



Sporkraftmålinger på Holmenkollbanen

Måleresultater fra kurve
med radius 95 meter
høsten 1988

SAMMENDRAG

Rapporten omhandler sporkraftmålingene som ble foretatt mellom Holmenkollen og Voksenlia stasjon på Holmenkollbanen i et kurveavsnitt med radius 95 meter. Skinnegangen ble her strekk-lappinstrumentert med tre målepunkter på hver skinne for registrering av horisontale- og vertikale hjul/skinne krefter under vognpassering.

Sporveisvogner fra 400-, 600- og 1300-serien ble testet på henholdsvis tørt og vått spor. 1300-materiellet ble også utprøvd med smurte og usmurte glideplater i boggiene og med relativt nydreide hjul.

Målingene viser at 1300-vognene belaster sporet med større svilletverrkrefter enn materiell fra 400- og 600-serien, men forskjellen varierer med 1300-materiellets beskaffenhet.

Nydreide hjul ser ut til å ha stor innvirkning på sporkreftene, mens smurte/usmurte glideplater betyr mindre. Maksimal svilletverrkraft som ble oppnådd i forhold til Prud'hommes teoretiske 2m-grenseverdi var 0,75 ved kjøring i 40 km/h på tørre skinner med en 1300-vogn. Fare for sideforskyvning av sporet opptrer først ved overskridelse av denne grenseverdien så marginen her virker tilstrekkelig. Kjøring på våte skinner ga betydelig reduserte svilletverrkrefter.

Forholdet mellom horisontalt- og vertikalt virkende hjul/skinne krefter på ytre skinnestreng, dvs avspøringskoeffisientene, var urovekkende stor når vognene ble kjørt i stigning og på tørt spor. Avspøringskoeffisientene for ledende vognaksler overskred her Nadals grenseverdi for avspøringsfare i hele hastighetsområdet. Dette gjelder spesielt 1300-materiellet, men også 601. 407 var her den eneste vogna som ikke overskred teoretisk grenseverdi.

1. INNLEDNING	1
2. MÅLESTED	2
3. INSTRUMENTERING AV SKINNEGANGEN	3
3.1 Måling av sporkrefter	3
3.2 Måling av toghastighet	5
4. PRAKTISK GJENNOMFØRING AV MÅLINGER	6
5. MATERIELLOVERSIKT	7
6. ETTERBEHANDLING AV MÅLEDATA PÅ PC	11
6.1 Innlesing	11
6.2 Signaletterbehandling	12
7. RESULTATER	15
7.1 Vertikale Q-krefter	15
7.2 Horisontale Y-krefter	36
7.3 Svilletverrkrefter	57
7.4 Avspøringskoeffisienter	78
8. SAMMENSTILLINGSKURVER FOR ULIKE MATERIELLTYPEN	99
8.1 Sidekrefter på ytre skinne	100
8.2 Sidekrefter på indre skinne	105
8.3 Svilletverrkrefter	110
8.4 Avspøringskoeffisienter	115
9. VURDERING AV MÅLERESULTATER	120
9.1 Generelle tendenser	120

9.2 Sammenligning av ulike materielltyper	121
9.2.1 Sidekrefter på ytre skinne	121
9.2.2 Sidekrefter på indre skinne	122
9.2.3 Svilletverrkrefter	123
9.2.4 Avspøringskoeffisienter	124
10.KONKLUSJON	125

1. INNLEDNING

Bakgrunnen for prosjektet var et ønske om å kartlegge hvordan ulike materielltyper ved Oslo Sporveier påvirker sporet med hensyn på krefter hjul/skinne. Ut i fra målte sporkrefter kan både avsporingssikkerhet og fare for sideforskyvning av sporet vurderes. Sporkreftene forteller også noe om hvilke materielltyper som kan forventes å gi størst hjul/skinne slitasje.

Prosjektet er utført på oppdrag for Oslo Sporveier etter at Teknisk Laboratorium ved NSB har gjennomført lignende målinger på jernbanens eget materiell.

2. MÅLESTED.

Målestedet ble valgt i samarbeid med Oslo Sporveier og kan best beskrives ved følgende banetekniske data.

Sted	:	Kmp 9.45 fra Nationalteateret på Holmenkollbanen mellom Holmenkollen- og Voksenlia stasjon.
Radius	:	95 m.
Stigning	:	52.5 promille mot Voksenlia.
Overhøyde	:	76 mm i gjennomsnitt over måleområdet.
Sporvidde	:	1435 mm.
Skinner	:	NSB-40 , ikke helsveiste.
Sviller	:	Tresviller med Pandrolbefestigelse.
Svilleavstand	:	66 cm.
Ballast	:	Pukk.
Strekningshastighet:		35 km/t (teoretisk beregnet)

3. INSTRUMENTERING AV SKINNEGANGEN.

3.1 Måling av sporkrefter.

Seks målepunkter på skinnegangen ble instrumentert med strekkklapper av typen WFCA-6-IL-11 fra Tokyo Sokki Co. Ltd. Tre ble plassert på ytre skinne og tre på indre. Samsvarende punkter på indre og ytre skinne ble plassert rett overfor hverandre og avstandene mellom første og andre samt andre og tredje målepunktpar var henholdsvis en og to svilleavstander. Se fig. 3.1.1. Denne målepunktplasseringen ble valgt fordi den muliggjør beregning av tre statiske svilletverrkrefter over en avstand på to meter. Altså kan vi få en liten indikasjon på om S_{lim} etter Prud 'homme overskrides.

Strekkklappene ble plassert på skinnefot og skinnesteg slik at for hvert målepunkt kan horisontale (Y) og vertikale (Q) sporkrefter måles kontinuerlig over en liten strekning på 10 cm. Se fig. 3.1.2 og 3.1.3 for nærmere detaljer her.

Det ble benyttet med 6 doble strekkklapper pr. Y-kraftmålepunkt og 4 doble pr. Q-kraftmålepunkt. Altså totalt 60 doble strekkklapper for å instrumentere de seks målepunktene.

Behovet for måleforsterkere var en måleforsterker pr. Q-kraft pr. målepunkt og tre måleforsterkere pr. Y-kraft pr. målepunkt. Dvs. totalt 24 måleforsterkere er nødvendig ved instrumentering av 6 målepunkter. Benyttede måleforsterkere var alle av typen Hottinger KWS 3082.

Strekkklappene registrerer egentlig spenningene som oppstår i skinnegangen, men etter kalibrering med hydraulisk jekk kan også resulterende sporkrefter avledes.

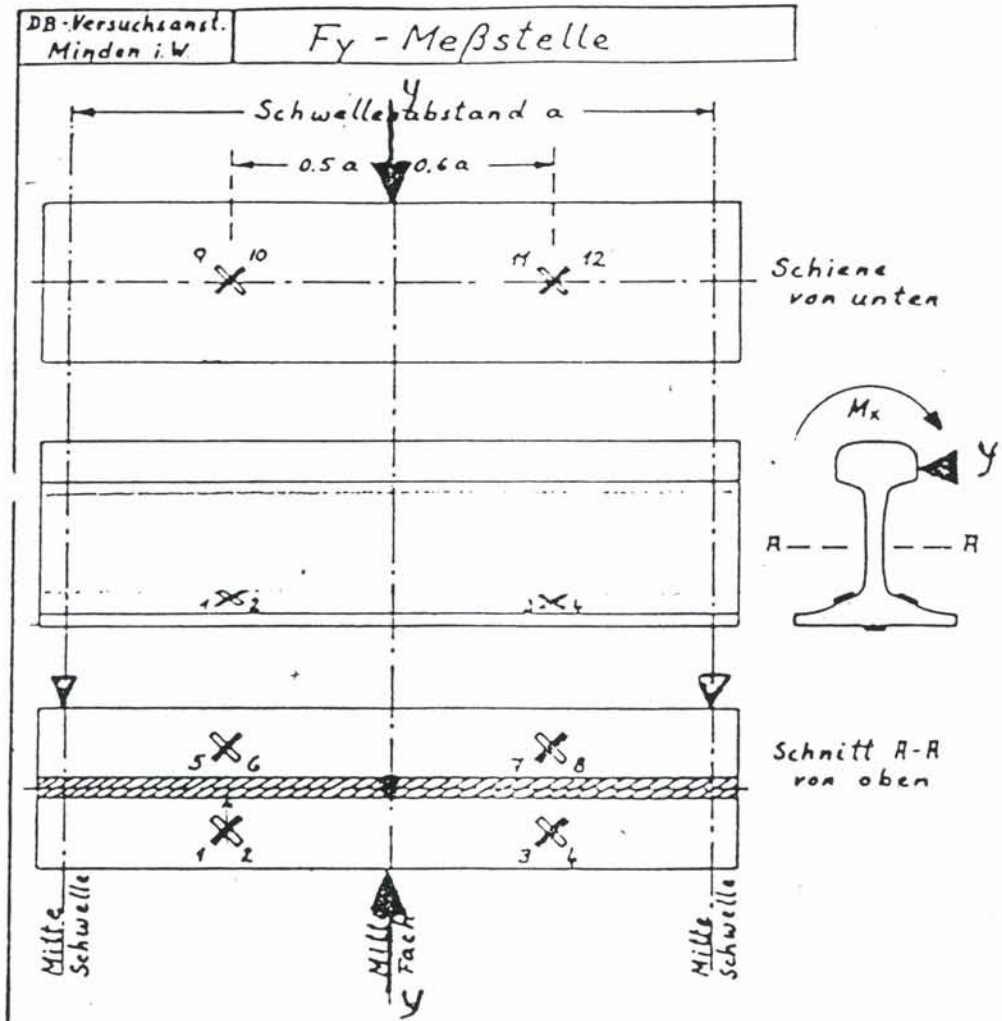


Fig. 3.1.2 Streckklappinstrumentierung
av et Y - kraft målepunkt.

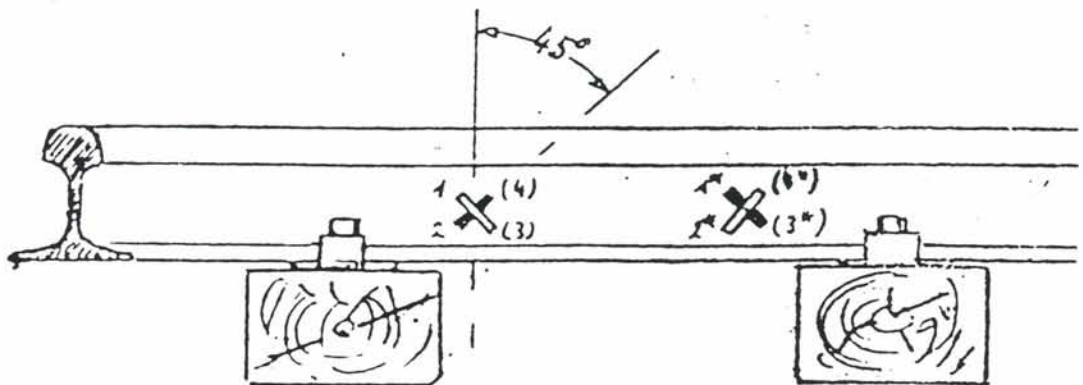


Fig. 3.1.3 Streckklappinstrumentierung
av et Q - kraft målepunkt.

3.2 Måling av toghastighet.

Ved hjelp av to fotoceller med innebygget forsinkelsesfunksjon og tilhørende reflektorfolie ble følgende system for måling av midlere toghastighet benyttet:

På hver side av et definert måleområde på 10 m plasserte vi en fotocelle. Fotocellene ble rigget opp på hver sin side av sporet og i samme høyde (togbufferhøyde).

Prøvetogsettene ble så påmontert reflektorbrikker på fremre og bakre buffer på samsvarende side med tilhørende fotocelle.

Ut i fra målt tid for togpassering og prøvetogenes lengde kan så midlere toghastighet beregnes meget nøyaktig.

4. PRAKTISK GJENNOMFØRING AV MÅLINGER.

Selve målingene ble foretatt ved at ønsket materielltype kjørte over det instrumenterte kurveavsnittet uten å bremse. Mot Voksenlia kunne det holdes konstant hastighet på grunn av stigningen, mens det nødvendigvis ble noe aksellerasjon nedover mot Holmenkollen stasjon.

Det ble foretatt målinger i begge fartsretninger, og flere hastigheter ble utprøvet i området 10 - 40 km/h. Hver hastighet ble gjentatt fra to til fem ganger.

Sporkraftsignalene som oppstod under togpasseringene var analoge spenningssignaler i området fra 0 til 10 V, og disse ble kontinuerlig lagret på videobånd ved hjelp av en 14 kanalers instrumentbåndopptaker av type Kyowa RTP-600.

I tillegg ble også hastighetssignalet omtalt i Kap. 3.2 lagret.

Seks målepunkter på skinnegangen krevde følgende lagringskapasitet:

- 6 kanaler til Q-krefter
- 6 kanaler til Y-krefter
- 1 kanal til hastighetssignal

- Dvs totalt 13 kanaler.

Av båndopptakerinnstillinger kan følgende nevnes:

- Innspillingshastighet 38.1 cm/sek
- Inngangsområde 0 - 10 V.

Selve målesystemet med streklapper og måleforsterkere fungerte bra under prøvekjøringene. Målingene ble gjennomført med kontinuerlig overvåking og nullpunktsjustering av de 24 måleforsterkerne.

5. MATERIELLOVERSIKT.

Følgende materielltyper ble testet på henholdsvis tørt og fuktig spor :

Type 600 II : nummer 601

Type C2 : nummer 407

Type T6 : nummer 1323 med usmurte glideplater og relativt nydreide hjul

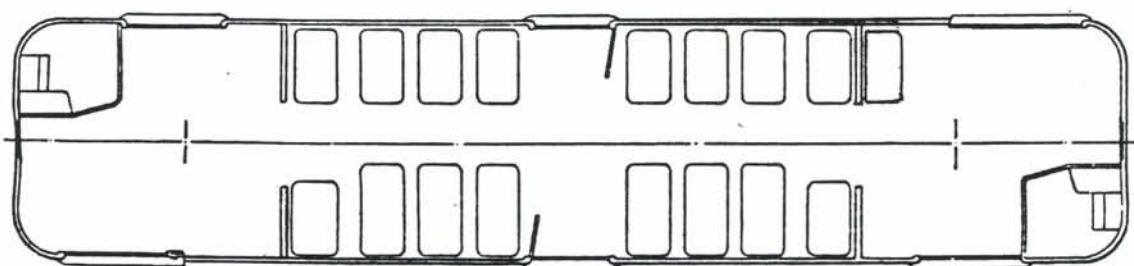
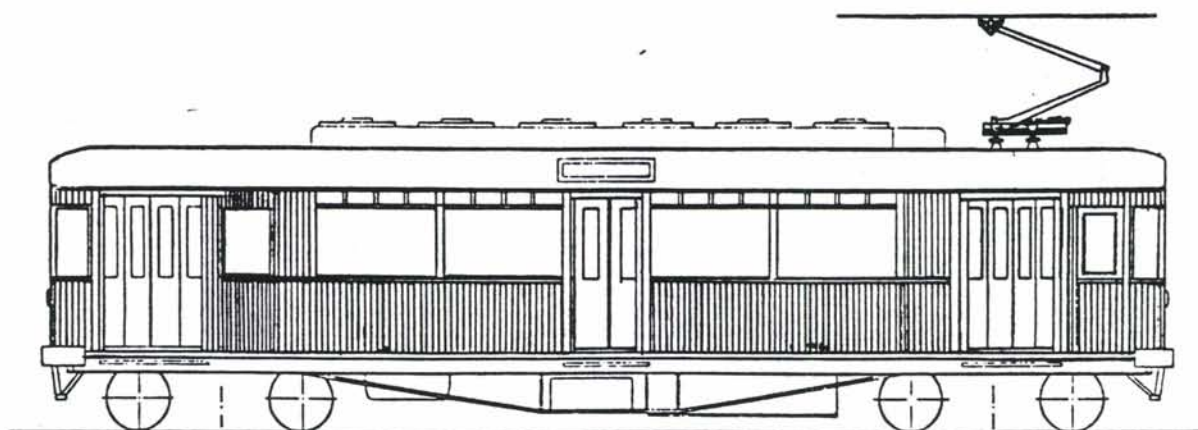
: nummer 1325 med usmurte glideplater

: nummer 1326 med smurte glideplater



TYPETEĞNING

600II



Leverandør	Skabo	Oppr. vognserie 601-612	
Type	600 II	Motorantall	4
Levert	1951	Type	Du752e
El. utstyr	NEBB/Siemens	Fabrikant	Siemens
Vognlengde	14450	Timeeffekt	70
Bredde	3100	Utveksling	65/15
Høyde	3660	Maks. hastighet	60
Vekt	28000	Sitteplasser	40
Boggitype	Skabo	Ståplasser	120
Akselavstand	2100	Tilsammen	160
Boggjavstand	10000	Bremsesystem	Cl a, AE4a, A5b
Hjuldiameter	850		

Bemerkninger

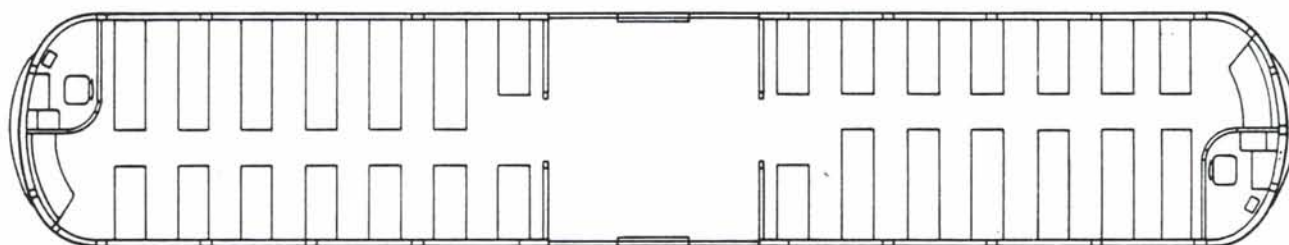
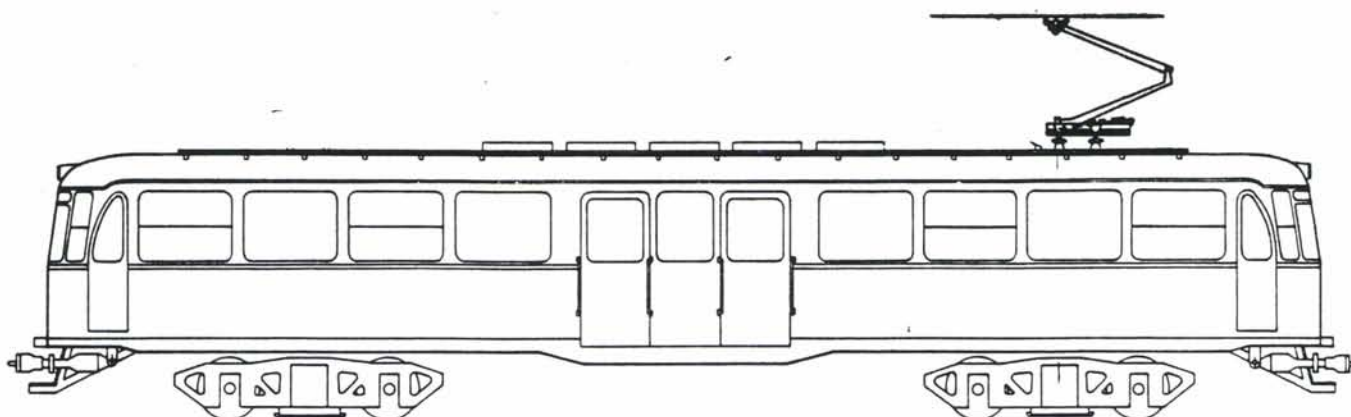
vogn 607 utrangert etter brann 1978

Rehabiliteret og ombygget til enmannsbetjening 1980-84.



TYPETEGNING

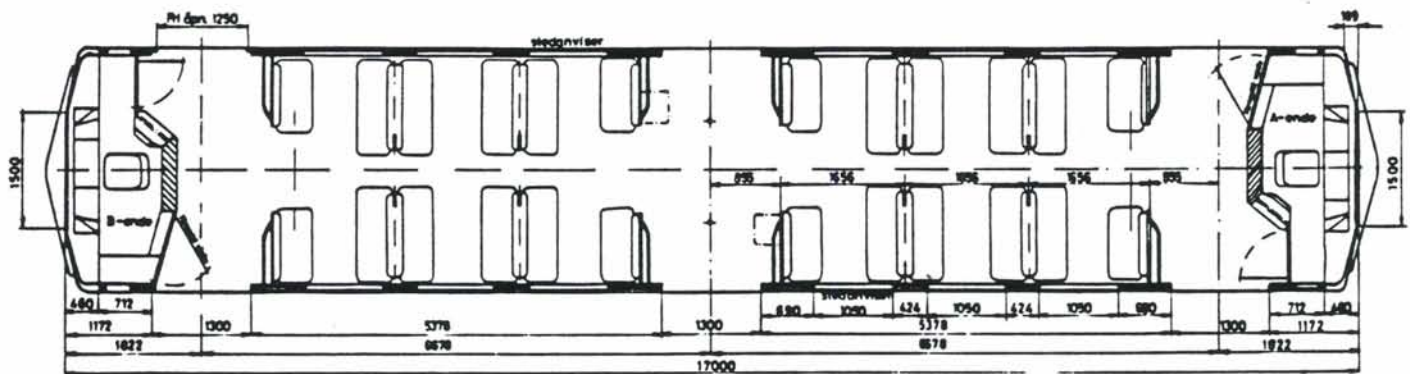
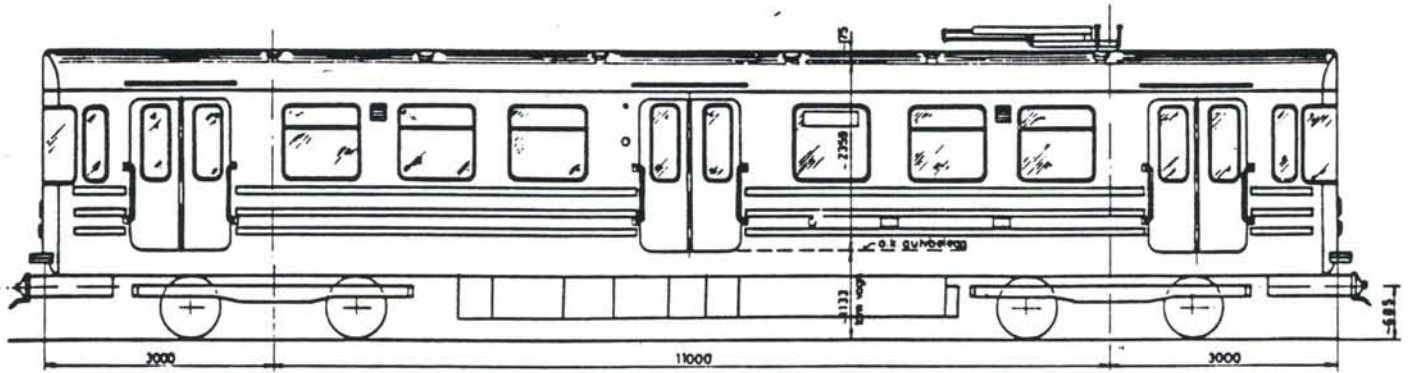
C2



Leverandør	Avløss verksted	Vognnummer 403 - 407	
Type	C2	Motorantall	4
Levert	1949 -56	Type	Dy 802 a
El. utstyr	Siemens	Fabrikant	Siemens
Vognlengde	17500	Timeeffekt	55
Bredde	3130	Utveksling	71/22
Høyde	3640	Maks.hastighet	60 km/h.
Vekt	34600	Sitteplasser	72
Boggitype	eget verksted	Ståplasser	88
Akselavstand	2150	Tilsammen	160
Boggilavstand	10000	Bremsesystem	Cl _a , D3 _b , AE4 _a , A5 _b .
Hjuldiameter	850		
Bemerkninger			



TYPETEGNING T VI



Vognnummer: 1319 - 1333
 Leverandør; Strømmens Værksted - NE/AEG - NEBB

Type T-VI (Serie 6)
 Levert 1980/1981
 El. utstyr NE/AEG-Telefunken

Vognlengde 17000
 Bredder 3200
 Høyde 3650
 Vekt 29740

Boggitype Minden Deutz
 Akse avstand 2170
 Boggjavstand 11000
 Hjuldiameter 820

Motorantall 4
 Type GLM 0321 G
 Fabrikant NEBB
 Timeeffekt 98
 Utveksling 101/15
 Maks. hastighet 70 km/h

Sitteplasser 64
 Ståplasser 90
 Tilsammen 154

Bremsesystem C2c, BE4c, A5a
 D4c

Bemerkninger:

6. ETTERBEHANDLING AV MÅLEDATA PÅ PC

6.1 Innlesing

Måledataene blir først overført fra videobånd til PC. Analoge utgangssignaler fra instrumentbåndopptaker blir A/D omsatt og lagret digitalt på datafiler i datamaskinens hard-disk.

Følgende datasystem benyttes:

PC	:	Compaq Deskpro 386-130
Printer	:	QMS-PS 810
Tilkoplingspanel	:	Data Transl. DT 767
I/O kort	:	" " DT 2821- G-16SE
Programvare for styring av I/O kort, AD omsetting og lagring på datafil	:	Microsoft Fortran 4.0 + Data Translation ATLAB
Programvare for deteksjon av signal- topper og beregning av middelveier m.m.	:	Microsoft Fortran 4.0
Programvare for plotting av resul- tater på laserskriveren	:	Microsoft Fortran 4.0 + Graphic Software Systems Inc: Graphic Develop- ment Toolkit. + Lotus Symphony

Datainnlesingsfrekvensen ble valgt til 40 kHz på totalt 13 kanaler, dvs 3.08 kHz pr. signal.

Maksimal signalfrekvens uten forvrengning fra benyttede måleforsterkere var 1.5 kHz, og vi ligger da over denne grense med en faktor på drøye to for å oppfylle Shannons samplingsteorem:

Samplingsfrekvensen må være minst dobbelt så stor som høyeste interessante frekvenskomponent i signalet.

Det ble forsøkt med høyere samplingsfrekvens, men dette medførte ingen nevneverdige forandringer i endelige resultater.

6.2 Signal- etterbehandling.

Følgende signal-etterbehandling foretas:

1 Signal deteksjon:

Datamaskinen må selv finne (lese seg frem til) signaltoppene. All signaldeteksjon skjer ved søking på vertikale Q-kraft signaler som er mest stabile, og bare signaltopper med varighet 10 cm eller mer over en brukerspesifisert grense blir akseptert av datamaskinen. Ut i fra detekterte Q-kraft signaler på ytre skinne finnes så øvrige sporkraftsignaler.

2 Middelveidiberegning:

Alle sporkreftene blir midlet over tilhørende måleområde på 10 cm. Med 40 kHz samplingsfrekvens, 13 signaler og toghastighet på 40 km/t eller lavere skulle dette tilsi middelveidiberegning ut i fra 27 samples eller mer pr. signal.

3 Resultater:

For hver måletur-data-etterbehandling må operatøren oppgi en del informasjon som også lagres sammen med beregnede resultater. Dette gjelder data som materielltyper og diverse opplysninger om disse, uteklime, data for målested, måletidspunkt osv.

Beregnete sporkrefter (middelveidier for Q- og Y-krefter på indre og ytre skinnestreng) blir presentert på matriseform som funksjon av målepunkt og hjulnummer.

Se etterfølgende eksempel for nærmere detaljer her. En gjør oppmerksom på følgende definisjoner som er konsekvent benyttet:

A: Målepunktene på skinnegangen er fast nummerert fra en til tre. Punkt 1 er nærmest Holmenkollen, og punkt 3 er nærmest Voksenlia.

B: Nummereringen av hjulakslene er relativ til fartsretningen. Hjulaksel 1 er alltid første aksel i fartsretningen.

Ellers følger en oversikt over Q - og Y-krefter midlet over de tre målepunktene på henholdsvis indre og ytre skinne-streng.

Svilletverrkrefter, $S = Y_{\text{indre}} + Y_{\text{ytre}}$, og avspøringskoeffisienter på ytre skinnestreng, $(Y/Q)_{\text{ytre}}$, er også midlet på denne måten.

Til slutt summeres målt total svilletverrkraft for sammenligning med teoretisk beregnet verdi:

$$S_{\text{målt}} = S \text{ alle aksler}$$

$$S_{\text{teoretisk}} = mv^2/r - mg \cdot oh/l_{ss}$$

hvor

m = masse

v = hastighet

r = kurveradius

g = gravitasjonskonstant

oh = overhøyde

l_{ss}=skinnesenteravstand

4 Resultatkurver :

Alle måletur-resultatene for hver enkelt materielltype deles inn i grupper hvor hastigheten er omtrent den samme (mindre enn 5 km/h i differanse).

Resultatkurvene plottes så utifra midlere måleresultater innen hver enkelt hastighetsgruppe.

EKSEMPEL PÅ RESULTAT ETTER EN MÅLETUR

*** MIDLERE SPØRKREFTER I KILONEWTON ***

Materielltyper : 1323
 Antall aksler pr type : 4
 Lengde pr type (meter) : 16.0
 Masse pr type (tonn) : 29.7
 Banenummer : 0
 Kilometerpunkt (fra Oslo) : 9.4
 Kurveradius (meter) : 95
 Maaledato : 5 SEP 88
 Uteklima : SKYET/OPPH/9/TOERT
 Kjoereretning : FRA HOLMENK.ST,A-B
 Overbygningsklasse :
 Svilletype : TRE,PANDROLBEF
 Overhoeyde (millimeter) : 76
 Strekningshastighet (km/t) : 35
 Beregnet hastighet (km/t) : 37.19
 Diverse : USM.GLIDEPL,MI.SL.HJ

1323						
Pkt\Aksel	1	2	3	4	5	6
Q-ytre						
1	38.0	37.4	46.4	46.6		
2	40.7	40.3	46.7	46.1		
3	39.9	40.5	48.7	46.5		
Y-ytre						
1	39.0	-5.7	27.4	-3.1		
2	39.0	-4.5	27.5	-4.4		
3	29.0	-2.5	20.7	-3.2		
Q-indre						
1	36.2	40.7	28.2	28.2		
2	38.1	40.9	26.5	27.4		
3	37.4	38.7	24.9	28.4		
Y-indre						
1	-15.3	-3.5	-12.5	-.8		
2	-17.2	-1.8	-12.1	-1.1		
3	-15.4	-1.6	-10.3	-1.0		

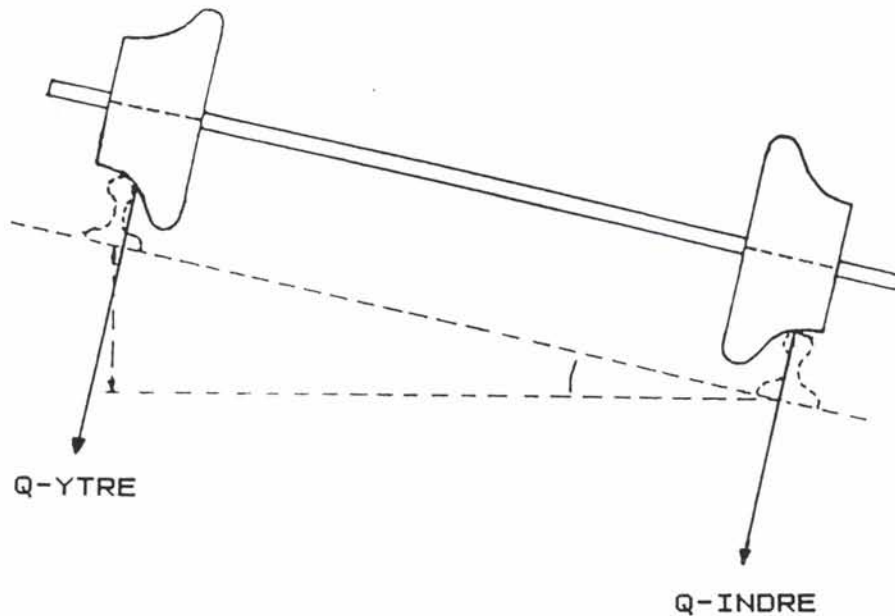
1323						
Aksel	1	2	3	4	5	6
Q-ytre	39.6	39.4	47.3	46.4		
Y-ytre	35.7	-4.2	25.2	-3.6		
Q-indre	37.3	40.1	26.6	28.0		
Y-indre	-16.0	-2.3	-11.6	-1.0		
S	19.7	-6.5	13.6	-4.5		
Y/Q-ytre	.90	-.11	.53	-.08		

Total svillettverrkraft teoretisk beregnet : 18.6
 Total svillettverrkraft maalt paa akslene : 22.3

7. RESULTATER

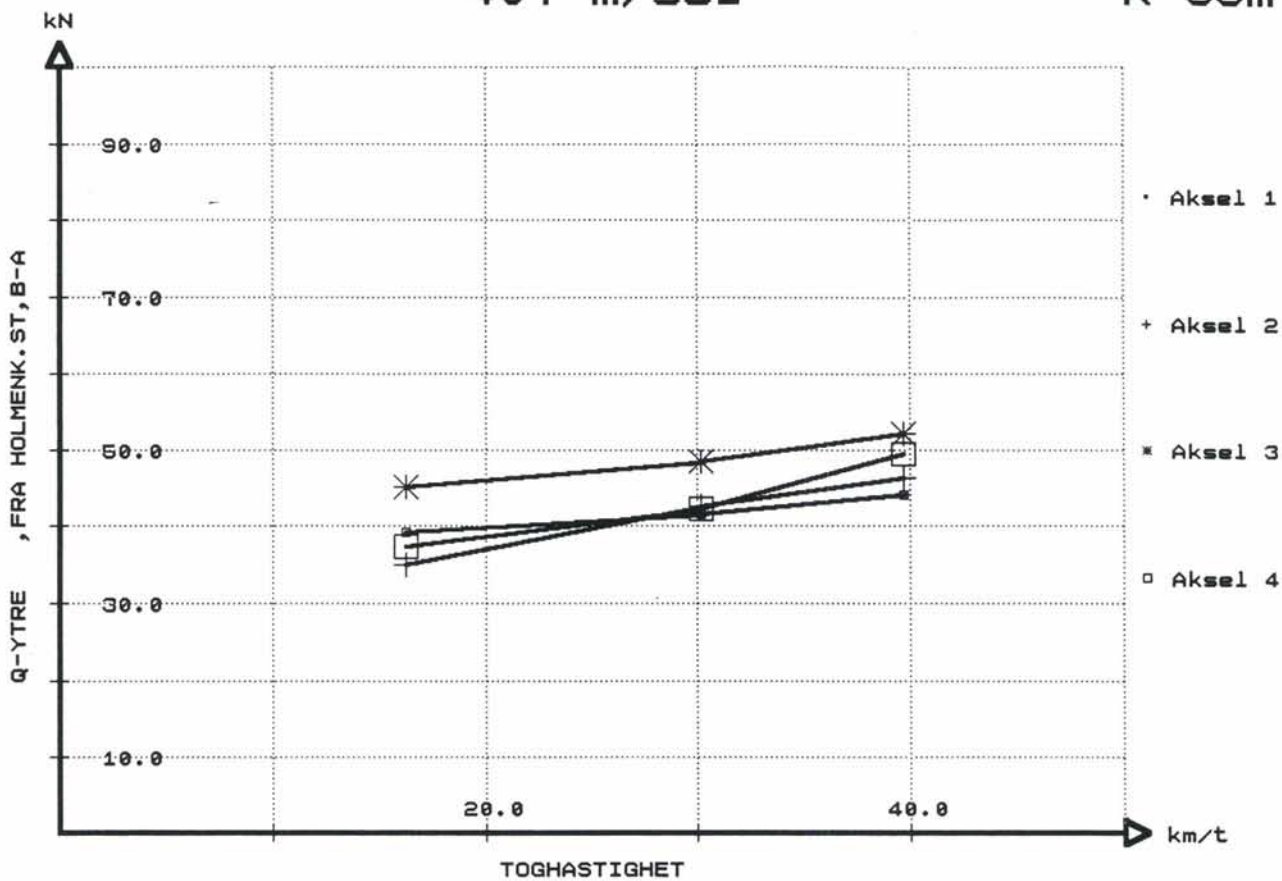
7.1 Vertikale Q-krefter

Dynamiske Q-krefter mellom hjul/skinne er midlet over måle - punktenes utstrekning i lengderetning på skinnene (ca 10 cm). Midlere dynamiske Q-krefter er så midlet over tre forskjellige målepunkter på skinnene og gjentatte testkjøringer med samme hastighet.



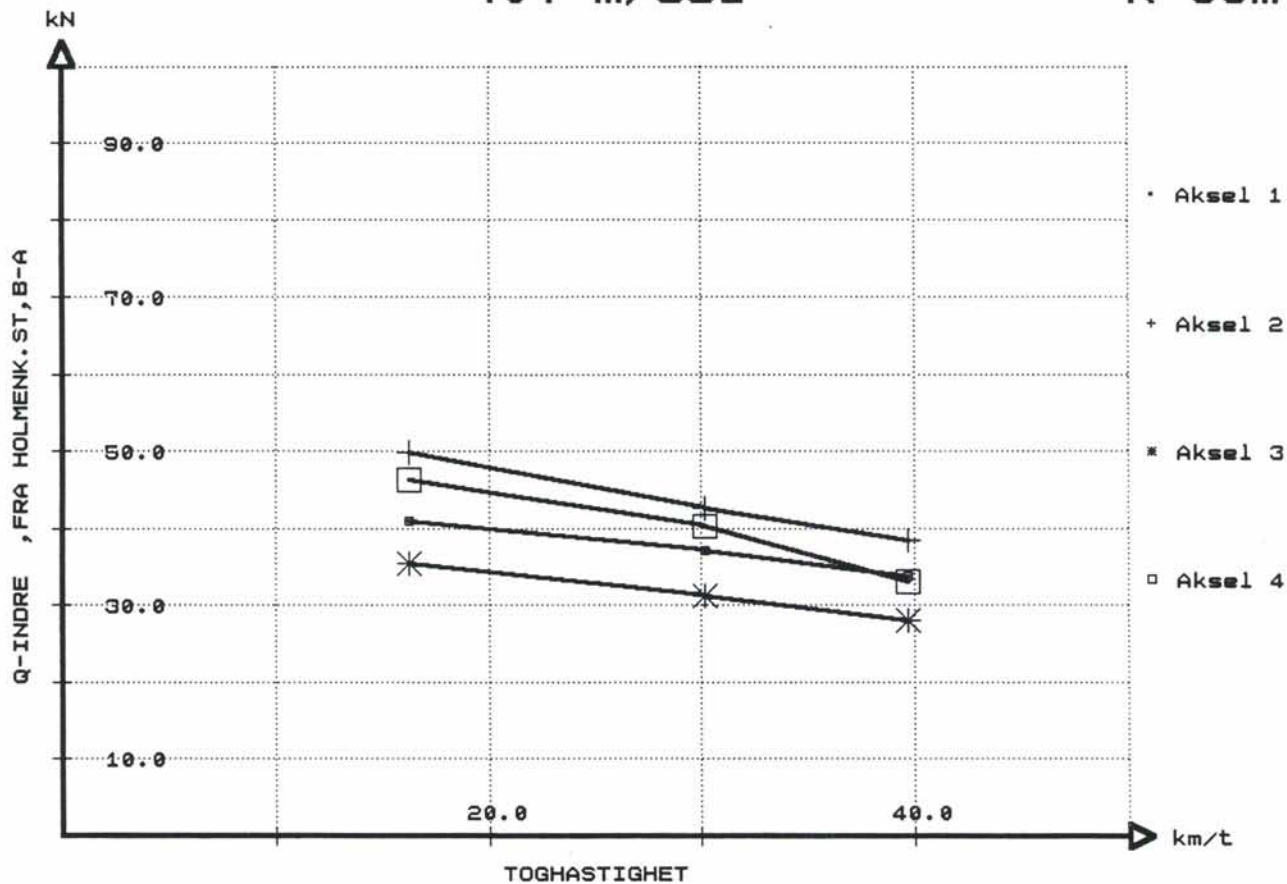
407 m/sol

R=95m



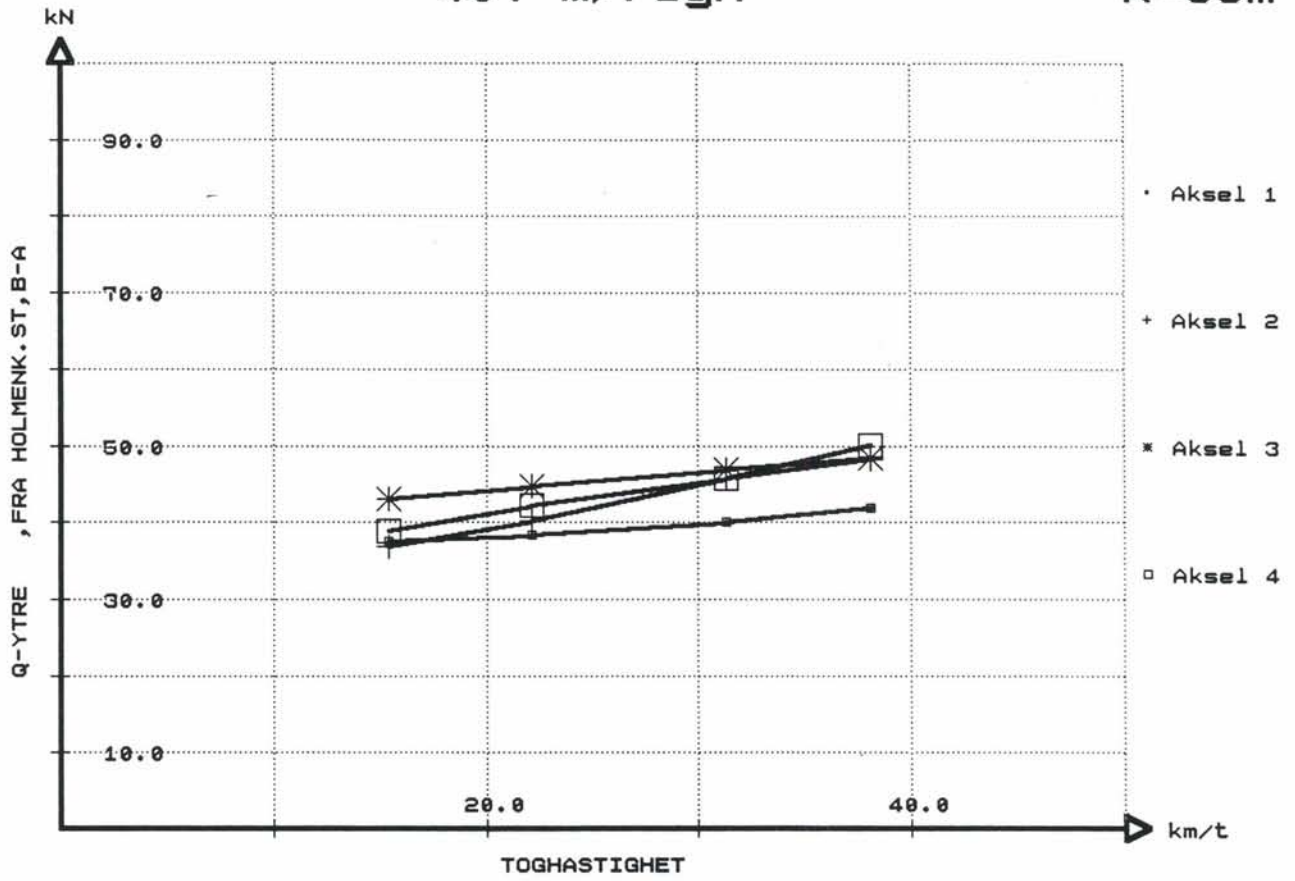
407 m/sol

R=95m



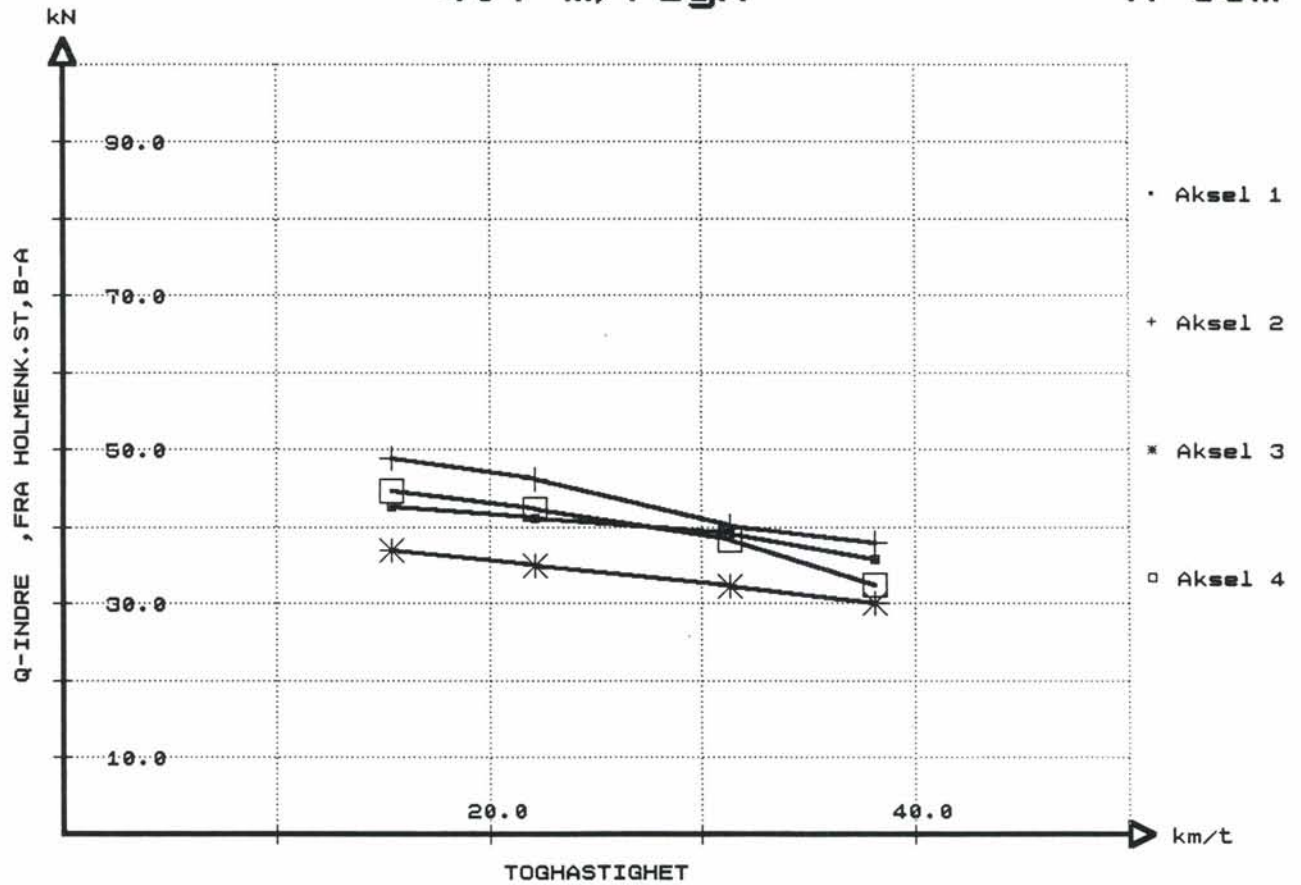
407 m/regn

R=95m



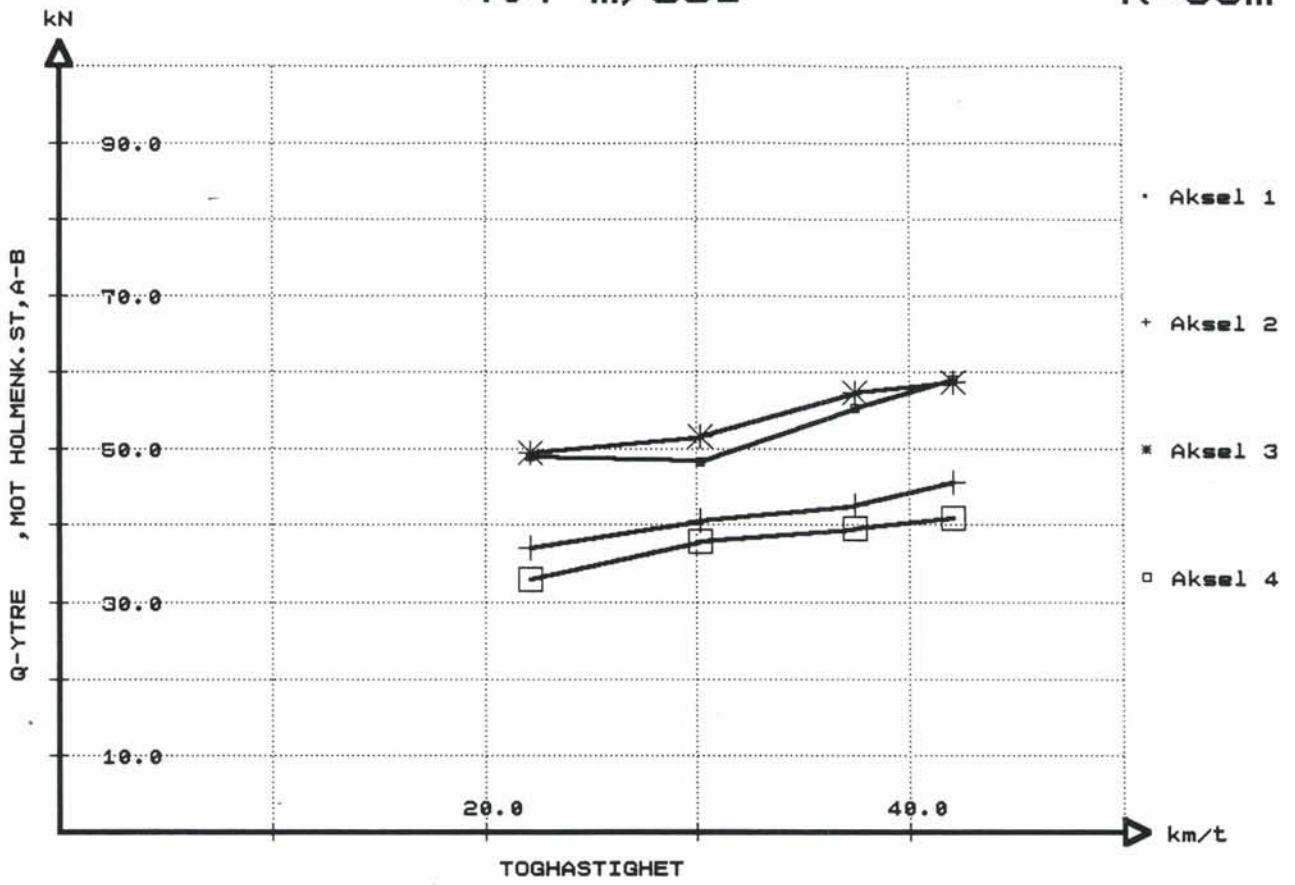
407 m/regn

R=95m



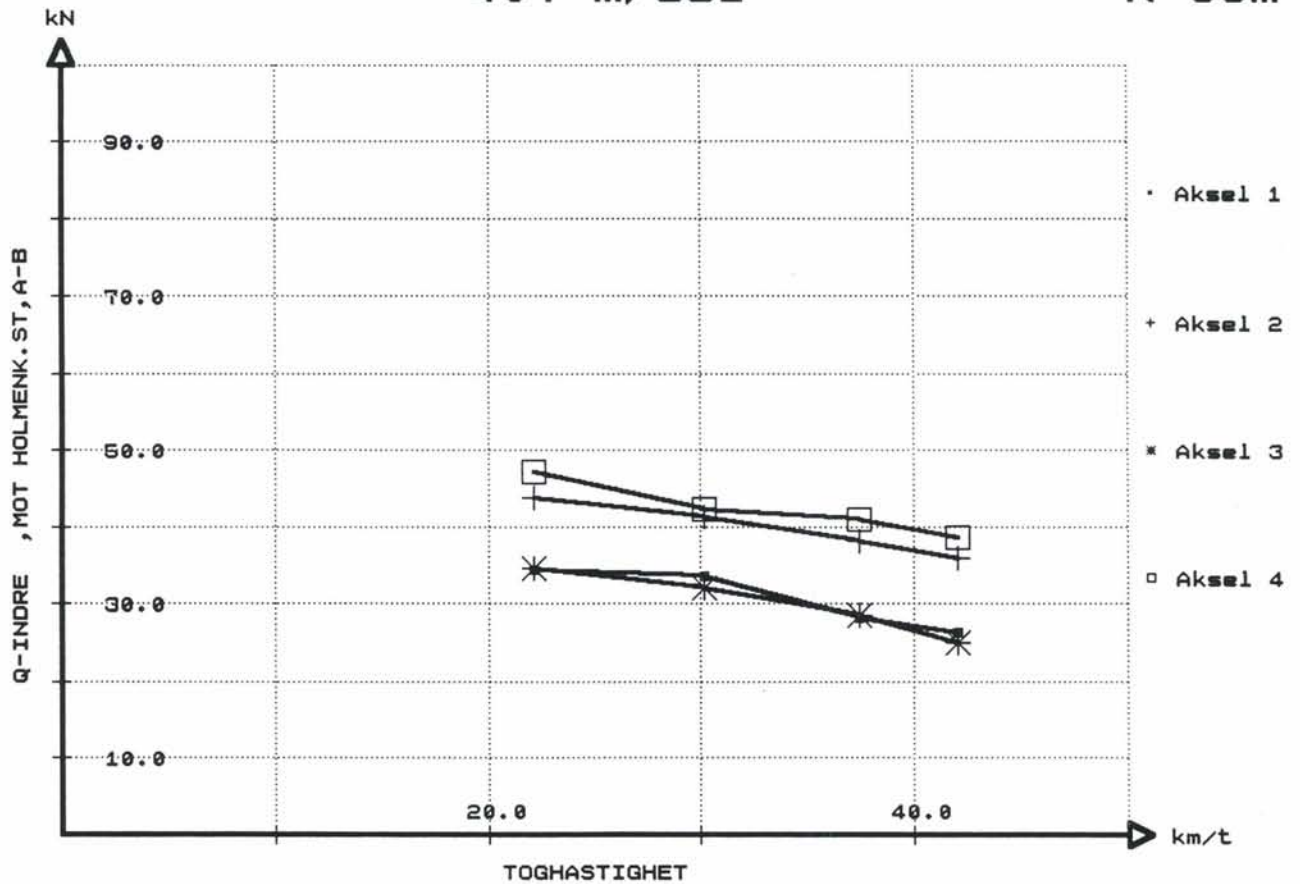
407 m/sol

R=95m



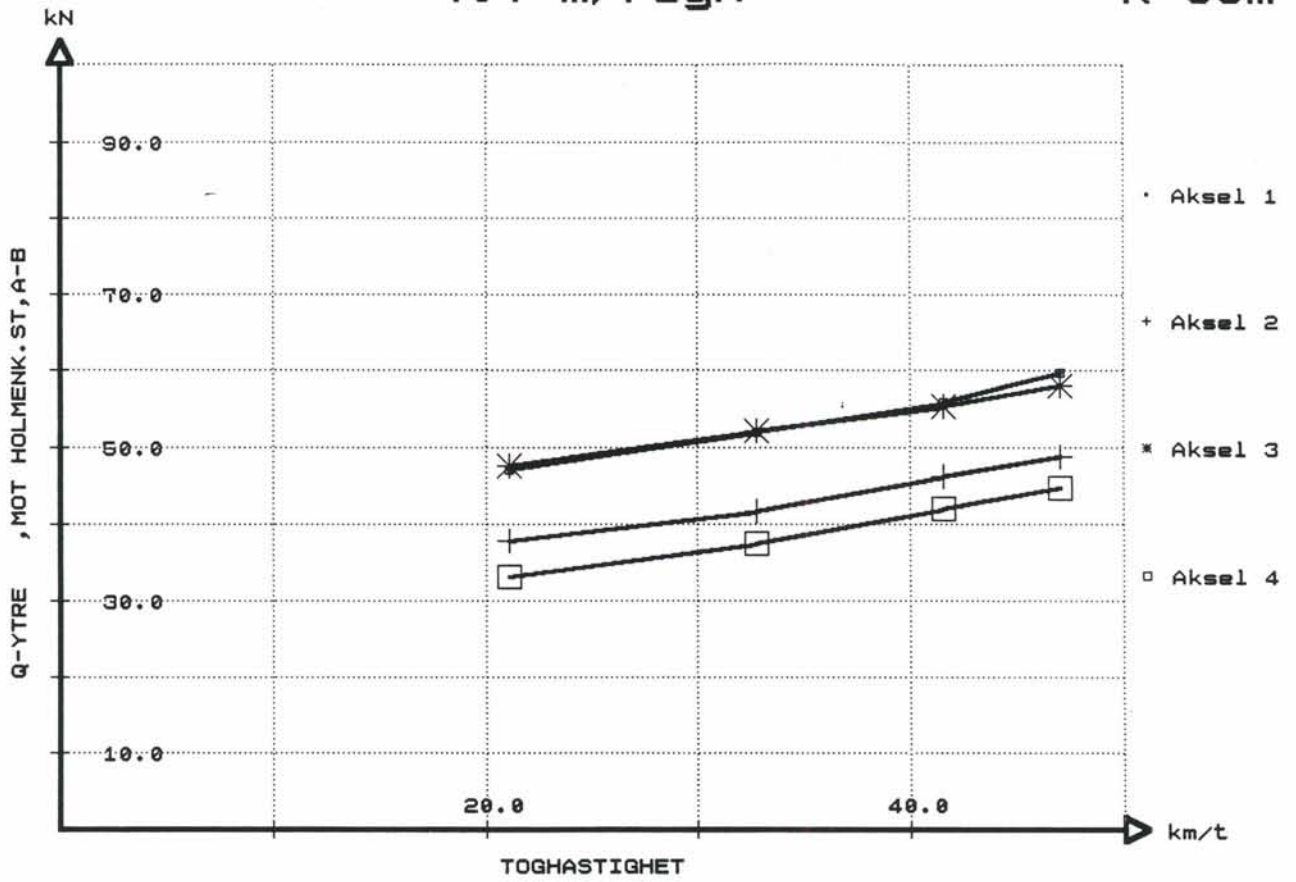
407 m/sol

R=95m



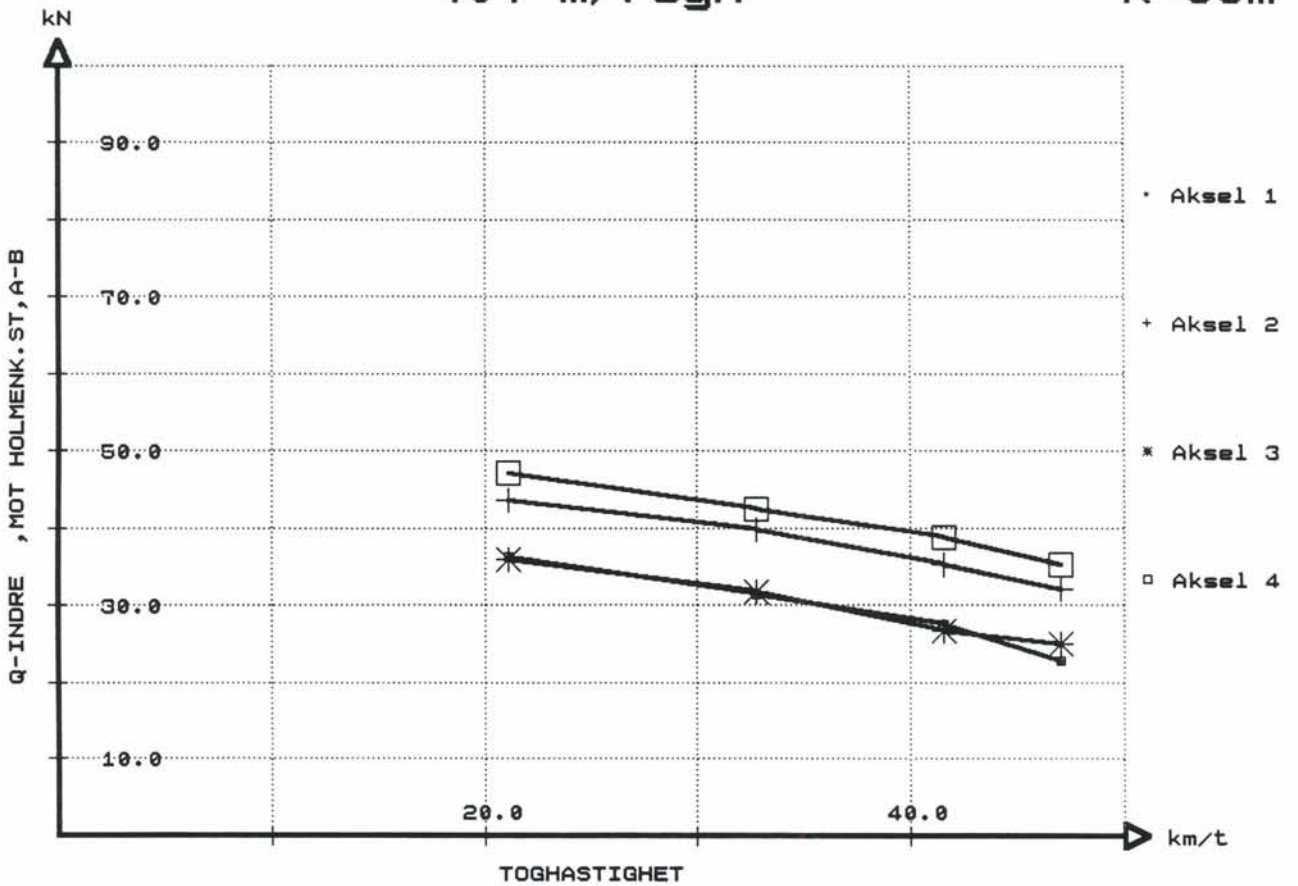
407 m/regn

R=95m



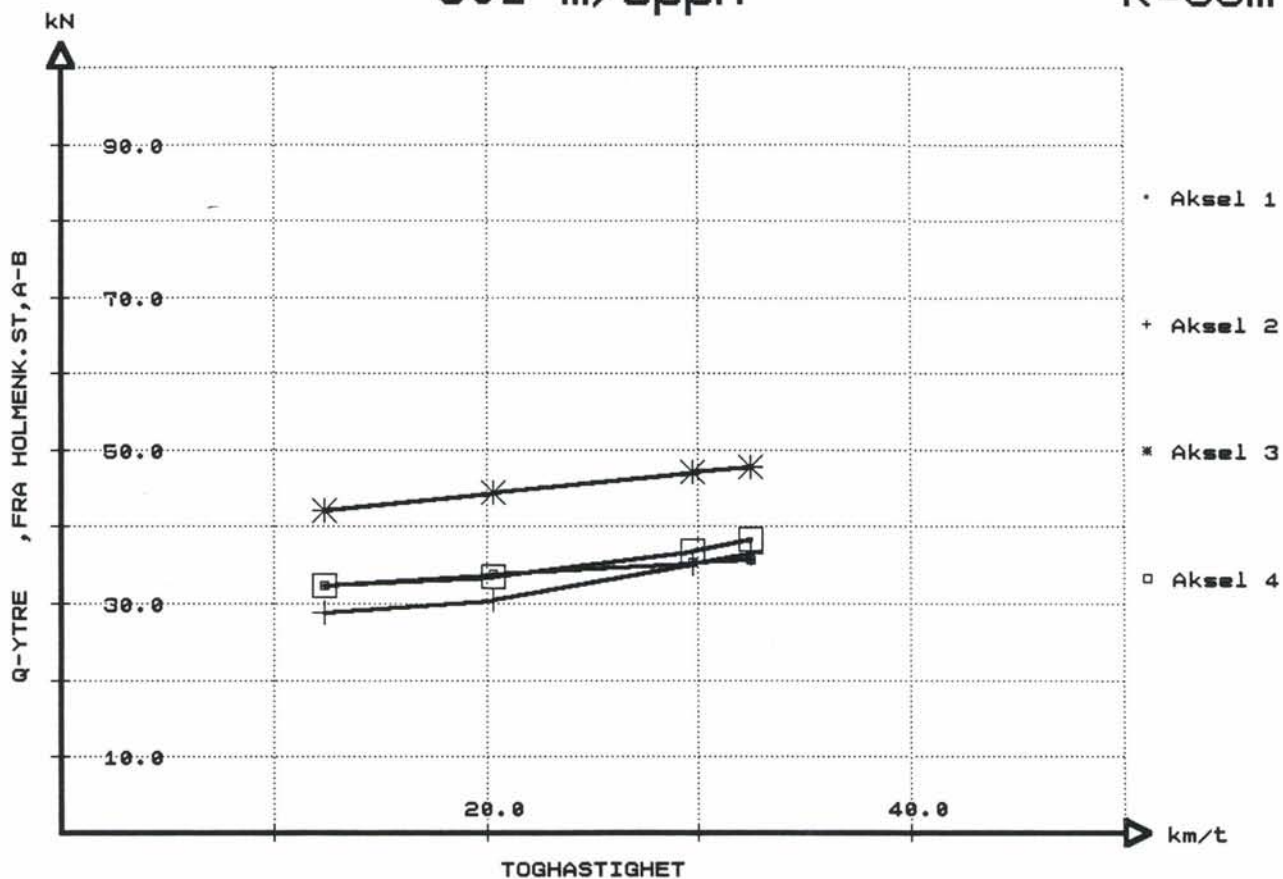
407 m/regn

R=95m



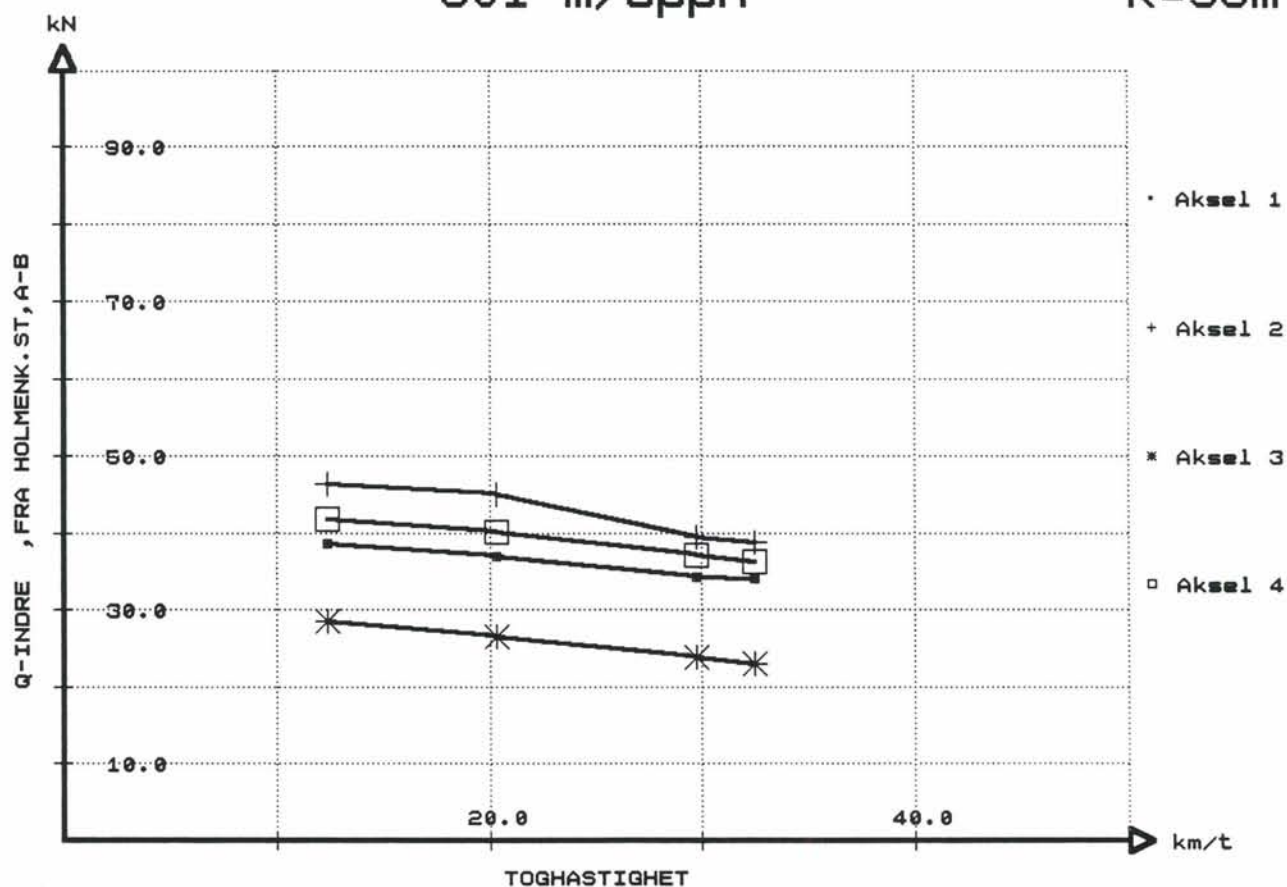
601 m/opph

R=95m



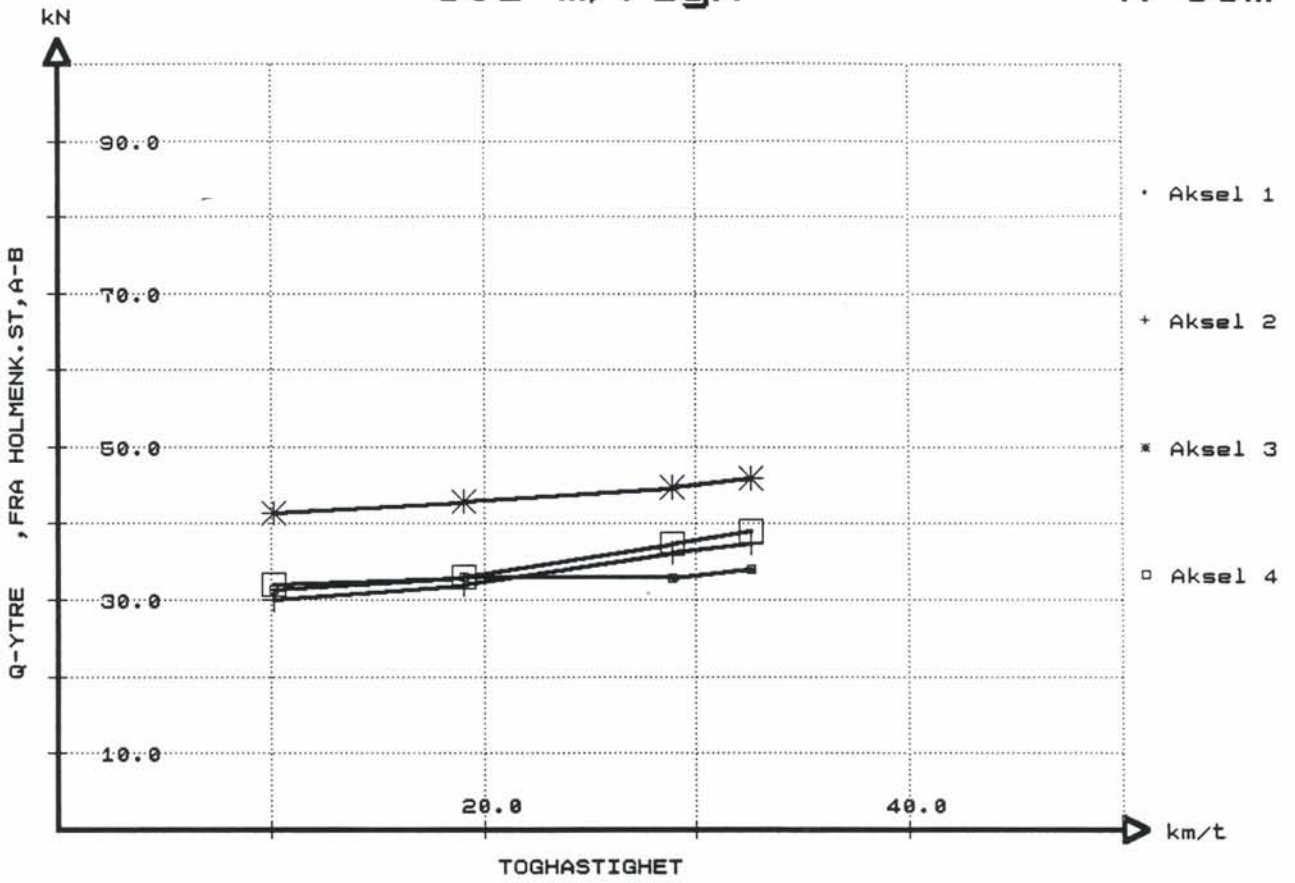
601 m/opph

R=95m



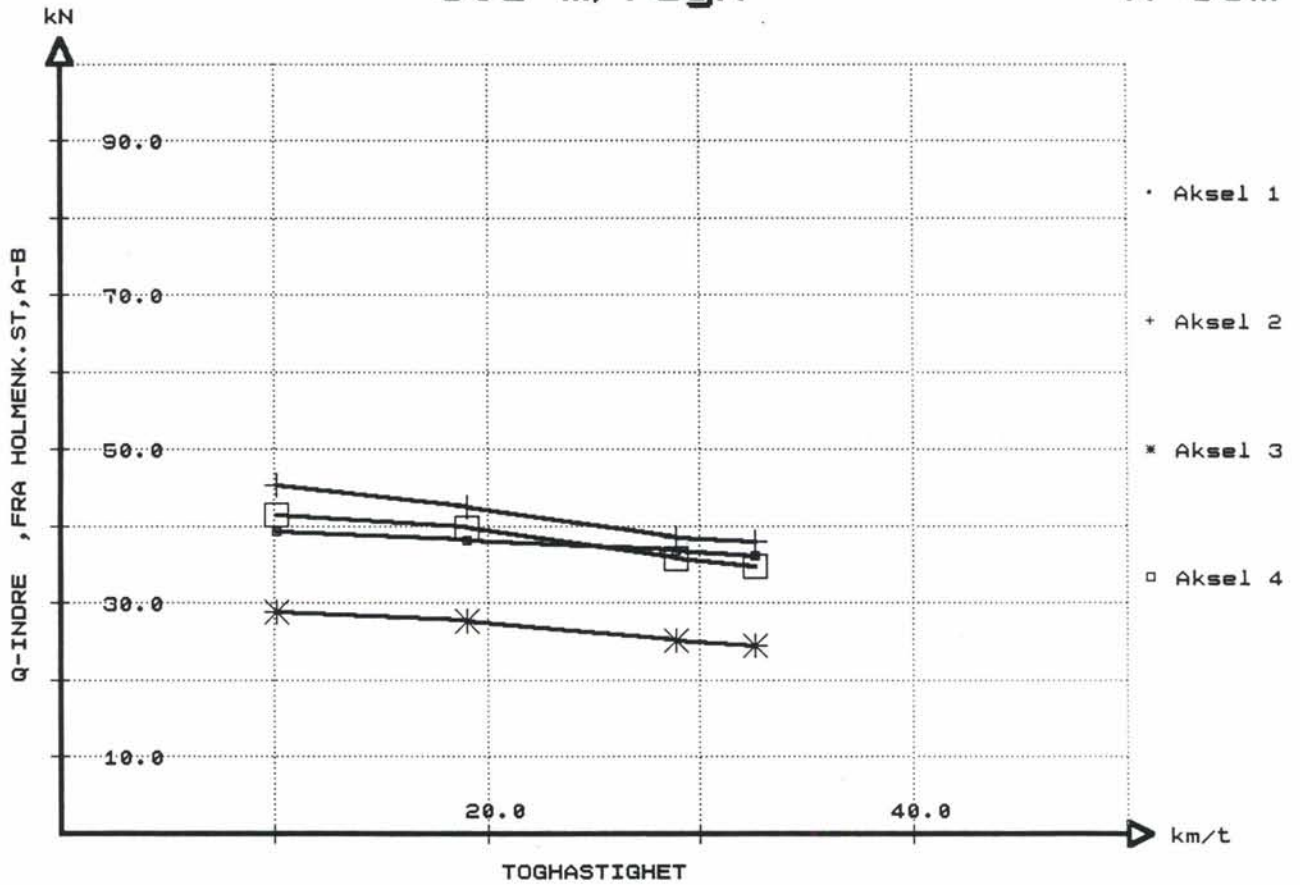
601 m/regn

R=95m



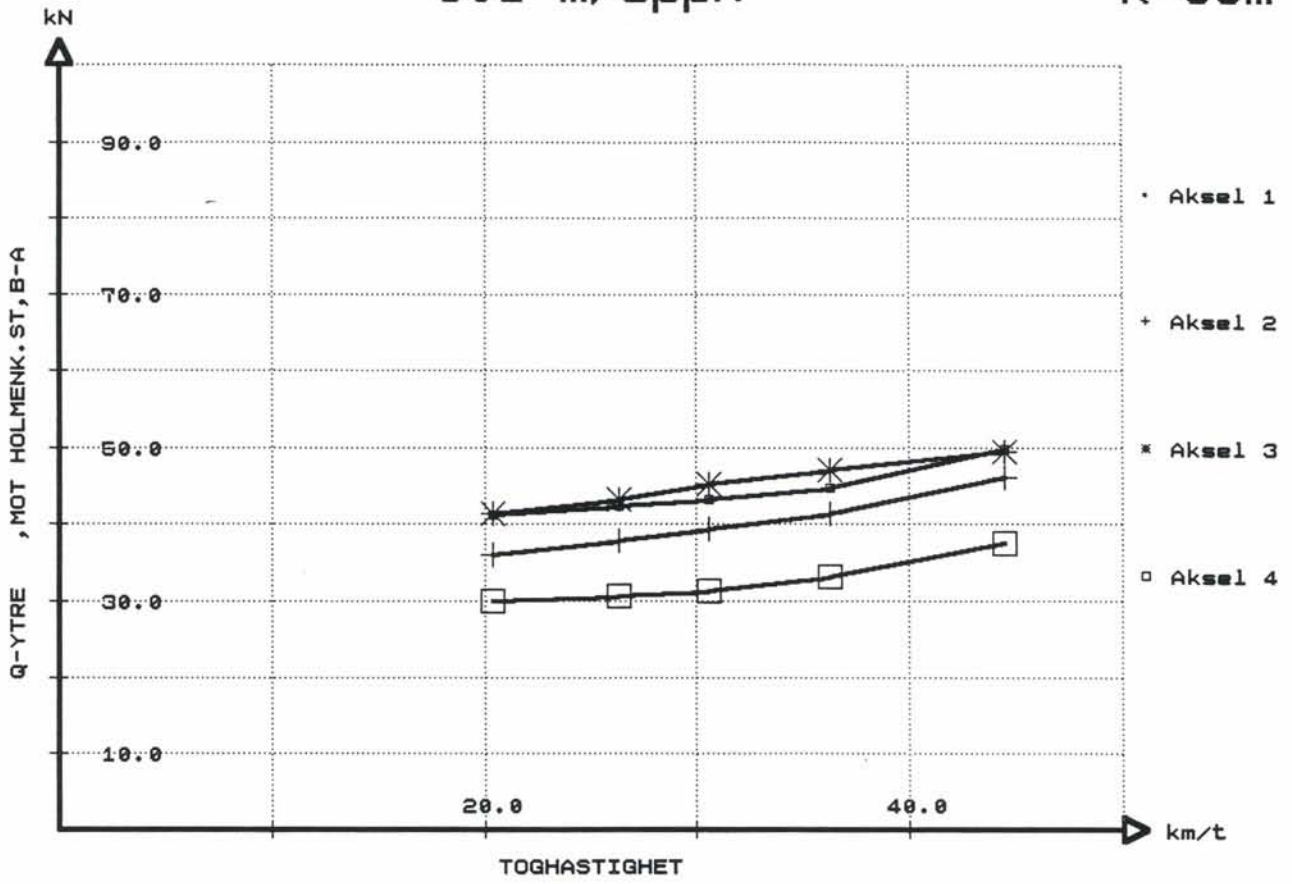
601 m/regn

R=95m



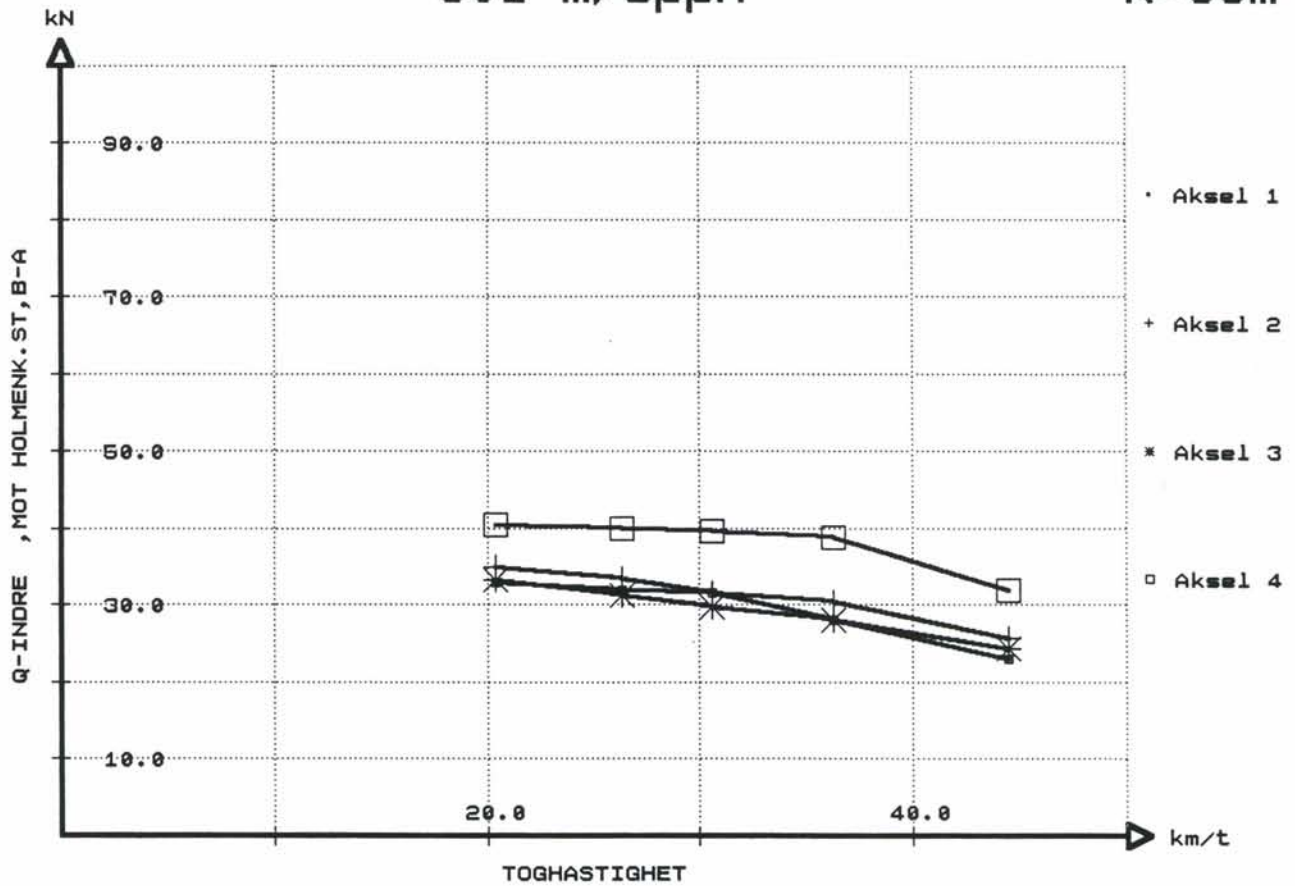
601 m/opph

R=95m



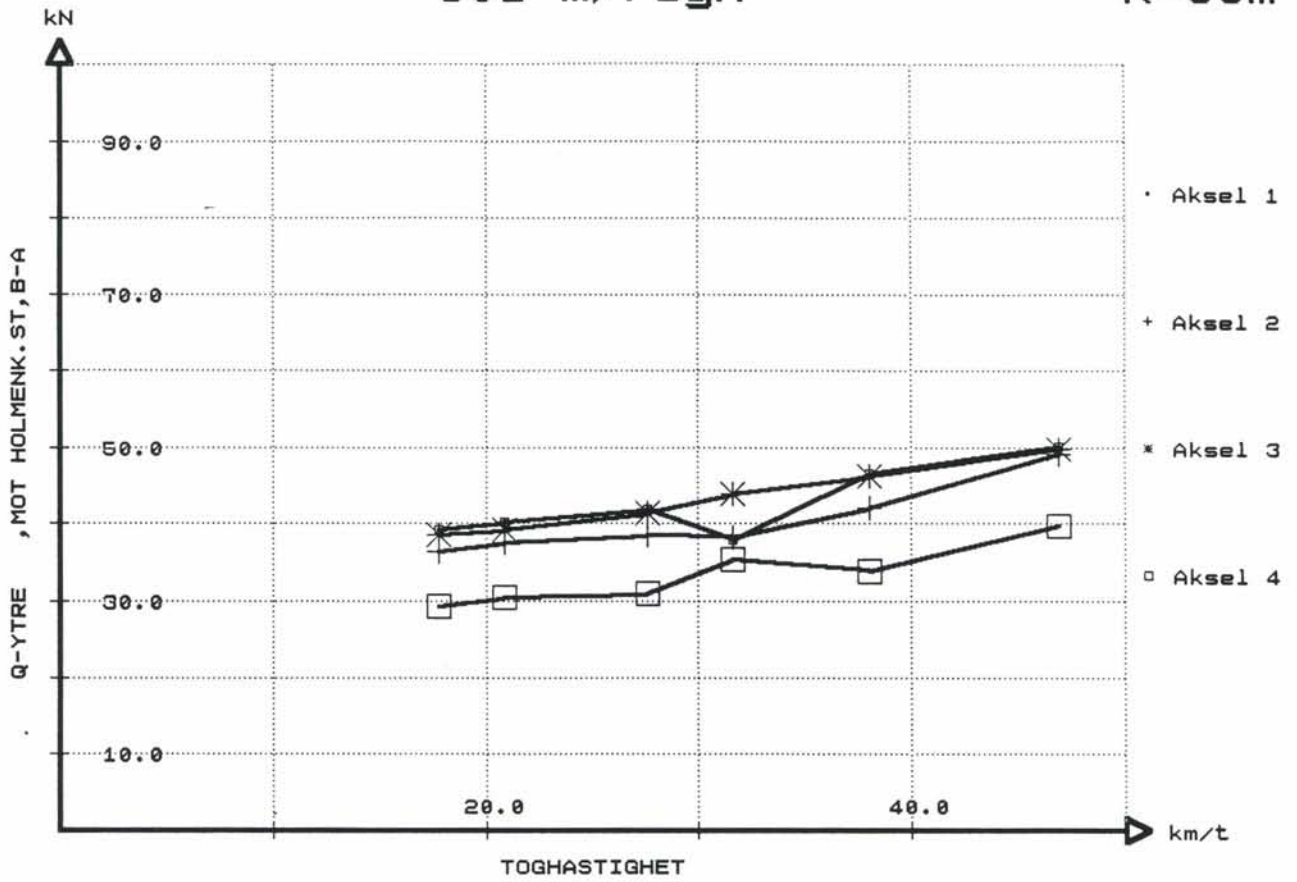
601 m/opph

R=95m



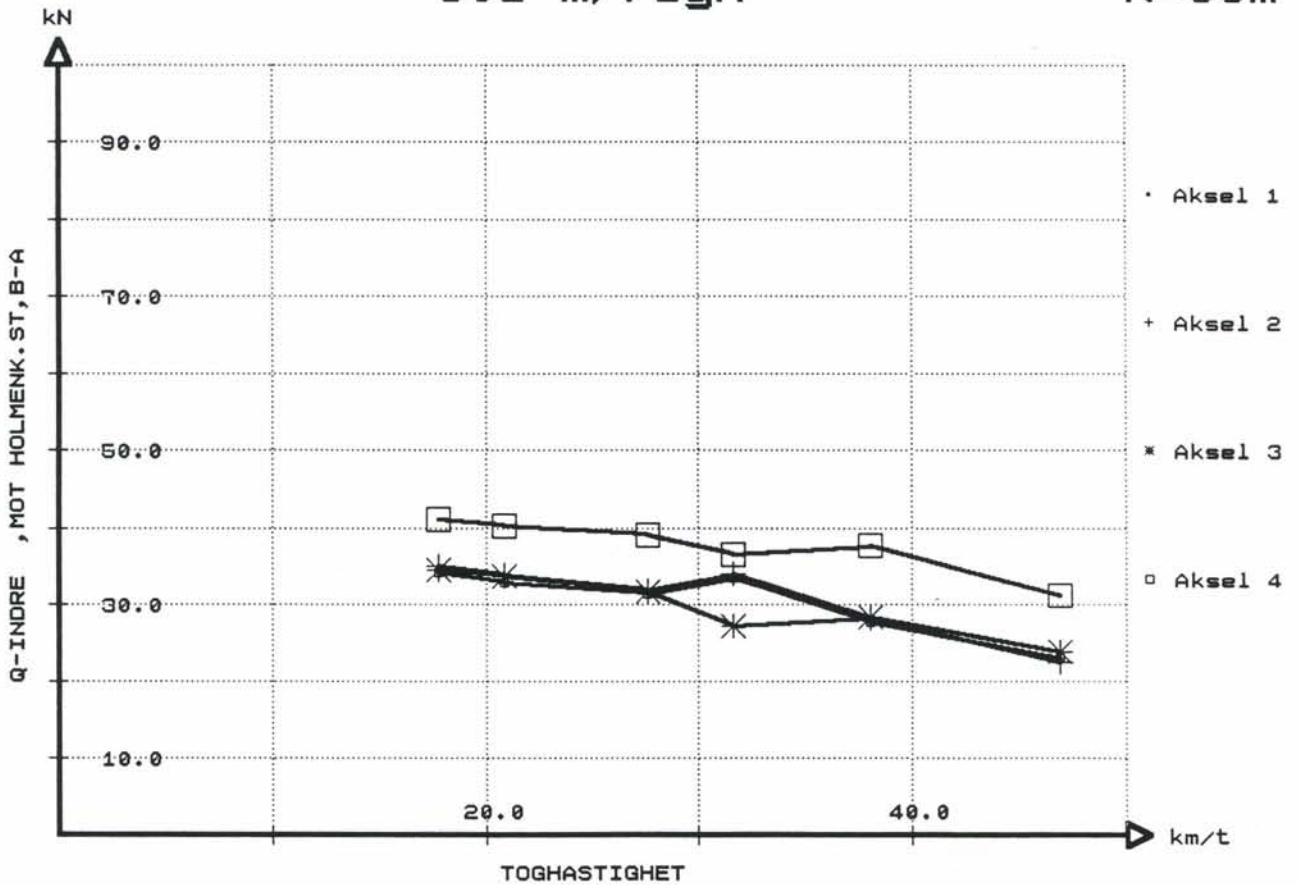
601 m/regn

R=95m



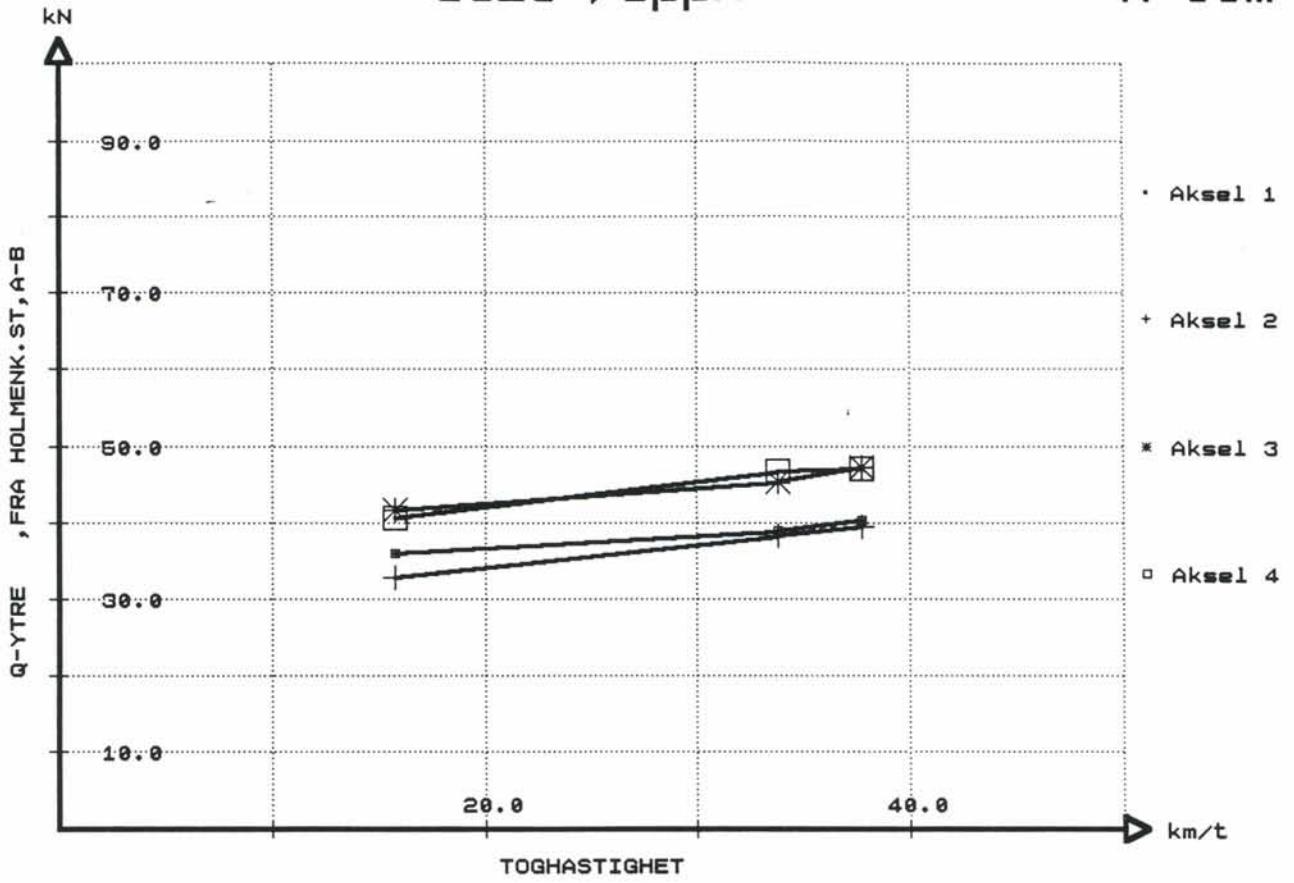
601 m/regn

R=95m



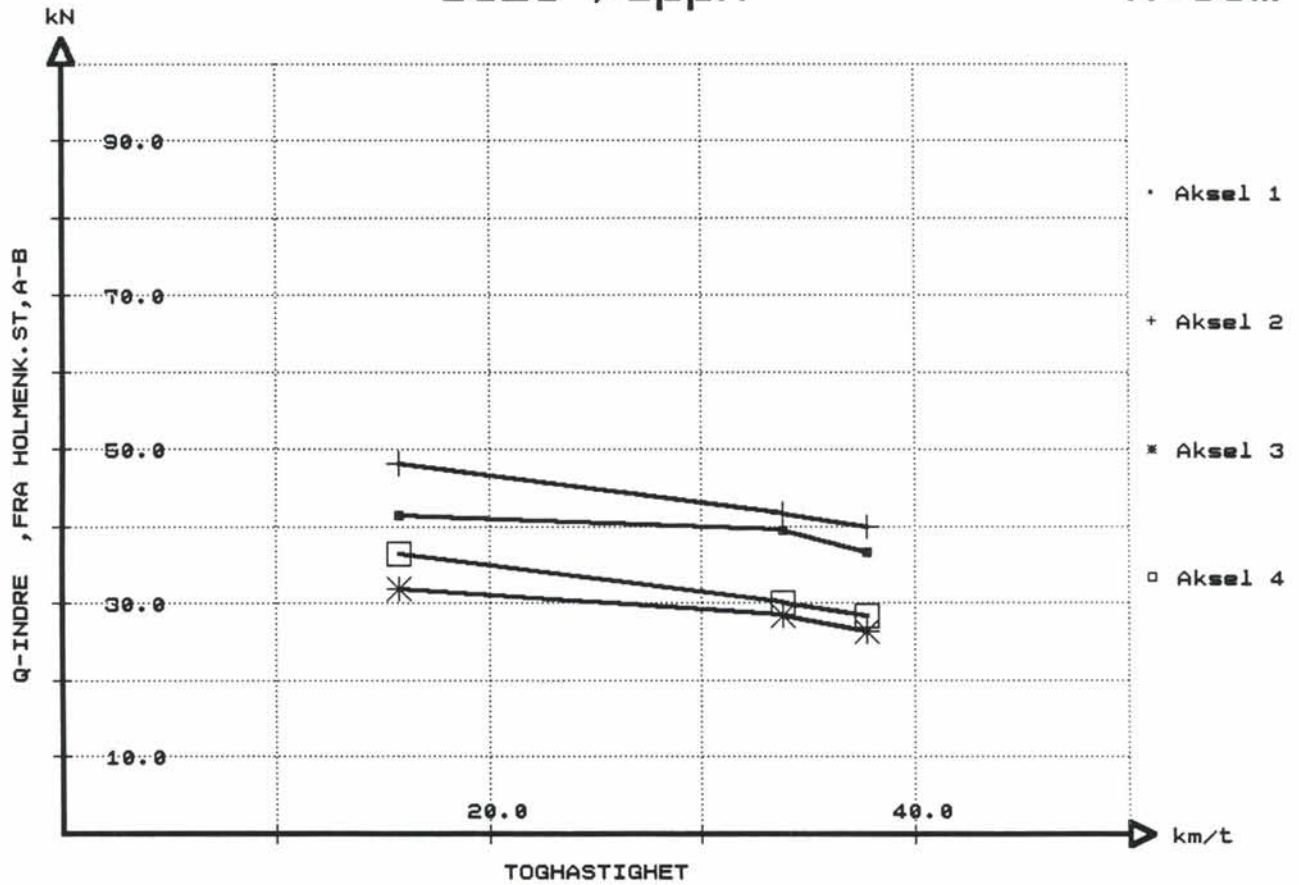
1323 /opph

R=95m



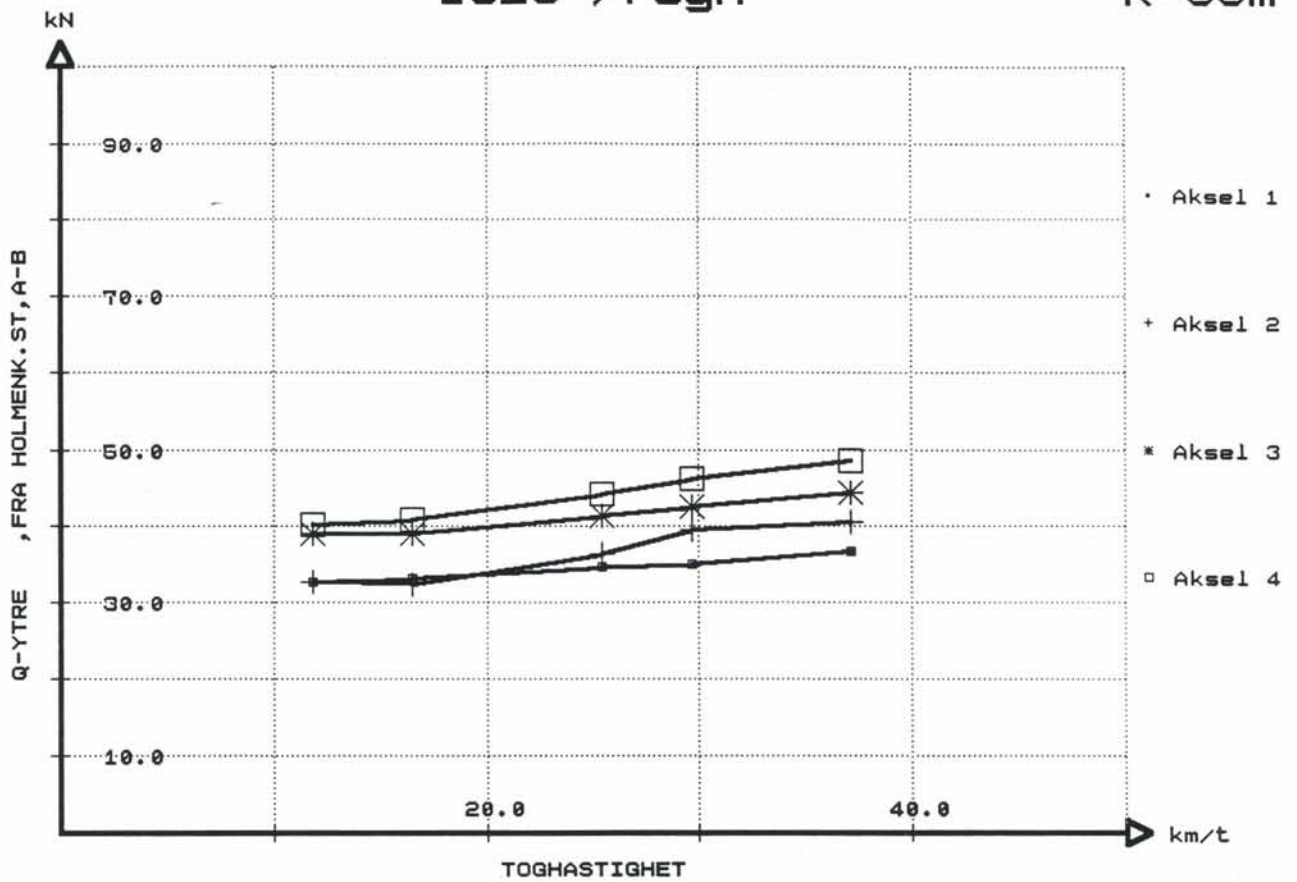
1323 /opph

R=95m



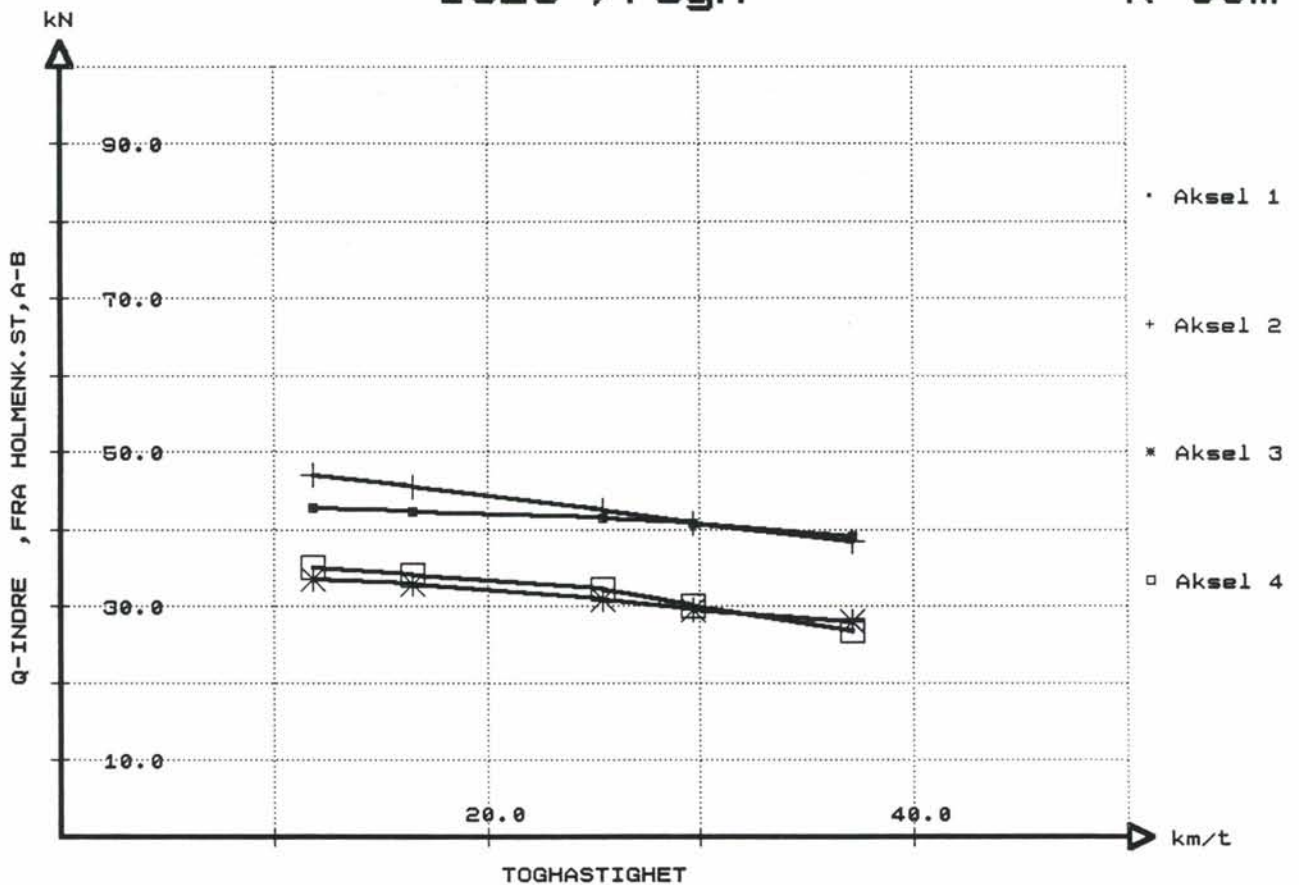
1323 /regn

R=95m



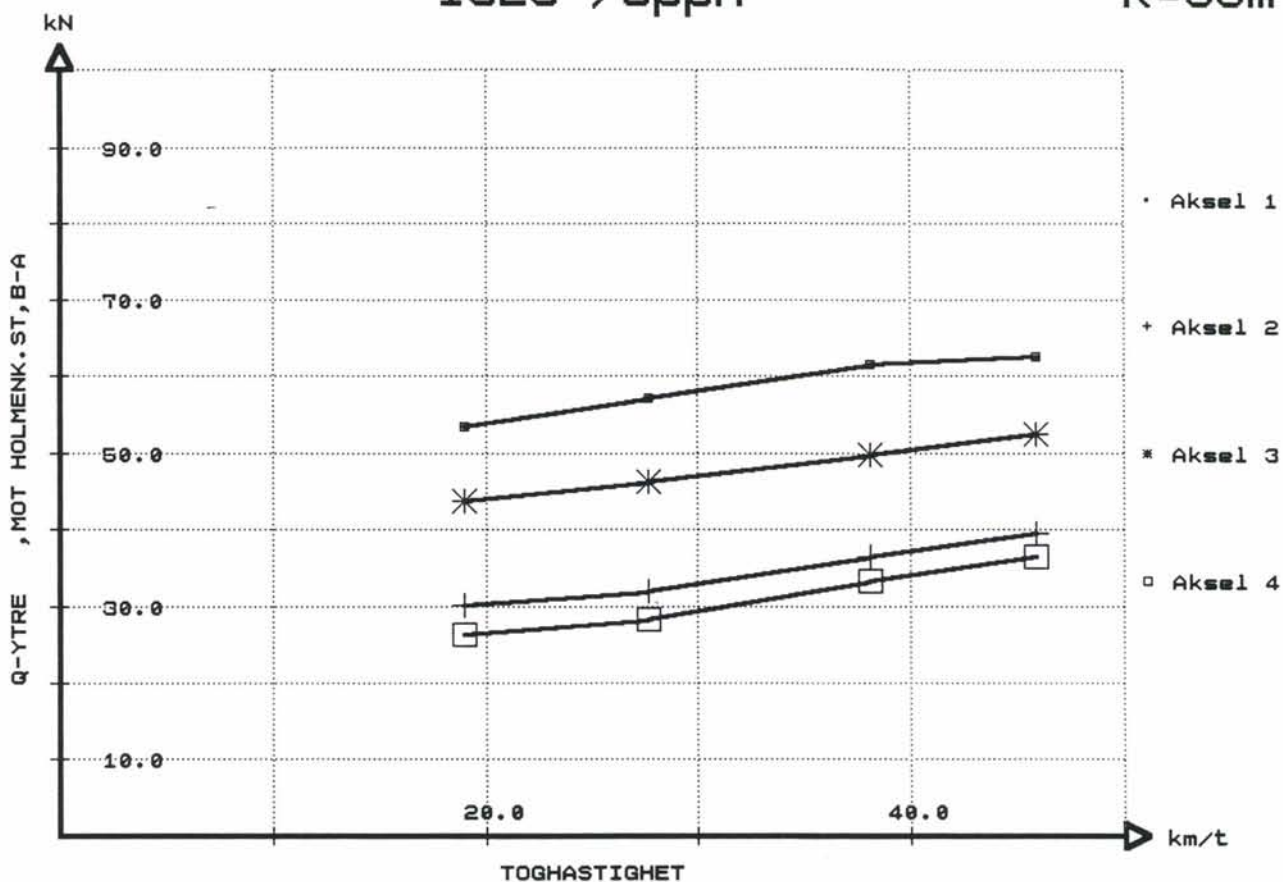
1323 /regn

R=95m



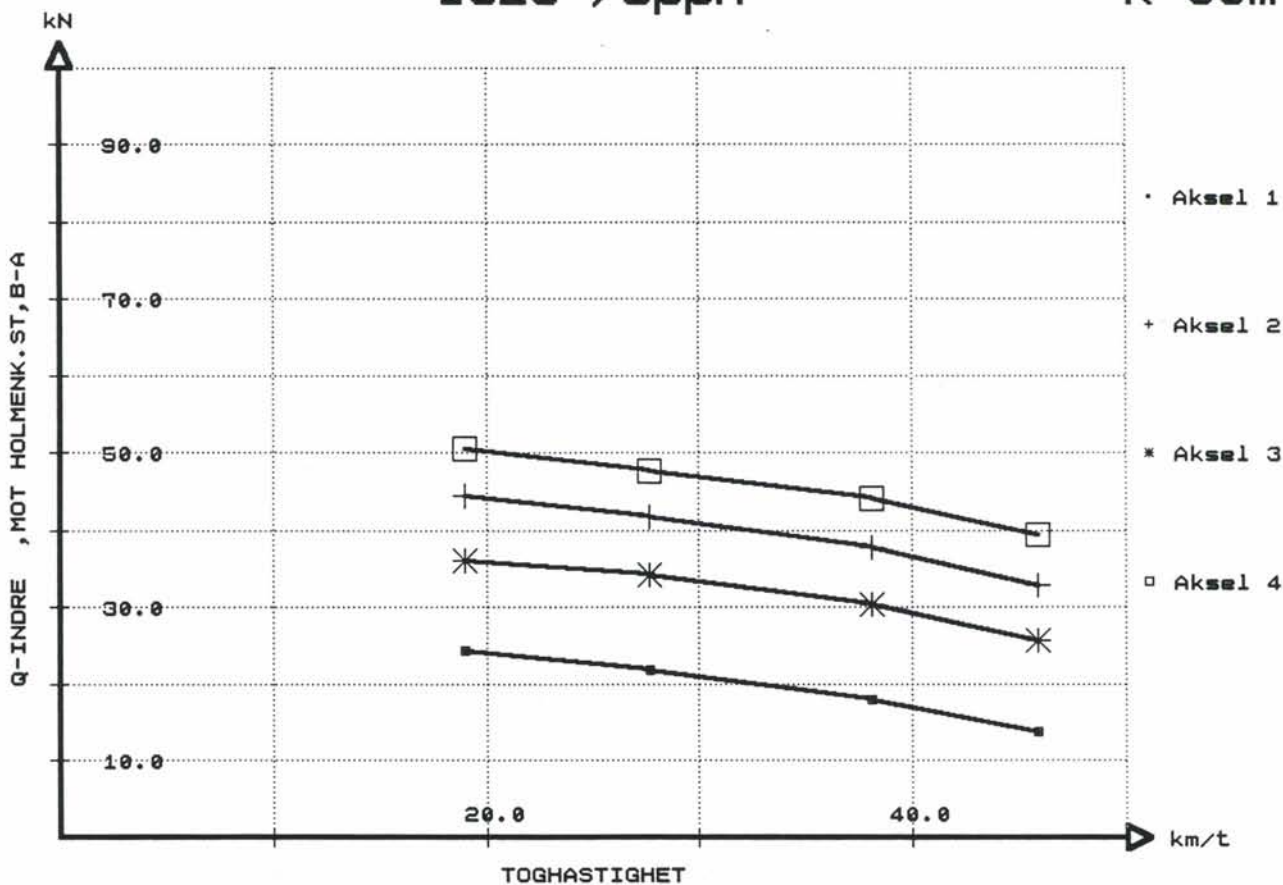
1323 / opph

R=95m



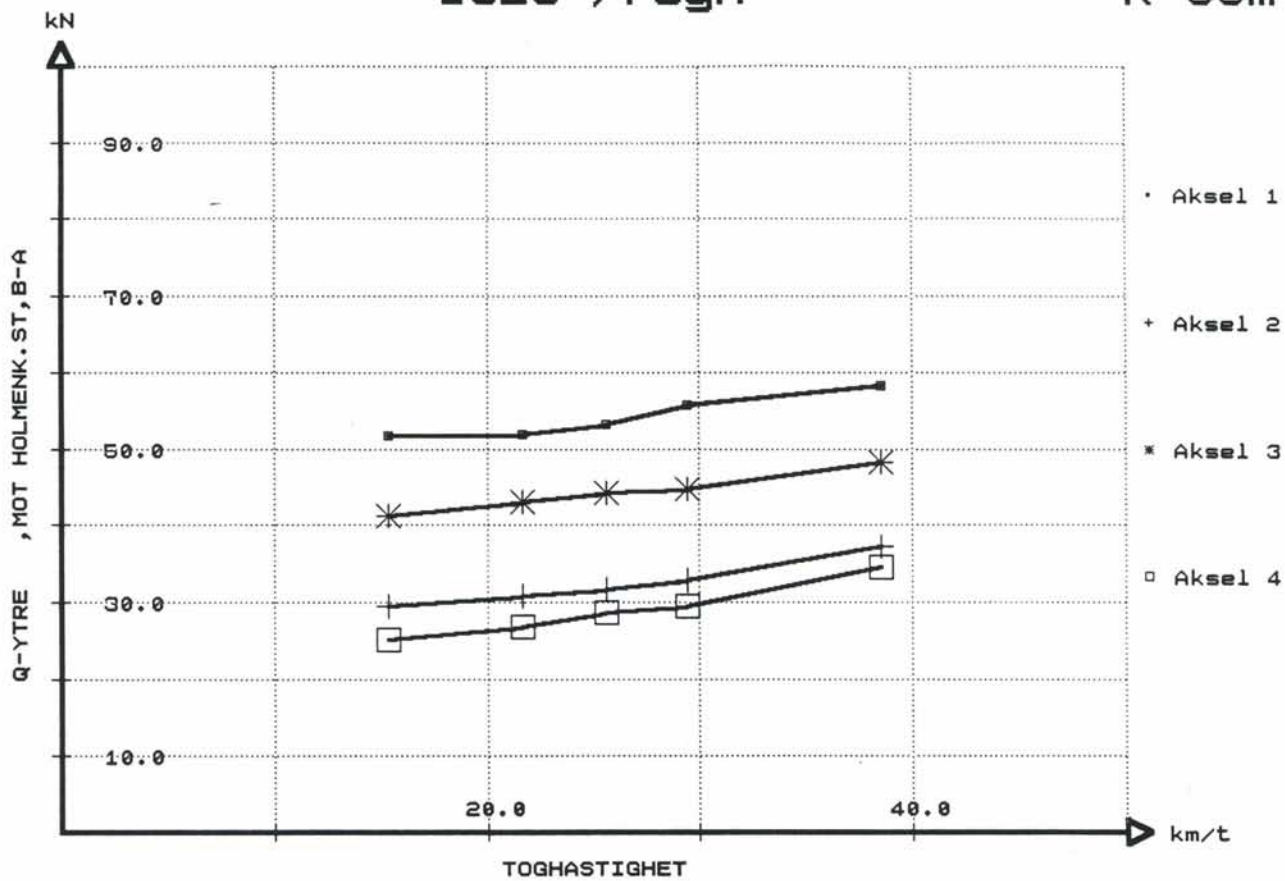
1323 / opph

R=95m



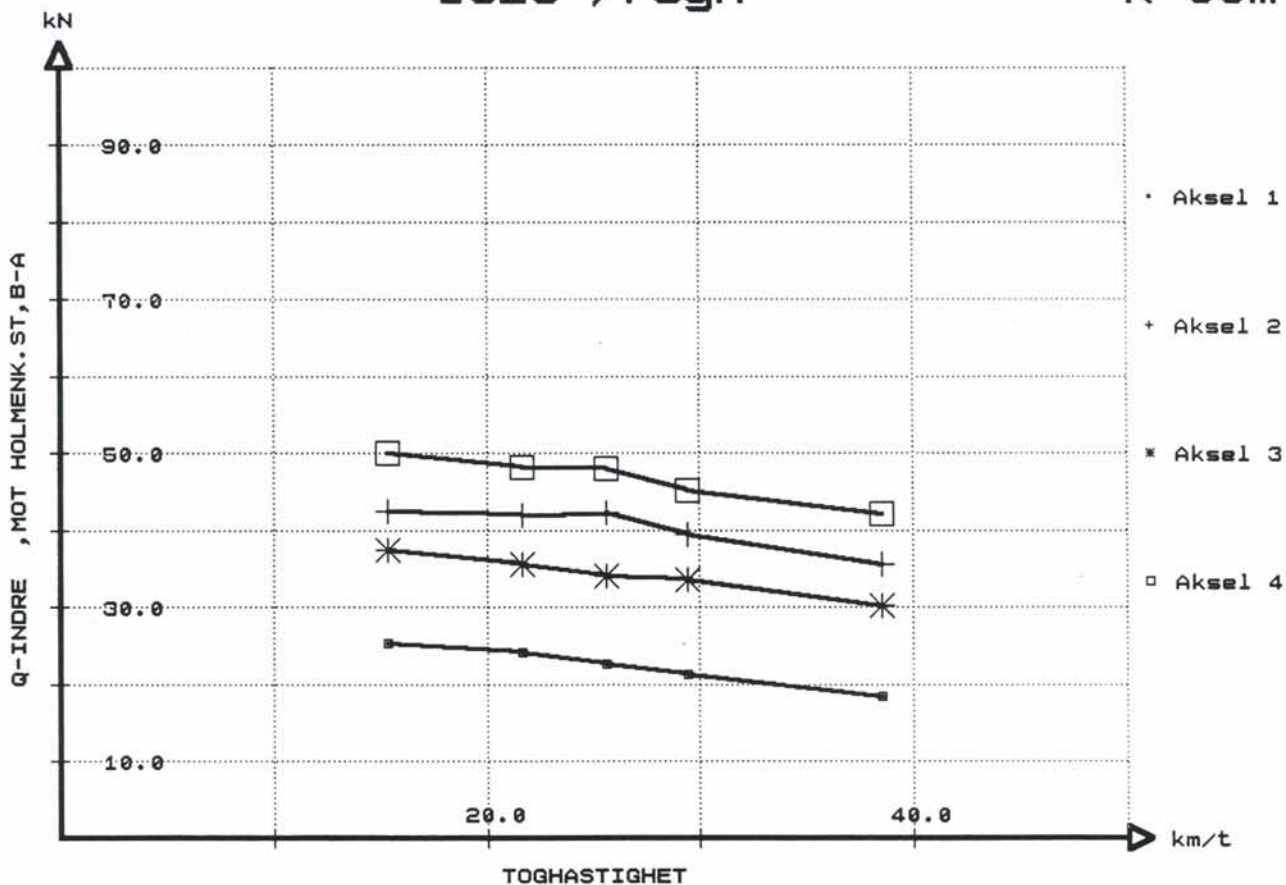
1323 /regn

R=95m



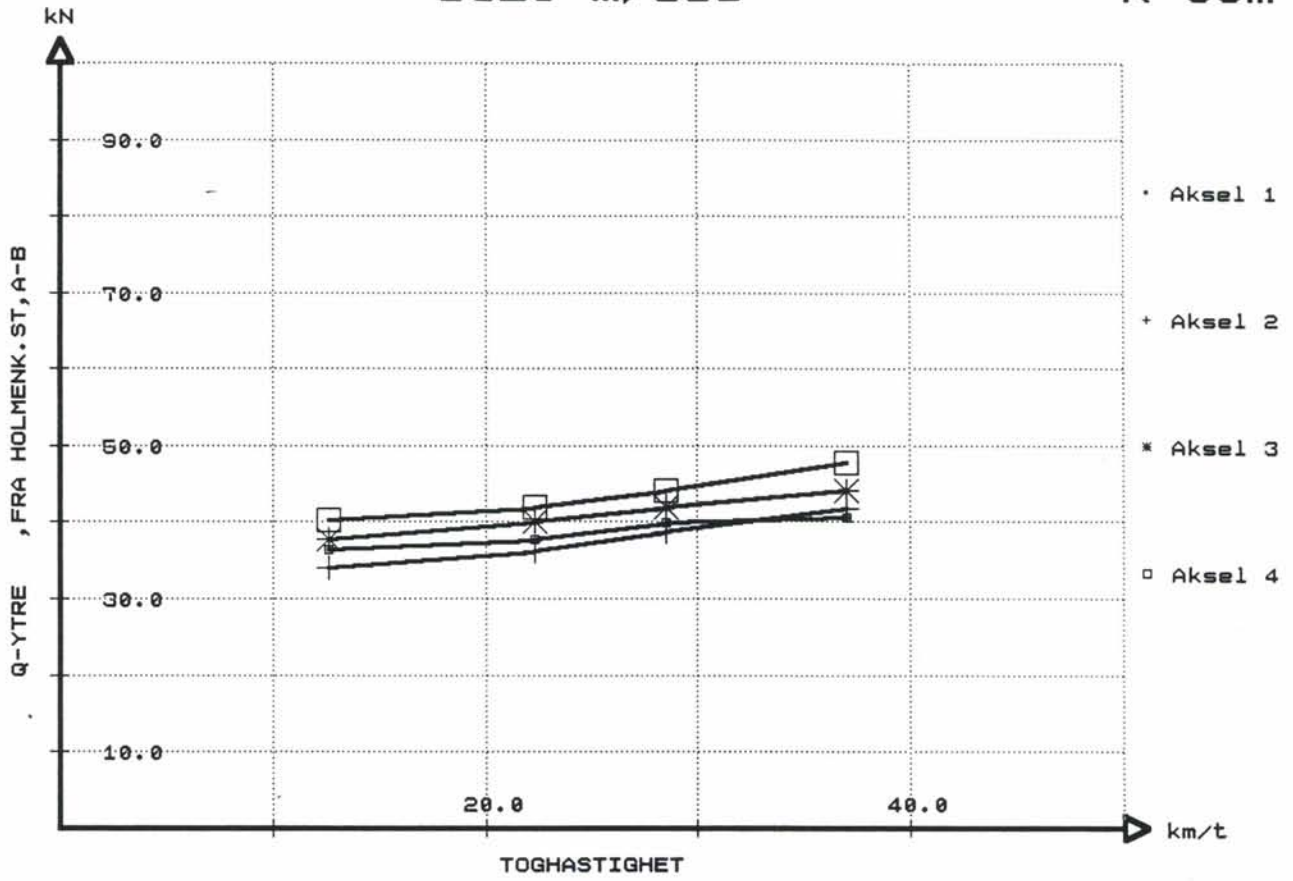
1323 /regn

R=95m



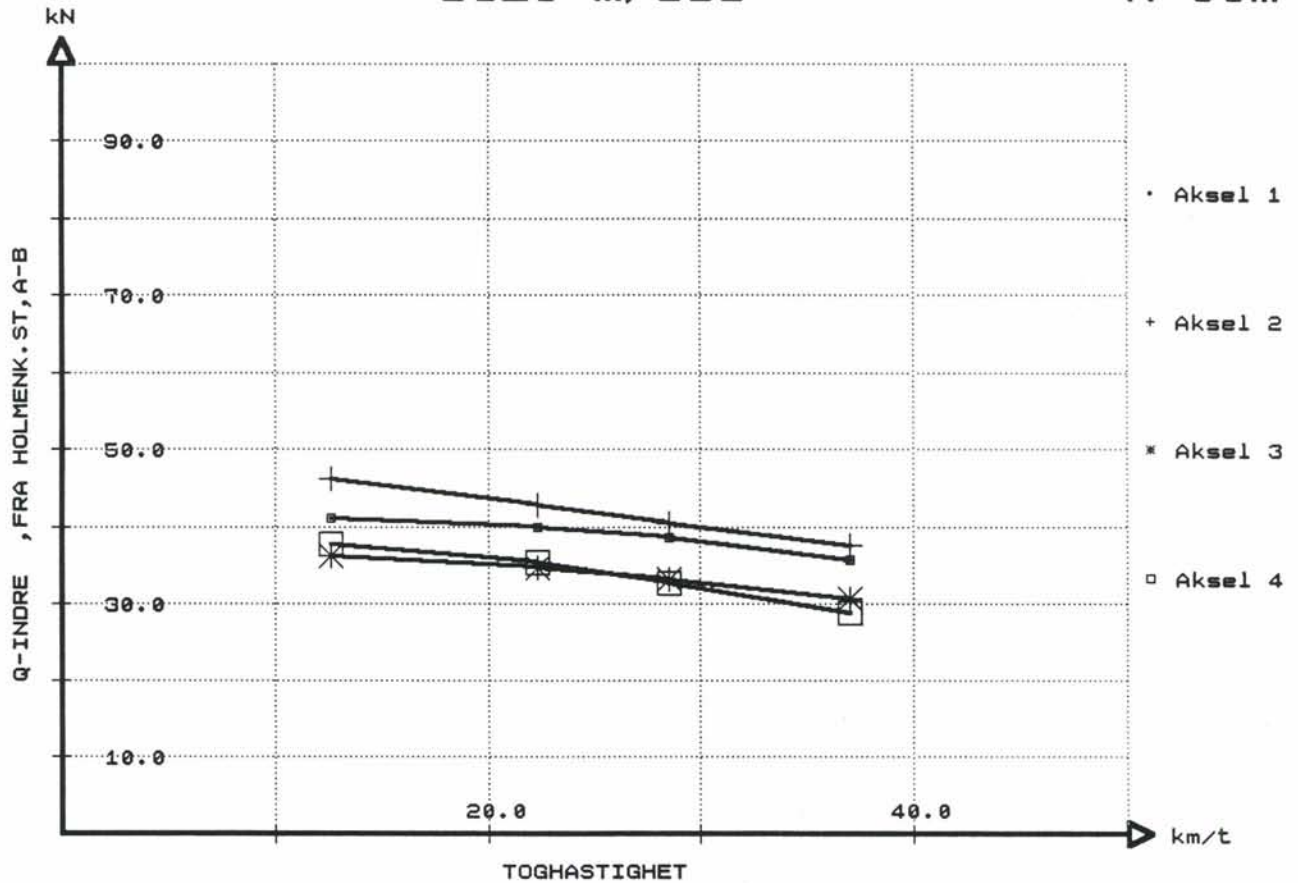
1325 m/sol

R=95m



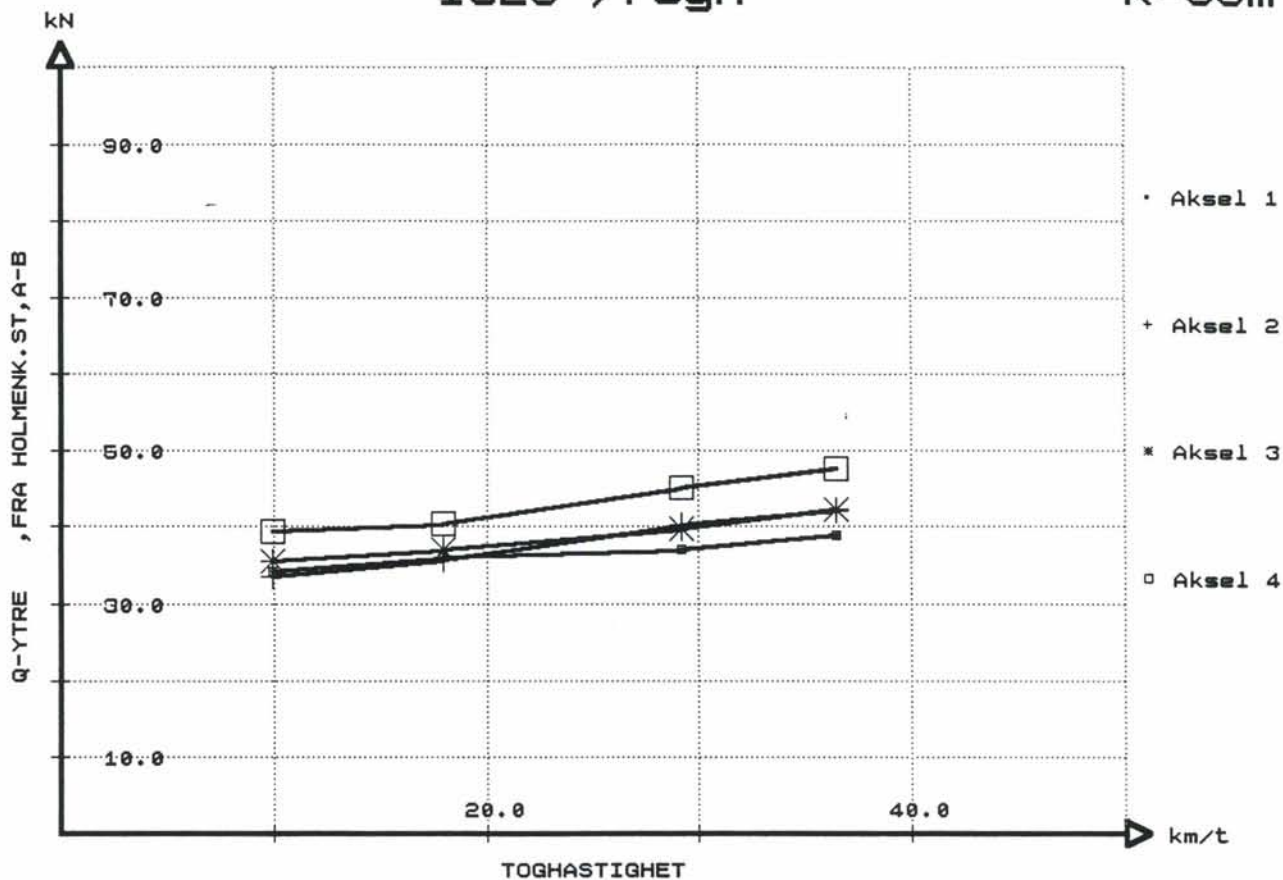
1325 m/sol

R=95m



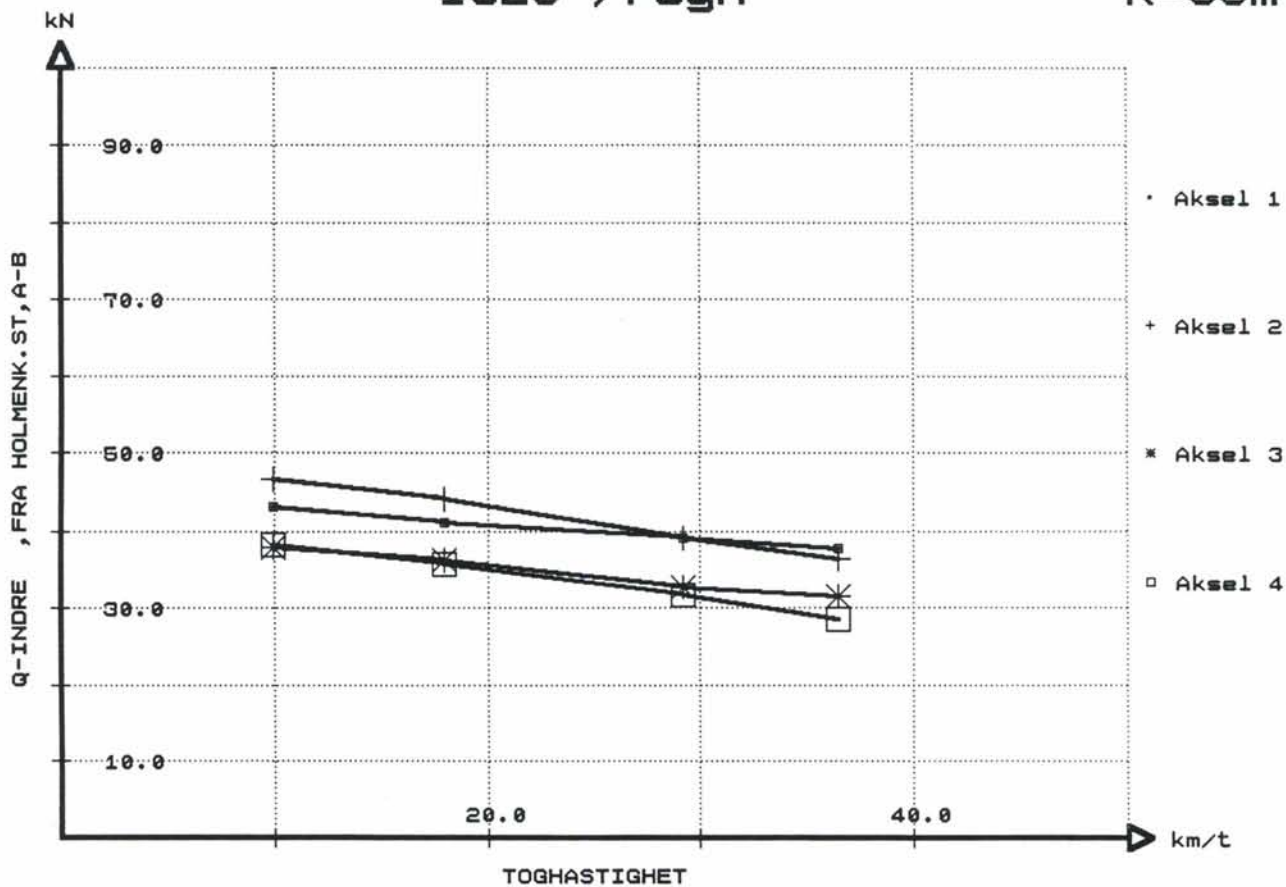
1325 /regn

R=95m



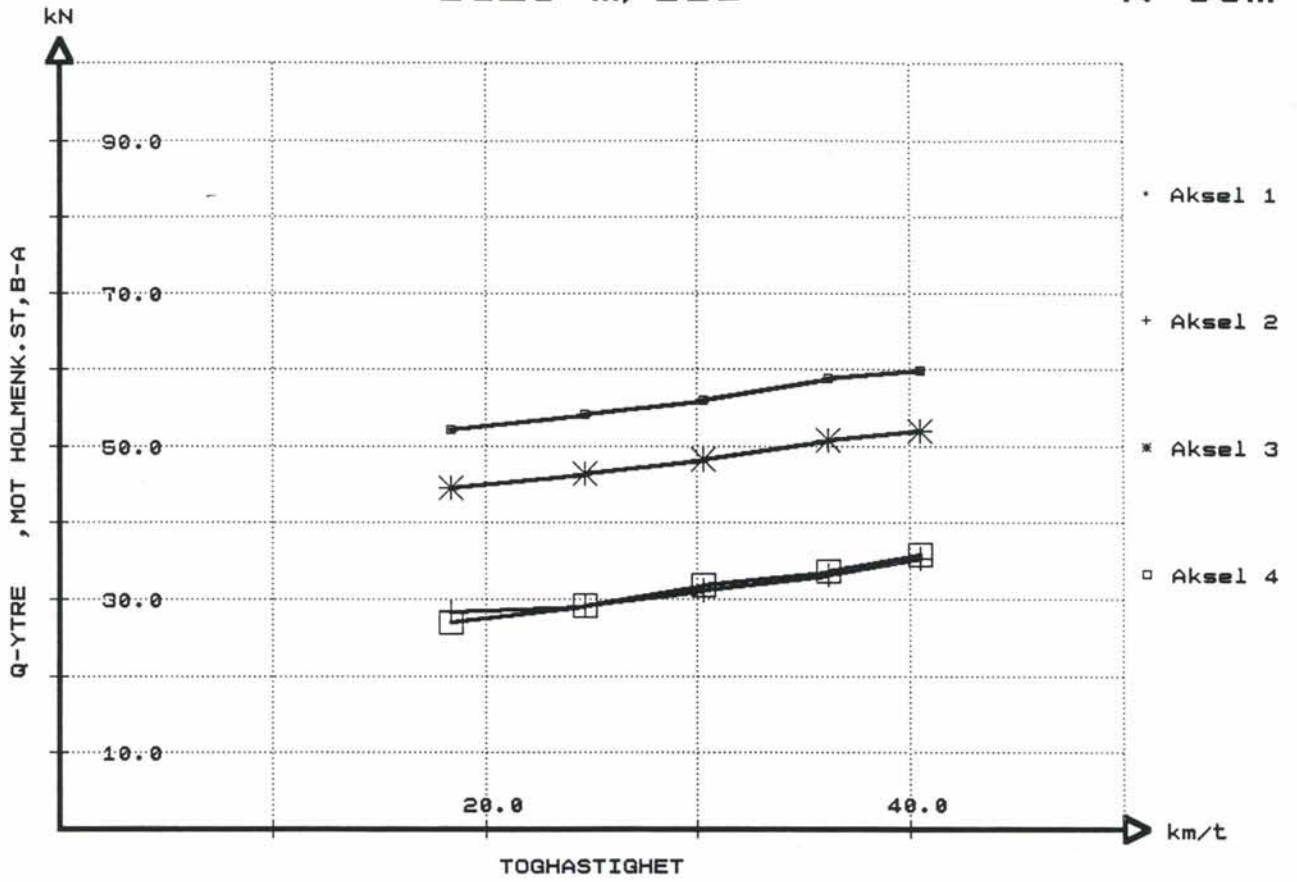
1325 /regn

R=95m



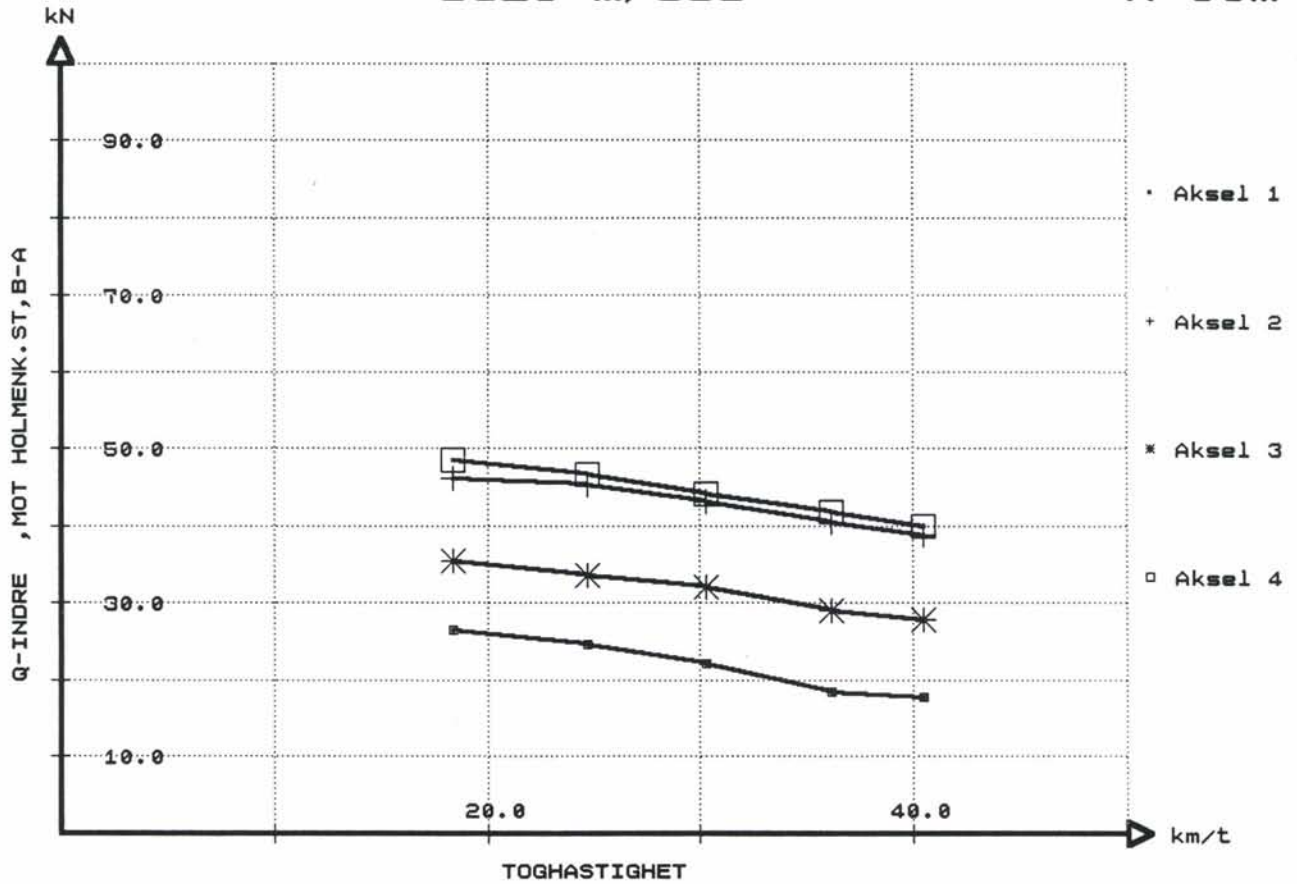
1325 m/sol

R=95m



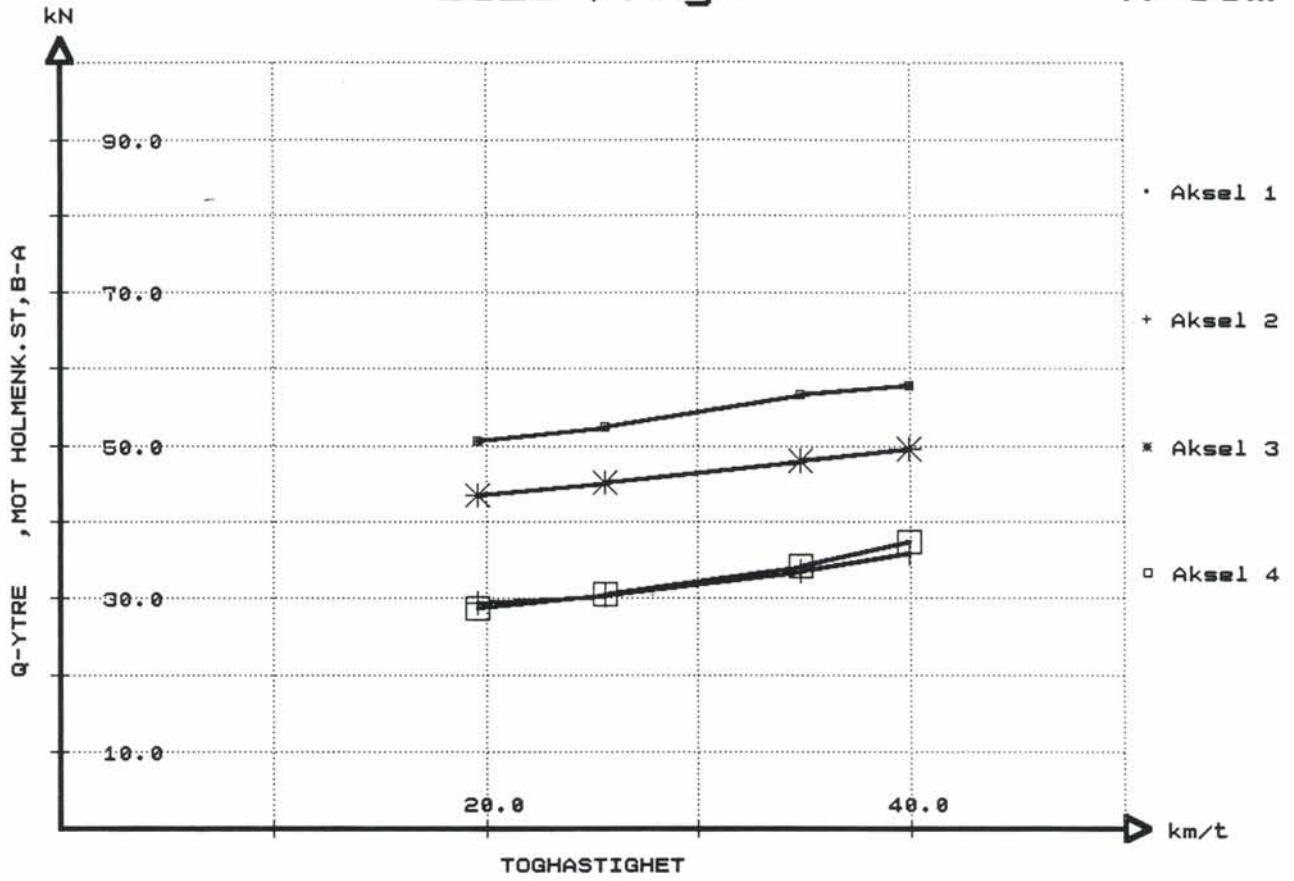
1325 m/sol

R=95m



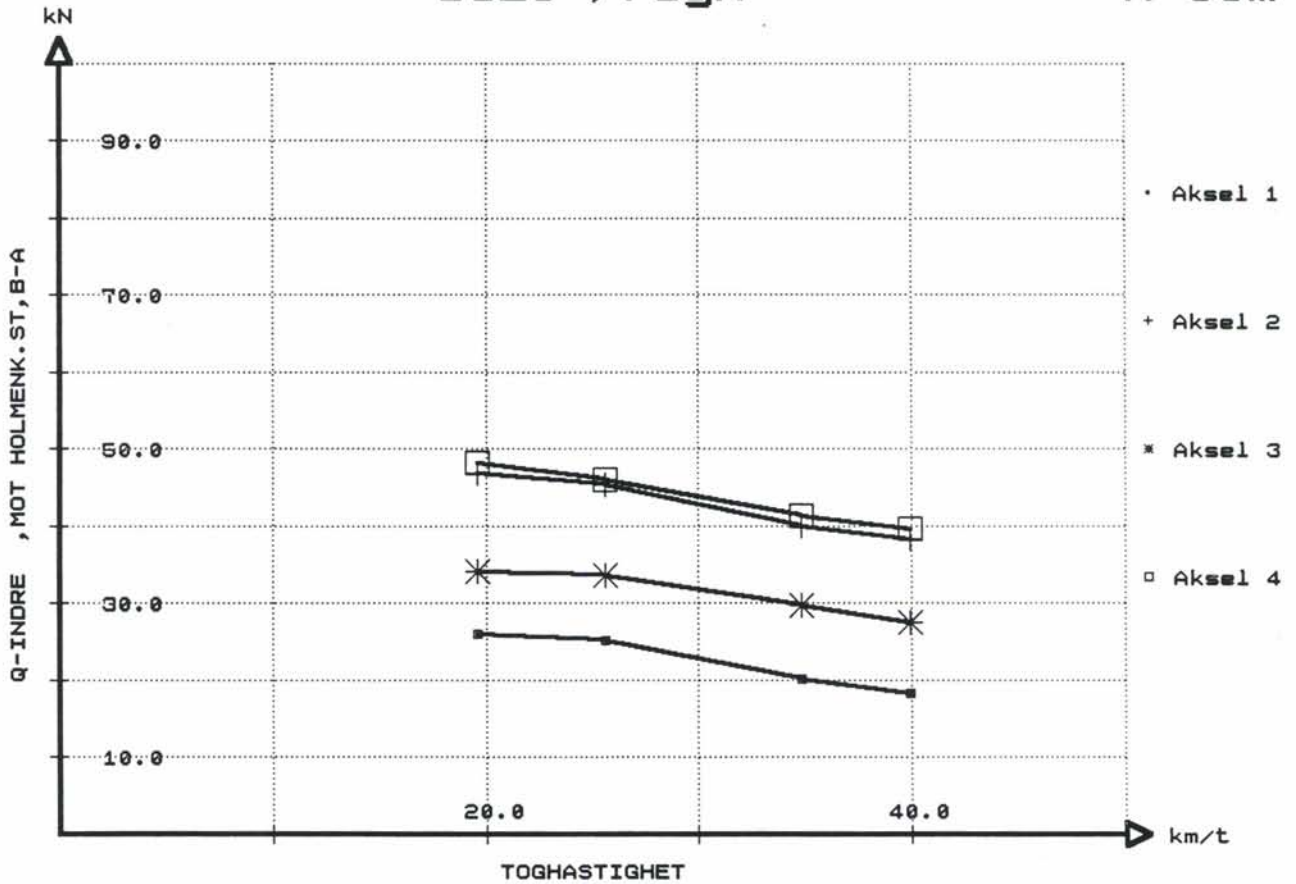
1325 /regn

R=95m



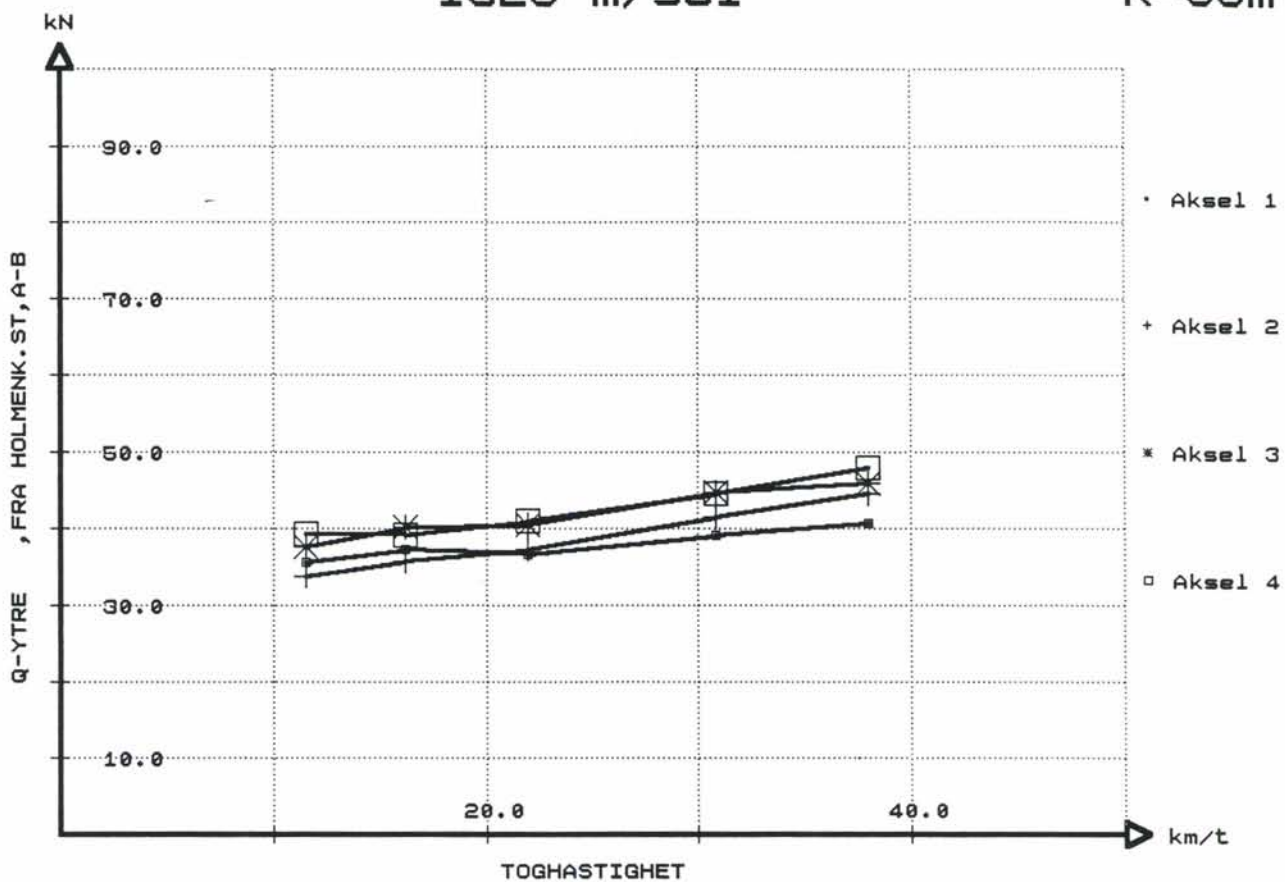
1325 /regn

R=95m



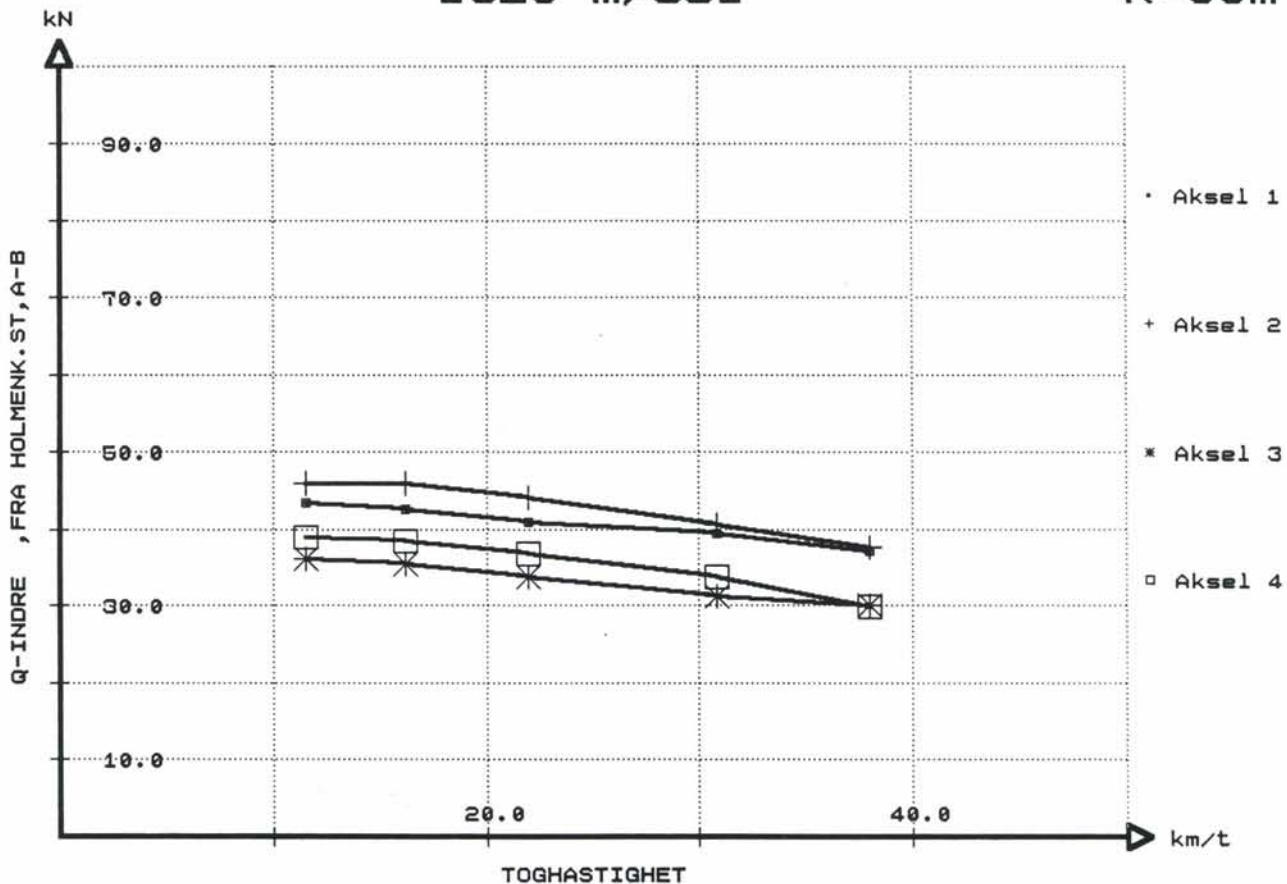
1326 m/sol

R=95m



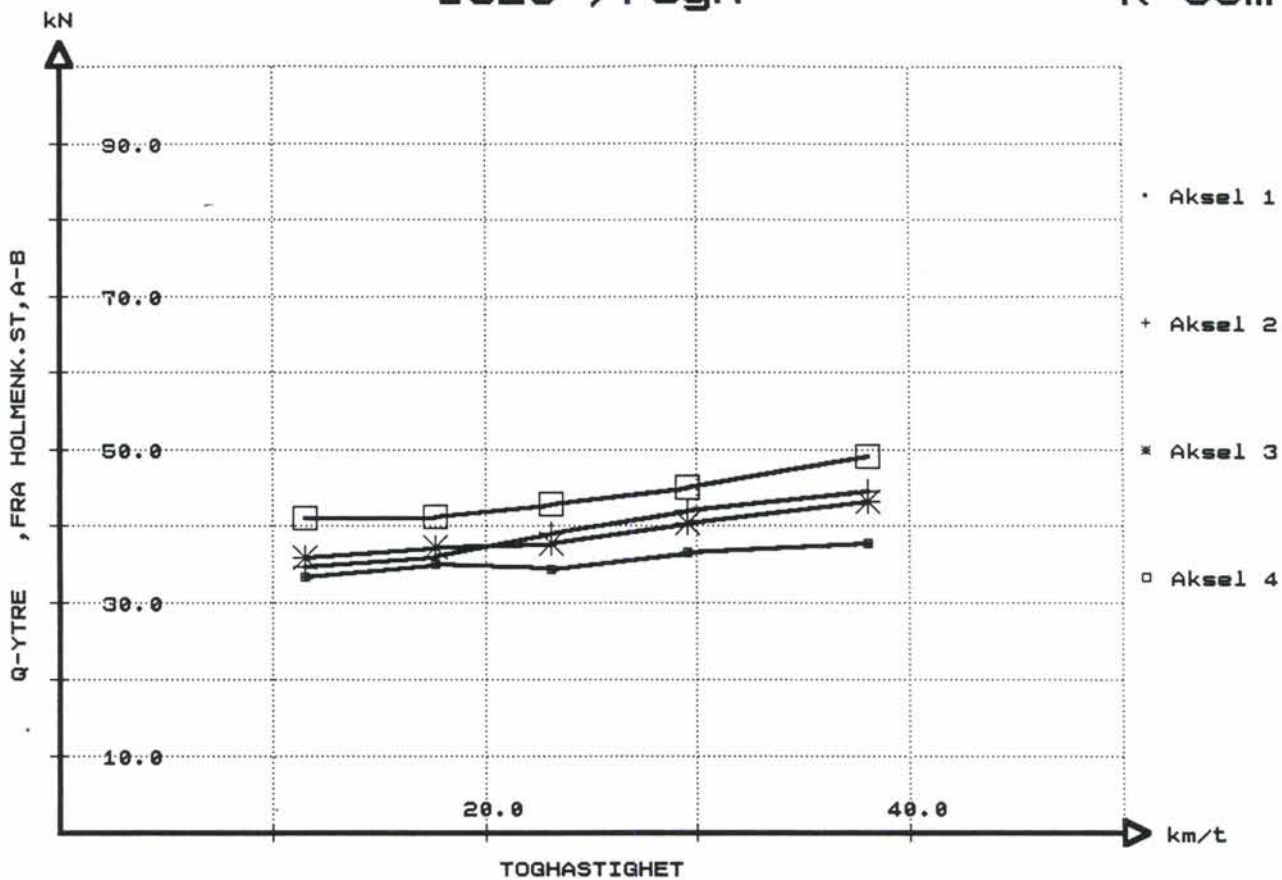
1326 m/sol

R=95m



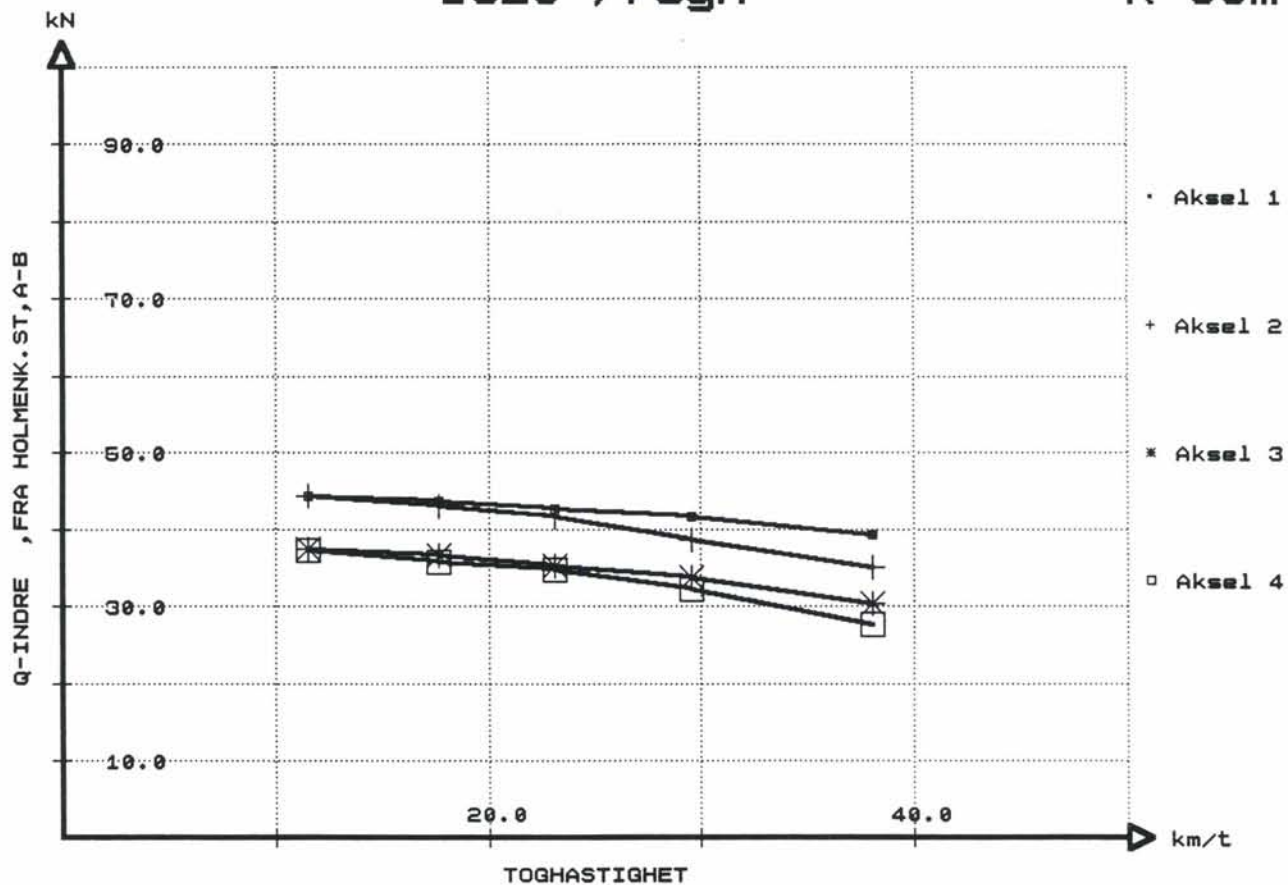
1326 /regn

R=95m



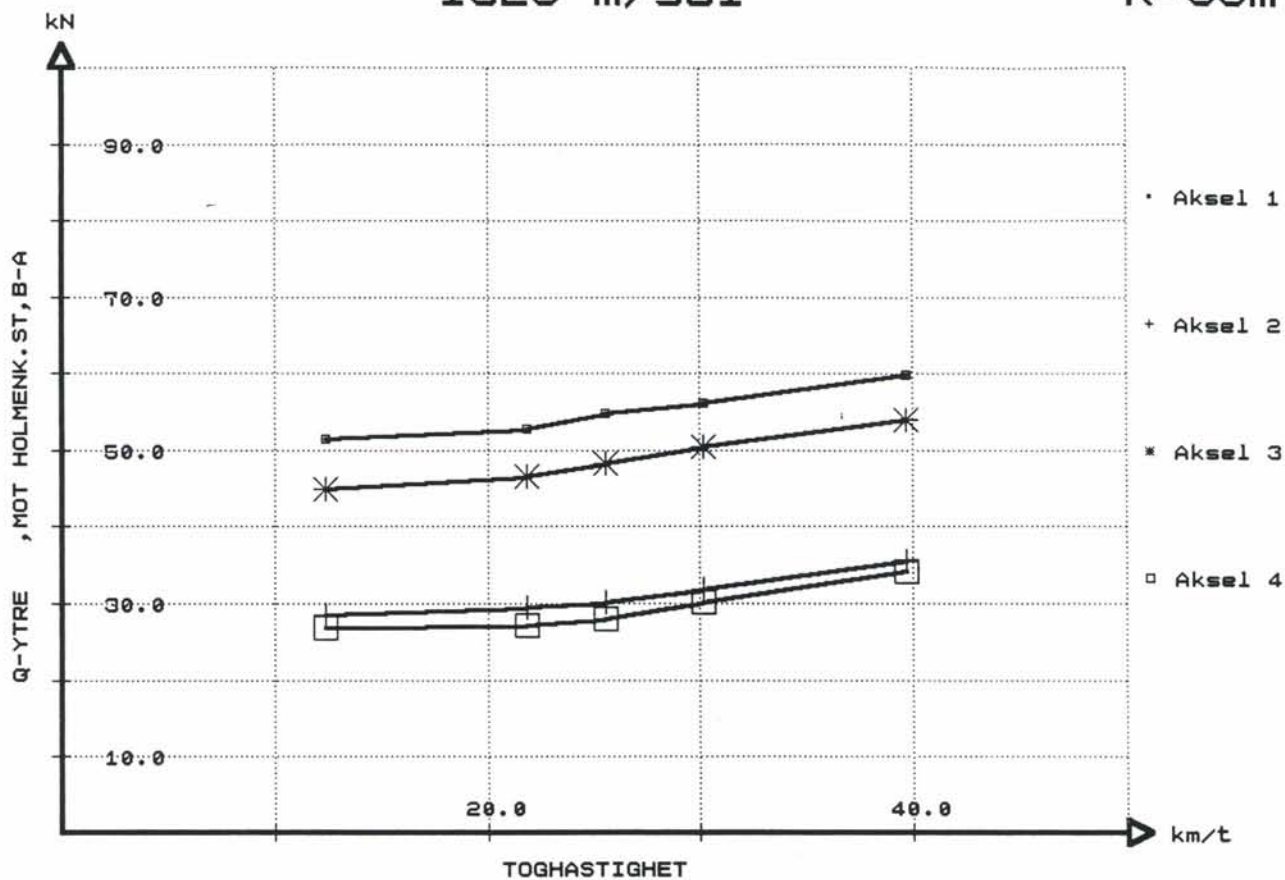
1326 /regn

R=95m



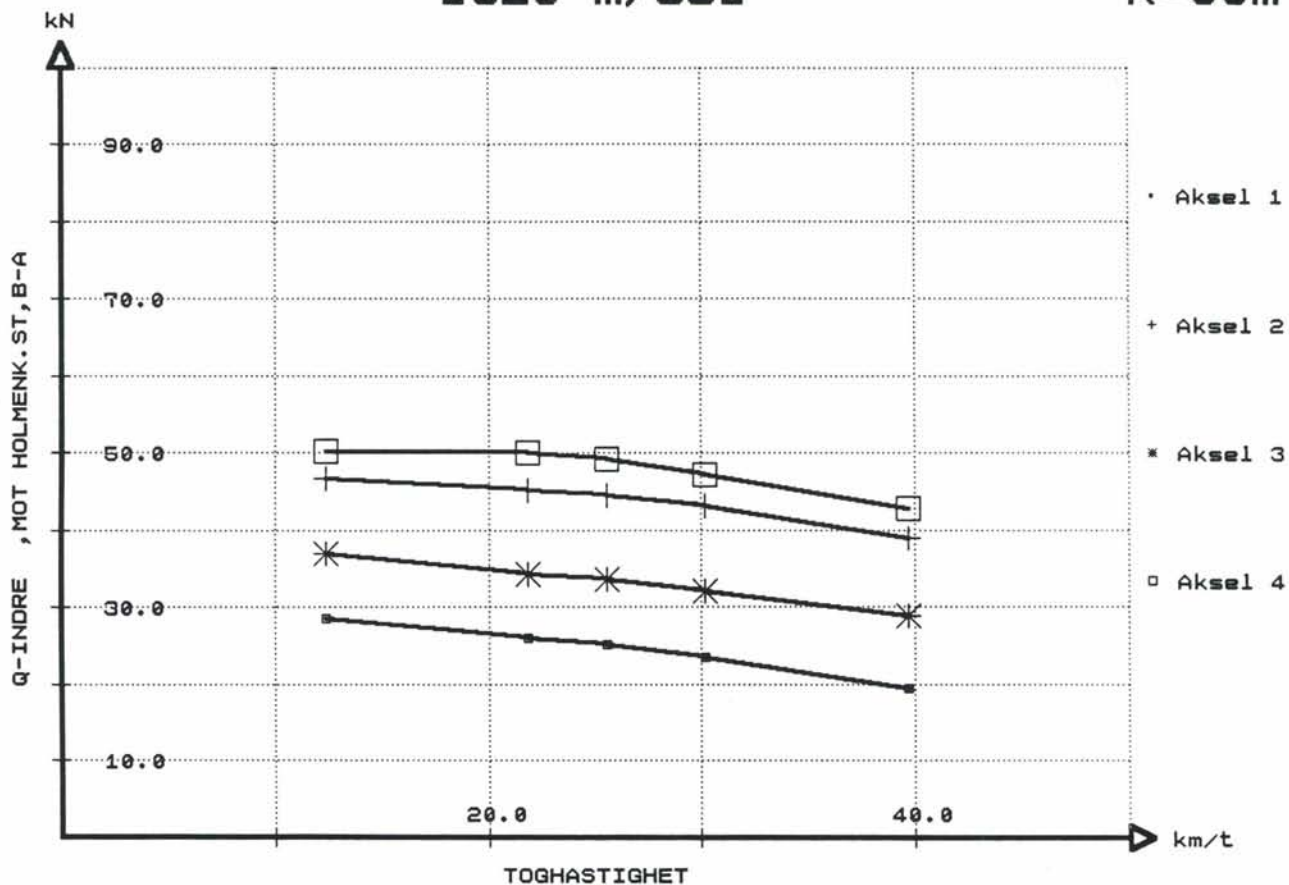
1326 m/sol

R=95m



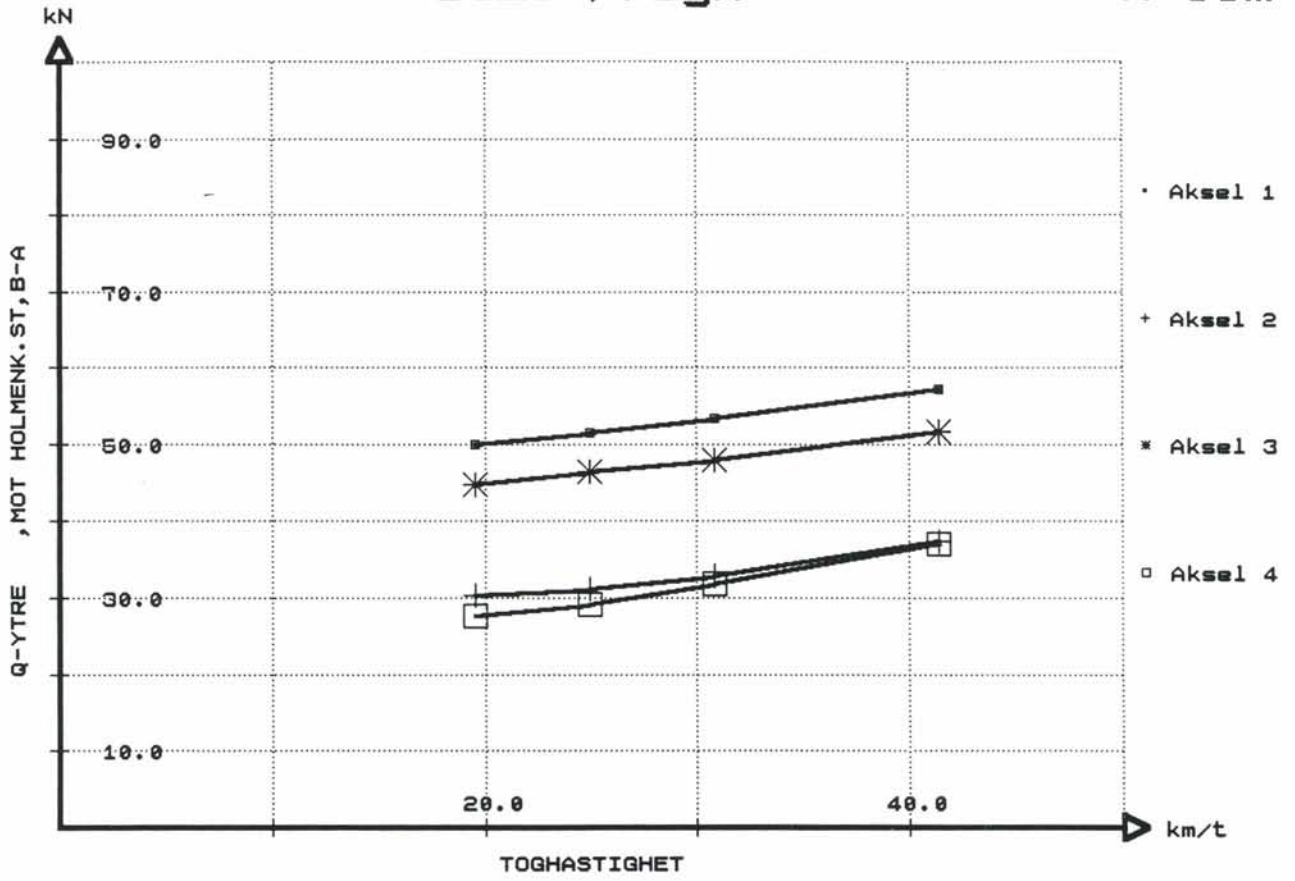
1326 m/sol

R=95m



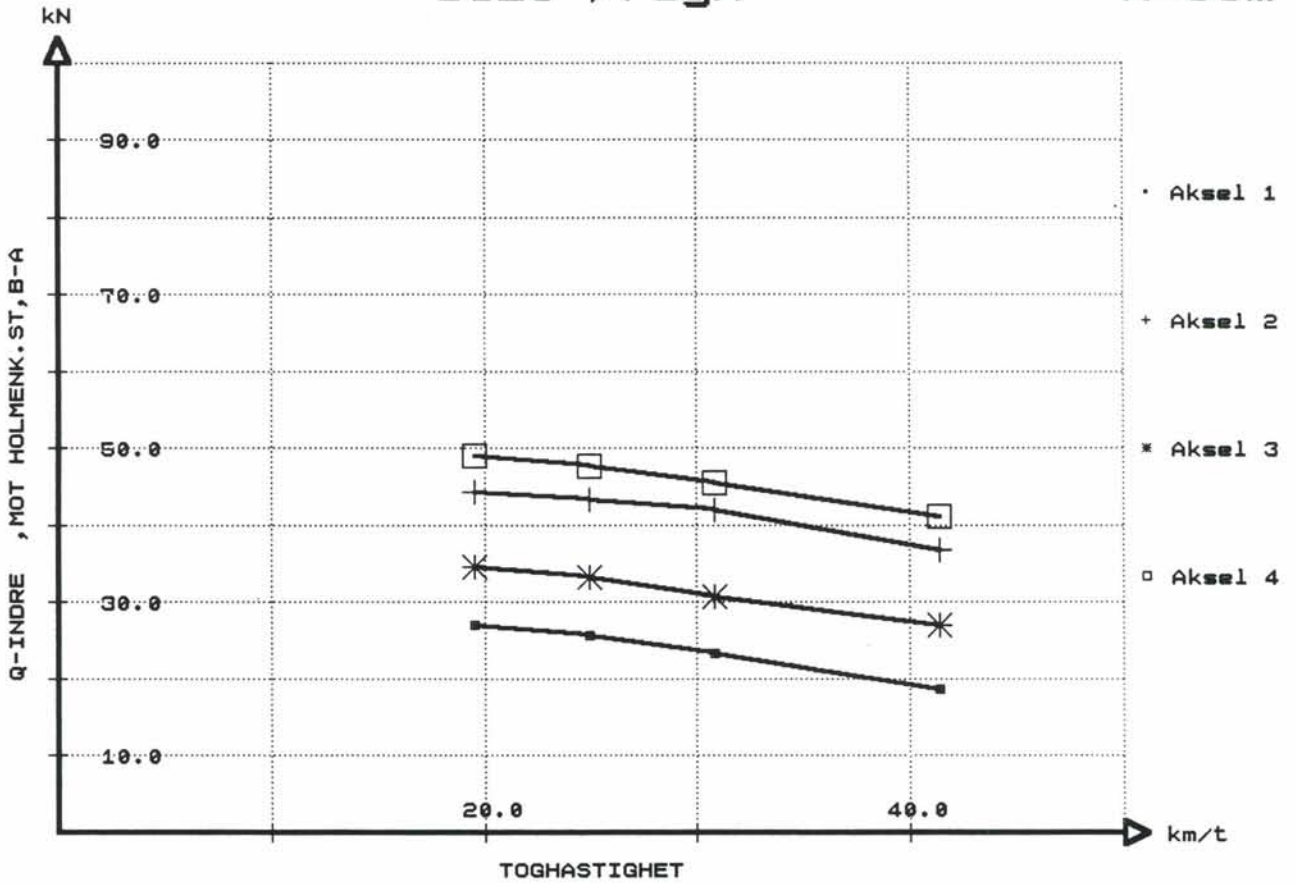
1326 /regn

R=95m



1326 /regn

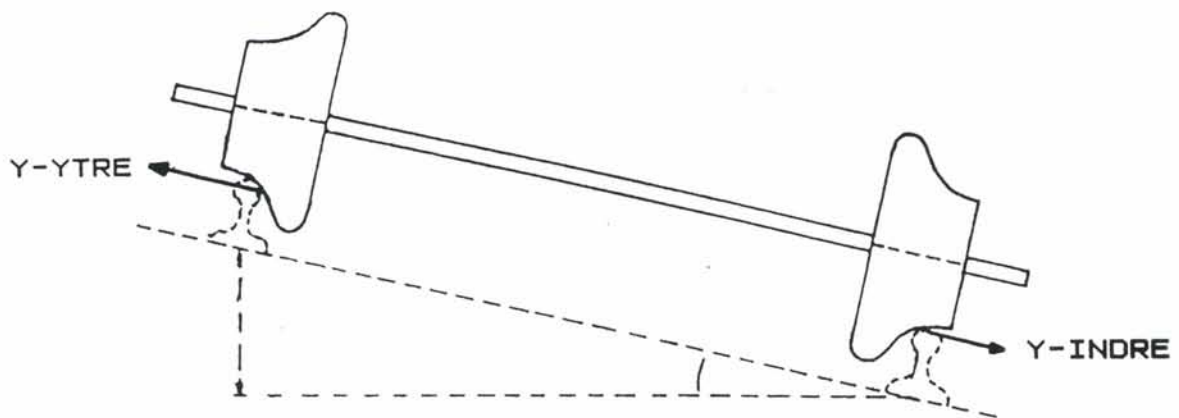
R=95m



7.2 Horisontale Y-krefter

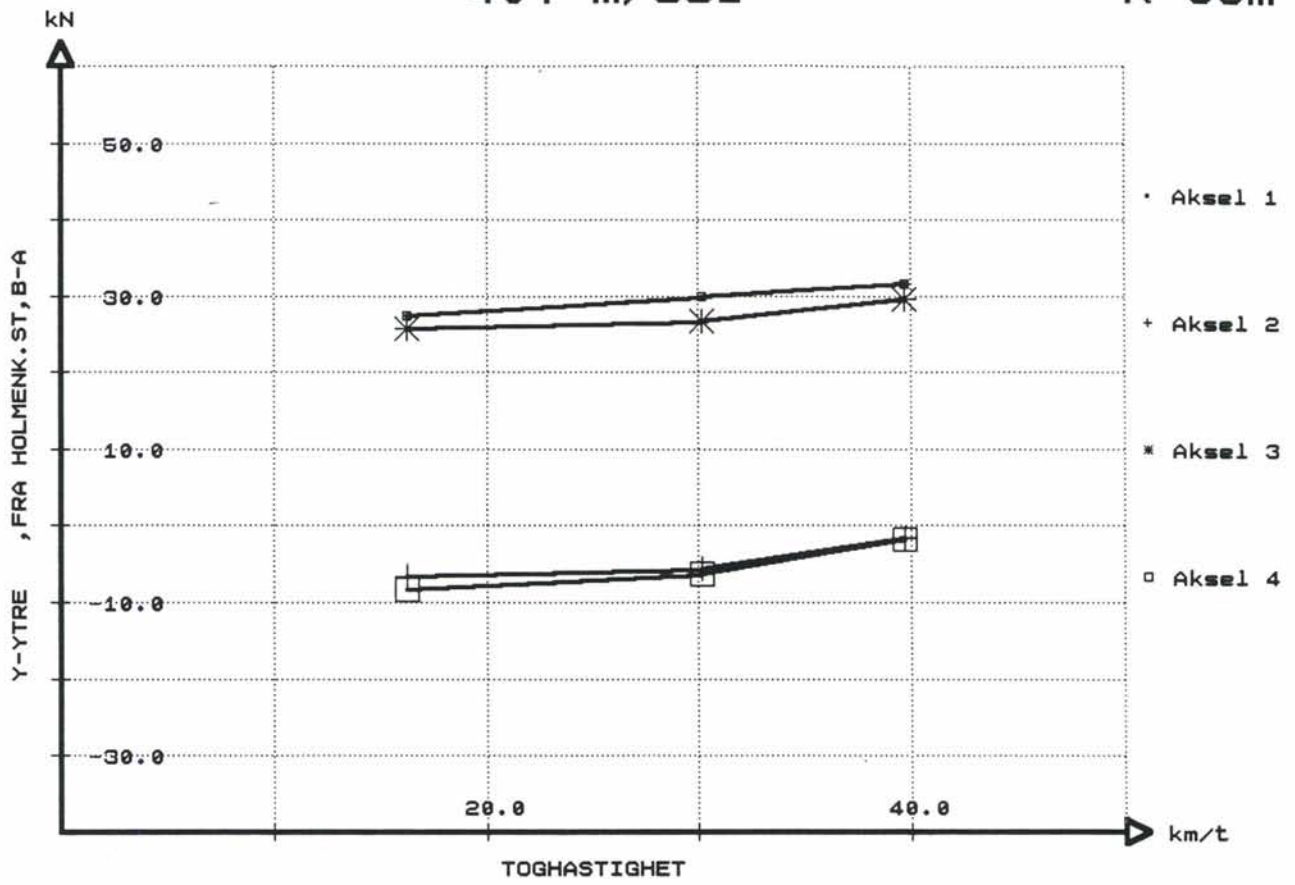
Dynamiske Y-krefter mellom hjul/skinne er midlet over målepunkt-
enes utstrekning i lengderetning på skinnene (ca 10 cm).
Midlere dynamiske Y-refter er så midlet over tre forskjellige
målepunkt på skinnene og gjentatte testkjøringer med samme
hastighet.

Positiv kraftretning er utover fra sentrum i den sirkelbuen som
sporet beskriver.



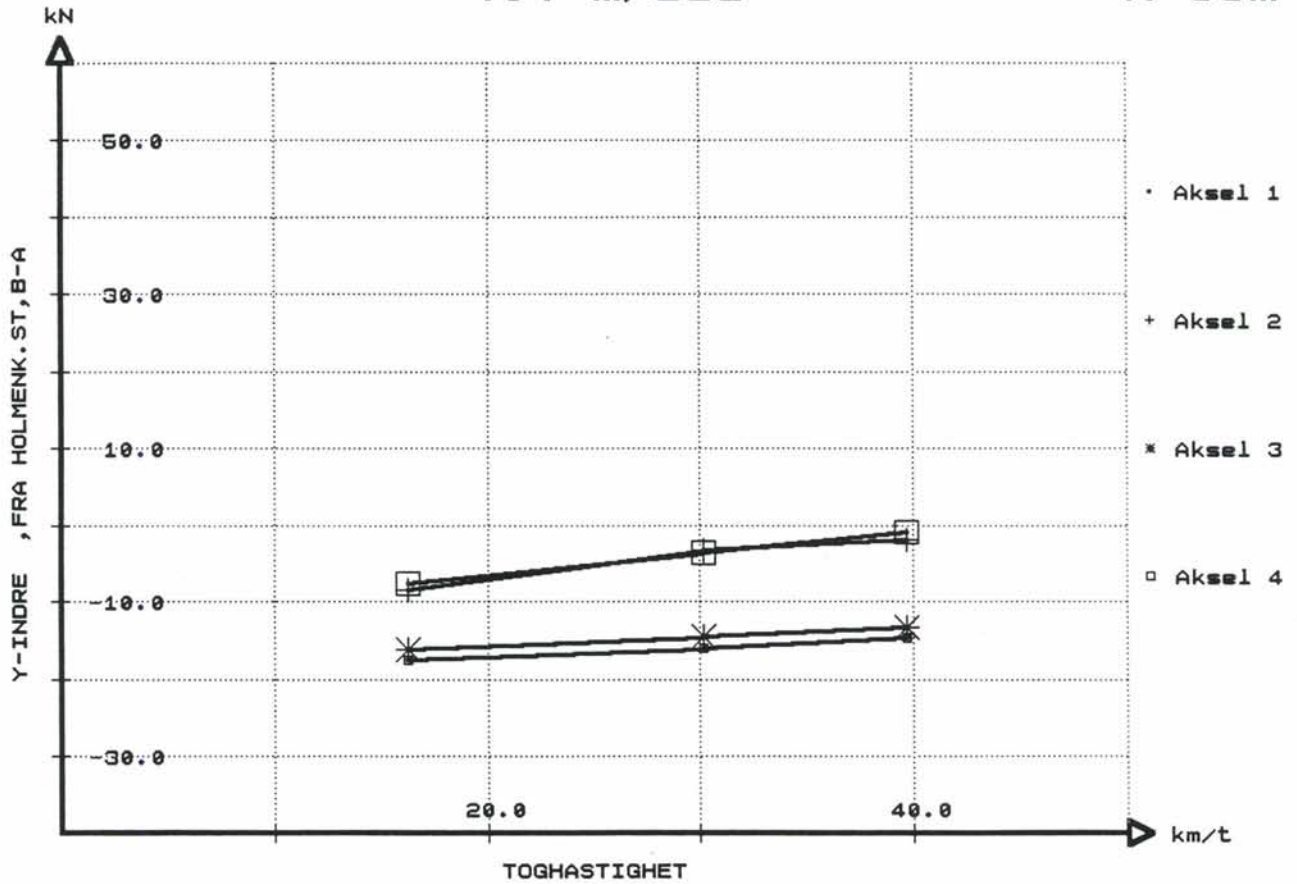
407 m/sol

R=95m



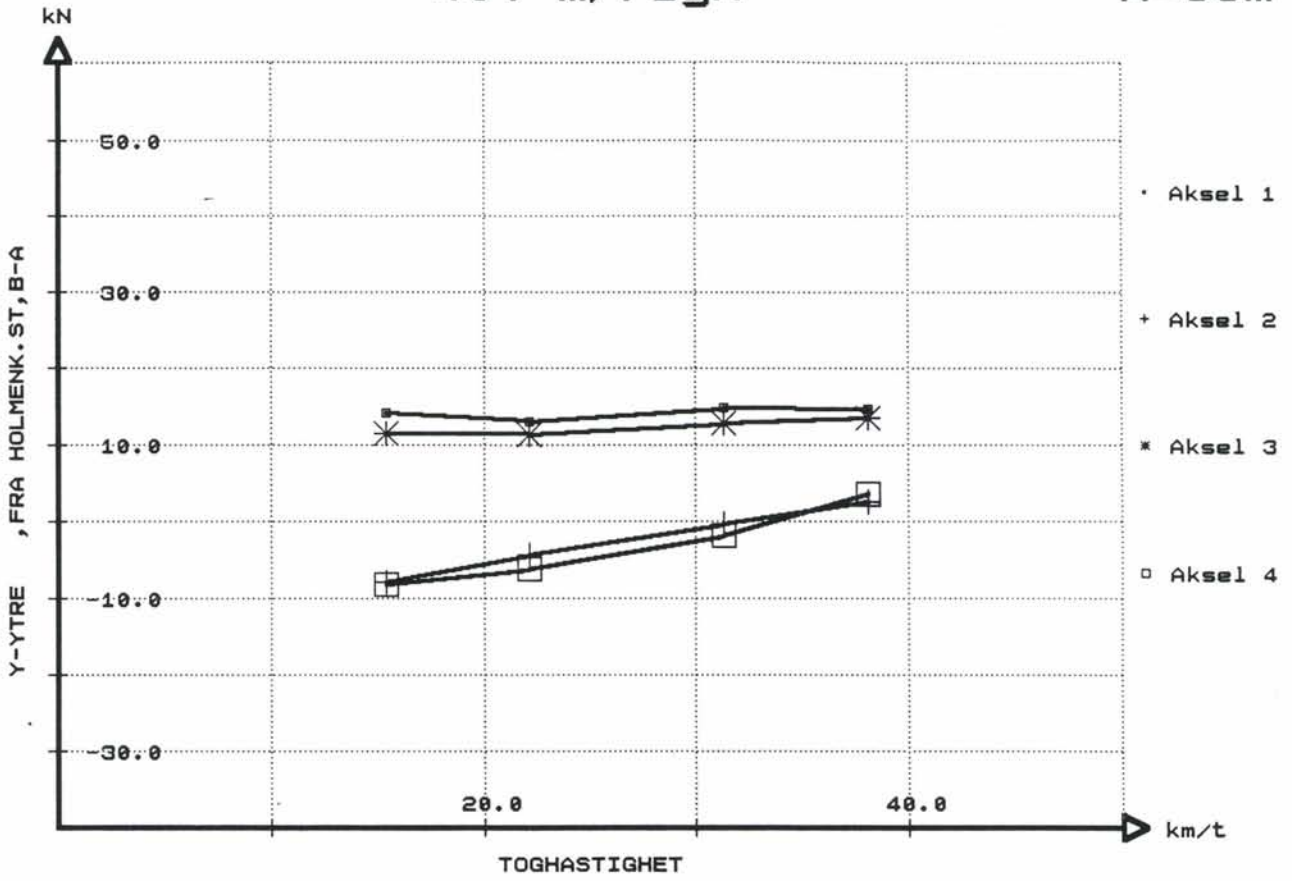
407 m/sol

R=95m



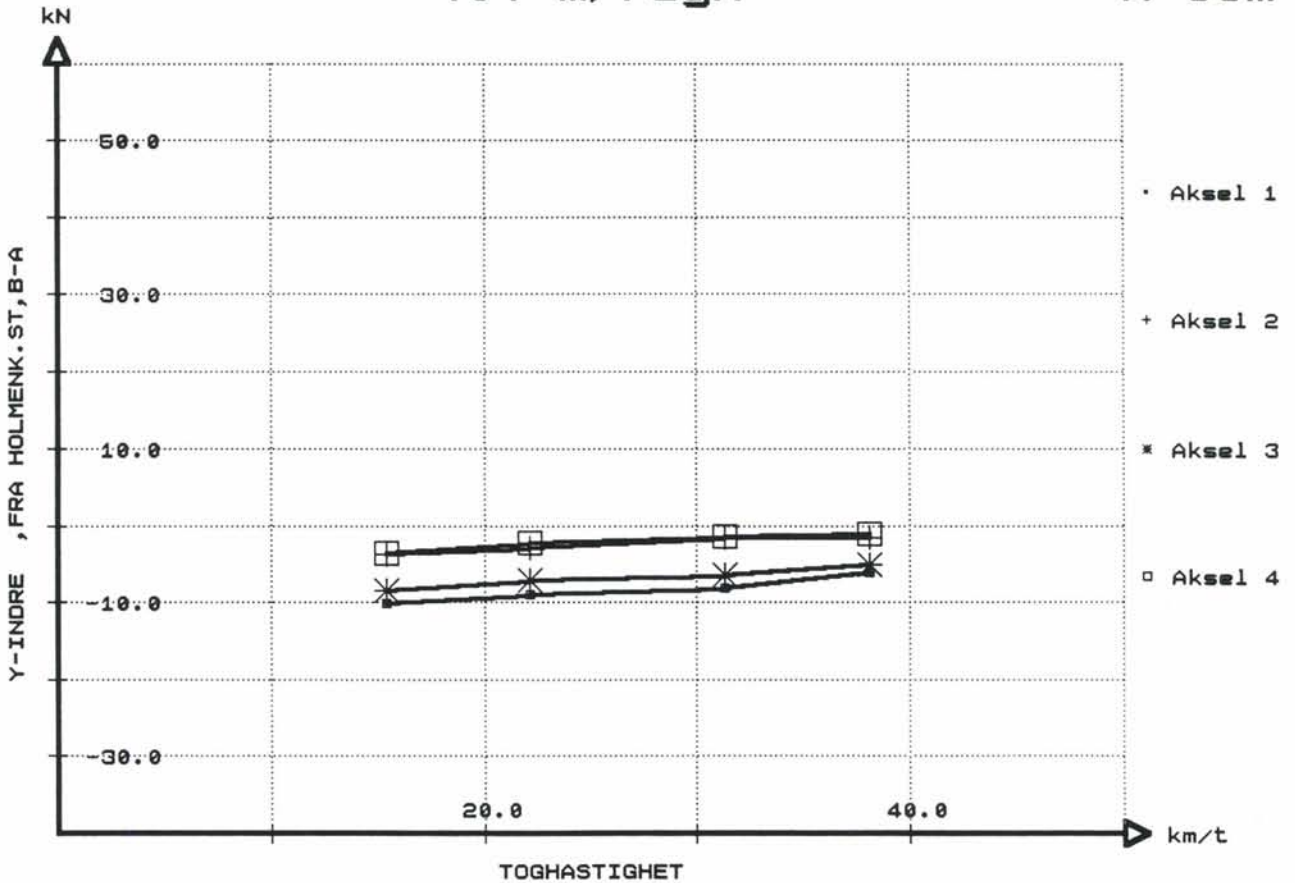
407 m/regn

R=95m



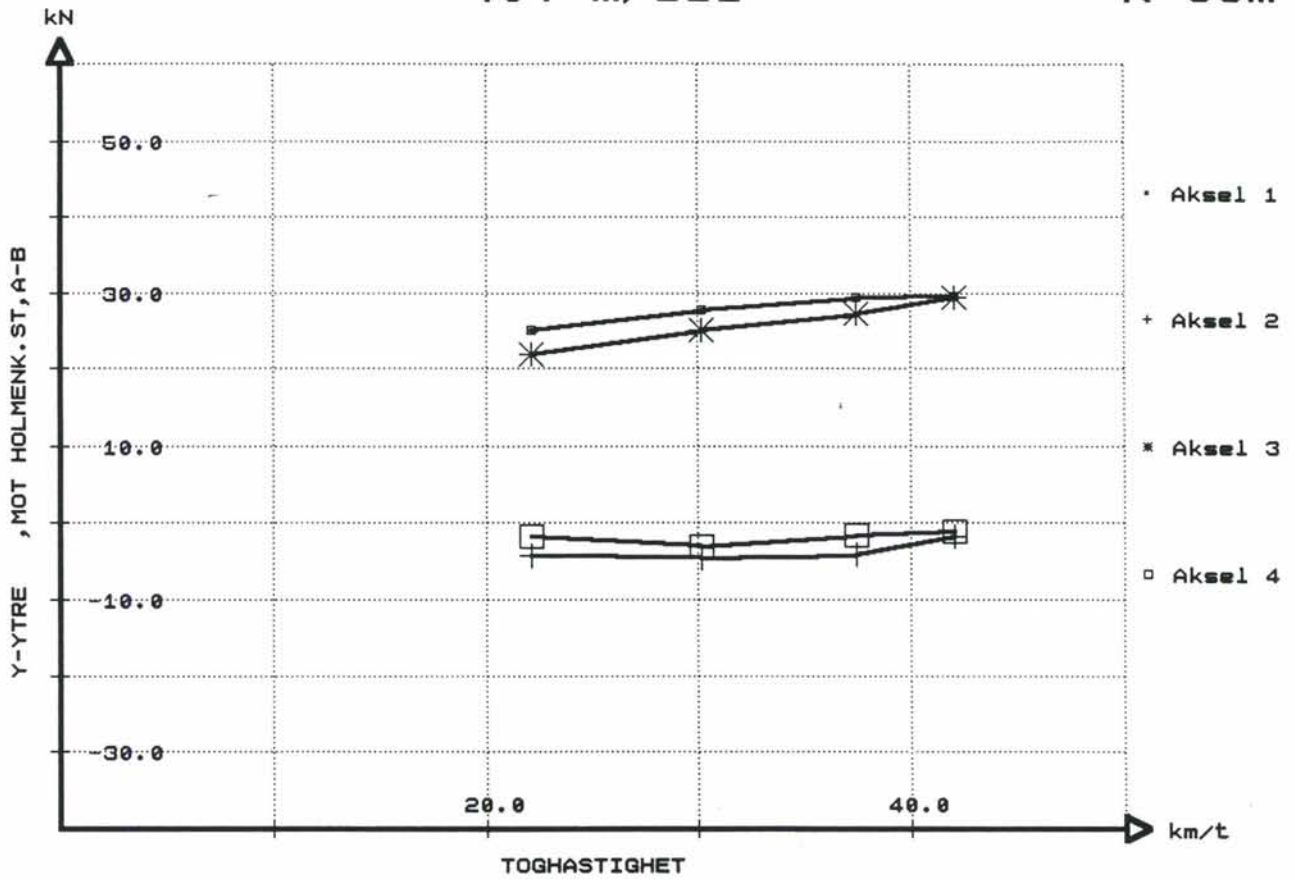
407 m/regn

R=95m



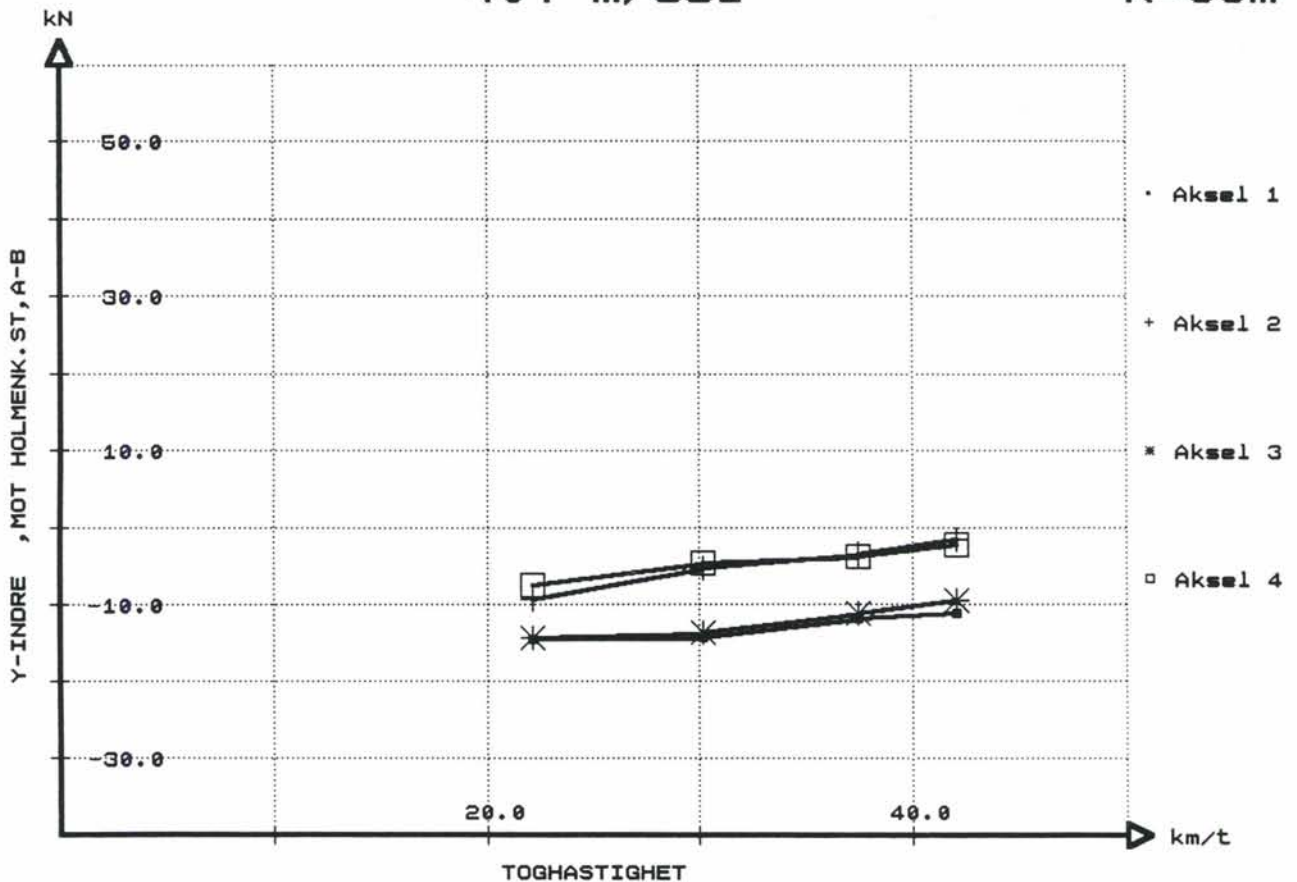
407 m/sol

R=95m



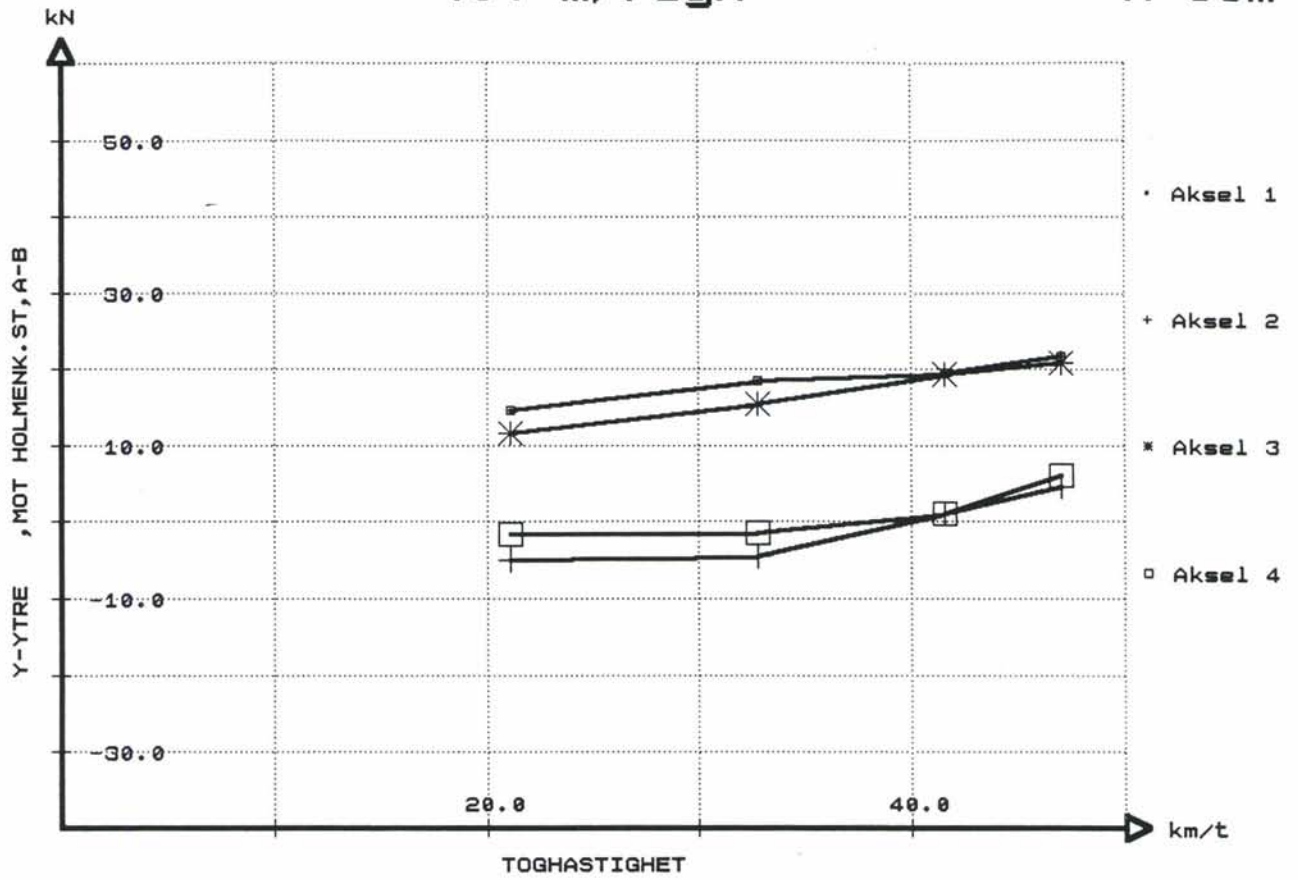
407 m/sol

R=95m



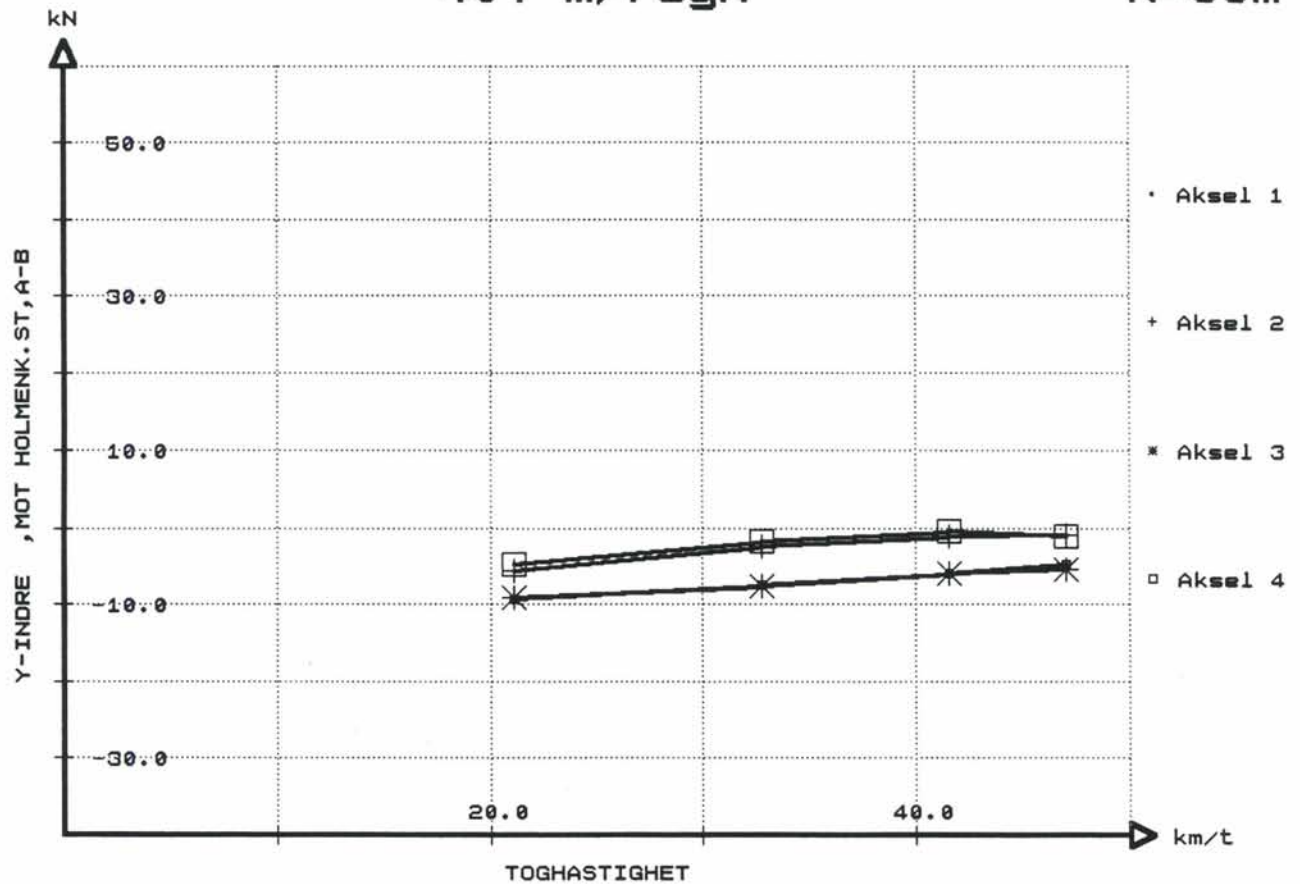
407 m/regn

R=95m



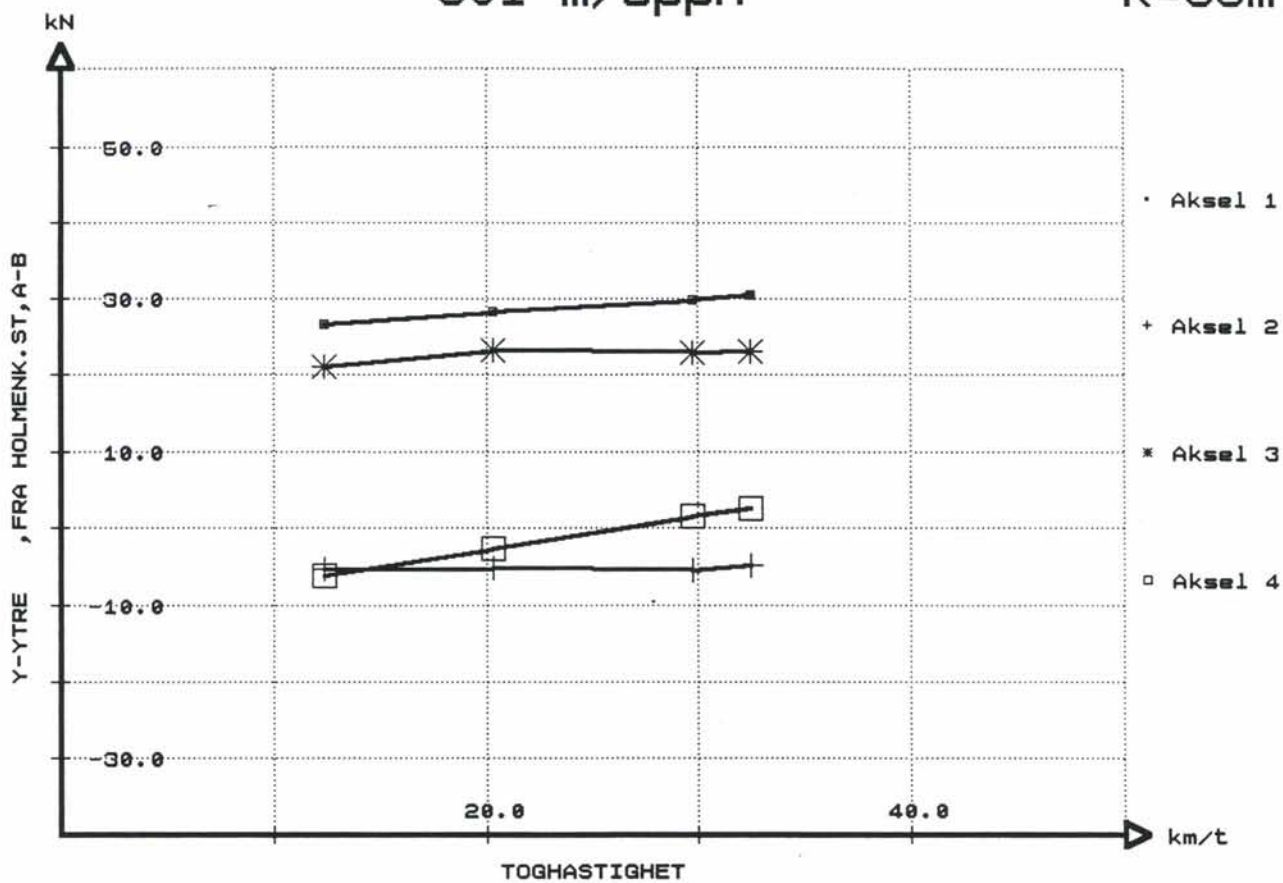
407 m/regn

R=95m



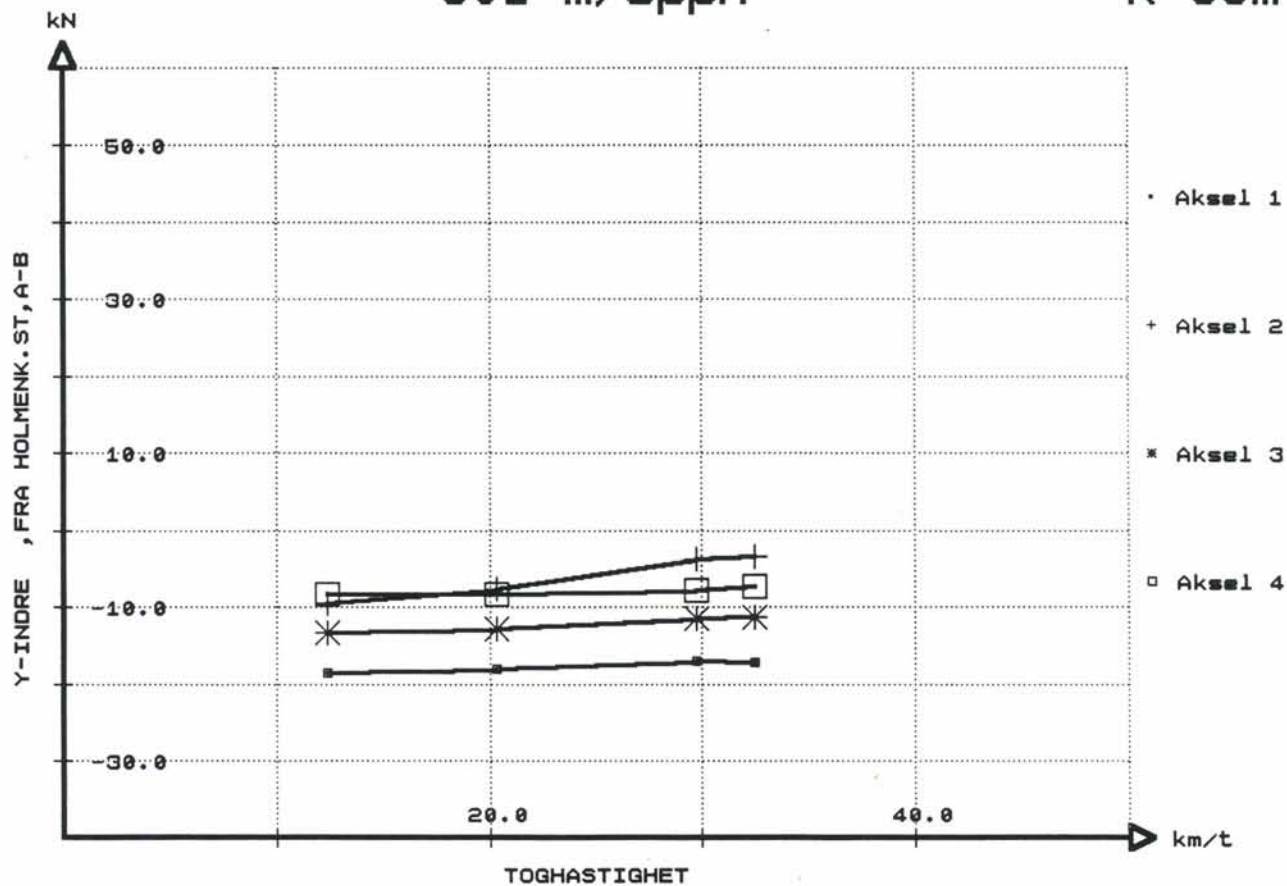
601 m/opph

R=95m



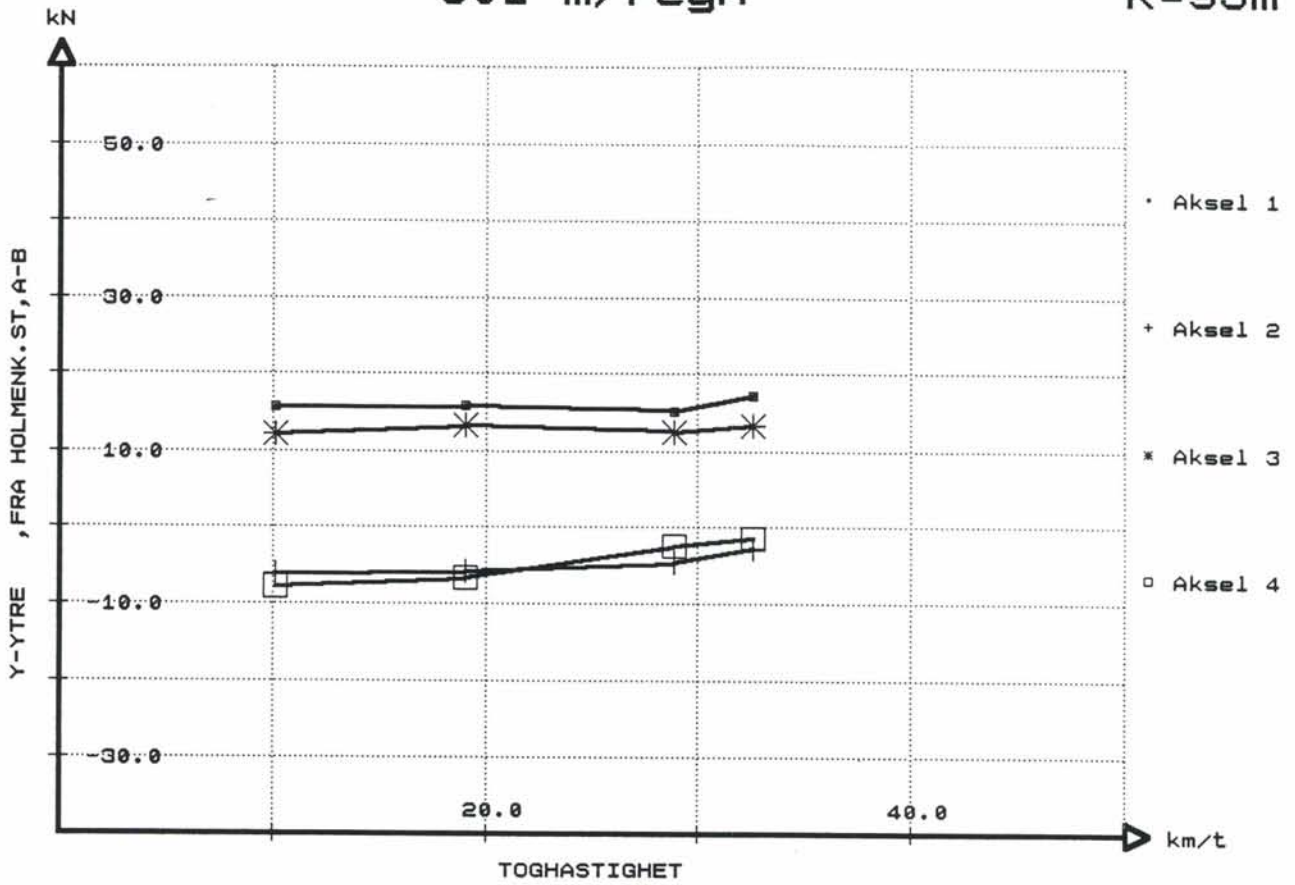
601 m/opph

R=95m



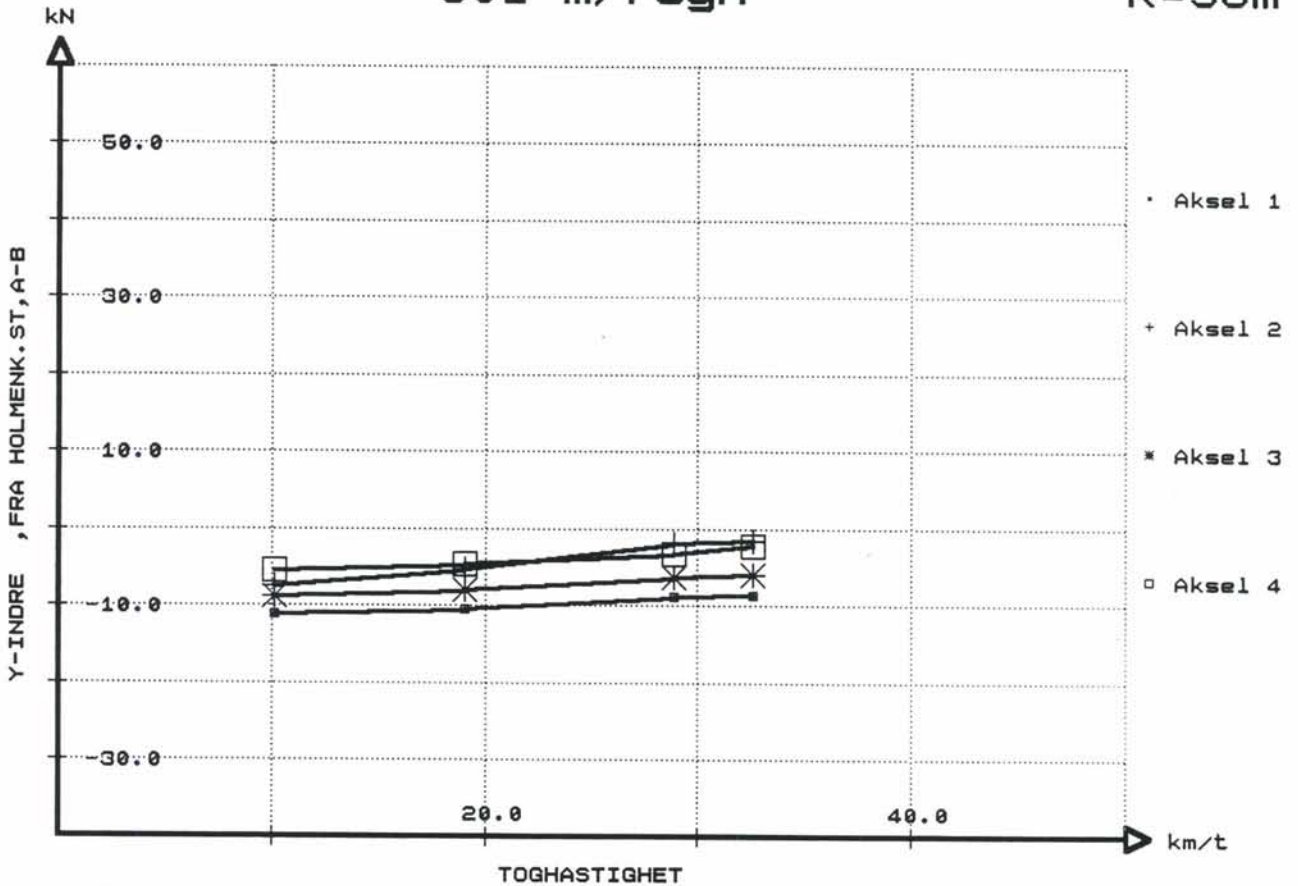
601 m/regn

R=95m



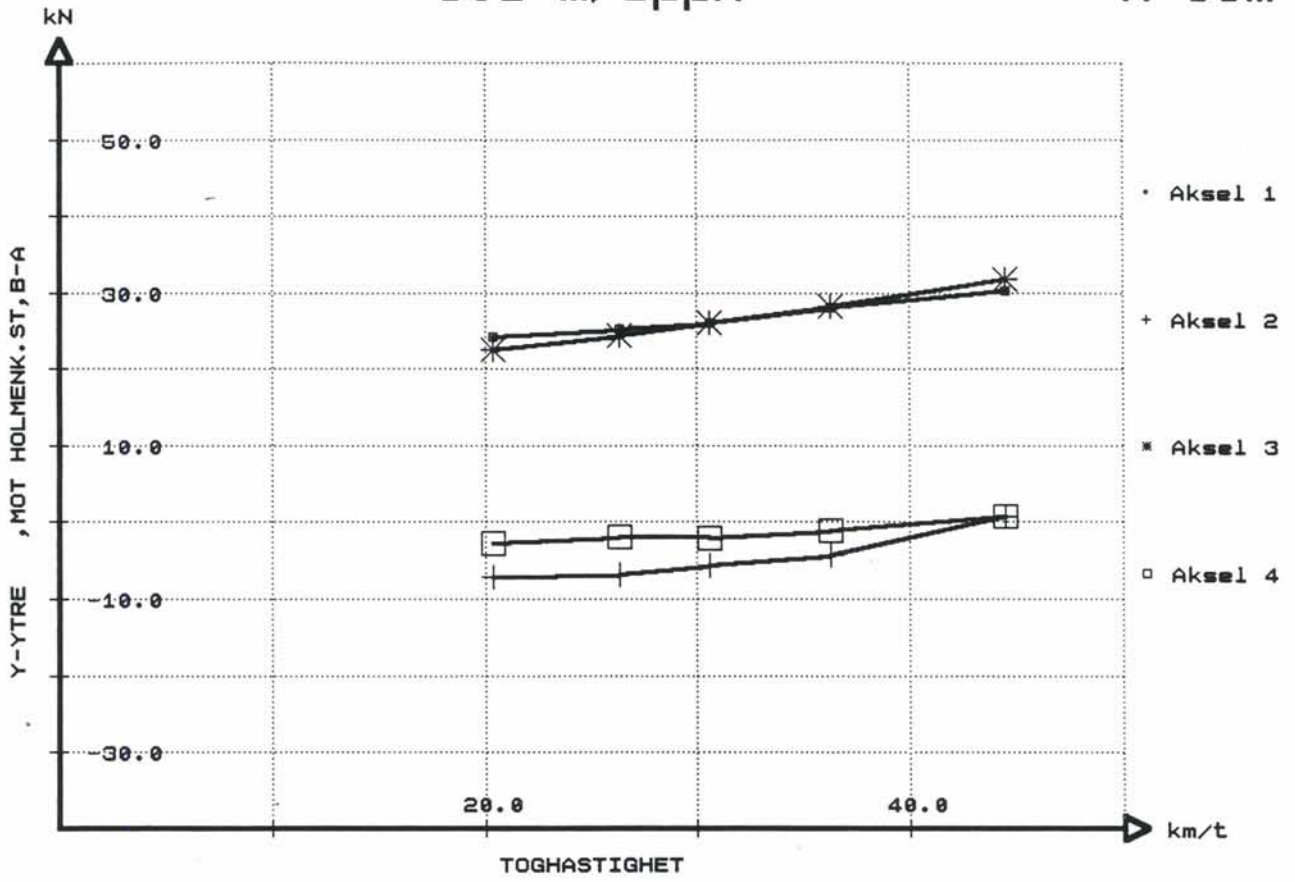
601 m/regn

R=95m



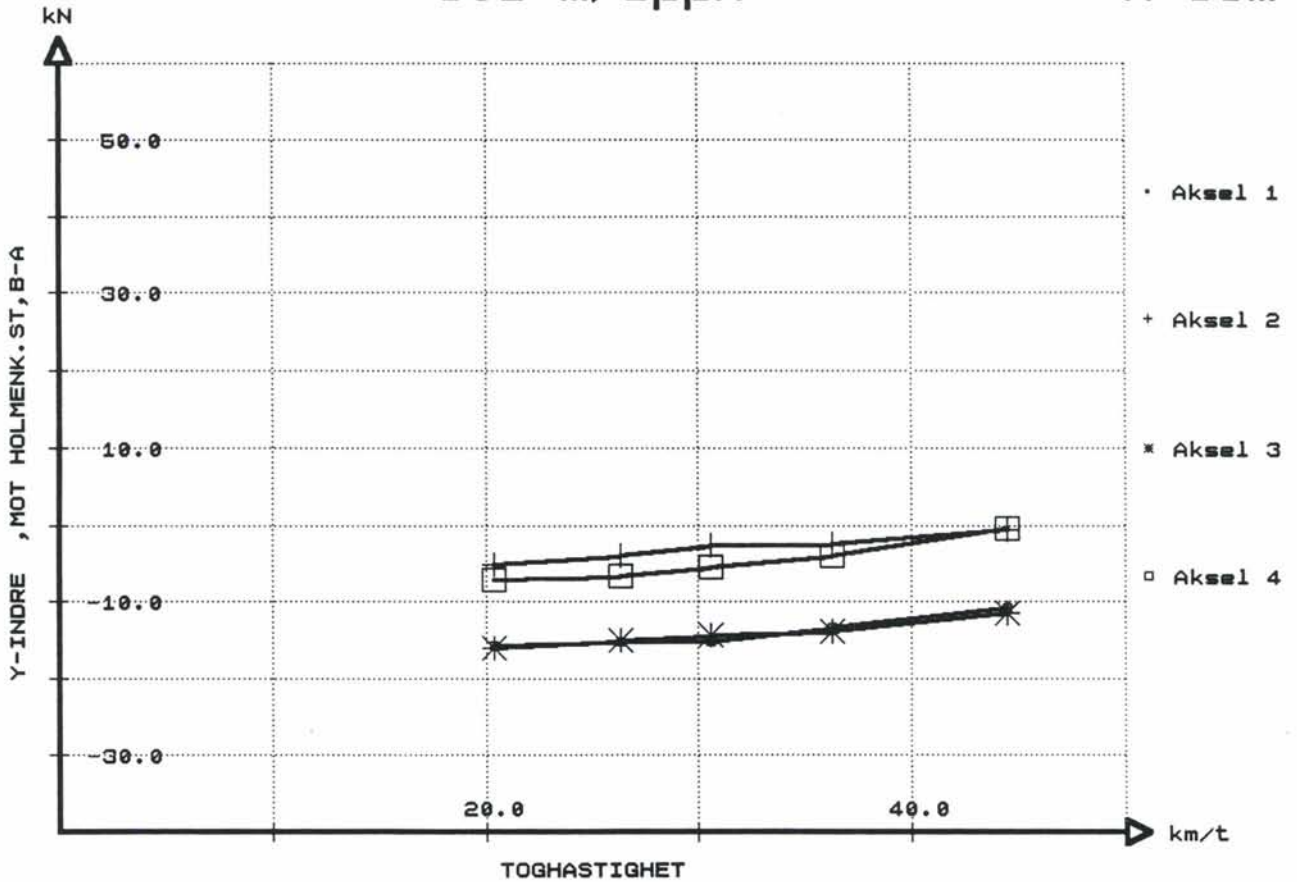
601 m/opph

R=95m



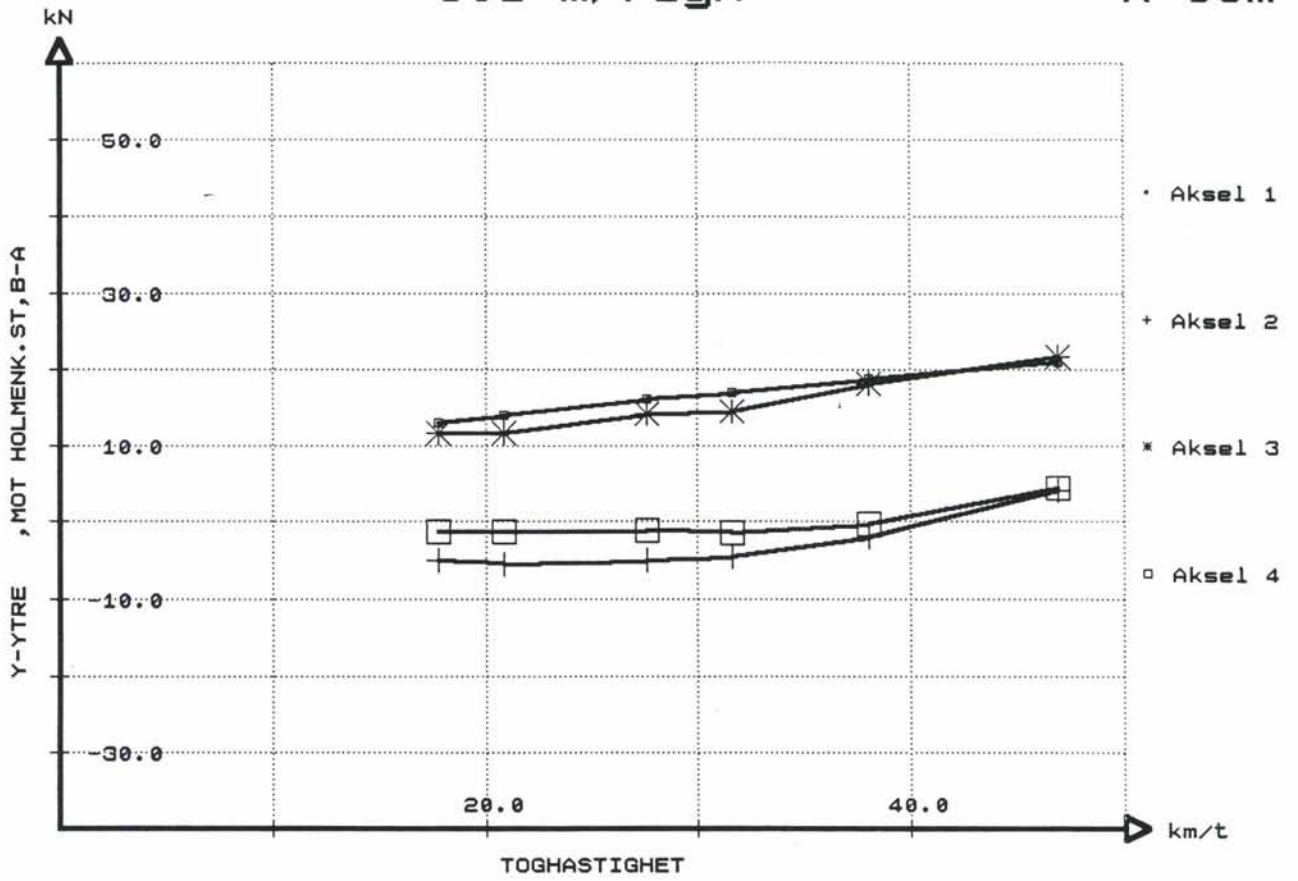
601 m/opph

R=95m



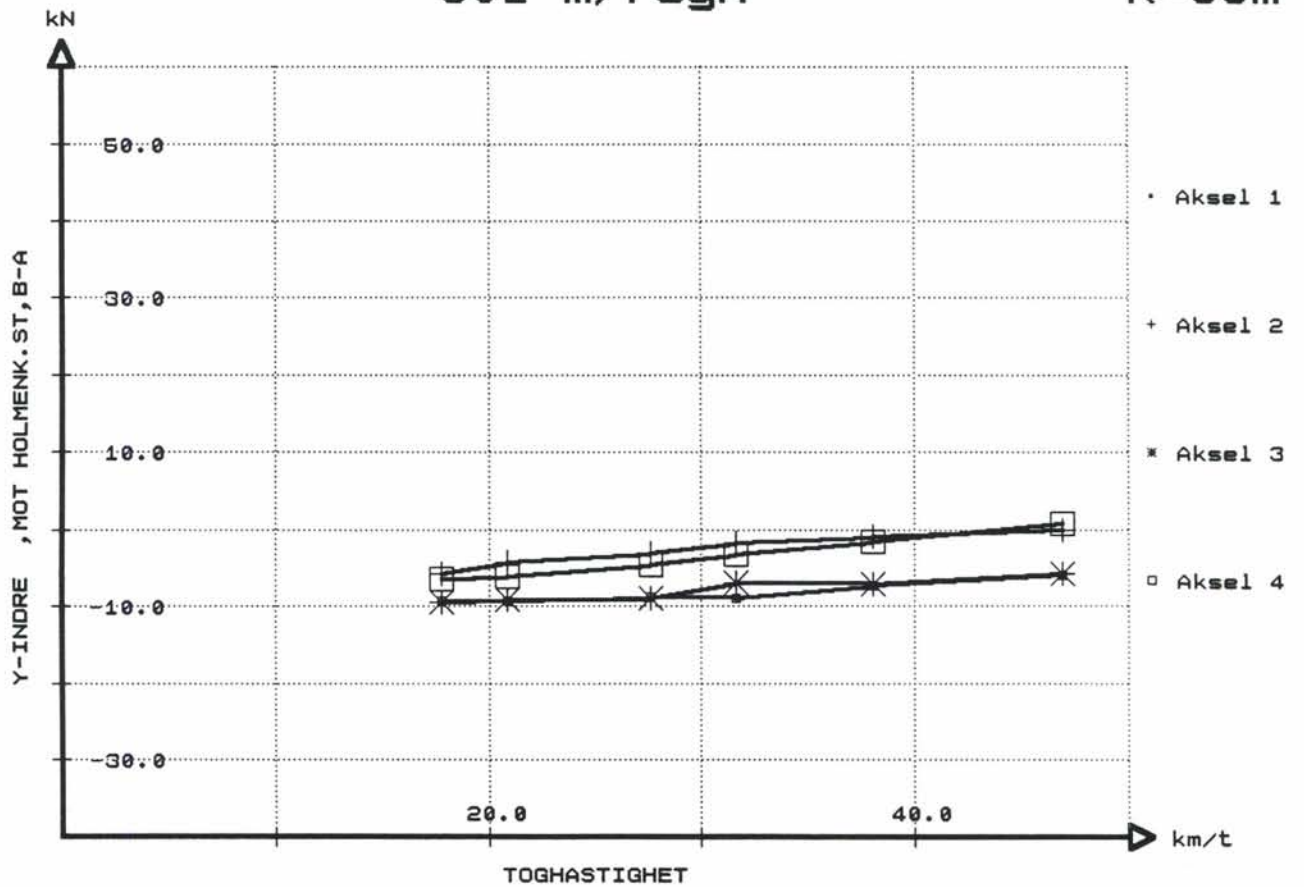
601 m/regn

R=95m



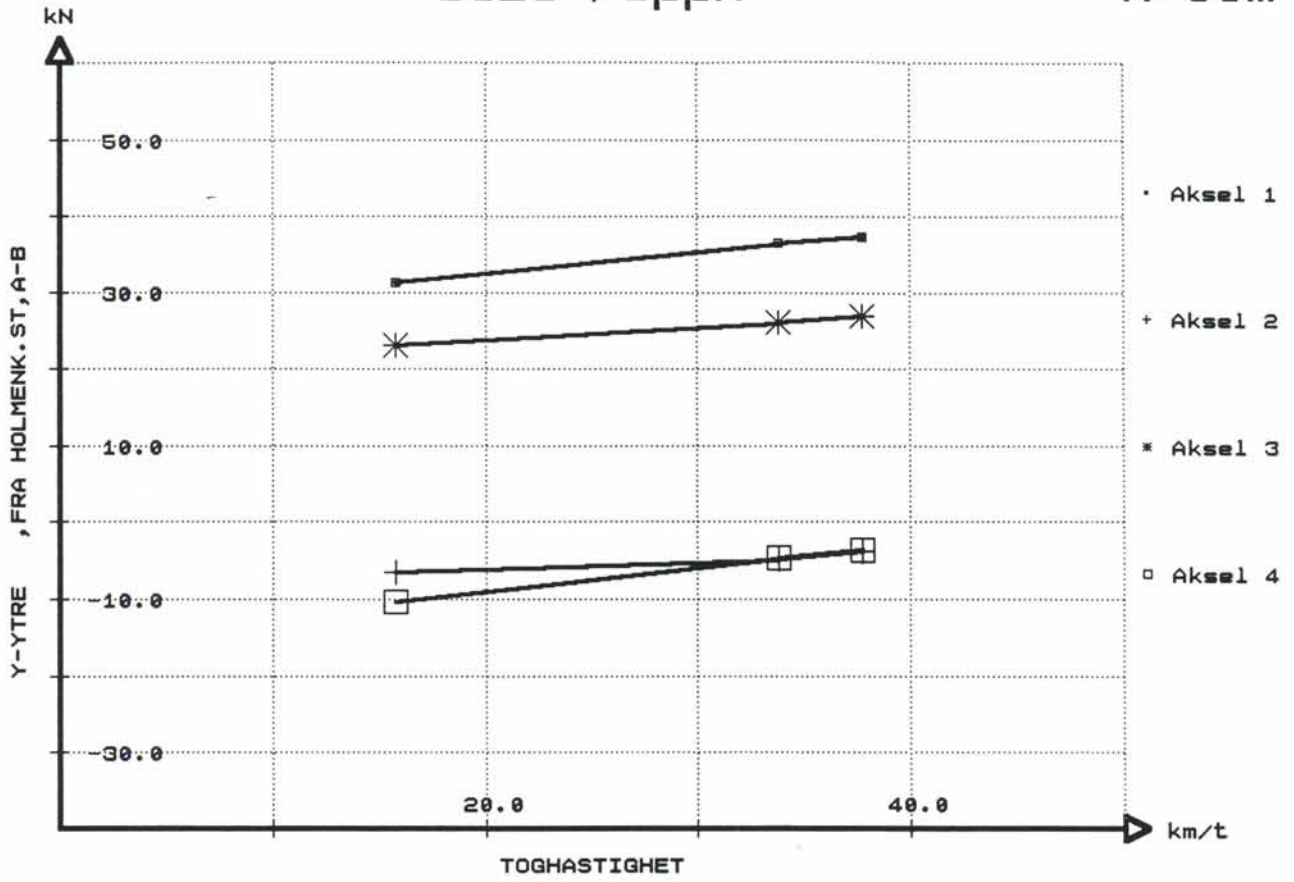
601 m/regn

R=95m



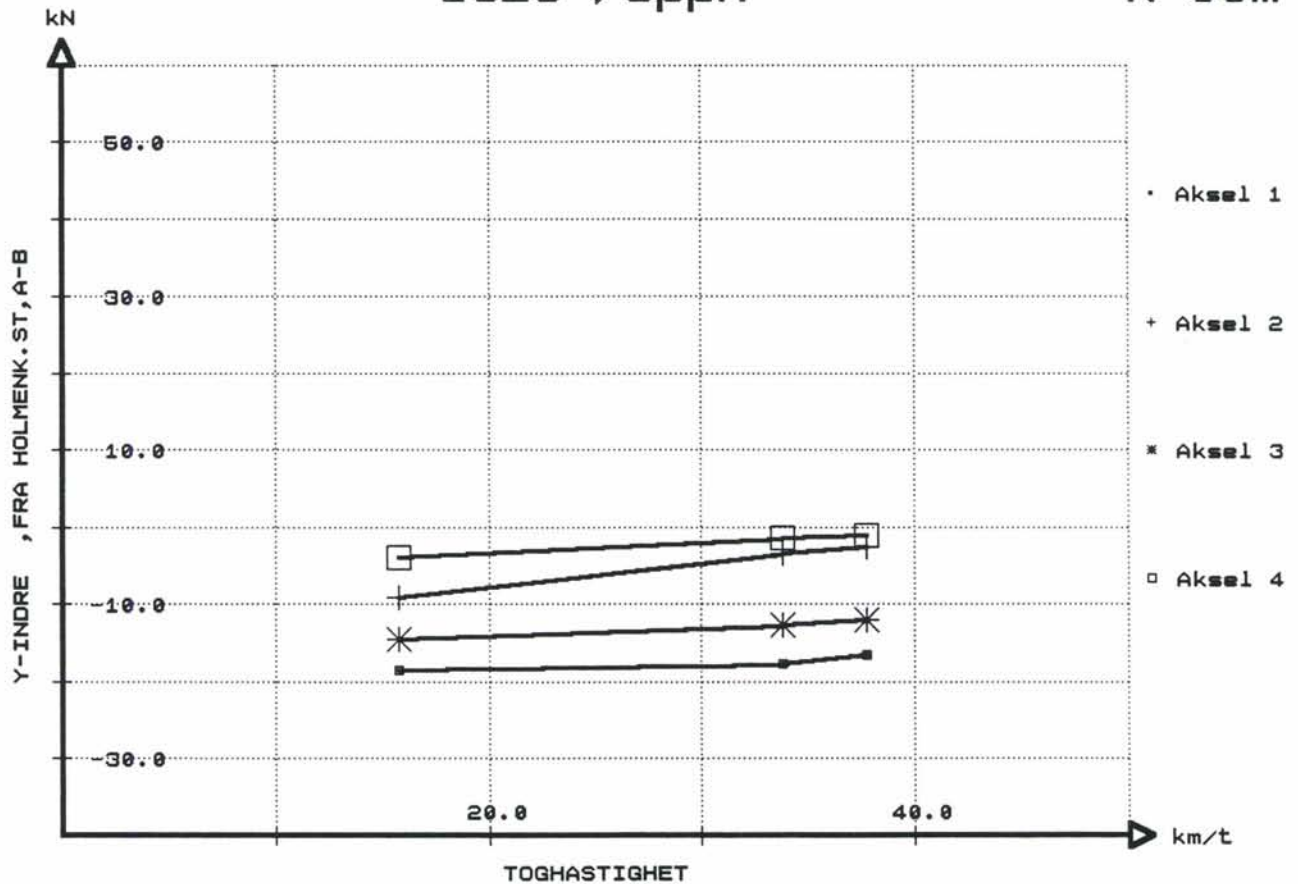
1323 /opph

R=95m



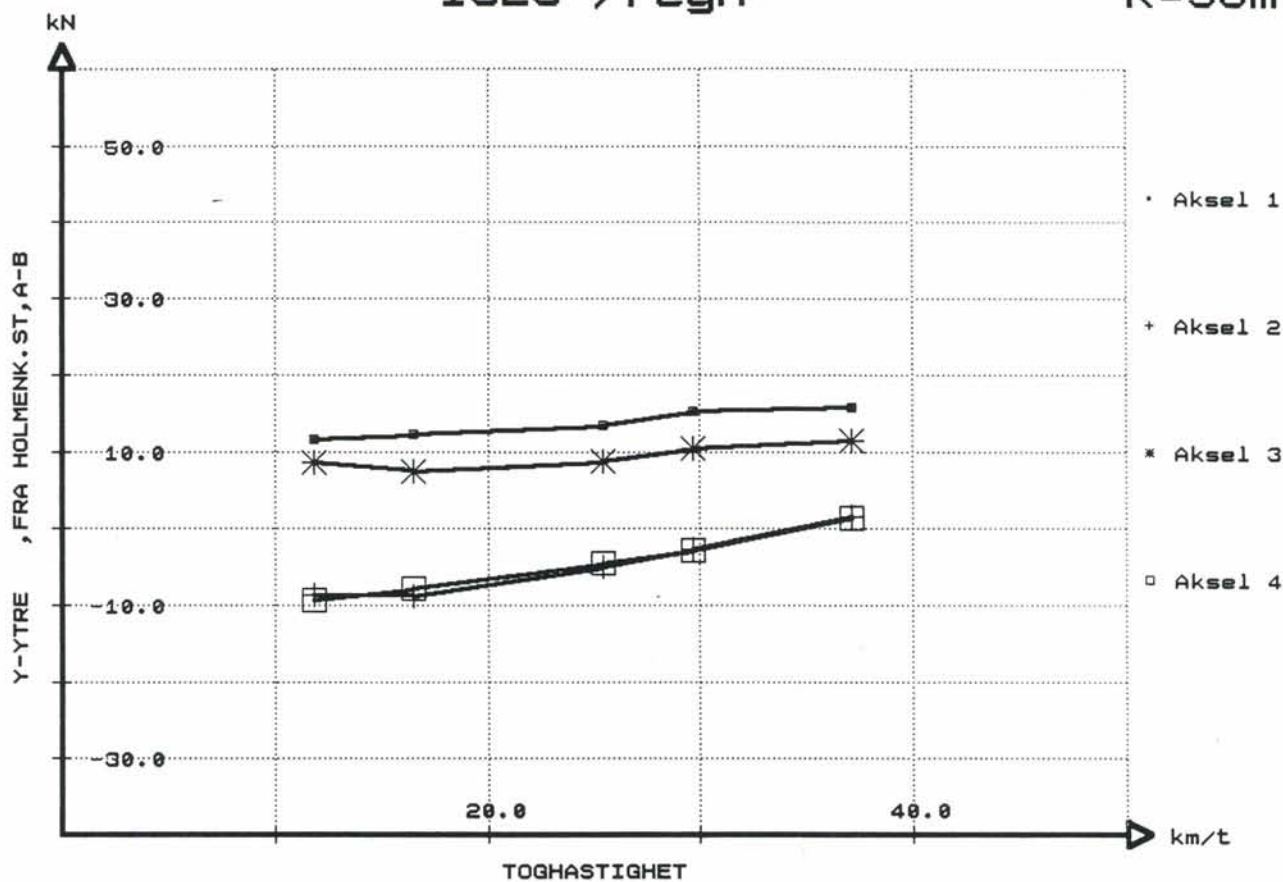
1323 /opph

R=95m



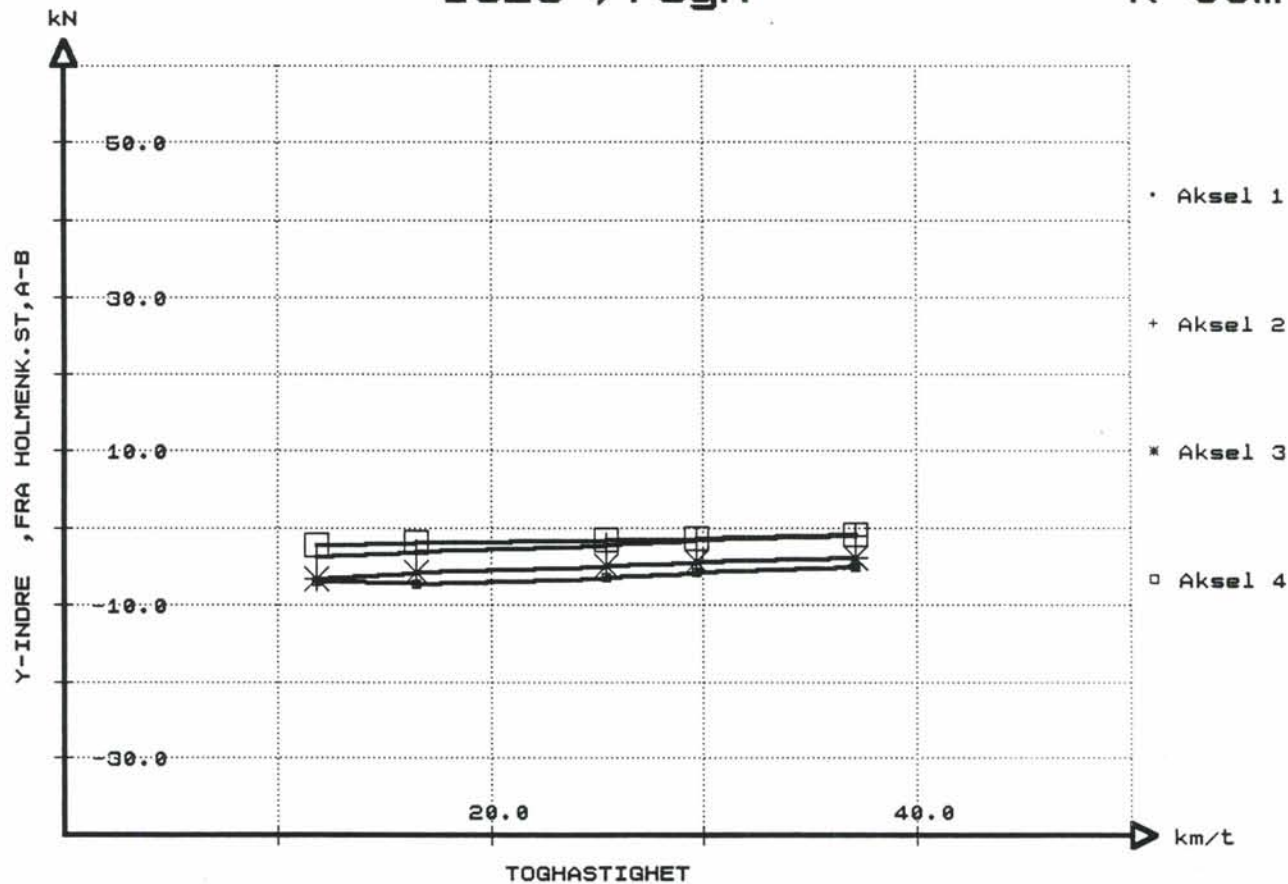
1323 /regn

R=95m



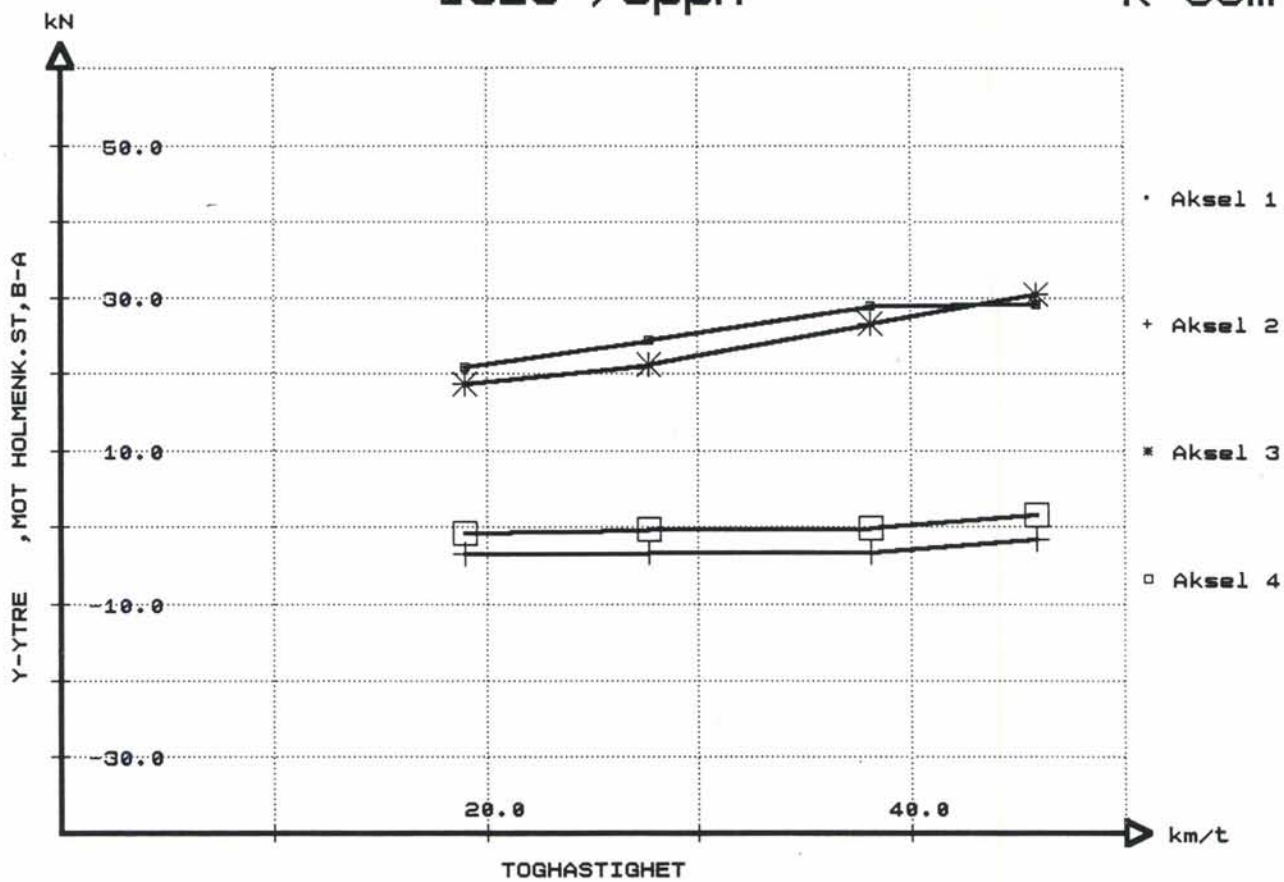
1323 /regn

R=95m



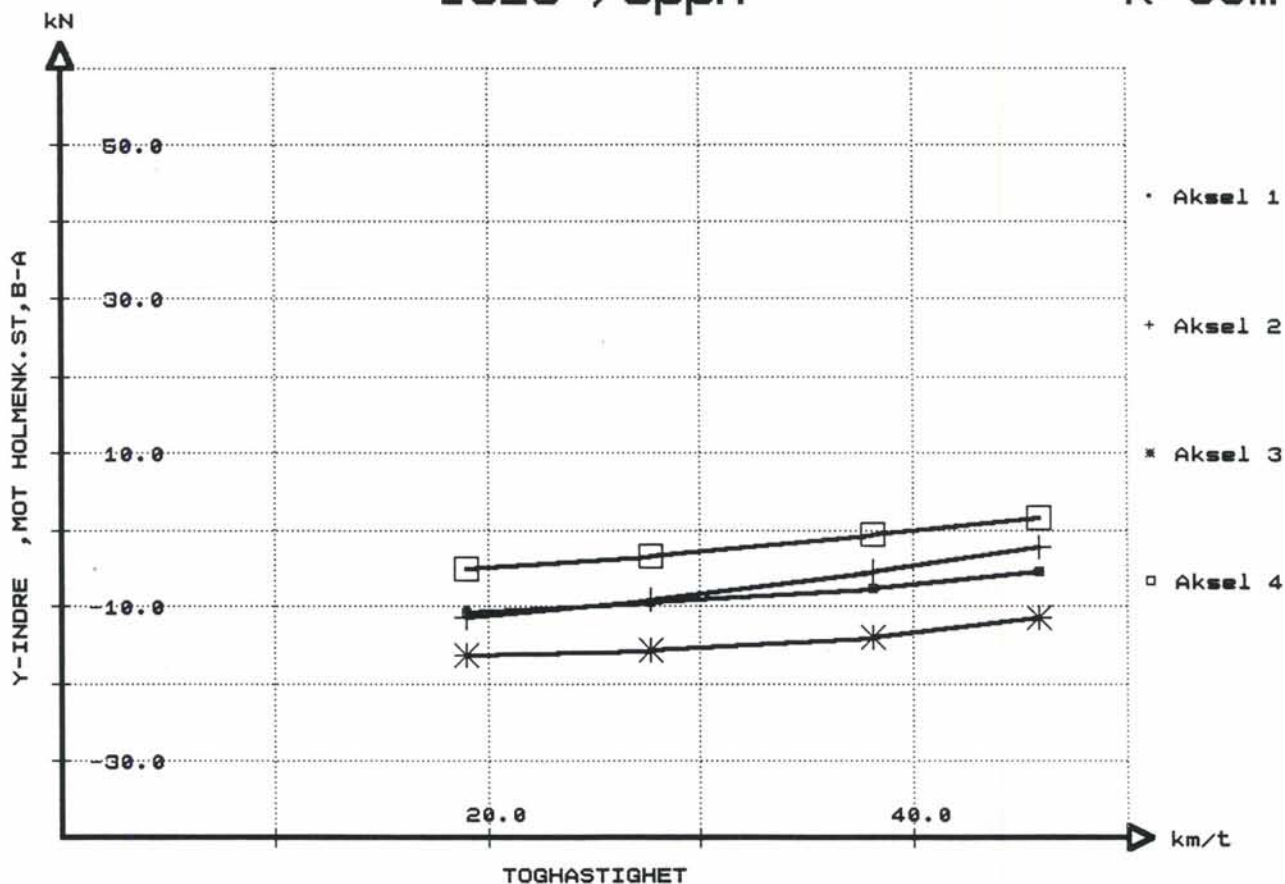
1323 /opph

R=95m



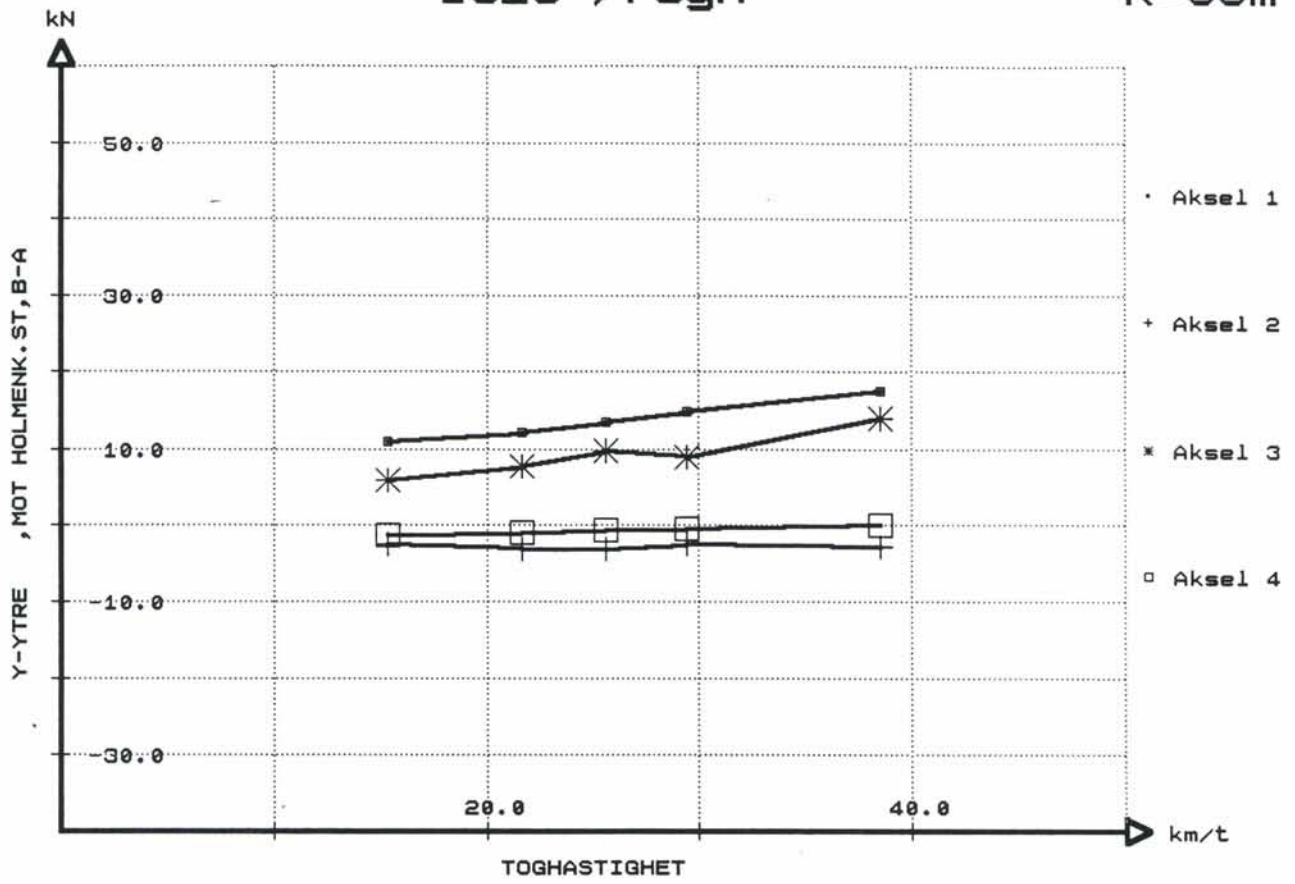
1323 /opph

R=95m



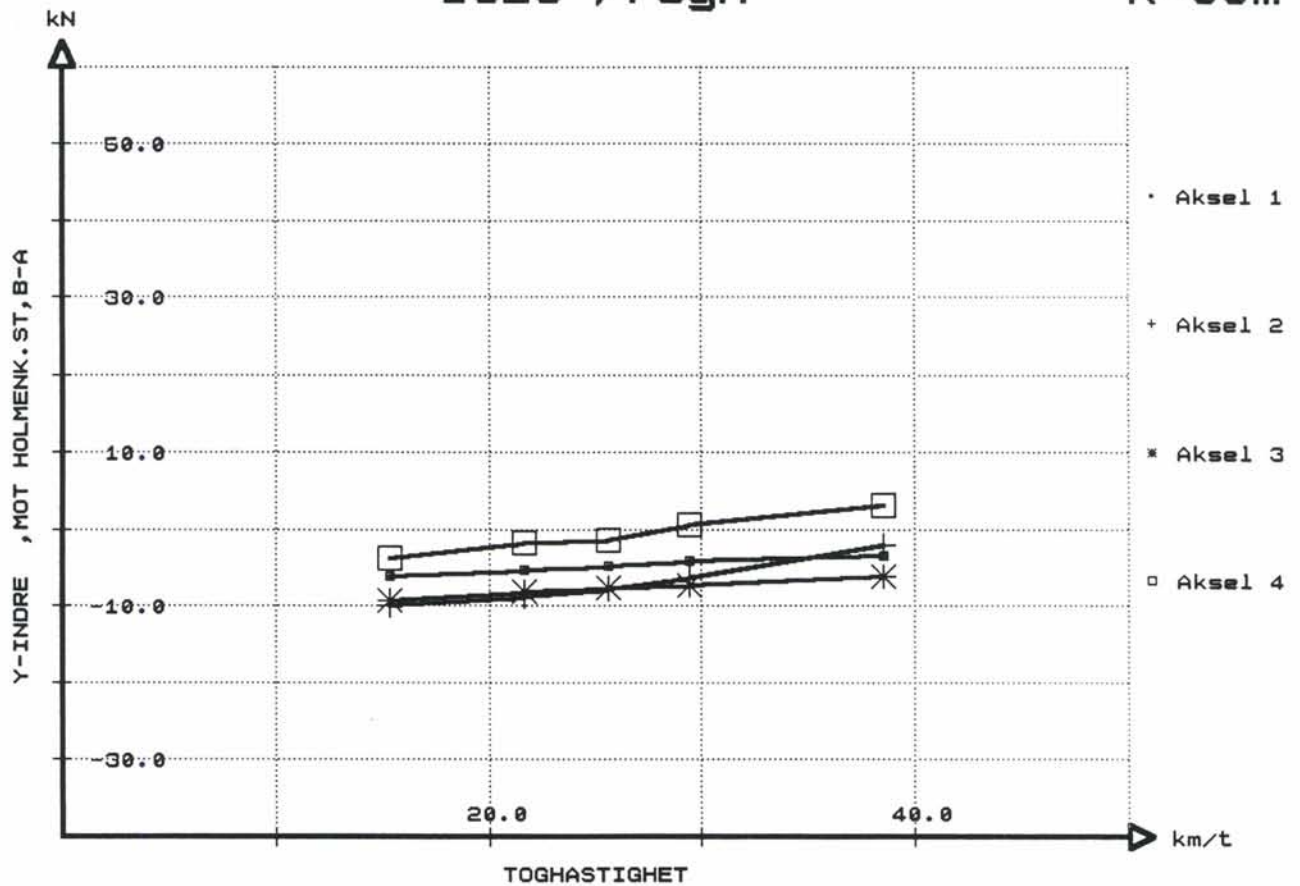
1323 /regn

R=95m



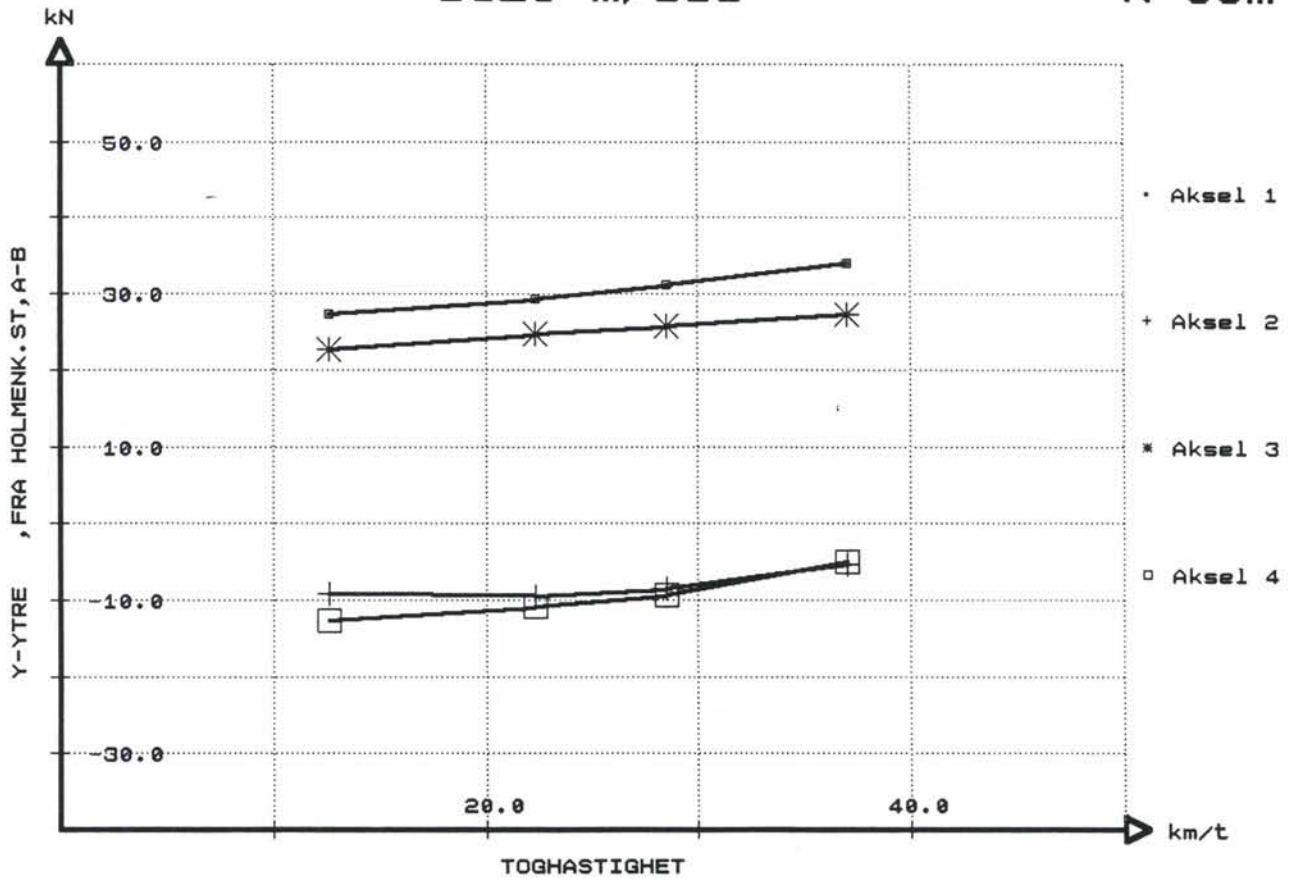
1323 /regn

R=95m



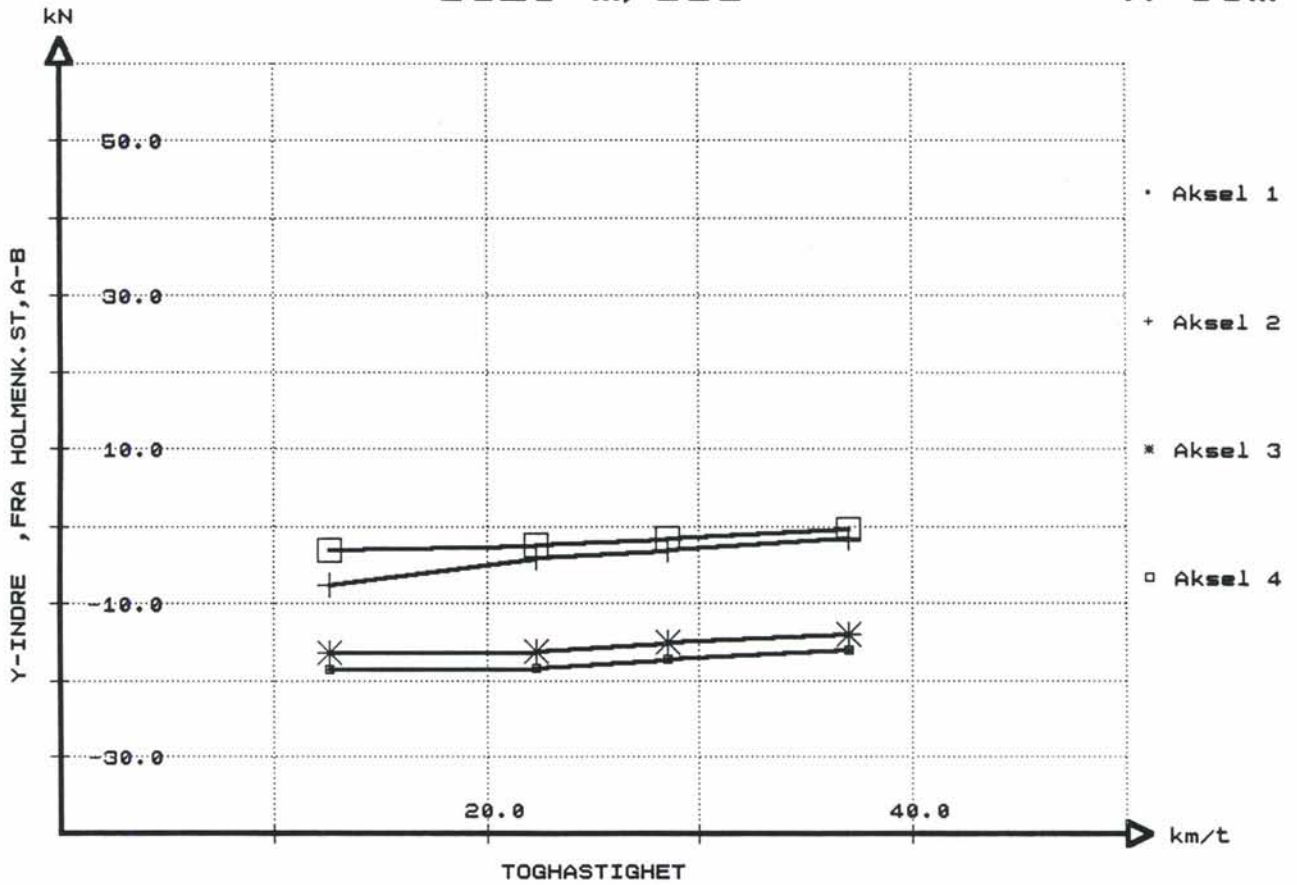
1325 m/sol

R=95m



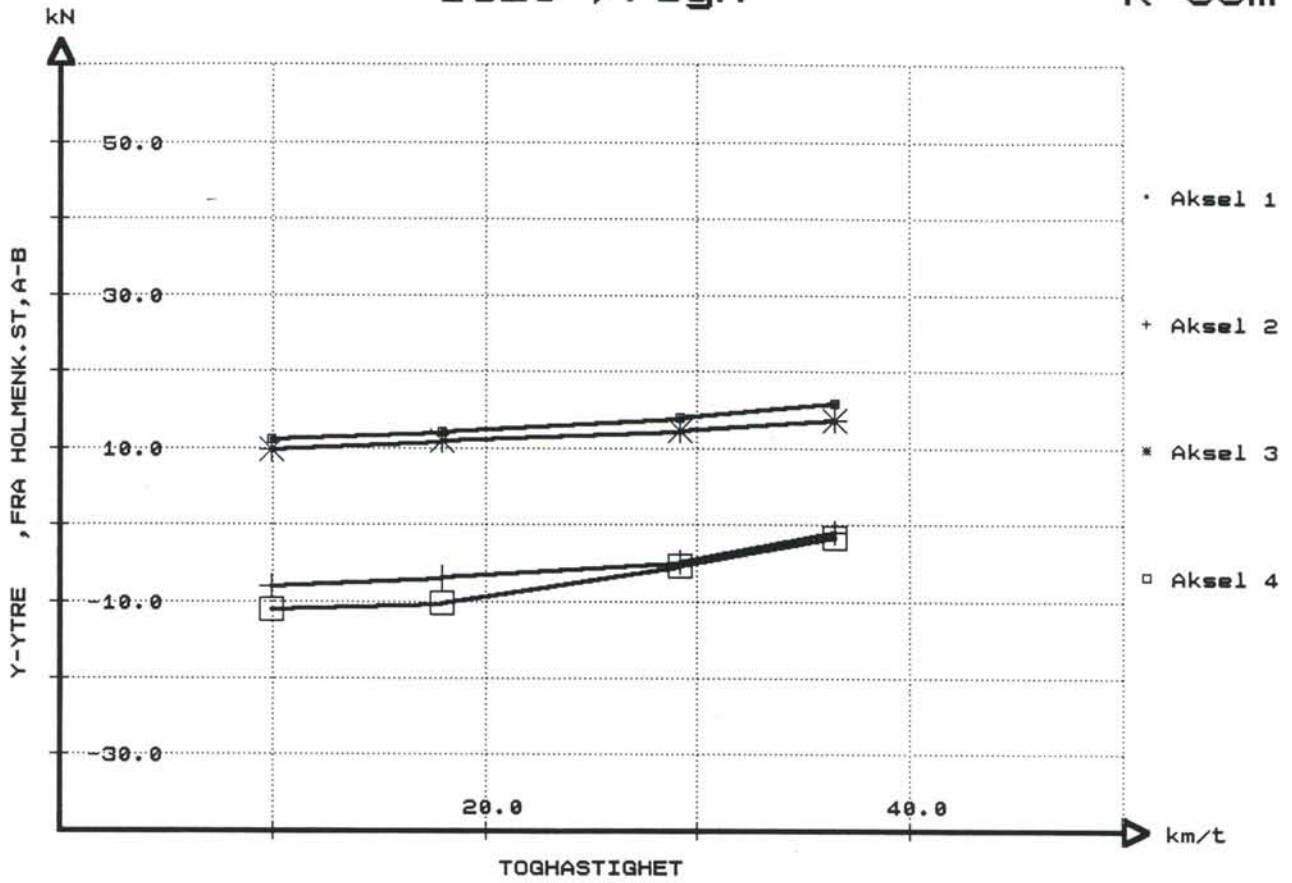
1325 m/sol

R=95m



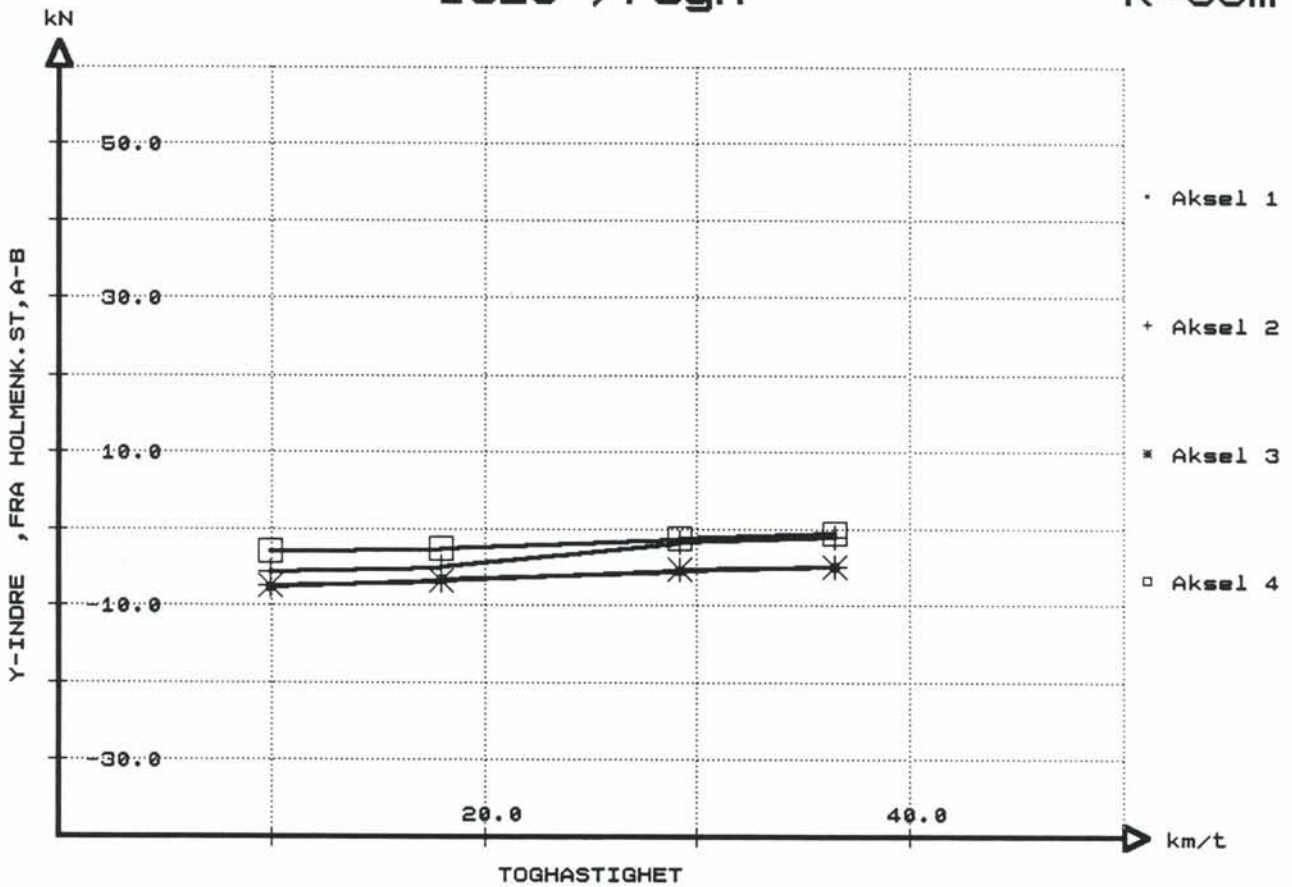
1325 /regn

R=95m



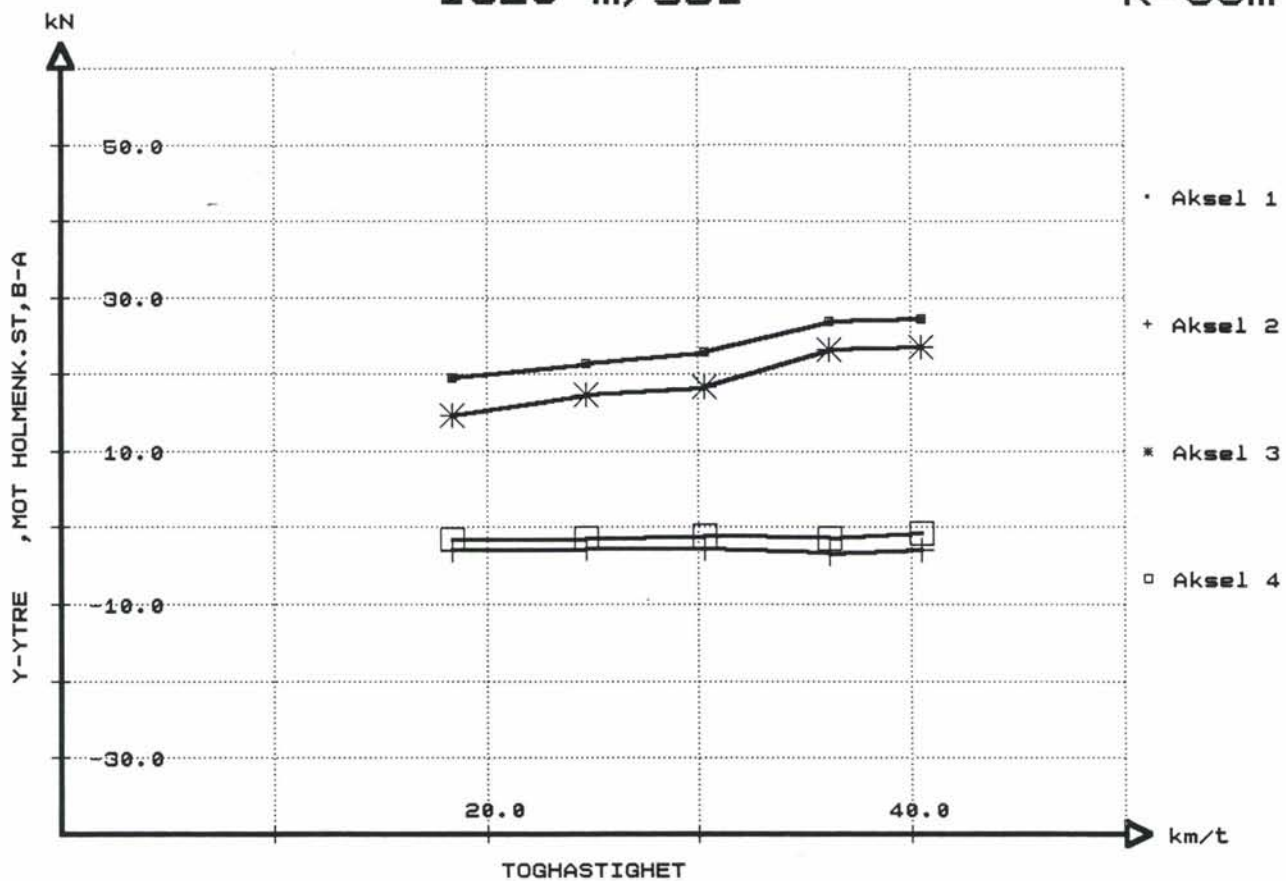
1325 /regn

R=95m



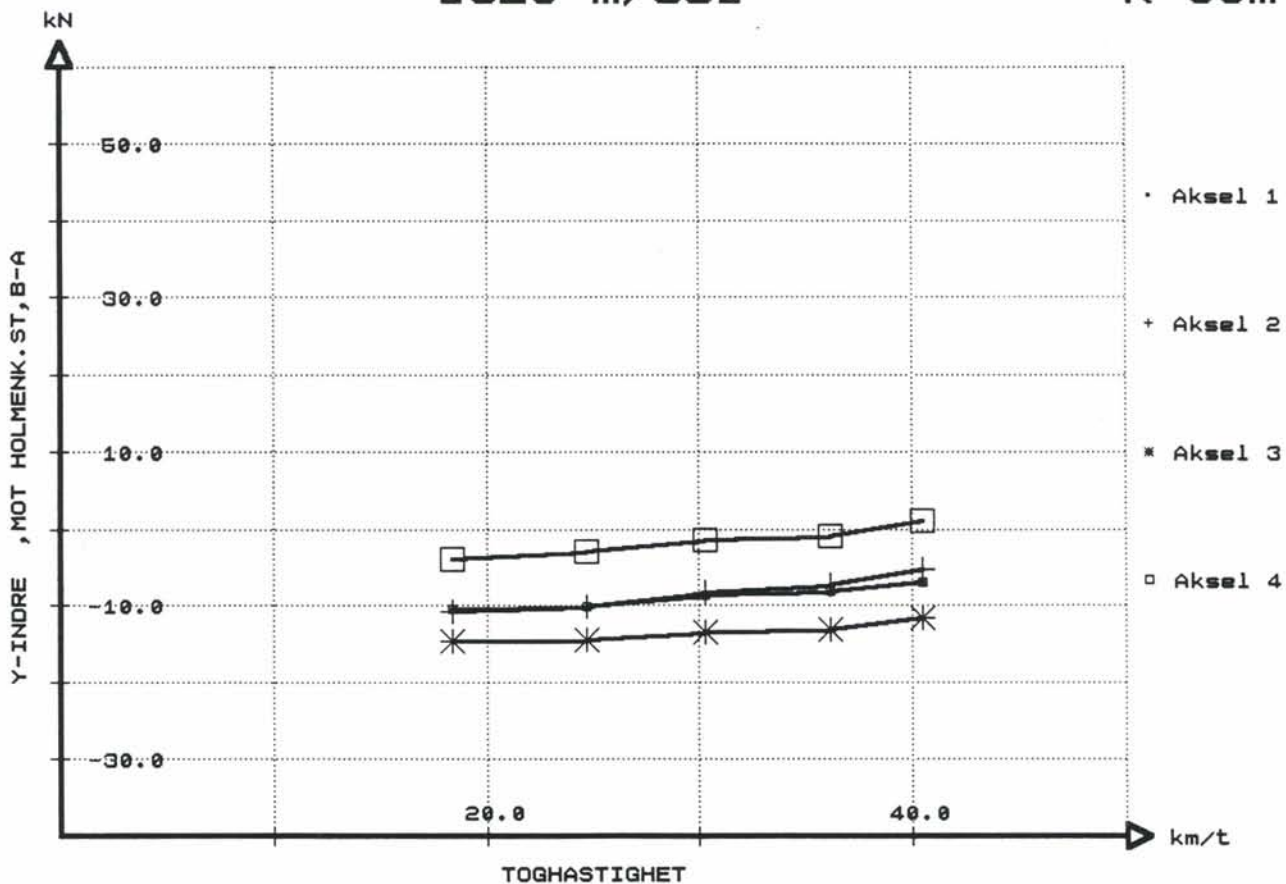
1325 m/sol

R=95m



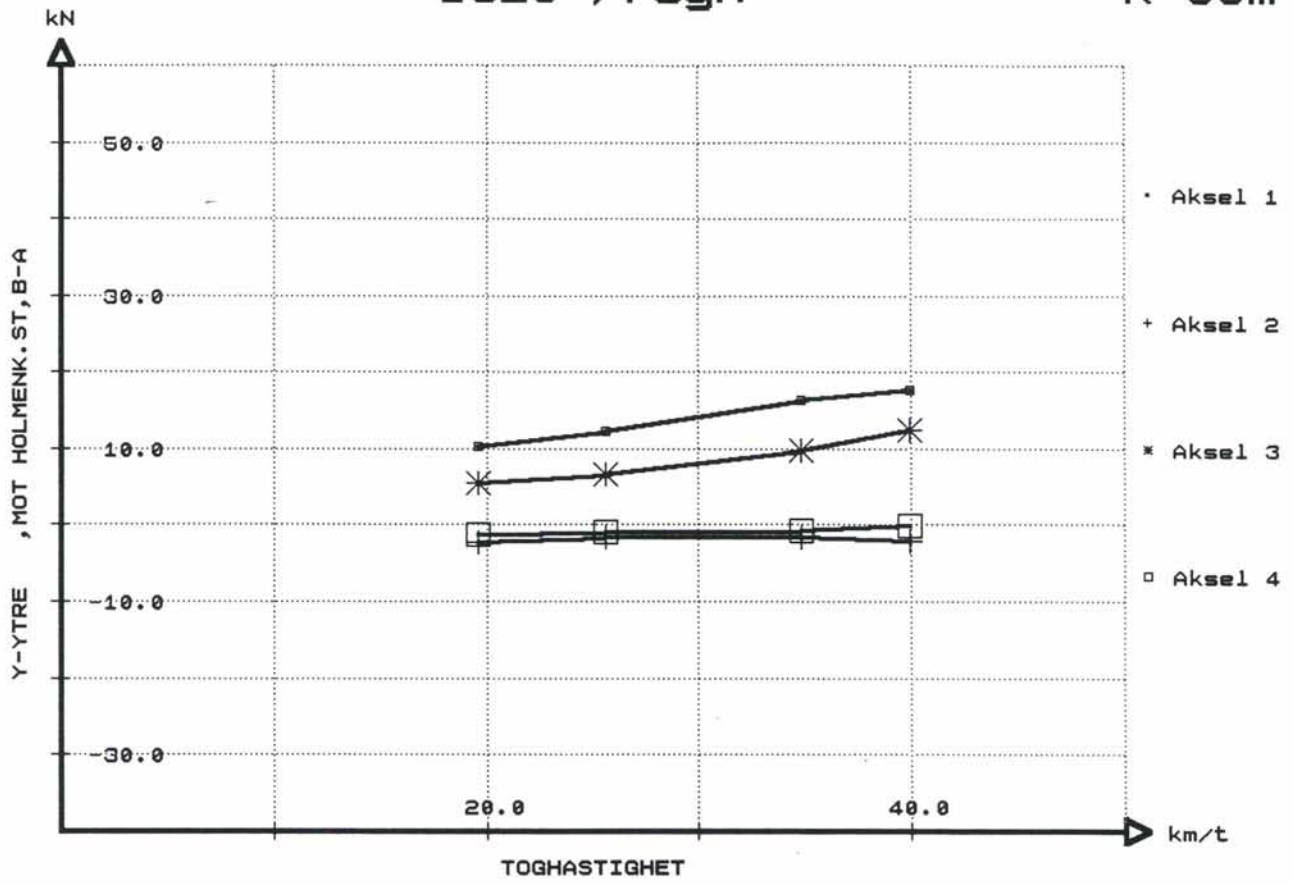
1325 m/sol

R=95m



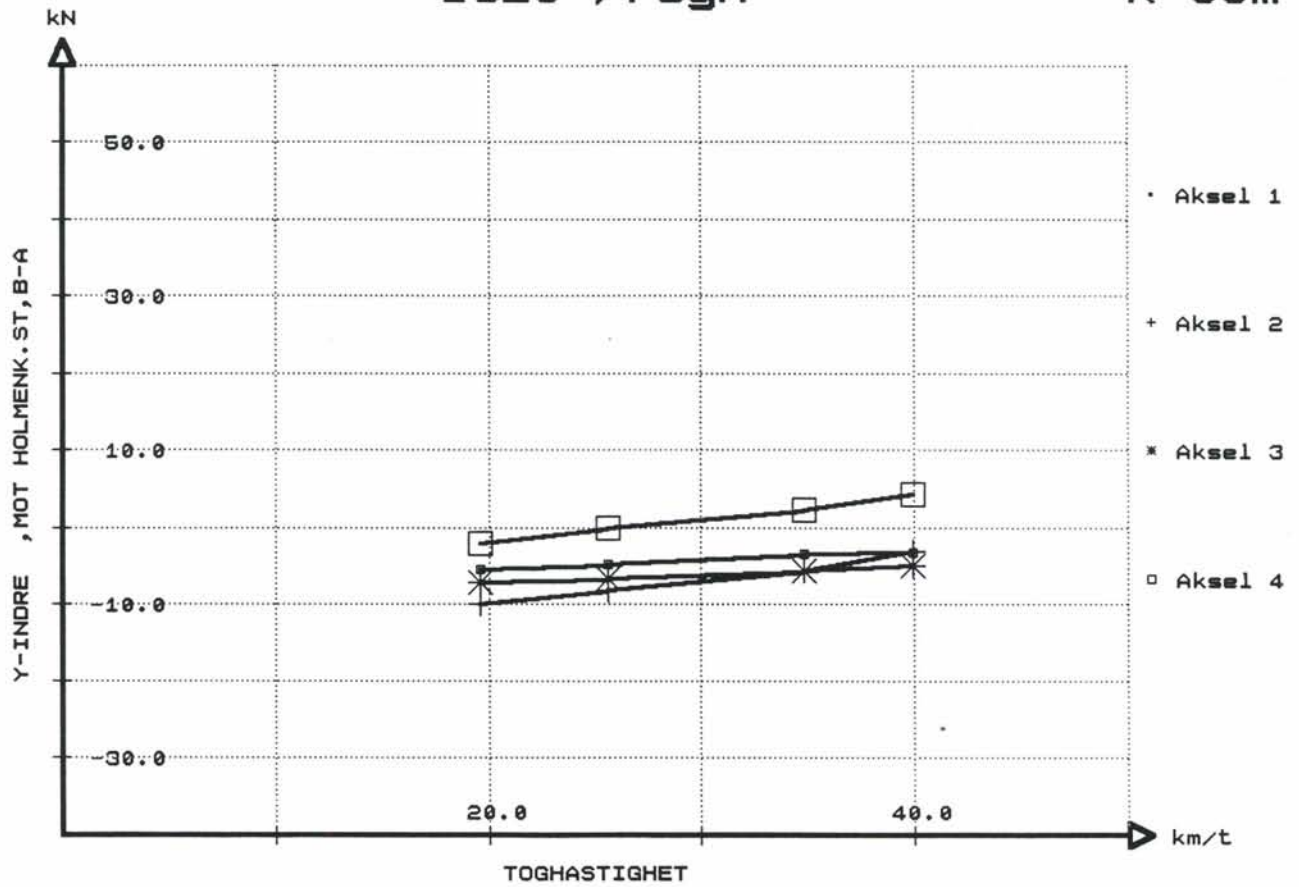
1325 /regn

R=95m



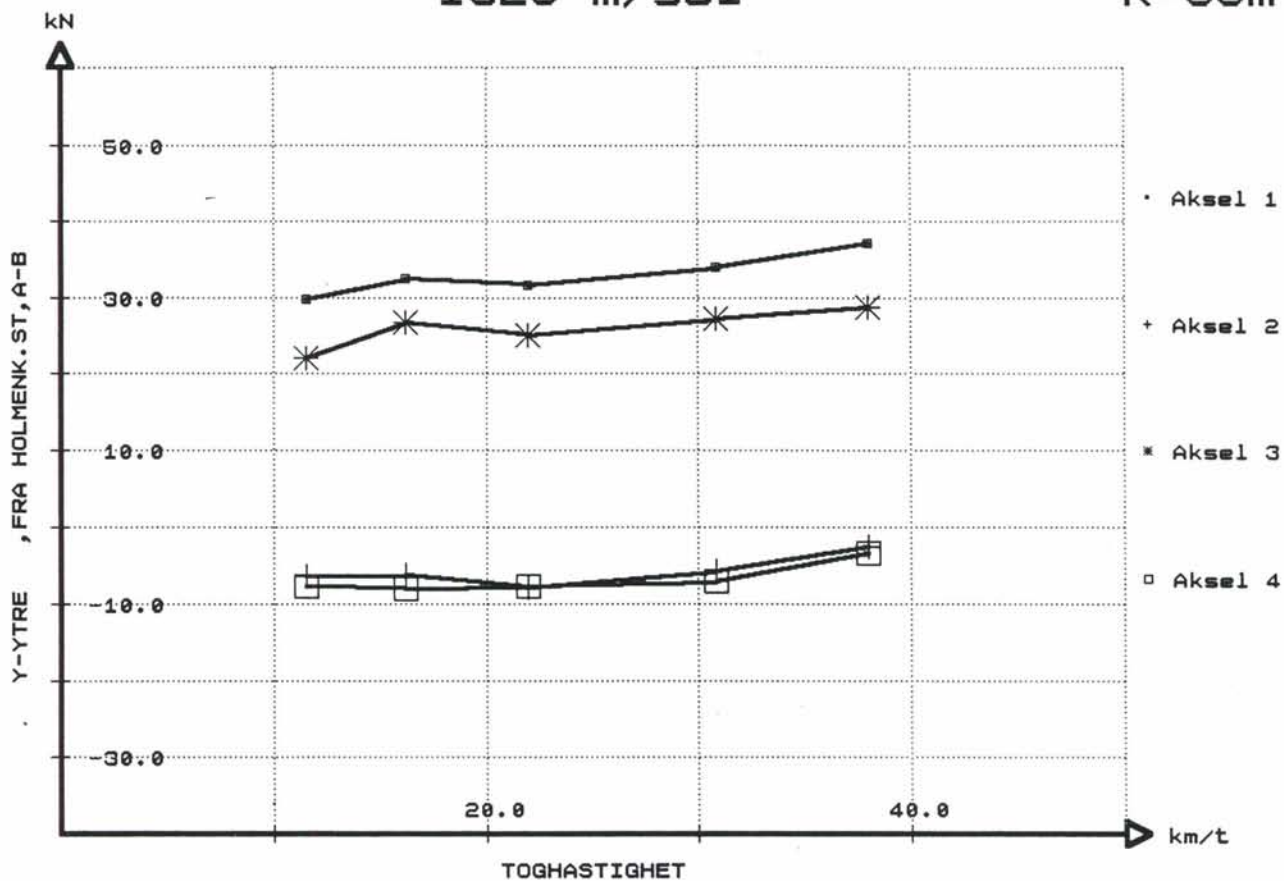
1325 /regn

R=95m



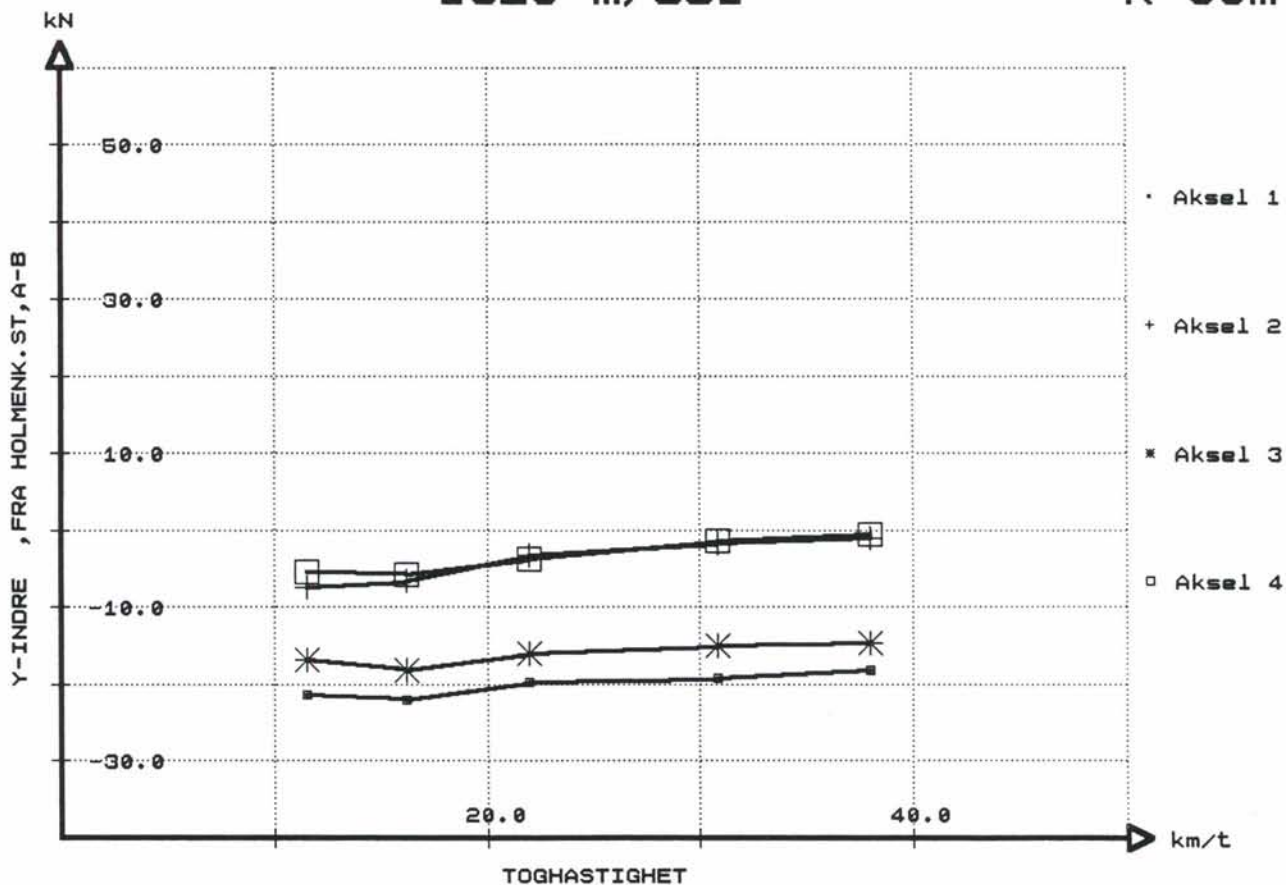
1326 m/sol

R=95m



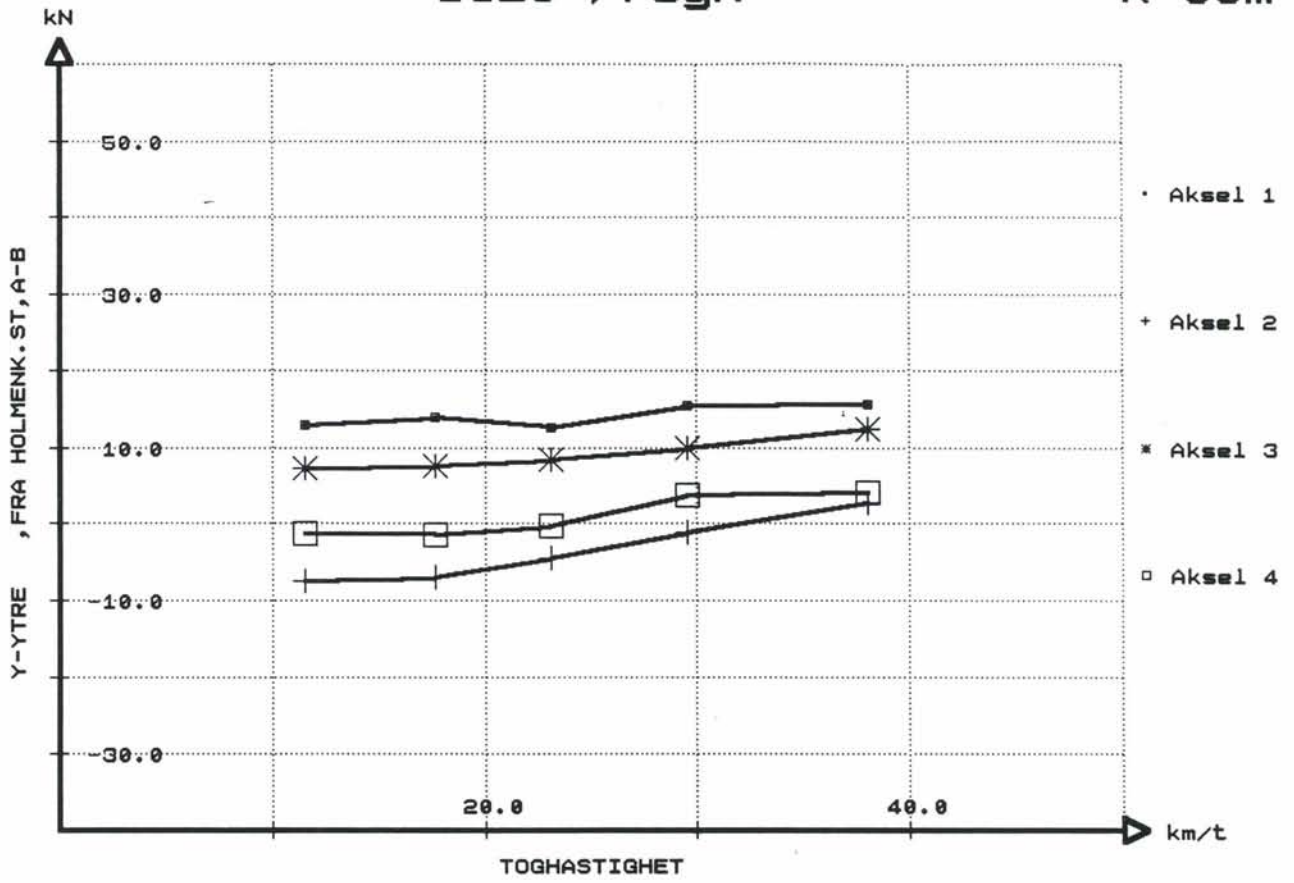
1326 m/sol

R=95m



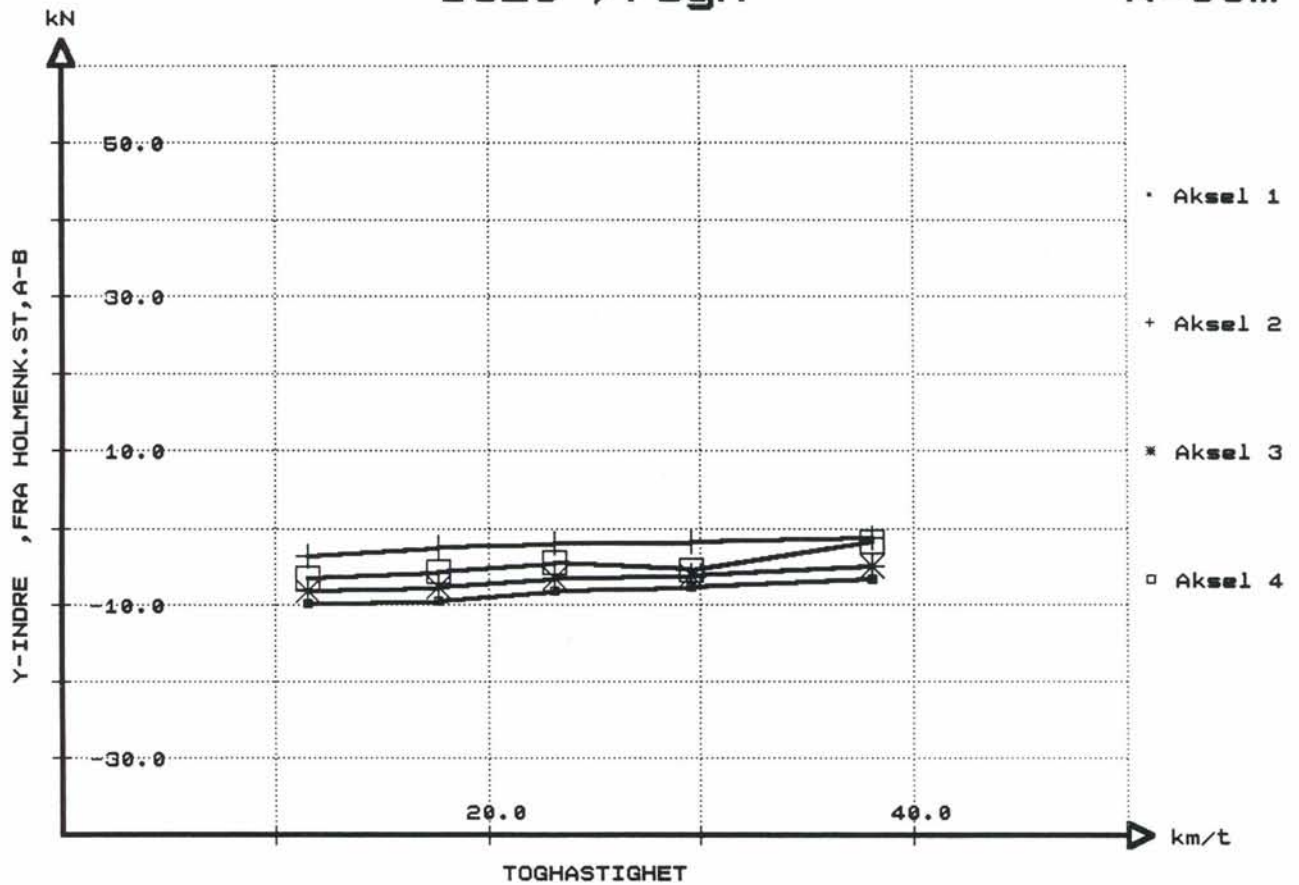
1326 /regn

R=95m



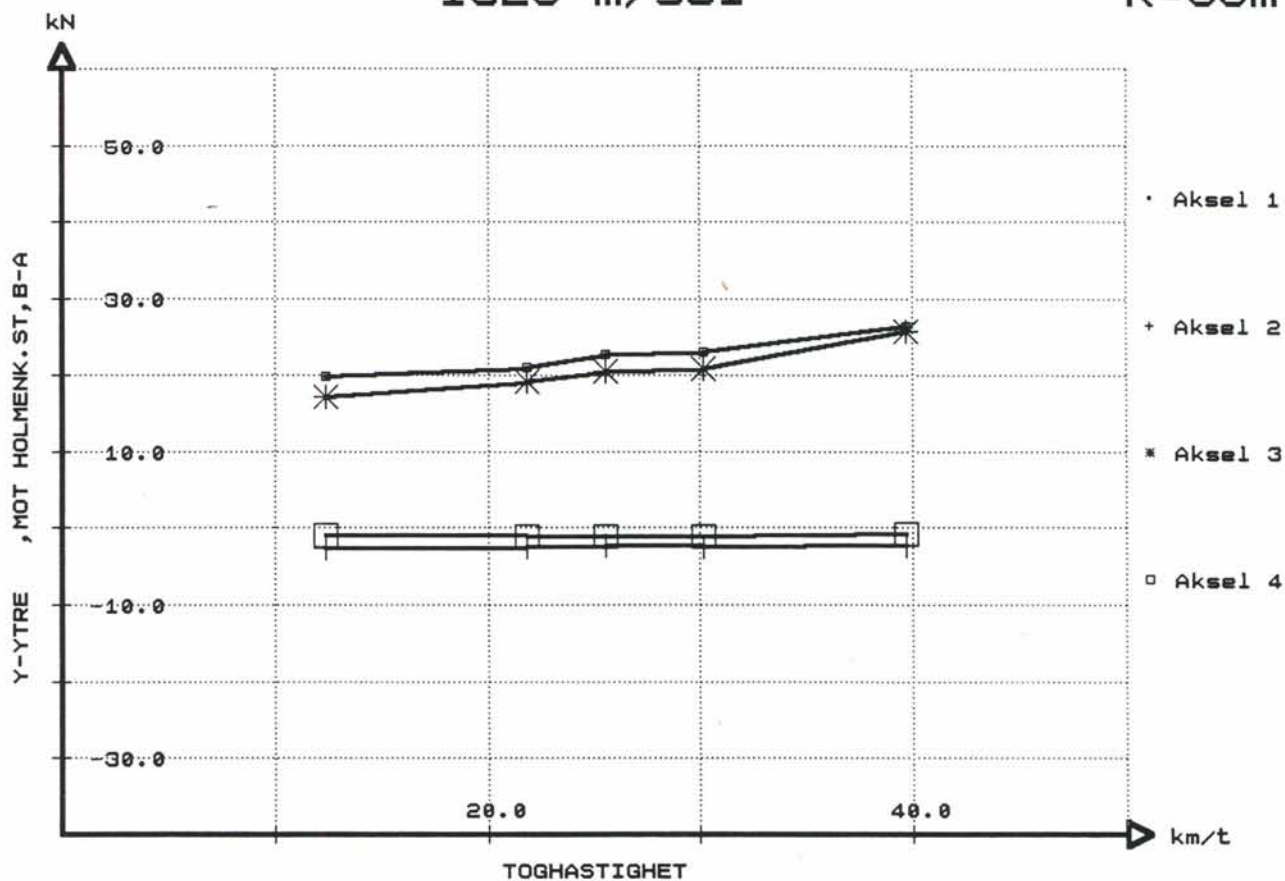
1326 /regn

R=95m



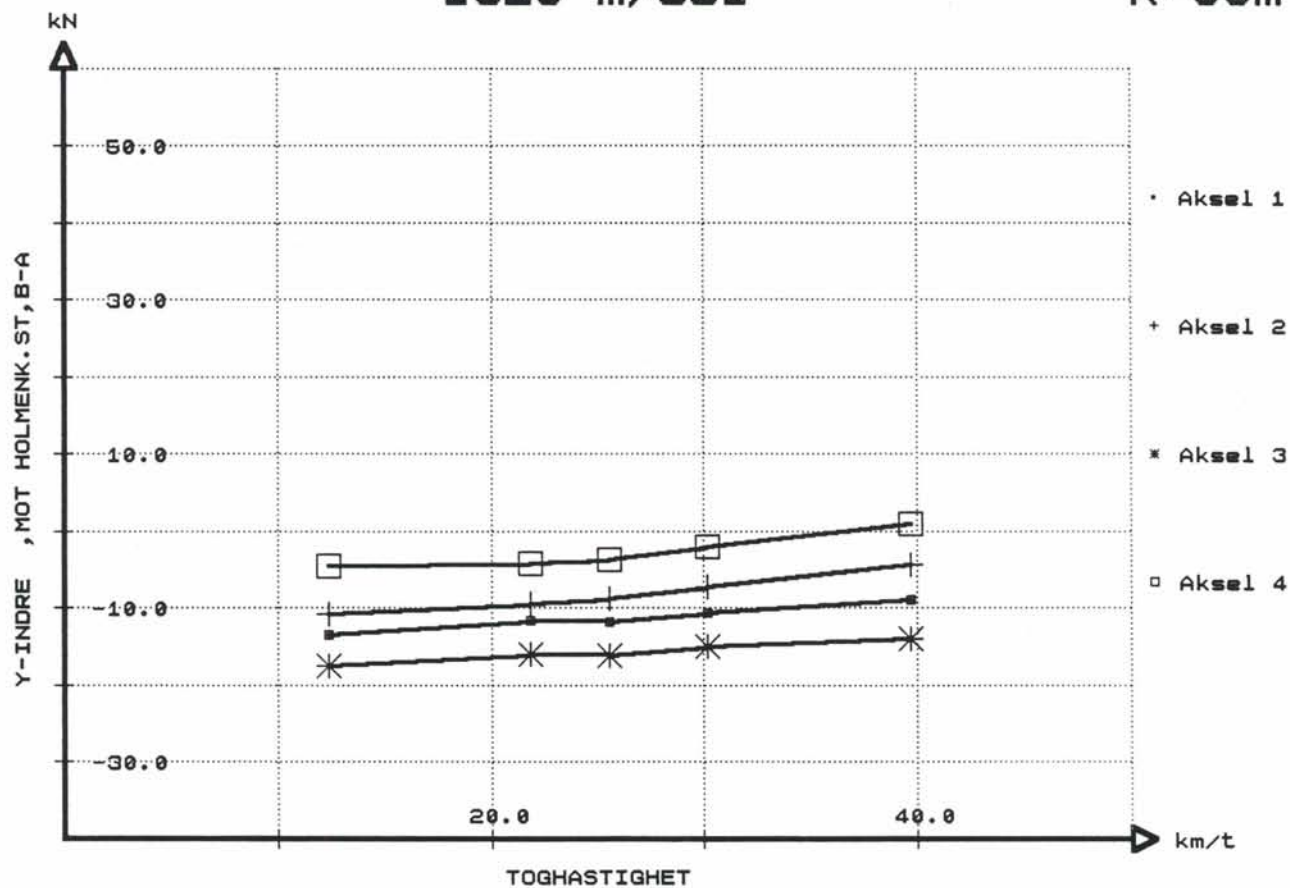
1326 m/sol

R=95m



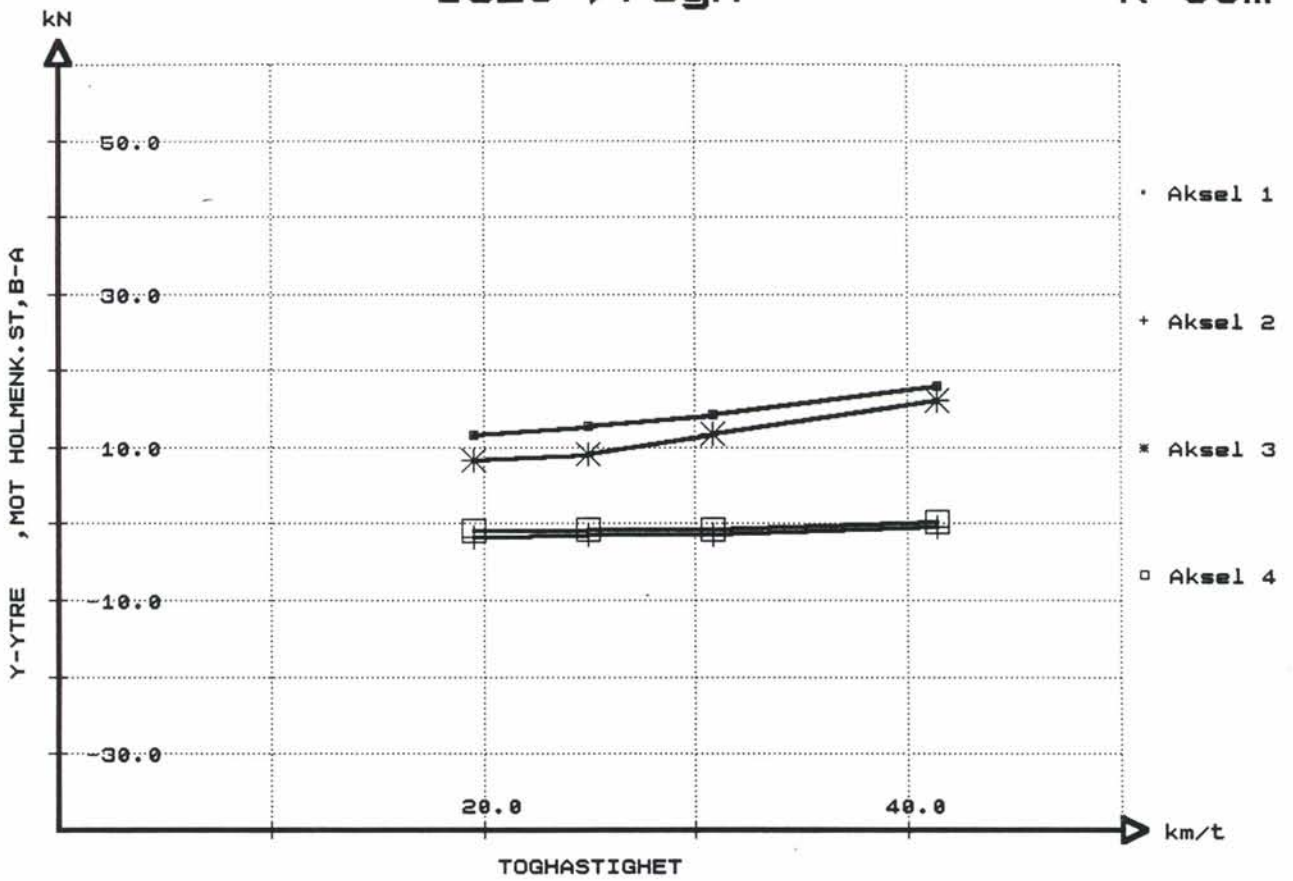
1326 m/sol

R=95m



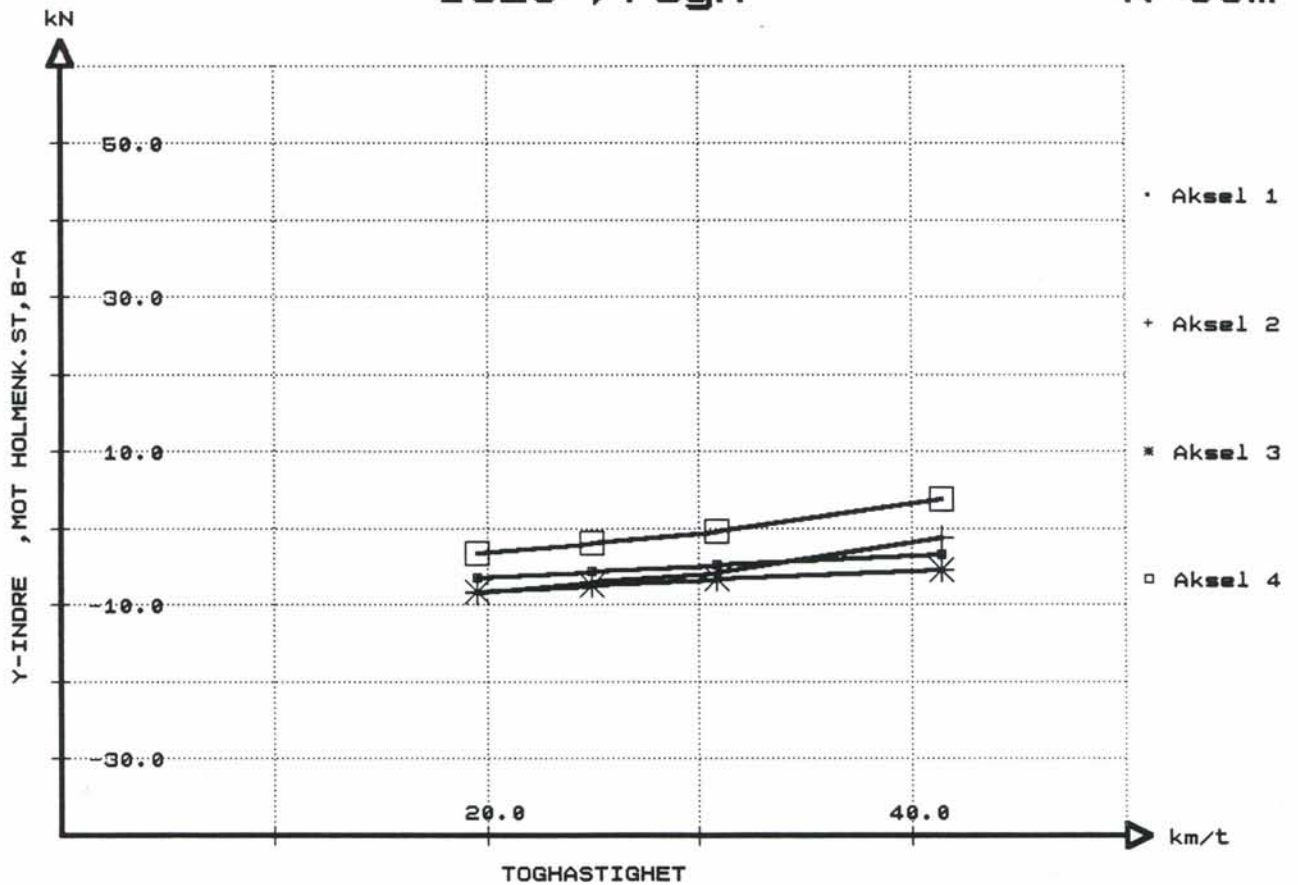
1326 /regn

R=95m



1326 /regn

R=95m



7.3 Svilletverrkrefter

Svilletverrkrefter mellom hjulaksler/spor er beregnet ut i fra målte Y-krefter.

Absolutt verdi i kN :

$$S = Y \text{ (ytre skinne)} + Y \text{ (indre skinne)}$$

Positiv kraftretning er utover fra sentrum i den sirkelbuen som sporet beskriver.

Relativ verdi :

S/S-lim gir relativ verdi i forhold til Prud'Hommes grenseverdi :

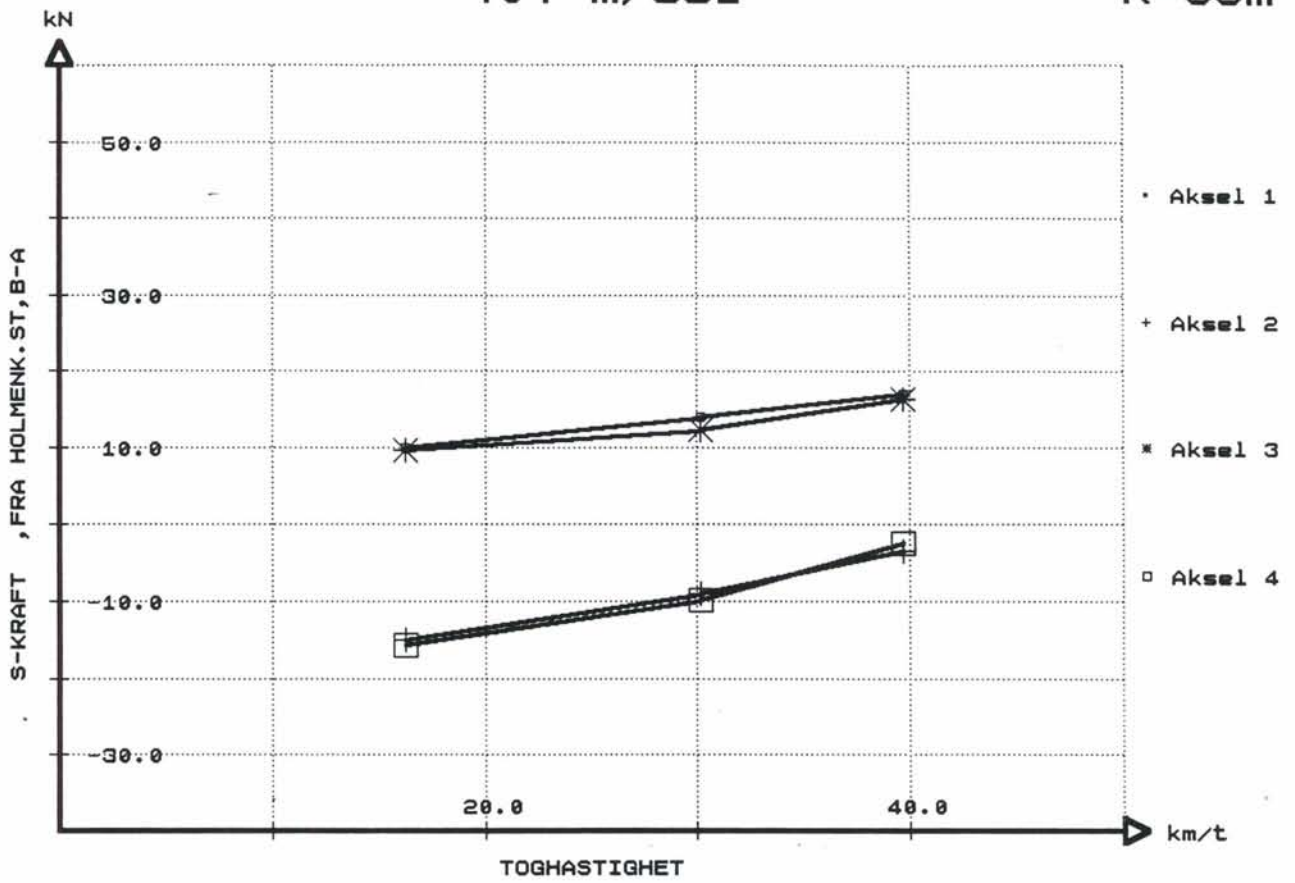
$$S\text{-lim} = 0.85 * (10 + 2*Q_0/3) \text{ kN hvor } Q_0 \text{ angir hjullasten i kN.}$$

Det er antatt at S må overskride S-lim over en avstand på mer enn to meter før det er fare for sideforskyvning av sporet.

En skal her være oppmerksom på at målte S-krefter bare er registrert i tre punkter over en strekning på to meter av skinnegangen.

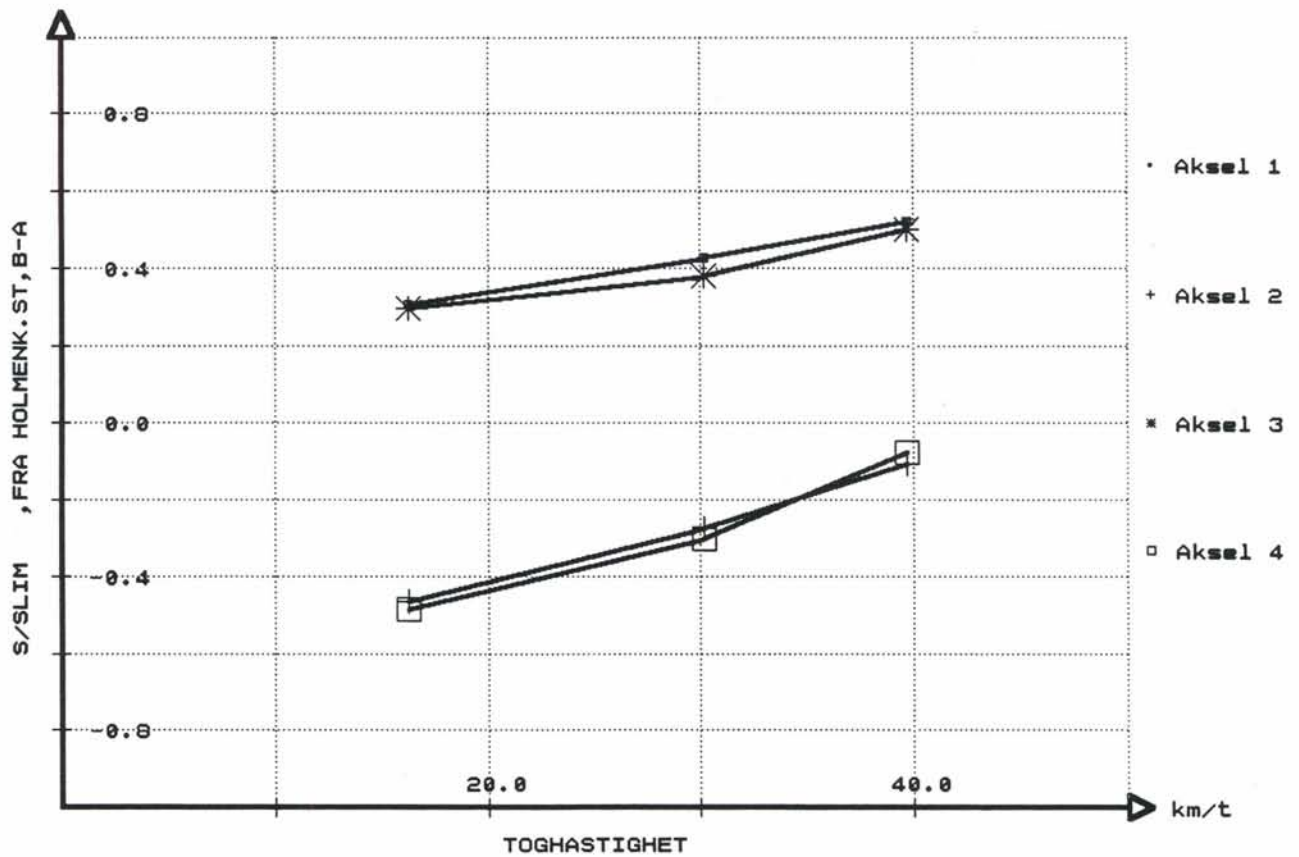
407 m/sol

R=95m



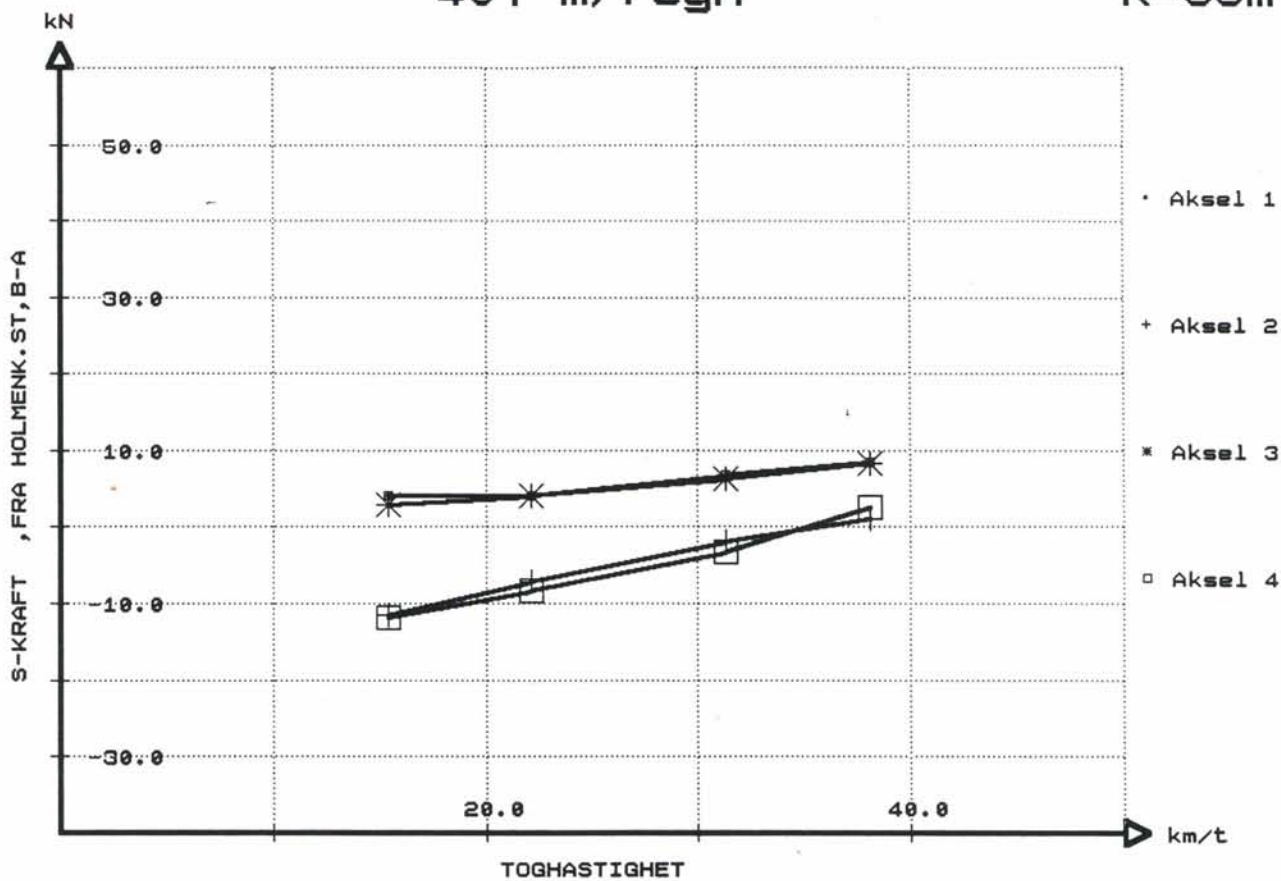
407 m/sol

R=95m



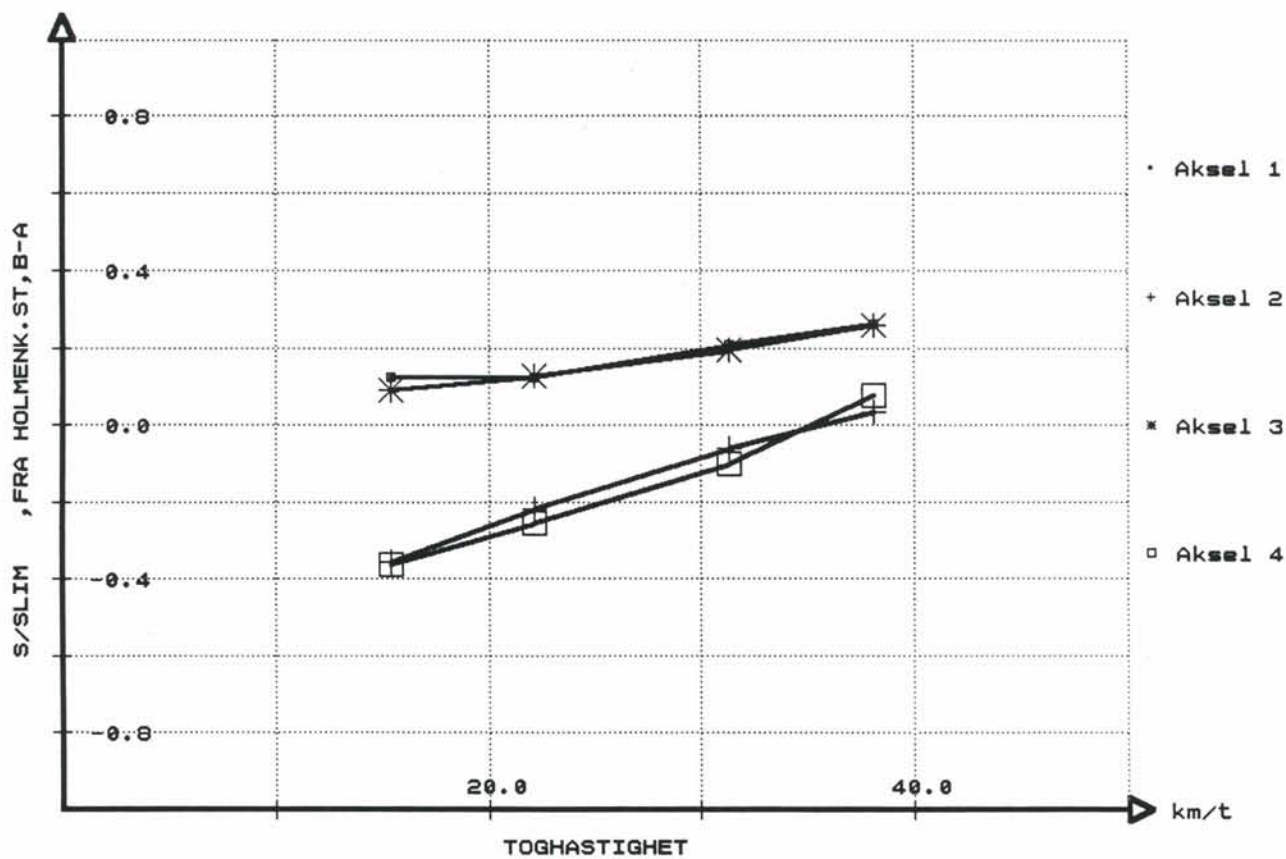
407 m/regn

R=95m



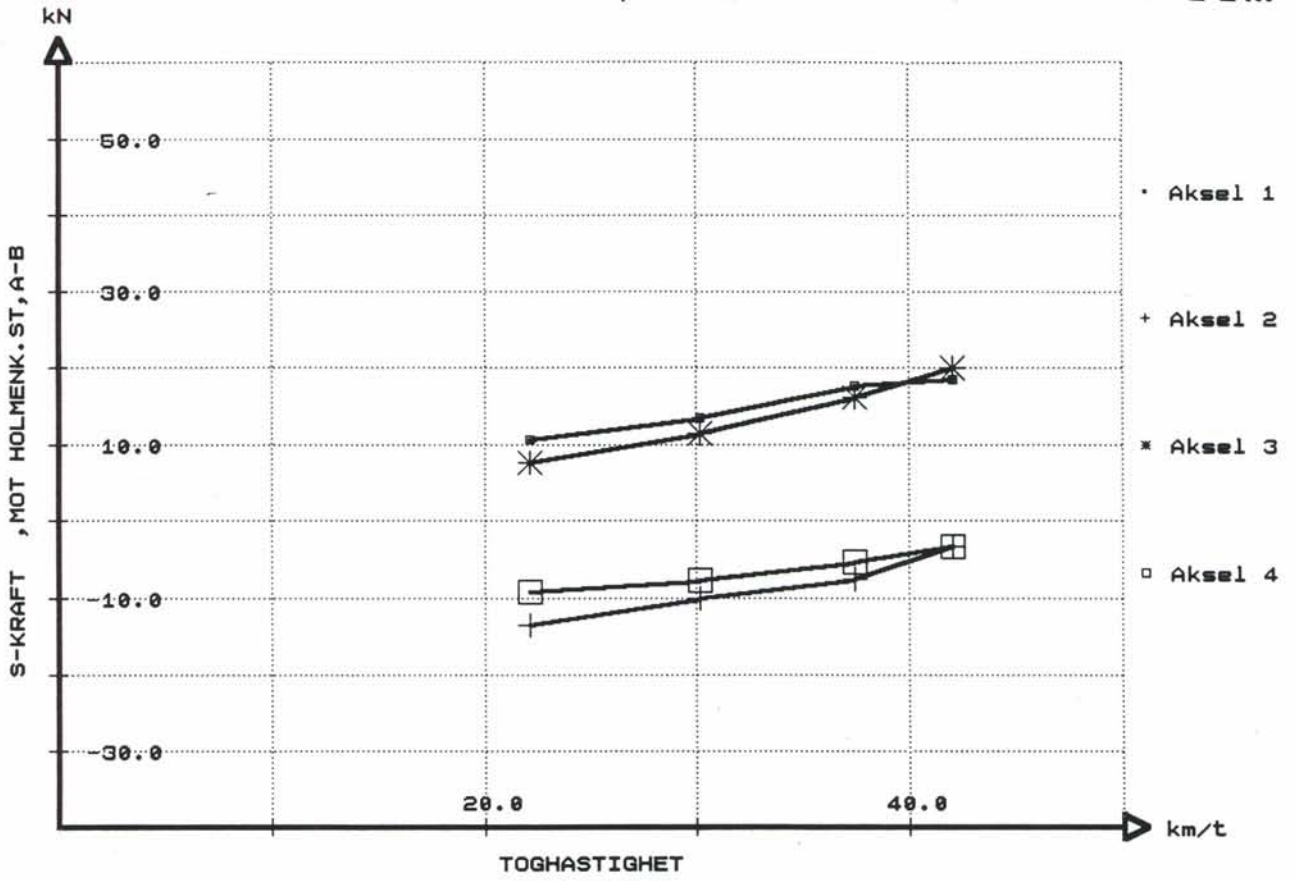
407 m/regn

R=95m



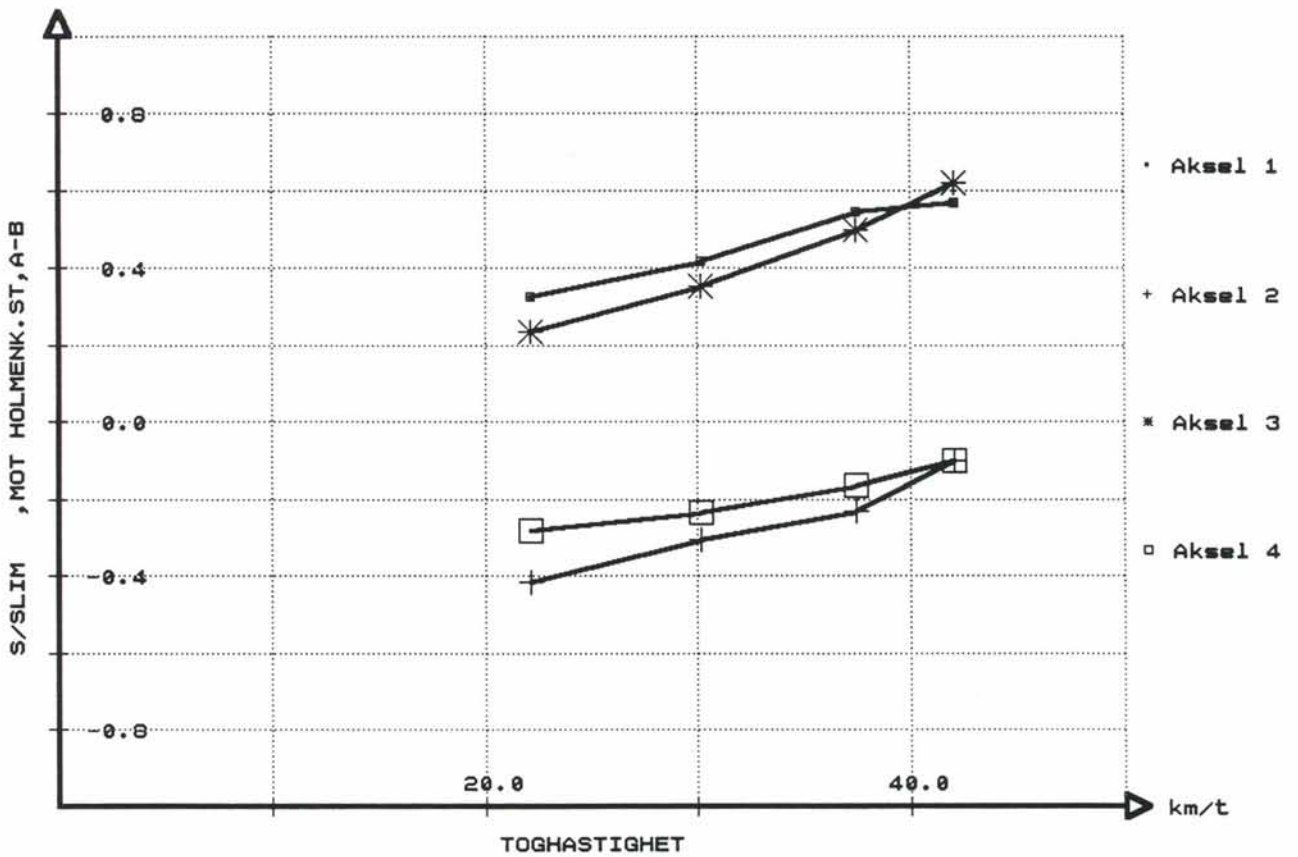
407 m/sol

R=95m



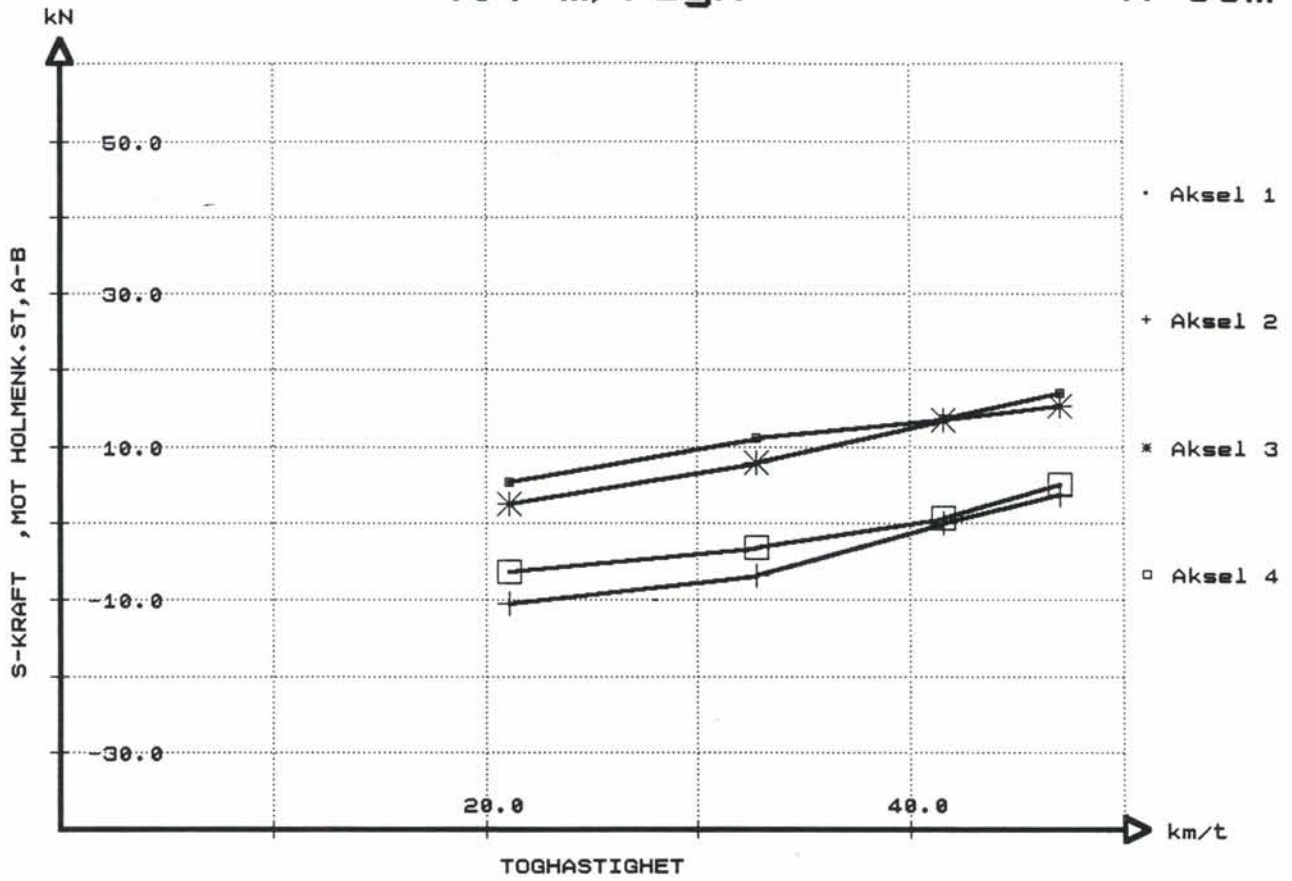
407 m/sol

R=95m



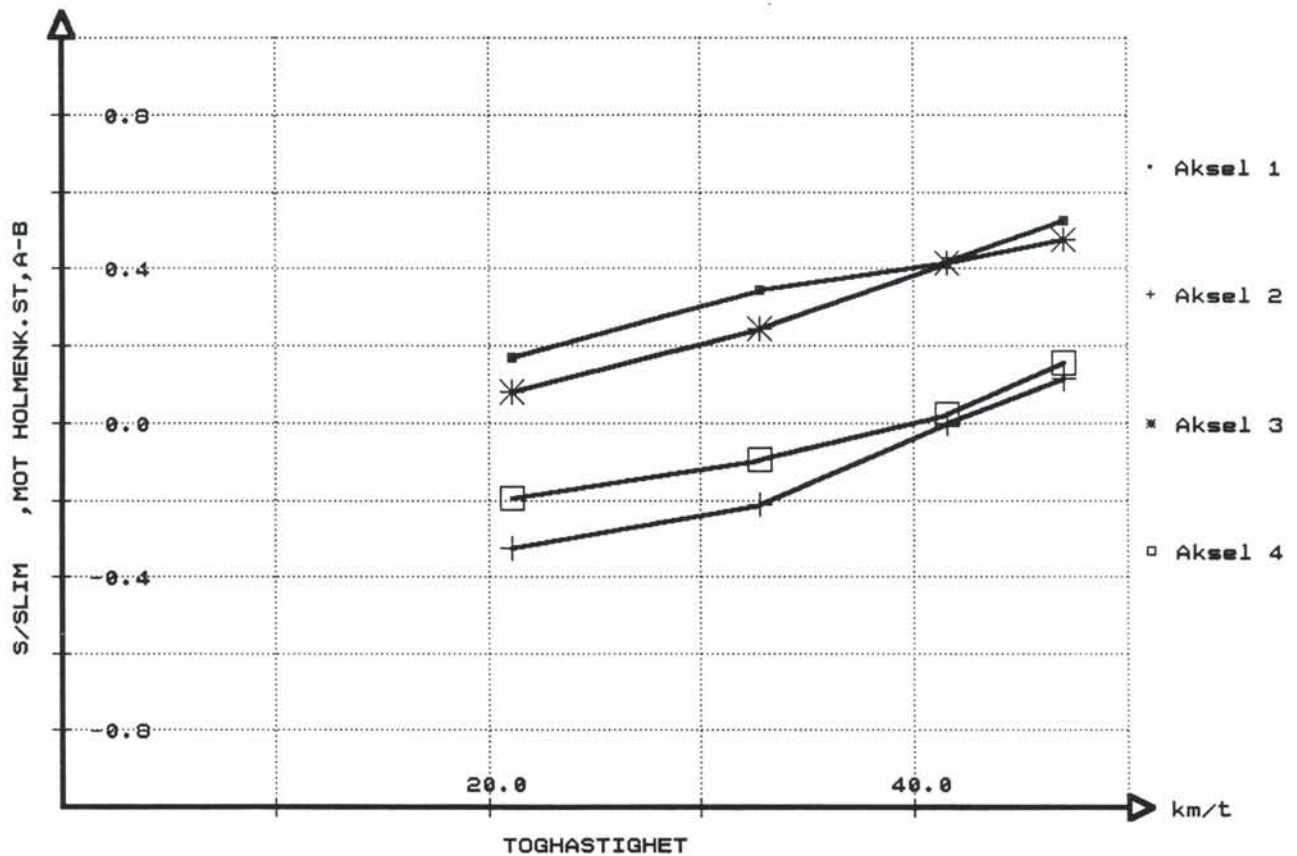
407 m/regn

R=95m



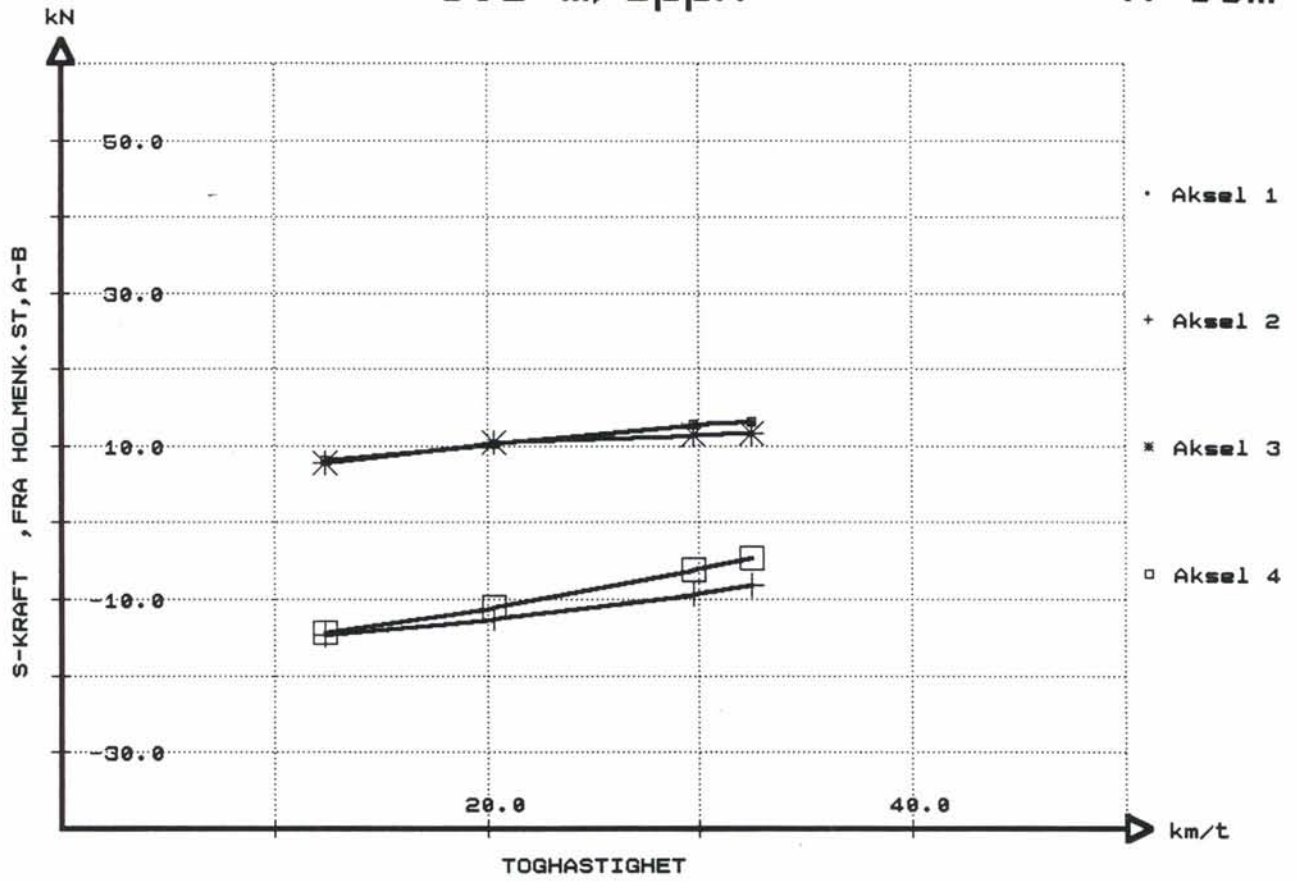
407 m/regn

R=95m



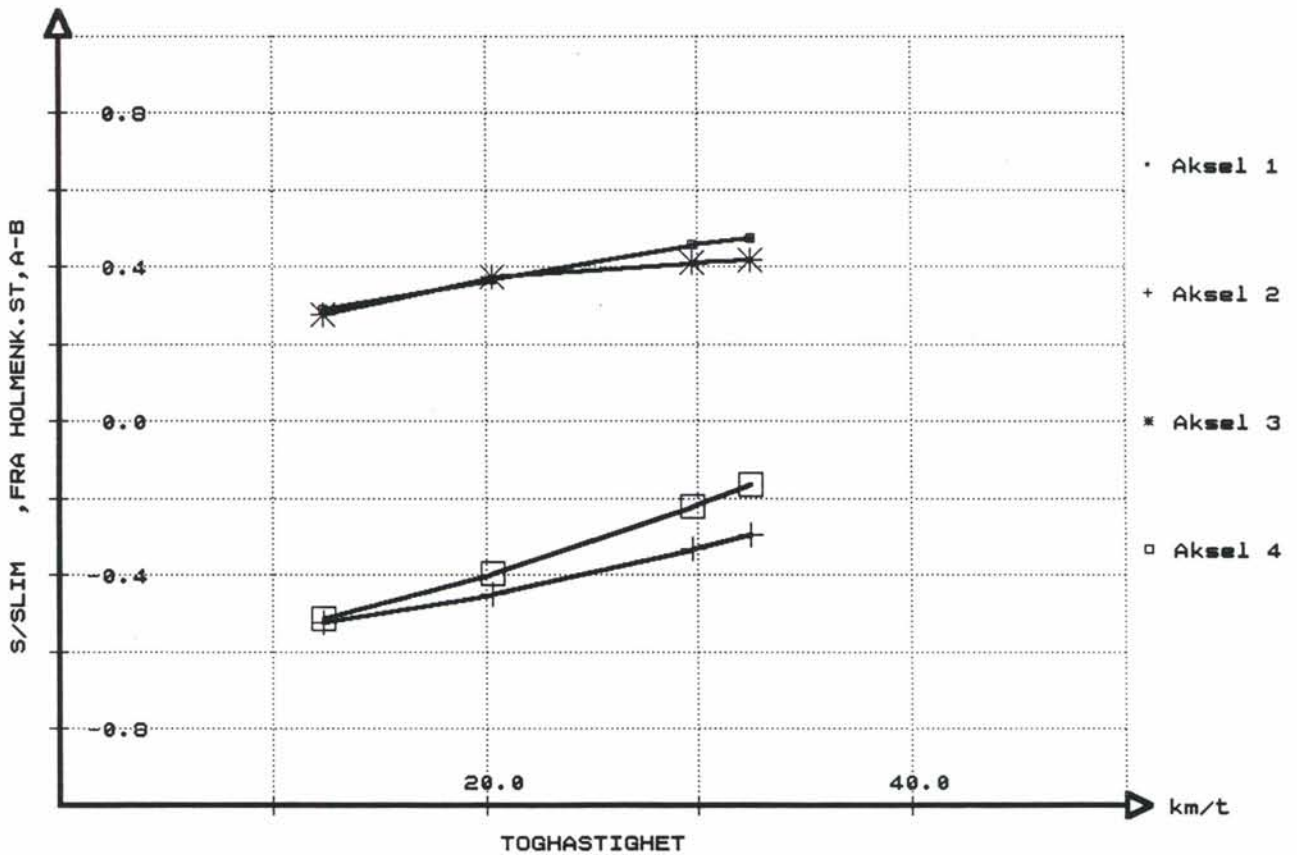
601 m/opph

R=95m



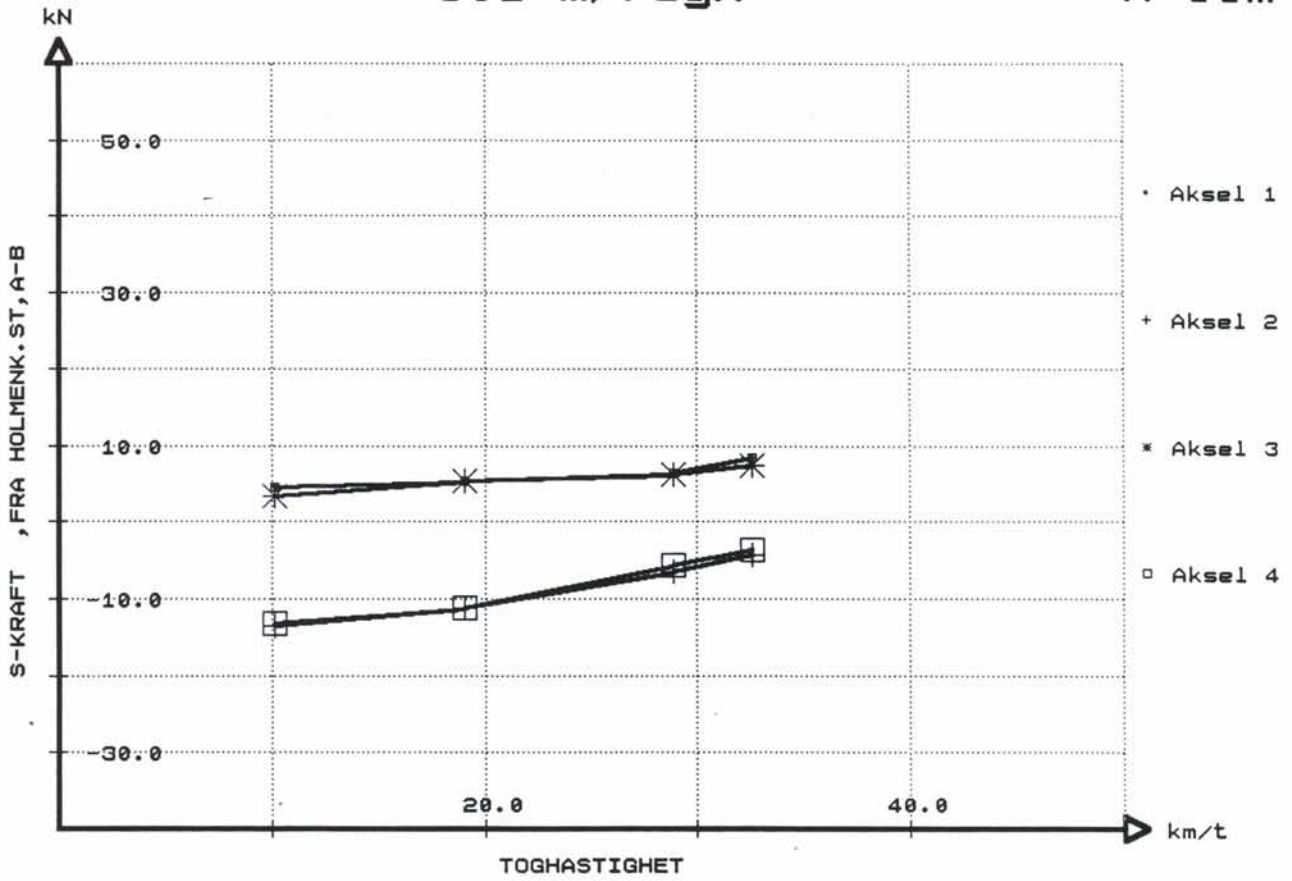
601 m/opph

R=95m



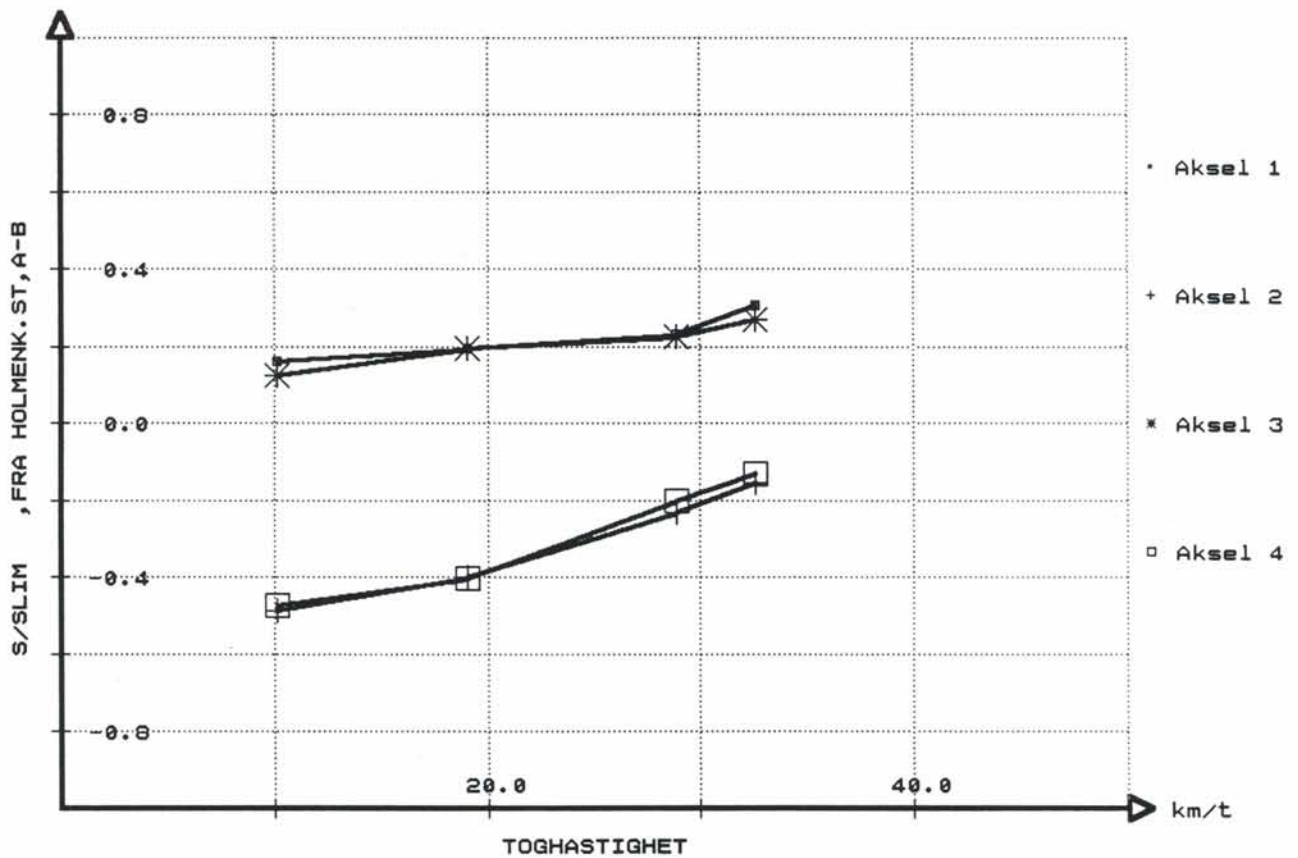
601 m/regn

R=95m



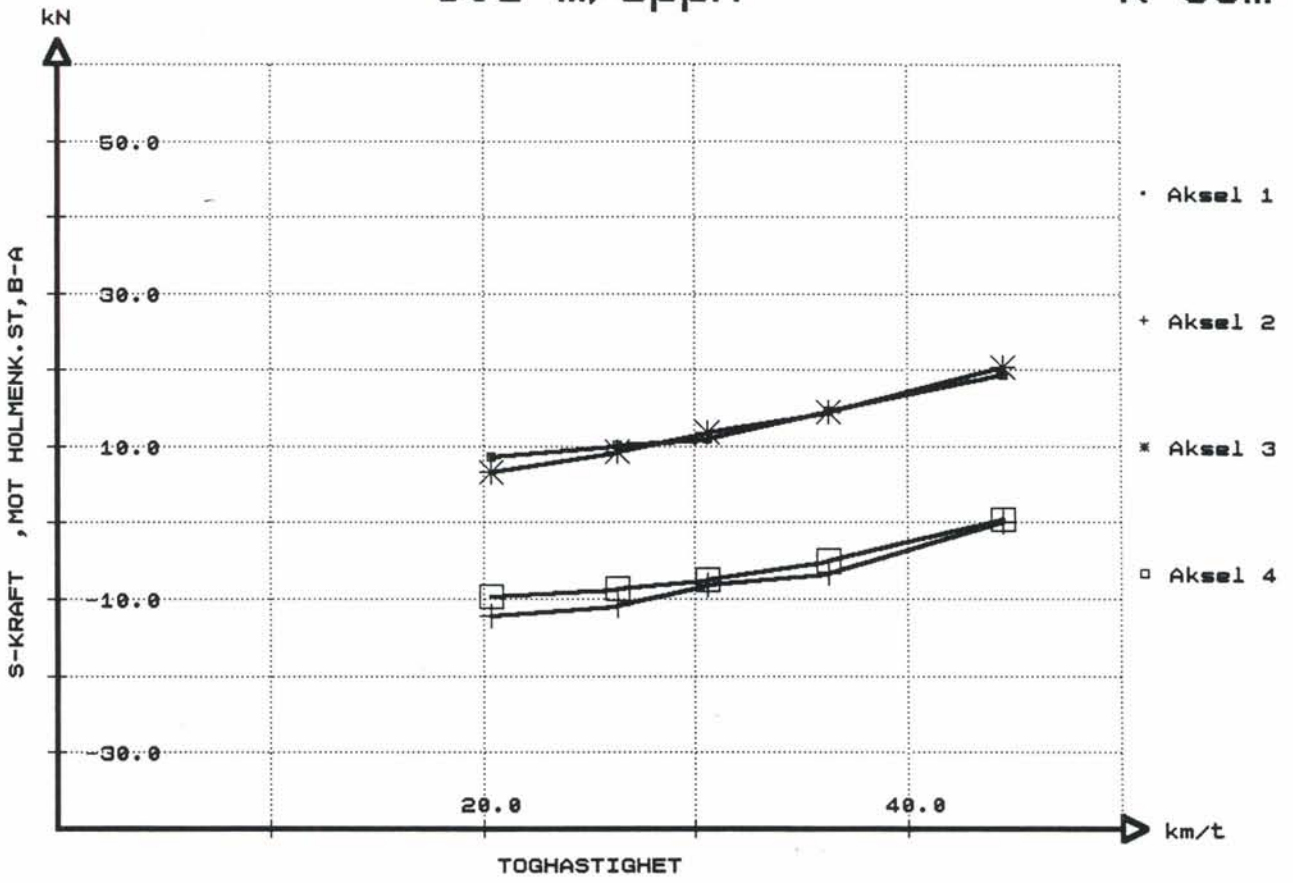
601 m/regn

R=95m



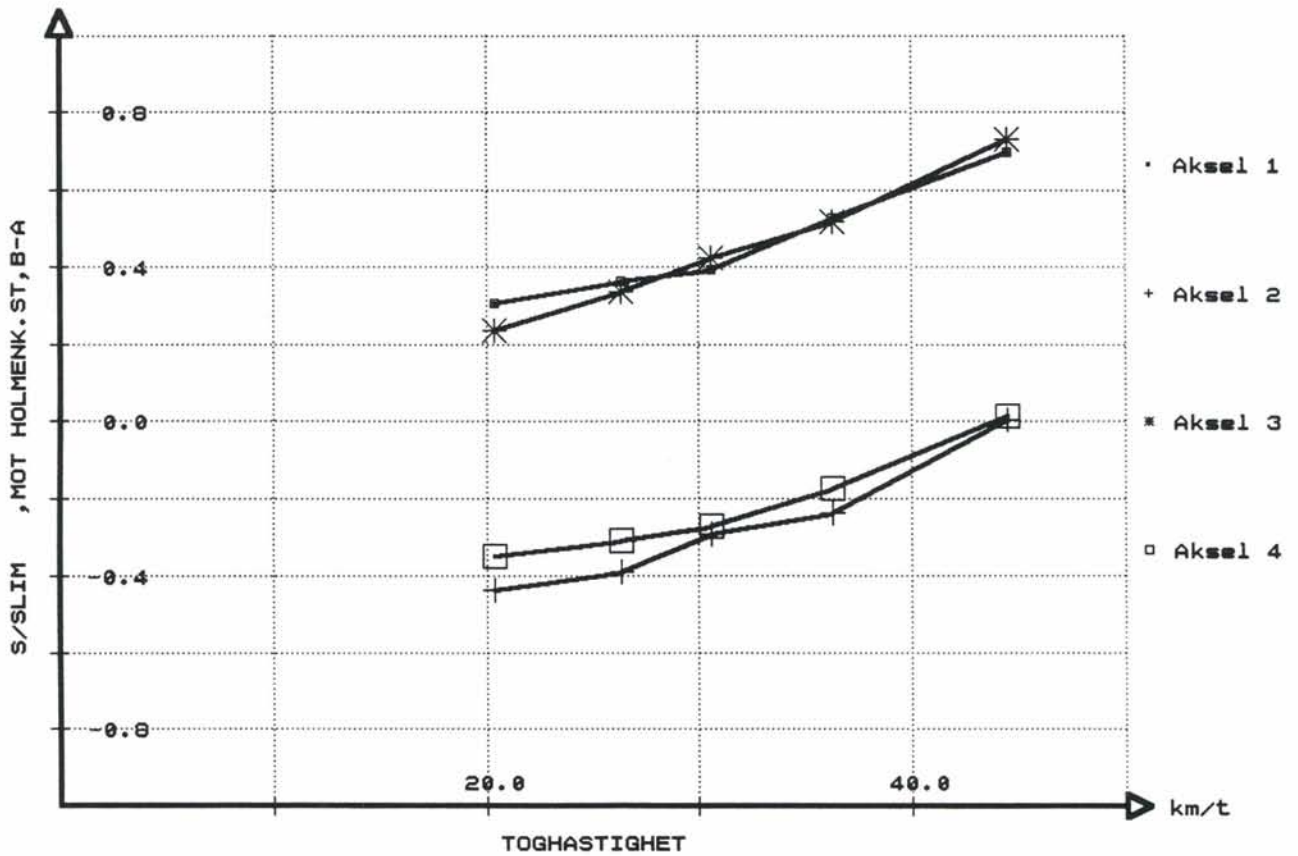
601 m/opph

R=95m



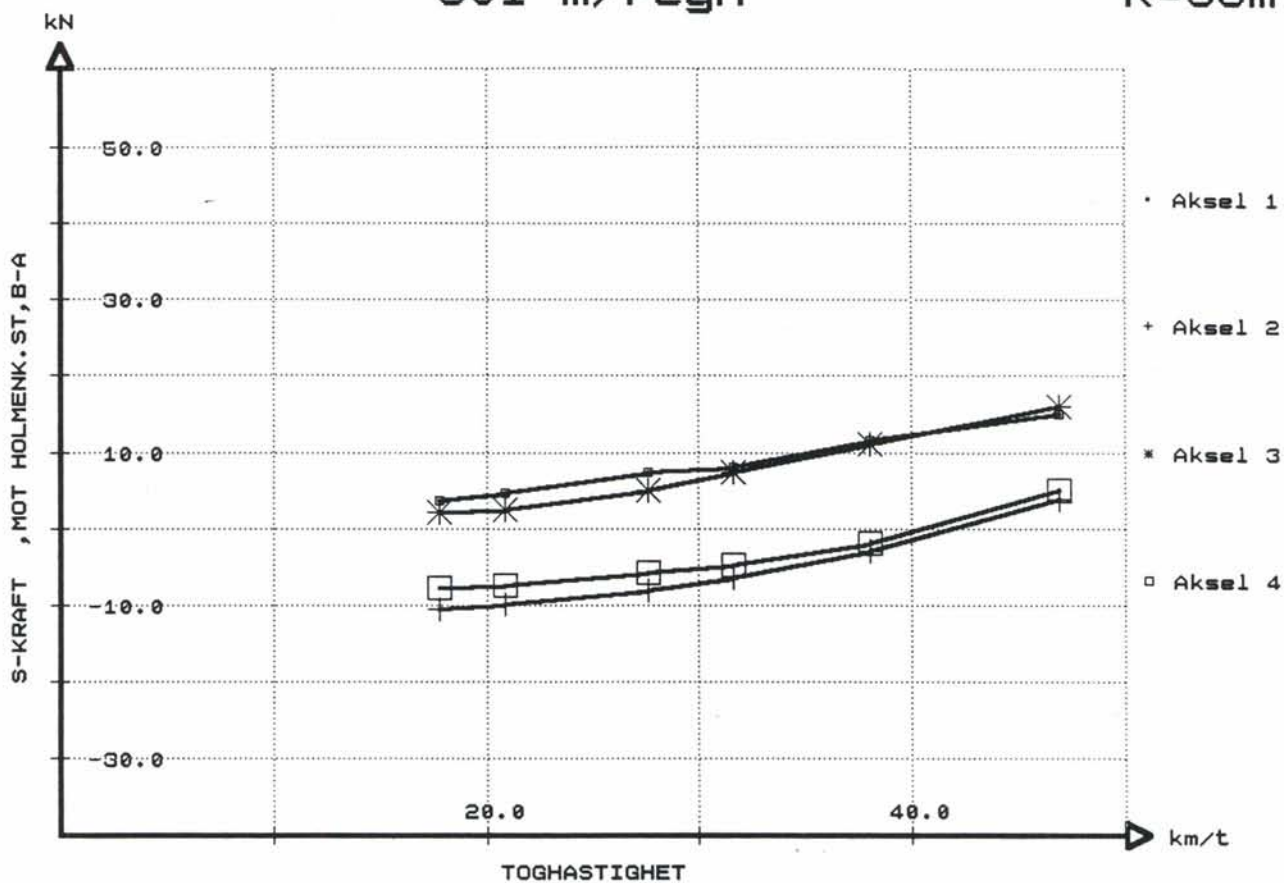
601 m/opph

R=95m



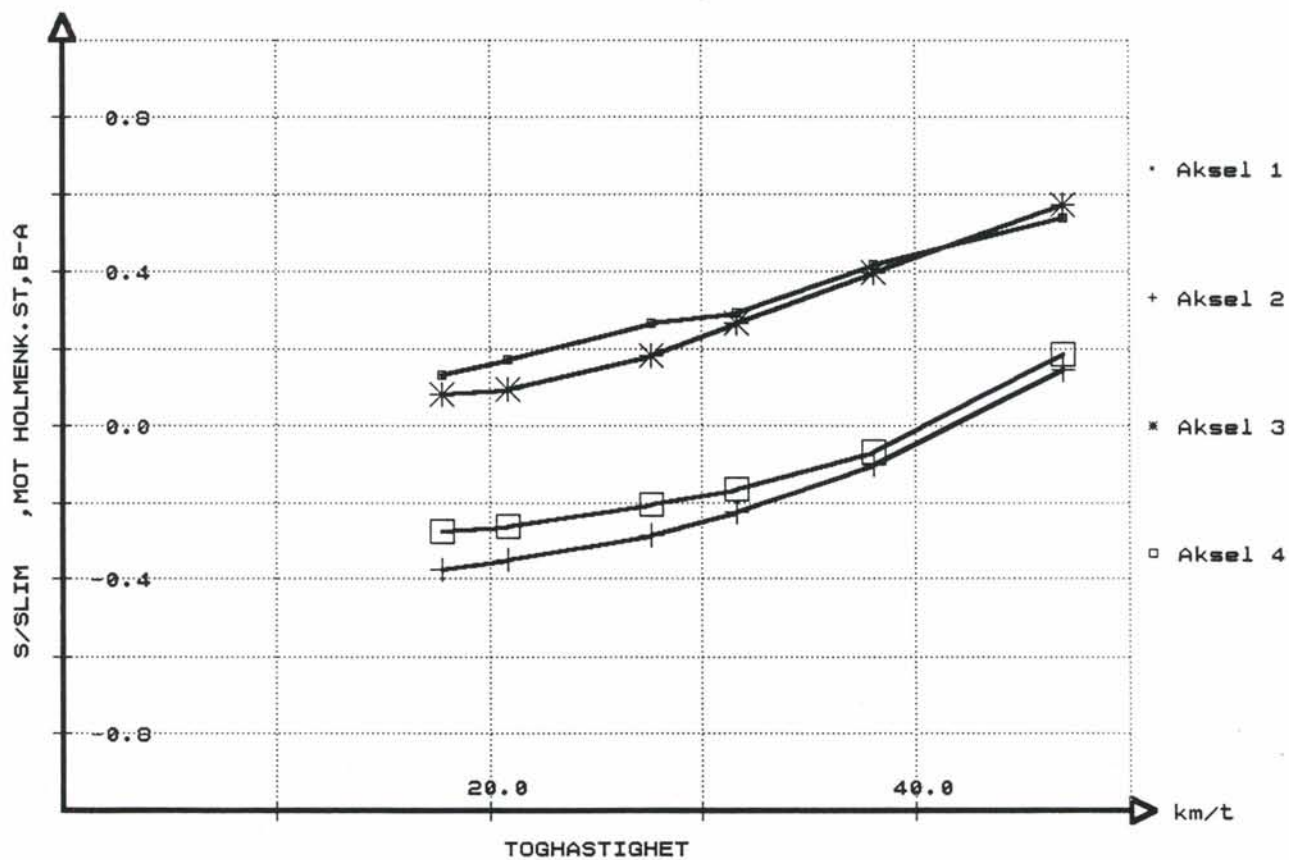
601 m/regn

R=95m



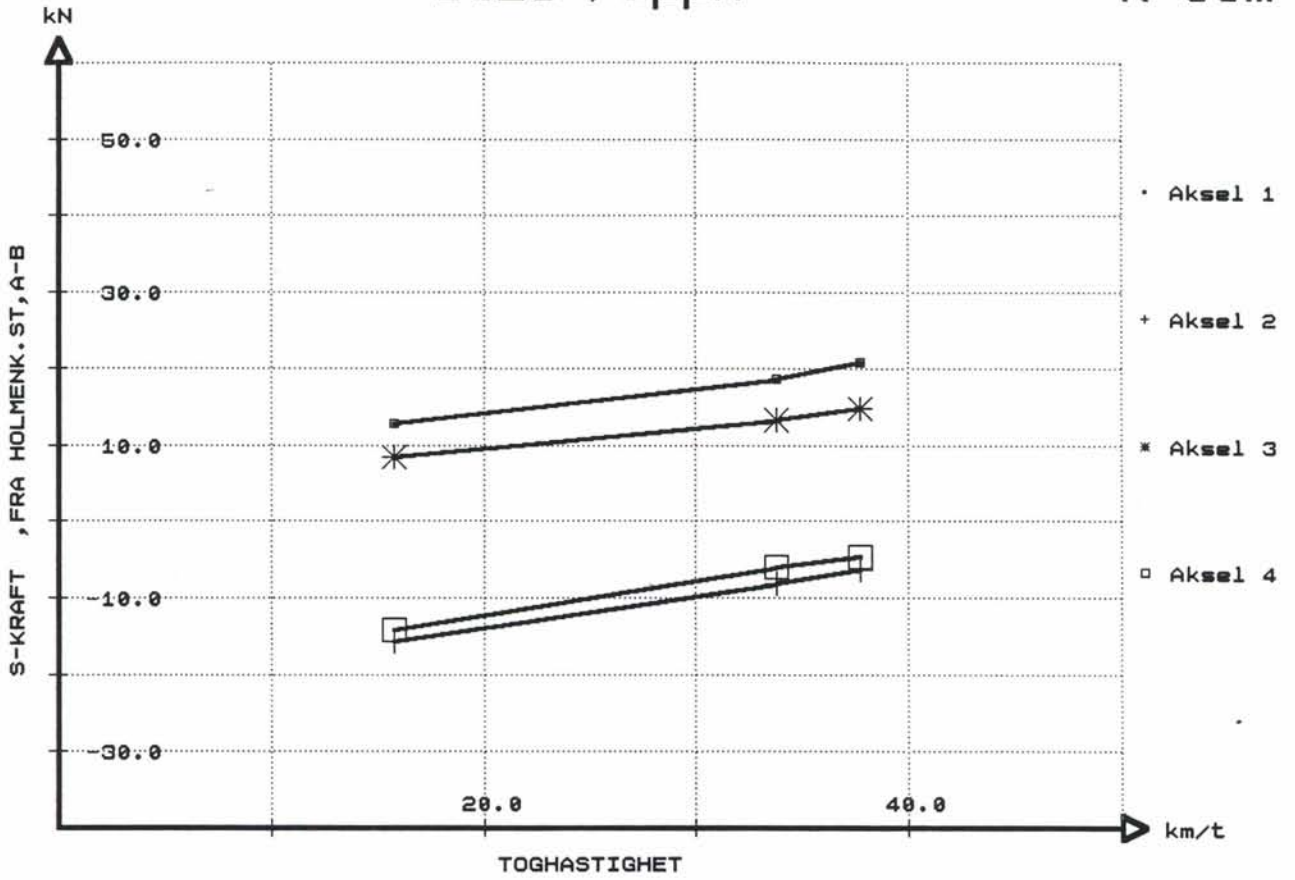
601 m/regn

R=95m



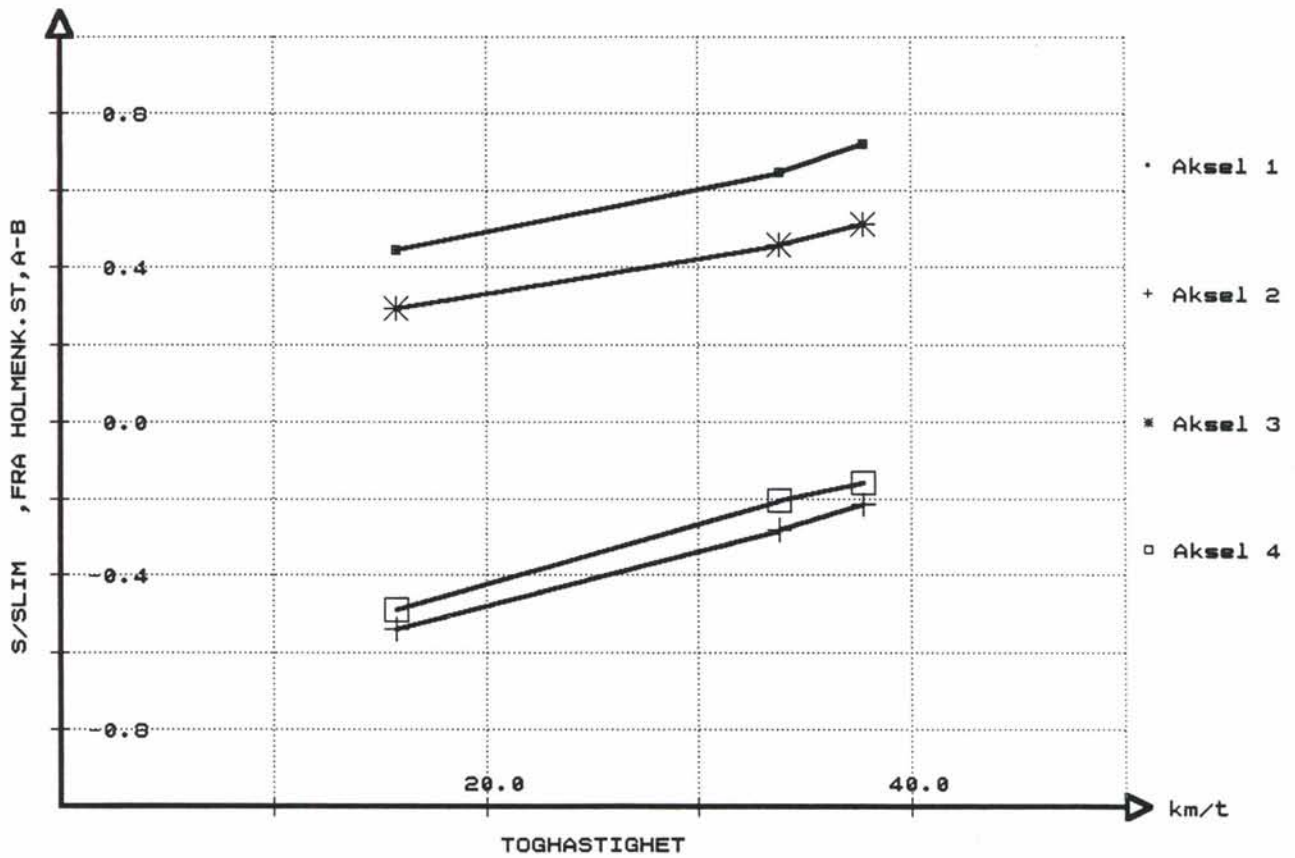
1323 /opph

R=95m



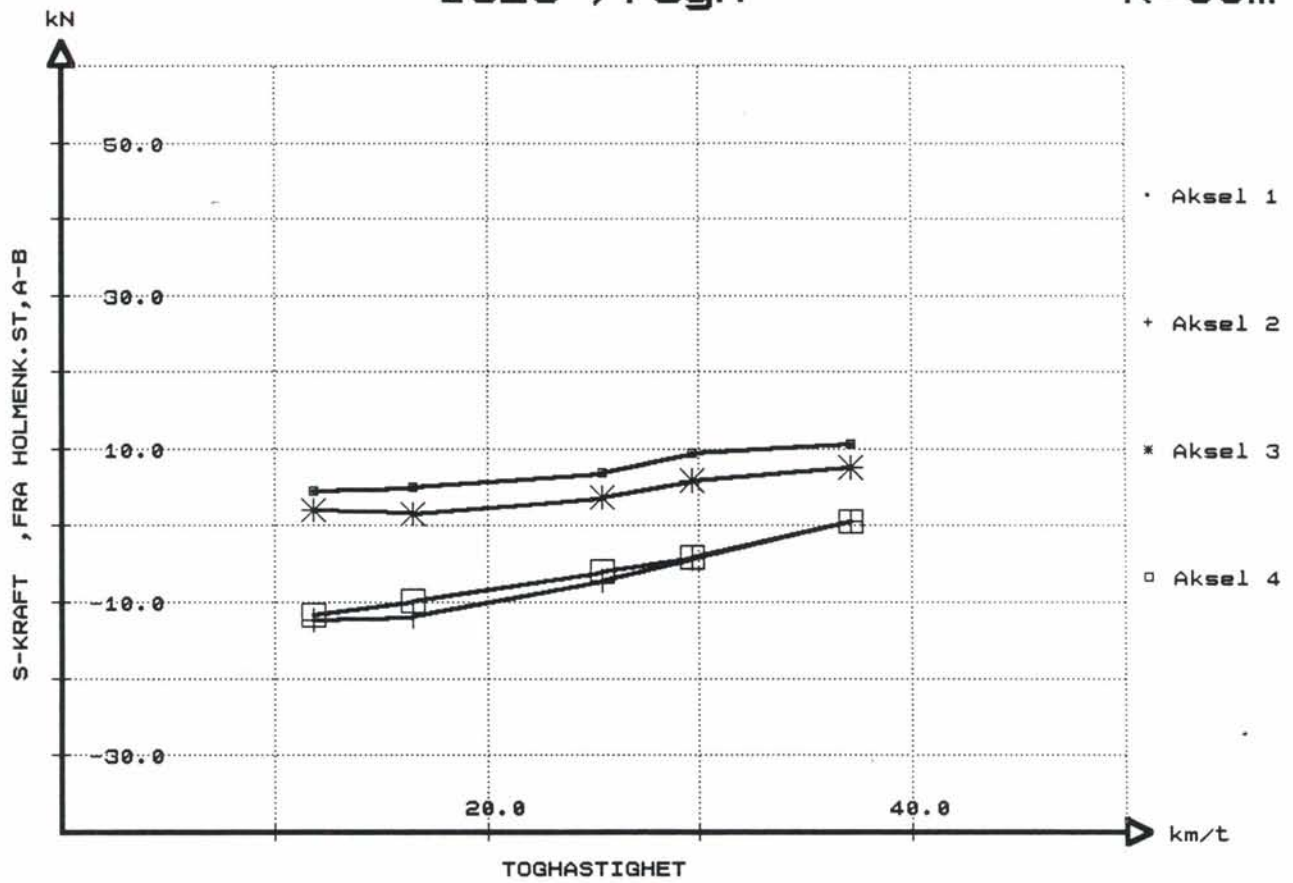
1323 /opph

R=95m



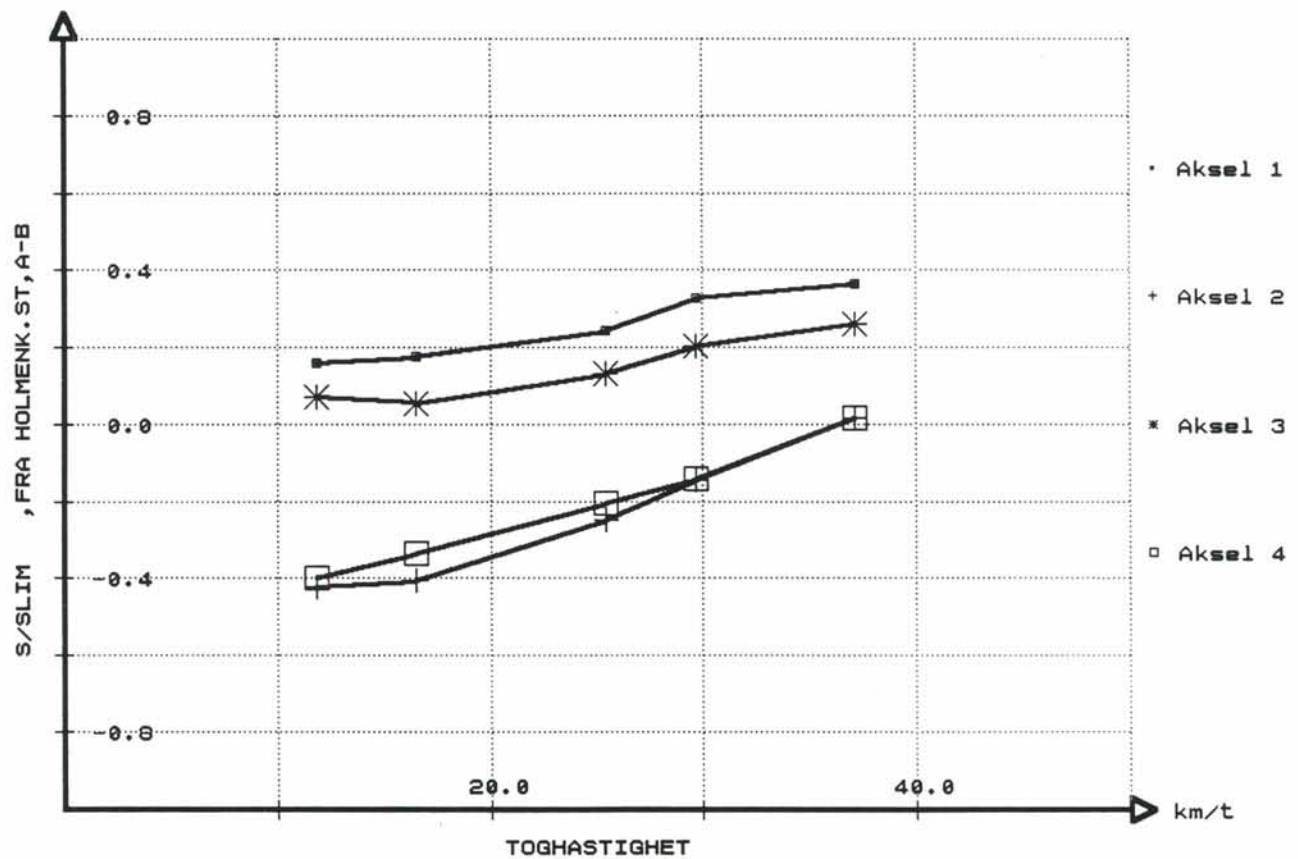
1323 /regn

R=95m



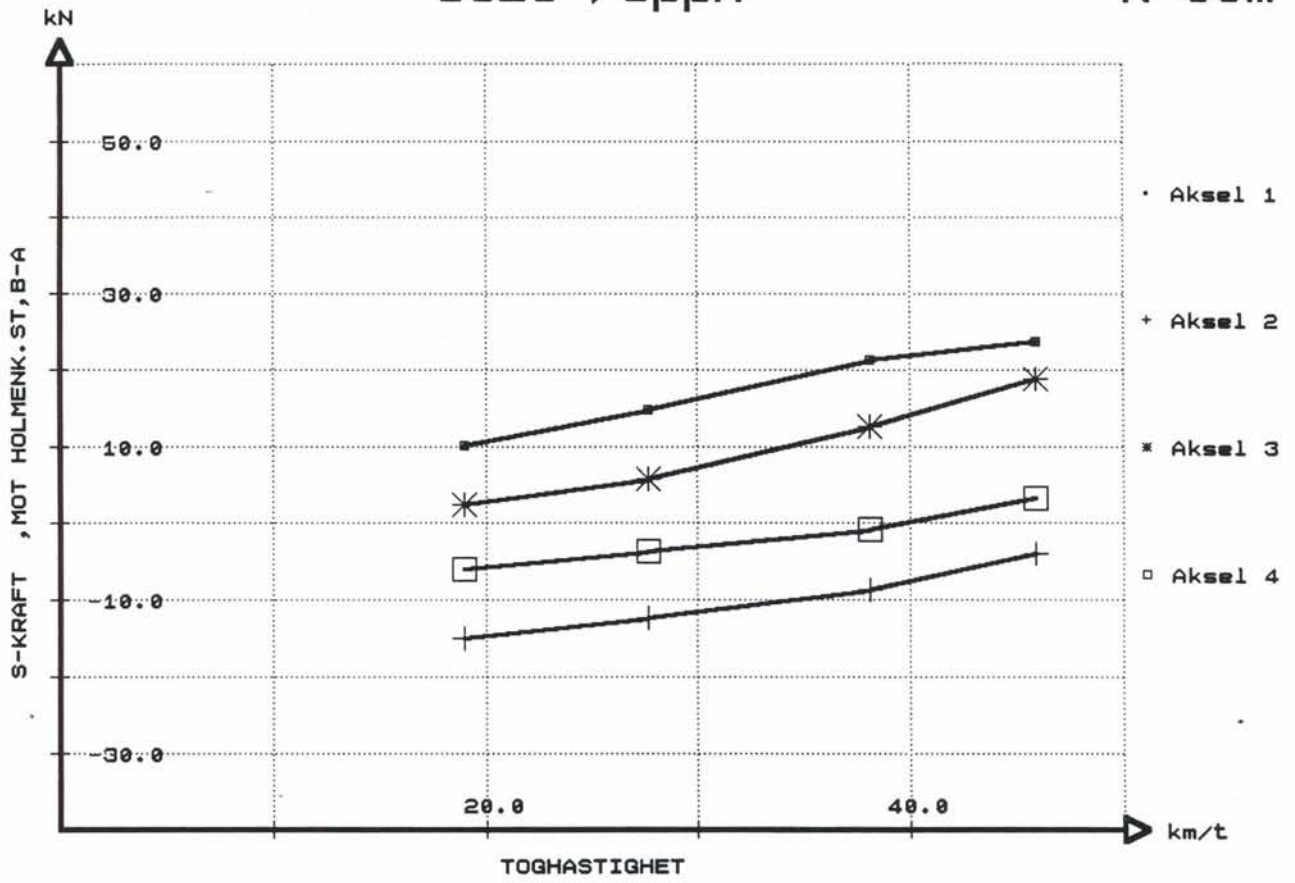
1323 /regn

R=95m



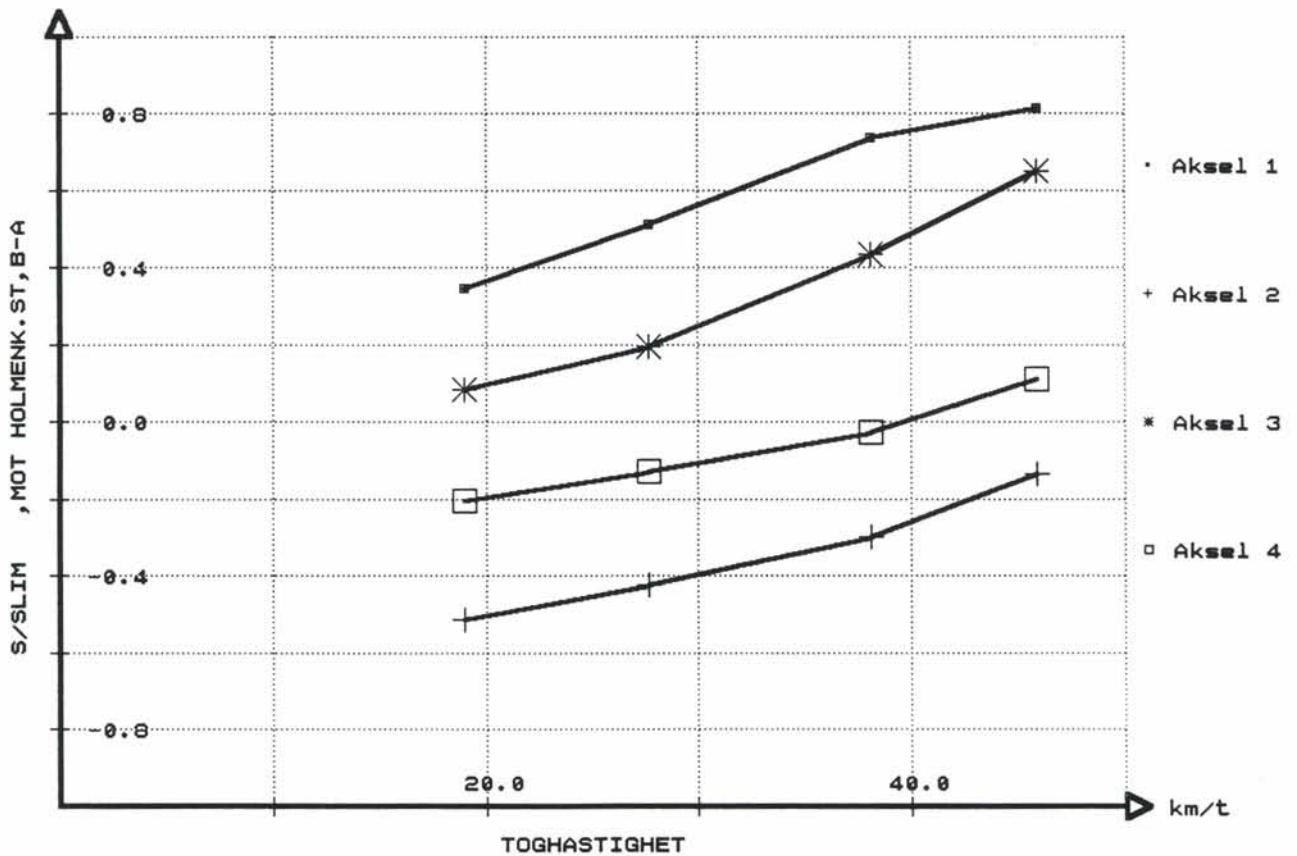
1323 / opph

R=95m



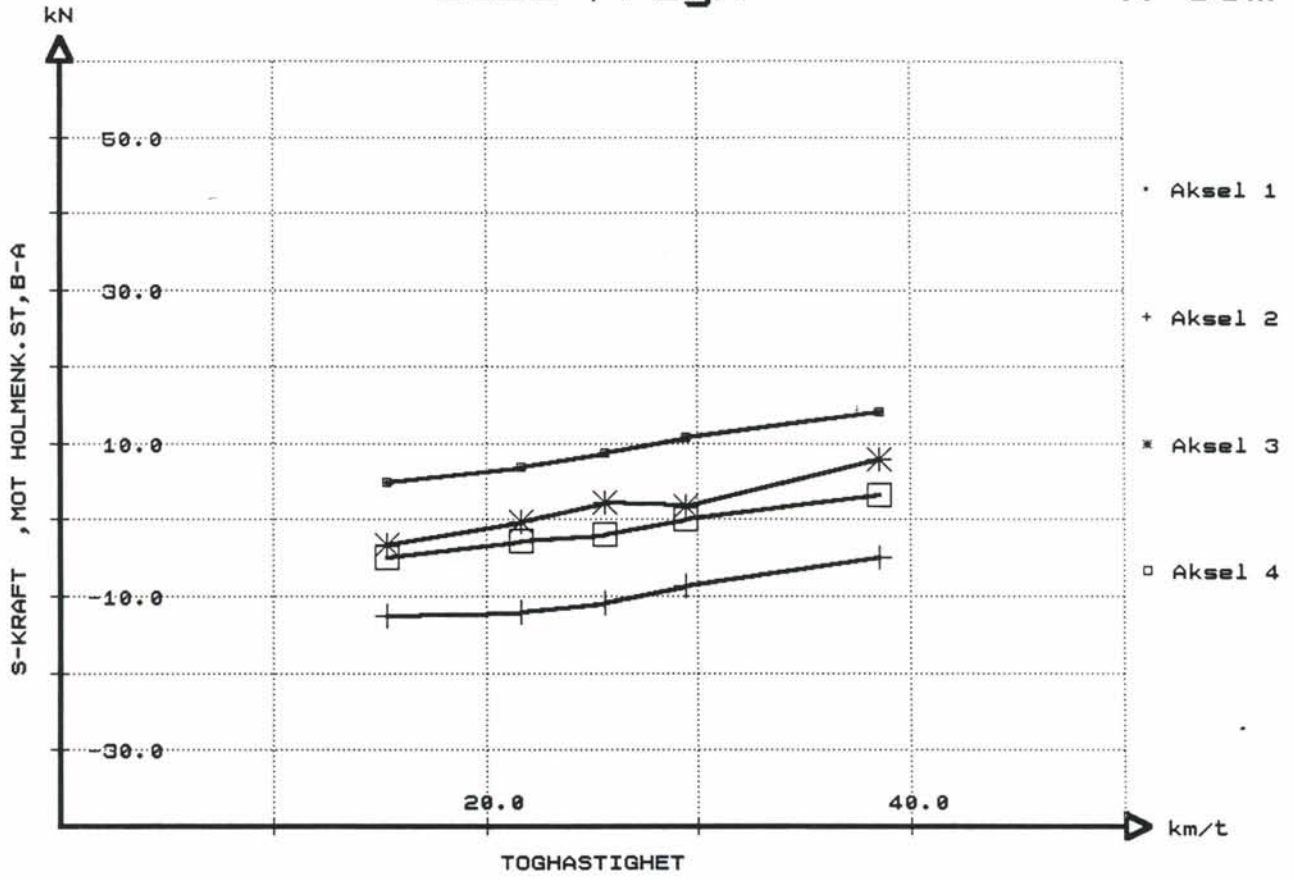
1323 / opph

R=95m



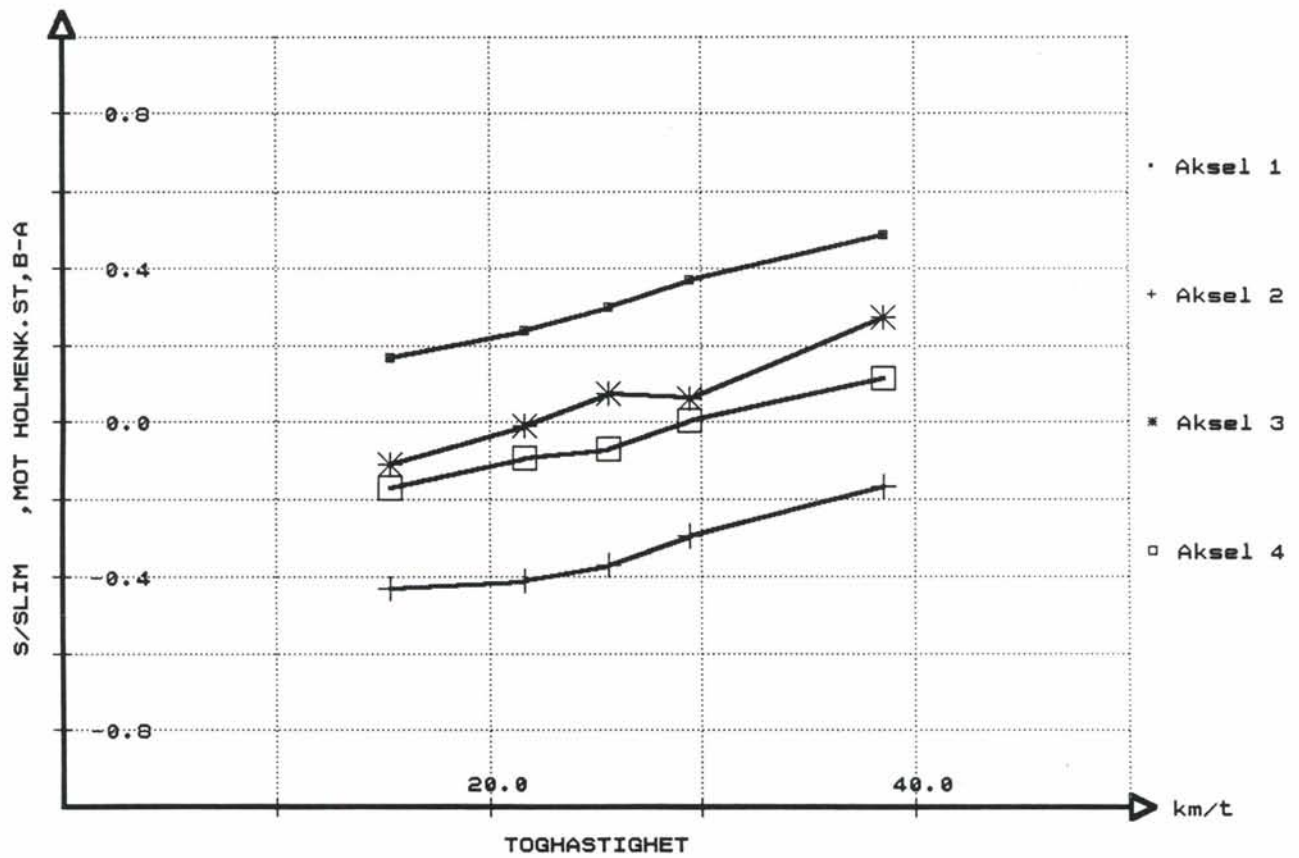
1323 /regn

R=95m



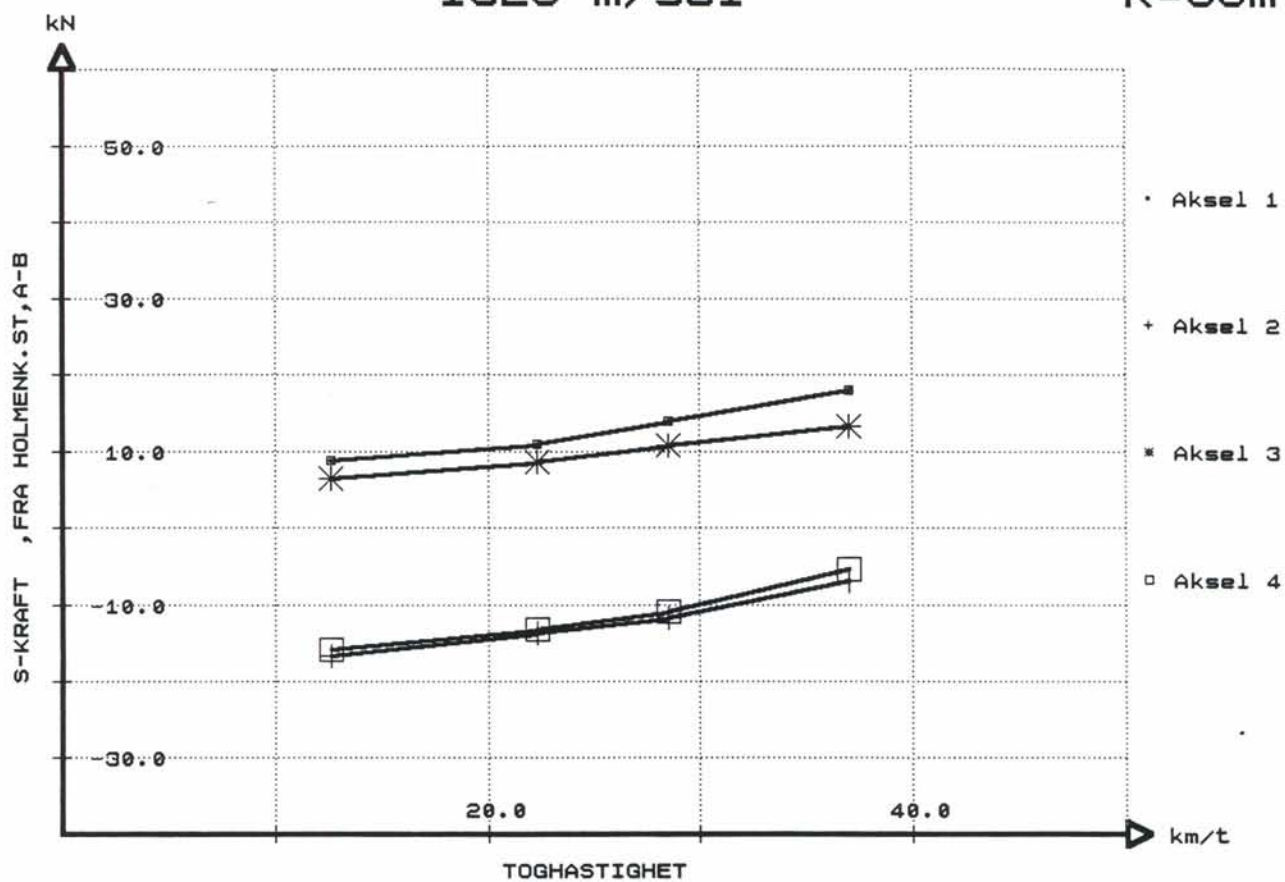
1323 /regn

R=95m



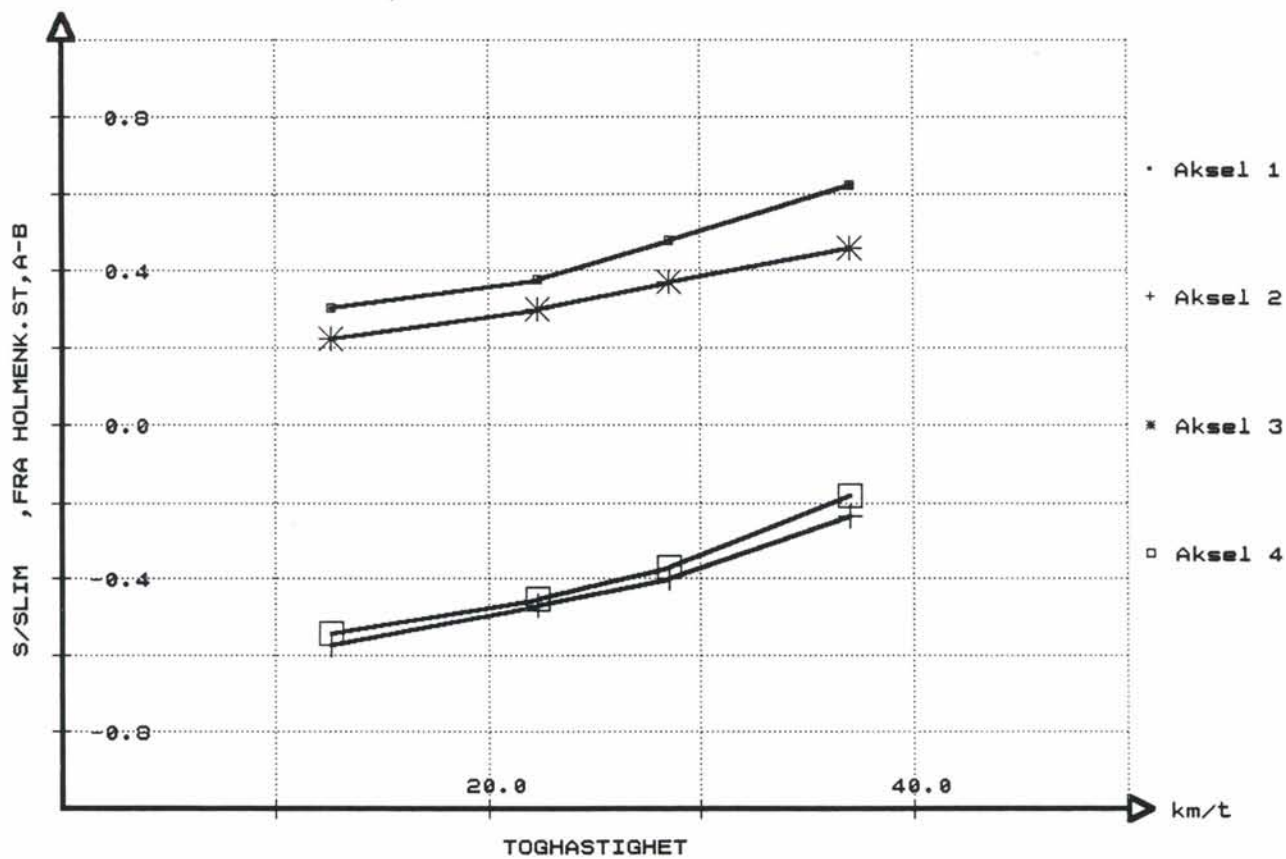
1325 m/sol

R=95m



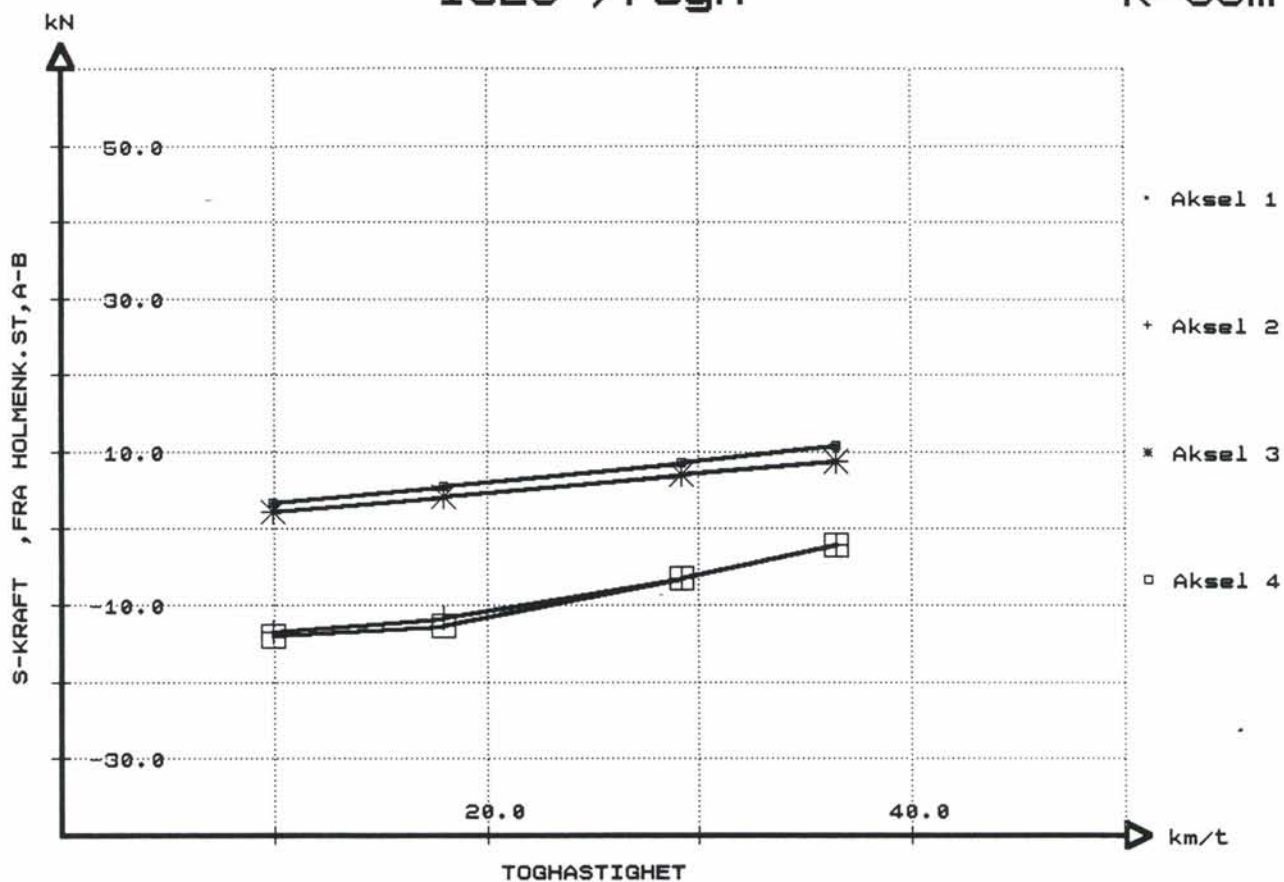
1325 m/sol

R=95m



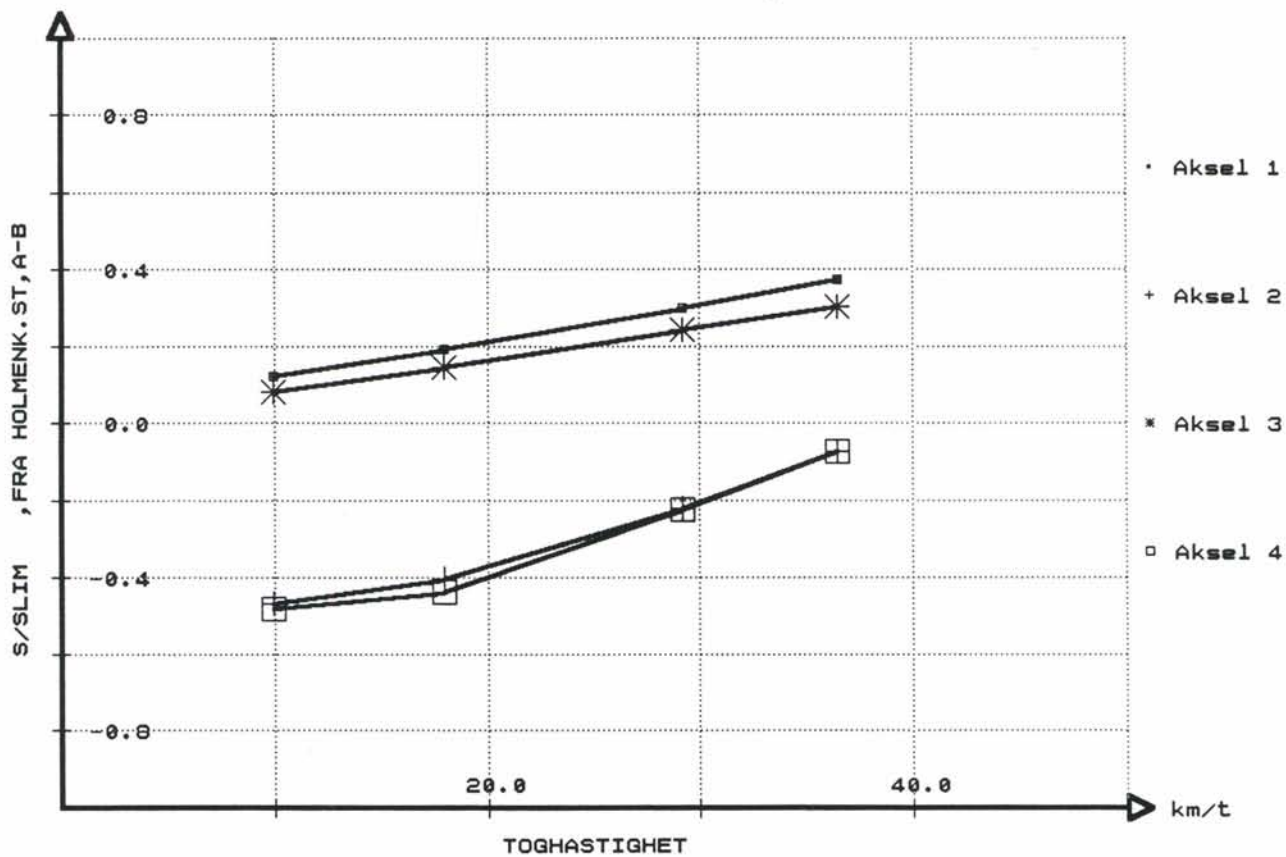
1325 /regn

R=95m



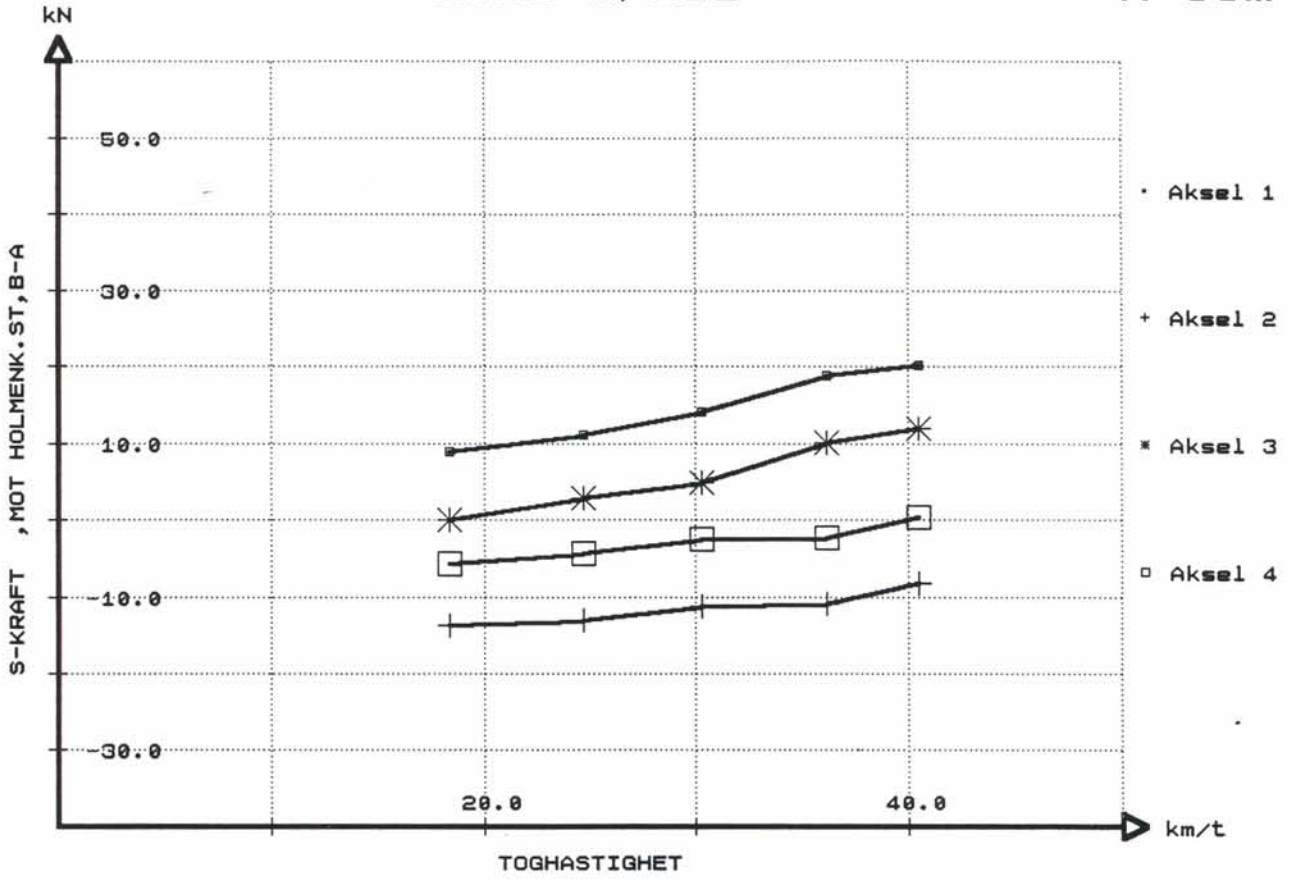
1325 /regn

R=95m



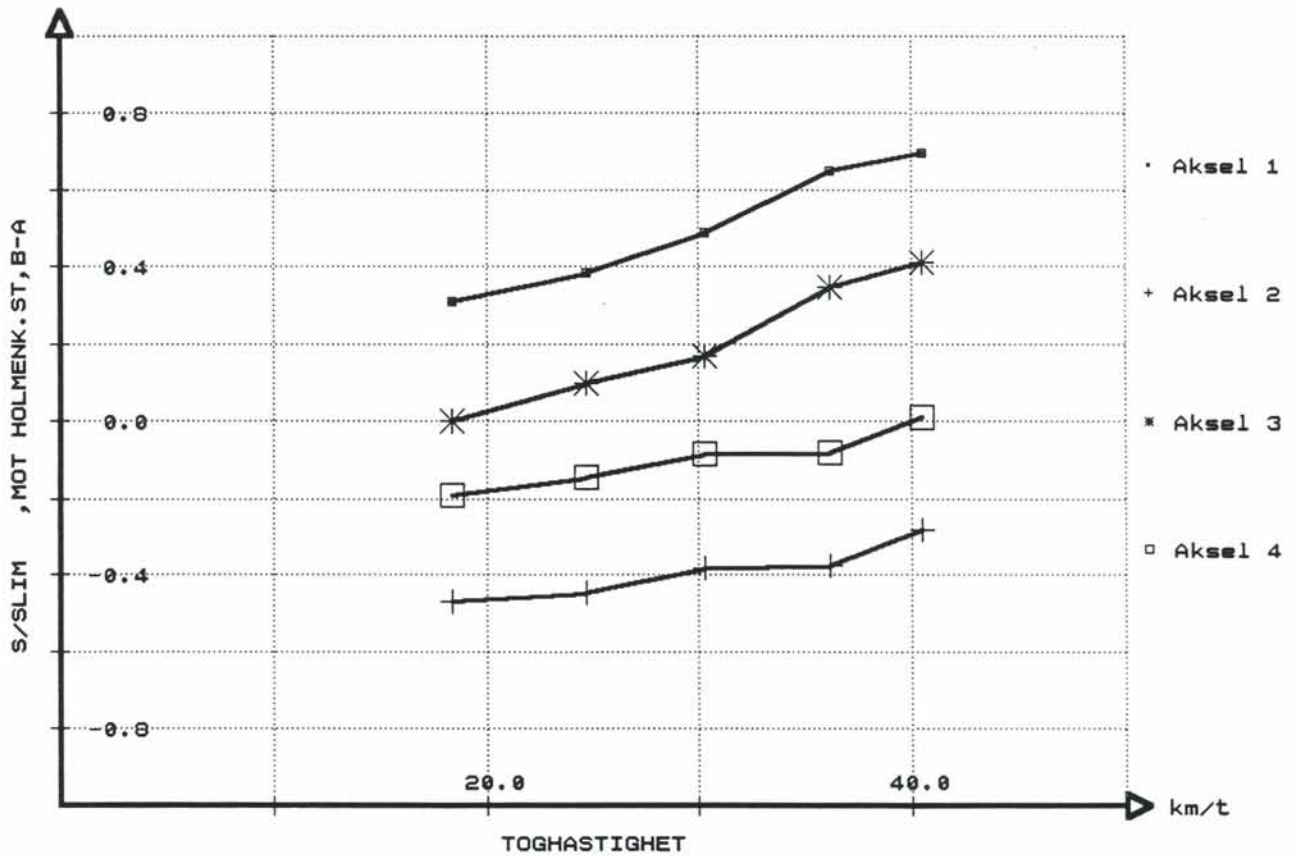
1325 m/sol

R=95m



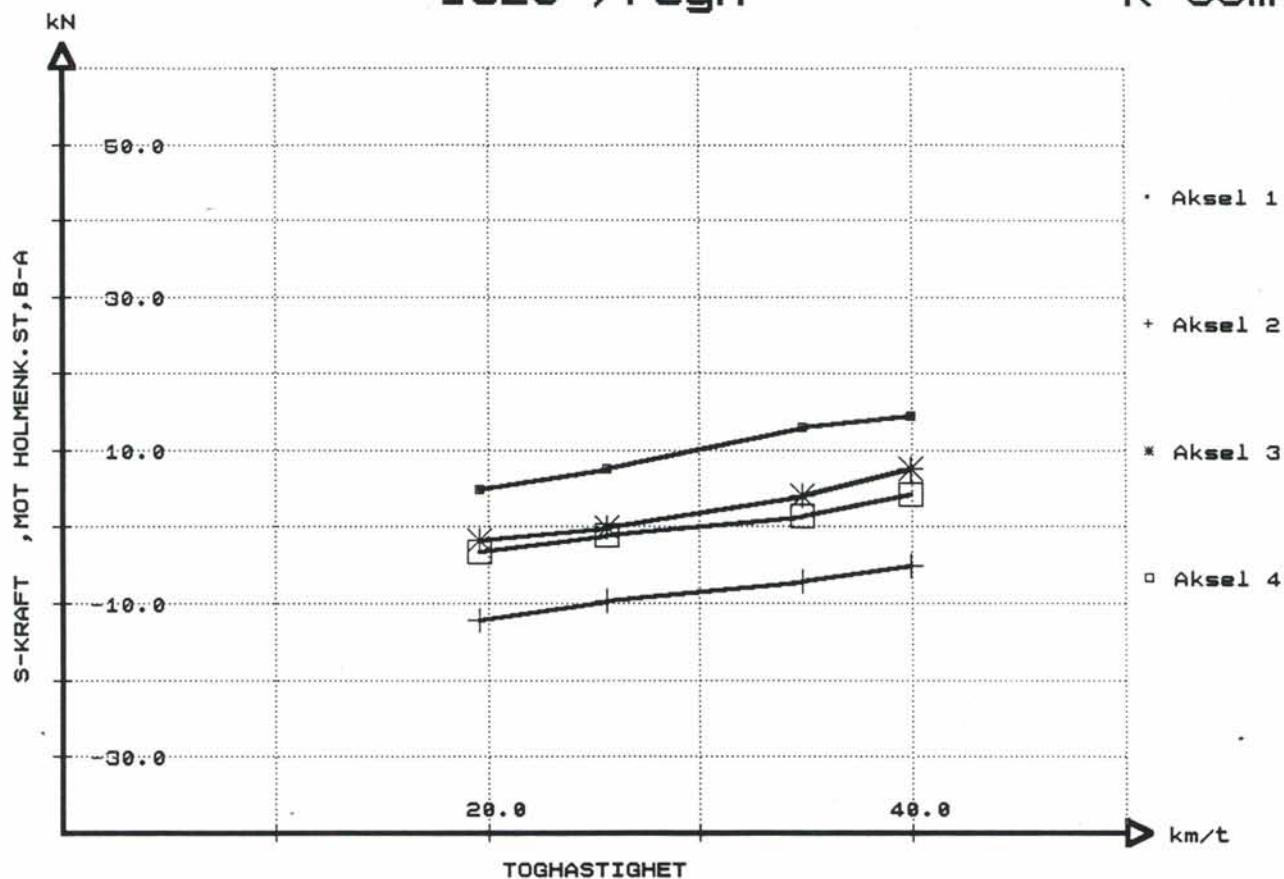
1325 m/sol

R=95m



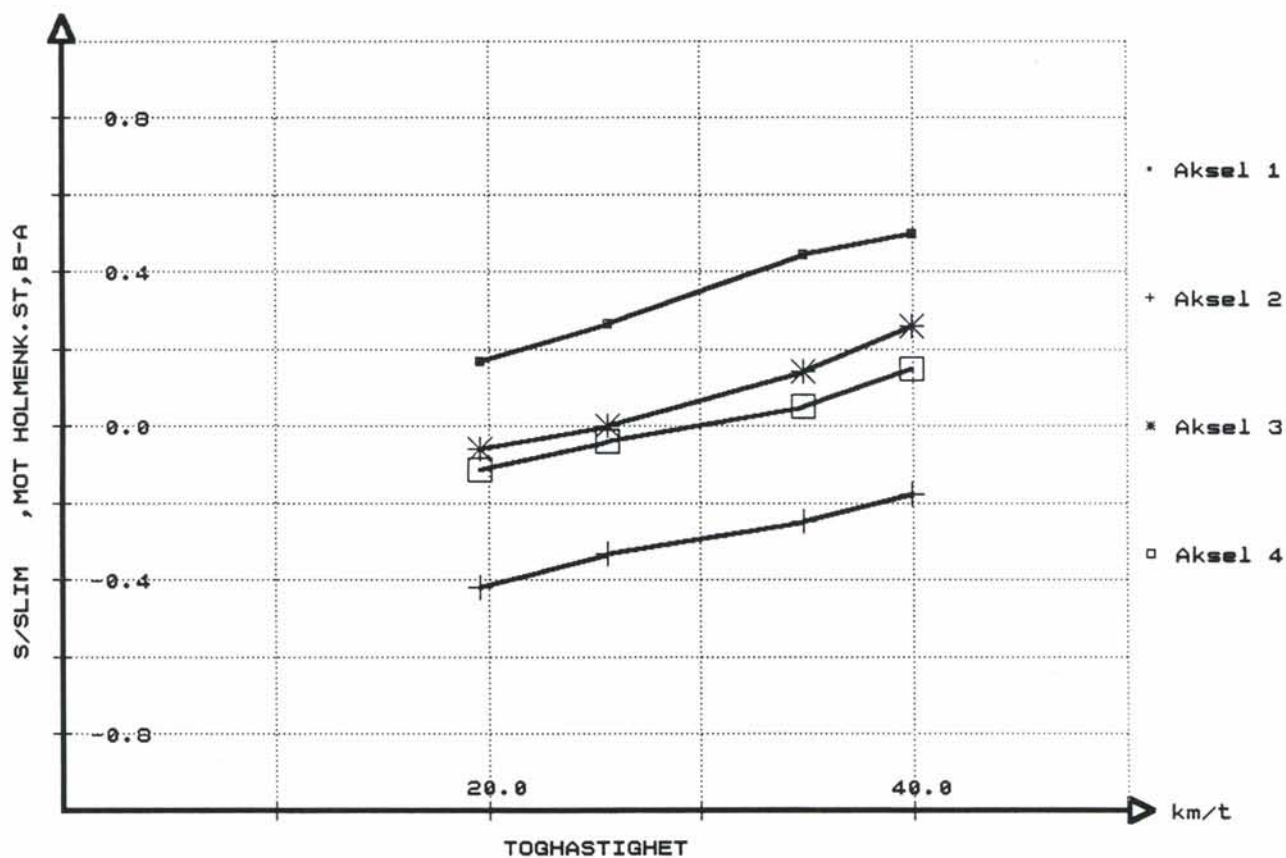
1325 /regn

R=95m



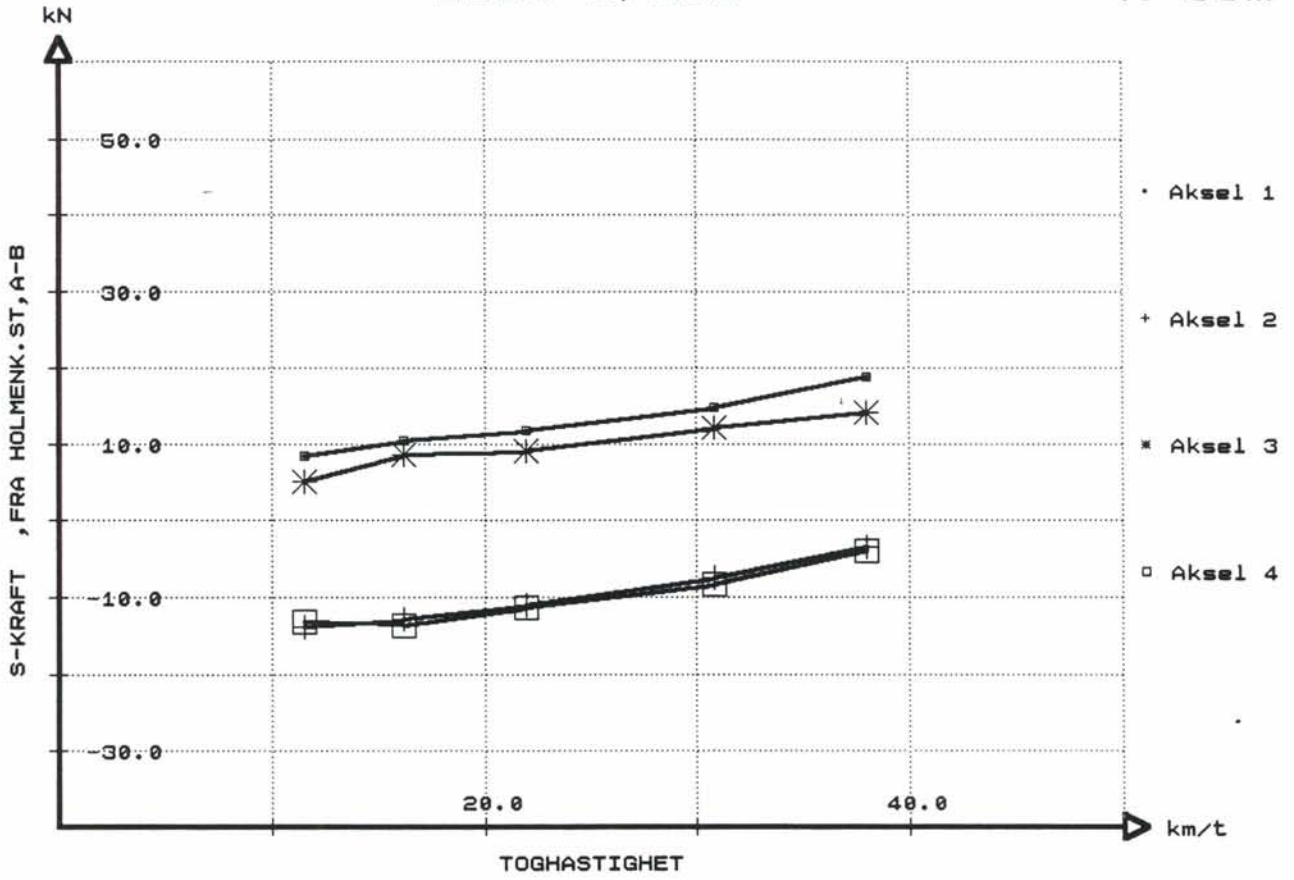
1325 /regn

R=95m



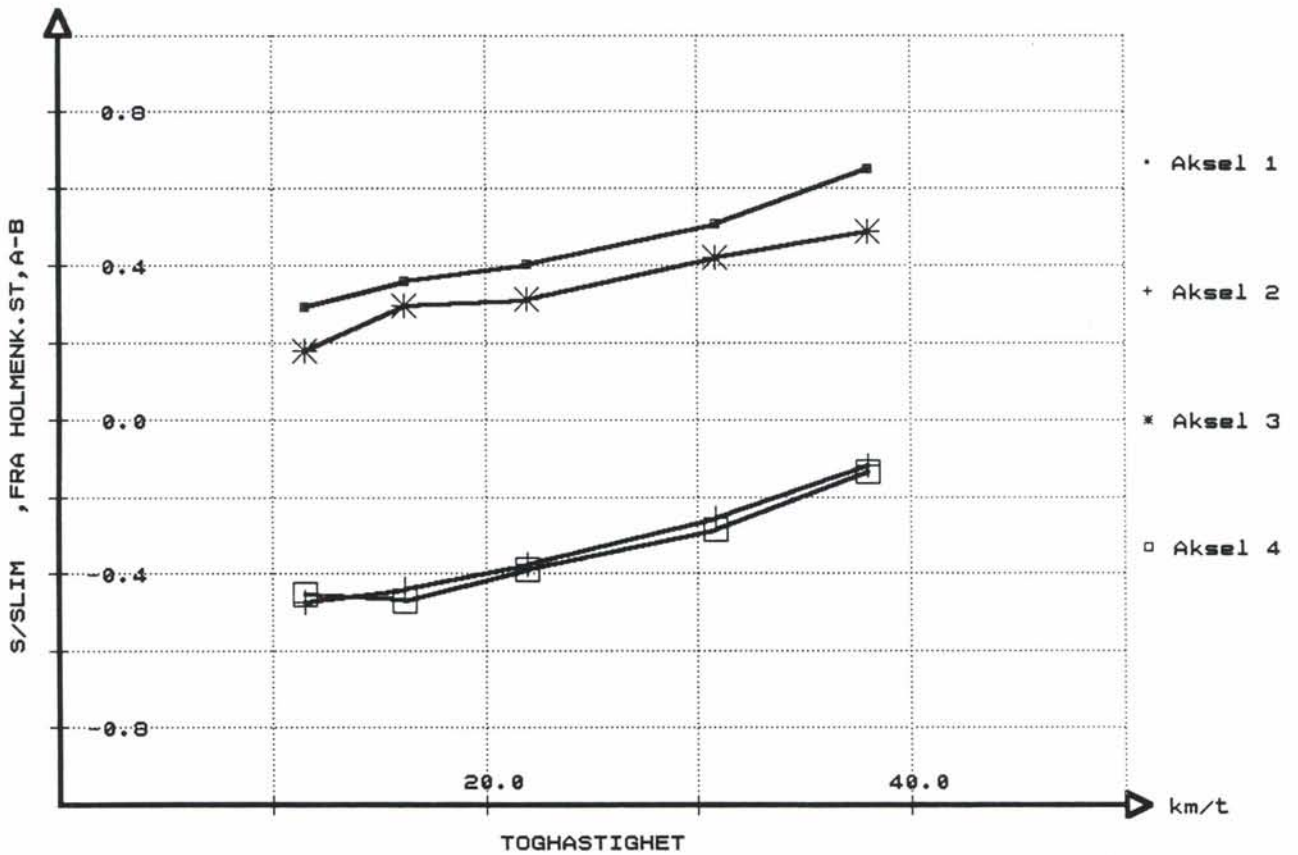
1326 m/sol

R=95m



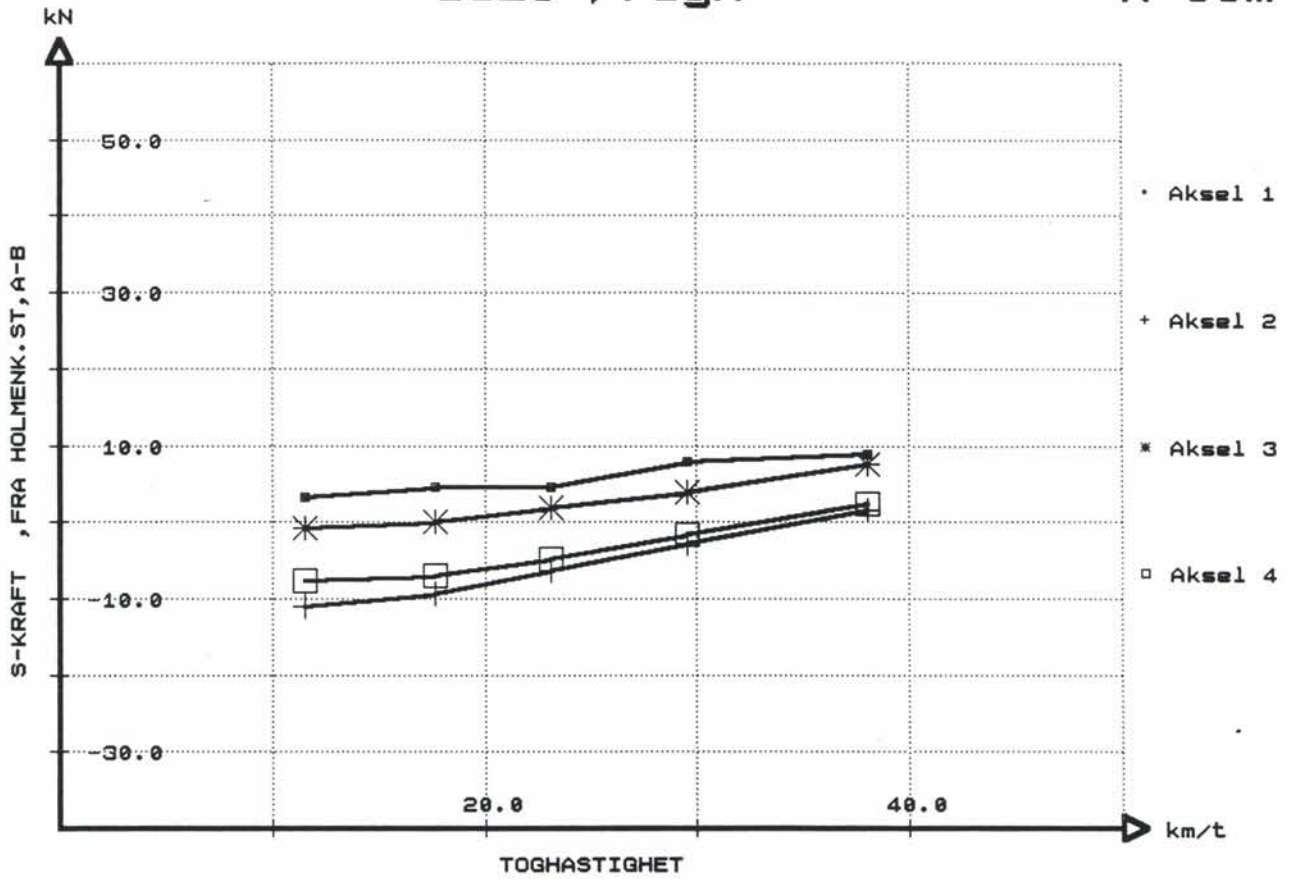
1326 m/sol

R=95m



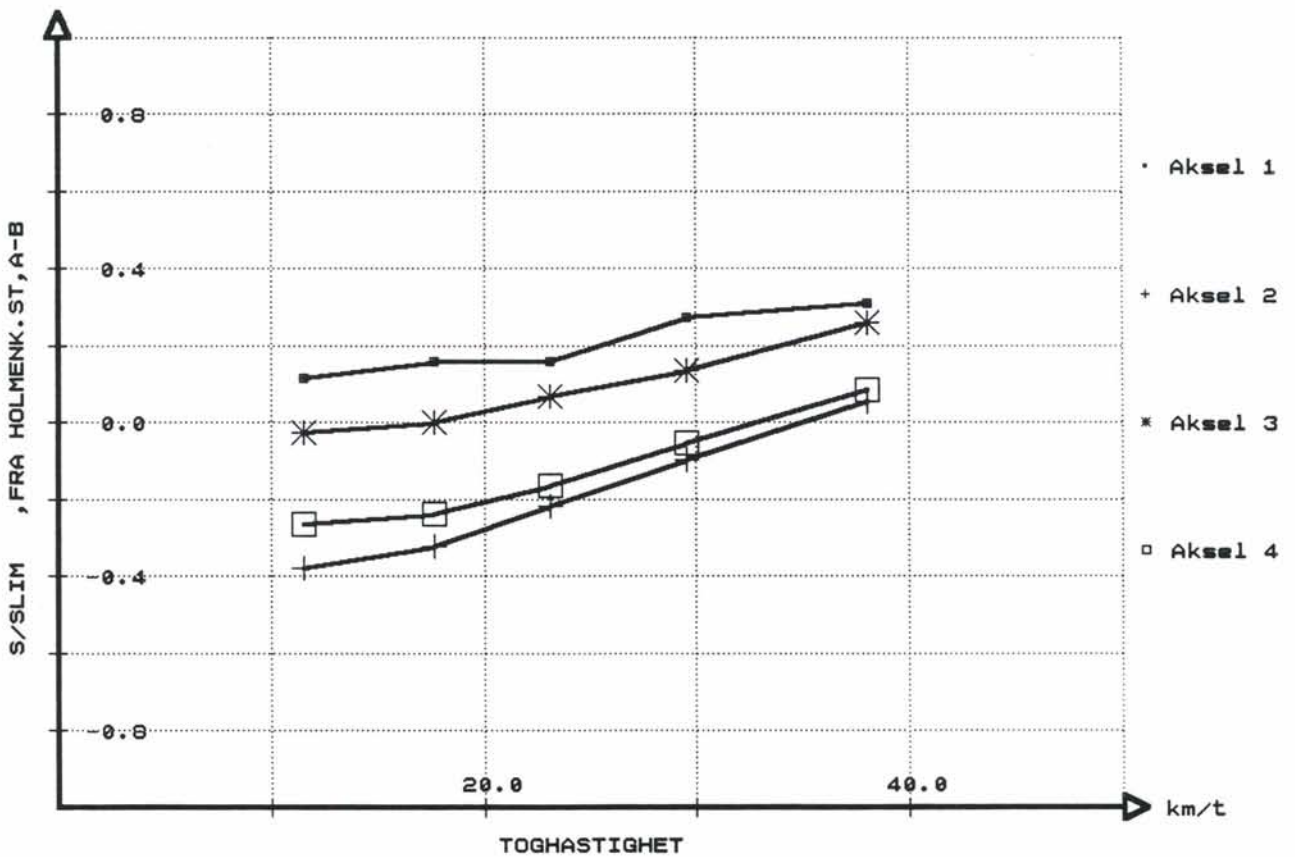
1326 /regn

R=95m



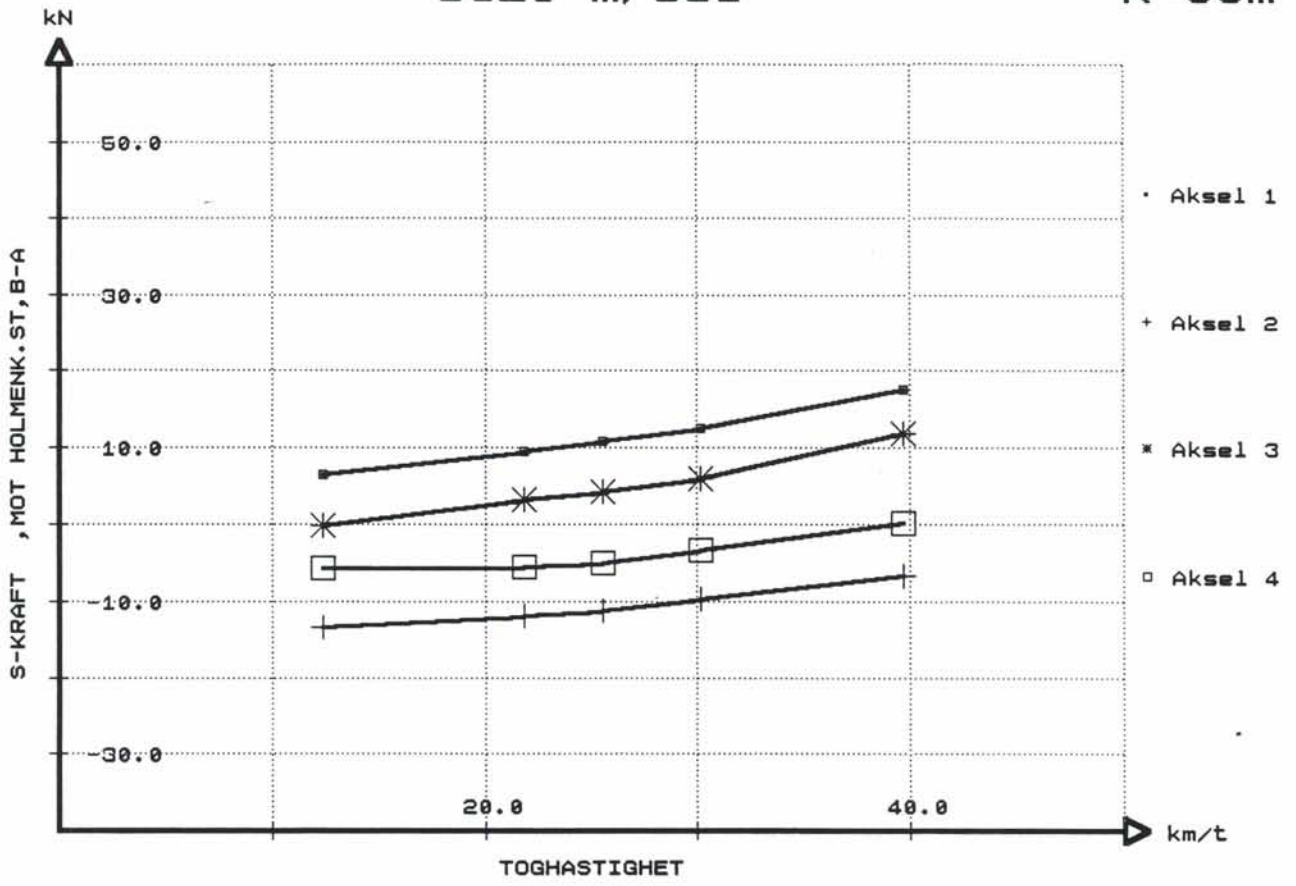
1326 /regn

R=95m



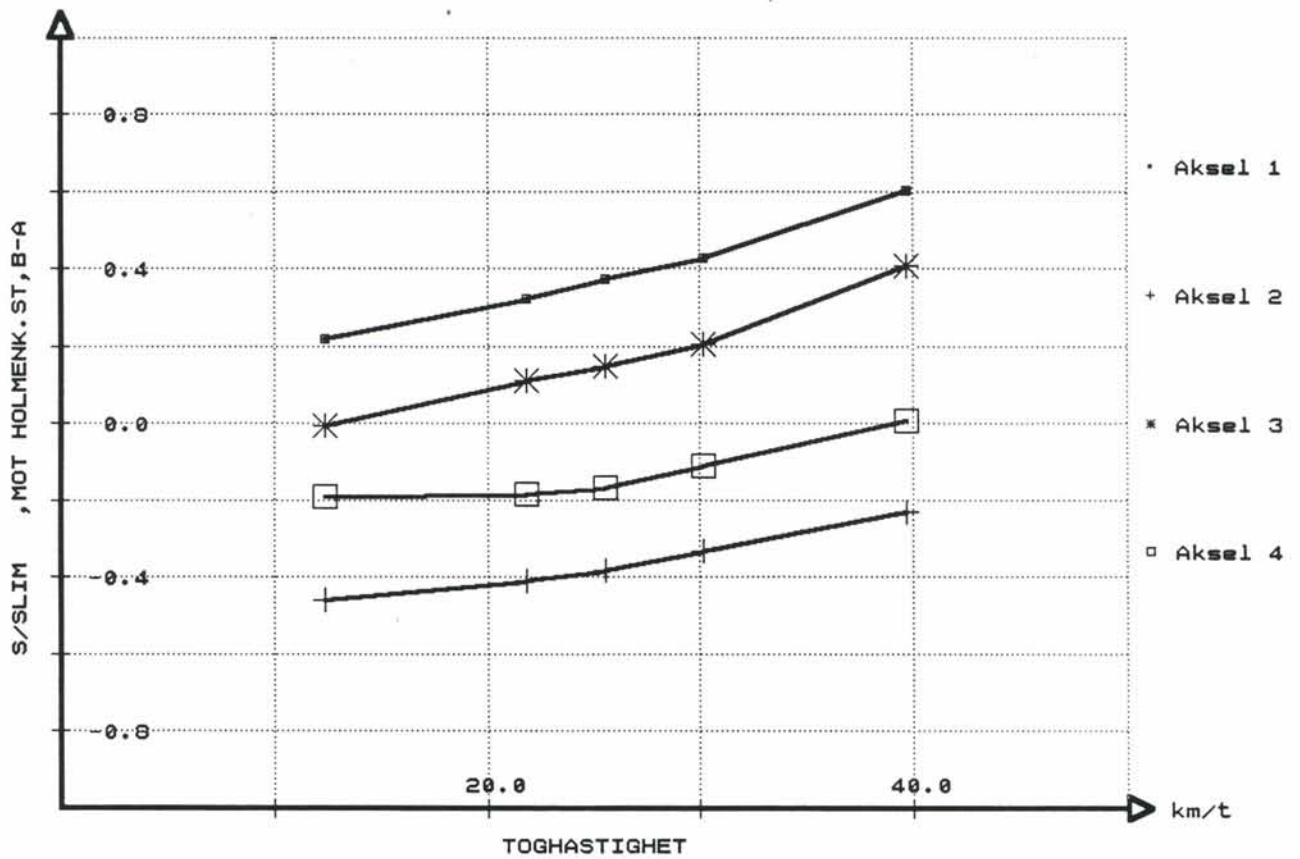
1326 m/sol

R=95m



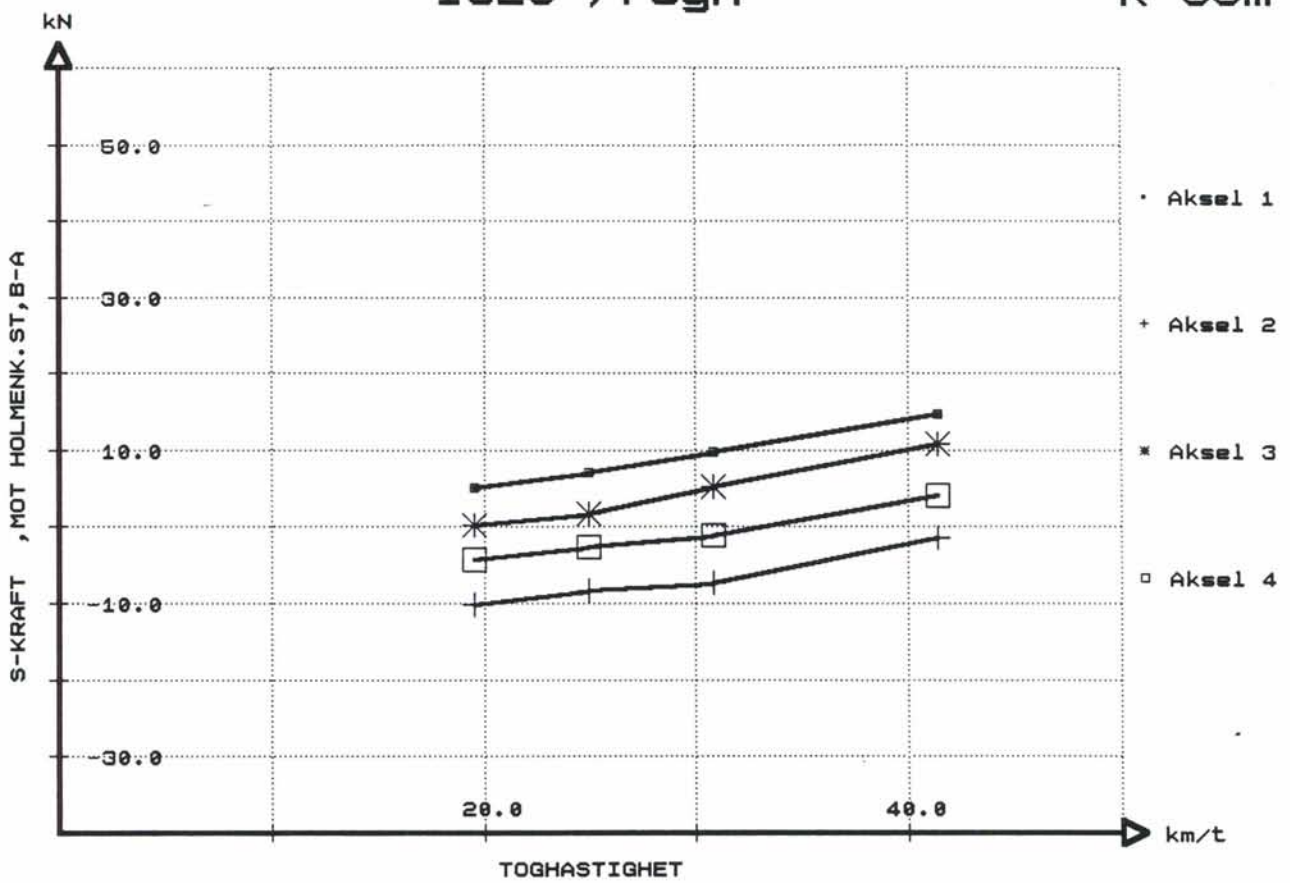
1326 m/sol

R=95m



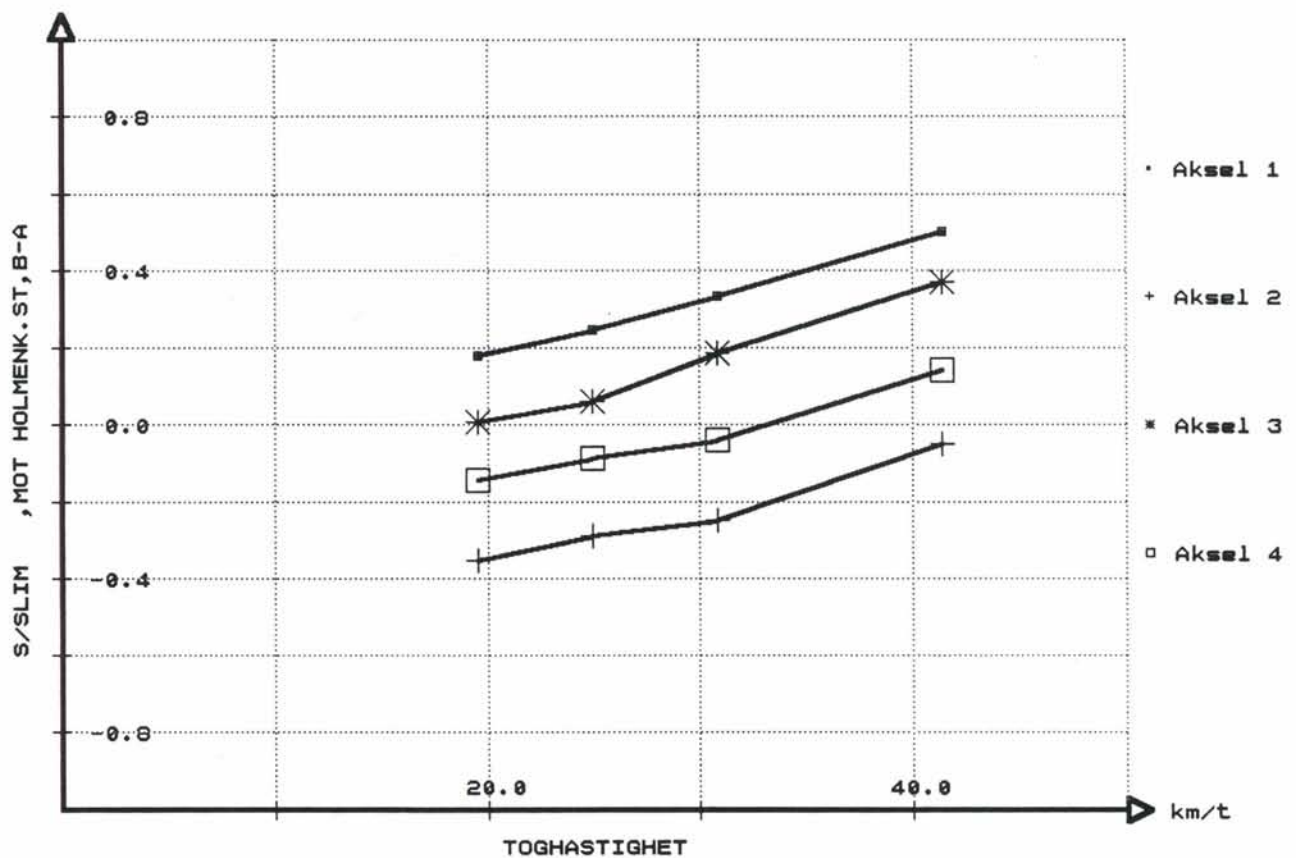
1326 /regn

R=95m



1326 /regn

R=95m



7.4 Avsporingkoeffisienter

Avsporingkoeffisienten for hjul/ytterskinne er beregnet ut i fra målte Q- og Y-krefter.

Avsporingkoeffisient = Y/Q

Et kriterium for avsporingkoeffisient er Nadals formel :

Y/Q skal være mindre enn $(\tan u - k) / (1 + k * \tan u)$ hvor

u er flensvinkel og

k glidefriksjonskoeffisient.

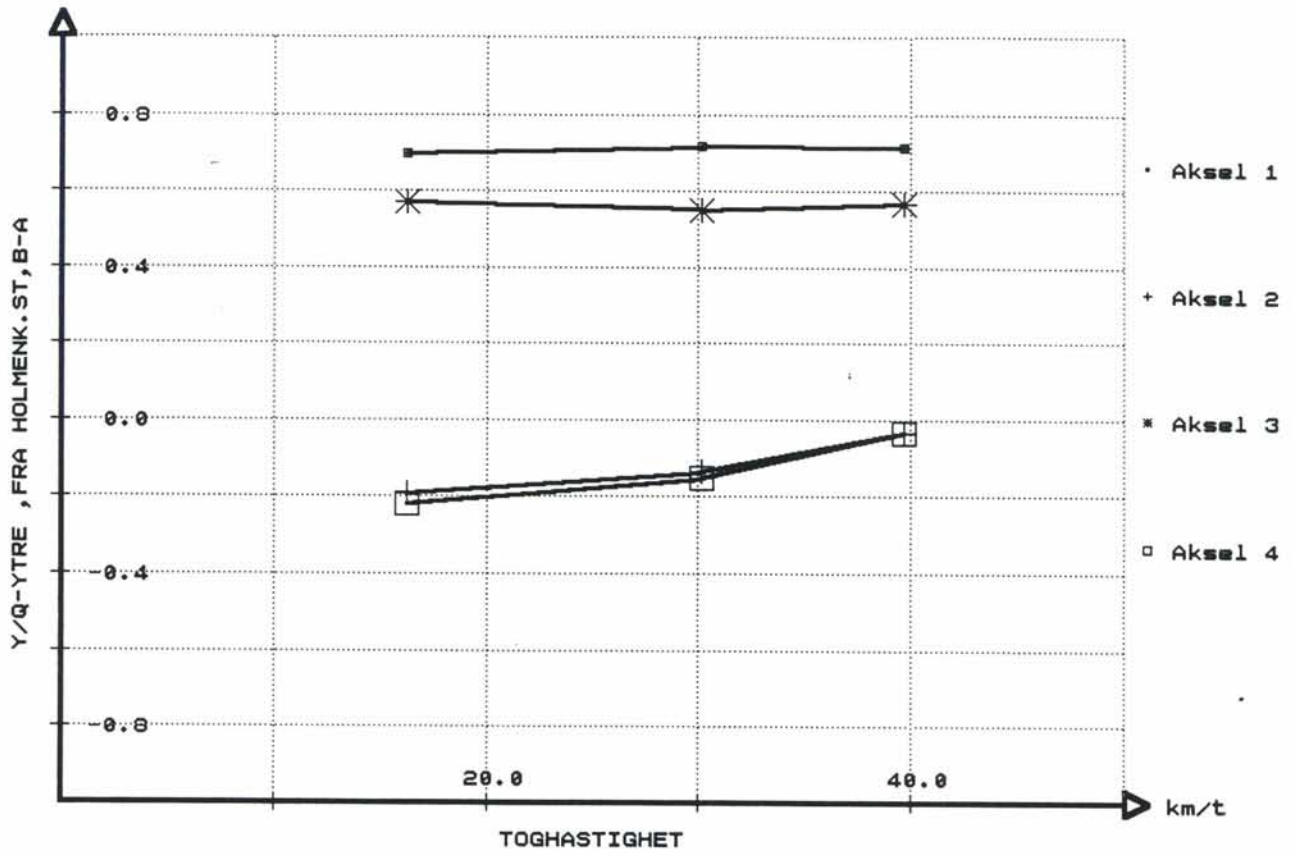
For uttestet sporveismateriell var flensvinkelen 60 grader, og vi får da følgende grenseverdier :

Tørre skinner med $k = 0.4$ gir at Y/Q skal være minde enn 0.79

Våte skinner med $k = 0.2$ gir at Y/Q skal være mindre enn 1.14

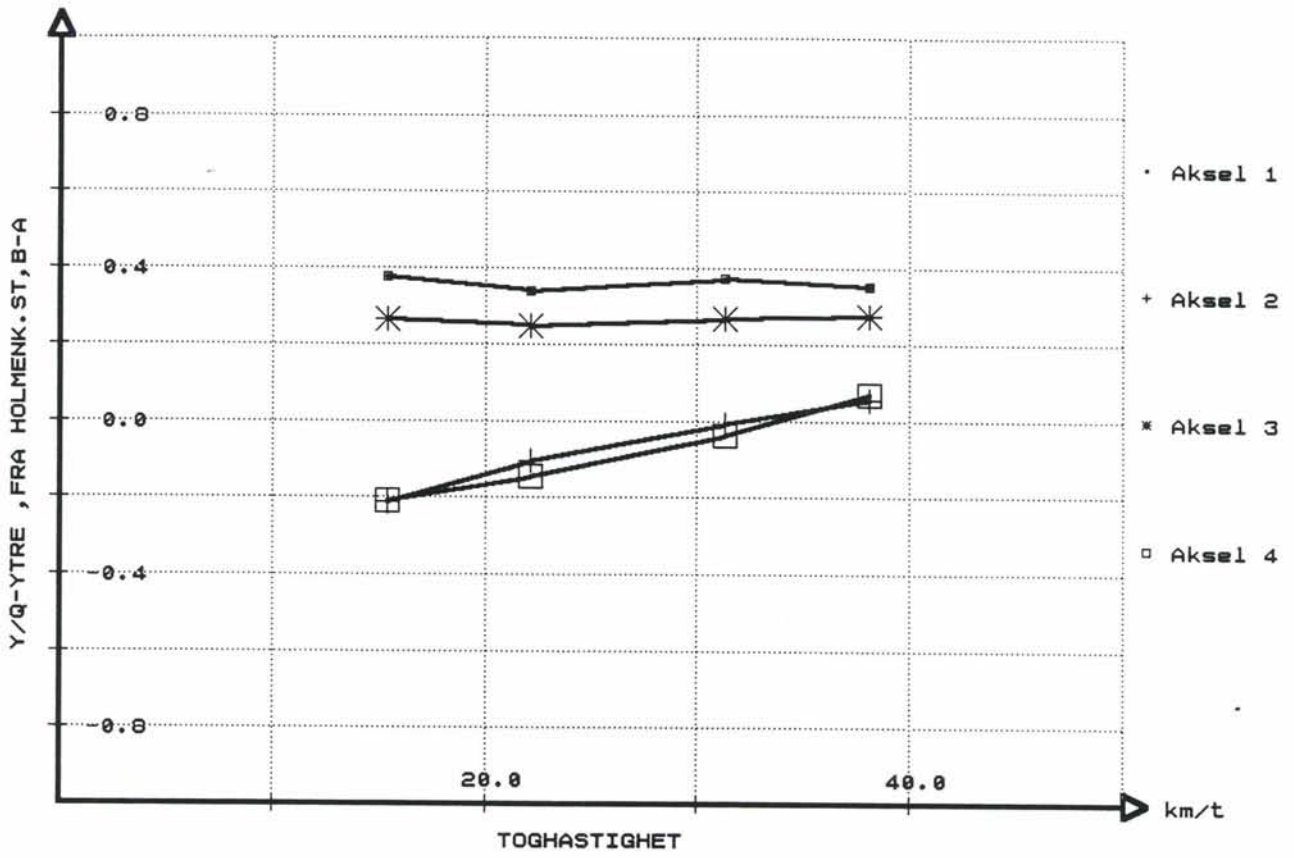
407 m/sol

R=95m



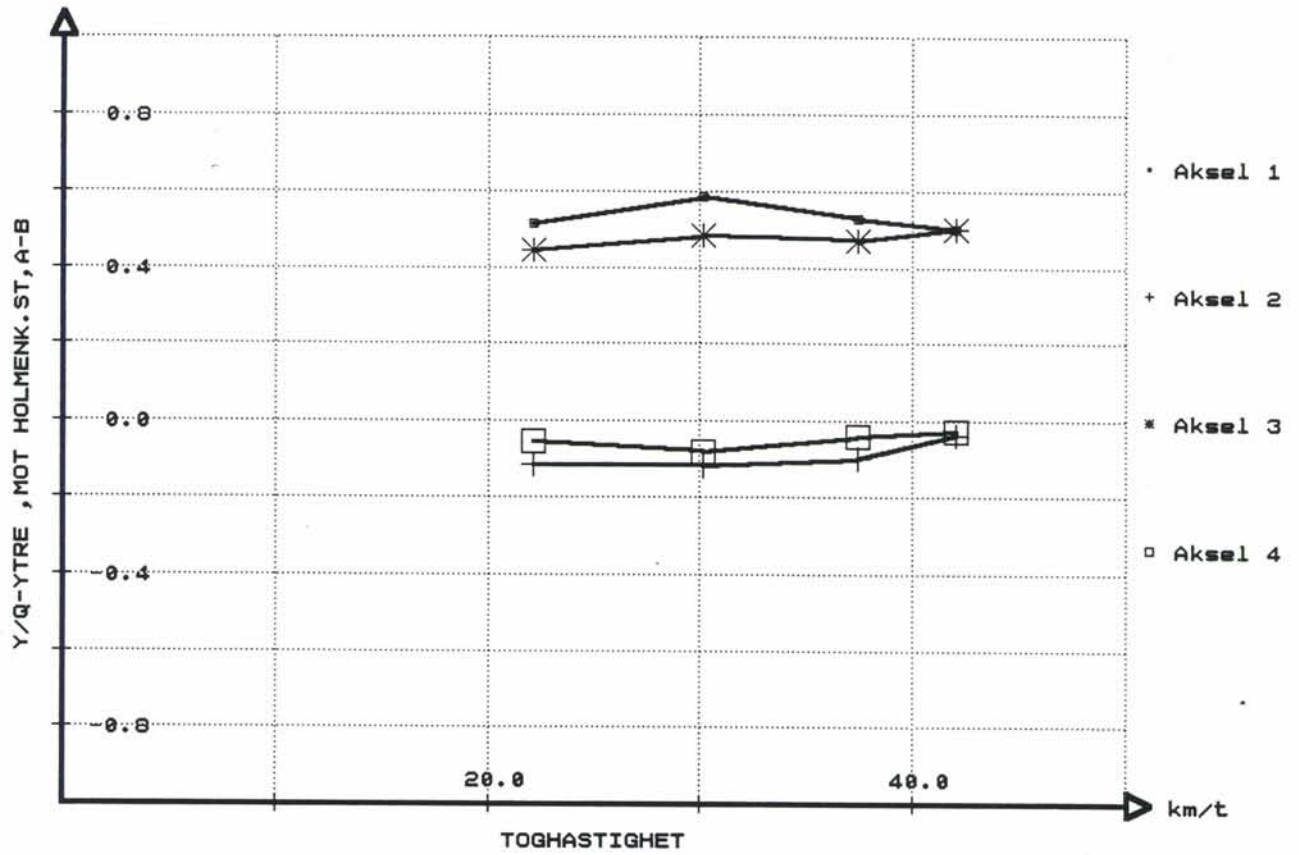
407 m/regn

R=95m



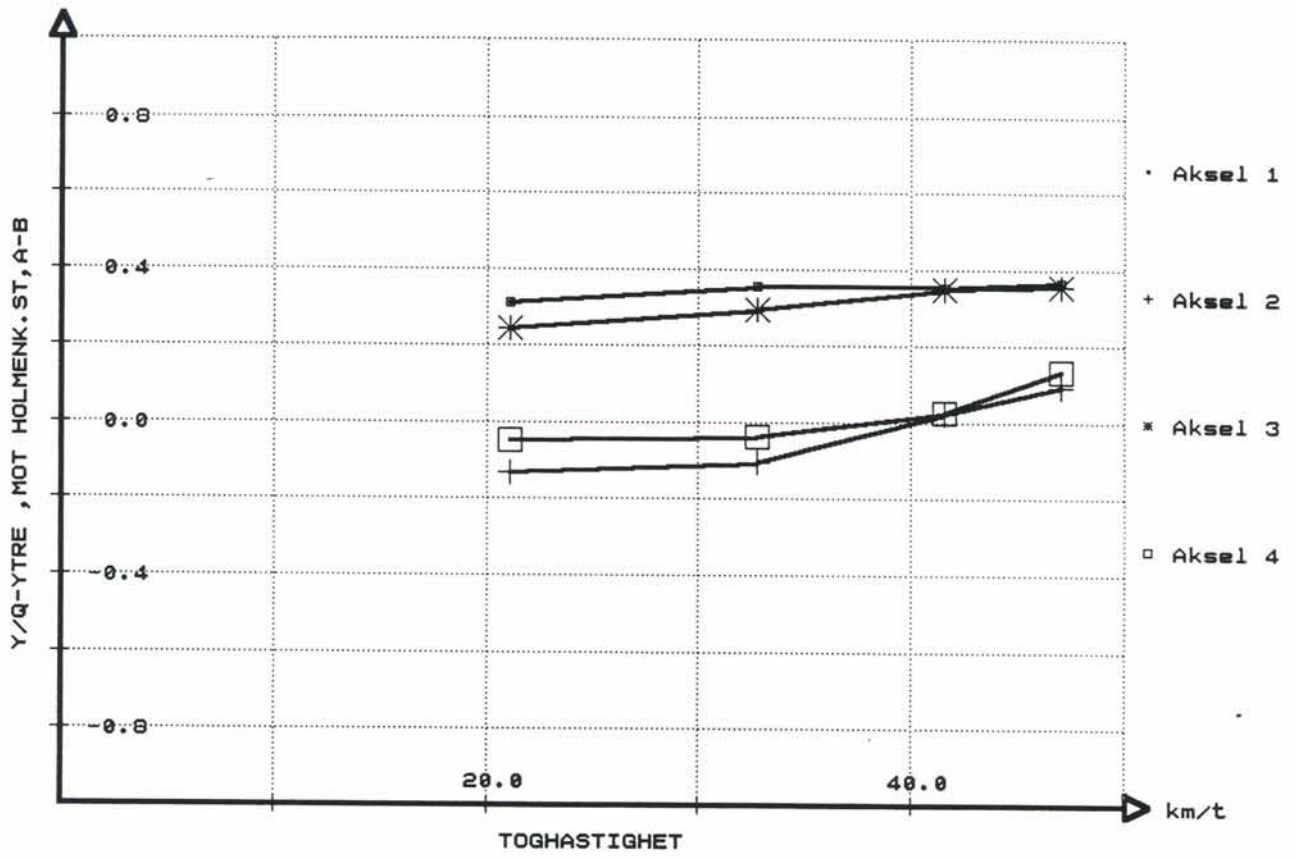
407 m/sol

R=95m



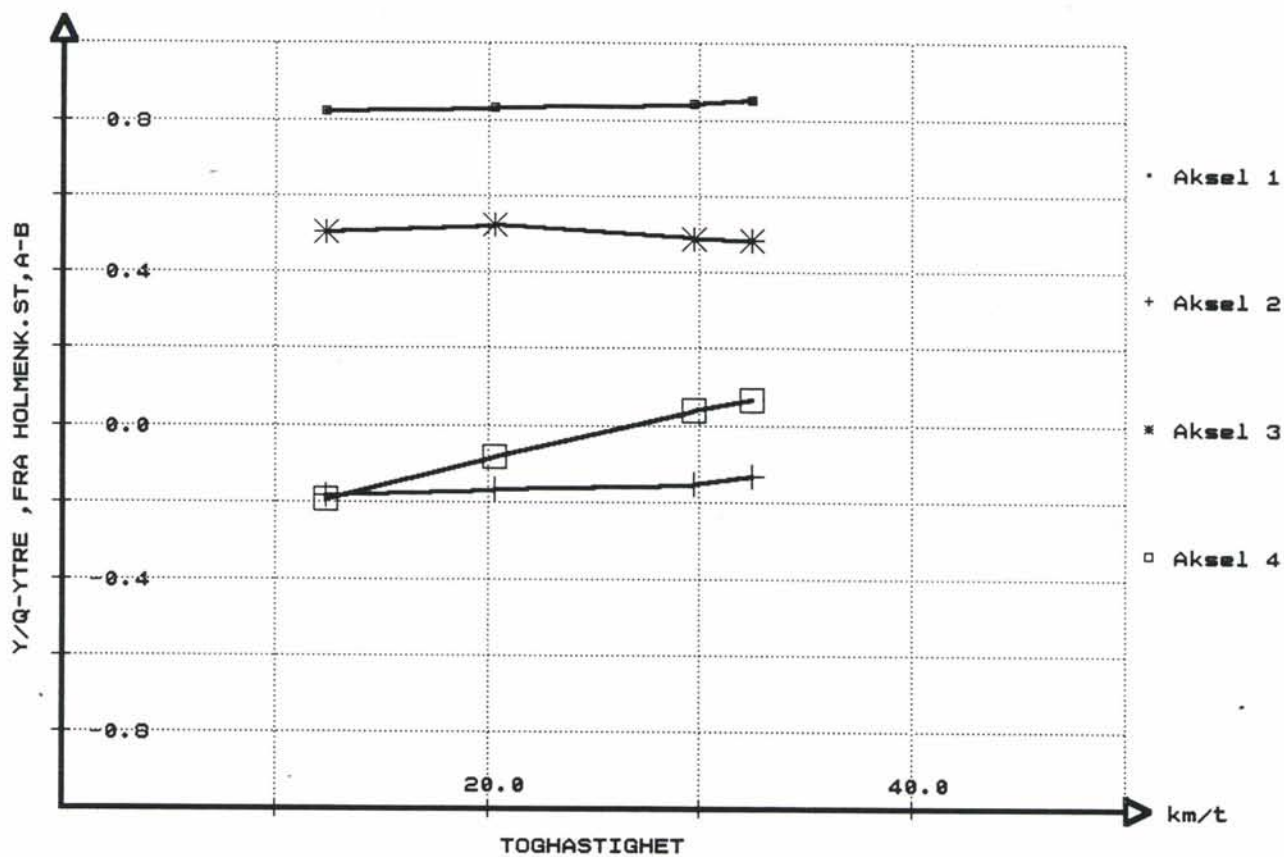
407 m/regn

R=95m



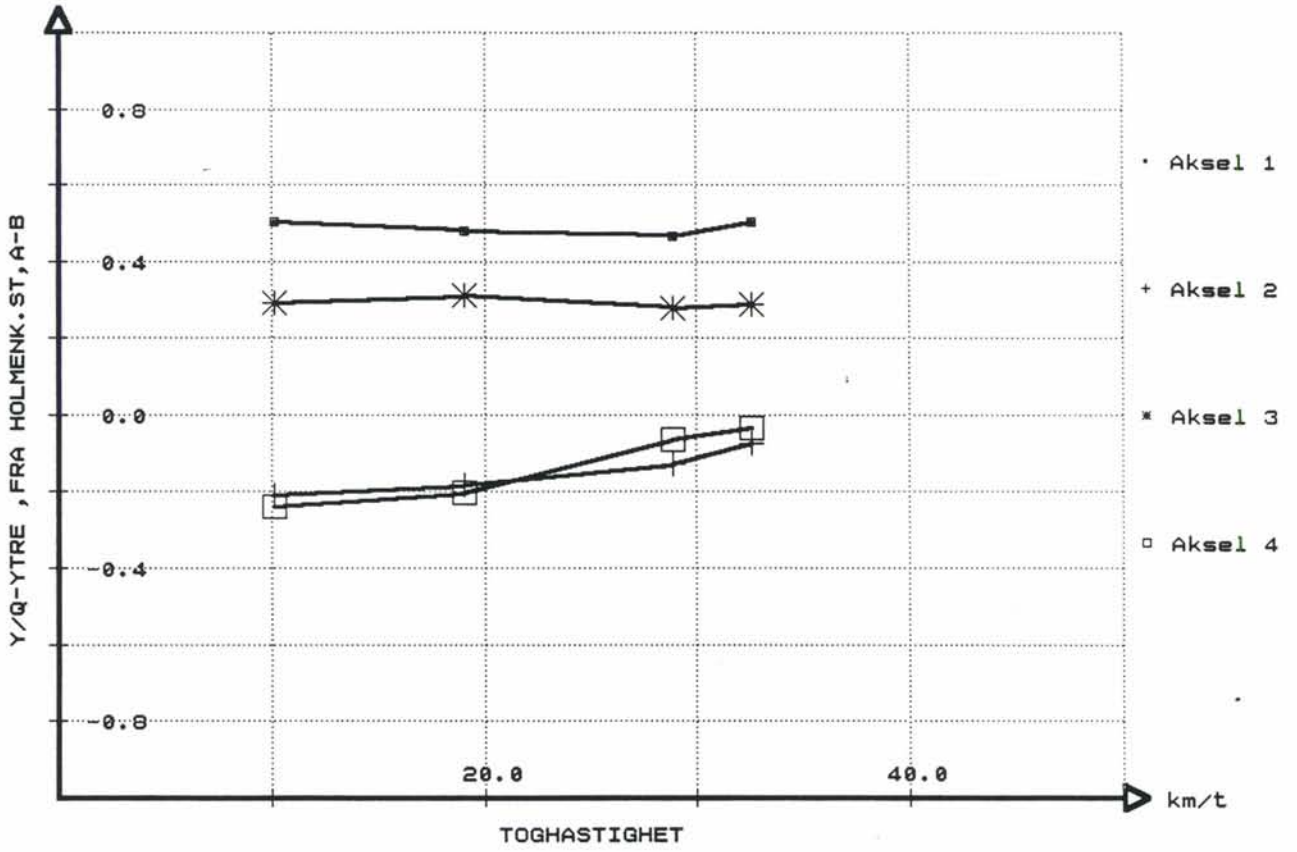
601 m/opph

R=95m



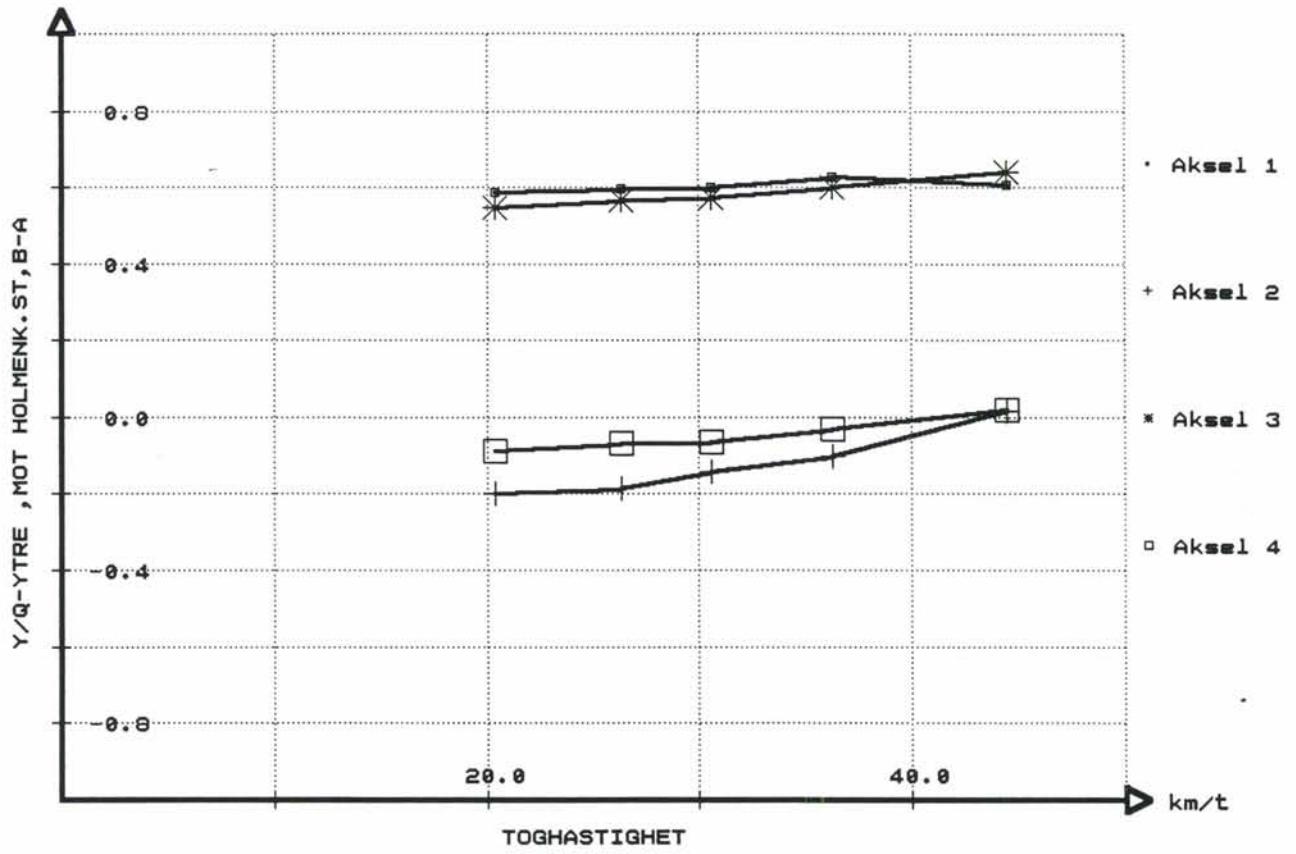
601 m/regn

R=95m



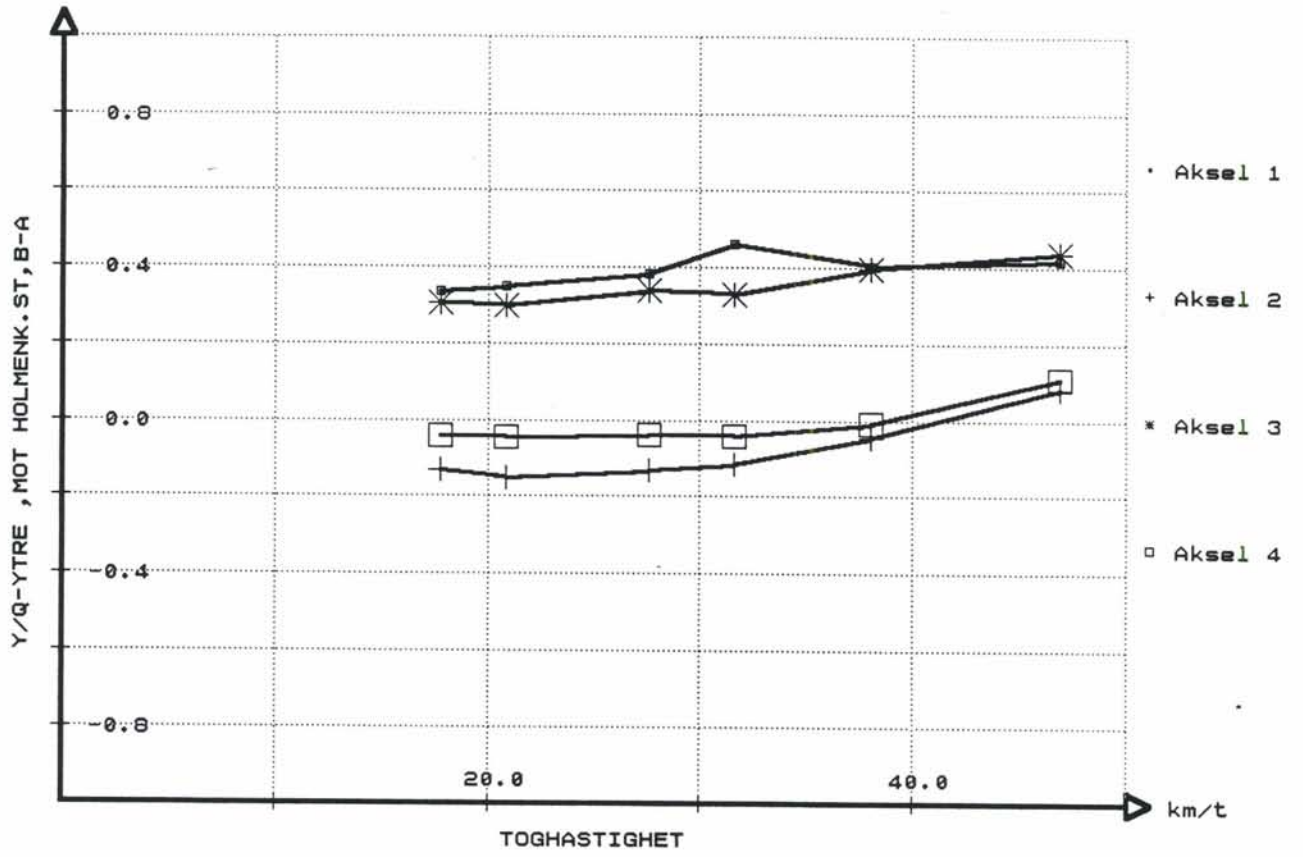
601 m/opph

R=95m



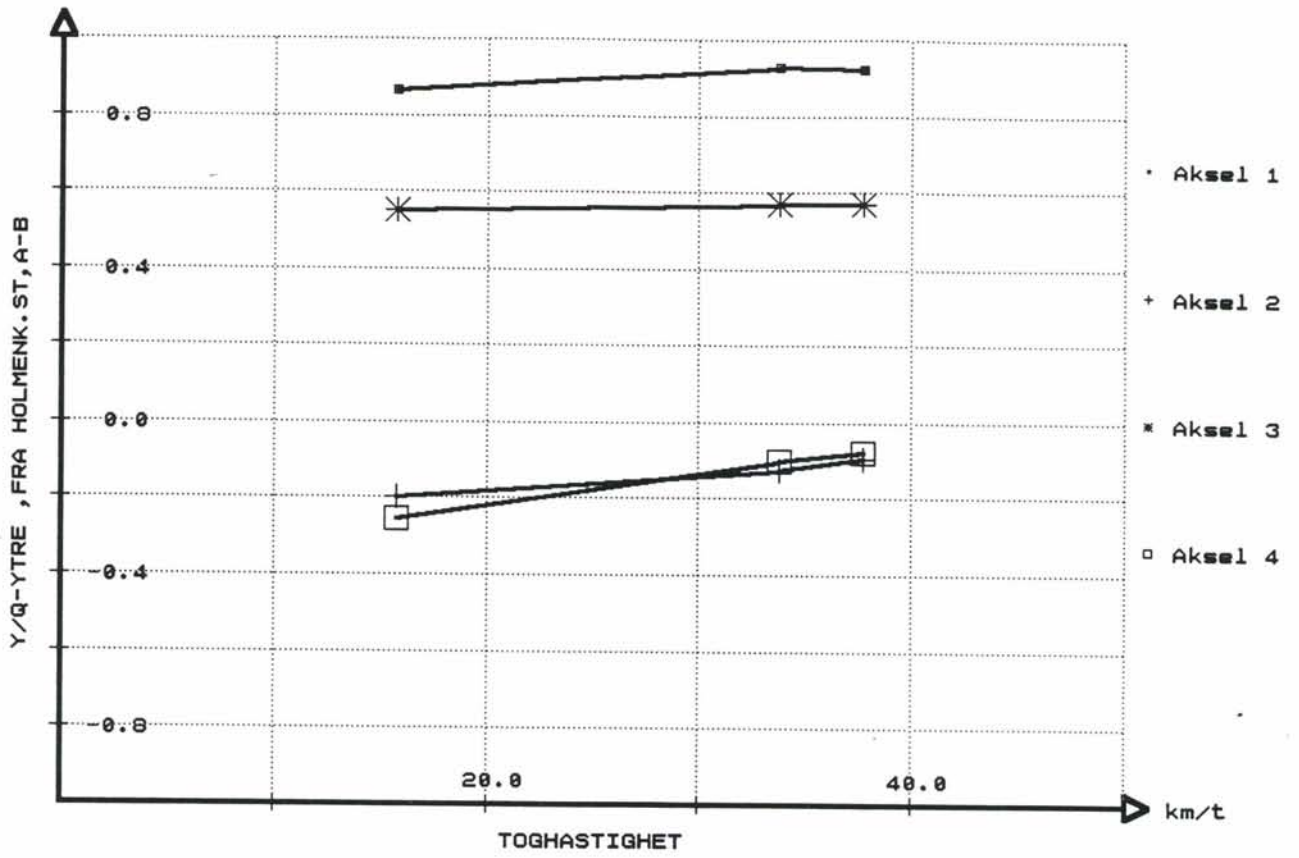
601 m/regn

R=95m



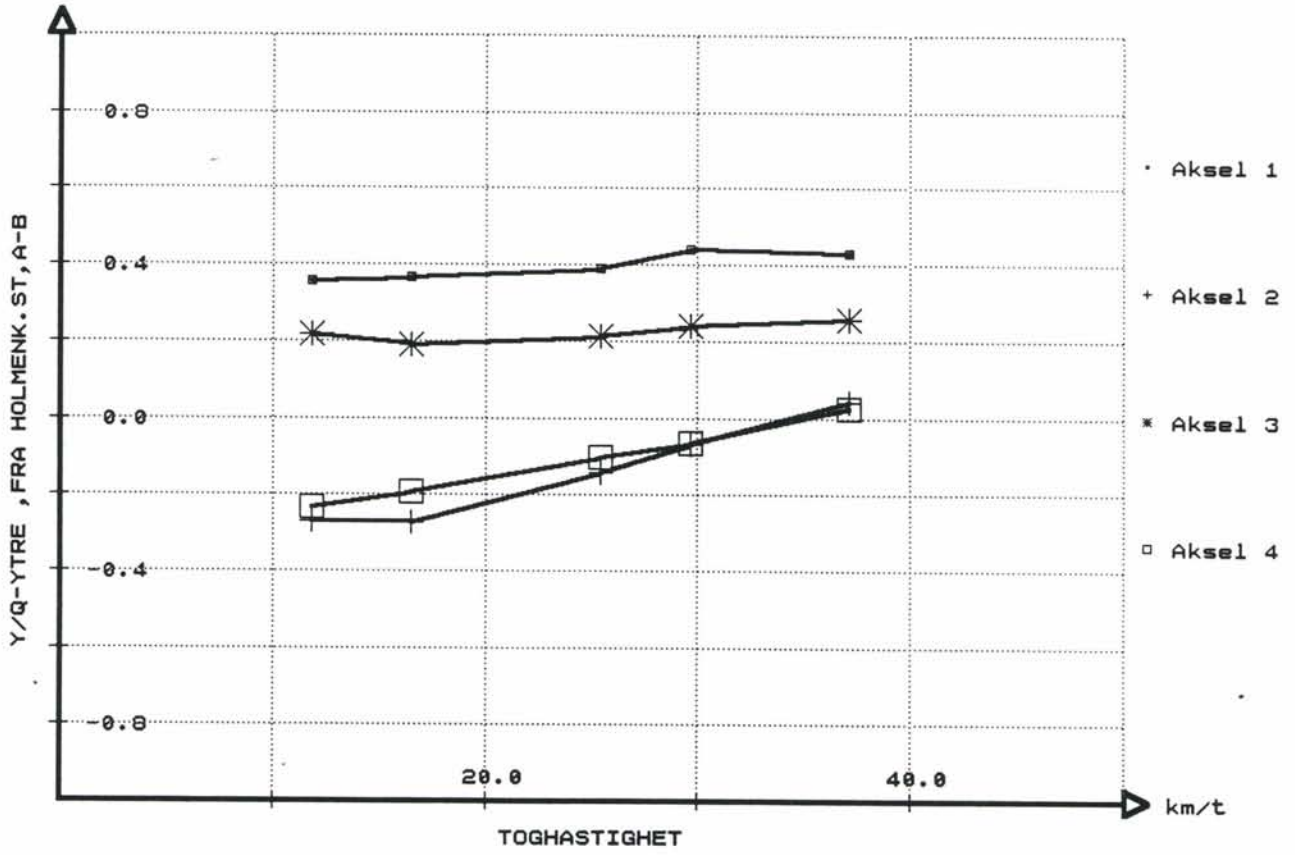
1323 /opph

R=95m



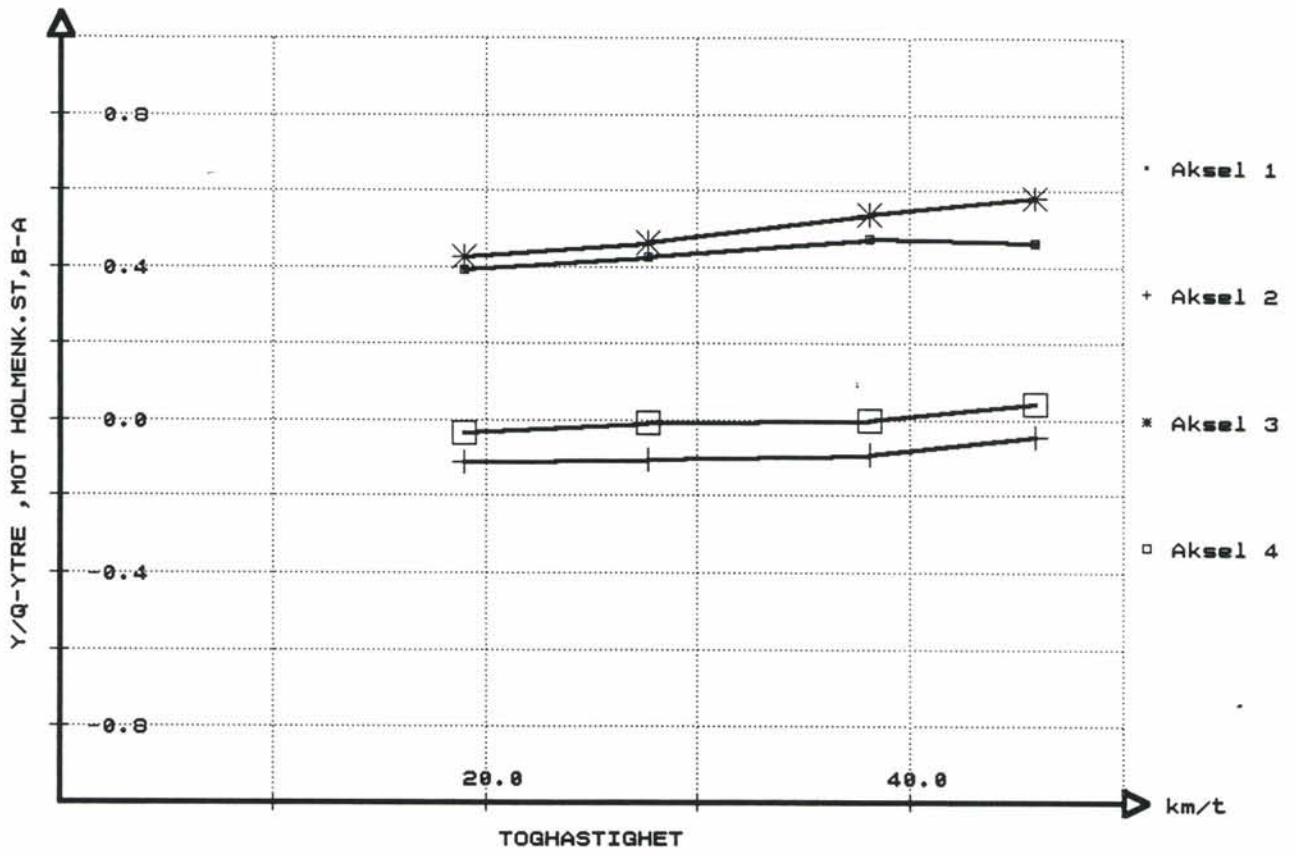
1323 /regn

R=95m



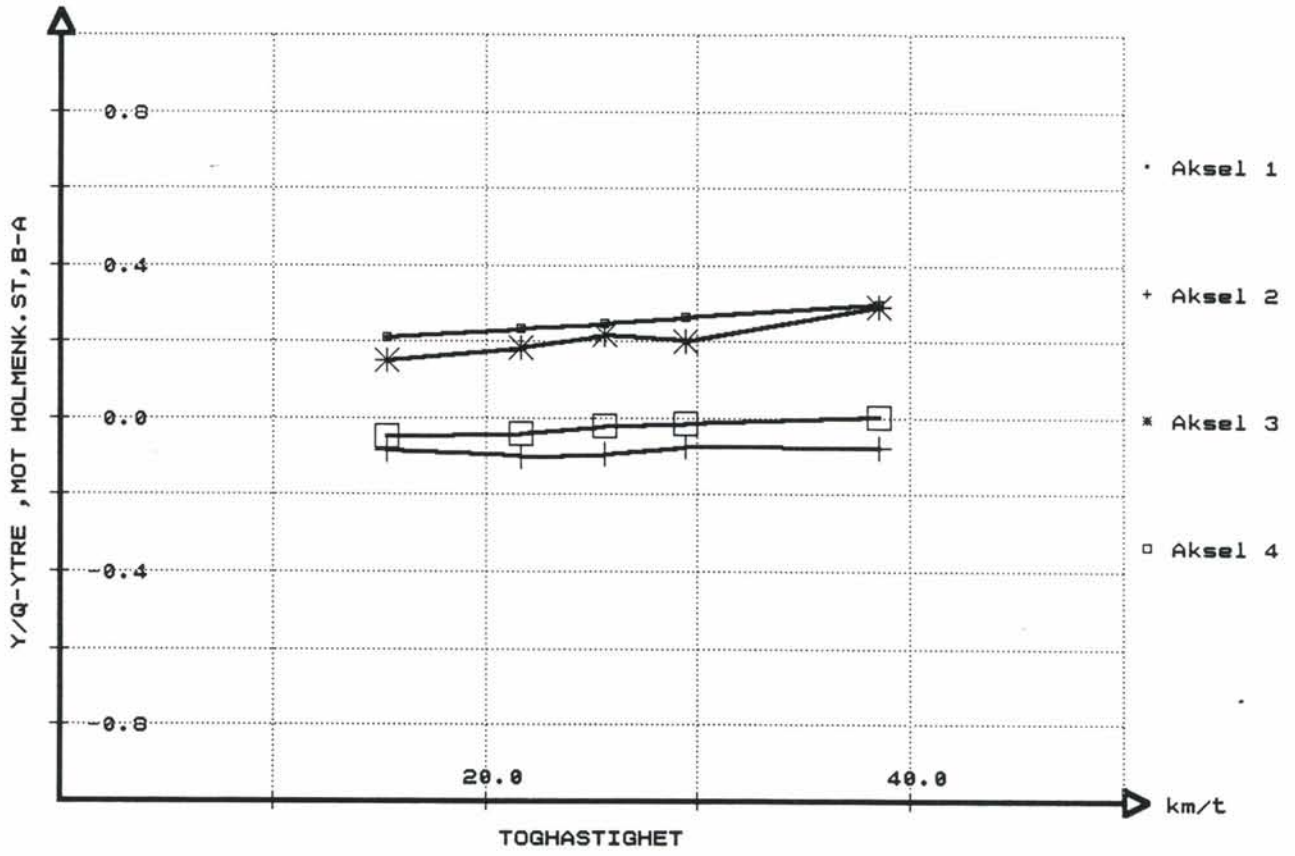
1323 /opph

R=95m



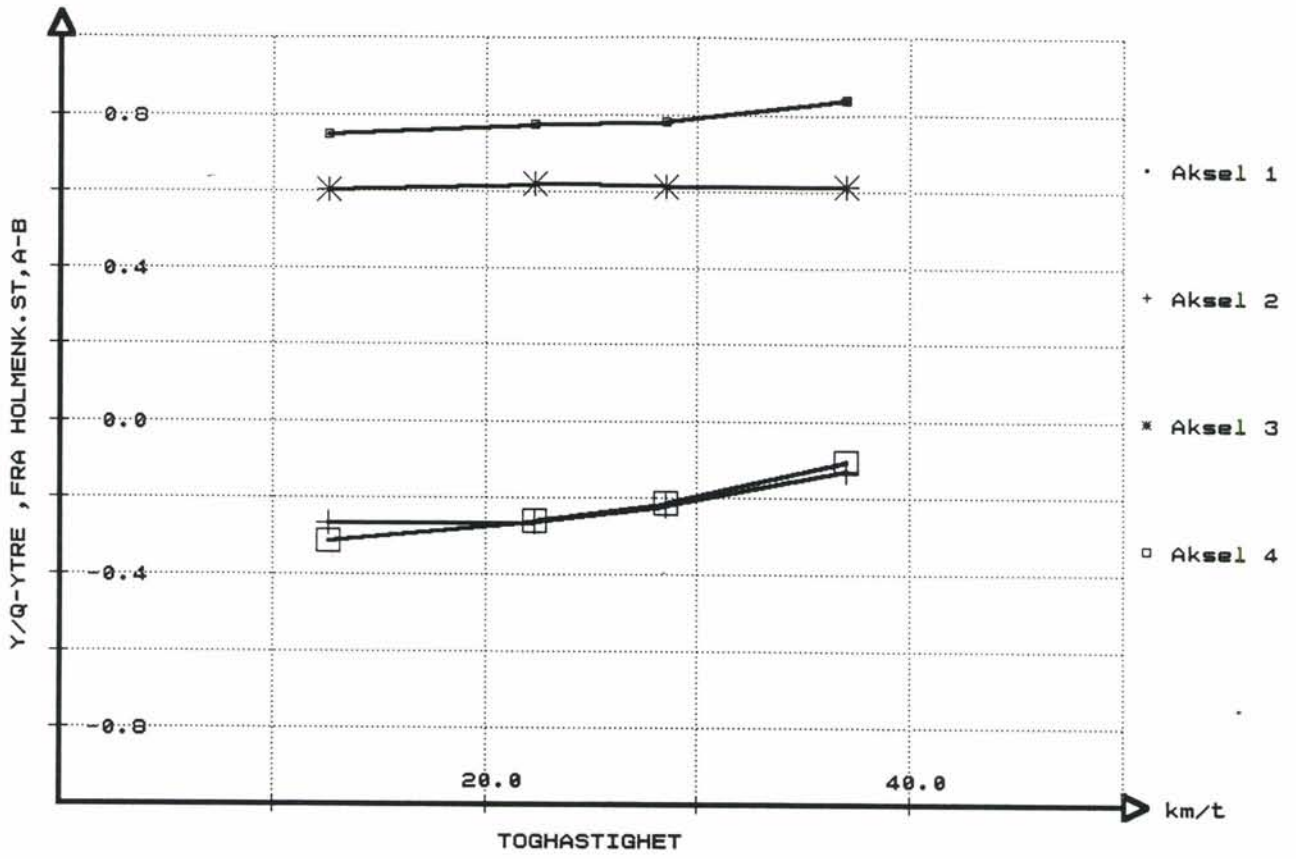
1323 /regn

R=95m



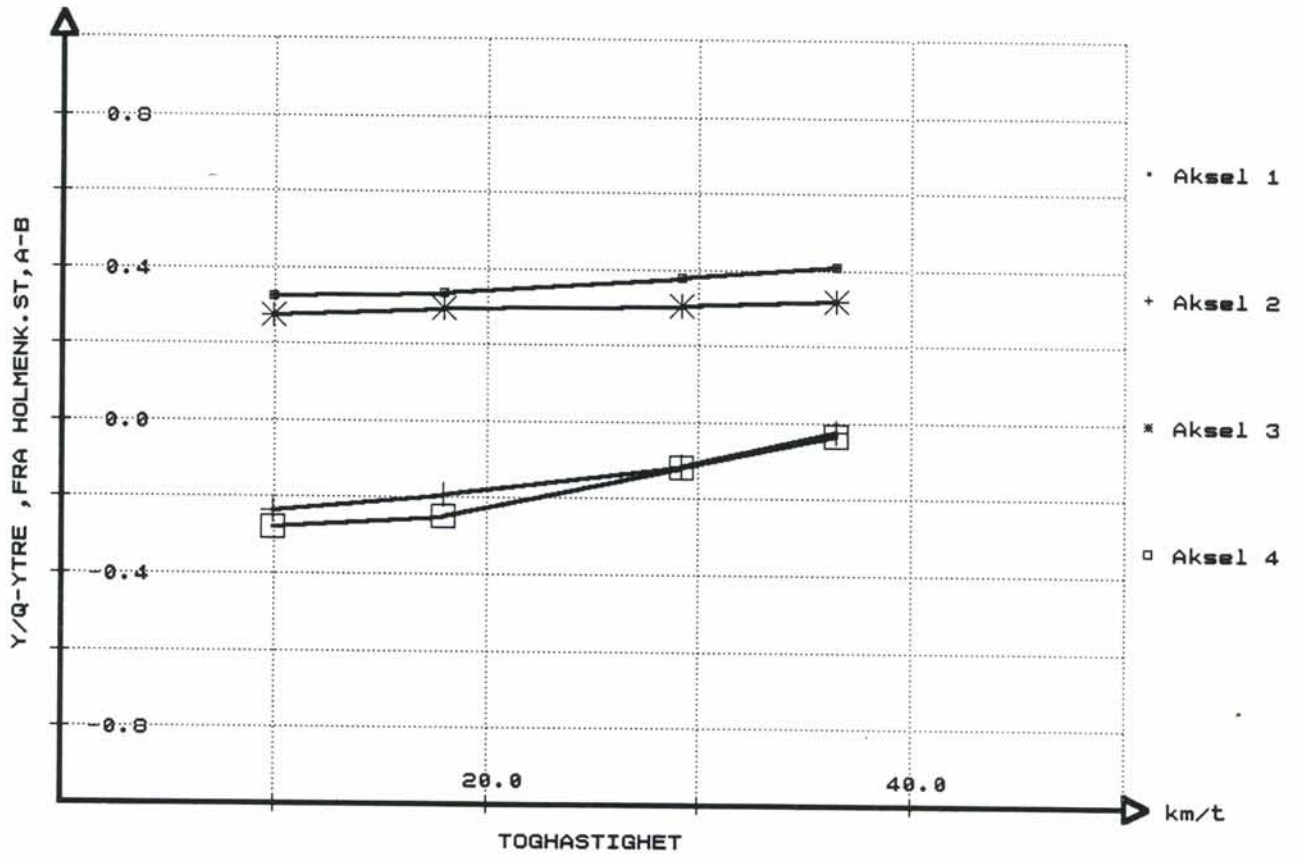
1325 m/sol

R=95m



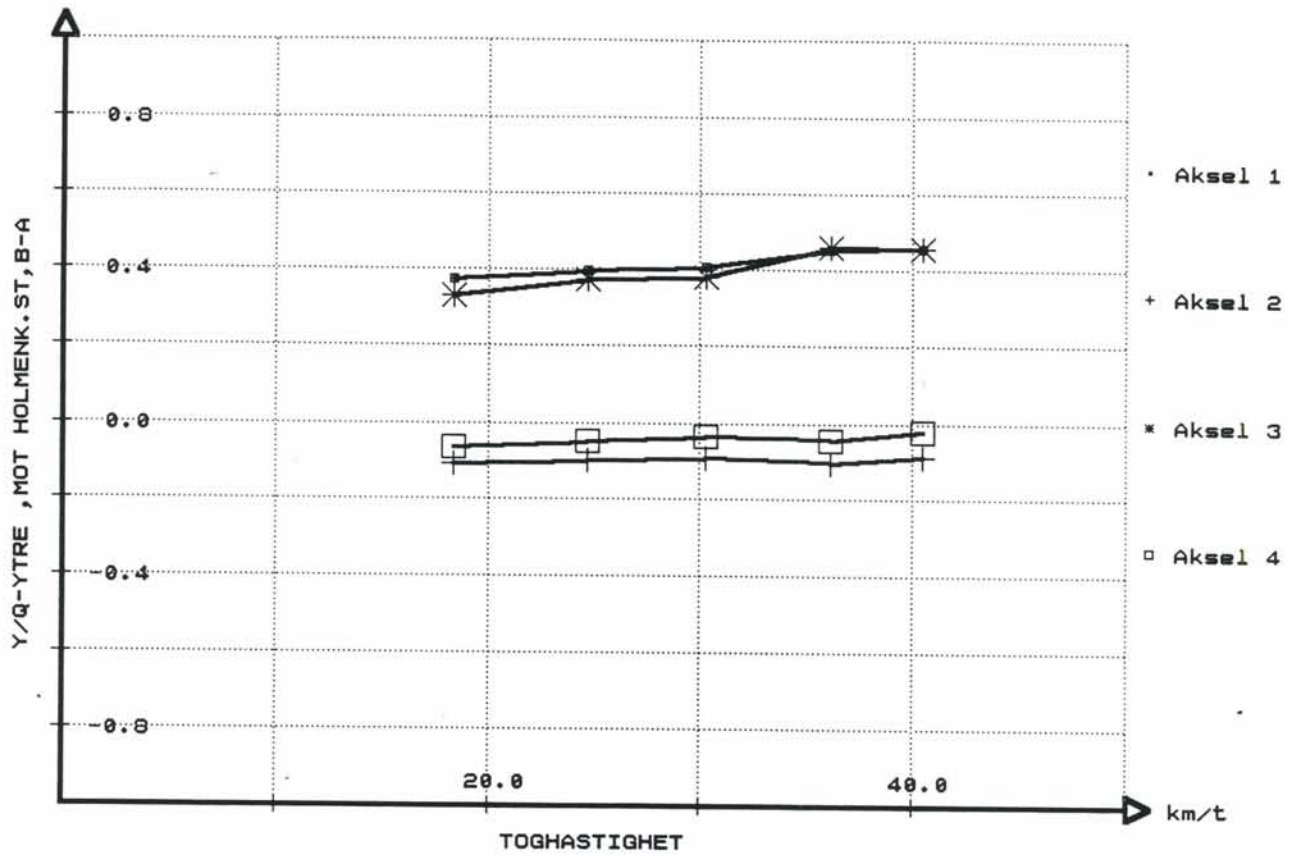
1325 /regn

R=95m



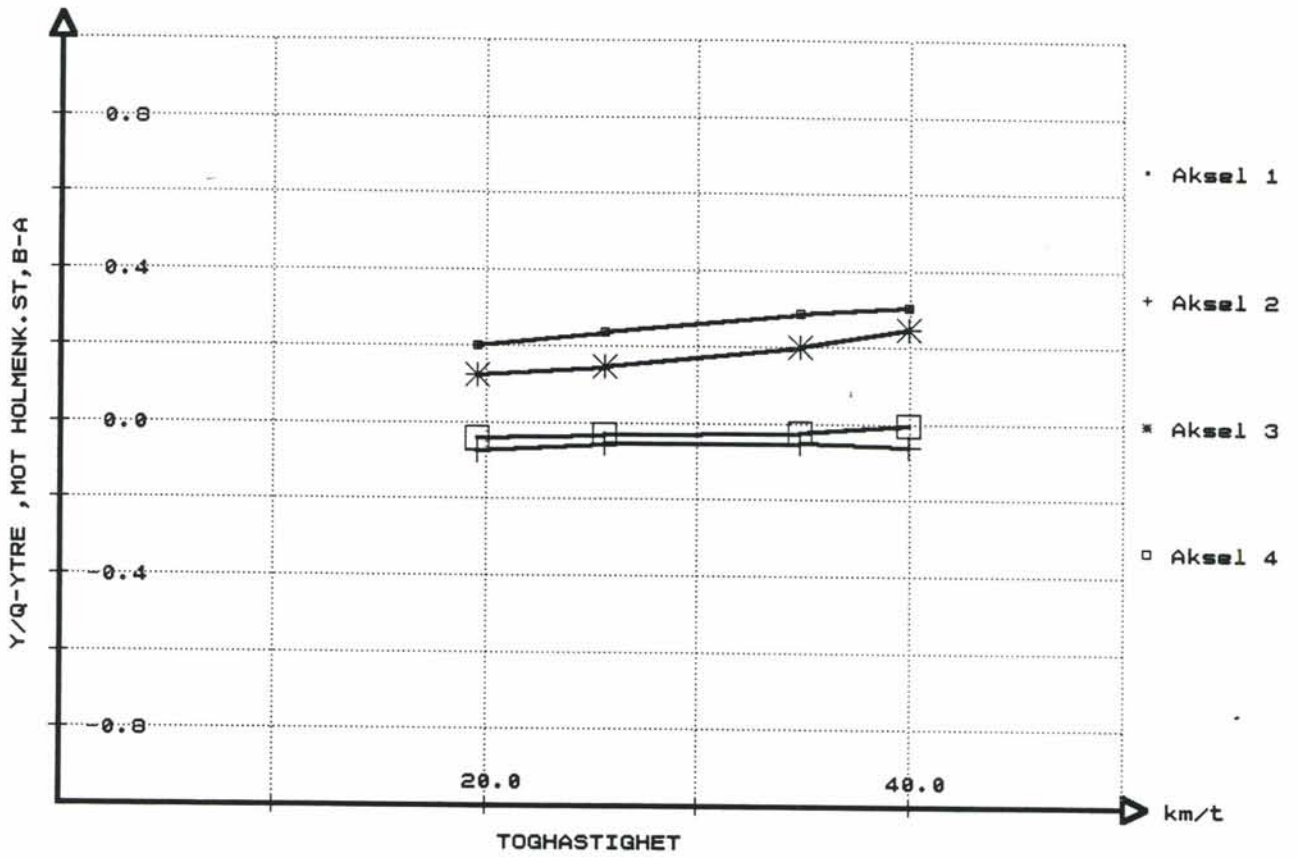
1325 m/sol

R=95m



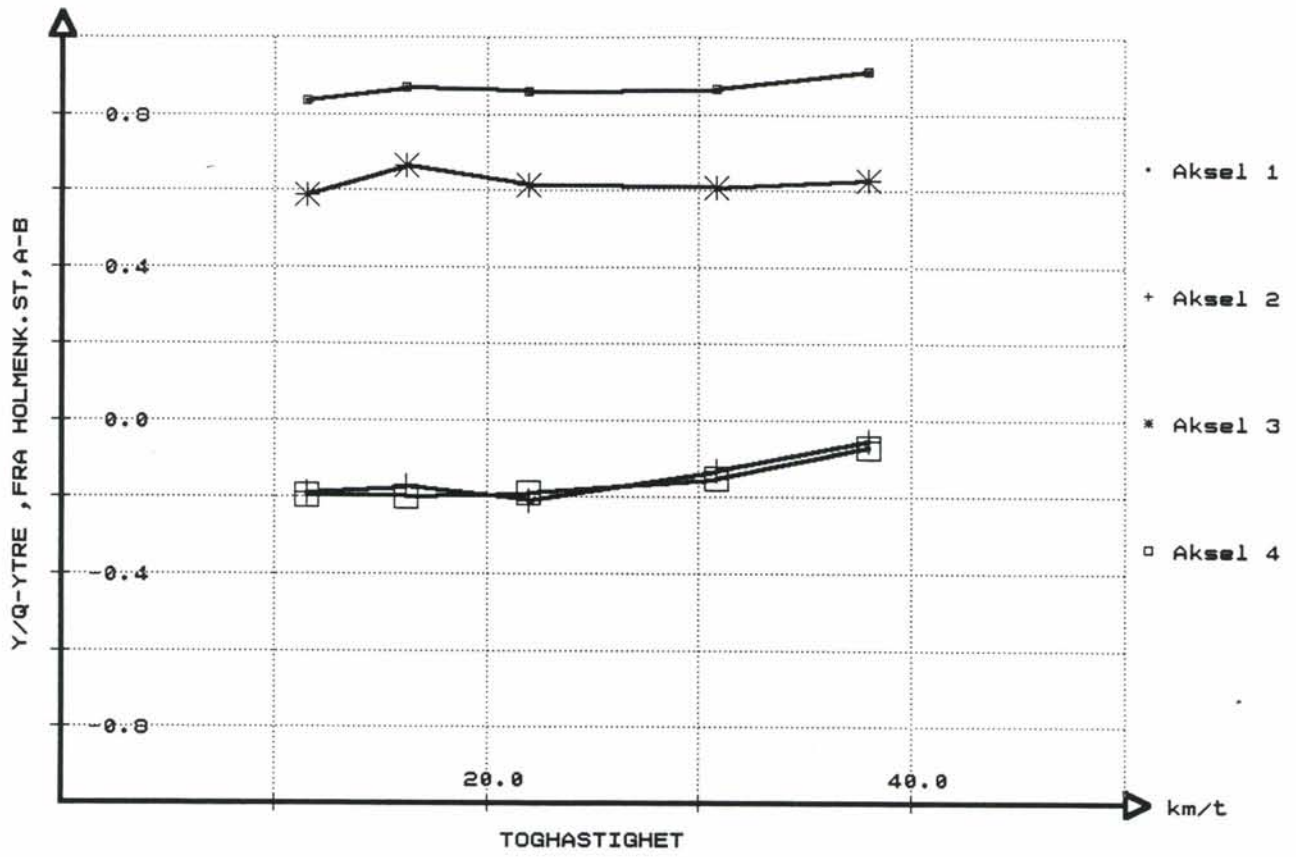
1325 /regn

R=95m



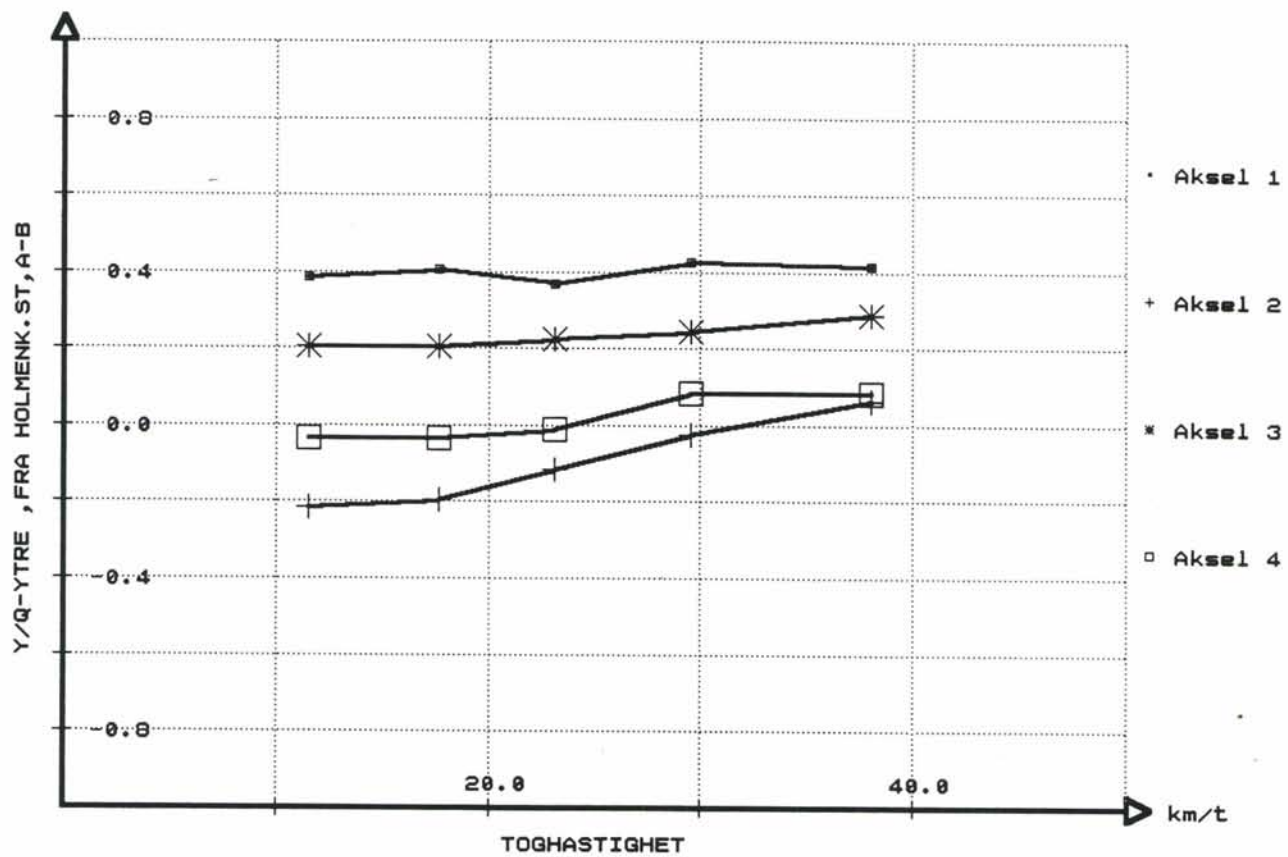
1326 m/sol

R=95m



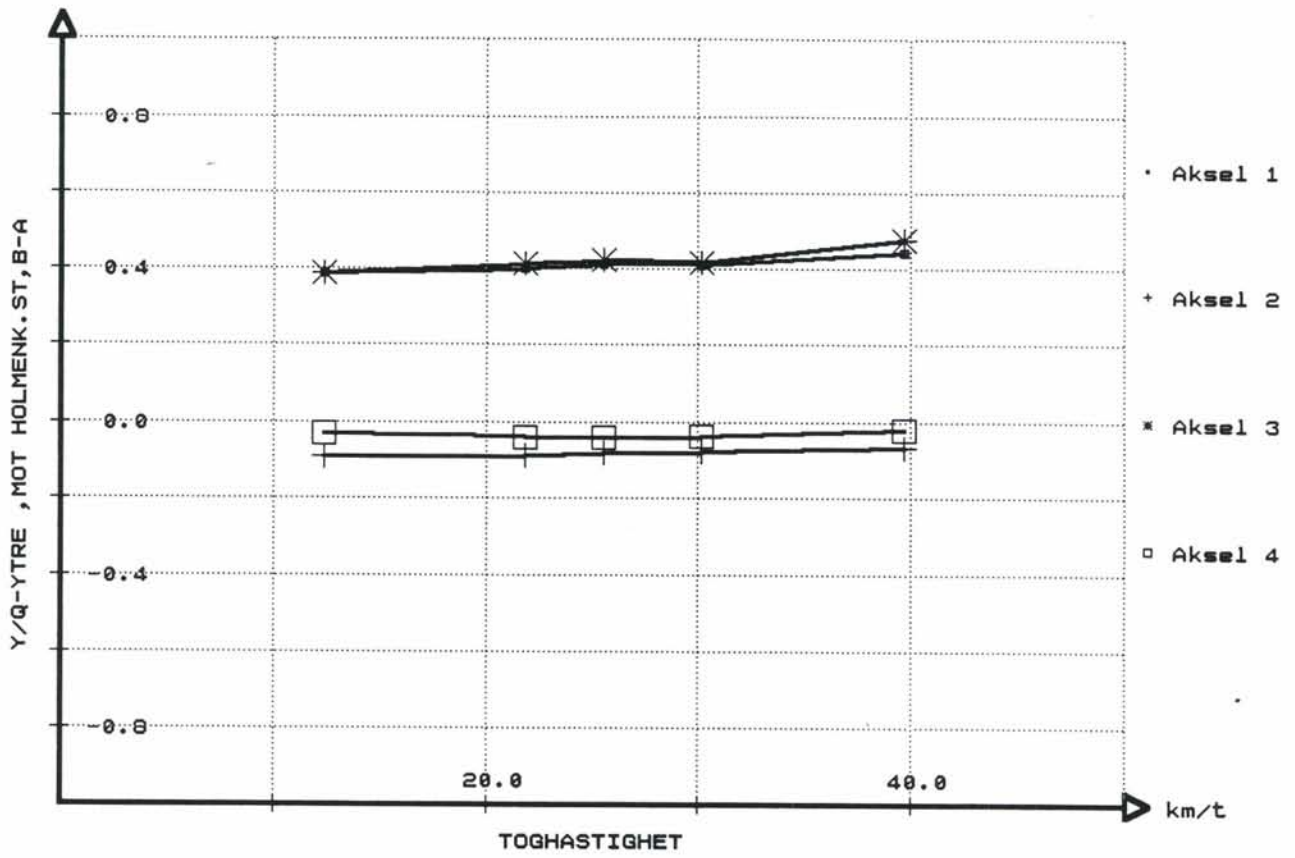
1326 /regn

R=95m



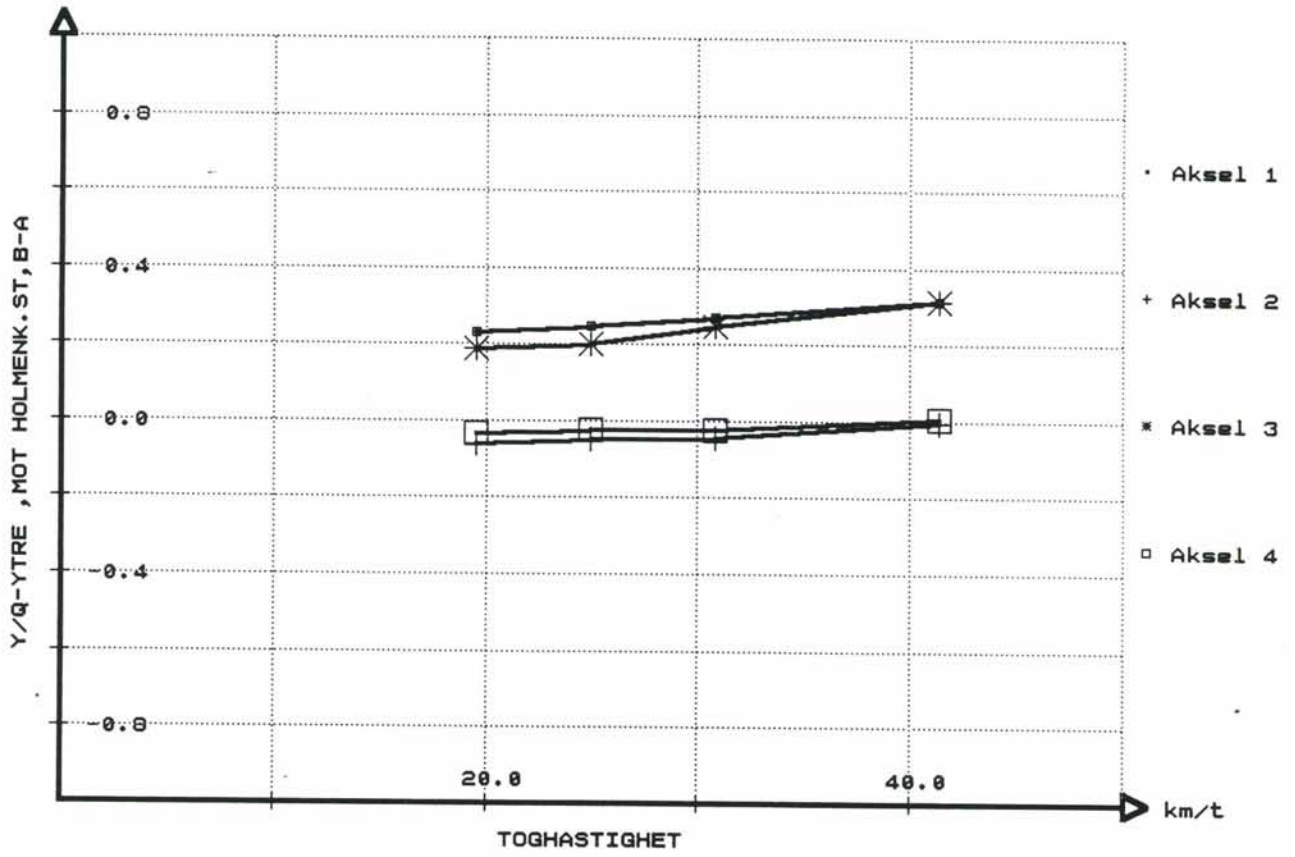
1326 m/sol

R=95m



1326 /regn

R=95m



8. SAMMENSTILLINGSKURVER FOR ULIKE MATERIELLTYPER

På bakgrunn av presenterte resultatkurver i kap. 7 er det laget noen sammenstillingsdiagram som viser oppnådde akselkrefter ved en bestemt hastighet for samtlige materielltyper samtidig.

En sporvogn representeres her av fire søyler, en for hver aksel, og høyden på disse angir hjul/skinne kreftene som opptrer på vognas forskjellige aksler.

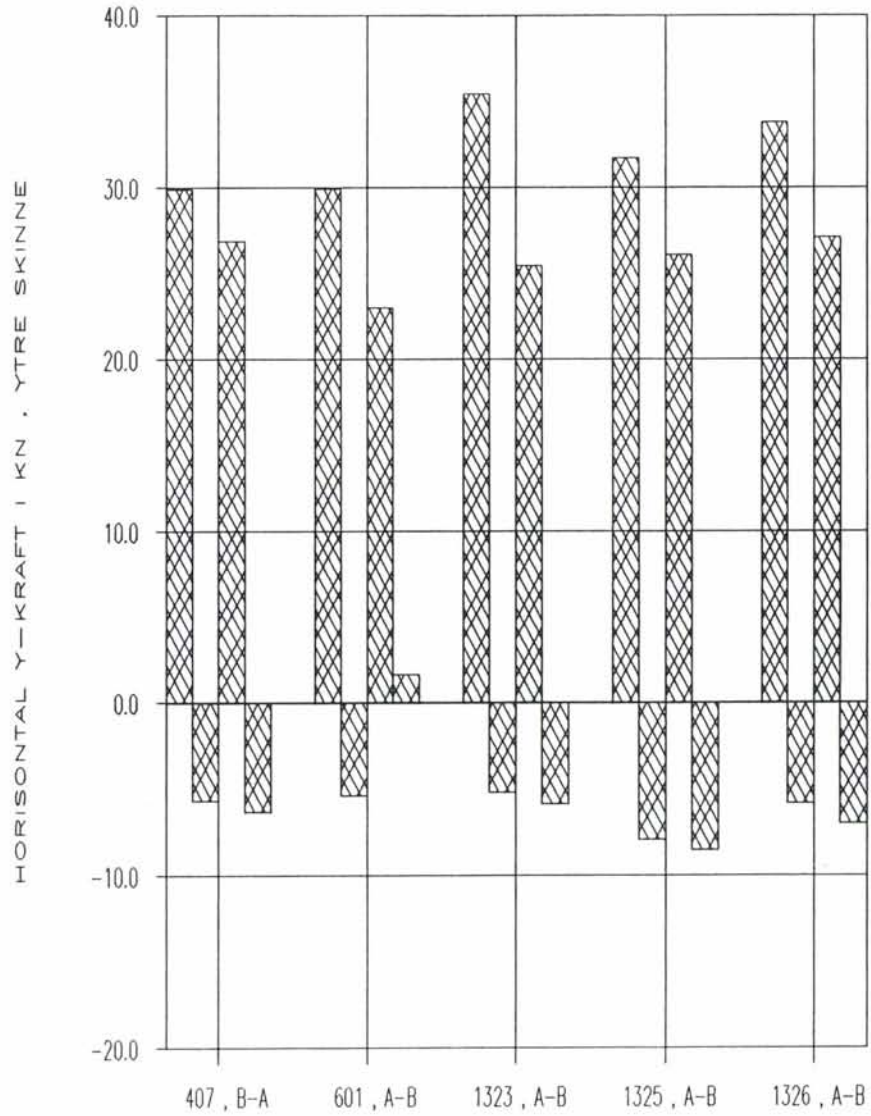
Første søyle for en materielltype (søylen til venstre) angir første aksel i fartsretningen.

Materielltypene er sammenlignet ved følgende hastigheter :

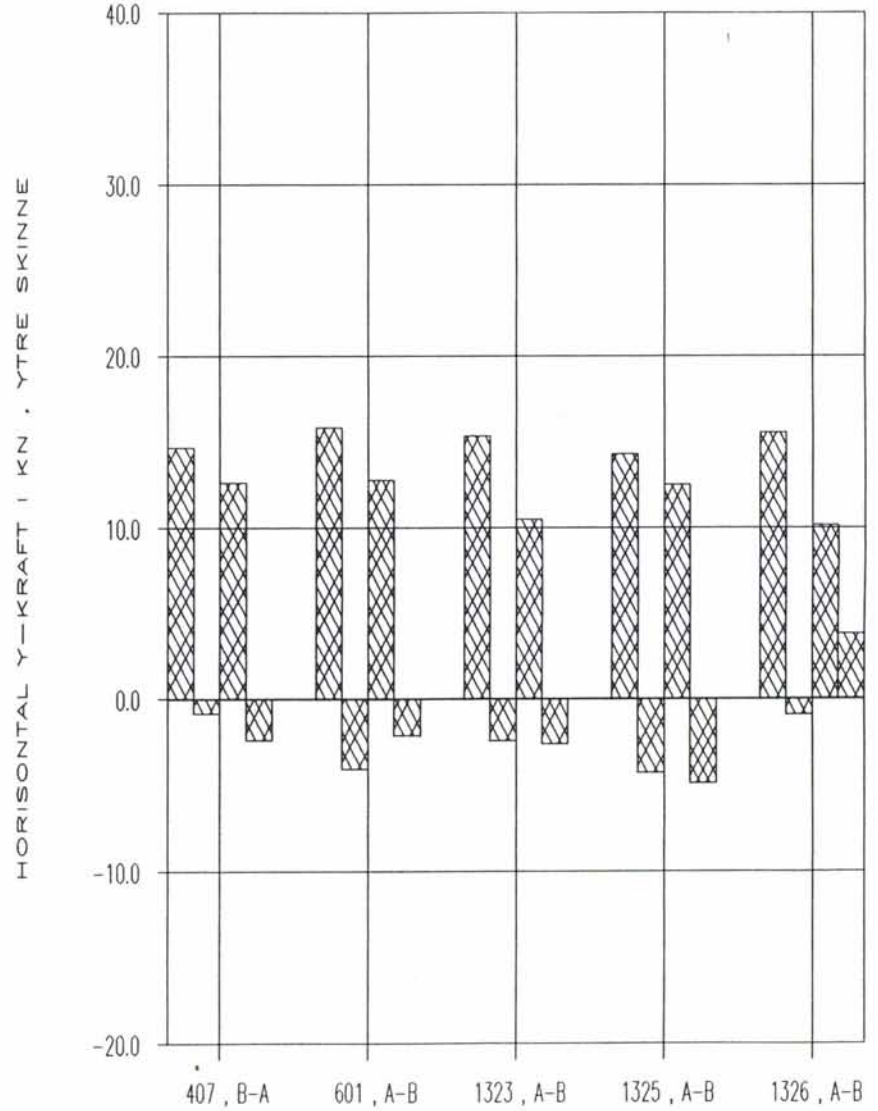
30 km/h i	fartsretningen	Holmenkollen -	Voksenlia
35 km/h i	----- "	-----	----- "
35 km/h i	----- "	-----	Voksenlia - Holmenkollen
40 km/h i	----- "	-----	----- "

8.1 Sidekrefter på ytre skinne

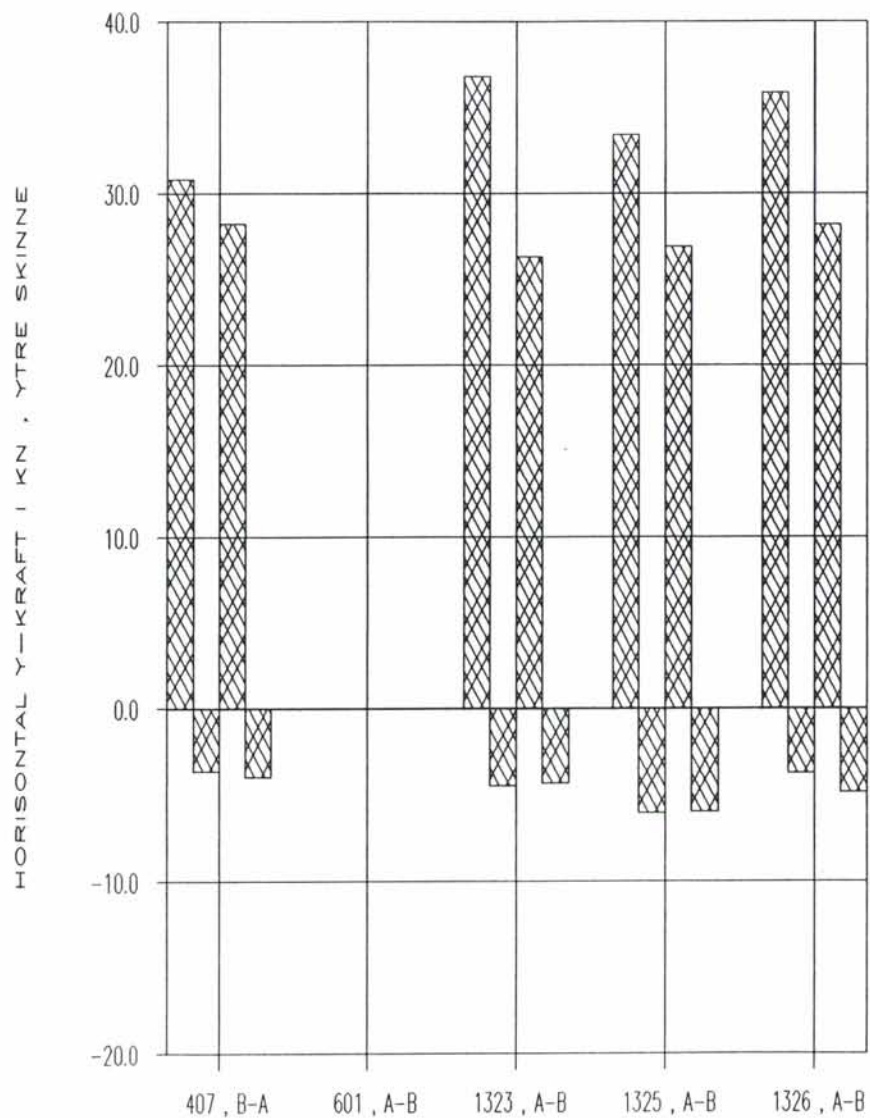
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



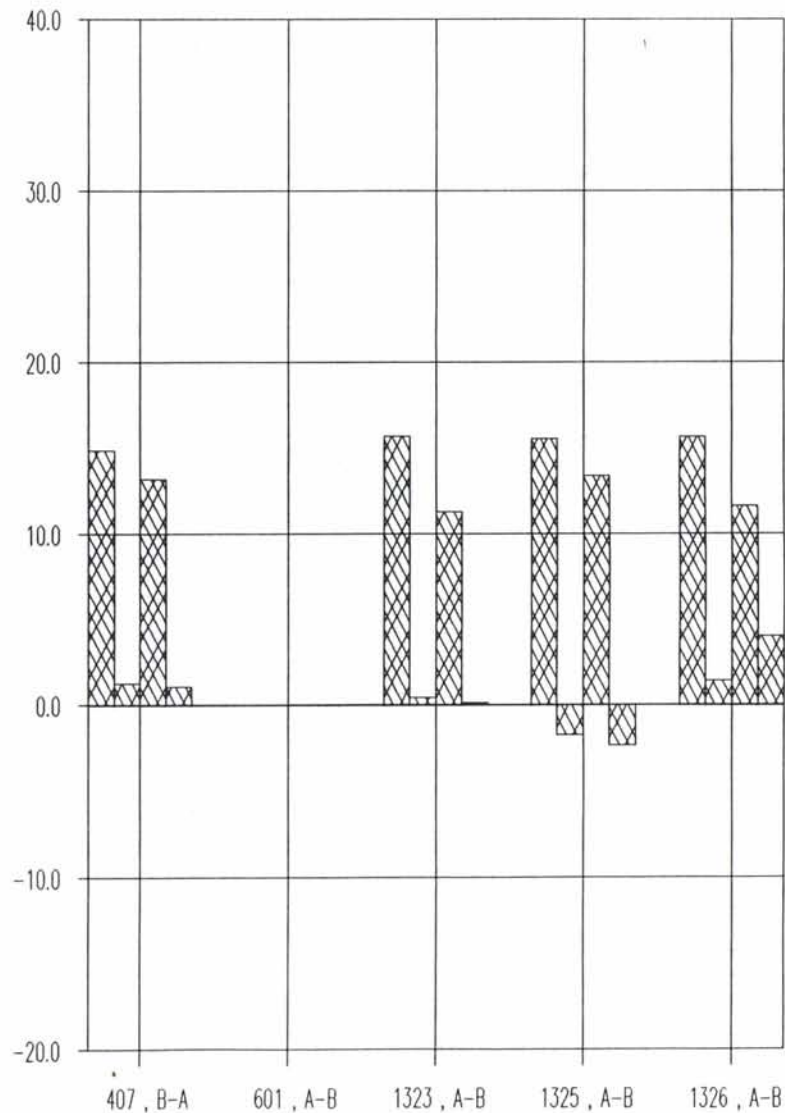
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



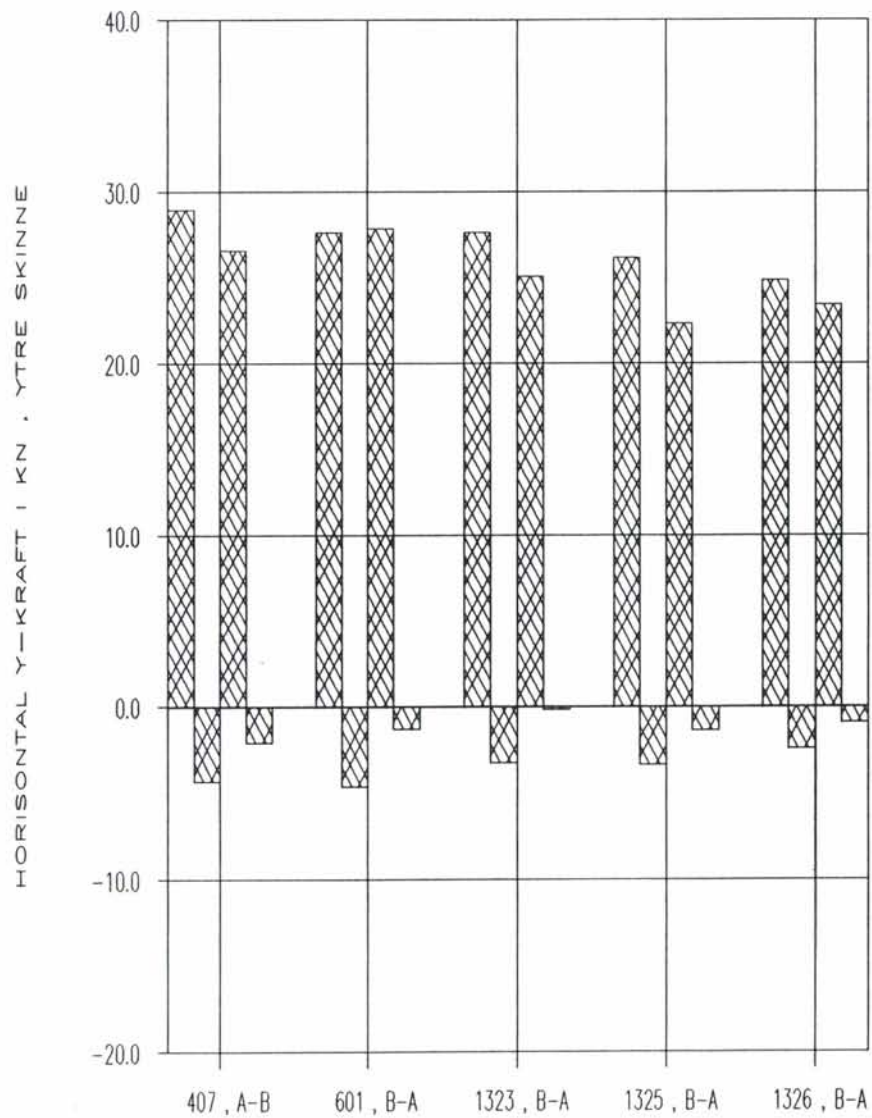
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



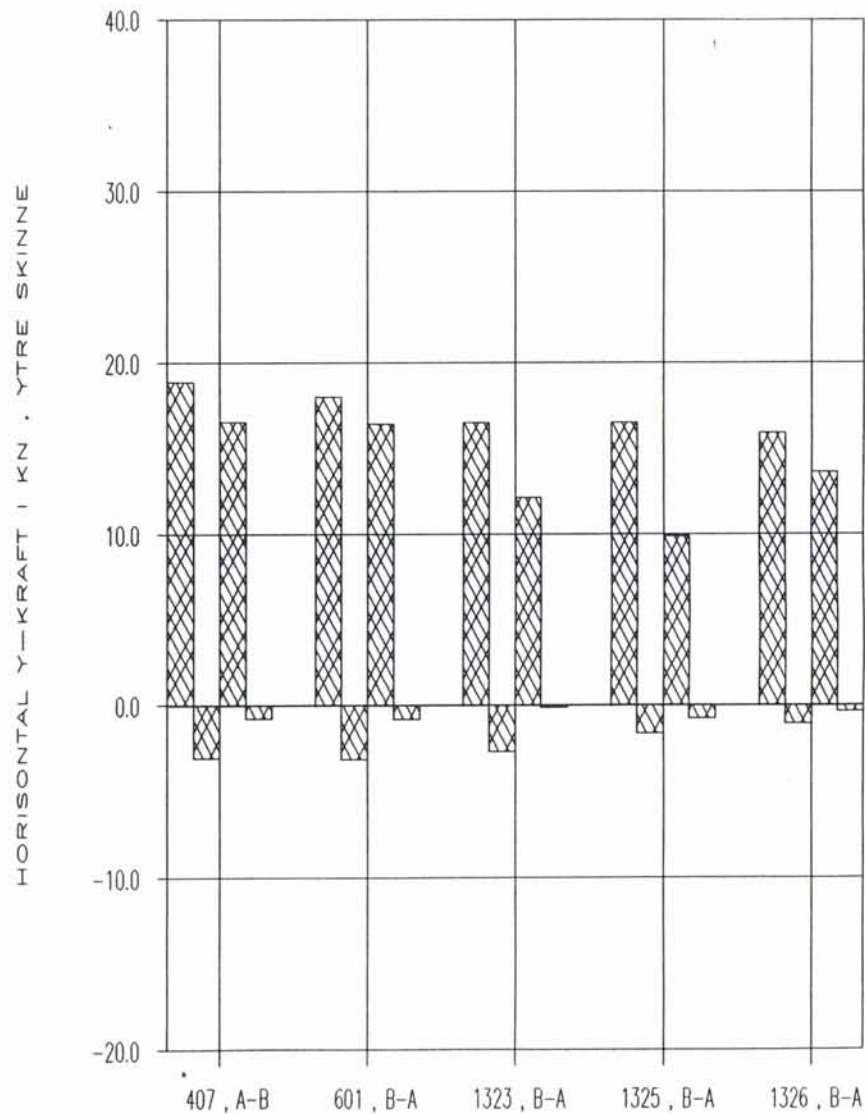
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



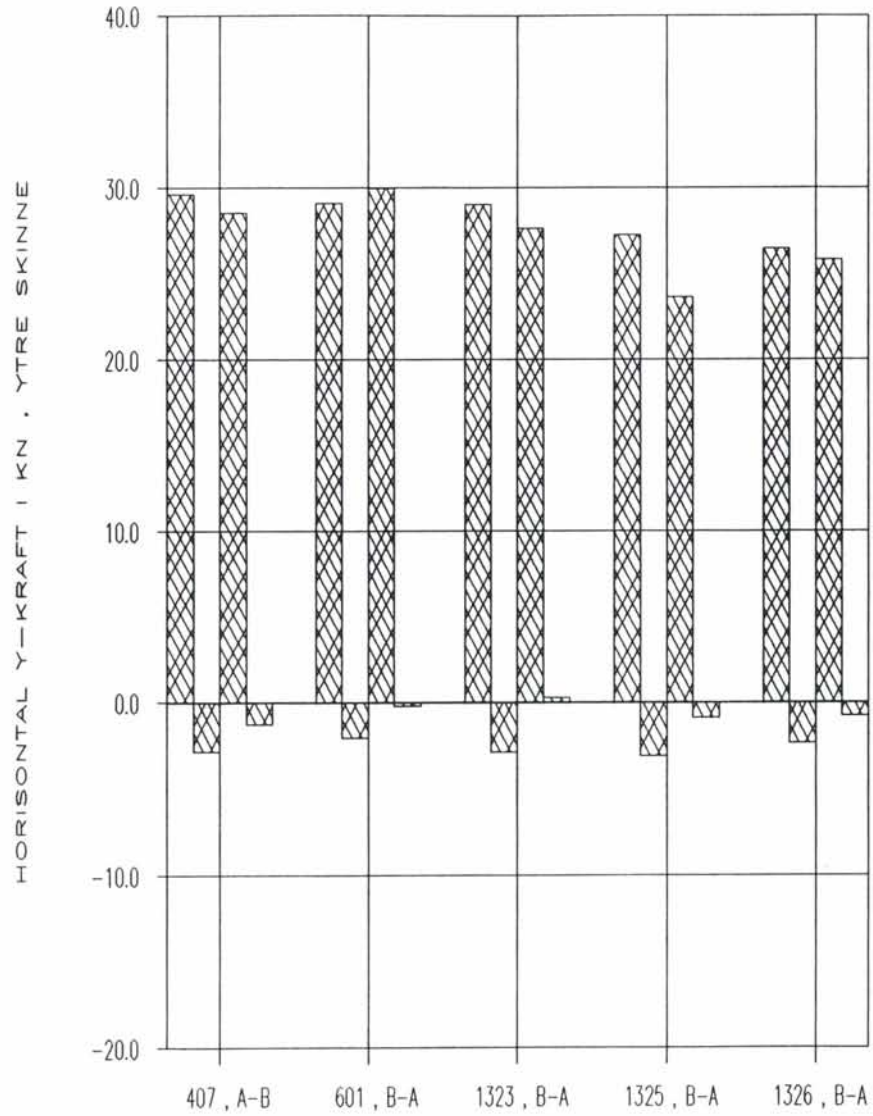
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT



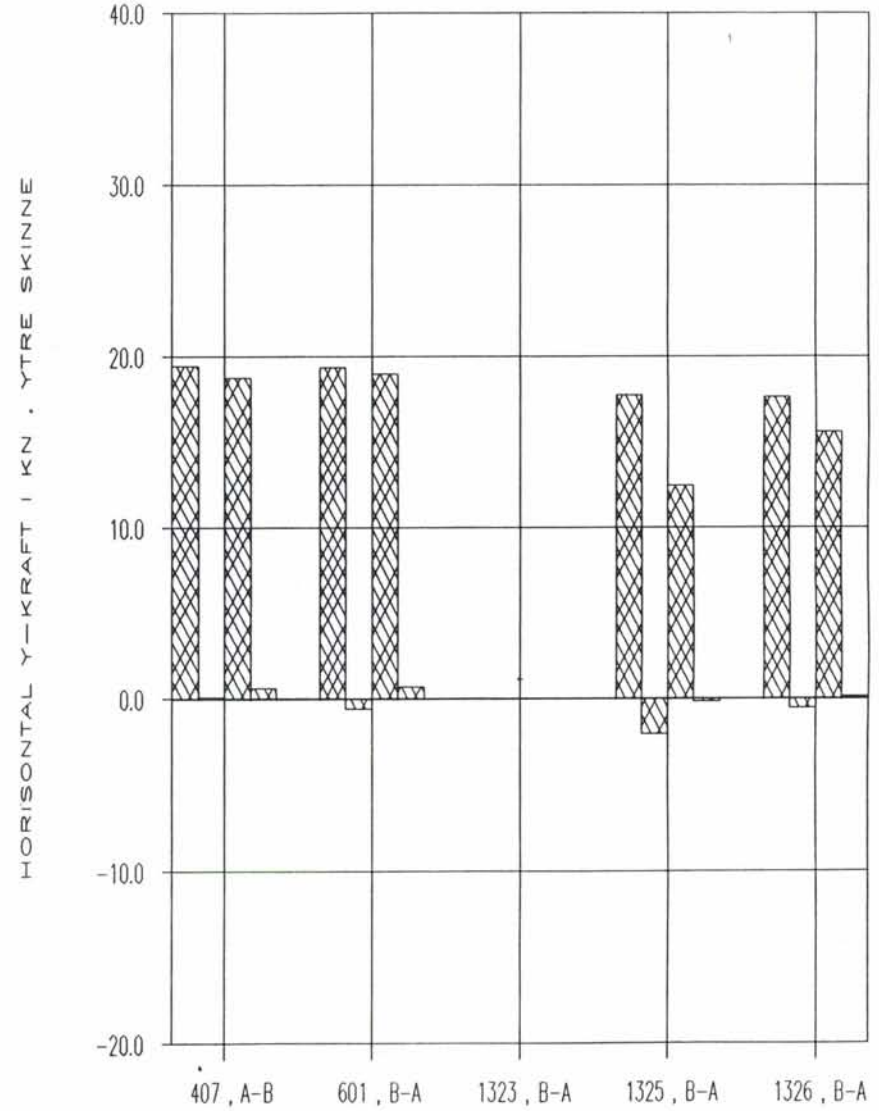
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG



40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT

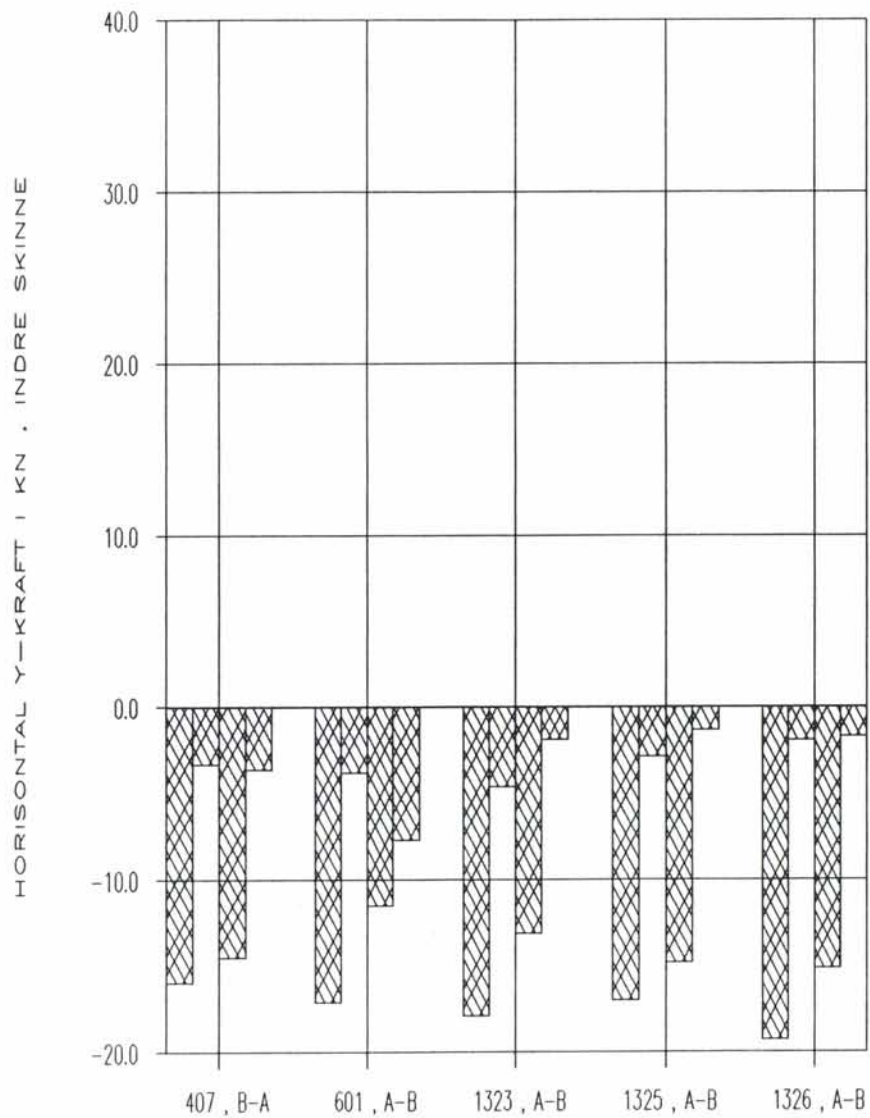


40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG

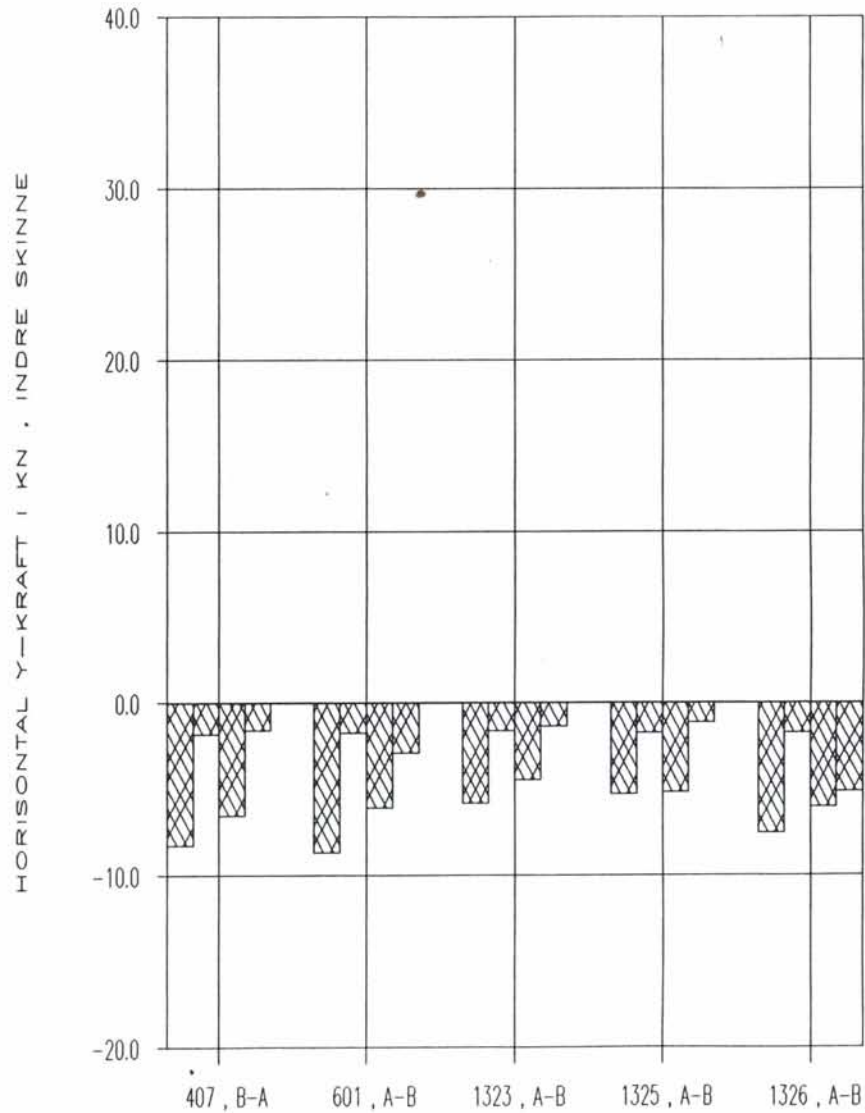


8.2 Sidekrefter på indre skinne

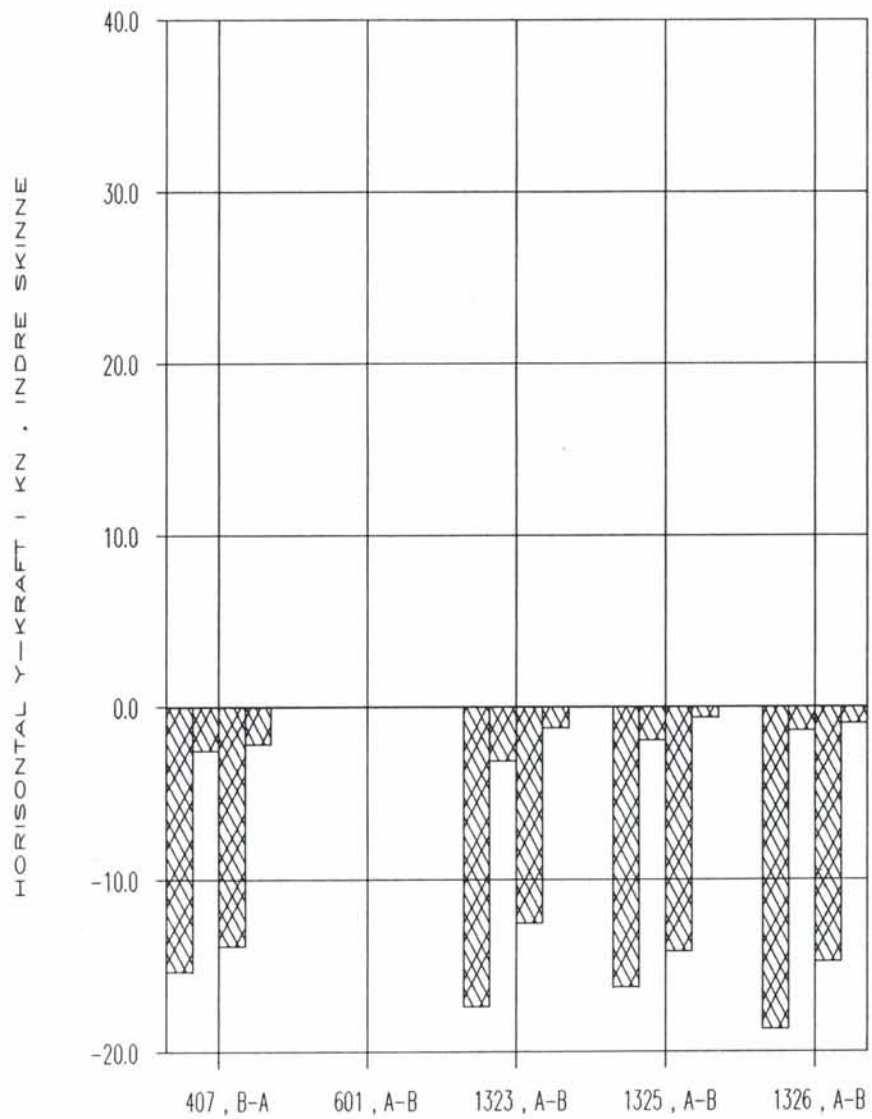
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



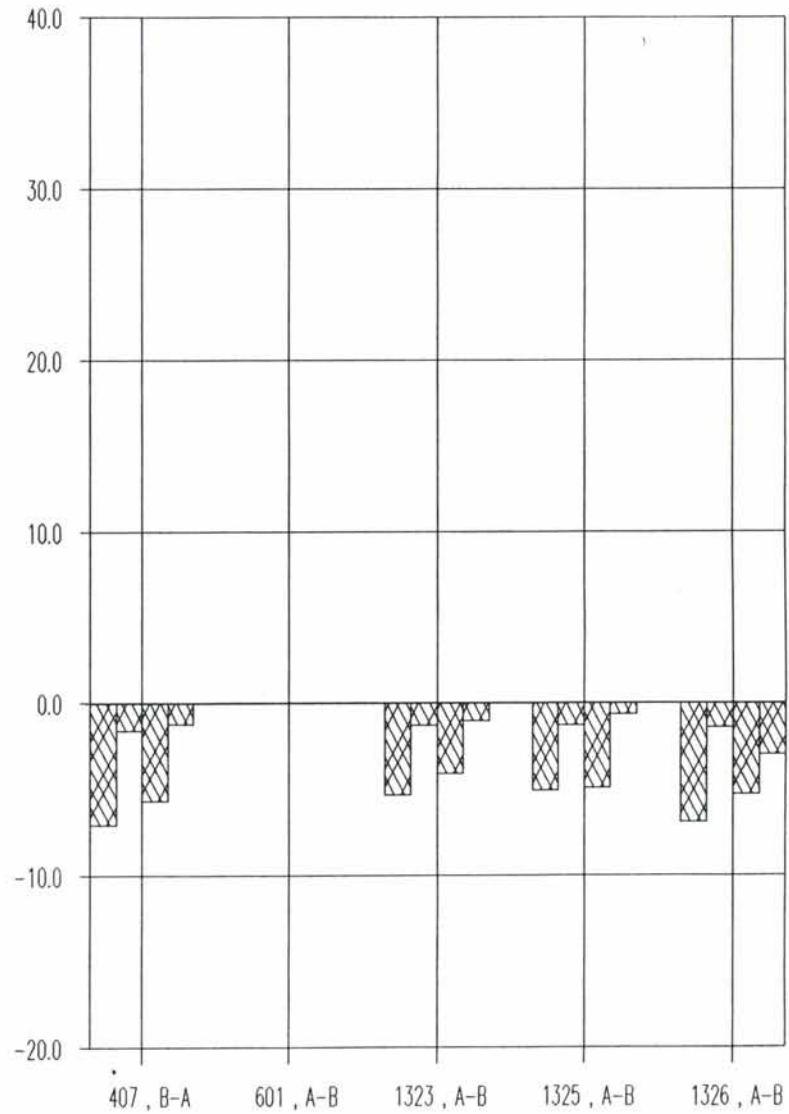
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



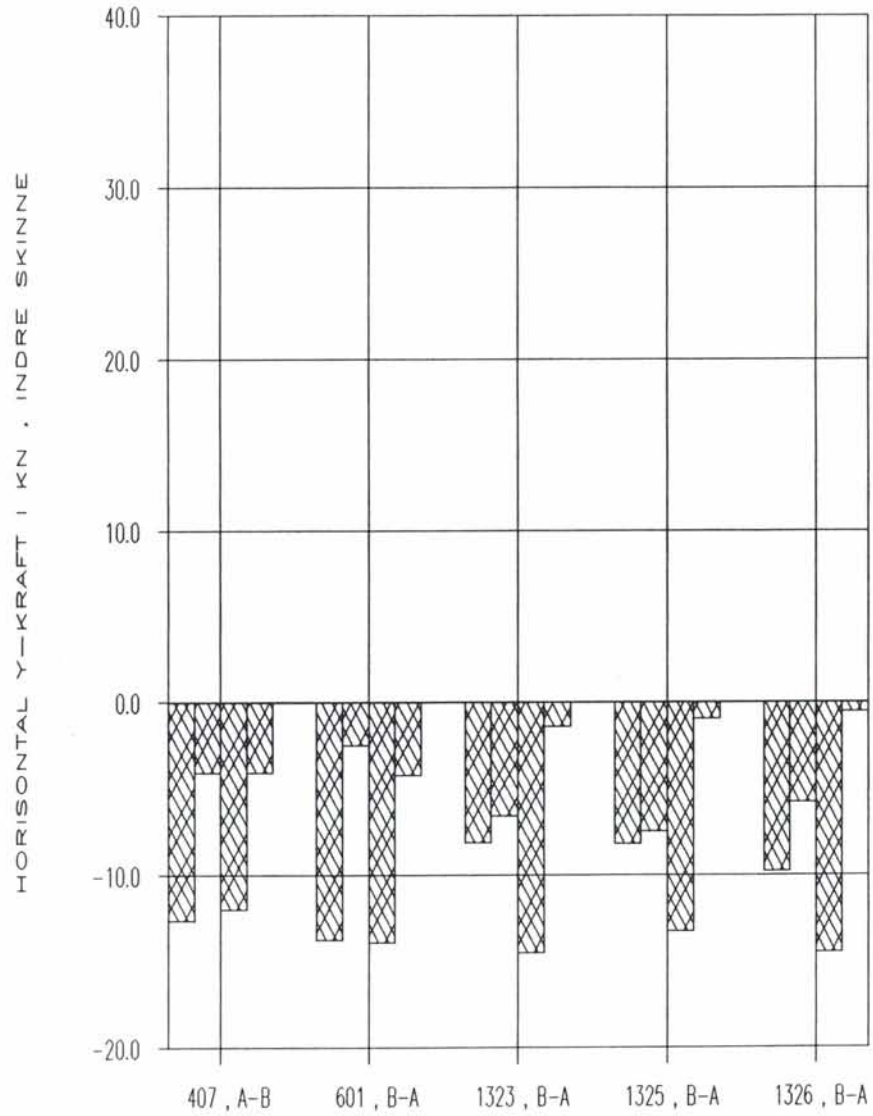
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



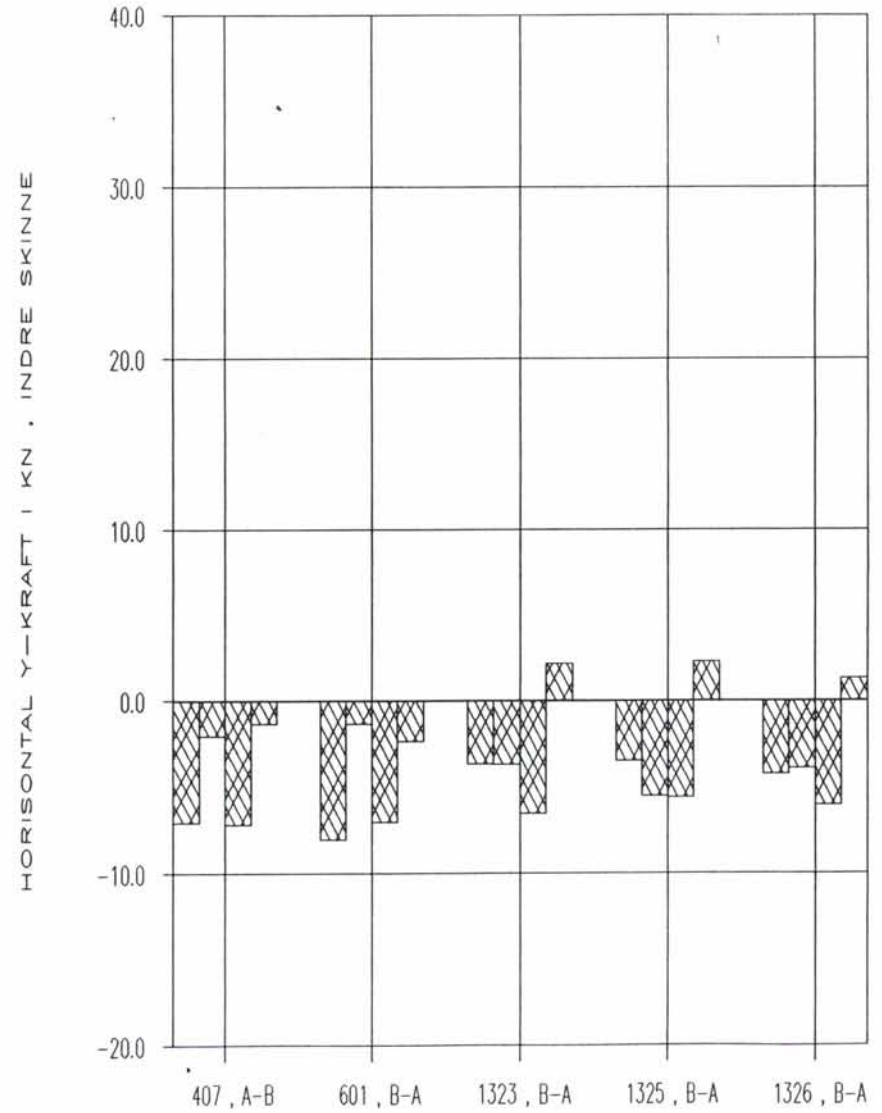
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



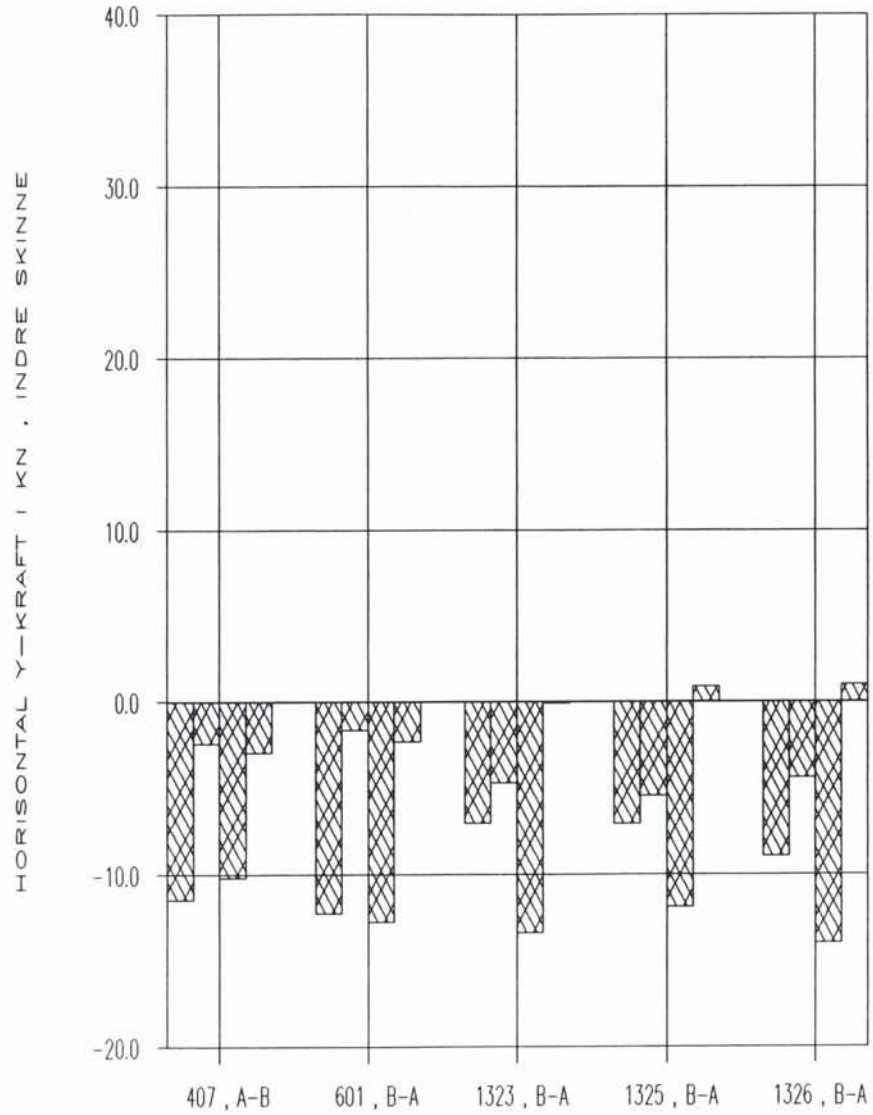
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT



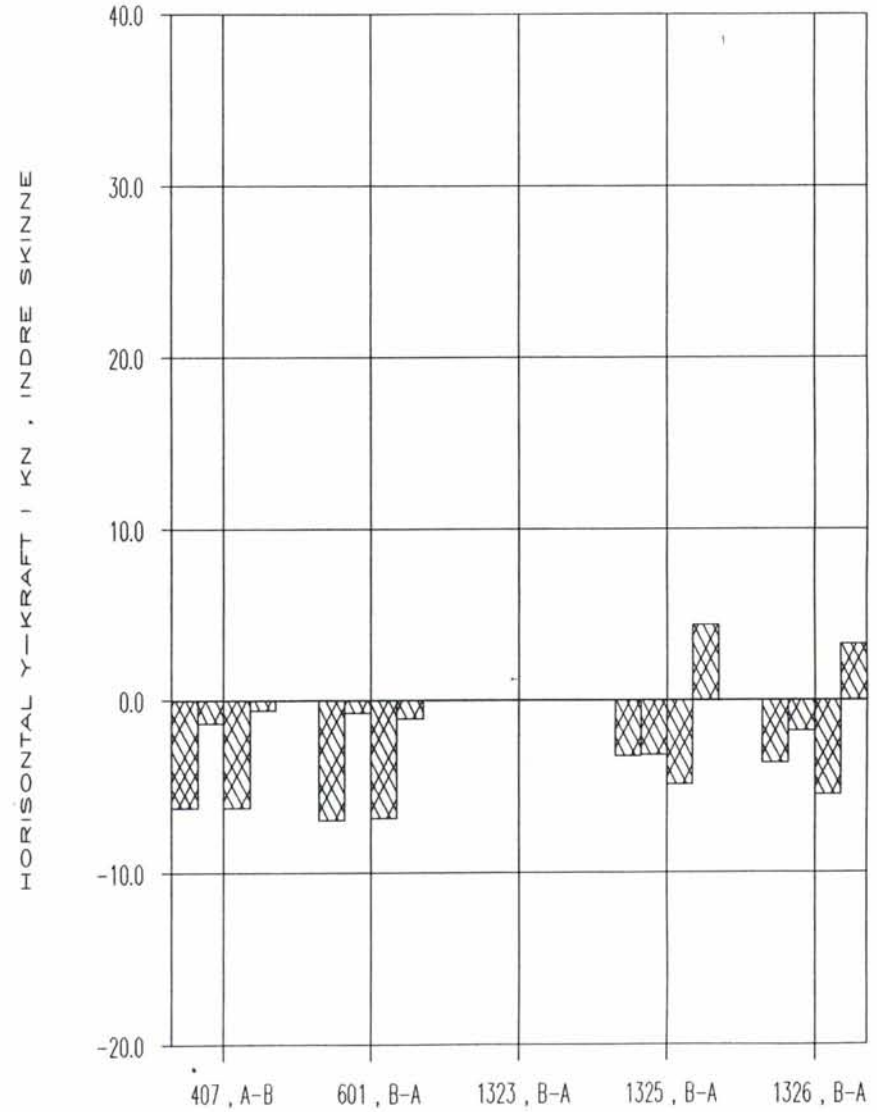
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG



40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT

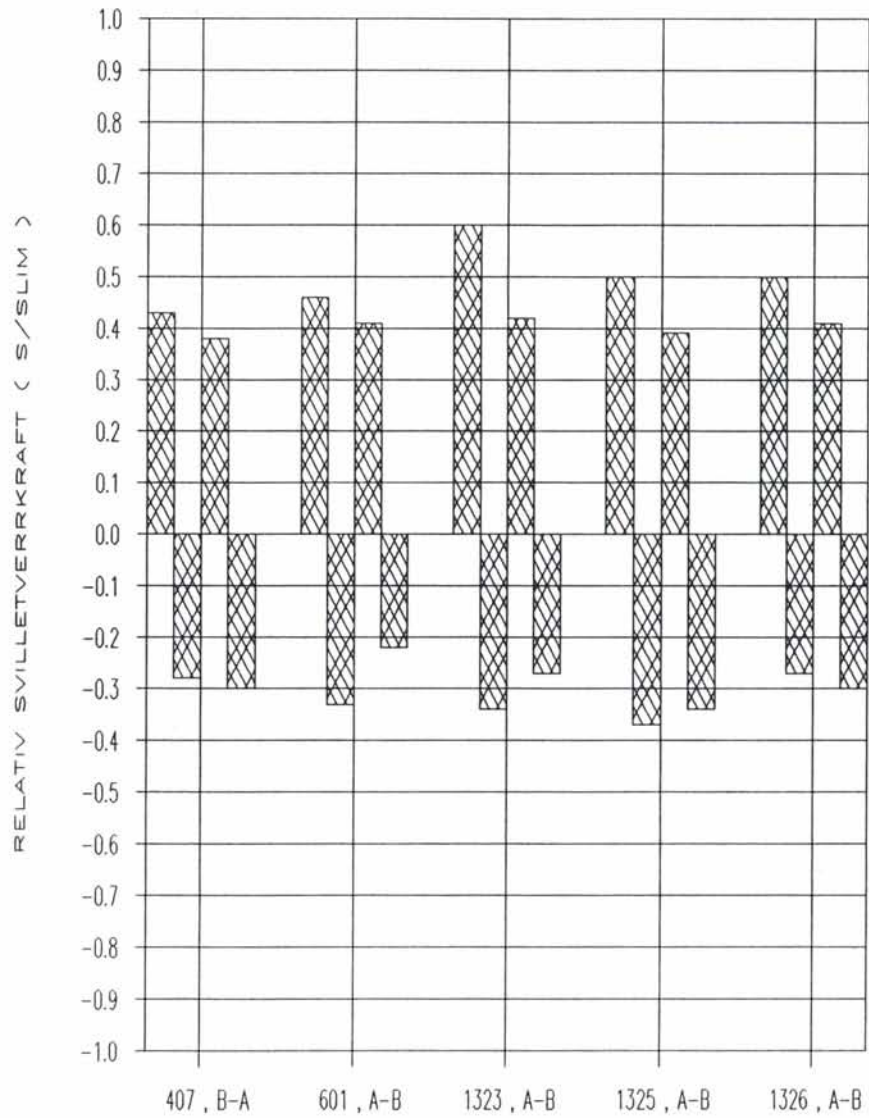


40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG

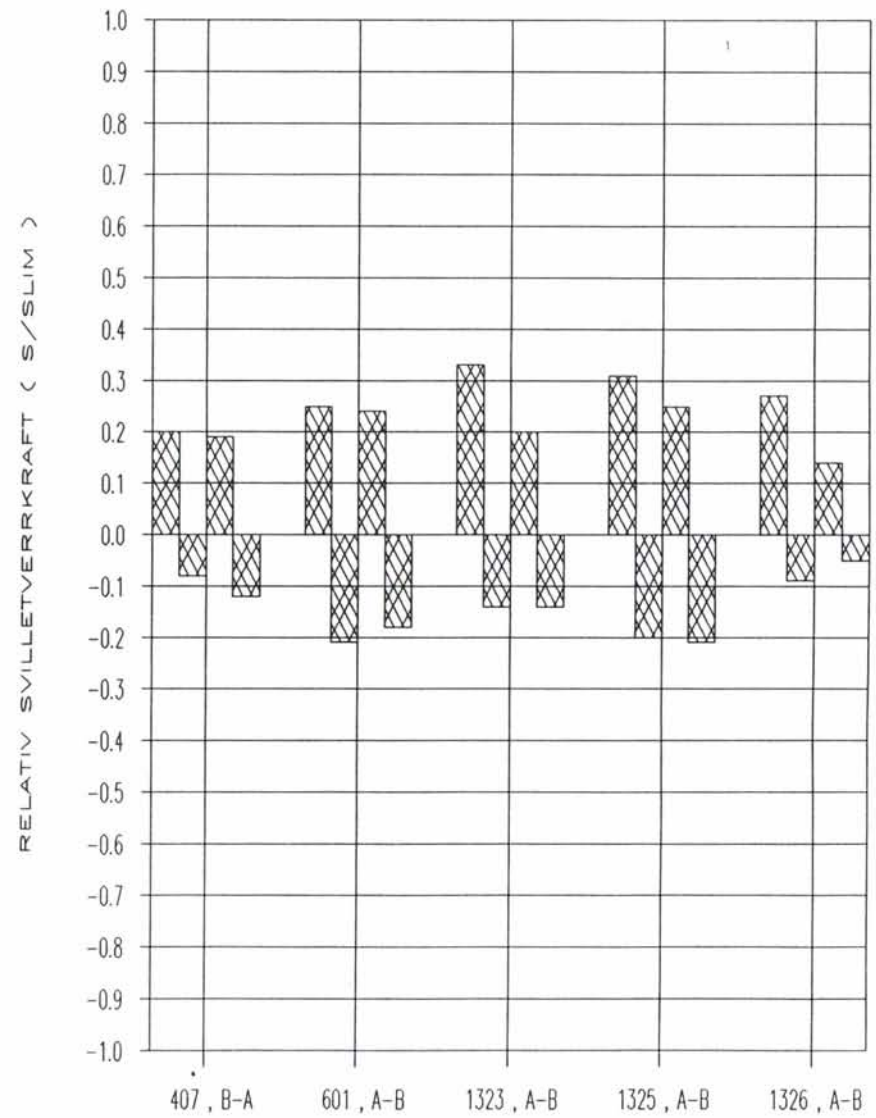


8.3 Svilletverrkrefter

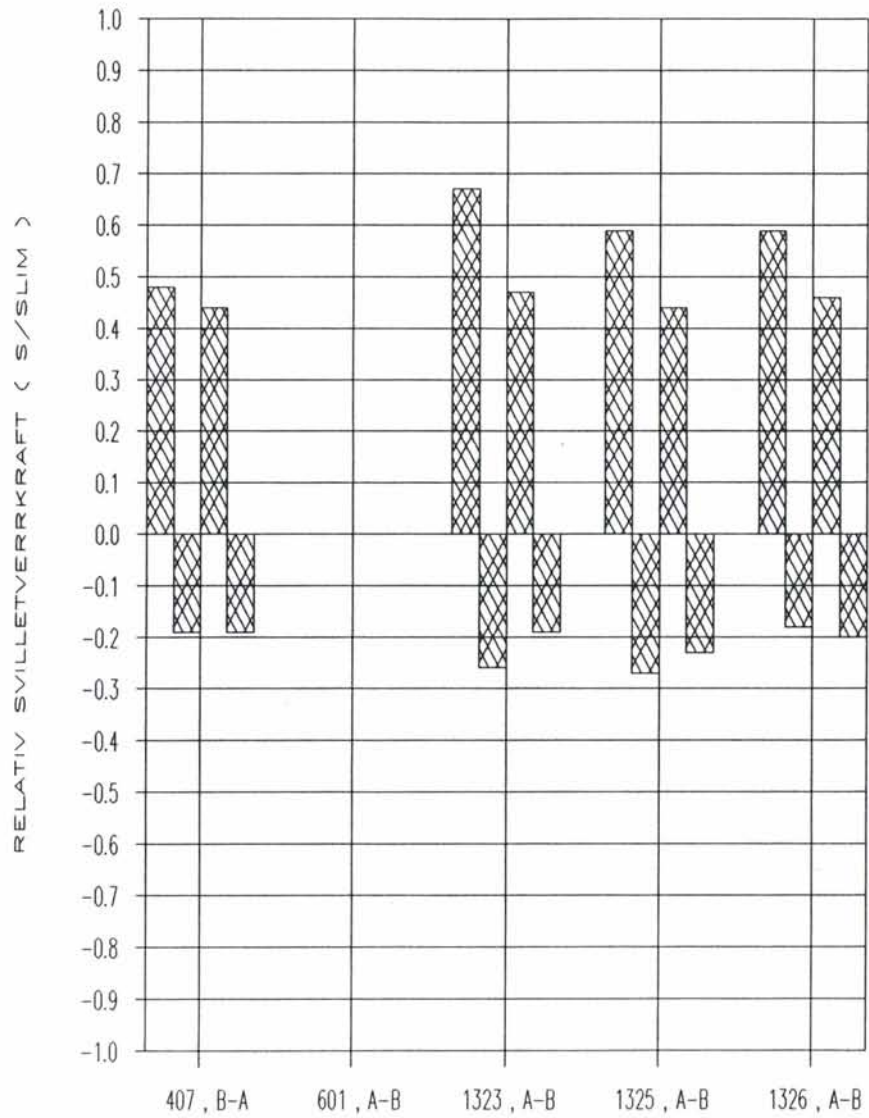
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



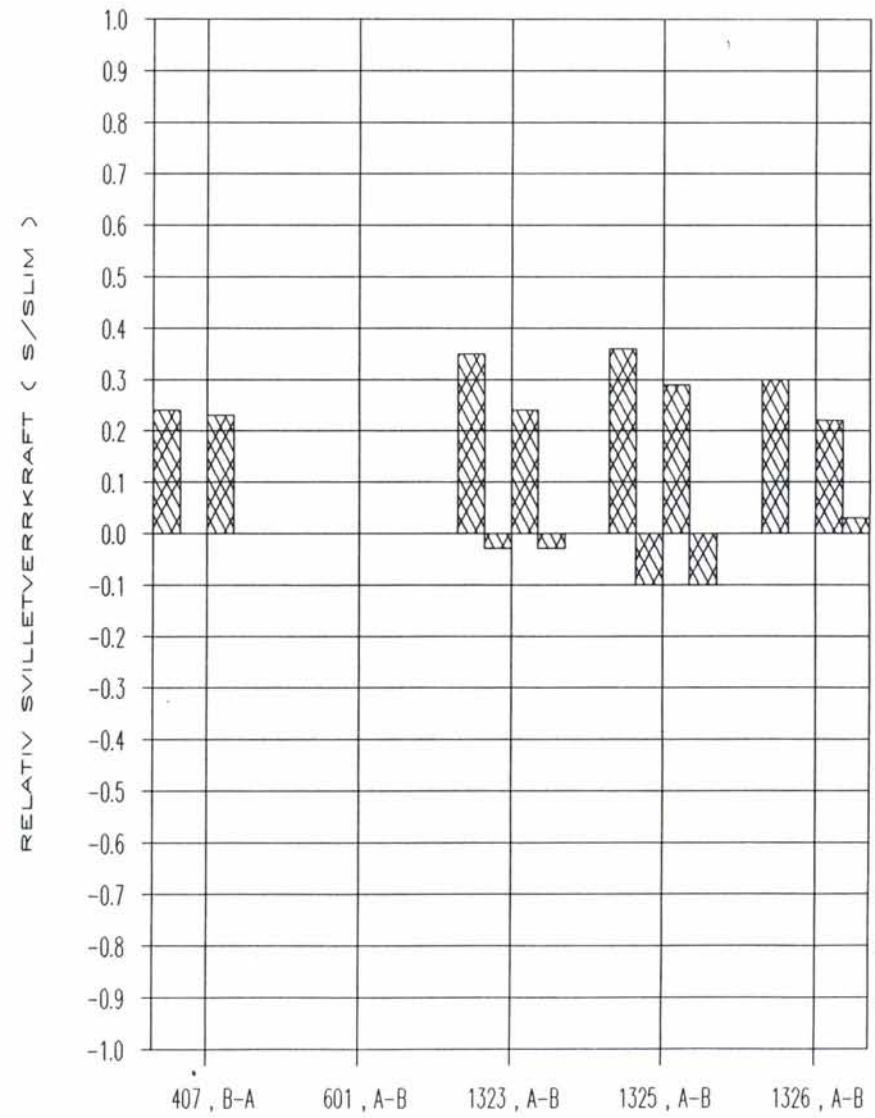
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



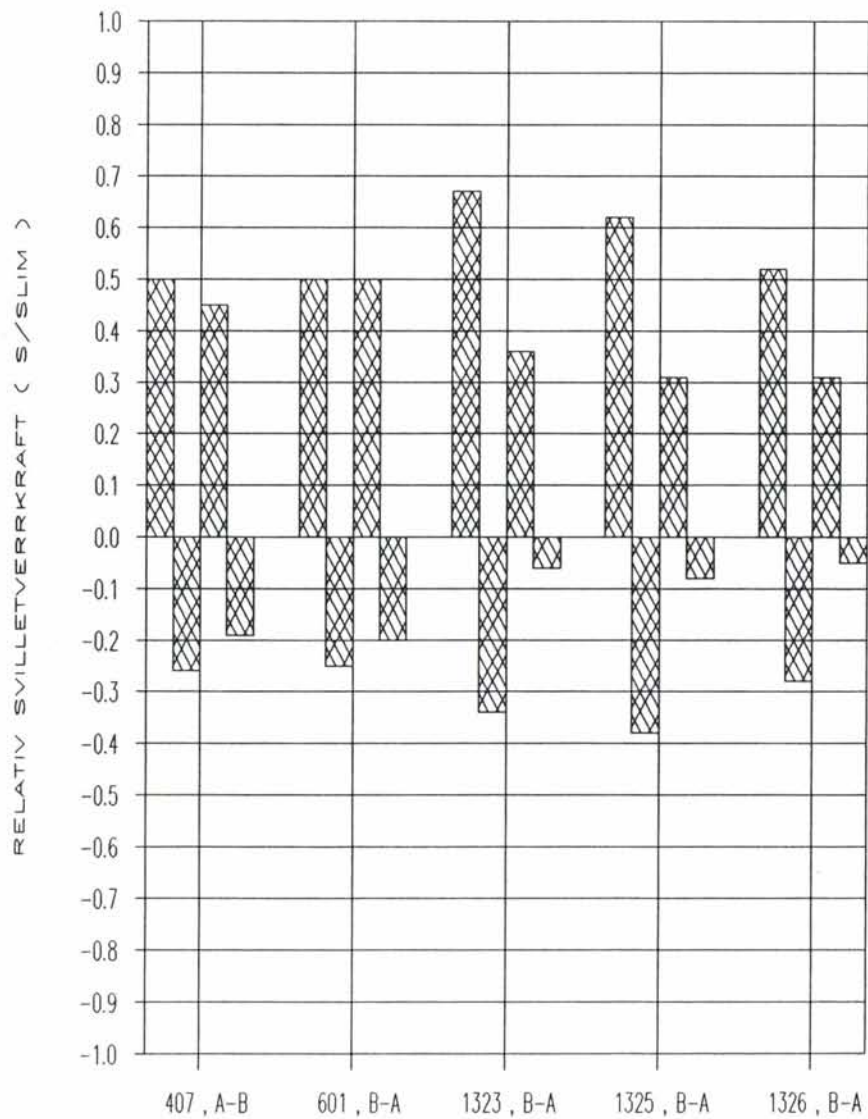
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



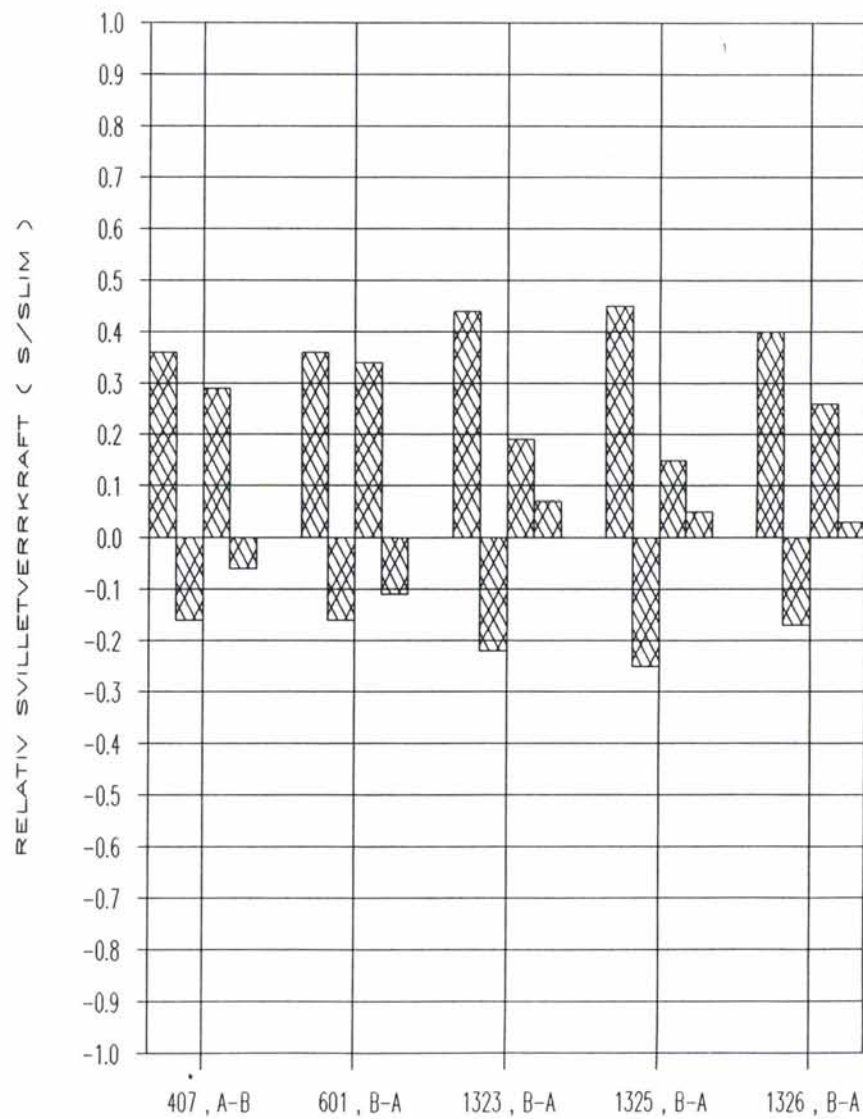
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



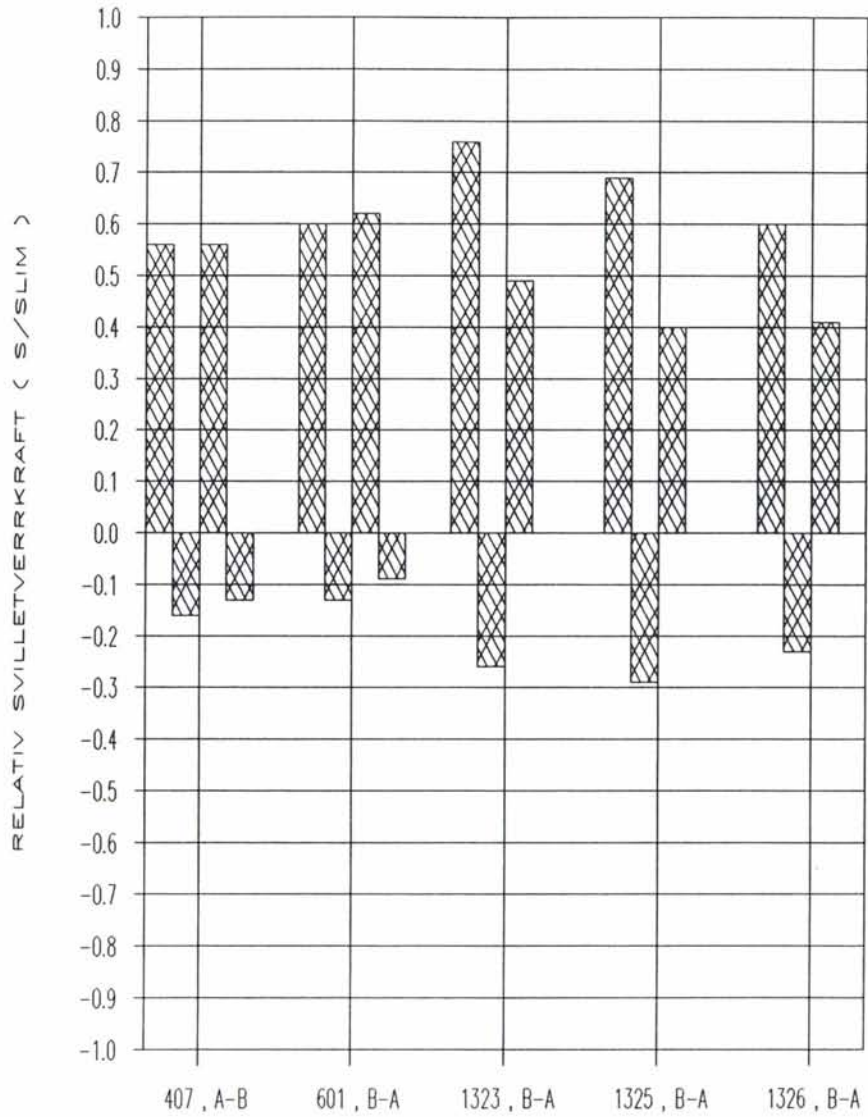
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT



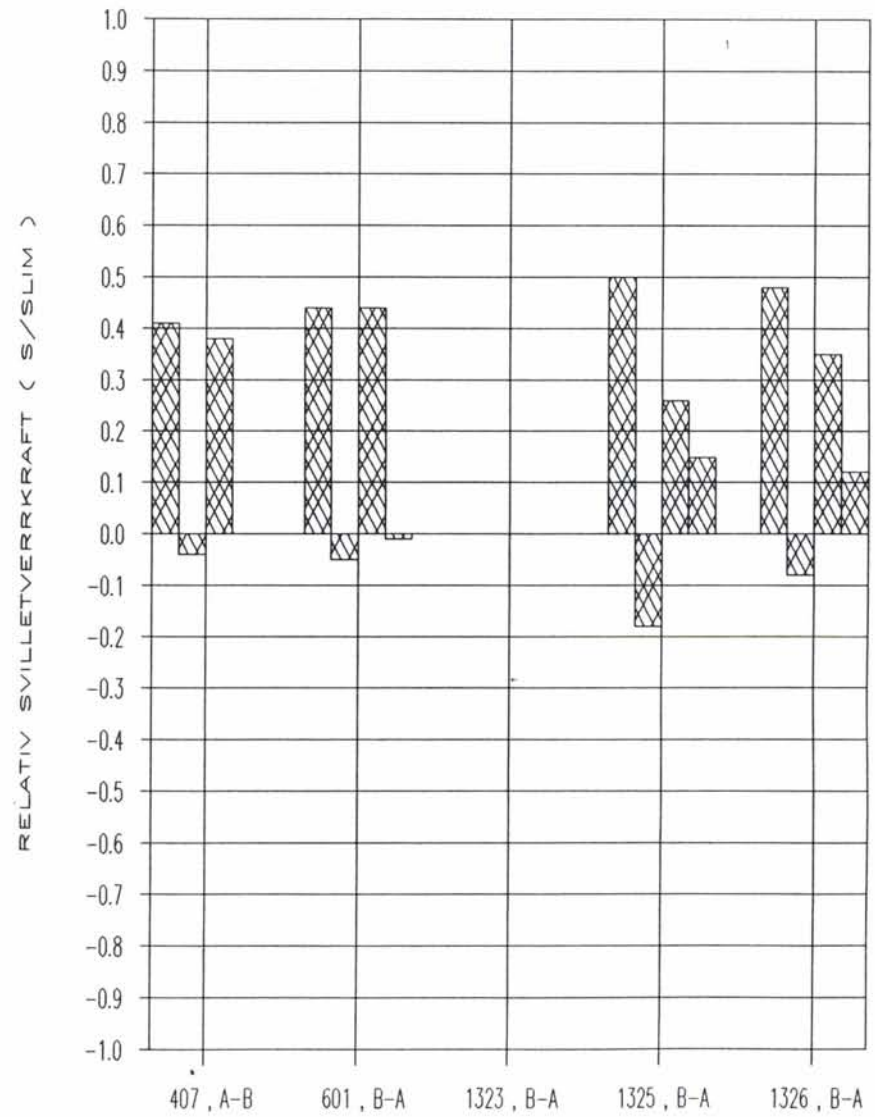
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG



40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT

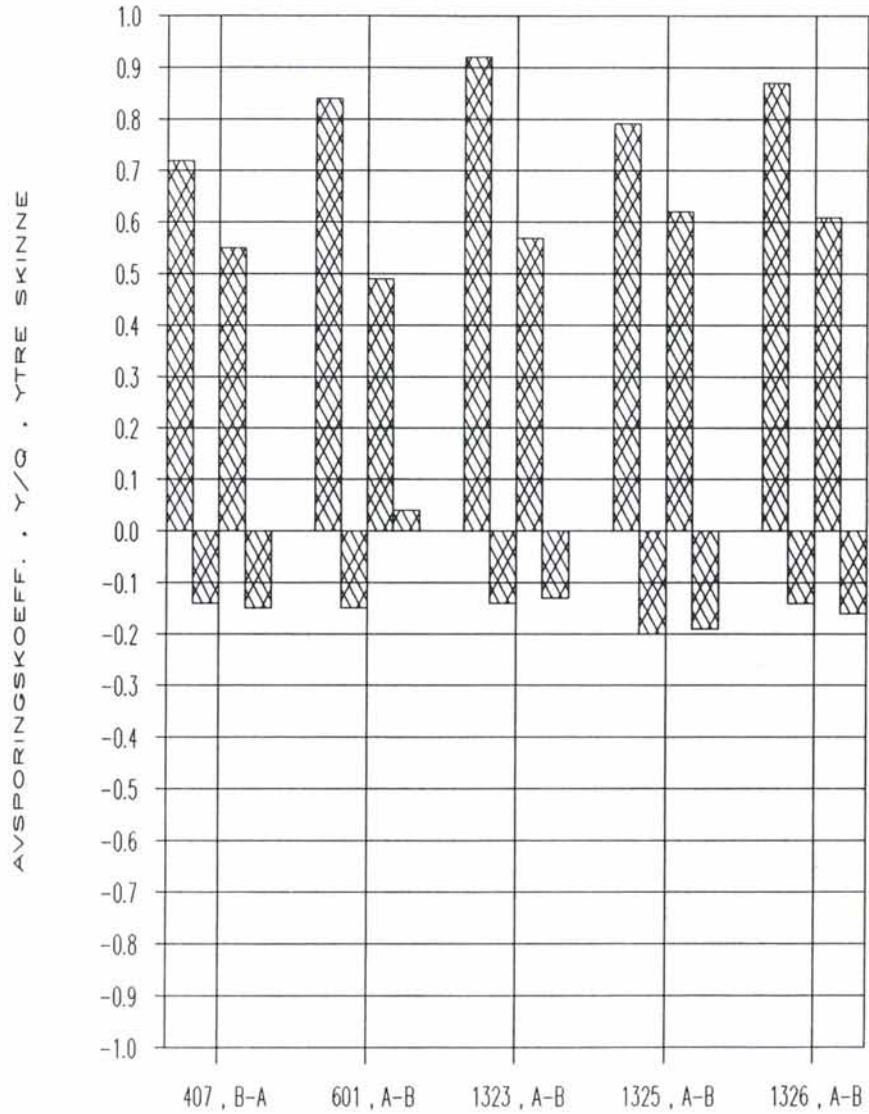


40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG

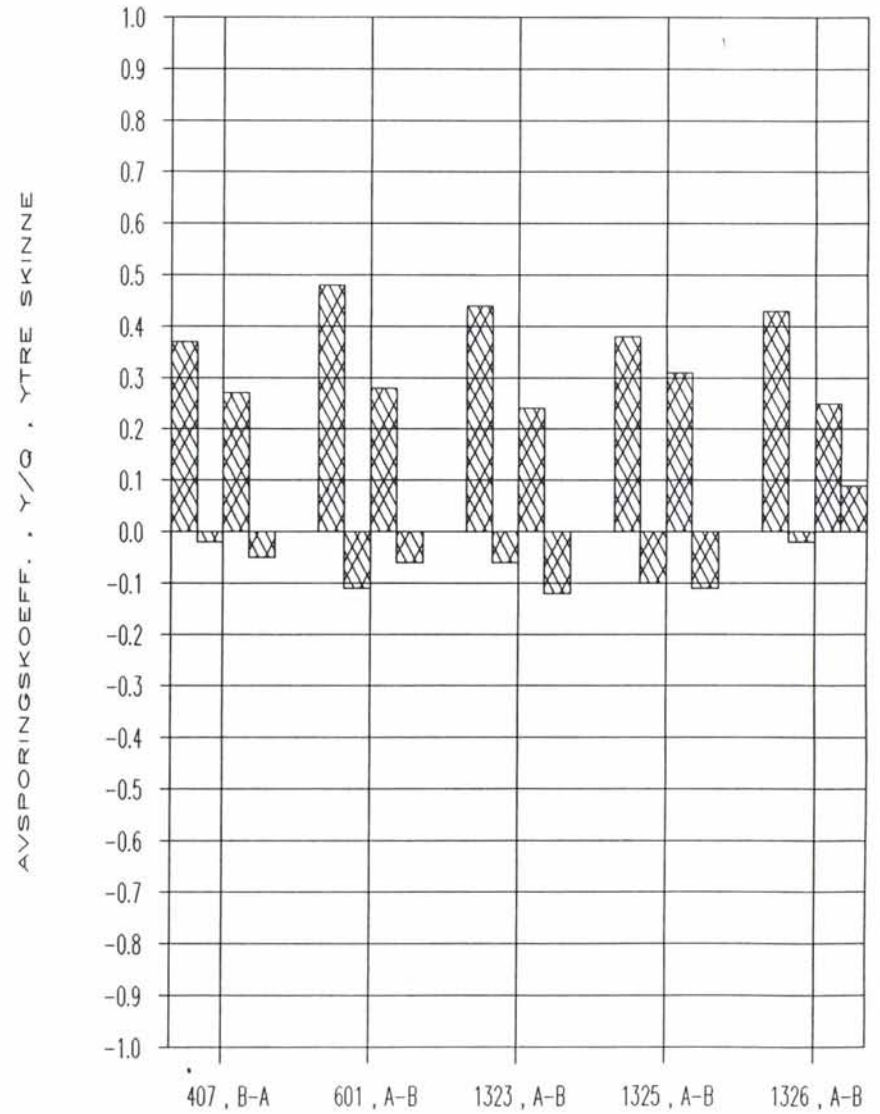


8.4 Avsporingskoeffisienter

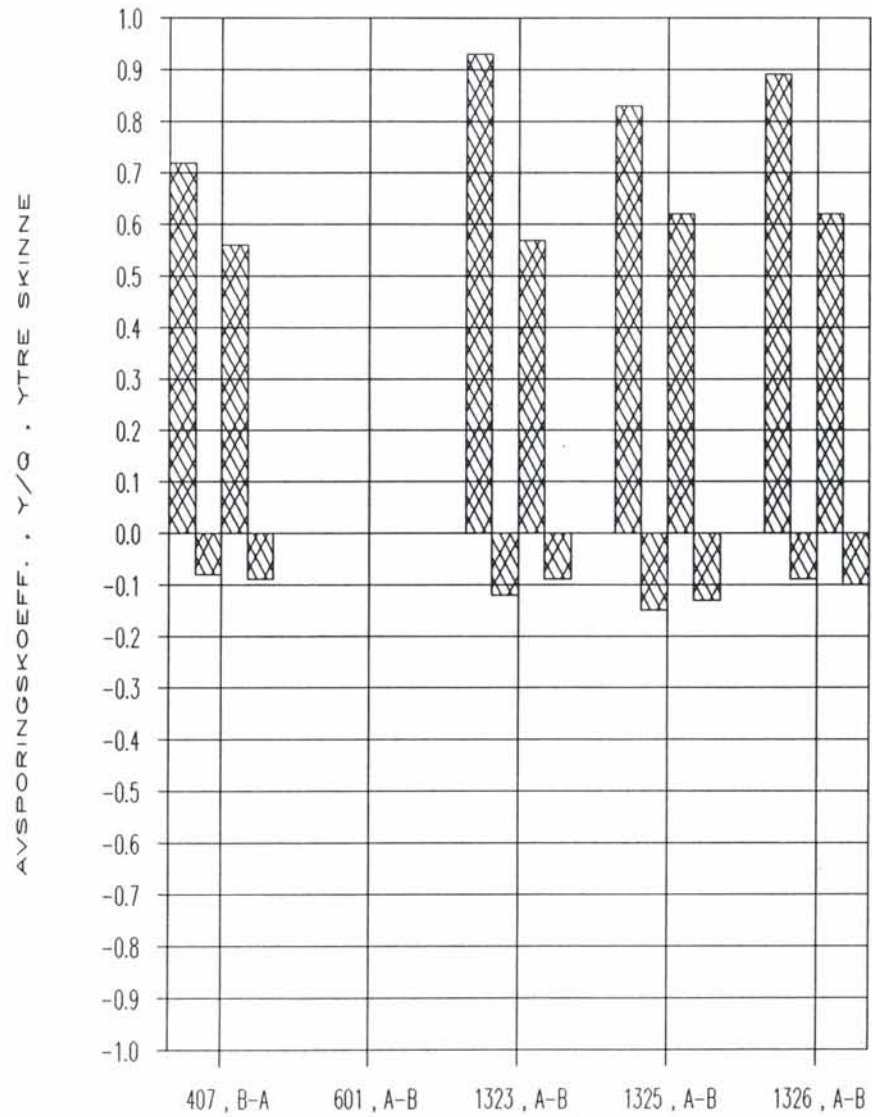
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



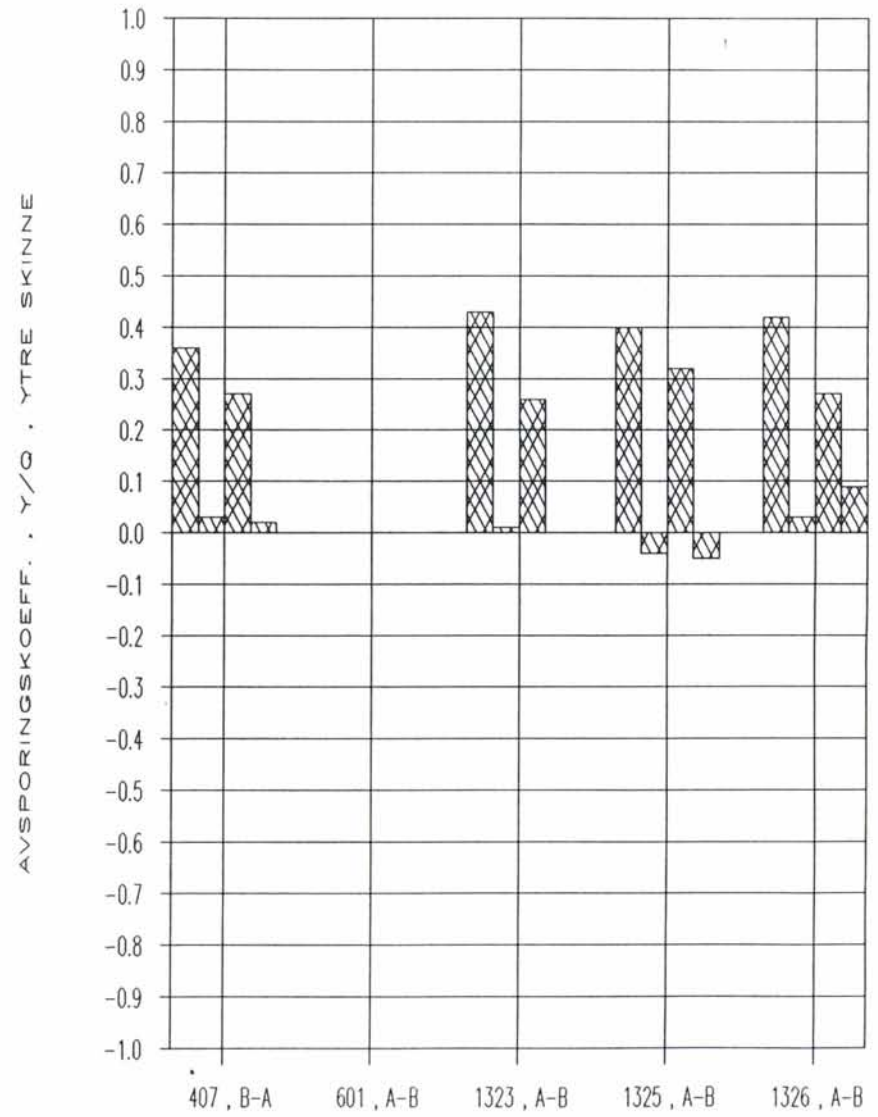
30 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



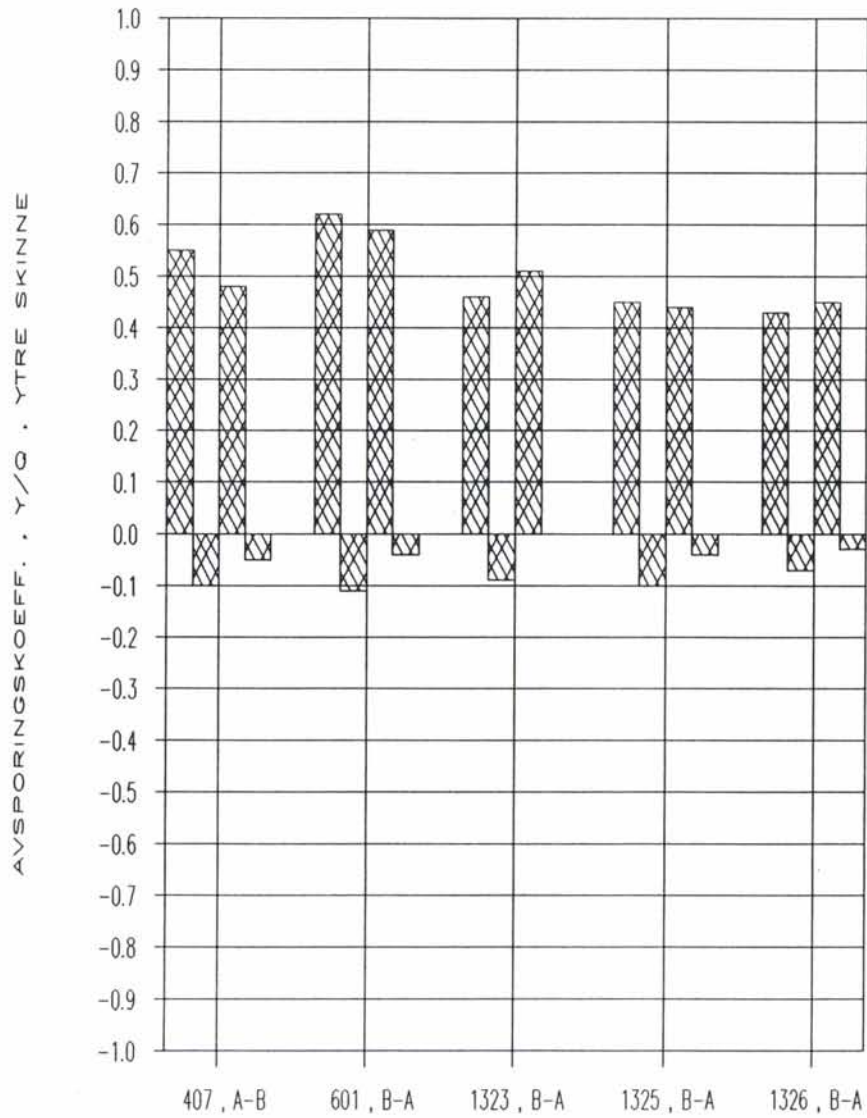
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , TOERT



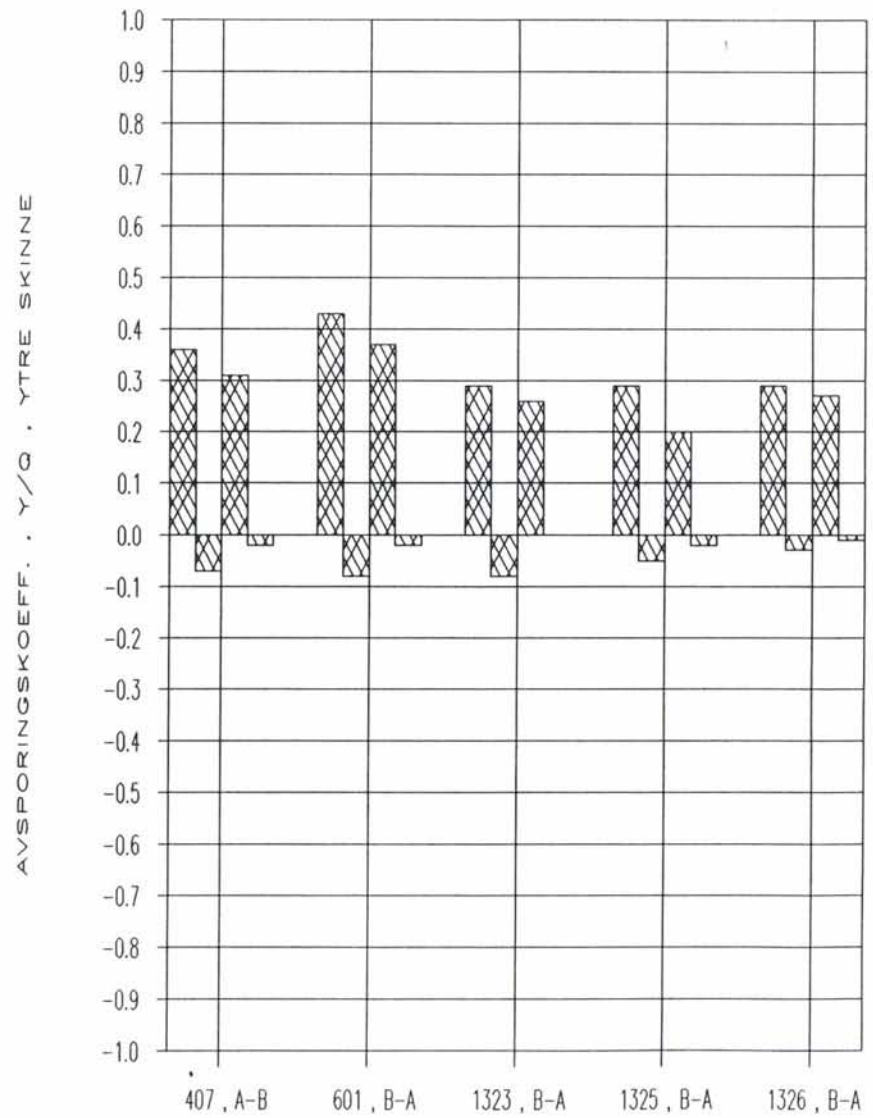
35 KM/H FRA HOLMENK. ST. , FUKTIG



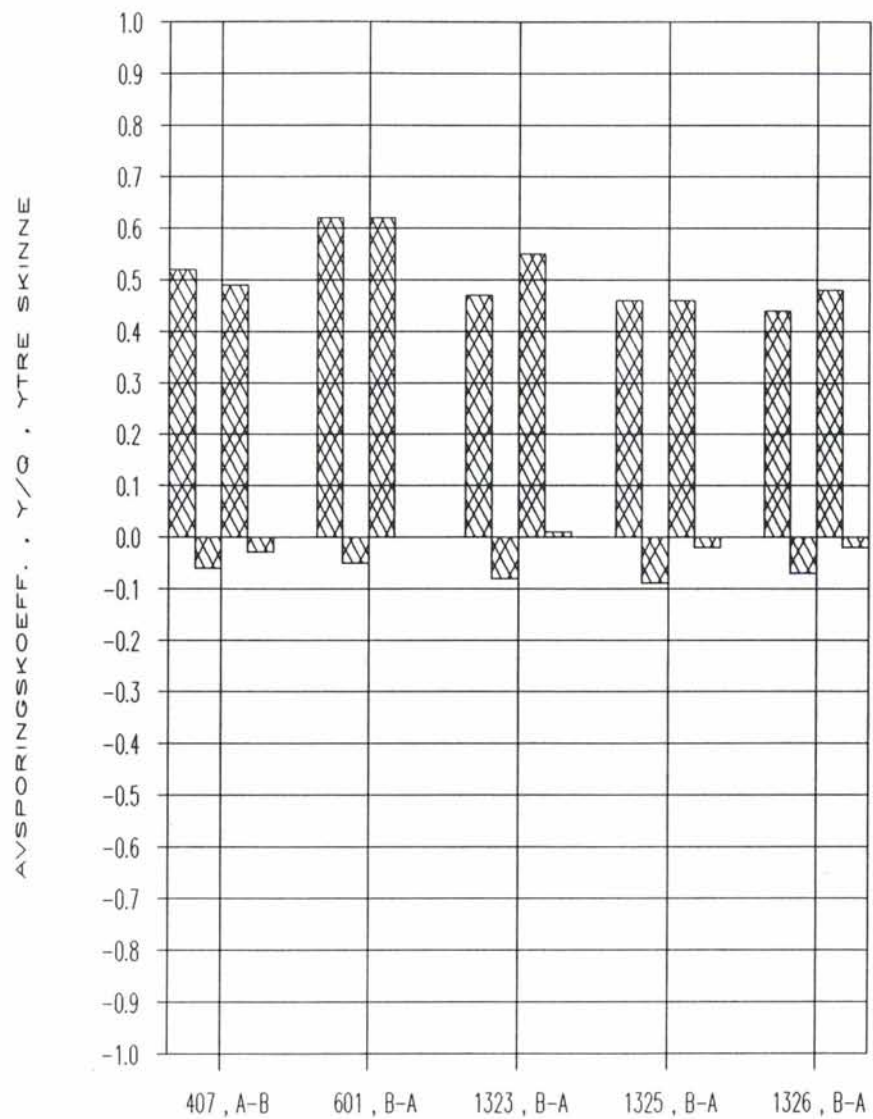
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT



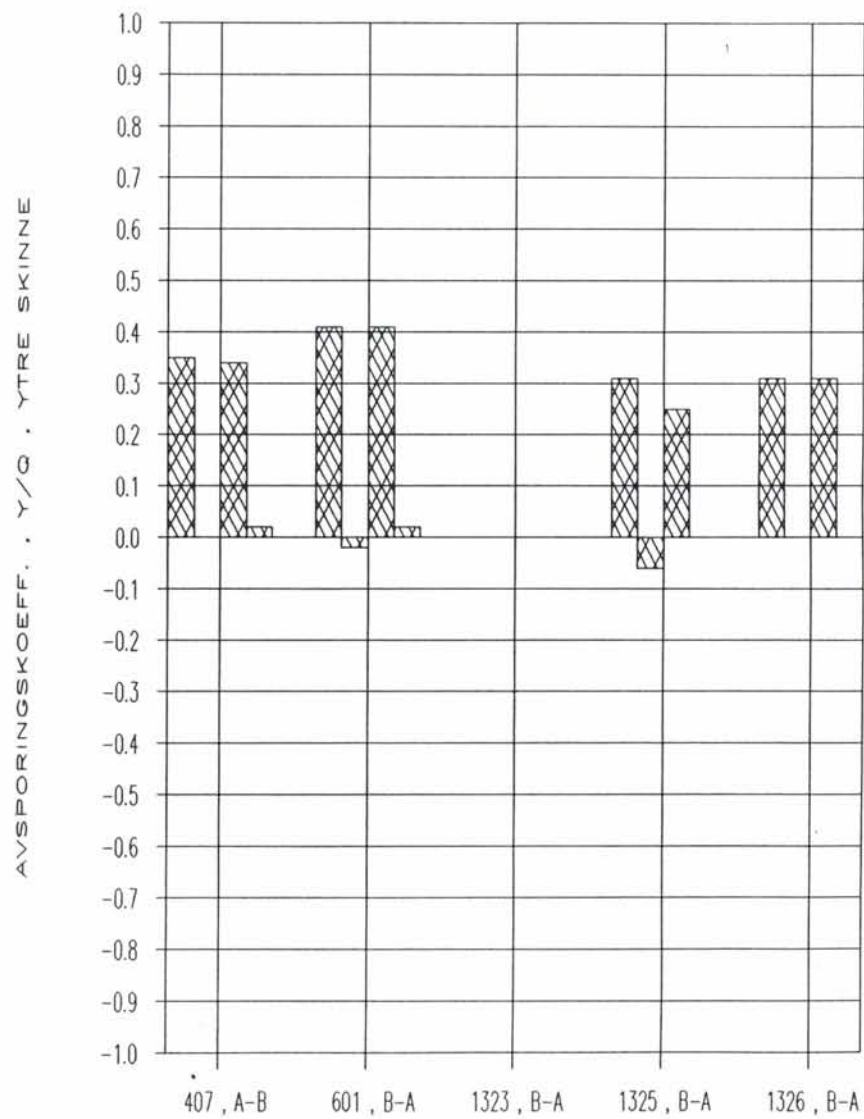
35 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG



40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , TOERT



40 KM/H MOT HOLMENK. ST. , FUKTIG



9. VURDERING AV MÅLERESULTATER

9.1 Generelle tendenser

Når det gjelder målte sidekrefter, er det et gjennomgående fenomen at aksel en og tre i fartsretningen påtrykker ytterstrengen store krefter "utover" og innerstrengen noe mindre krefter "innover". Dette betyr at ledende boggiaksler forsøker å tvinge skinnene til hver sin side.

Bakre boggiaksler påvirker ytterskinnen med negative krefter i store deler av hastighetsområdet og forsøker altså å trekke skinnen innover mot sentrum i den sirkelbuen som kurven danner. På indre skinnestreng virker stort sett kreftene ved alle hjul innover mot kurvesentrum, og ledende aksel i boggien har alltid størst krefter (i tallverdi).

Om sporet er tørt eller fuktig har stor betydning for størrelsen på sprengkreftene fra ledende boggiaksler. Ved tørt spor er glidefriksjonskoeffisienten mellom hjul/skinne stor, og hjulene klatrer relativt høyt på skinnene. Resultatet blir at kontaktkraften mellom hjul/skinne får en retning som gir stor sidekraftkomponent. Vått spor gir mindre friksjonskrefter, og hjulene ligger dypere i sporet. Konsekvensen av dette blir et annet kontaktpunkt mellom hjul/skinne og mindre sidekraftkomponent. Ledende boggiaksler gir fortsatt størst sprengkrefter når det regner, men i forhold til tørt spor er det snakk om en halvering av Y-kreftenes tallverdier og vel så det.

Se kap. 7.2 for målte sidekrefter.

Tendensen for avledede svilletverrkrefter er klart størst verdier for ledende boggiaksler. Dette kan forklares ut i fra målte Y-krefter. Resultatet her var store positive krefter på ytre skinne og ikke fullt så store motsatt rettede krefter på indre skinne. Summen av disse blir en betydelig svilletverrkraft som vil forsøke å forskyve sporet utover. Y-kreftene for bakre boggiaksler var negative i store deler av hastighetsområdet både på indre og ytre skinnestreng, hvilket gir en negativ svilletverrkraft. I likhet med sidekreftene vil også svilletverrkreftene avhenge av værforholdene, og vi får klart mindre tallverdier når skinnene er våte.

Se kap. 7.3 for registrerte svilletverrkrefter.

Avspøringskoeffisienten på ytre skinne er avledet av målte Q- og Y-krefter på skinnen. Tendensen er tydelig størst verdier for ledende boggiaksler. Størst koeffisienter ble oppnådd ved kjøring i fartsretningen Holmenkollen - Voksenlia hvor det er stigning. Vi legger her merke til at verdiene for første aksel ligger klart høyere ennfor aksel tre. I motsatt retning er koeffisientene størrelsesmessig mer like i verdi.

Også avspøringskoeffisientene for ledende boggiaksler avtar i tallverdi ved fuktige og våte skinner.

Se kap. 7.4 for oppnådde avspøringskoeffisienter.

9.2 Sammenligning av ulike materielltyper.

9.2.1 Sidekrefter på ytre skinne.

I fartsretningen Holmenkollen - Voksenlia (fra Holmenk. st) oppnår vi høyest maksimalverdier for vognene i 1300 serien ved hastigheter på 30 og 35 km/h og tørt spor. Maksimalverdiene oppnås av første aksel i fartsretningen. 1323 med usmurte glideplater og relativt nydreide hjul oppnår størst verdi, mens 1326 med smurte glideplater ligger noe bak. 1325 med usmurte glideplater og mer slitte hjul enn 1323 ligger på tredjeplassen. 407 og 601 oppnår jevnstore krefter som ligger noe i underkant av 1325 igjen. Ved våte skinner halveres kreftene i verdi, og det er liten forskjell på materielltypene.

Se sammenstillingskurver side 101-102 i kap 8.1.

Ved utforkjøring i retningen Voksenlia - Holmenkollen (mot Holmenk. st.) oppnår vognene klart mindre maksimalverdier sammenlignet med kjøring i motsatt retning og like forhold ellers. Vi merker oss også at det er liten forskjell på kreftene fra første og tredje aksel i fartsretningen. Ved 35 km/h og tørt spor oppnår 407 størst maksimalverdi, mens 601 og 1323 ligger noe bak. Deretter følger 1325 og 1326 med noe lavere verdier. Øker vi hastigheten til 40 m/h, øker maksimalverdiene noe og 407 og 601 bytter plass. Ellers er rangeringen den samme.

Ved våte skinner avtar kreftene veldig i verdi, men 407 og 601 ligger fortsatt høyest.

Se sammenstillingskurver side 103-104 i kap 8.1.

9.2.2 Sidekrefter på indre skinne.

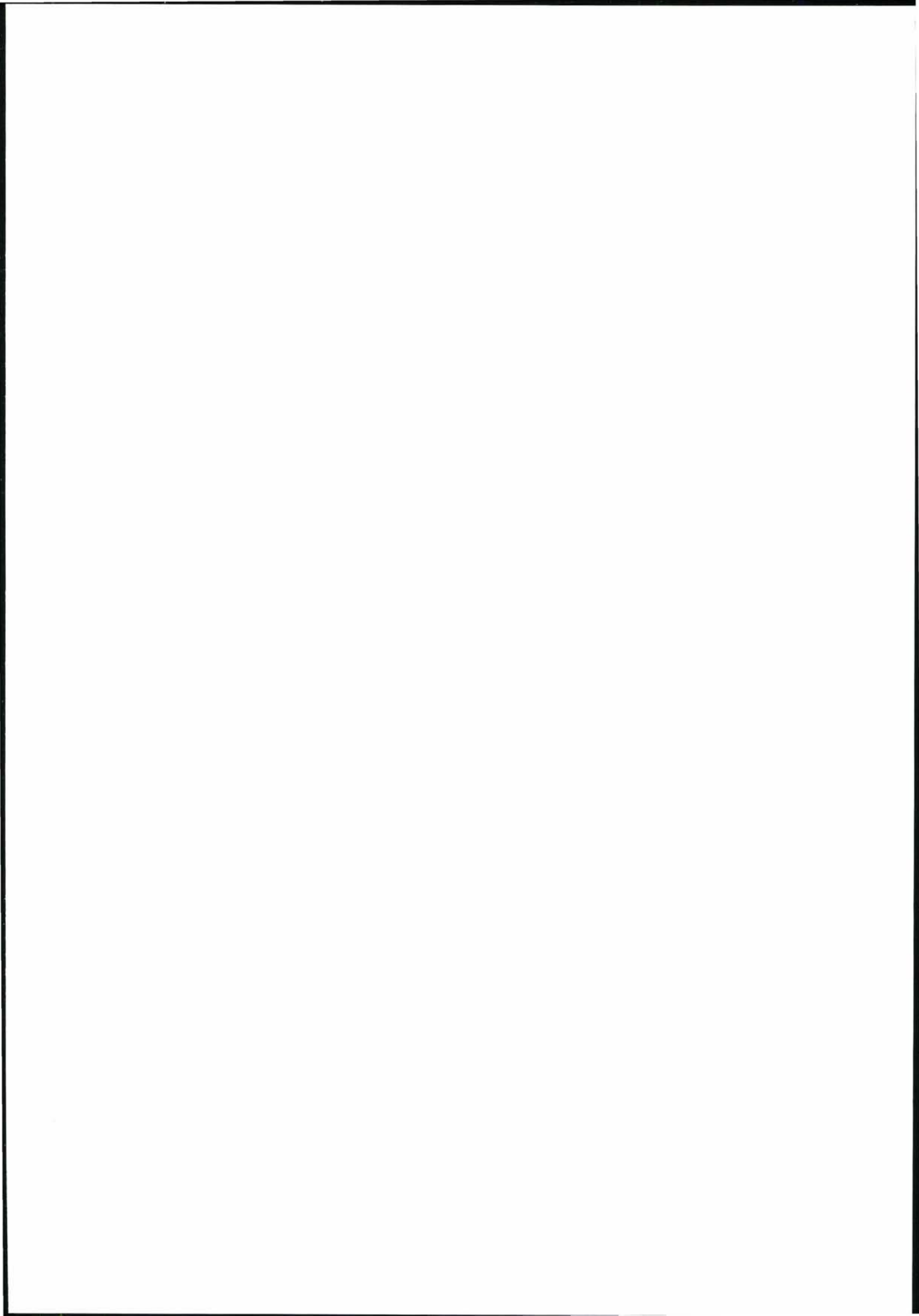
Sidekreftene på indre skinnestreng er rettet innover mot sentrum i den sirkelbuen kurven beskriver og avtar med økende hastighet.

I fartsretningen Holmenkollen - Voksenlia (fra Holmenk. st.) har vi følgende tendenser ved tørt spor og hastigheter på 30 og 35 km/h. 1300-vognene påvirker innersporet med størst maksimalkrefter rettet innover. 1326 med smurte glideplater oppnår høyest verdi. Deretter følger 1323, 1325 og 601, alle med jevnstore verdier. 407 ligger lavest i verdi. For samtlige materielltyper oppnås maksimalverdiene av første aksel i fartsretningen. Ved våte skinner mer enn halveres kreftene i verdi, og 407 og 601 opptrer med størst krefter.

Se sammenstillingskurver side 106-107 i kap 8.2.

Ved utforkjøring mot Holmenkollen stasjon oppnår ledende boggiaksler klart mindre maksimalverdier enn hva tilfellet var i motsatt retning med lignende kjøreforhold. Vi merker oss at det her er mindre forskjell på første og tredje aksel i fartsretningen for 407 og 601 enn hva tilfellet var i motsatt retning. For 1323, 1325 og 1326 er tendensen stikk motsatt med større forskjell. Dessuten er det nå aksel tre i fartsretningen som oppnår maksimalverdien.

Se sammenstillingskurver side 108-109 i kap 8.2.



9.2.3 Svilletverrkrefter.

I fartsretningen Holmenkollen - Voksenlia (fra Holmenk. st.) med stigning på 52.5 promille kan vi se følgende tendenser for hastigheter på 30 og 35 km/h når sporet er tørt.

1300-materiellet oppnår størst krefter i forhold til Prud'hommes grenseverdier. 1323 med usmurte glideplater og minst slitte hjul ligger klart høyest med en tiendels margin til 1325 med mer slitte hjul og 1326 med smurte glideplater. 601 og 407 følger deretter med lavest maksimalverdier. Samtlige materielltyper oppnår maksimal svilletverrkraft på første aksel i fartsretningen. 407 og 601 opererer ellers med jevnstore relative svilletverrkrefter på første og tredje aksel, mens 1300-vognene har en mer ujevn fordeling.

Ved vått spor halveres nesten verdiene, men rangeringen er den samme.

Se sammenstillingskurver side 111-112 i kap 8.3.

Ved kjøring i motsatt retning med tørre skinner og hastigheter på 35 og 40 km/h ligger 1300-vognene fra T-6 serien fortsatt høyest. 1323 opererer også her med klart størst maksimalverdi. 1325 ligger nå på en klar andre plass størrelsesmessig, ca en tiendel foran 1326. Deretter følger 601 og 407 tett bak. Vi legger merke til at det er større forskjell på svilletverrkreftene for første og tredje aksel for 1300-materiellet her enn hva tilfellet var i motsatt kjøreretning.

Med våte skinner faller svilletverrkreftene veldig i verdi, men 1300-vognene opererer fortsatt med størst maksimalverdier.

Se sammenstillingskurver side 113-114 i kap 8.3.

9.2.4 Avsporingskoeffisienter.

Klart størst avsporingskoeffisienter på ytterskinnen oppnås ved kjøring fra Holmenkollen stasjon. Maksimalverdiene opptrer her på ledende aksel for samtlige materielltyper. 1323 med usmurte glideplater i boggien og relativt nydreide hjul ligger høyest i verdi med drøye 0,9 ved 30 km/h. Deretter følger 1326 med smurte glideplater og 601 med koeffisienter rundt 0,85. 1325 med usmurte glideplater og mer slitte hjul enn 1323 oppnådde avsporingskoeffisienten 0,8. Sporveien benytter så vidt vi kan se hjulprofilet "NSB's normalprofil", som har en flensvinkel på 60 grader. På tørt spor får vi da en teoretisk grenseverdi (Nadals grenseverdi) for Y/Q på 0,79 før det er fare for avsporing ved klatring. Dette betyr at alle uttestede 1300-vogner samt 601 opererer med verdier som på tørre skinner ligger over Nadals grenseverdi. Bare 407 oppnådde å få lavere maksimalverdier i denne fartsretningen ved tørt spor. Det må her tas i betraktning at avsporingskoeffisienten på ledende hjulaksel varierer lite med hastigheten så Nadals grenseverdier overskrides ikke bare ved sammenlignings-hastigheten 30 km/h, men i hele hastighetsområdet for prøvene. Avsporingskoeffisientene avtar når sporet er vått. Vi legger merke til at 601 oppnår størst maksimalverdier på våte skinner, men denne ligger godt under den teoretiske grensen for avsporingsfare.

Se sammenstillingskurver side 116-117 i kap 8.4.

I fartsretningen Voksenlia - Holmenkollen (mot Holmenk. st.) er det ingen materielltyper som overskrider Nadals grenseverdi for avsporingsfare. 601 skiller seg her ut med størst verdi ved kjøring i 35 og 40 km/h. Andreplassen innehas av 407 ved kjøring i 35 km/h, men overtas av 1323 når hastigheten økes til 40. Lavest verdier ble her oppnådd av 1325 og 1326. Vi legger merke til at forskjellen mellom avsporingskoeffisientene på første og tredje aksel er liten i forhold til det som ble oppnådd i motsatt fartsretning. Dette gjelder samtlige materielltyper.

Fuktige skinner gir som før reduserte verdier, men innbyrdes størrelsesrekkefølge forblir uendret.

Se sammenstillingskurver side 118-119 i kap 8.4.

M
Jernbanelinjen
JBV
Jernbanelinjen
Biblioteket



09TU03416
200000030416