastighet 70-65 km/t.

Test nr. Parameter	16	22	24
- Nominell overhastighet km/t	10	15	20
- Rapportert hastighet km/t	80-82	80-85	73-85
- Strekning nr.	108-111	213-216	234-237
- Wz-tall	2,11±0,15	2,17±0,06	2,16±0,12
- Gj. antall rykk/s varighet 0,1-0,5 sek	2,54±0,98	3,20±0,81	2,92±0,35
- Gj. antall rykk/s varighet >0,5 sek	3,05±0,36	2,53±0,82	3,23±0,00
- Gj. aksellerasjon cm/s <sup>2</sup>	0,66±0,10	0,68±0,06	0,64±0,09
- Gj. aksellerasjon* >2 cm/s <sup>2</sup>	1,19±0,13	1,18±0,07	1,18±0,26
- Gj. rykk* >25 cm/s <sup>3</sup>	73,2±13	77,7±6,4	78,5±15
- Maks. rykk varighet >0,5 sek cm/s <sup>3</sup>	30,1±4,5	22,2±11	23,5±9,8

\* Verdiene for aksellerasjon og rykk kan bli mindre enn grenseverdien, fordi vi har delt på antall frekvensintervaller i histogramfremstillingen, selv om verdien svarende til enkelte intervall er null.





Figur 10. ØRGENVIKA - SØKNA

Virkning av overhastighet på sideaksellerasjon.

a)  $W_z$ -tallb) Gjennomsnittelig aksellerasjon for verdier større enn 2 cm/s<sup>2</sup>

c) Gjennomsnittelig aksellerasjon

d) Gjennomsnittelig rykk for verdier større enn 50 cm/s<sup>3</sup>

e) Gjennomsnittelig rykk

○ 10 km/t overhastighet

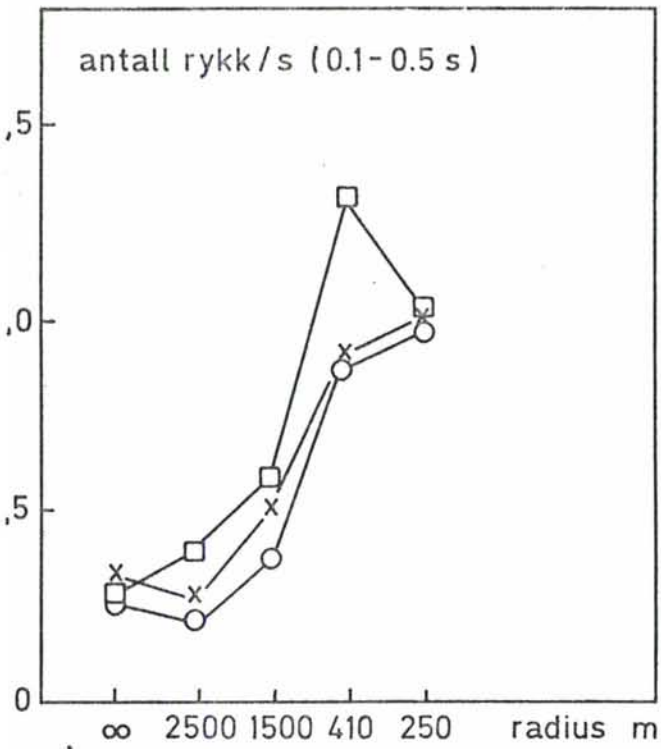
x 15 " "

□ 20 " "

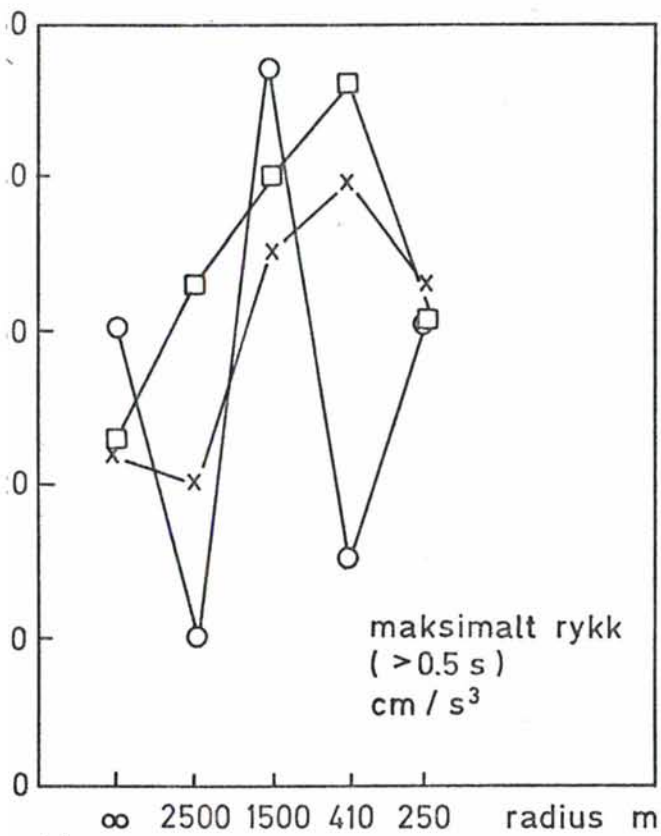
△ 0 " "

Referansetest





a)



b)

Figur 11. ØRGENVIKA - SOKNA

Virkning av overhastighet på sideaksellerasjon.

a) Antall rykk pr. sek med verdi over en viss terskelverdi (> 25 cm/s<sup>3</sup>)

b) Maksimalt rykk av varighet &gt; 0,5 s

○ 10 km/t overhastighet

x 15 " "

□ 20 " "

Se kommentarer til rykk i tabell VII.



Vi har også sett på de samme parametere under kjøring i retning Sokna - Ørgenvika, men har da bare presentert resultatene for de parametrene som synes mest interessante ut fra den første serien. Disse siste resultatene er fremstilt i figur 12, 13 og 14. Utvalget av krumningsradier er litt forskjellig fra radiene i den første serien, fordi de utsnitt som ble tatt ut for nærmere studium, ble en del endret.

De parametrene vi har studert, kan deles i to grupper - de som gir et integrert uttrykk for egenskaper ved frekvensspekteret, og de som tar utgangspunkt i maksimalverdier.

#### Integrerende parametere

Wz-tallet øker med minkende kurveradius og med økende overhastighet for de aller fleste linjestrekninger. De numeriske verdiene ligger i overkant av de verdiene vi fant og gjenga i rapport 78 03 12-2, men dette skyldes delvis at serien i den ovennevnte rapporten ble kalibrert med et snevrere frekvensvindu.

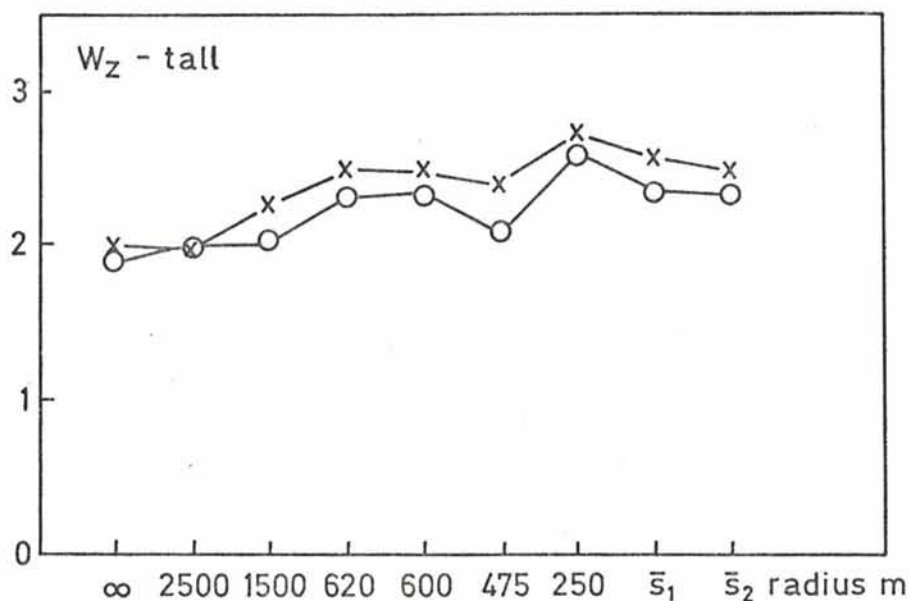
I prinsippet er målingene av Wz-tallet ikke "gyldige" på annet enn rette linjestrekninger, og når målinger utføres, får en gjerne et lavere Wz-tall ved kjøring i kurver. (Se Sture, NSB-notat nr. 3.)

Forskjellen mellom våre resultater og de resultater som rapporteres for Wz-målinger med et "Wz-måle-instrument", kan være at instrumentet ikke har den oppgitte frekvenskarakteristikk. (Opplysninger om denne diskrepansen er gitt av Sture, privat meddelelse.)

Det gjennomsnittlige rykk øker meget langsomt med økende hastighet på rett linjestrekning, noe mer markert i kurvene.

Både Wz-tallet, den gjennomsnittlige aksellerasjon og det gjennomsnittlige rykk viser samme trend m.h.p. krumning og overhastighet. Dette gjelder i begge kjøreretninger mellom Ørgenvika og Sokna.

## SOKNA - ØRGENVIKA



Figur 12.

W<sub>Z</sub>-tall som funksjon av krumningsradius for ulike overhastigheter

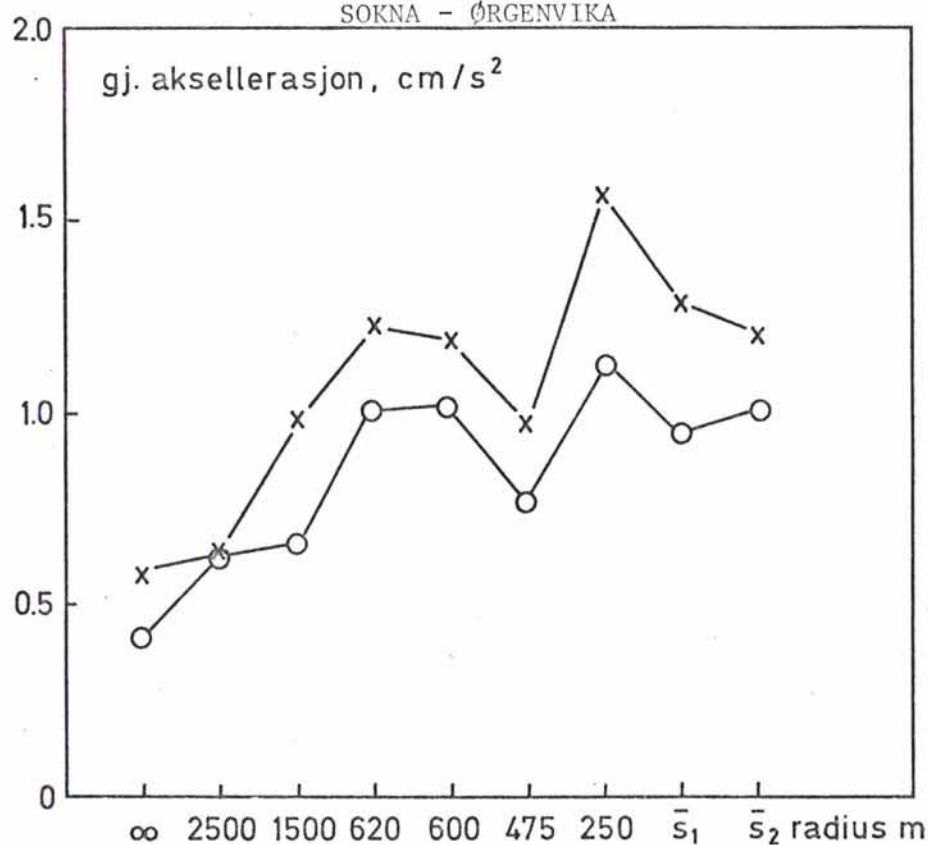
○ 0 km/t overhas.

x 10 " "

$\bar{s}_1$  S-kurve ved km 125

$\bar{s}_2$  S-kurve ved km 122

## SOKNA - ØRGENVIKA



Figur 13.

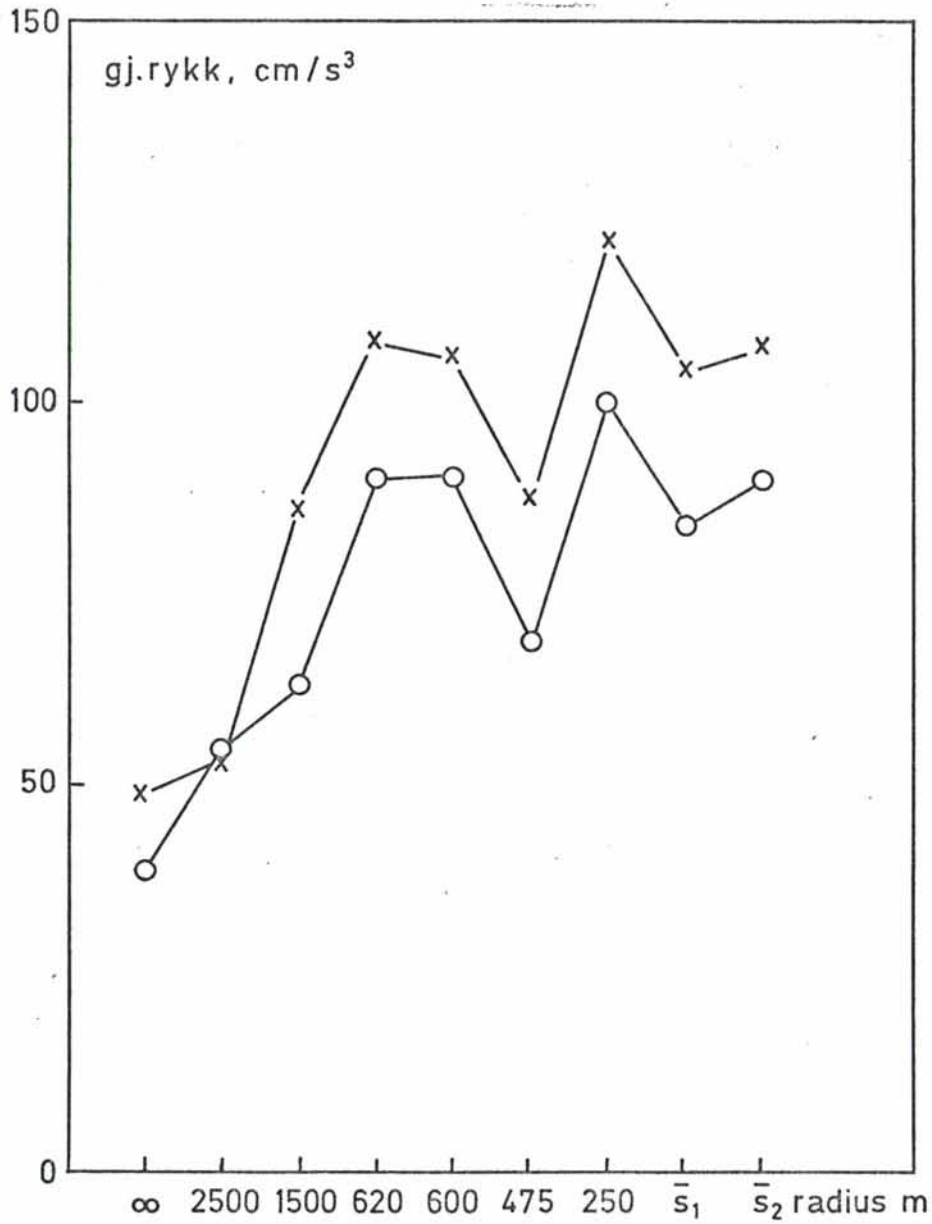
Aksellerasjon som funksjon av krumningsradius for ulike overhastigheter

○ 0 km/t overhas.

x 10 " "

$\bar{s}_1$  S-kurve ved km 125

$\bar{s}_2$  S-kurve ved km 122



Figur 14. Rykk som funksjon av krumningsradius for ulike overhastigheter.

O 0 km/t overhastighet

x 10 " "

s̄₁ S-kurve ved km 125

s̄₂ S-kurve ved km 122





Kurvene i figur 10 b) og d) viser henholdsvis den gjennomsnittlige aksellerasjon og det gjennomsnittlige rykk for verdier over en viss nedre grense. Denne er for aksellerasjonen  $> 2 \text{ cm/s}^2$  og for rykk  $> 50 \text{ cm/s}^3$ . Disse kurvene synes imidlertid ikke å gi noen tilleggsinformasjon utover det de tilsvarende kurver uten noen nedre grense gav.

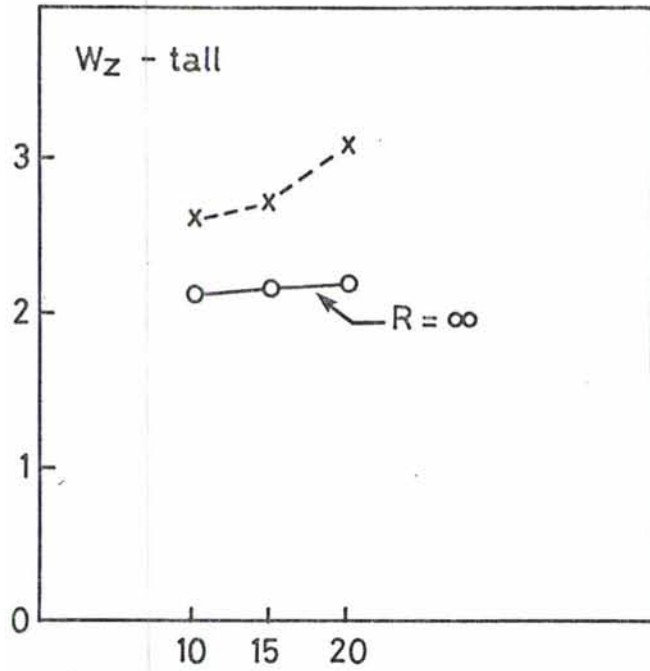
Antall rykk i området 0,1-0,5 sek varighet synes kanskje å øke med høyere overhastighet på rette linjestrekninger og ved svake krumninger. Ved sterke krumninger er det ikke mulig å si noe bestemt.

#### Maksimalverdier

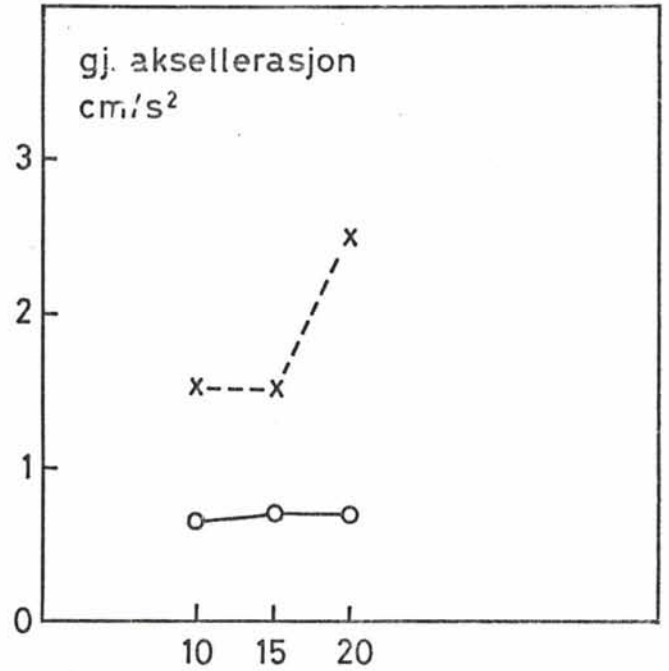
Vi har rapportert de maksimale utslag for rykk og for aksellerasjon. Det er rimelig å regne med at verdiene her er mer utsatt for tilfeldige utslag enn i den foregående parameterserie. Resultatene i figur 11 b) synes også å vise at dette er tilfellet, slik at disse parametrene tydeligvis er mindre egnet som uttrykk for kjøreforholdene.

#### Kjøreparametere som funksjon av overhastighet

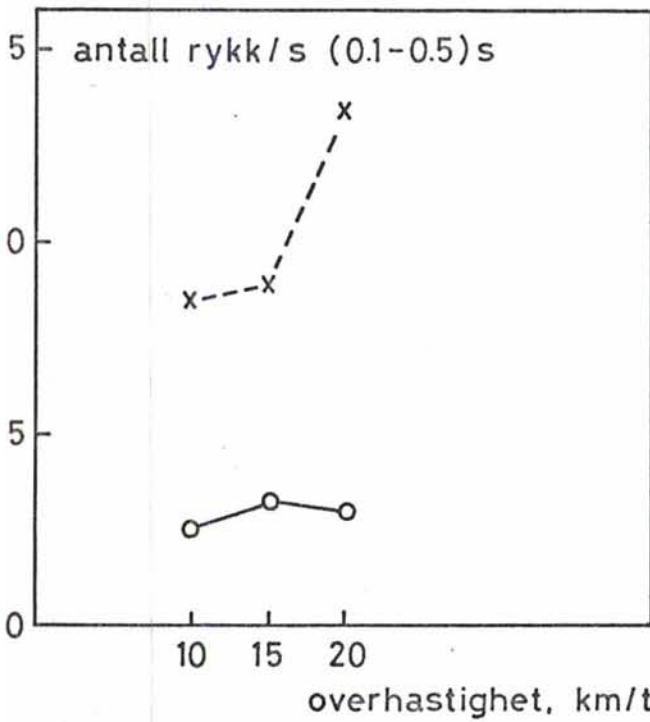
For å lette sammenligningen av de resultater vi her har fått med kurver der disse parametrene er fremstilt som en funksjon av overhastigheten, har vi i figur 15 gjengitt resultatene for en rett linjestrekning og for en kurve med radius 410 m på denne formen. En ser at de integrerende parametrene  $Wz$ -tall, antall rykk og midlere aksellerasjon og rykk varierer meget lite med økende overhastighet på rette linjestrekninger, mens økningen er mer betydelig i den relativt krappe kurven med radius 410 m.



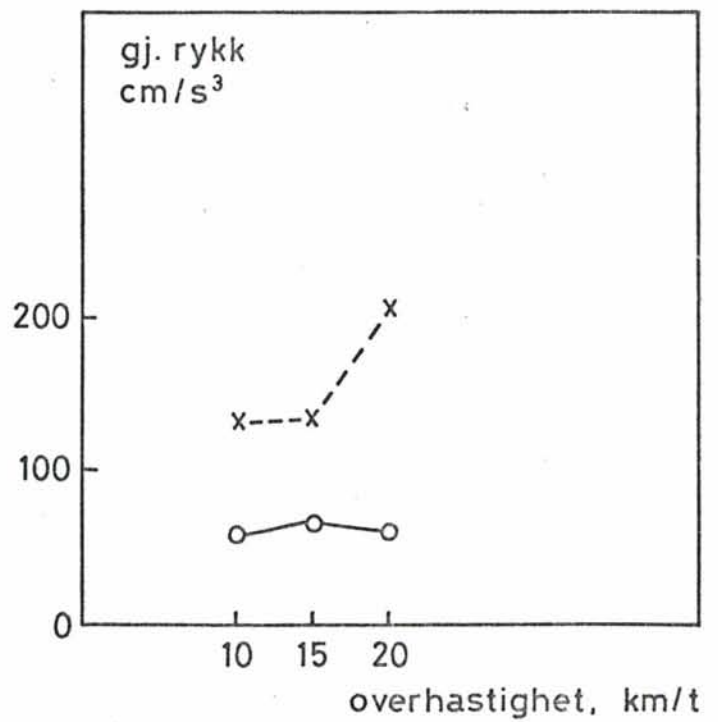
a)



b)



c)



d)

Figur 15. Virkning av overhastighet på sideaksellerasjon.

○ rett linjestrekning

x radius R = 410 m

a) Wz-tall

b) gjennomsnittlig aksellerasjon

c) antall rykk over en viss terskelverdi (> 25 cm/s<sup>3</sup>)

d) gjennomsnittlig rykk



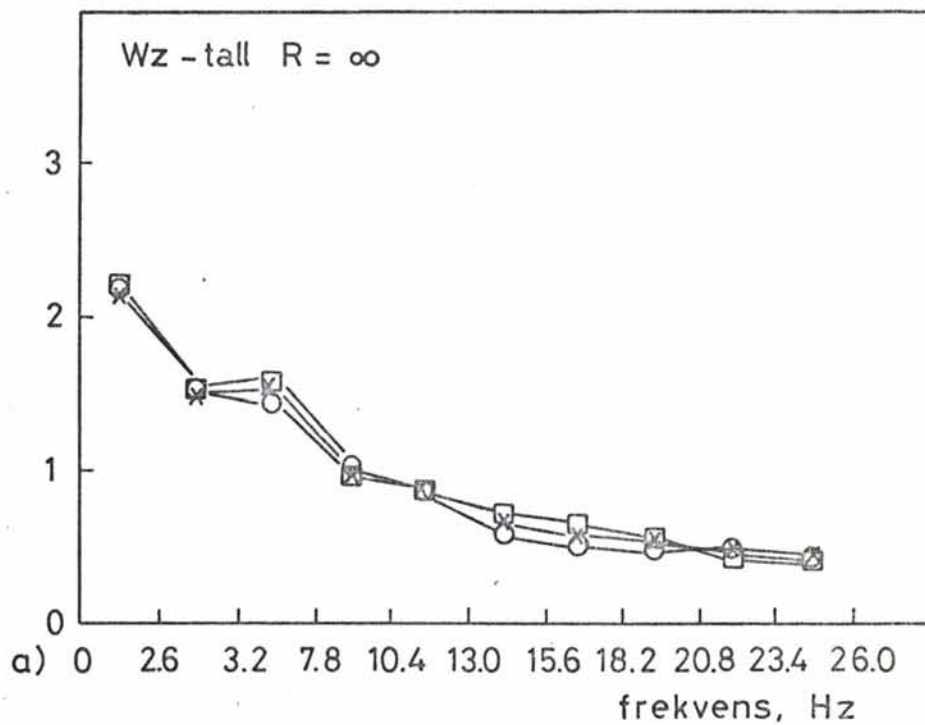
### Histogramfremstilling av Wz-tall, aksellerasjon, rykk og antall rykk pr. sekund

For å se om en gitt overhastighet fører til forskyvninger i histogramformen for Wz-tall (figur 16), i den midlere aksellerasjon (midlet over 52 frekvenser i hvert segment langs x-aksen) (figur 17), og rykk (figur 18), har vi fremstilt disse parametrene som funksjon av frekvensen. For oversiktens skyld er histogrammene her fremstilt som vanlige kurver.

En kan ikke se at noen forskyvning av betydning finner sted (innenfor den gitte oppløsning langs x-aksen). Formen på kurven for Wz-tallet er i høy grad gitt av B-kurven (se Appendix I.4), men det er interessant å se at økningen i den midlere amplitude som skyldes høyere hastighet, stort sett kommer i frekvensen lavere enn ca. 10 Hz. Som det fremgår av kurven i figur 3, Appendix I, er rykkverdiene frekvensavhengige. Denne avhengigheten er det ikke tatt hensyn til i figur 18, her er alle rykkverdier akkumulert. Resultatene av en slik modifikasjon vil bli diskutert senere.

Vi har også beregnet en rekke histogrammer langs tidsaksen. Valget av 0,1 sek som minste tidsenhet viste seg å være ugunstig, slik at figurene 19 og 20 nå ikke gir så mye informasjon. (Valget skyldtes at rykkvarighet på 0,5 s er benyttet som en grenseverdi i annen sammenheng).

I figurene 21 og 22 har vi sett på hvor mange av de 52 frekvensene i hvert segment langs frekvensaksen som har verdier over et visst nivå (henholdsvis  $2 \text{ cm/s}^2$  for aksellerasjon og  $50 \text{ cm/s}^3$  for rykk). En ser at overhastighetene ikke er av særlig betydning, men krumning (minkende kurveradius) har innflytelse på resultatet, idet stadig høyere frekvenser får ikke-neglisjerbare verdier.



Figur 16.

Wz-tall som funksjon av frekvens.

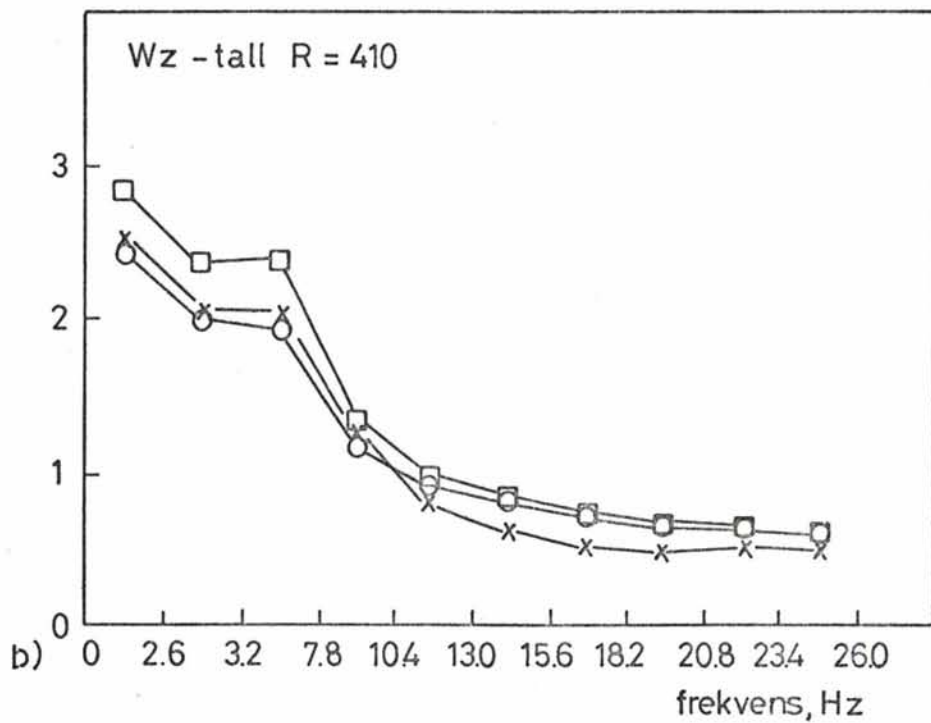
O overhastighet 10 km/t

X " 15 "

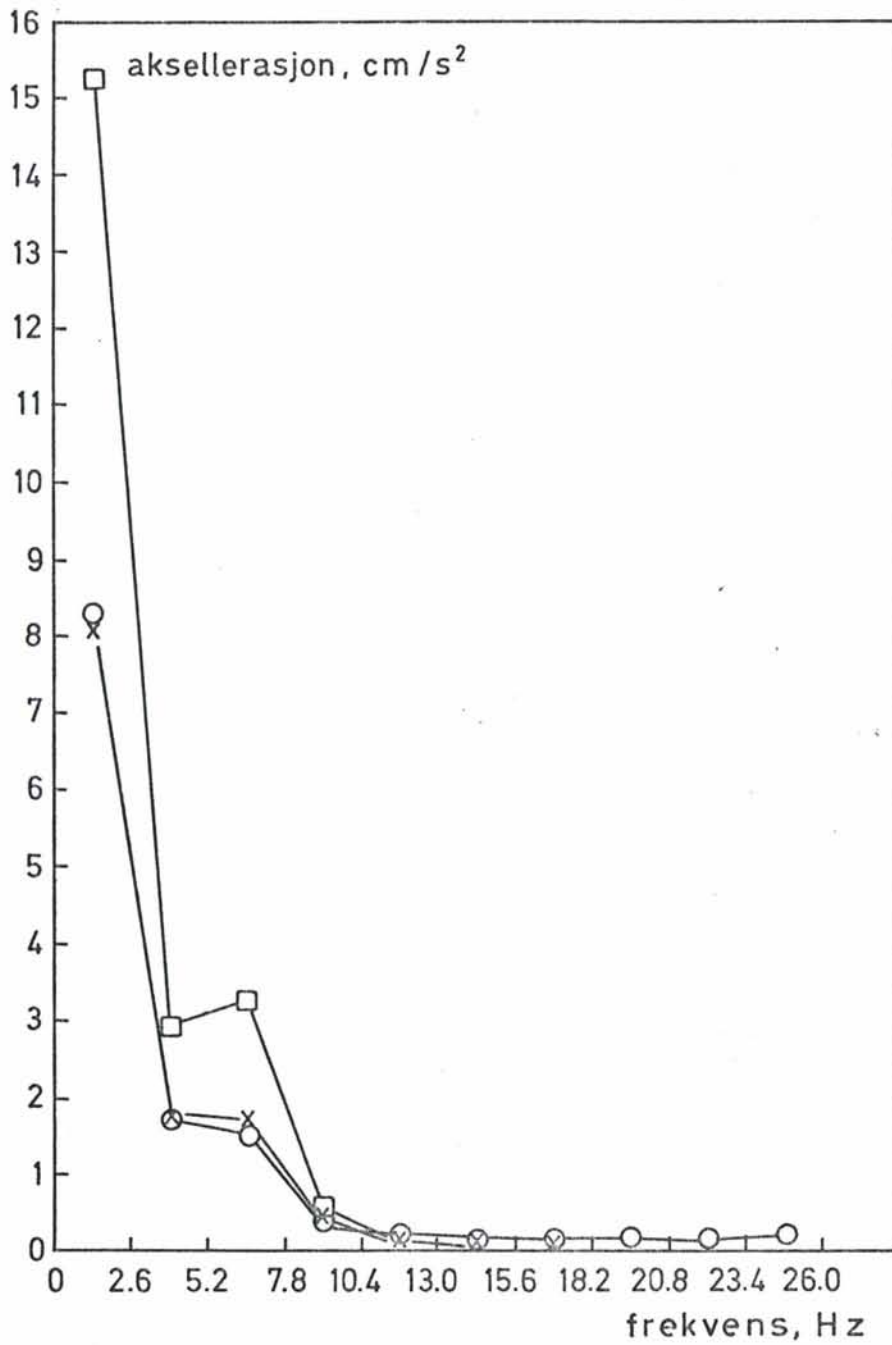
□ " 20 "

a) rett linjestrekning  
 $R = \infty$

b) kurve  $R = 410$  m

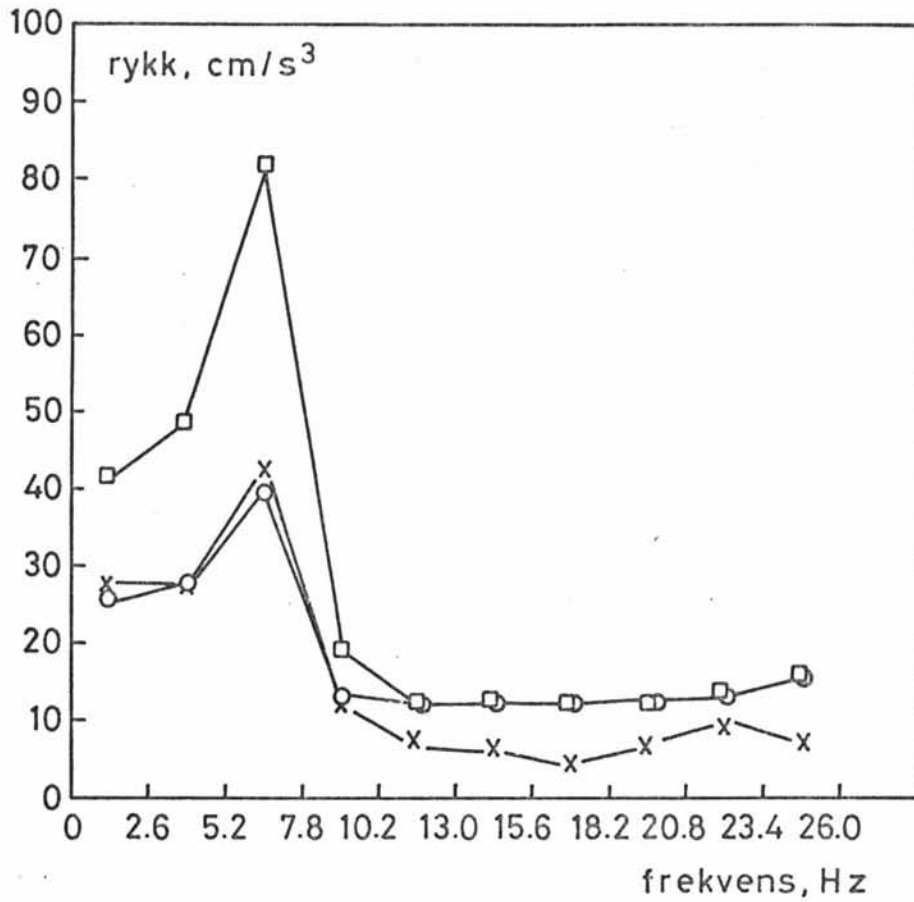






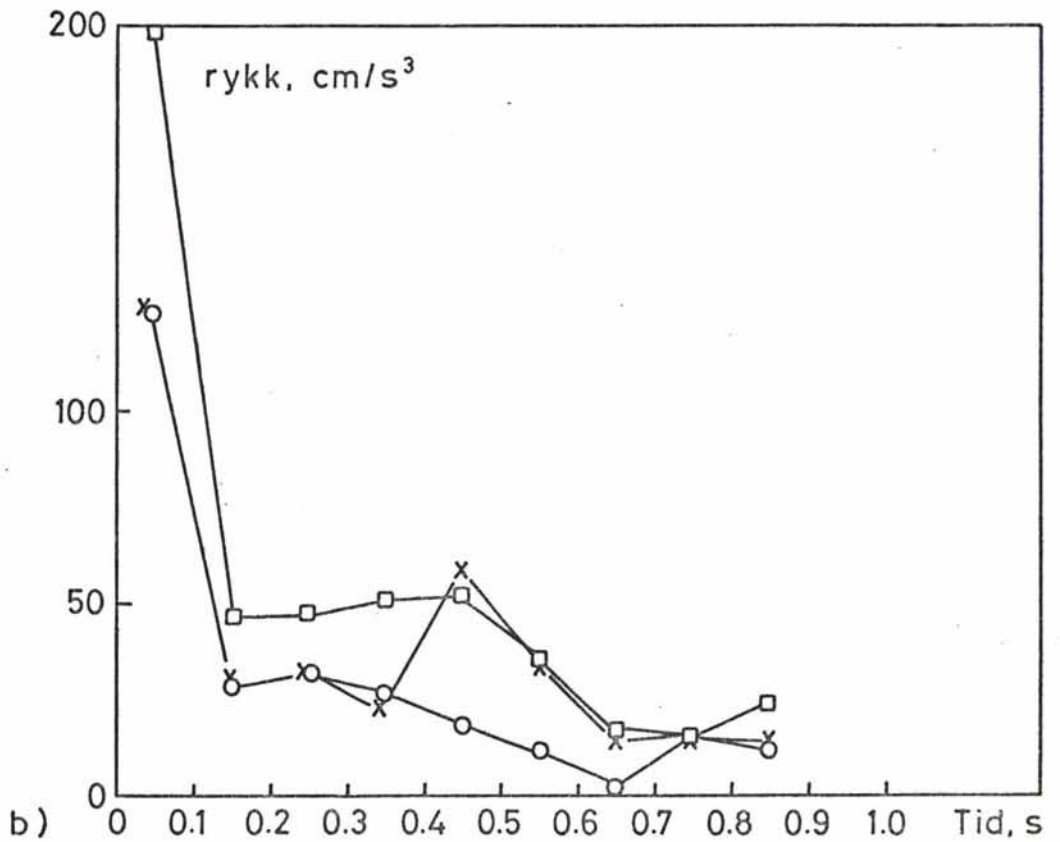
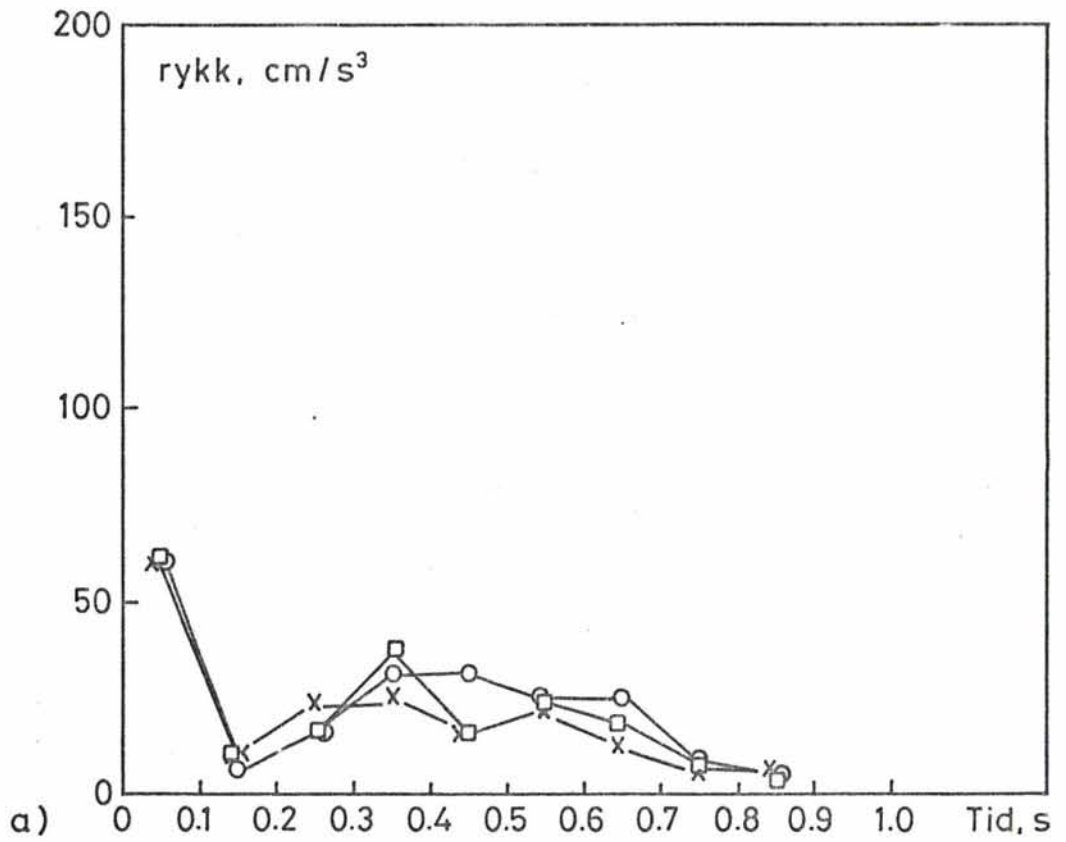
Figur 17. Midlere aksellerasjon som funksjon av frekvens for ulike overhastigheter. Radius 410 m.

- 10 km/t overhastighet
- x 15 " "
- 20 " "



Figur 18. Midlere rykk som funksjon av frekvens. Krumningsradius 410 m.

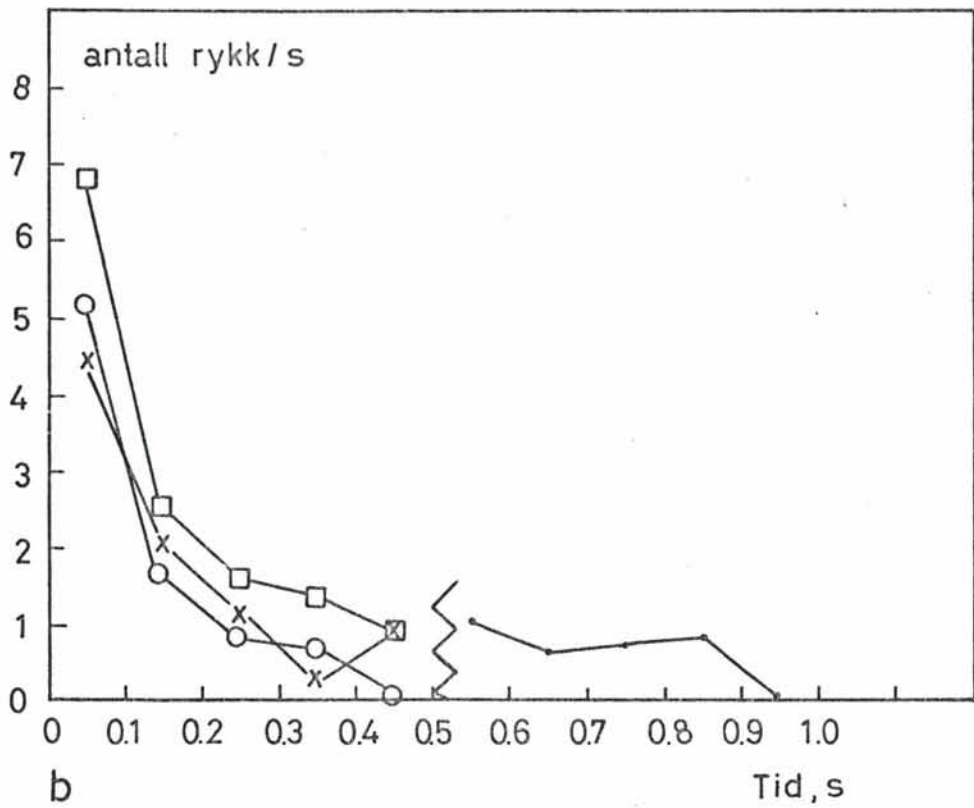
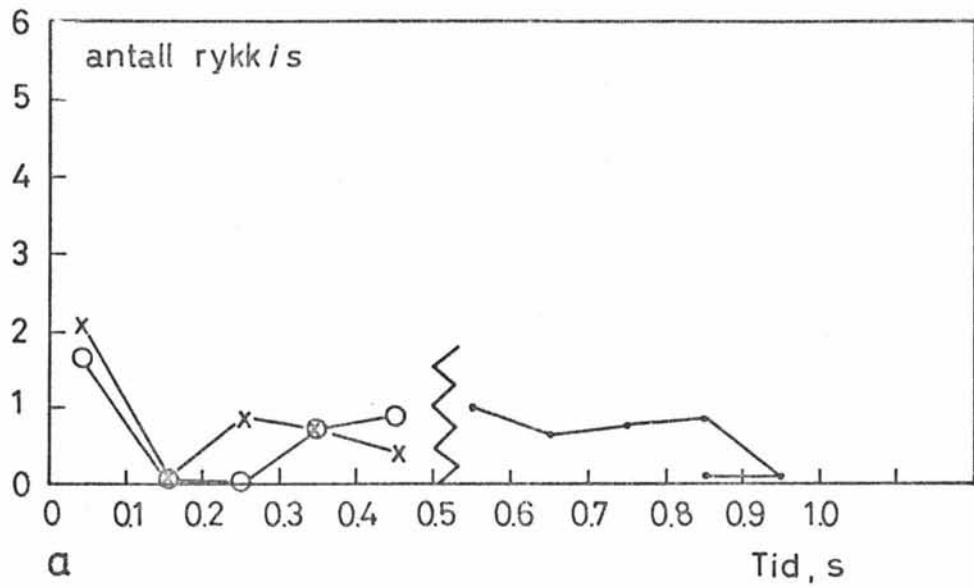
- 10 km/t overhastighet
- x 15 " "
- 20 " "



Figur 19.

Midlere rykk som funksjon av tiden.

- a) rett linjestrekning
- b) krumningsradius 410 m
- 10 km/t overhas.
- × 15 " "
- 20 " "



Figur 20. Antall rykk pr. sekund som funksjon av tiden.

a) rett linjestrekning

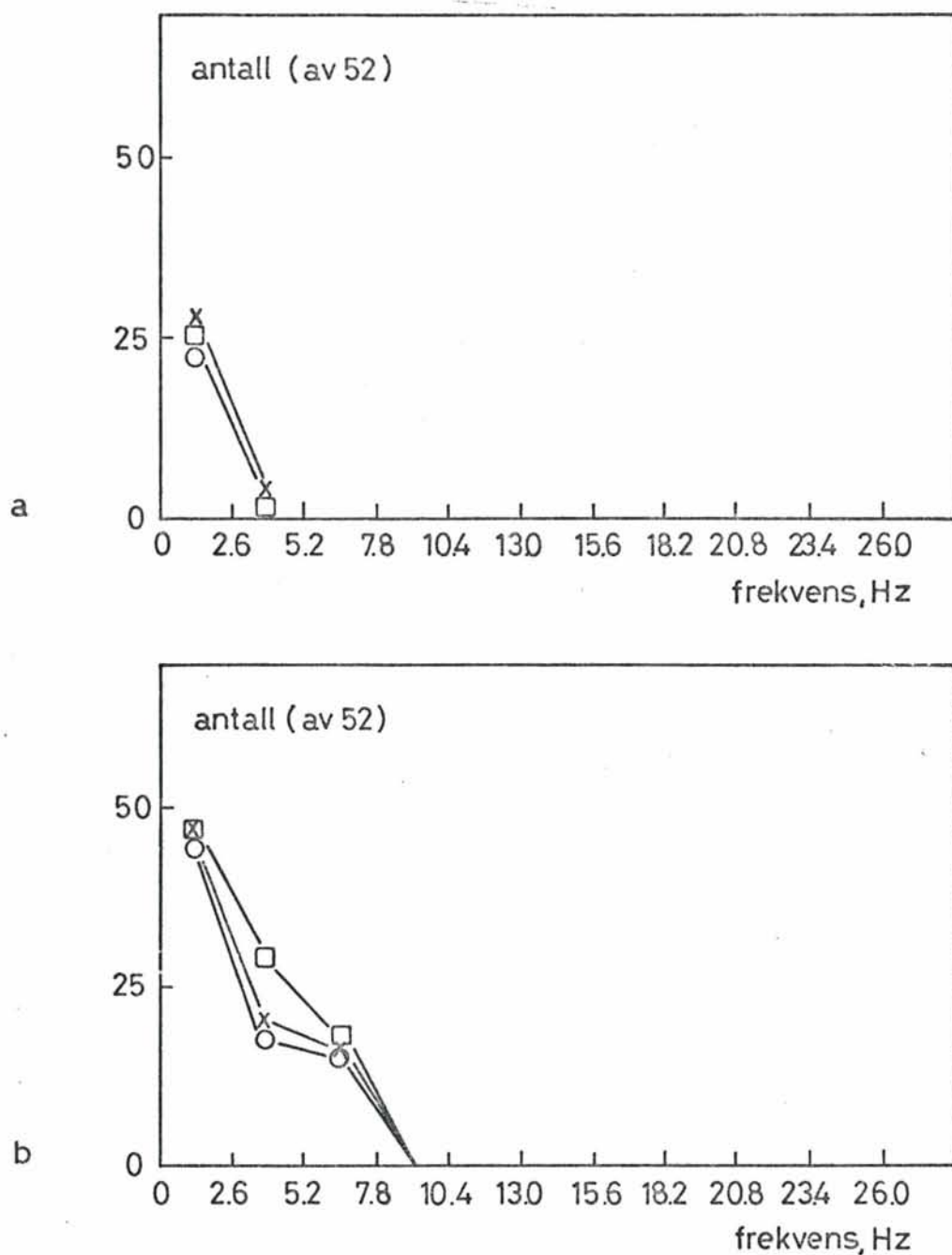
b) krumningsradius 410 m

○ 10 km/t overhastighet

x 15 " "

□ 20 " "





Figur 21. Antall frekvenser med aksellerasjon over en viss verdi i ulike frekvensintervaller. (Det er 52 frekvenser i hvert intervall langs x-aksen.) Se tekst.

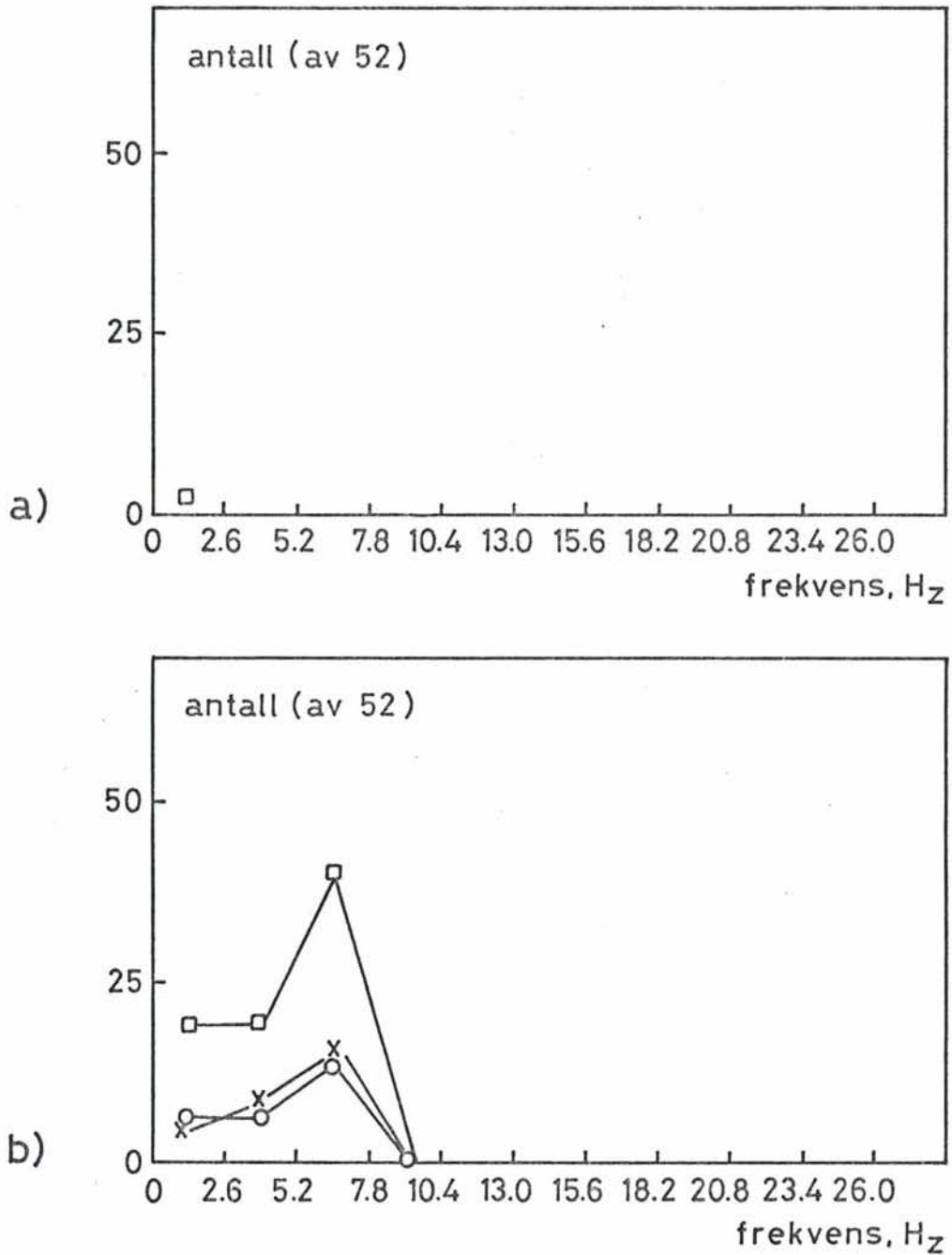
a) rett linjestrekning

b) krumningsradius 410 m

○ 10 km/t overhastighet

x 15 " "

□ 20 " "



Figur 22. Antall frekvenser med rykkverdi over en viss verdi i ulike frekvensintervaller. (Det er 52 frekvenser i hvert intervall langs x-aksen.) Se tekst.

a) rett linjestrekning

b) kurve  $R = 410$  m

O 10 km/t overhastighet

X 15 " "

□ 20 " "



### Den kvasistatiske aksellerasjon

Den kvasistatiske aksellerasjon er beregnet som beskrevet i appendiks I.6. Forholdene i S-kurven  $\bar{S}_1$ , dvs. kurven umiddelbart etter tunnelen ved Ørgenvika ved kjøring i retning Ørgenvika - Rallerud, er lagt til grunn for beregningene. Hastigheten er beregnet ved å benytte formel (1), som gir hastigheten som funksjon av bl.a. sporets hellingsvinkel og boggiens aksellerasjon. I figur 23 er vist sideaksellerasjonen for boggi og vognkasse som funksjon av togets hastighet i kurven med radius 250 m. På figuren er også tegnet inn resultatet av en lineær regresjon anvendt på punktene. Resultatet viser at aksellerasjonen i dette hastighetsområdet øker nær lineært med hastigheten for både boggi og vogn, men at vognkassens aksellerasjon ligger mellom 0,8 og 1,0  $\text{m/s}^2$  under boggiens aksellerasjon for samme hastighet når vognkassen krenger. Vi har et punkt for kjøring uten krenkning, nemlig det som representerer test 2, og dette viser samme aksellerasjon som boggien. Vi skal senere, under avsnittet om krenkning, diskutere dette forholdet nærmere.

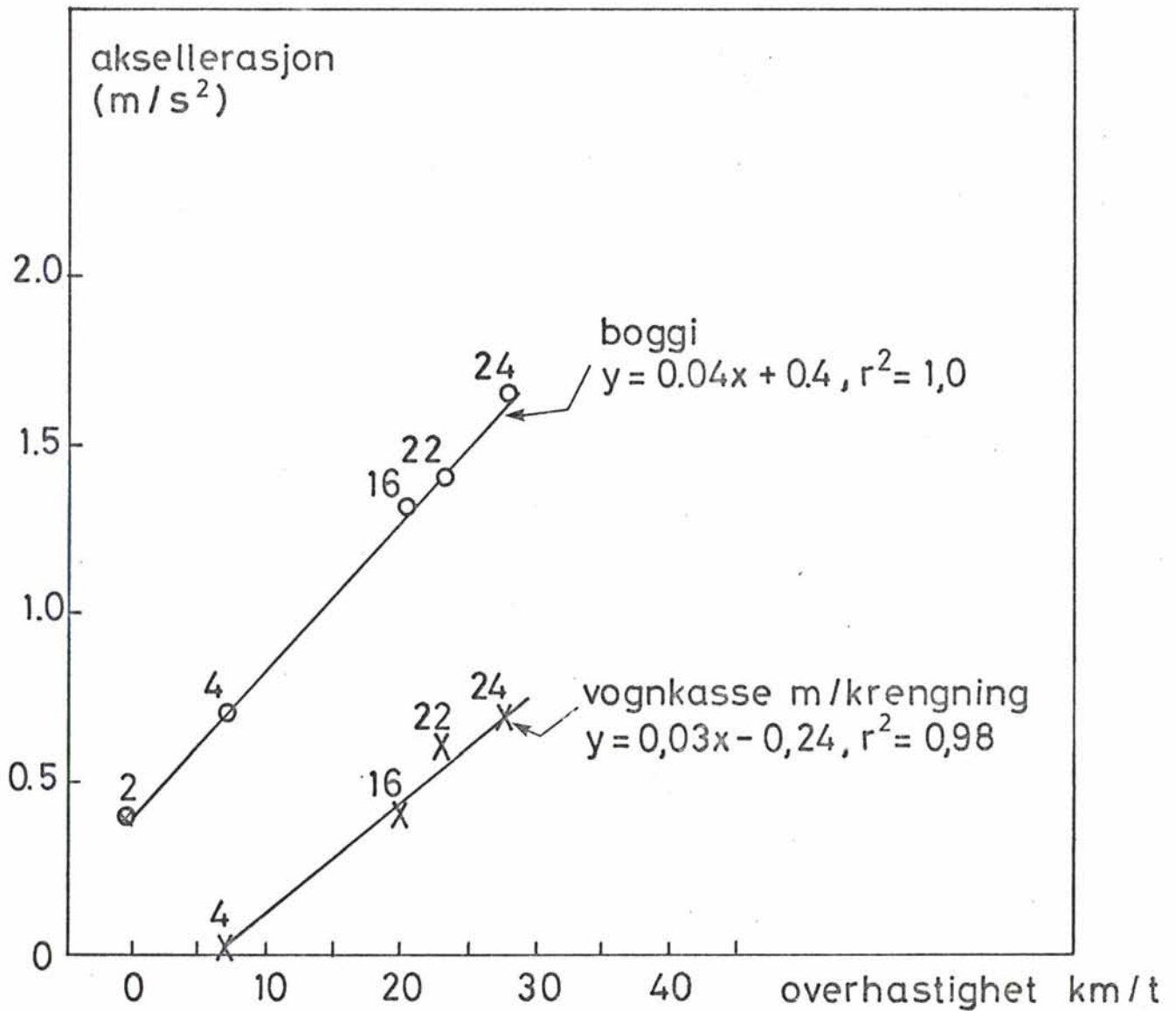


Fig. 23. Kvasistatisk sideaksellerasjon som funksjon av overhastigheten for boggi og vognkasse.

○ Boggi

X Vognkasse

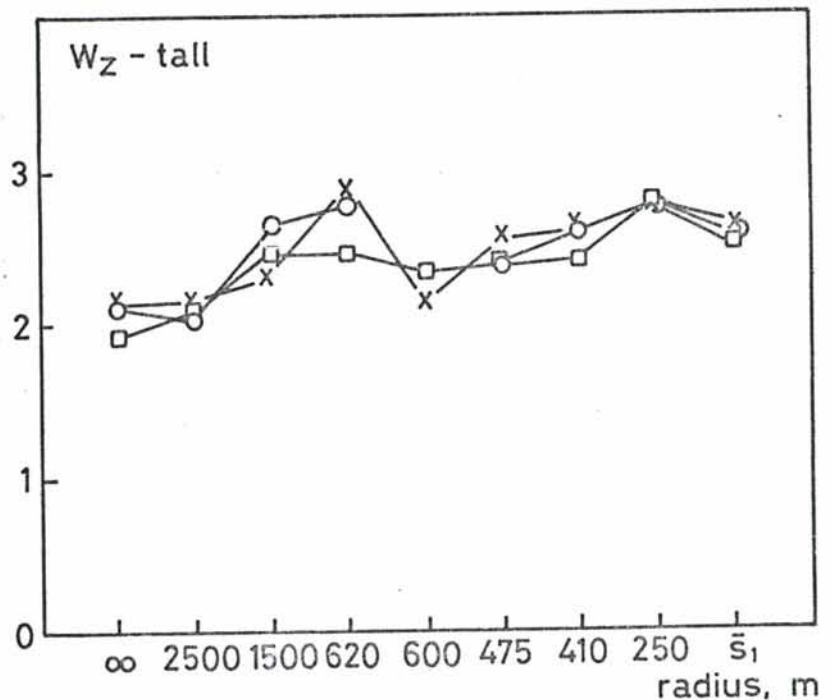




### 6.3 ANVENDELSE AV ULIKE DETEKSJONSMETODER

Med utgangspunkt i en måleserie der ulike deteksjonsmetoder er benyttet, har vi sett på virkningen av metodene på  $W_z$ -tallet midlere amplitude (aksellerasjon) og rykk. De ulike deteksjonsmetoder er som følger:

- Normaldeteksjon: Krengningsmekanismen får signal for krengning fra vognen foran.
- Selvdeteksjon: Krengningsmekanismen får signal for krengning fra egen vogn.
- Spesialdeteksjon: Krengningsmekanismen får signal for krengning fra vogn nr. 2 forover.



Figur 24a

$W_z$ -tallet som funksjon av krumningsradius for ulike deteksjonsmetoder

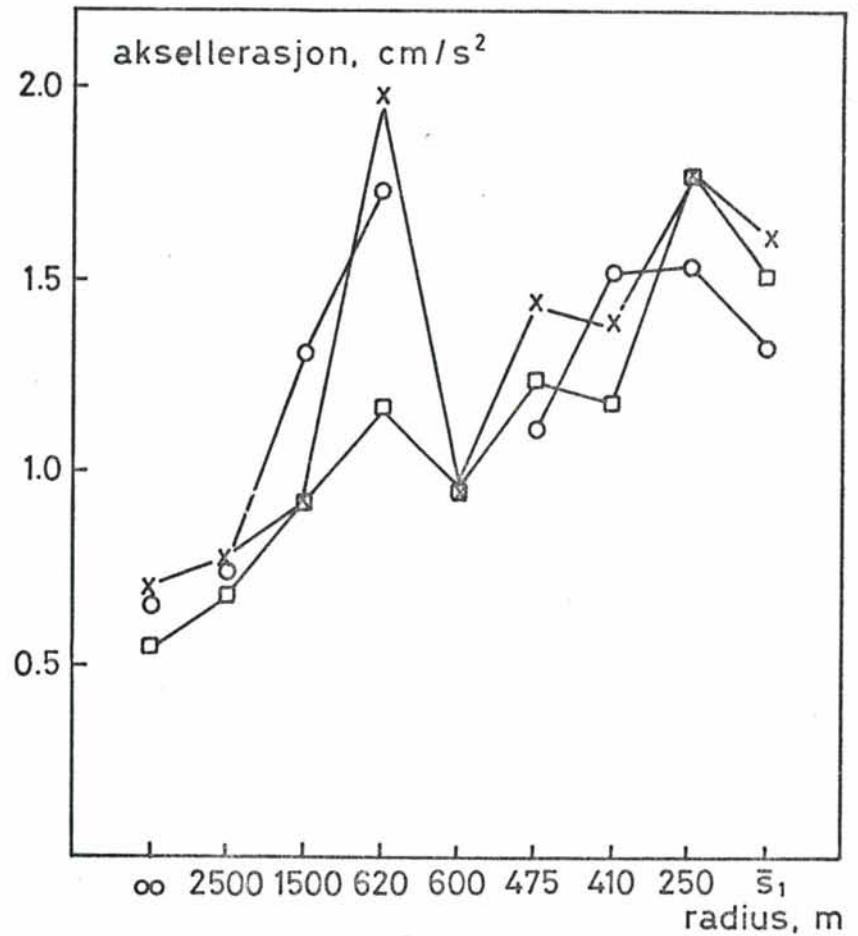
- O Normaldeteksjon  
X Selvdeteksjon  
□ Spesialdeteksjon



Resultatene er gitt i tabellene VIII, IX og X og fremstilt grafisk i figurene 24-28. Deteksjonsmetoden synes å ha meget liten innflytelse på  $W_z$ -tallet, rykk og aksellerasjon. De variasjoner som måtte fremkomme, faller innenfor usikkerhetsgrensen. I figur 26 har vi likevel fremstilt en del parameterverdier ved ulike deteksjonsmetoder, men som det fremgår av figurene 24-25, er de relative verdier sannsynligvis tilfeldige.

Figur 24b  
Aksellerasjon som funksjon av krumningsradius for ulike deteksjonsmetoder

- Normaldeteksjon
- x Selvdeteksjon
- Spesialdeteksjon





TABELL VIII

Normaldeteksjon.

Test 16

Radius	$\infty$	2500	1500	620	600	475	410	250	$\bar{S}_1$
Hastighet km/t	80-82	100-105	105	95		80	90-95	80	
Strekning m	108-111	118	119	122		114	125	113	113-114
Wz-tall	2,11	2,08	2,68	2,76		2,37	2,59	2,72	2,55
Antall rykk 0,1-0,5 sek.	2,54	2,10	6,79	7,64		4,98	8,51	9,51	7,25
Aksellerasjon cm/s <sup>2</sup>	0,66	0,74	1,30	1,73		1,11	1,51	1,53	1,32
Rykk cm/s <sup>3</sup>	58	65	121	155		103	133	121	112

TABELL IX

Selvdeteksjon.

Test 20

Radius	$\infty$	2500	1500	620	600	475	410	250	$\bar{s}_1$	$\bar{s}_2$
Hastighet km/t	.70-80	95-100	100	90	110	75	95	75		
Strekning m	193-197	203	204	207	206	199	210	198	198-199	206-207
Wz-tall	2,11	2,14	2,30	2,90	2,29	2,57	2,50	2,78	2,68	2,50
Antall rykk 0,1-0,5 sek.	2,44	2,68	2,87	13,66	3,24	4,39	6,43	9,65	7,02	6,43
Aksellerasjon cm/s <sup>2</sup>	0,69	0,77	0,91	1,98	0,94	1,44	1,38	1,78	1,61	1,38
Rykk cm/s <sup>3</sup>	60,2	71	85	189	86	129	115	148	139	115





TABELL X

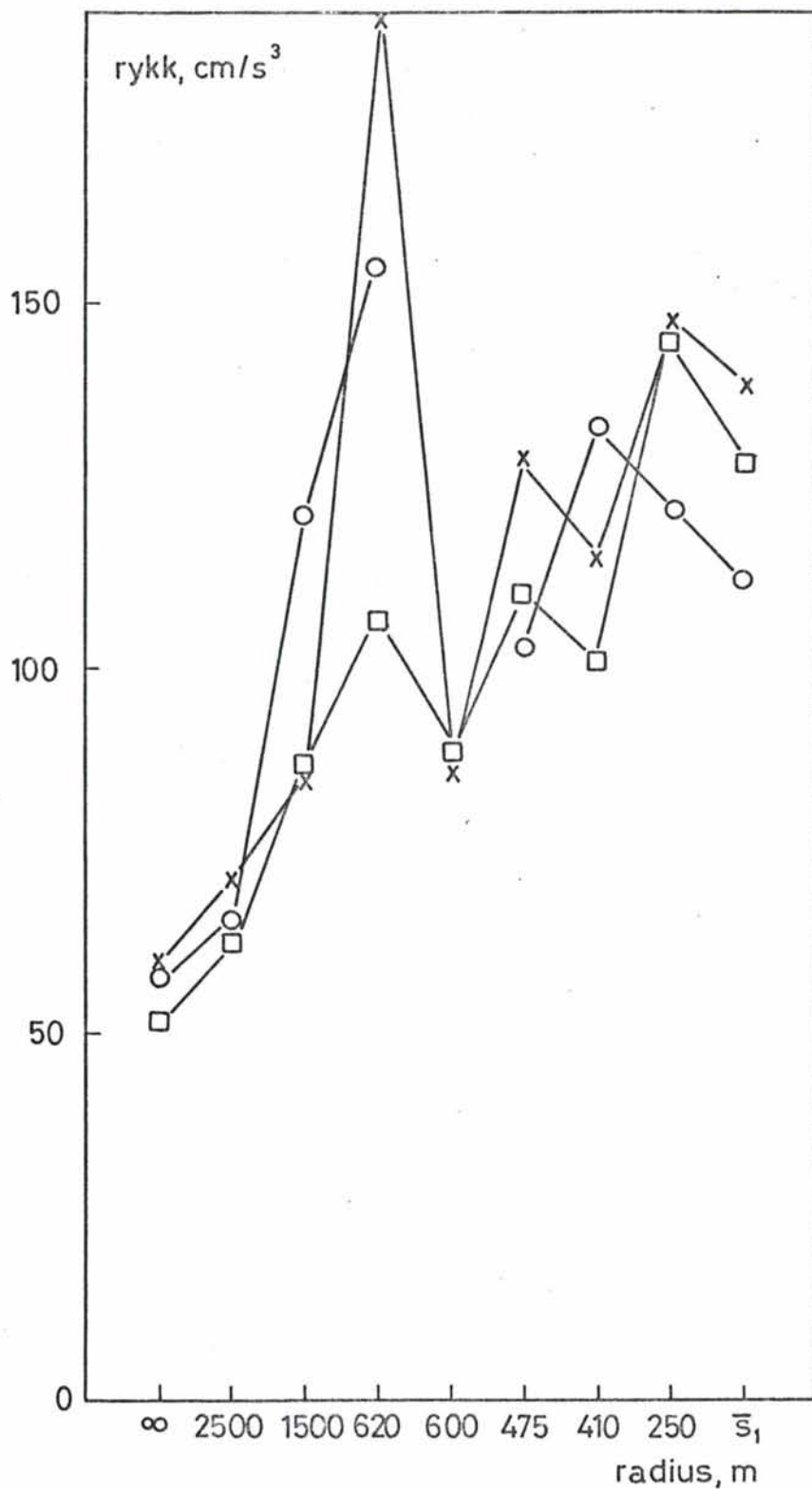
Spesialdeteksjon.

Test 18

Radius	$\infty$	2500	1500	620	600	475	410	250	$\bar{s}_1$	$\bar{s}_2$
Hastighet km/t	55-75	90-95	95-100	100	100	73	100	73		
Strekning nr.	151-154	161	162	166	164	157	168	156	156-157	164-165
Wz-tall	1,94	2,11	2,45	2,46	2,34	2,40	2,42	2,78	2,59	
Antall rykk 0,1-0,5 sek.	1,89	1,84	4,03	6,11	3,59	4,19	5,99	10,00	7,10	
Aksellerasjon cm/s <sup>2</sup>	0,54	0,68	0,91	1,16	0,93	1,23	1,16	1,77	1,50	
Rykk cm/s <sup>3</sup>	51	63	87	107	88	110	101	145	128	

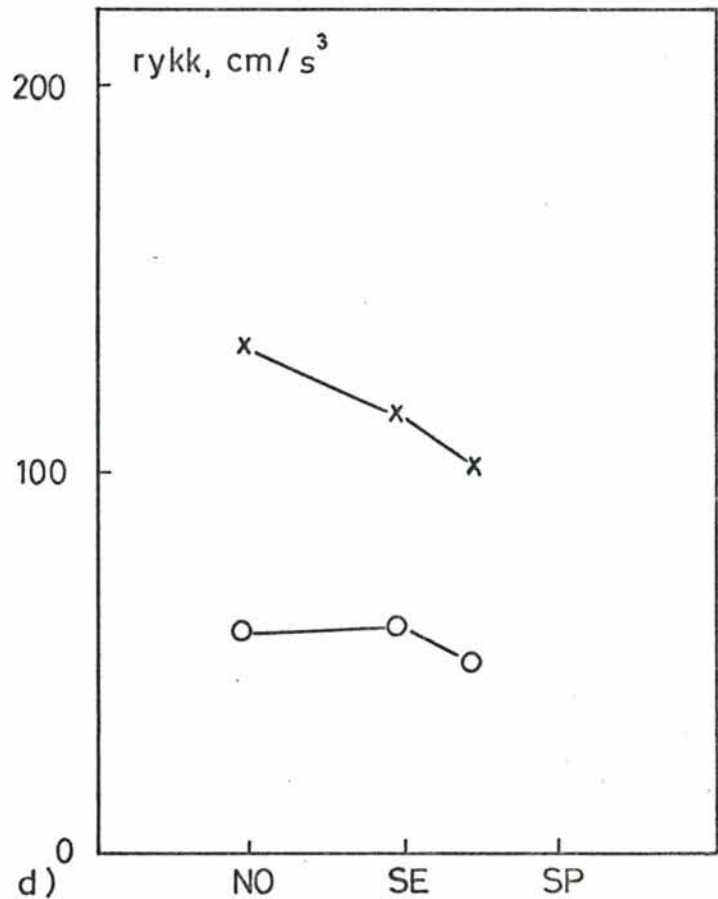
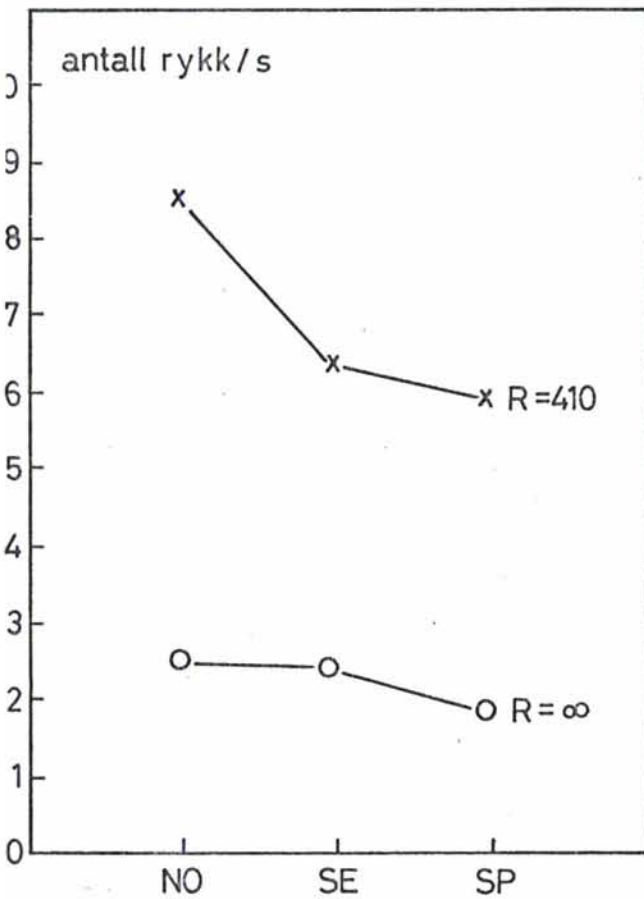
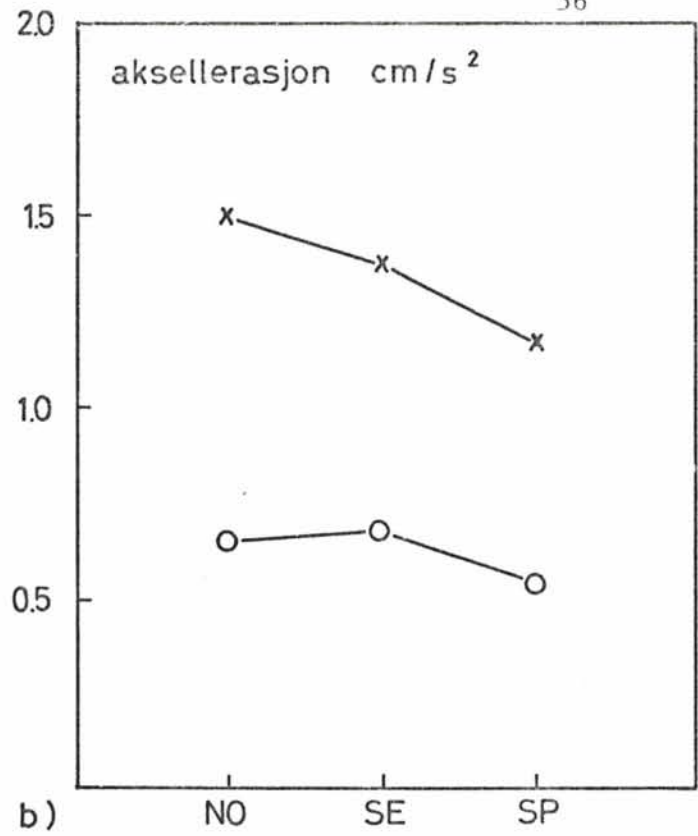
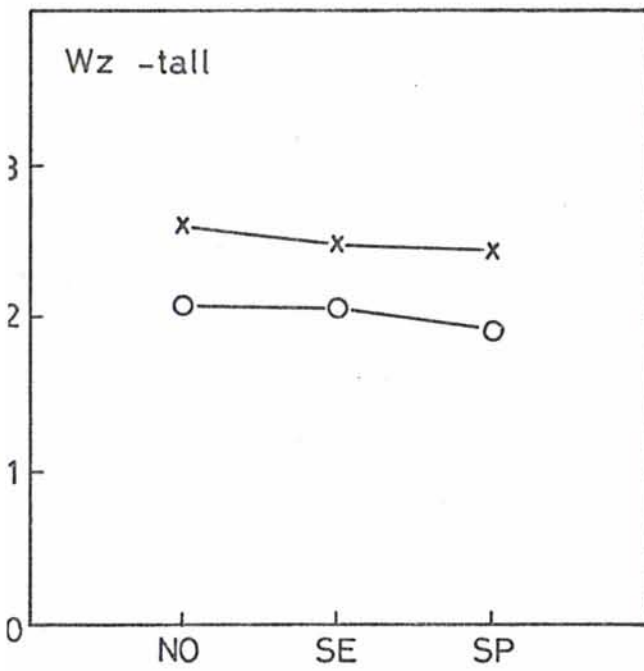


78 06 07 - 4



Figur 25. Rykk som funksjon av krumningsradius for ulike deteksjonsmetoder.

- Normaldeteksjon
- × Selvdeteksjon
- Spesialdeteksjon



Figur 26. Virkning av deteksjonsmetode på utvalgte parametre.

a) Wz-tall

b) Aksellerasjon

c) antall rykk

d) rykk

NO - normaldeteksjon

SE - selvdeteksjon

SP - spesialdeteksjon

se også teksten



### Histogramfremstilling av Wz-tall og rykk

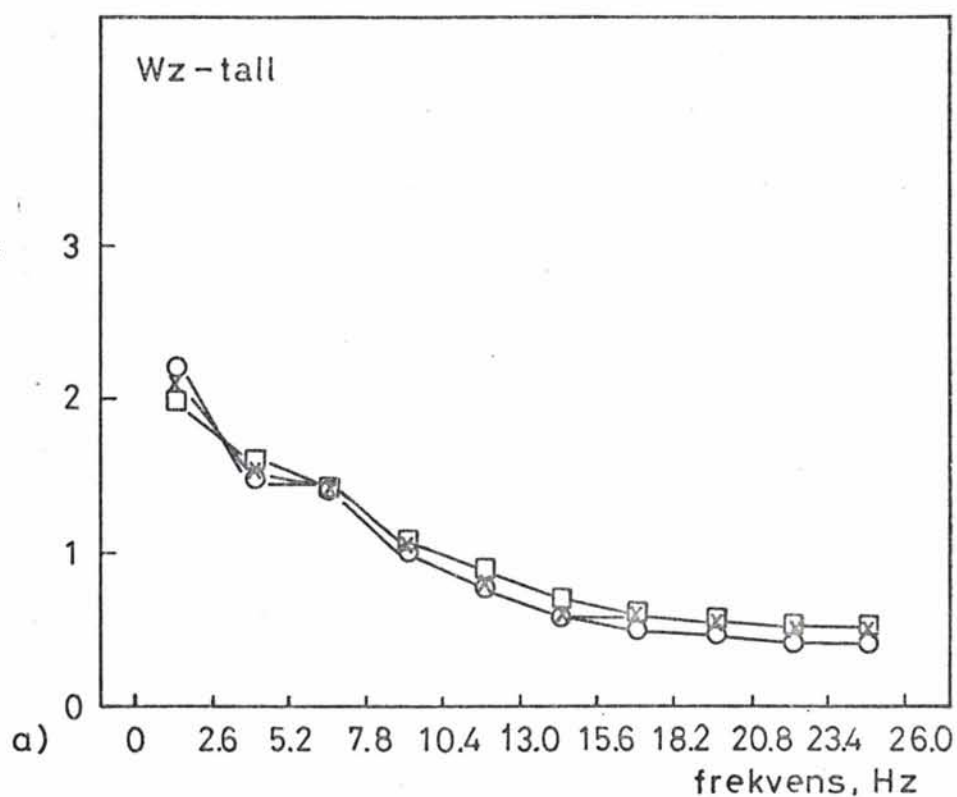
De resultatene vi har presentert hittil, har ikke vist noen signifikante forskjeller mellom anvendelse av ulike deteksjonsmetoder. En kunne likevel tenke seg at det ville skje forskyvninger i enkelte av parameterverdiene mot lavere eller høyere frekvenser. For å undersøke om dette kan være tilfellet, har vi tegnet kurver for frekvensfordelingen av Wz-tall og rykk ved kjøring på rett linjestrekning og ved kjøring i kurve med radius  $R = 410$  m. (I det siste tilfellet viser de foregående resultater størst forskjell mellom de ulike deteksjonsmetodene, men bemerk at  $R = 410$  m ikke representerer noen typisk forskyvning mot høyere eller lavere frekvenser av den aktuelle parameter.)

Resultatene er fremstilt i figurene 27 og 28. En ser at det her ikke er mulig å finne noen trend i materialet.

### Den kvasistatiske aksellerasjon

Testene oppført i tabell V for undersøkelse av deteksjonsmetode synes å være kjørt med relativt lik overhastighet i S-kurven ved Ørgenvika. (Undersøkt med metode a) avsnitt 5.) Beregning av den kvasistatiske aksellerasjon i kurven med radius 250 m viser at aksellerasjonen ved normal- og spesialdeteksjon er omtrent lik ( $\approx 0,4 \text{ m/s}^2$ ), mens den er noe høyere ved selvdeteksjon ( $\approx 0,6 \text{ m/s}^2$ ). Overhastigheten er imidlertid såpass lav ved disse testkjøringene at aksellerasjonsutslaget i kurver med større radius er vanskelig å måle. Det er derfor vanskelig å si om dette resultatet er signifikant.





Figur 27.

Wz-tall som funksjon av frekvens for ulike deteksjonsmetoder.

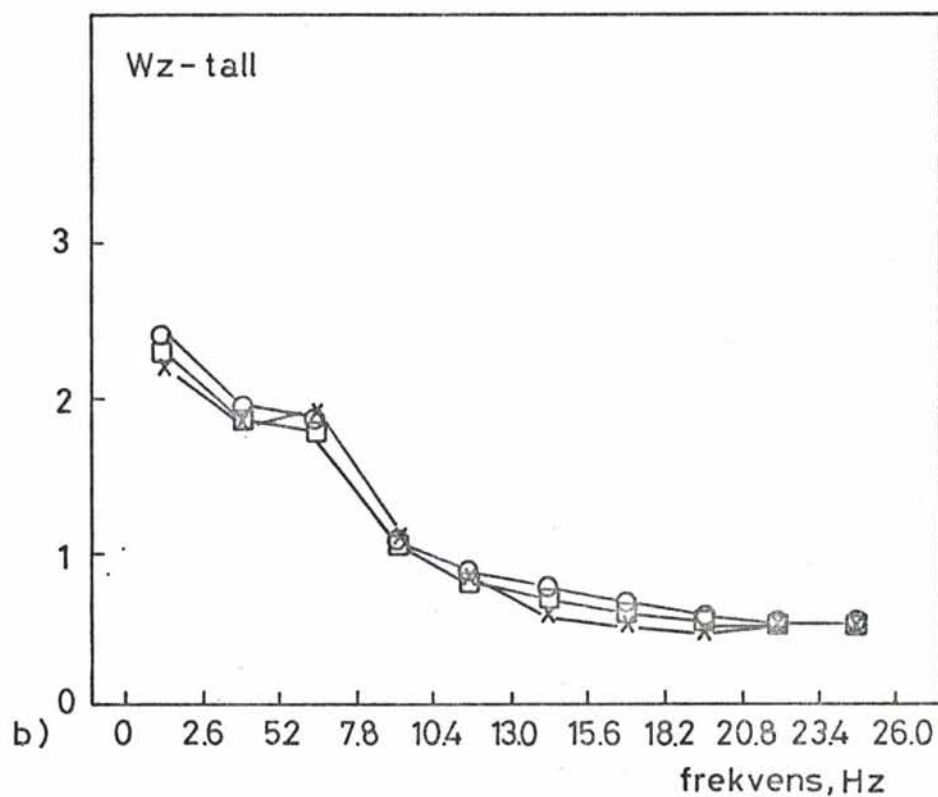
a) rett linjestrekning

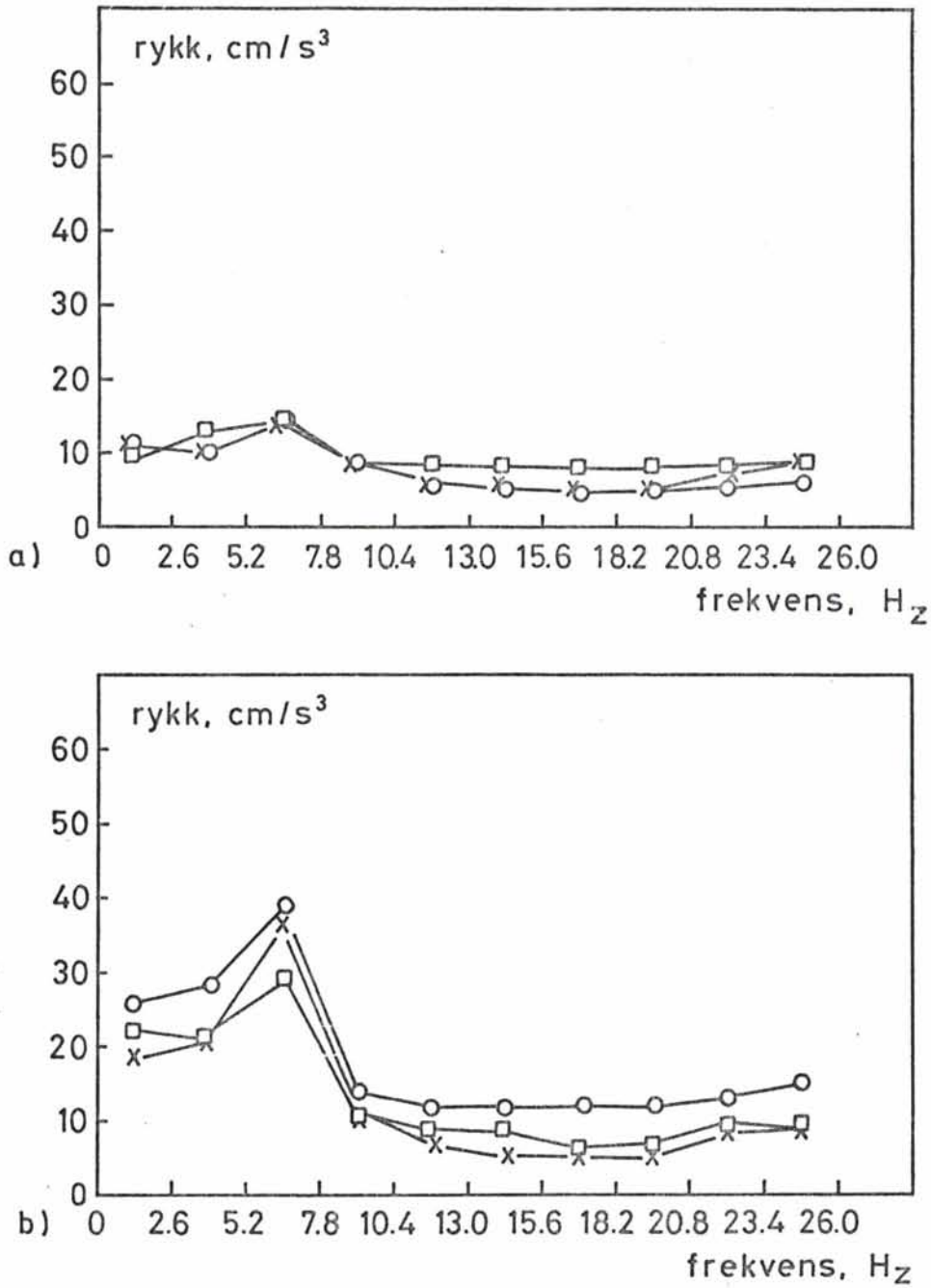
b) kurveradius 410 m

○ Normaldeteksjon

× Selvdeteksjon

□ Spesialdeteksjon





Figur 28. Rykk som funksjon av frekvens ved ulike deteksjonsmetoder.

a) rett linjestrekning

○ Normaldeteksjon

b) krumningsradius 410 m

× Selvdeteksjon

□ Spesialdeteksjon



#### 6.4 VIRKNING AV KRENGNING

Den kontrollparameter som i første rekke skulle testes i denne forsøks-  
serie, var krenkning av vognen i forhold til boggi. I henhold til tabell  
VI foreligger det en mulighet for å vurdere kjøreresultater med og  
uten krenkning ved samme hastighet ved å se på testene 1 og 3 (17),  
kjørt på strekningen Sokna - Ørgenvika ved en nominell overhastighet på  
0 km/t. Disse testene er benyttet ved beregning av Wz-tall, aksellera-  
sjon, antall rykk og rykk basert vesentlig på de dynamiske svingningene.  
Av den visuelle fremstilling i figur 4 fremgår det at den kvasistatiske  
aksellerasjon for gjennomgang i hele S-kurven ved Ørgenvika er mindre  
med krenkning enn uten krenkning. Forskjellen er imidlertid liten ved  
såpass lav overhastighet. Vi skal i neste avsnitt diskutere den kvasi-  
statiske sideaksellerasjon med utgangspunkt i resultatene fra figur 23.

##### Virkning av krenkning på Wz-tall, aksellerasjon, antall rykk og rykk

Resultatene av beregning av Wz-tall, aksellerasjonens amplitude, antall  
rykk og rykk er gjengitt i figurene 29-32 for kjøring på rett linje-  
strekning og i kurver med ulik radius. Det synes ikke å være noen tydelig  
trend i ulikhetene mellom de to krenkningsmodene, men kanskje slik at  
en får noe høyere verdier for de fleste parametrene ved kjøring uten  
krenkning. (Dette gjelder særlig hvis en ved tolkning av figur 31 tar  
hensyn til at en i test nr. 17, dvs. ved kjøring med krenkning, har  
hatt noe høyere overhastighet enn den nominelle overhastighet på 0 km/t  
tilsier (se figur 4 og tabell Ib).

Vi har undersøkt om det er noen ulikheter mellom de to krenkningsmodene  
når det gjelder fordelingen av rykk på skalaen over rykkenes varighet.  
Resultatene er framstilt i figur 32, men også her ser det ut til at  
ulikheten er meget liten.

En ser imidlertid av de to kurvene at en ved kjøring i krappere kurver  
( $R = 250$ ) har en gjennomsnittlig høyere rykkstørrelse.



Figur 29.

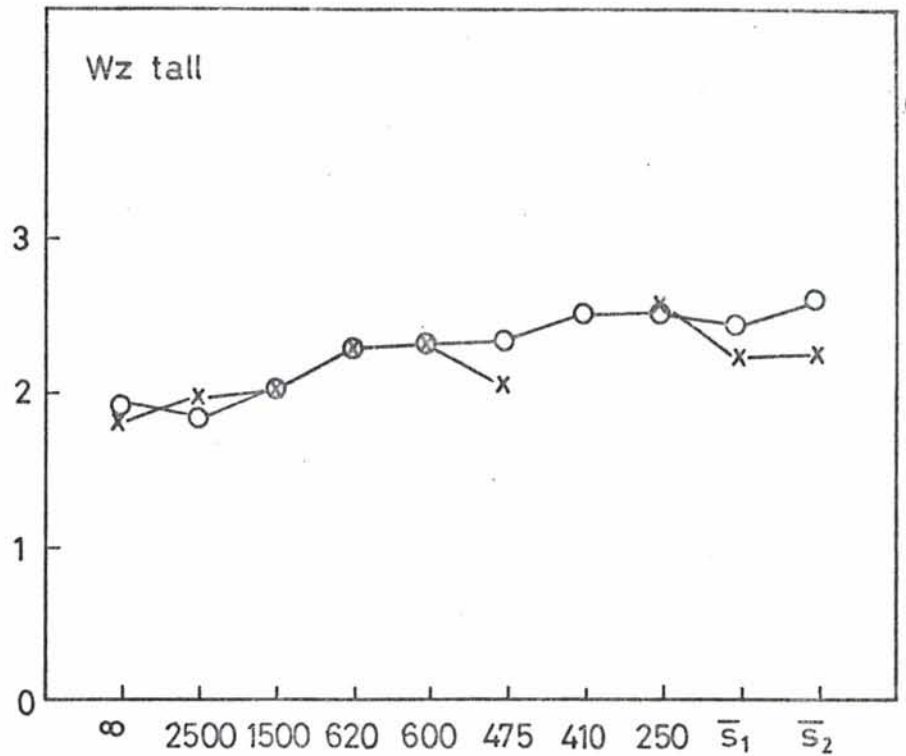
Wz-tall som funksjon av kurveradius for kjøring med og uten krenkning.

○ uten krenkning

× med krenkning

overhastighet 0 km/t

Sokna - Ørgenvika



Figur 30.

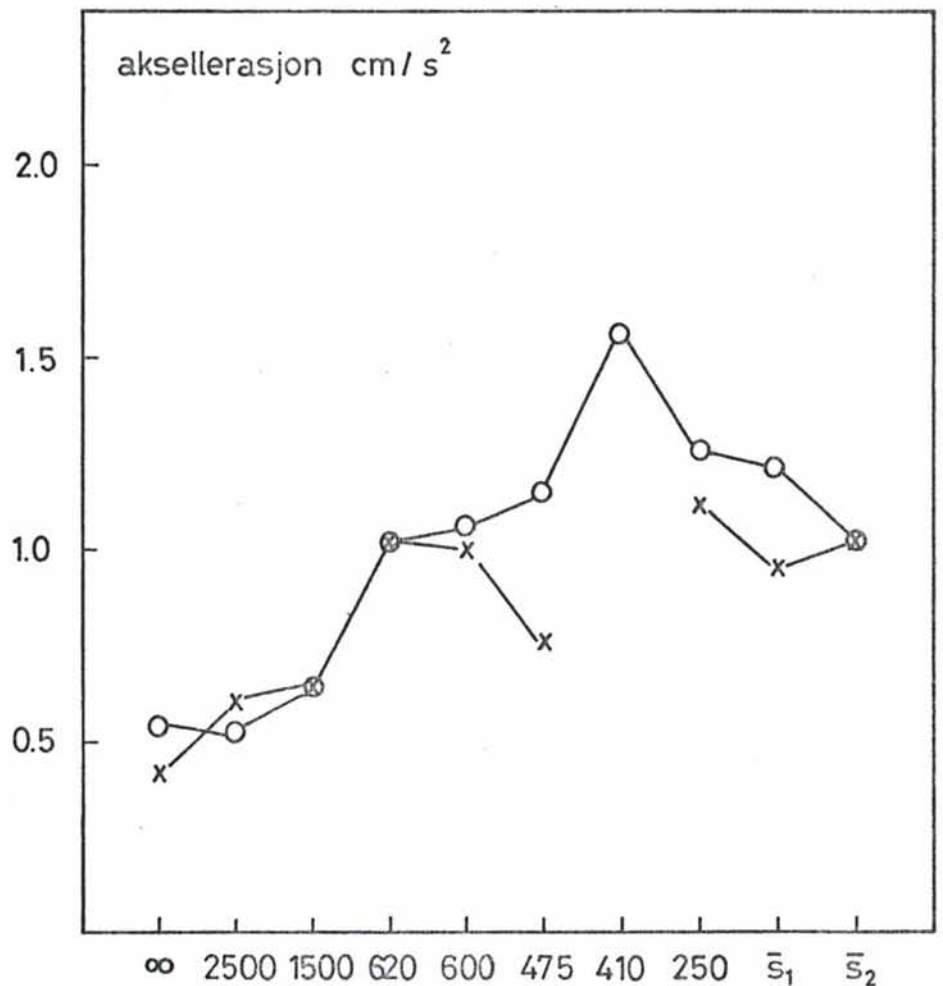
Aksellerasjon som funksjon av kurveradius for kjøring med og uten krenkning.

○ uten krenkning

× med krenkning

overhastighet 0 km/t

Sokna - Ørgenvika







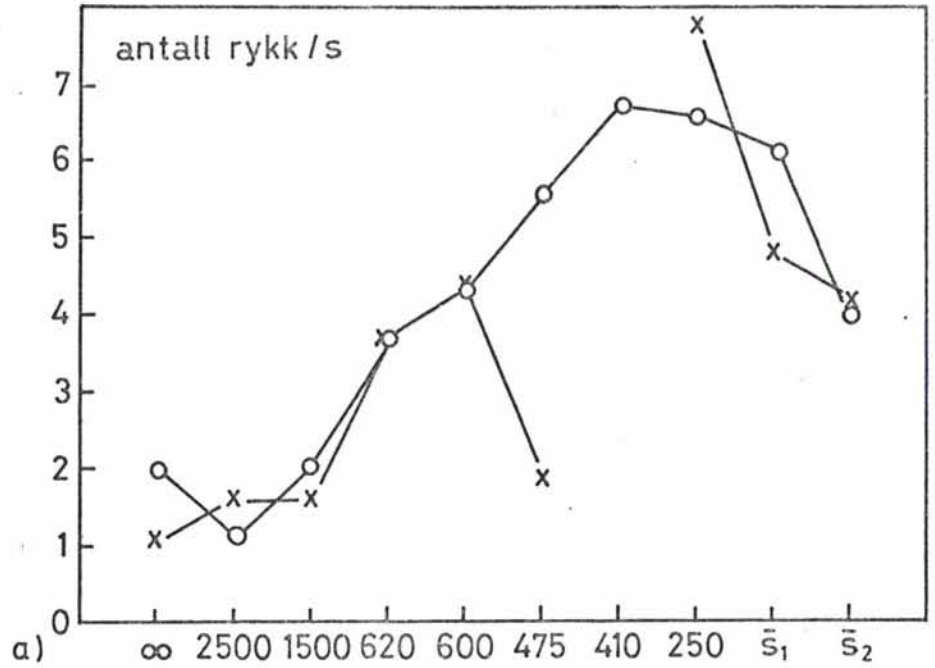
Figur 31.

Virkning av kregning på utvalgte parametere.

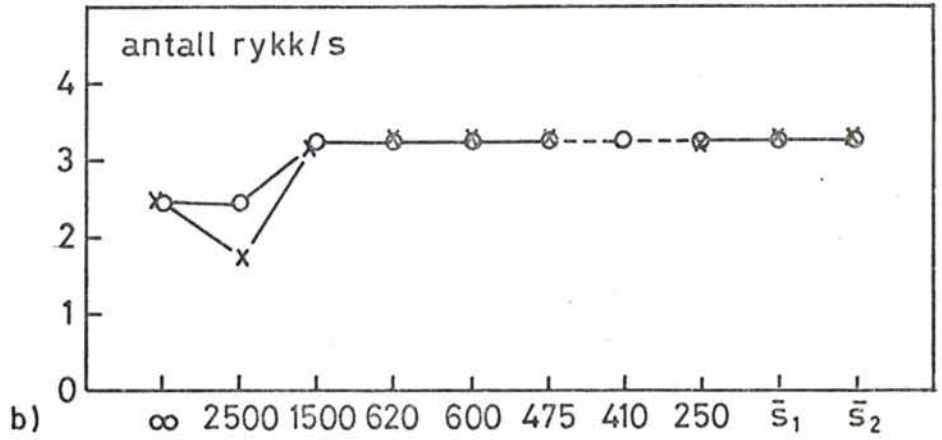
- a) antall rykk med varighet 0,1-0,5s som funksjon av kurveradius
- b) Antall rykk med varighet > 0,5 s som funksjon av kurveradius
- c) rykk som funksjon av kurveradius

○ uten kregning  
x med kregning

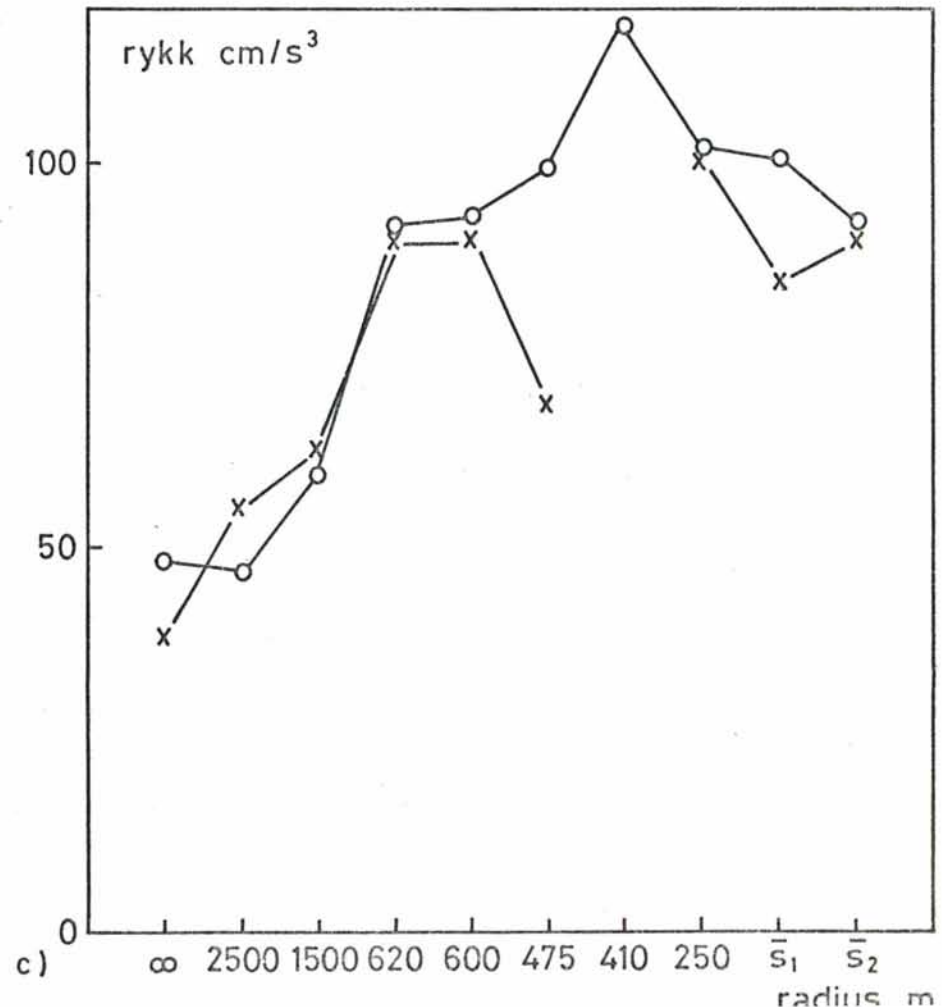
Sokna - Ørgenvika



a)



b)



c)

radius m



Figur 32.

Rykk som funksjon av tiden for kjøring med og uten krenkning.

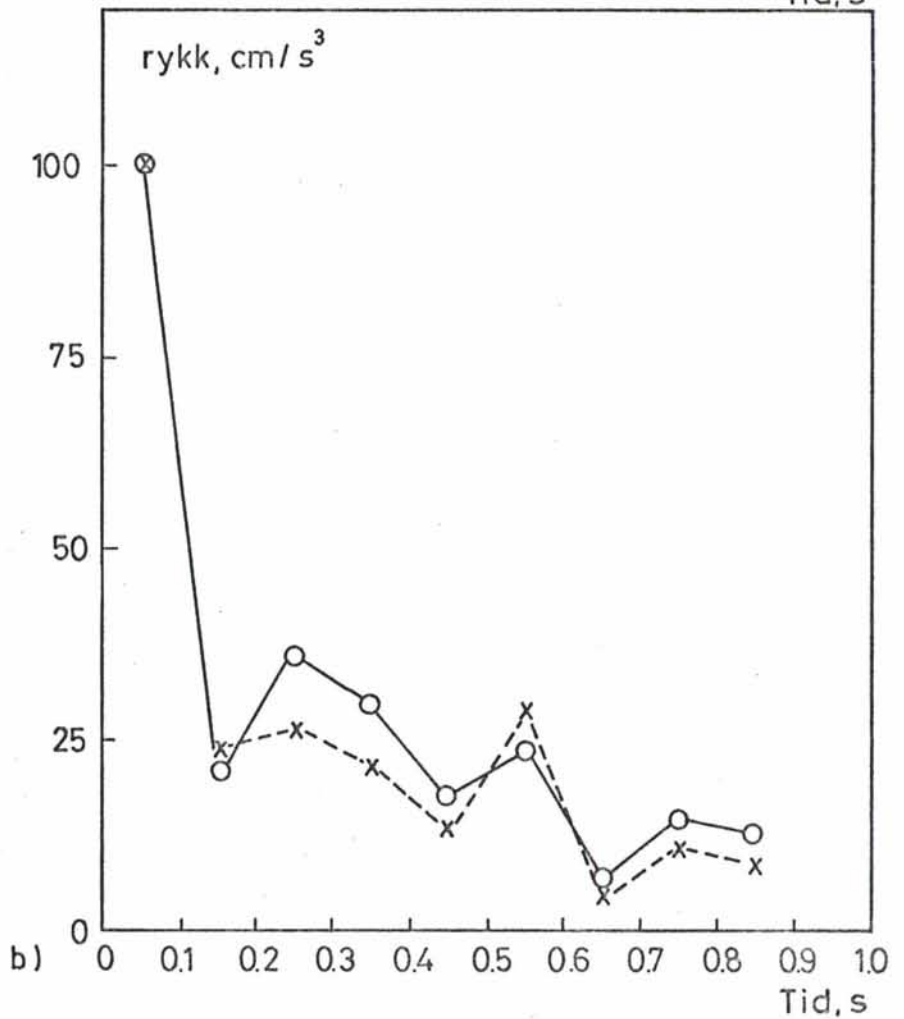
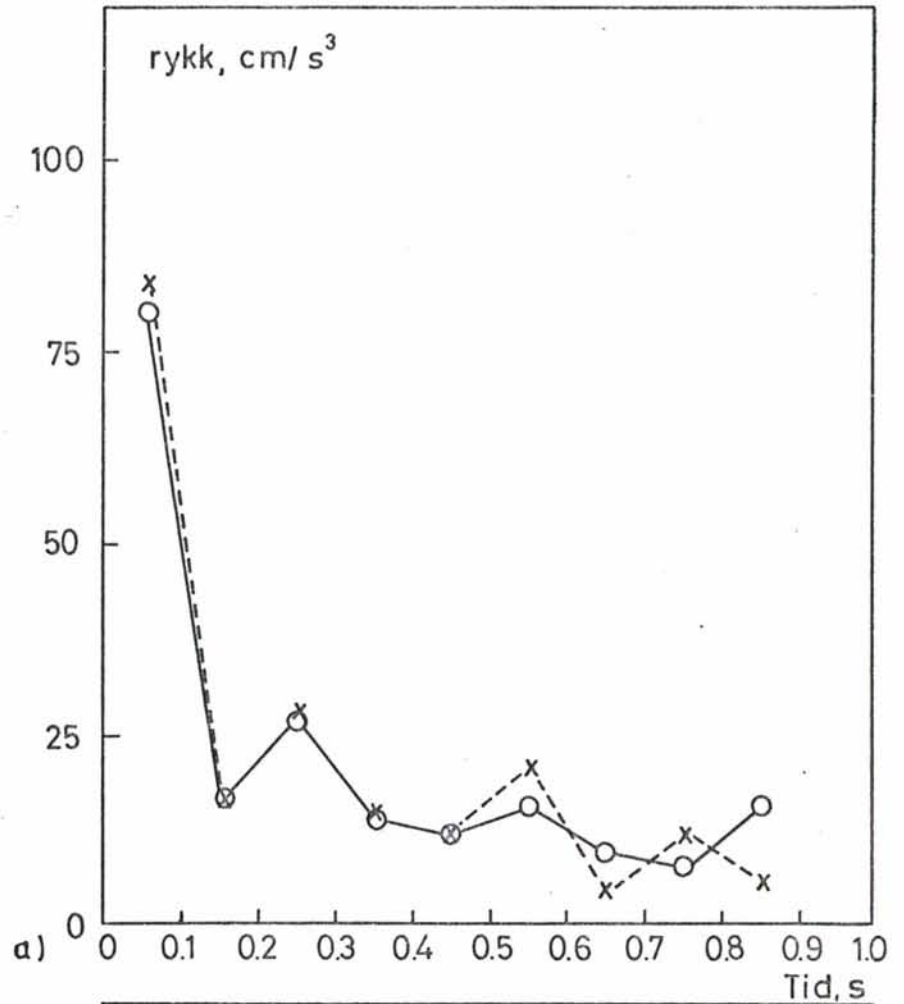
a) krumningsradius 620 m

b) krumningsradius 250 m

○ uten krenkning

x med krenkning

Sokna - Ørgenvika





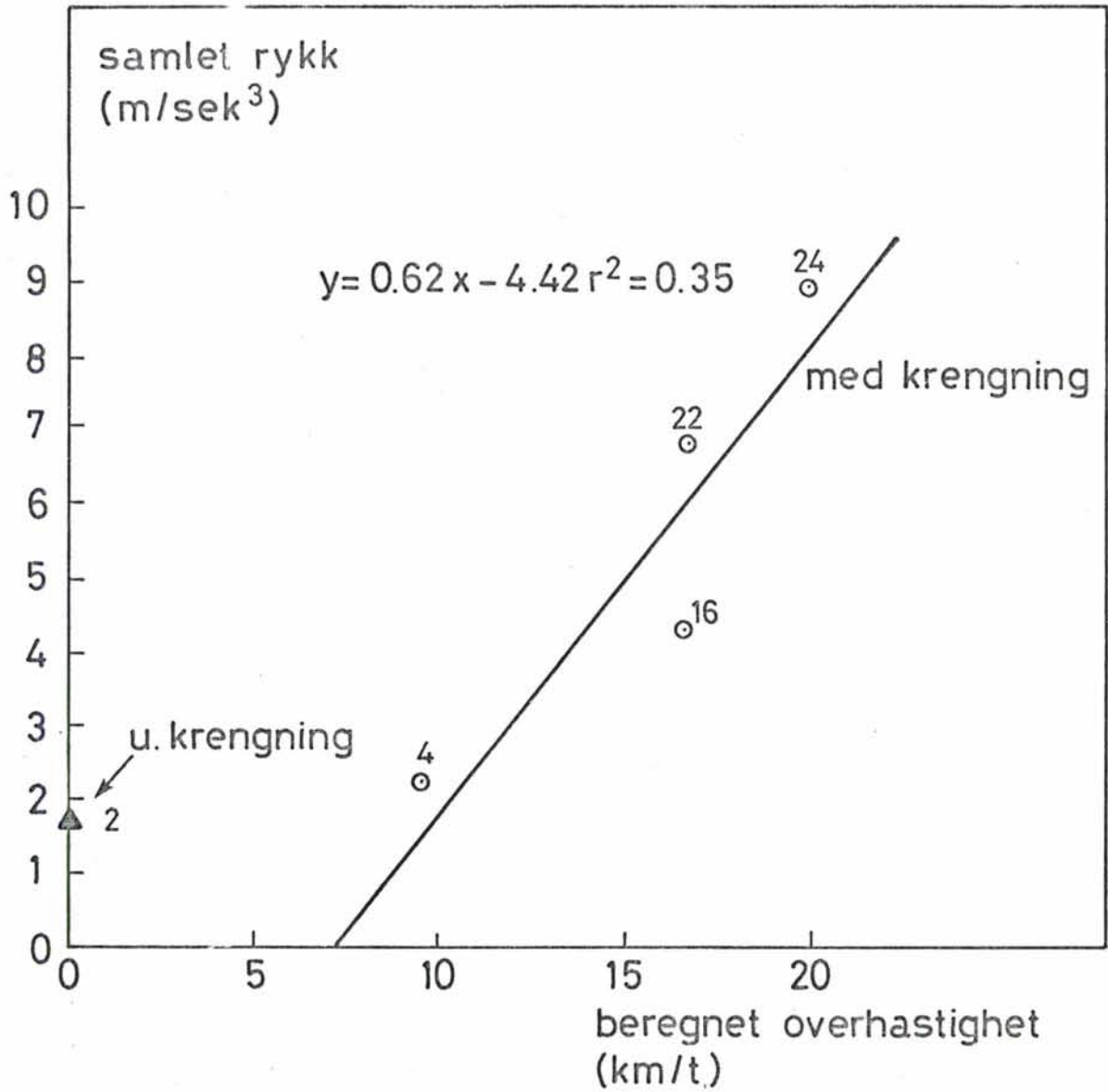
### Virkning på den kvasistatiske aksellerasjon av krenkning

I forrige avsnitt viste vi en figur (nr. 23) som fremstilte den kvasistatiske aksellerasjon som funksjon av overhastigheten. Figuren viste at uten krenkning har vognen samme sideaksellerasjon som boggien. Dersom de funne kurver er representative for kjøring med og uten krenkning, kan resultatet tolkes slik at krenkning tillater kjøring med mellom 15 og 20 km/t høyere overhastighet, dersom en bare behøver å ta hensyn til den kvasistatiske sideaksellerasjon.

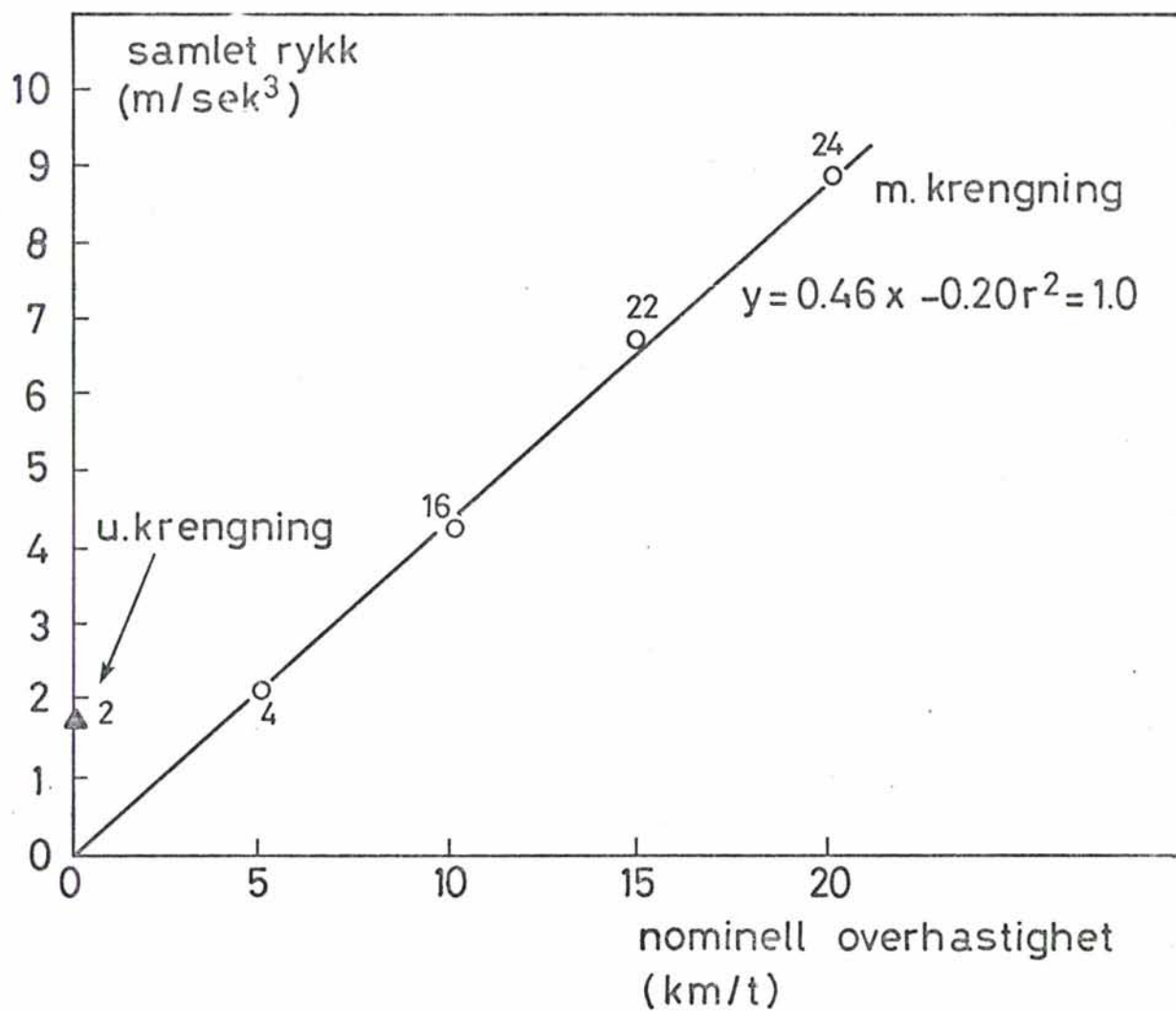
#### 6.5 VIRKNING PÅ DE KVASISTATISKE RYKK AV KRENGNING

For hver av testparene i tabell VI har vi beregnet de kvasistatiske rykk etter metoden beskrevet i appendiks I. Deretter har vi funnet verdier for maksimalt rykk, midlere rykk og standardavvik, midlere varighet av rykkene og den additive sum av rykkverdiene. I figur 33 er det samlede rykk for strekningen Ørgenvika - Sokna fremstilt som funksjon av hastighet beregnet etter metode a) (utmålt avstand på analogstrimmel). På figuren er også anført testnummer, regresjonsligning og regresjonskoeffisient. Figur 36 viser de tilsvarende kurver for strekningen Sokna - Ørgenvika, og figur 35 viser det maksimale rykk som funksjon av nominell overhastighet på strekningen Ørgenvika - Sokna.

Det samlede rykk ved kjøring uten krenkning ligger over regresjonslinjen for rykk med krenkning på strekningen Ørgenvika - Sokna (se fig. 33 og 34). Også det maksimale rykk ligger over den tilsvarende regresjonslinje på denne strekningen (fig. 35). Når toget kjører i motsatt retning, dvs. fra Sokna mot Ørgenvika, ligger testen for kjøring uten krenkning derimot under regresjonslinjen for kjøring med krenkning. I figur 36b har vi tegnet inn 95% konfidensområde for regresjonslinjen (strekningen Sokna - Ørgenvika, beregnede hastigheter) og ser at punktet som representerer det samlede rykk for kjøring uten krenkning, også ligger innenfor dette området.

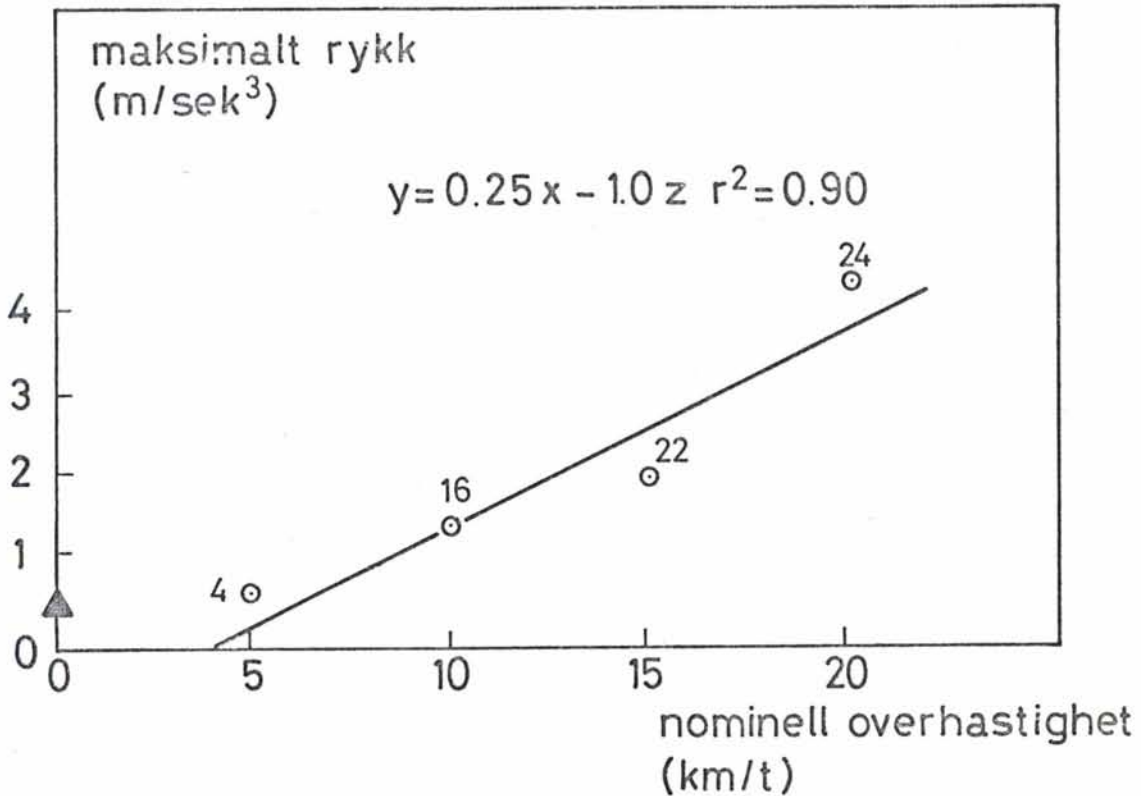


Figur 33. Additiv sum av rykkverdiene over en gitt strekning som funksjon av beregnet overhastighet (strekningen Ørgenvika - Sokna).



Figur 34. Additiv sum av rykkverdiene over en gitt strekning, Ørgenvika - Sokna, som funksjon av nominell overhastighet.



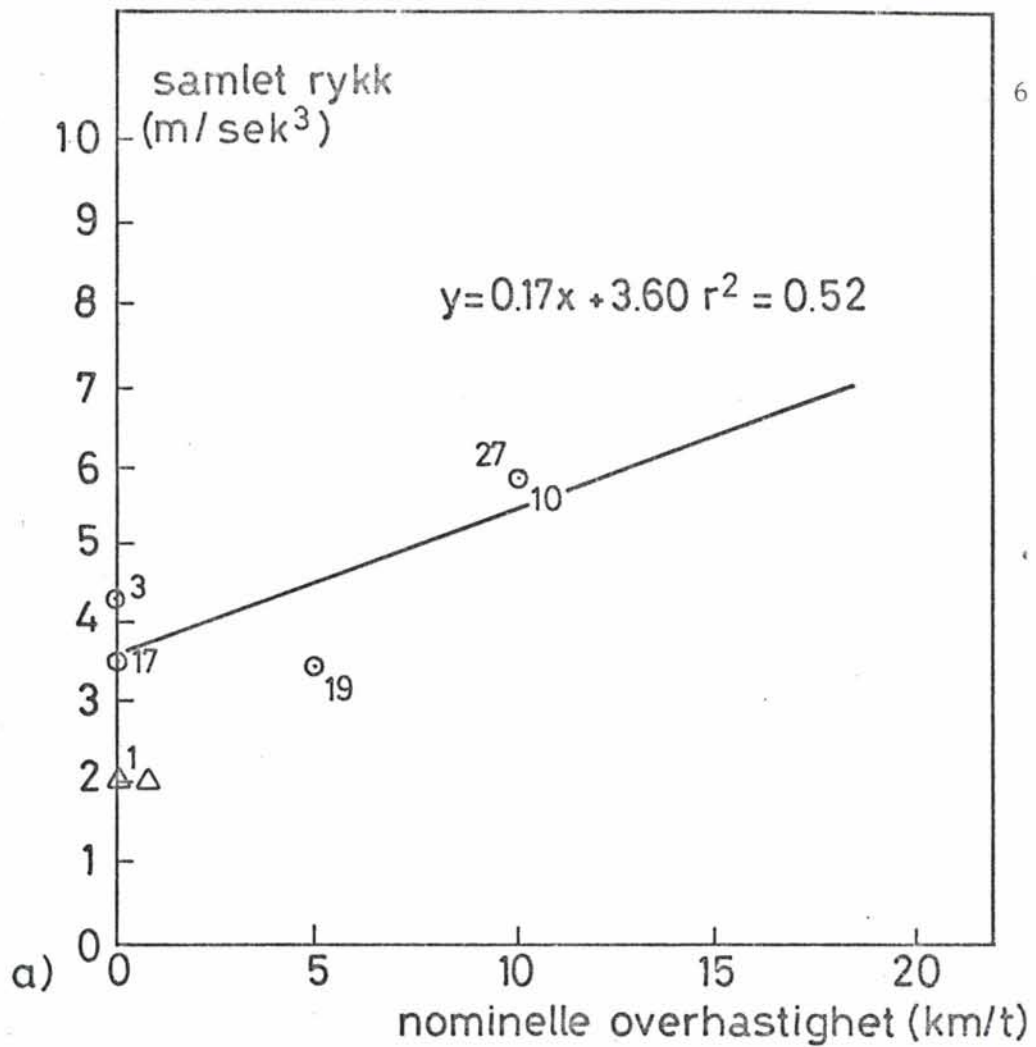


Figur 35. Maksimum rykk som funksjon av nominell overhastighet. Strekningen Ørgenvika - Sokna.

- test med krenkning
- ▲ test uten krenkning

De resultatene vi har kommet frem til med utgangspunkt i de kvasi-statiske rykk, både målt som samlet rykk og som maksimalt rykk, gir ingen klare ulikheter mellom kjøring med og uten krenkning. Vi har forsøkt å redusere den usikkerhet som ligger i bestemmelsen av overhastighet, men resultatene endres ikke i vesentlig grad.

Rykket øker med økende overhastighet. Beregningene av det 95% konfidensområde for en måleserie som viser denne sammenhengen, viser at usikkerheten i måleseriene er betydelig. Dersom det skulle være en systematisk forskjell ved kjøring med og uten krenkning, ville det kreve vesentlig nøyaktigere og flere målinger for å kunne fastlegge denne. Det er imidlertid mulig at siderykket ville endres dersom krenkningsmekanismen hadde en mindre tidsforsinkelse enn den SSB-vognen opererer med.



Figur 36.

Samlet rykk som funksjon av overhastighet

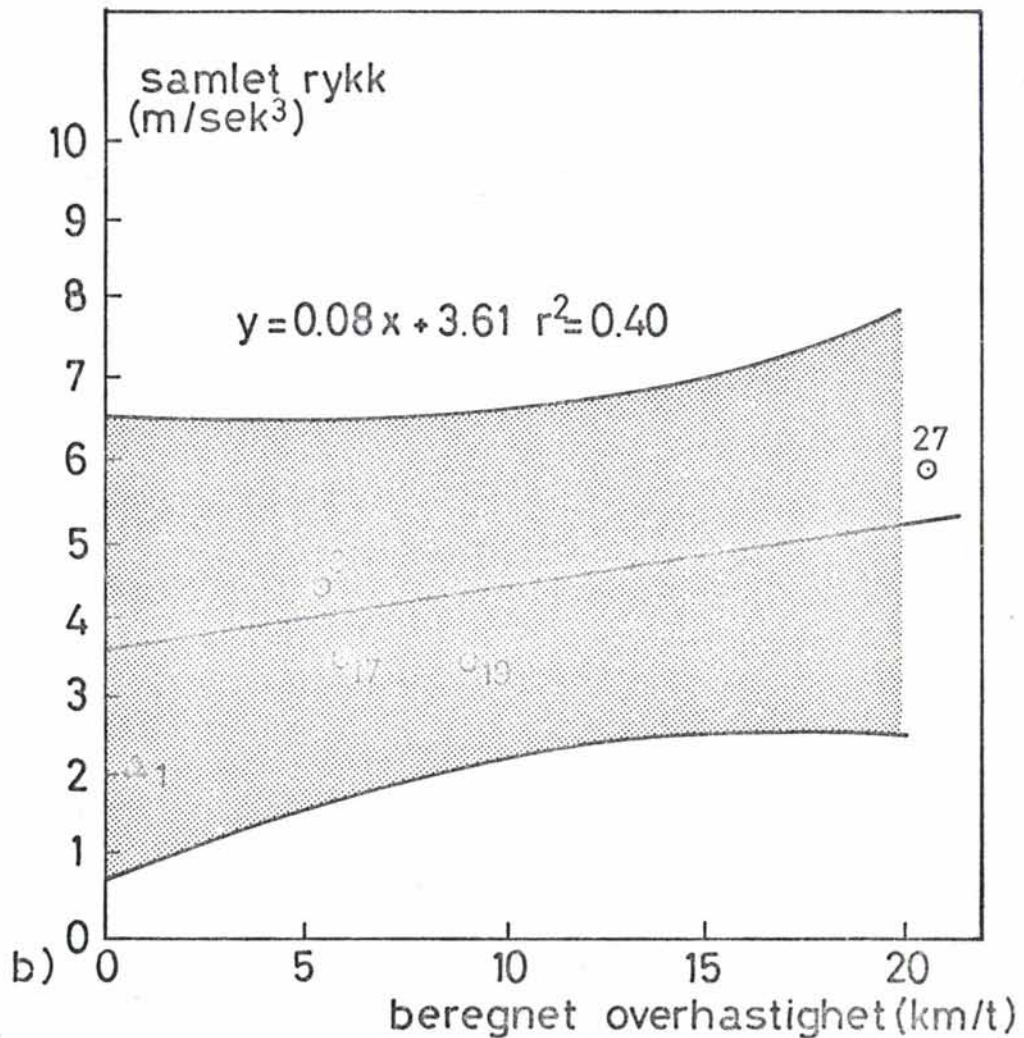
- a) nominell
- b) beregnet

Testnummer og regresjonslinje er tegnet inn.

Strekningen Sokna - Ørgenvika.

○ m/krengning  
▲ u/ "

I 95% konfidensintervall.





## 7 DISKUSJON OG KONKLUSJON

I det foreliggende arbeid har vi støttet på en del praktiske og metodiske vanskeligheter som har fått vesentlig betydning for den måte vi har valgt å løse oppgaven på:

## a)

- Angivelsen av overhastighet ved hver test har ikke vært tilfredsstillende. Vi har derfor utført beregninger for en rekke strekninger med ulik krumning, og antatt at tendensene i materialet derved ville komme lettere fram.
- Posisjonsangivelsene for de tidsseriene som er benyttet, har måttet skje eksplisitt ved visuelt å sammenligne tidsseriene med utsnittet av jernbanetraséen mellom Sokna og Ørgenvika. Dette arbeidet ble meget tidkrevende, og har begrenset utnyttelsen av det totale materialet som har vært tilgjengelig.
- I tillegg til den usikkerhet som har knyttet seg til bestemmelse av overhastighet, men hvor vi mener at noenlunde brukbare verdier har fremkommet, har vi en usikkerhet i hvor effektiv den oppgitte krenkning har vært. Krengningsmekanismen har bl.a. hatt en tidsforsinkelse som ikke har vært ubetydelig.

## b)

Det eksisterer flere uttrykk for beregning av komfort på grunnlag av frekvensspektra. I tillegg til det såk. Wz-tall har vi forsøkt å konstruere en rekke andre uttrykk som er knyttet sammen med komfort, i første rekke slike som er en funksjon av rykk. Vi har foretatt en del kalibreringer for å finne ut ved hvilket valg av konstanter i disse uttrykkene en kan vente at de ulike kjøresituasjoner vil føre til spredning i verdiene, men ytterligere undersøkelser ville vært ønskelig. En kritisk gjennomgåelse av forholdet mellom vibrasjoner og passasjerkomfort er gjennomført av Osborne (1976 og 1977), og det ville vært ønskelig om hans resultater kunne innarbeides i den foreliggende undersøkelse.





## 7.1 BRUK AV MIDLERE VERDIER

Ved vurdering av kjørekomfort benyttes både maksimalverdier (innen visse grenser) og gjennomsnittsverdier. (Se f.eks. Osborne 1976.) Det er rimelig å tro at maksimalverdier vil være mer utsatt for tilfeldige utslag enn verdier midlet over et visst intervall. Dette synes f.eks. å være tilfelle i den situasjon som ligger til grunn for resultatene i figurene 10 og 11. En kan også ved inspeksjon av tidsseriene for aksellerasjon se at enkelte punkter på jernbanetraséen gir meget høye aksellerasjoner, og disse ville da gi vanskelig tolkbare resultater i en sammenligning mellom ulike linjestrekninger. Vi har derfor for de fleste undersøkelser valgt å basere oss på verdier midlet over en frekvens eller et tidsintervall. Dette vanskeliggjør imidlertid til en viss grad sammenligningen med resultater basert på maksimalverdier.

Det skulle likevel være mulig å etablere et sammenligningsgrunnlag dersom en f.eks. velger å midle over de  $N$  høyeste verdier ( $N = 10-20$ ), eller verdier over en viss nedre grense. Et eksempel på dette siste finner en ved å sammenligne figur 10c med 10b, der bare aksellerasjoner over en viss verdi  $2 \text{ cm/s}^2$  er regnet med i det siste tilfellet. Den gjennomsnittlige aksellerasjon øker da med ca.  $0,5 \text{ cm/s}^2$ . Ved høy overhastighet og sterk krumning, er aksellerasjonen ca.  $2,5 \text{ cm/s}^2$ , den maksimale aksellerasjon ca.  $50 \text{ cm/s}^2$  (se SI-notat nr. 78 06 07 - 2), og disse verdiene kan igjen sammenlignes med den grenseverdi for komfort på  $65 \text{ cm/s}^2$  som er gitt i NSB-notat nr. 4. I figur 21 har vi fremstilt antall frekvenser i det gitte frekvensintervall som faktisk har en verdi over den gitte nedre grense.

## 7.2 KOMFORT PARAMETERE

Wz-tallet bør i prinsippet bare benyttes på rette linjestrekninger (NSB-notat nr. 4 og ORE-rapport C 116), og når målinger utføres i kurver får en gjerne et lavere Wz-tall (NSB-notat nr. 3). Våre resultater viser imidlertid økende verdi for Wz-tallet med minkende kurveradius. Dette virker rimelig dersom en ser på tidsseriene for aksellerasjon i figur 3, der den høyre del av tidsserien viser kjøring i kurve med radius 250 m, og den venstre del av serien kjøring i kurver med radius 1300-1800 m. Forskjellen mellom våre resultater og de resultater som rapporteres



for Wz-målinger med et Wz-måleinstrument, kan være at instrumentet ikke har den oppgitte frekvenskarakteristikk. (Opplysninger om dette er gitt av P. Sture, personlig meddelelse.)

Som nevnt under avsnittet om kalibrering, ville det være ønskelig med en undersøkelse av Wz-tallet som funksjon av det frekvensvindu som benyttes. Figur 16 skulle imidlertid gi en antydning om hvordan denne sammenhengen vil se ut.

Wz-tallet og aksellerasjon synes å gi ganske parallelle uttrykk under de samme kjørebetingelser. Det samme gjelder til dels rykk. Den største forskjell mellom de ulike kjørebetingelser viser seg i frekvensområdet rundt 5 Wz, og det er mulig at en burde legge mer vekt på resultatene i dette området når ulike kjørebetingelser skal vurderes. Ved beregning av Wz-tallet gjøres dette likevel til en viss grad. Resultatene for antall rykk av lang varighet ble lite tilfredsstillende, men det er mulig at kalibreringen, dvs. fastsettelsen av en nedre grense for rykkverdien, ikke var særlig god.

Med de forbehold som er tatt ovenfor, mener vi å ha vist at for kortvarige aksellerasjoner ( $< 0,5$  Hz) vil Wz-tallet, aksellerasjonens amplitude og rykk, øke med økende overhastighet og med økende krumning. Det er mulig at krumning og overhastighet gir en forsterket effekt i forhold til de additive bidrag til begge faktorene alene.

Også de kvasistatiske rykk øker med økende hastighet. Beregninger av et 95% konfidensområde for en typisk måleserie viser imidlertid at usikkerheten i disse målingene er betydelig.

Den kvasistatiske sideaksellerasjon øker med økende hastighet. Det synes her også som om det er en markert forskjell mellom kjøring med og uten krenkning.

Når det gjelder hovedspørsmålet i dette arbeidet, om hvilken virkning krenkning av togets vognkasse har på egenskaper som påvirker passasjerenes komfort, kan resultatene sammenfattes som følger:





- a) Siderykk, herunder kvasistatiske siderykk, påvirkes ikke signifikant av om vognen krenger eller ikke. Usikkerheten i måleresultatene er imidlertid betydelig.
- b) Den kvasistatiske sideaksellerasjon minsker ved krenkning. Relativt få data har vært tilgjengelige for å teste dette forhold, men hvis resultatene er representative for kjøring med og uten krenkning, kan resultatet tolkes slik at krenkning tillater kjøring med mellom 15 og 20 km/t høyere hastighet med hensyn på denne faktoren.
- c) Wz-tallet påvirkes ikke signifikant av om vognen krenger eller ikke.



## 8 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Det har vist seg å være relativt enkelt å prøve ut forskjellige parametere for komfort, men det er ønskelig med en mer omfattende databearbeiding for å fastlegge passende konstanter i de forskjellige uttrykk. Videre vil det være ønskelig å beregne parametere som egner seg for sammenligning med tidligere resultater, selv om disse parametrene (f.eks. "peak values") ikke tilfredsstillende krav til reproduserbarhet etc. like godt.

Dersom det er mulig å fastlegge på en enkel måte hastighet og posisjon for de enkelte avsnitt tidsseriene deles opp i, f.eks. ved å registrere passering av stolper langs jernbanetraséen på den analoge tapen, vil den benyttede metoden kunne bygges ut til å gi en enkel og fleksibel karakterisering av toget og av passasjerernes komfort ved kjøring under ulike betingelser.

I sin nåværende form er metoden noe tungvint og arbeidskrevende, men ved å være meget nøyaktig under registrering av data, skulle metoden likevel kunne benyttes med tilfredsstillende resultat.



## REFERANSER

- 231-78 03 12-1, 13.3.78. Norges Statsbaner. Assistanse v/måling på kreggende vogner.
- SI 78 03 12, 20.4.78. Måling på kreggende vogn. 20 s. I notatet er Wz-tallet og rykk verdier beregnet grafisk for en rekke kjørebetingelser.
- SI 78 06 07-1, 22.6.78. Måling på kreggende vogn, aksellerasjonsmålinger. 19 s.
- SI 78 06 07-2, 17.8.78. Analyse av data fra forsøk med kreggende vogn - NSB. 21 s.
- SI 78 06 08-3, 5.9.78. Analyse av data fra forsøk med kreggende vogn - NSB. 10 s.
- NSB-notat 28.4.73. Problemnotat 11 s.
- NSB-notat 13.3.78
- NSB-arbeidsdokument nr. 1. Forsøk med kregning 14 s.
- NSB-arbeidsdokument nr. 3. Registrering av Wz-tallet 5 s. Notatet inneholder en gjennomgang av måleruller fra våren 1978/SBB-vogn.
- NSB-arbeidsdokument nr. 4. Forsøk med kregning. Valg av komfortkriterier. 3 s. Notatet gjennomgår valg av komfortkriterier.
- NSB-notat nr. 5. Forsøk med kregning. Analyse og dokumentasjon fra målinger våren 1978. 6 s. Notatet er for enkelte punkter en oppsummering etter konferanse 27.7.78 mellom P. Sture (NSB) og K.L. Seip (SI).
- Glomnes, M. 1977. Høyere reisehastighet, et forsknings- og utviklingsprosjekt ved NSB. NSB-teknikk 3/1:2-26.
- Osborne, D.J. 1976. A critical assessment of studies relating whole-body vibration to passenger comfort. Ergonomics 19:751-774.
- Osborne, D.J. 1977. Vibration and passenger comfort. Applied Ergonomics 82:87-101.
- Ore-report C116. 1977. Wechselwirkung zwischen Fahrzeugen und Gleis. Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes. Utrecht.



## TABELLER

- I Fastsettelse av overhastighet a) Ørgenvika - Sokna,  
b) Sokna - Ørgenvika.
- II Oversikt over beregninger og analyseoppgaver.
- III Virkning av overhastighet på tidsserien for aksellerasjon.  
Retning: Ørgenvika - Sokna.
- IV Virkning av overhastighet på tidsserien for aksellerasjon.  
Retning: Sokna - Ørgenvika.
- V Bruk av ulike deteksjonsmetoder.  
Retning: Ørgenvika - Sokna.
- VI Virkning av krenkning.
- VII Virkning av overhastighet på aksellerasjon.  
Usikkerhetsberegning.
- VIII Resultater av normaldeteksjon.
- IX Resultater av selvdeteksjon.
- X Resultater av spesialdeteksjon.



## FIGURER

1. Målepunktene plassering på målevogn.
2. Utsnitt av jernbanetraséen mellom Sokna og Ørgenvika.
3. Tidsserier for aksellerasjon Ørgenvika - Sokna.
4. Tidsserie for aksellerasjon Sokna - Ørgenvika.
5. Numerisk glattet tidsserie: Ørgenvika - Sokna.
6. Bestemmelse av overhastighet Ørgenvika - Sokna.
- 7a. Bestemmelse av overhastighet Sokna - Ørgenvika.
- 7b. Svingningene som danner grunnlaget for analysen.
8. Antall rykk som funksjon av nedre grense for rykkverdien. Usikkerhetsanalyse.
9. Antall rykk som funksjon av nedre grense for rykkverdien. Rykk med ulik varighet.
10. Virkning av overhastighet på sideaksellerasjon. Wz-tall, gjennomsnittlig amplitude og rykk.
11. Virkning av overhastighet på sideaksellerasjon. Antall rykk, maksimalt rykk.
12. Wz-tallet som funksjon av krumningsradius.
13. Aksellerasjonen som funksjon av krumningsradius.
14. Rykk som funksjon av krumningsradius.
15. Virkning av overhastighet på sideaksellerasjon.
16. Wz-tall som funksjon av frekvens.
17. Aksellerasjon som funksjon av frekvens. Kurveradius  $R = 410$ .
18. Rykk som funksjon av frekvens.
19. Aksellerasjon som funksjon av tiden.
20. Antall rykk som funksjon av tiden.
21. Antall frekvenser med aksellerasjon over en viss verdi i en serie frekvensintervaller. Radius:  $\infty$  og 410 m.
22. Antall frekvenser med rykk over en viss verdi i en serie frekvensintervaller. Radius:  $\infty$  og 410 m.
23. Kvasistatisk sideaksellerasjon som funksjon av overhastighet for boggi og vognkasse.
- 24a. Wz-tallet som funksjon av krumningsradius for ulike deteksjonsmetoder.
- 24b. Aksellerasjon som funksjon av krumningsradius for ulike deteksjonsmetoder.
25. Rykk som funksjon av krumningsradius for ulike deteksjonsmetoder.
26. Virkning av deteksjonsmetode på en del parametre ved ulike krumningsradier.
27. Wz-tallet som funksjon av frekvens ved ulike deteksjonsmetoder.
28. Rykk som funksjon av frekvens ved ulike deteksjonsmetoder.





29.  $W_z$ -tallet som funksjon av kurveradius ved kjøring med og uten krenkning.
30. Aksellerasjon som funksjon av kurveradius ved kjøring med og uten krenkning.
31. Virkning av krenkning på utvalgte parametre.
32. Rykk som funksjon av tiden for kjøring med og uten krenkning.
33. Rykk som funksjon av beregnet overhastighet Ørgenvika - Sokna.
34. Rykk som funksjon av nominell overhastighet Ørgenvika - Sokna.
35. Maksimalt rykk som funksjon av nominell overhastighet Ørgenvika - Sokna.
36. Rykk som funksjon av nominell og beregnet overhastighet Sokna - Ørgenvika.



## METODER

I alt 12 av testene som ble utført i tidsrommet 22.2.-2.3.78 på kregende vogn, er digitalisert (se SI-rapport 231 - 78 03 12 - 1). Testene er valgt ut slik at de danner grunnlag for komparative analyser slik tabellene I-IV i rapport 78 06 07 - 1 indikerer. For de 12 testene er følgende informasjon tatt ut:

- Uttegning av tidsserien for horisontalaksellerasjon, vogn (aksellerometer 4).
  - Uttegning av tidsserien for horisontalaksellerasjon, boggi (aksellerometer 6).
- Utregningene har skjedd på en skriver: GOULD brush nr. 220. Utgangseffekt fra båndspilleren; RACAL, var 5 volt. Inngangen på skriveren 0,50 volt pr. delstrek (10 delstreker over bredden på analogstrimmelen).
- Påtegning av hastighet og ca. lokalitet i henhold til melding på analogbåndet (AMPEX 786 - 273225841 og - 27322561).
  - Uttegning på Tektronix skjerm og kopiering av 315 enkeltsnitt fra de 12 testene (se kommentar senere om de enkelte snitt).
  - Uttegning på linjeskriver VERSATEC av særlig markerte avsnitt av enkelte tester.

Digitalisering kan skje med ønsket intervall. Vi har valgt å sample de analoge signalene med intervaller på 10 msek. Hvert snitt av de enkelte tidsserier bør bestå av et antall punkter som kan skrives på formen  $2^N$ , der N er et helt tall. (Dette skyldes at vi benytter en såkalt Fast-Fourier Transform FFT, hvor det er meget gunstig at en slik betingelse blir oppfylt.) Vi har valgt  $N = 10$ , dvs. at hvert snitt består av 1024 punkter, som dekker ca. 10 sekunders kjøring eller en kjørelengde på ca. 200 m (hastighet ca. 80 km/t).

Vi antar at en kjøretid på ca. 10 sek er et passende kompromiss mellom hensynet til å oppnå en tilstrekkelig lang tidsserie for beregning av frekvensspekteret og hensynet til å kunne registrere traséene for kurvegjennomgang entydig. Se tabell I over kurvetraséer på strekningen Rallerud-Ørgenvika.



## I.1 IDENTIFISERING AV ENKELTSNITT

Hvert enkeltsnitt av tidsseriene for testene er identifisert på en "master" utskrift og påtegnet posisjon, kurveradius og hastighet. Posisjonene kan bestemmes relativt nøyaktig, kurveradius vil kunne variere noe innen det enkelte avsnitt, men i den foreliggende serie er avsnittene såpass korte at radius er relativt konstant i hvert avsnitt. På rette linjestrekninger er tilskrivning av kurveradius intet problem. Hastighetene kan variere noe, de er ofte oppgitt med lange tidsintervall og vil skifte flere ganger mellom hver angivelse dersom en konstant overhastighet virkelig er realisert. Vi har stort sett antatt at de oppgitte overhastigheter er benyttet, men har i enkelte tilfeller også ført opp de rapporterte hastigheter og de nominelle "tillatte" hastigheter slik at en vurdering kan foretas av hvor godt de gitte overhastigheter er realisert. (Se også avsnitt 5 i hovedrapporten.)

TABELL I

Oversikt over kurvetraséer på strekningen Rallerud - Ørgenvika

Kurveradius	Ca. startpos.	Ca. sluttpos.	Ca. lengde	Merknad
m	km	km	m	
250	125,1	125,4	246	} S-kurve $\bar{S}_1$
475	124,8	125,0	195	
1300-1800	124,4	124,5	100	
2500	123,5	123,8	230	} S-kurve $\bar{S}_2$
1500	123,2	123,4	165	
950-1000	123,0	123,2	185	
600	122,6	122,7	121	
620	122,4	122,5	135	
1500	121,6	122,3	700	
310	121,1	121,6	550	
395	121,7	120,8	111	



## I.2 FREKVENSTRANSFORMASJON

Med utgangspunkt i tidsseriene for testene, beregnes et frekvensspekter for hvert enkelt av segmentene linjetraséene er delt opp i. Se figur 1. Dataprogrammet som utfører denne operasjonen er bygget opp som i figur 2.

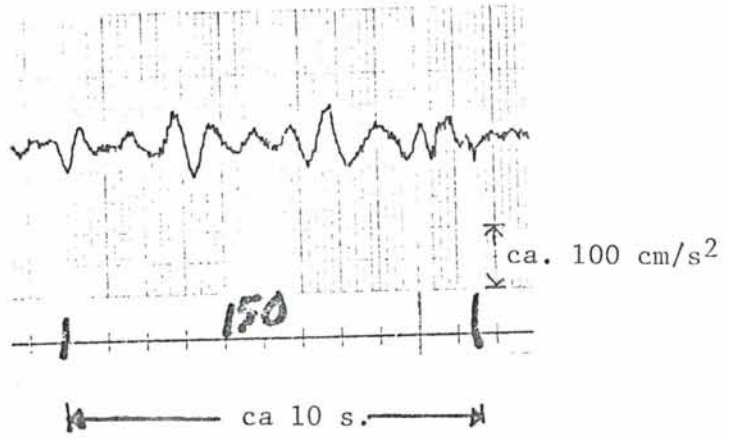
## I.3 KALIBRERING

De numeriske verdiene etter digitalisering må tilskrives en viss aksellerasjon (f.eks. i  $\text{cm/sek}^2$ ). Dette gjøres ved å fastsette verdien på en proporsjonalitetskonstant. Den er her bestemt indirekte slik at Wz-tallet for kjøring på rett strekning med 15 km/t i overhastighet er  $2,5 \pm 0,1$  (gjennomsnitt for 4 linjestrekninger) og der frekvensvinduet er 0,5 - 20 Hz (se diskusjon av frekvensvinduet senere). Dette tallet er noe lavere enn rapportert av Sture i NSB-arbeidsdokument nr. 3, men i god overensstemmelse med resultatene i SI's notat 780312-2 tabell VII s. 15. For bl.a. å få med virkningene av rykk av lang varighet (se diskusjon av rykk senere), ble frekvensspekteret utvidet til (0,05 - 50 Hz) og proporsjonalitetsfaktoren endret noe. Dette har ført til at Wz-tallet har fått høyere verdier enn det er rimelig grunn til å tro at komfortforholdene ved testkjøringen tilsier. Dersom en ønsker å vurdere Wz-tallet på grunnlag av et snevrere frekvensvidu, kan en ta utgangspunkt i originalmaterialets fremstilling av Wz-tallet på histogramform. En skulle da enkelt kunne sammenligne Wz-tallene beregnet her med Wz-tall beregnet eller registrert på annen måte. Se figurene 16 og 27 i hovedrapporten som viser Wz-tallene som funksjon av frekvensen. Wz-tallene, slik de er gjengitt her, skulle imidlertid være tilstrekkelige ved en vurdering av de relative utslag, mens en vurdering av absolutte tall vel bør skje med utgangspunkt i en mer direkte bestemmelse av proporsjonalitetskonstanten.

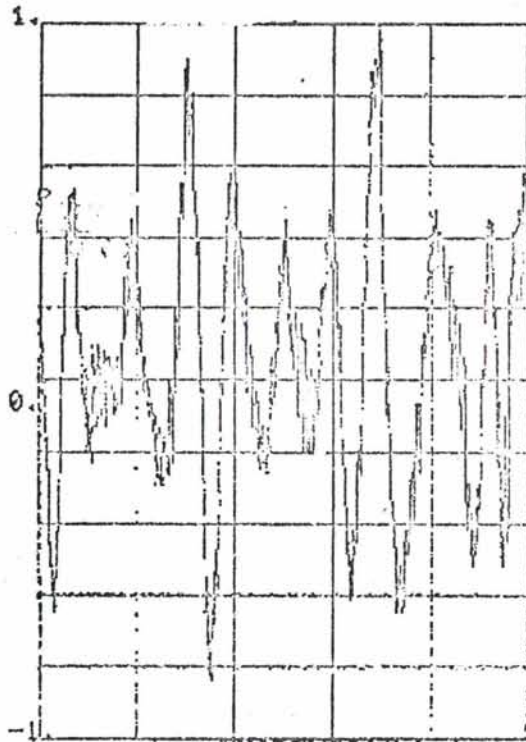




Utsnitt av analog-  
registrering av tids-  
traséen for horisontal  
aksellerasjon på vogn  
BRUSH-skriver



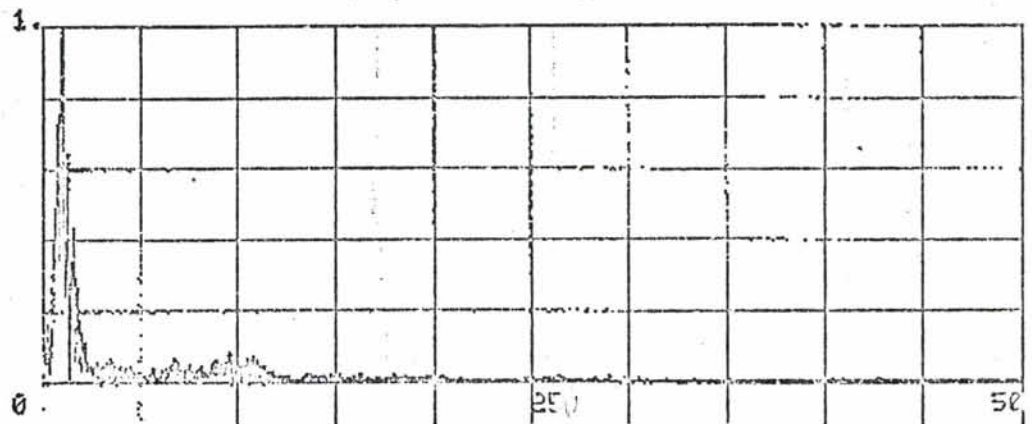
↓  
Digitalisering  
↓



Digitalisert signal.  
Utskrift fra digitalbåndet  
på VERSATEC printer/plotter

↓  
FFT  
↓

Frekvens-  
spekter

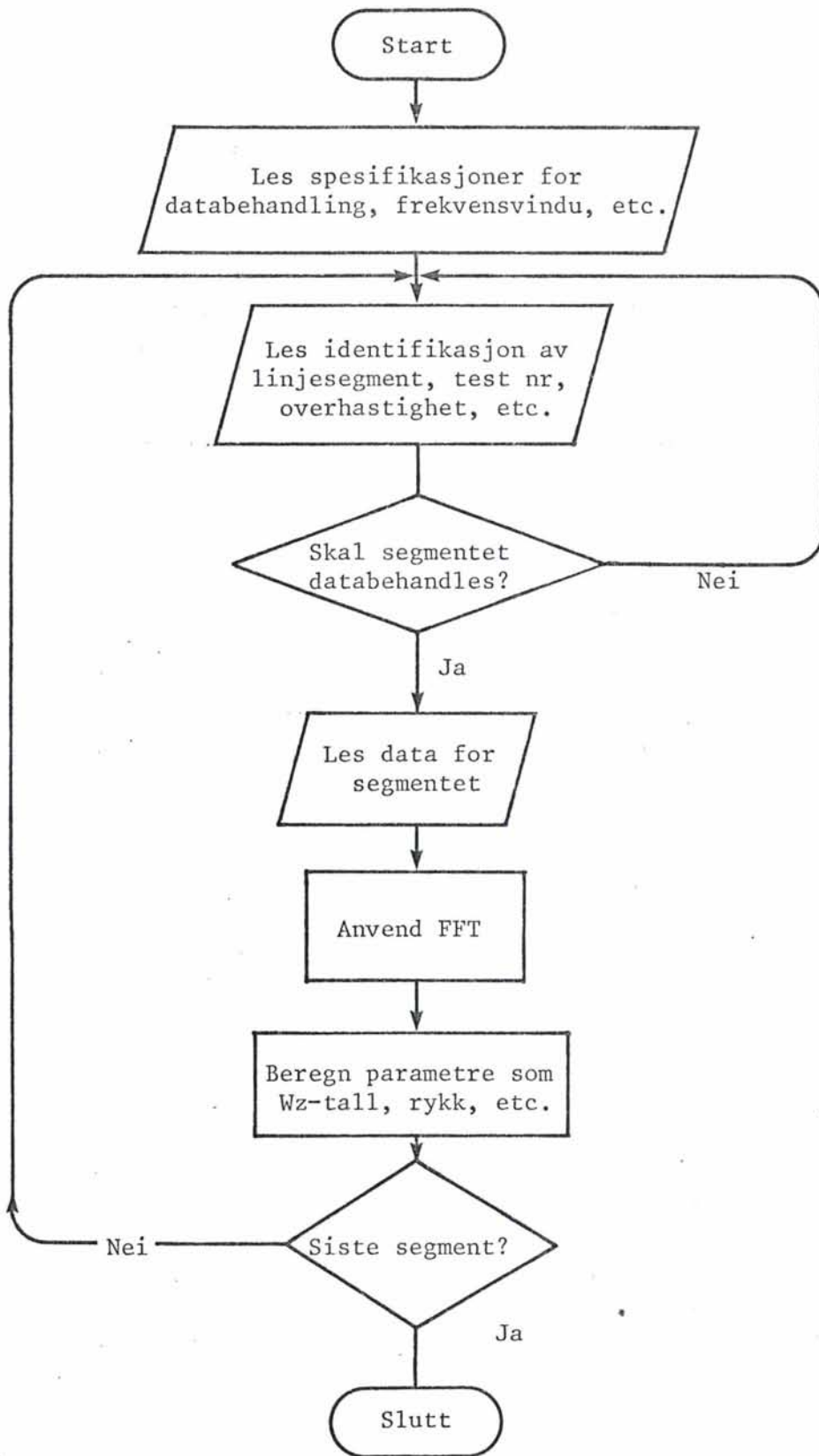


Utskrift av  
en del resultater.  
Se tekst.

WZ-NUMBER	AVJERK1	AVJERK2	MXJERK1
2.58	30.22	0.00	29.64
NUMBER OF JERKS ABOVE A THRESHOLD LEVEL			
TRESH1	TRESH2	SNOJ1	SNOJ2
20.00	5.00	5.15	0.00
105462	PRUSE	0	

Figur 1. Gangen i signalanalysen





Figur 2. Flytekart for dataprogram.



#### I.4 BEREGNINGSMETODE FOR UTVALGTE PARAMETERE

Med utgangspunkt i det foreliggende materiale kan det beregnes en rekke parametere som gir et integrert uttrykk for egenskaper ved spekteret. En kan uttrykke det slik at en ønsker parametere som tilfredsstillende to typer krav.

- a) De skal si noe om passasjerenes velbefinnende (komfort, f.eks. formulert ved Wz-tallet "Riders Index etc").
- b) De skal gi best mulig oppløsning i numeriske verdier m.h.p. ulike kjørebetingelser (slik som overhastighet, kurveradius etc.), men samtidig liten variasjon i verdier for samme kjøresituasjon, selv om kjøringene utføres på forskjellige sporstrekninger.

Det skal bemerkes at Wz-tallet demper virkningene av endringer i aksellerasjonene utenfor et område rundt ca. 5 Hz, og at det derfor tilfredsstillende kravet b) mindre godt.

Vi har beregnet 14 ulike parametere, hvorav 12 er fremstilt som histogrammer langs enten en frekvensakse, en tidsakse eller langs begge aksene. Andre parametere kan nå lett tas med i beregningene. Vi ville f.eks. anta at parametere som uttrykker ulike former for produktet  $a^n \cdot f^m$  der  $a$  er aksellerasjon,  $f$  er frekvens og  $n$  og  $m$  er et utvalg reelle tall, ville være interessante. (Verdier for  $n = 0, 1, 1,5$  og  $m = 0, 1, 2, 2,5$  har vært benyttet, se Osborne 1976.)

Gjennomsnittsamplitude beregnes som summen av amplitudene, dividert med antall frekvenser  $n$  innenfor det oppgitte frekvensintervall og med det gitte samplingsintervall:

$$TAMP1 = \sum_i a_i / n \quad (1)$$

Amplituden TAMP2 beregnes slik at bare amplituder større enn en viss nedre terskel telles med, dvs.:



$$a_i = \begin{cases} a_i & \text{for } a > \text{terskelverdi} \\ 0 & \text{for } a < \text{ - " -} \end{cases}$$

$$\text{Antall } n = \begin{cases} \text{øker med 1} & \text{for } a > \text{terskelverdi} \\ \text{konstant} & \text{for } a < \text{ - " -} \end{cases} \quad (2)$$

De to uttrykkene for amplitude TAMP1 og TAMP2 samt antallet  $n$  fremstilles på histogramform med frekvens som akse. Maksimal amplitude finnes både for tidsserien og for frekvensspekteret.

Wz-tallet beregnes som angitt i rapport nr. 78 03 12-2.

$$W_z = 6,67 \sqrt{a^2 \cdot B^2} = (a \cdot B)^{0,3} \quad (3)$$

$$B_{\frac{w}{s}} = \left\{ \begin{array}{l} 0,737 \\ 0,588 \end{array} \right\} \sqrt{\frac{1,911f^2 + (0,25f^2)^2}{(1 - 0,277f^2)^2 + (1,563f - 0,0368f^3)^2}} \quad (4)$$

der

$a$  er aksellerasjon ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

$f$  er frekvens ( $1/\text{s}$ )

$B$  er et tall som veier bidraget fra de enkelte frekvenser til Wz-tallet

$w$  angir horisontal bevegelse

$s$  angir vertikal bevegelse

Wz-tallet for bevegelse med flere frekvenser beregnes ved

$$W_z = 6,67 \sqrt{W_{z_1}^{6,67} + W_{z_2}^{6,67} + \dots + W_{z_n}^{6,67}} \quad (5)$$

Wz-tallet beregnes for alle frekvenser innen det oppgitte frekvensvindu etter formel (5), det beregnes for hvert frekvensintervall i histogramfremstillingen av Wz-tallet og det beregnes et aritmetisk middel av Wz-verdiene i histogrammet.

Gjennomsnittlig rykk TJER beregnes ved numerisk derivasjon av utslaget i aksellerasjon ved en gitt frekvens, summere rykkverdiene aritmetisk for alle frekvensene innen det oppgitte frekvensvinduet og deretter dele på antall rykk.



Rykkverdiene fremstilles på histogramform både langs frekvensakse og langs en tidsakse, dvs. etter hvor lenge rykket varer.

På samme måte som for amplitudene av aksellerasjonen, kan det angis en nedre terskel for hvilke rykk som skal telles med. Verdiene av denne type rykk TJER2 blir fremstilt på histogramform med frekvens som akse. Videre fremstilles på histogramform den teller som angir hvor mange av rykkene innen hvert frekvensintervall som ligger over terskelverdien.

Ubehaget ved et rykk er avhengig av dets varighet. I notat nr. 4 er to varighetsområder anført der toleransegrensene er ulike:

<u>Varighet(s)</u>	<u>Toleransegrense (g/s)</u>	$g \approx 10 \text{ m/s}^2$
0,1 - 0,5	0,14	
> 0,5	0,07	

Ved analysen av rykk har vi derfor analysert rykkene i to varighetsintervaller.

Formelen for rykk er gitt på formen:

$$R = 4 \cdot a \cdot f \quad (6)$$

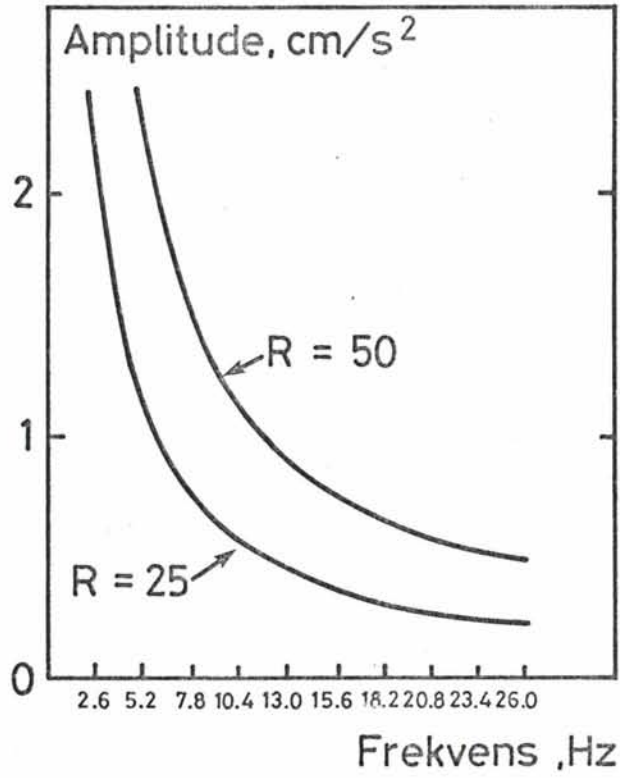
der

a og f er definert som tidligere.

For en gitt rykkverdi vil det kunne defineres en funksjonsammenheng mellom amplitude og frekvens. Det skal en mindre amplitude til for å oppnå den samme rykkverdi ved en høyere frekvens. Funksjonssammenheng er oppgitt i figur 3.

Maksimalt rykk beregnes for hvert av de to intervaller.





Figur 3. Iso-linjer for rykk



Antall rykk avhenger av den nedre grense for hvor stort rykk som skal telles med. Den nedre grense er funnet ved å vurdere resultatene av en forundersøkelse der antall rykk er studert som en funksjon av den nedre grense. Verdier for rykk følsomhet oppgitt i litteraturen kan også være et aktuelt alternativ, men vi har her valgt å legge vekt på det hensyn b) som er anført tidligere i avsnitt I.4.

Antall rykk beregnes for hvert av de to varighetsintervaller og fremstilles dessuten på histogramform med tiden som akse.

For å lette sammenligningene mellom histogrammer langs henholdsvis tids- og frekvensakse beregner vi antall frekvenser i hvert tidsintervall langs tids-aksen.



### I.5 KVASISTATISK RYKK

For hver test har vi beregnet de kvasistatiske rykk ved å foreta en grafisk glatting og derivasjon av tidsseriene for aksellerasjon. Deretter har vi funnet verdier for maksimalt rykk, midlere rykk, standardavvik, midlere varighet av rykkene og den additive sum av rykkverdiene.

For å finne et uttrykk for den komfort en viss rykksekvens vil gi, kan en tenke seg en algoritme i analogi med uttrykket for  $W_z$ -tallet i ligning (5) som en "sum" av rykkverdiene ved hver frekvens:

$$R_{\text{total}} = z \sqrt{R_1^z + R_2^z + \dots + R_N^z}$$

der  $z$  er et fritt valgt tall.

For  $W_z$ -tallet er det benyttet en  $z$ -verdi på 6,67. Såpass store  $z$ -verdier legger vesentlig vekt på de store utslag. Når det gjelder kvasistatiske rykk, er disse imidlertid av så lang varighet at  $z$ -verdier i nærheten av 1,0 er rimelige, dvs. nær additivitet ved formulering av en komfortindeks basert på rykk.

### I.6 KVASISTATISK AKSELLERASJON

For hver test har vi beregnet den kvasistatiske sideaksellerasjon ved å foreta en grafisk glatting og deretter måle den midlere aksellerasjon i de aktuelle kurver.