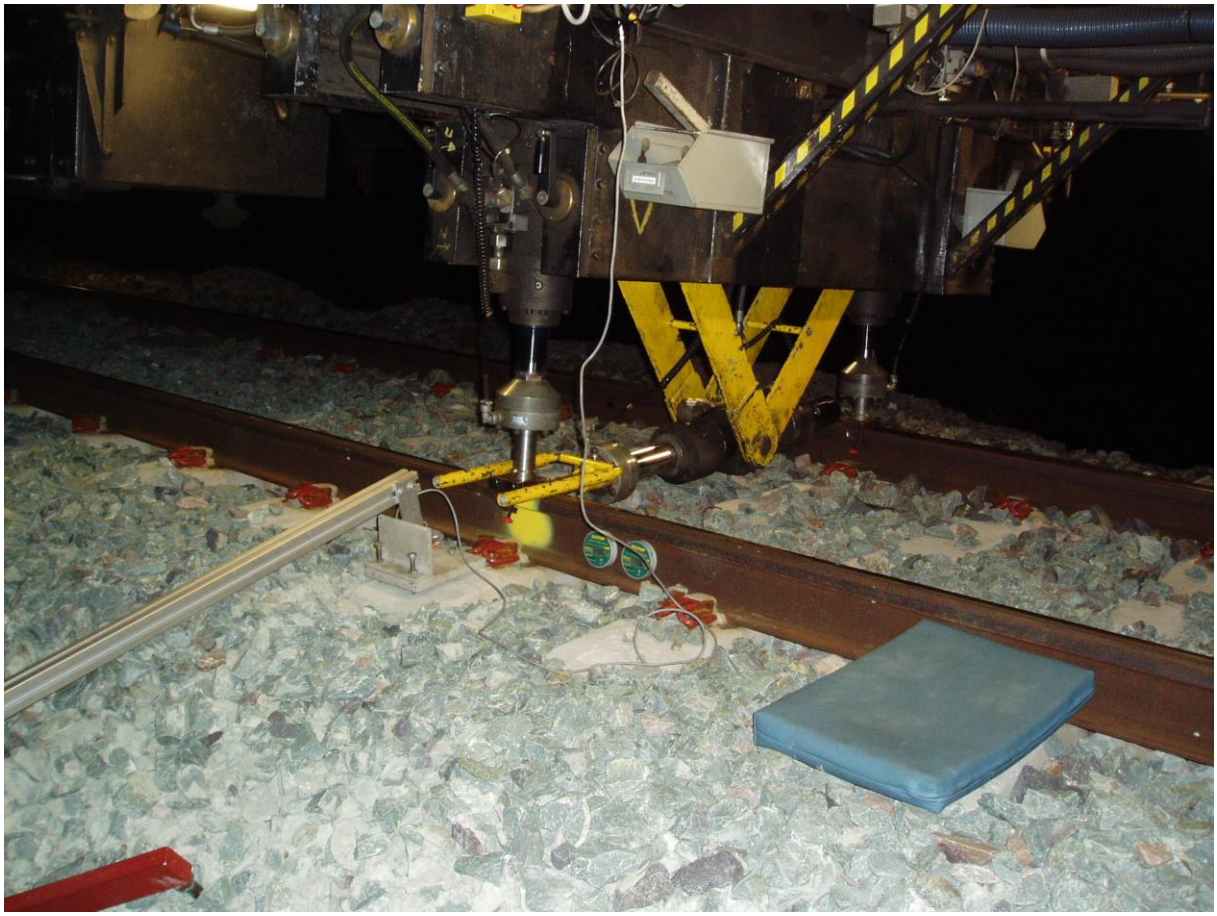
Jernbaneverket

ITSB

TESTING AV SIDEMOTSTANDEN I SPOR MED FRIKSJONSSVILLER

KOPPANG, RØROSBANEN AUGUST 2004



Ref.nr. ITS-arkiv: 04/03259 Si 722

Dato: 14.02.2005

JERNBANEVERKET
Region Nord
Teknisk kontor

TITTEL	Testing av sidemotstanden i spor med friksjonssviller Koppang, Rørosbanen august 2004		
SAKSNR.	04/03259	ARKIVBETEGNELSE	Si 722
DATO	14.02.2005	ANTALL SIDER OG BILAG	22

OPPDRAGSGIVER: Trond Børsting ITPB	OPPDRAGSGIVERS REFERANSE
SAKSBEHANDLER/PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Alf Helge Løhren	PROSJEKTMEDARBEIDERE Professor Rasmus S. Nordal
KVALITETSSIKRET AV FAGPERSON (NAVN, STILLING, SIGN.): Stein Olav Lundgreen sjefingeniør ITPB	
GODKJENT (NAVN, STILLING, SIGN.): Trond Børsting seksjonsleder ITPB	

SAMMENDRAG

I august 2003 ble det lagt inn 200 friksjonssviller JBV 97F i et forsøksfelt nord for Koppang på Rørosbanen. Kurveradien på stedet er 250 m. I samme kurve sør og nord for forsøksfeltet er det hhv. NSB enhetssviller og tresviller (furu). Etter at friksjonssvillene hadde ligget i det trafikkerte sporet i 1 år, ble sideforskyvningsmotstanden målt ved hjelp av Banverkets belastningsmålevogn BMV i august 2004. Sporet med NSB enhetssviller og tresviller ble nyttet som referansespor.

Sideforskyvningsmotstanden ble målt og analysert etter ORE standarder. Det ble brukt tre aksellaster; 40 kN, 70 kN og 100 kN. I tillegg ble sidemotstanden målt i ubelastet spor (aksellast 0 kN). Måleresultatene viser at sporet med friksjonssville JBV 97F gav større sideforskyvningsmotstand enn både sporet med NSB enhetssviller og tresviller. Lavest sidemotstand ble målt i tresvillesporet. I det ubelastede sporet viser resultatene at sporet med JBV 97F gav 40 % høyere sidemotstand enn sporet med NSB enhetssviller og hele 120 % mer enn tresvillesporet, dette til tross for at bredden på ballastskulderen var mindre ved friksjonssvillene enn ved de to andre svilletypene.

Standardavviket for målingene med friksjonssvillen JBV 97F varierer betydelig mindre for alle de fire belastningstilfellene enn det som er tilfelle for NSB enhetssvillen og tresvillen. I tillegg er gjennomsnittsverdien for standardavviket lavere. Dette viser at friksjonssvillen gir et jevnere og mer stabilt feste for sporet i ballasten, enn to av de svilletypene som Jernbaneverket benytter i dag.

Til tross for de gode resultatene for friksjonssvillen er det behov for noen flere analyser og feltforsøk bl.a. p.g.a. et begrenset antall målinger.

INNHOLD

1 Bakgrunn og formål 2

2 Forsøksfelt og svilletyper 2

3 Måleutstyr og arrangement 4

4 Måleprosedyre 5

5 Analyse av måleresultater 5

6 Presentasjon av måleresultater 6

6.1 Friksjonssville JBV 97F 6

6.2 NSB enhetssville 11

6.3 Tresville 16

7 Avvik i bredde på ballastskulderen 20

8 Sammenligning av måleresultatene for de tre sporkonstruksjonene 21

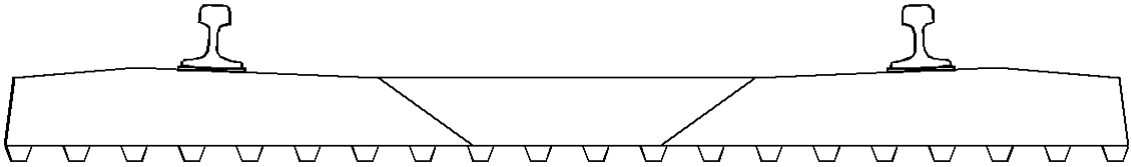
9 Videre arbeide 22

1 Bakgrunn og formål

Minste kurveradius for vanlig helsveist spor med standard betongsviller er 250 m. For å avlaste sporet for høye temperaturspenninger i kurver med mindre radier, må skinnene skjøtes med laskeskjøter. Lasket spor gir dårlig komfort og krever store kostnader til vedlikehold.

Det ville derfor være en meget stor fordel om sideforskyvningsmotstanden for sporet gjennom kurver med små radier, kunne økes tilstrekkelig til å tillate bruk av helsveist spor.

Denne problemstillingen ble valgt som tema for en Dr.ing.-avhandling ved NTNU. Gjennom dette forskingsarbeidet ble Friksjonssvillen oppfunnet, se figur 1.



Figur 1 *Friksjonssvillen er utformet med tversgående, ribbeformet fortanning på undersiden for å utnytte den høye interne friksjonen og forhakingseffektene i ballasten.*

Friksjonssvillen er en monoblokksville av betong. Undersiden av denne svillen er utformet med en spesiell, tversgående fortanning. Under kompaktering og trafikkbelastning i sporet vil et nærmest sammenhengende øverste lag av ballasten festes i fortanningen på svillens underside ved forkiling, forhakings- og friksjonseffekter. Dette fastholdte laget danner en samvirkende konstruksjon sammen med fortanningen i svilleundersiden. Under sideforskyvningskrefter tvinger denne samvirkende konstruksjonen skjærsonen under svilla til å gå nede i den underliggende ballasten. Der vil den høye interne friksjonen og forhakingseffektene i knust ballast mobiliseres. Ved dette får friksjonssvillen mye større sideforskyvningsmotstand enn det som er oppnåelig med en standard betongsville med slett underside som glir på ballasten.

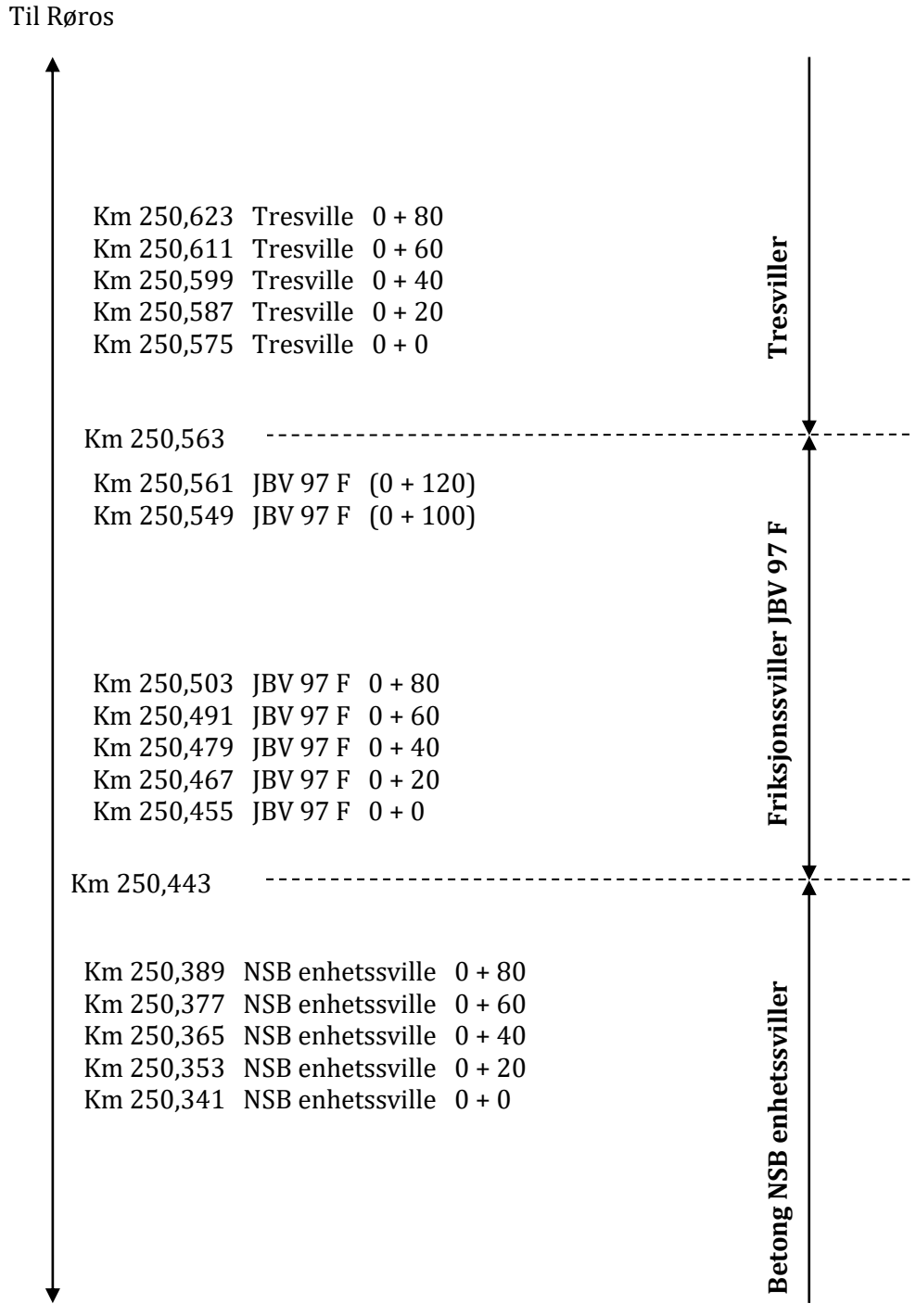
For å prøve ut friksjonssvillen og de mest aktuelle referansesvillene som tresviller og betongsvillene NSB 90 og NSB 93, ble det kjørt en rekke forsøk med måling av sideforskyvningsmotstanden i en forsøksrigg i NTNU's laboratorium. Svillene ble lagt i pukkballast i en sporseksjon med plass til 3 sviller. Disse målingene gav meget lovende resultater for friksjonssvillen i forhold til standard betongsviller.

For å få med flere viktige faktorer som påvirker sideforskyvningsmotstanden i praksis, var det imidlertid behov for å legge inn friksjonssviller i et trafikkert spor, og der utføre de standardmålingene som er angitt av ORE (Office of Research and Experiments of the International Union of Railways) for kontroll av sporforskyvningsmotstand i felt.

2 Forsøksfelt og svilletyper

For gjennomføring av feltmålinger ble det valgt ut en kurve med radius 250 m i området ved km 250,45 på Rørosbanen nord for Koppang stasjon. Overhøyden i kurven er 150 mm og skinneprofilet på strekningen S49. I nordre del av denne kurven lå det tresviller (furu) med Hey-Back befestigelse, i søndre del var det betongsviller, NSB enhetssville med Pandrol PR341 som tilsvarer NSB 90 i form og størrelse. Høsten 2003 ble det i forlengelsen av partiet med betongsviller lagt inn et forsøksfelt på 120 m for utprøving av friksjonssvillen JBV 97 F med

Pandrol Fastclip befestigelse. Det nærmeste partiet av sporet på nordsiden ble valgt ut som kontrollfelt med tresviller, mens det nærmeste sporpartiet på sørsiden ble brukt som kontrollfelt med betongsviller NSB enhetssville. Oversikt over feltene med de tre sville typene er vist i figur 2. Der er også plasseringen av de enkelte målesvillene i hvert felt vist med kilometerangivelse.



Figur 2 *Plan over forsøksfelt for måling av sideforskyvningsmotstand for sporet på Rørosbanen ved km 250 nord for Koppang stasjon.*

3 Måleutstyr og arrangement

For gjennomføring av de aktuelle målingene av sidemotstanden i spor med forskjellige svilletyper var det behov for en målevogn med servo-hydraulisk belastnings utstyr. Det svenske Banverket har en slik spesialinnredet belastningsmålevogn. Mätenheten ved Banverket Produktion Maskin ble derfor innleid for å utføre målingene som ble gjennomført natten mellom 13. og 14. august 2004.

Belastningsmålevognen, BMV, veier totalt 49 t og har en lengde mellom boggisentrene på 16 m og er vist i figur 3.



Figur 3 *Banverkets belastningsmålevogn BMV*



Figur 4 *Hydrauliske sylindere midt under BMV for belastning av sporet vertikalt og lateralt.*

Midt under vognen sitter de hydrauliske sylindrene som kan belaste sporet både vertikalt og lateralt (figur 4). Når BMV står stille, kan sporet belastes med en aksellast opp til 30 tonn. Ved måling ble målevognen plassert på sporet med senter over målesvillen. På hver målesville i alle tre felt ble det utført en serie på fire belastningsforsøk.

I prøvefeltet med friksjonssviller fra km 250,443 til km 250,563 ble det valgt ut 7 sviller hvor sidemotstandskraften i sporet skulle måles. De fem første svillene eller målepunktene var jevnt fordelt fra starten av feltet med 20 sviller eller 12 m mellom hver målesville. De to siste målesvillene lå mot enden av prøvefeltet med friksjonssviller, hhv. ved km 250,549 og km 250,561. Her var bredden på ballastskulderen noe større enn på resten av forsøksfeltet, og dermed mer lik bredden som ballastskulderen hadde på partiene med NSB enhetssviller og tresviller. I feltene med NSB enhetssviller og tresviller ble det valgt ut 5 målesviller i hvert felt. Disse målepunktene lå også med 20 svillers mellomrom, se figur 2.

Under målingene varierte skinnetemperaturen mellom 5° og 12° C. Detaljerte data for luft- og skinnetemperaturer er gitt i tabellene i figurene 12, 20 og 28.

4 Måleprosedyre

Målevognen ble plassert med senter hvor de hydrauliske sylinderne var montert, over målesvillen. Det ble utført en serie på fire belastningsforsøk på hver målesville i alle de tre feltene:

- Ved første forsøk påføres det en statisk vertikal last P/2 = 20 kN på begge skinner. Dette tilsvarer en aksellast P = 40 kN. Under denne vertikalbelastning belastes skinnen lateralt med en jevnt økende kraft (1 – 8 kN/s) inntil en lateral forskyvning av svillen på 0,01P mm oppnås (her = 0,4 mm). Den laterale kraften som kreves for denne deformasjonen, registreres. Deretter avlastes skinnene og målesvillen før neste pålastningsforsøk.

- Andre forsøk følger samme prosedyre som det første, men P økes til 70 kN og deformasjonsgrensen til 0,7 mm.

- Tredje forsøk følger også samme prosedyre som det første, men P økes til 100 kN og deformasjonsgrensen til 1,0 mm.

- Det fjerde forsøket utføres uten aksellast, og den laterale lasten registreres når forskyvningen av målesvillen kommer opp i 2,0 mm.

5 Analyse av måleresultater

De tre første belastningsforsøkene i måleprosedyren som er beskrevet i avsnitt 4, er tatt i bruk av ORE som en praktisk tilnærming med statisk bestemmelse av den såkalte S_{lim}. S_{lim} er grenseverdien for den horisontale kraften når sporet går over fra elastisk til plastisk oppførsel. Denne grenseverdien skal også falle sammen med Prud`hommes formel for den sideforskyvningsmotstanden som sikrer stabiliteten i et belastet, nyjustert og ukonsolidert spor.

Prud`hommes formel angir nødvendig lateral motstand mot å forskyve et spor:

$$H_s > 10 + P/3$$

hvor

H_s = nødvendig lateral kraft (kN) for å initiere forskyvning av sporet
P = aksellast (kN)

Sideforskyvningsmotstanden for sporet må derfor være større enn den verdi Prud`hommes formel gir, og påførte sidekrefter mindre med en passende sikkerhetsmargin.

6 Presentasjon av måleresultater

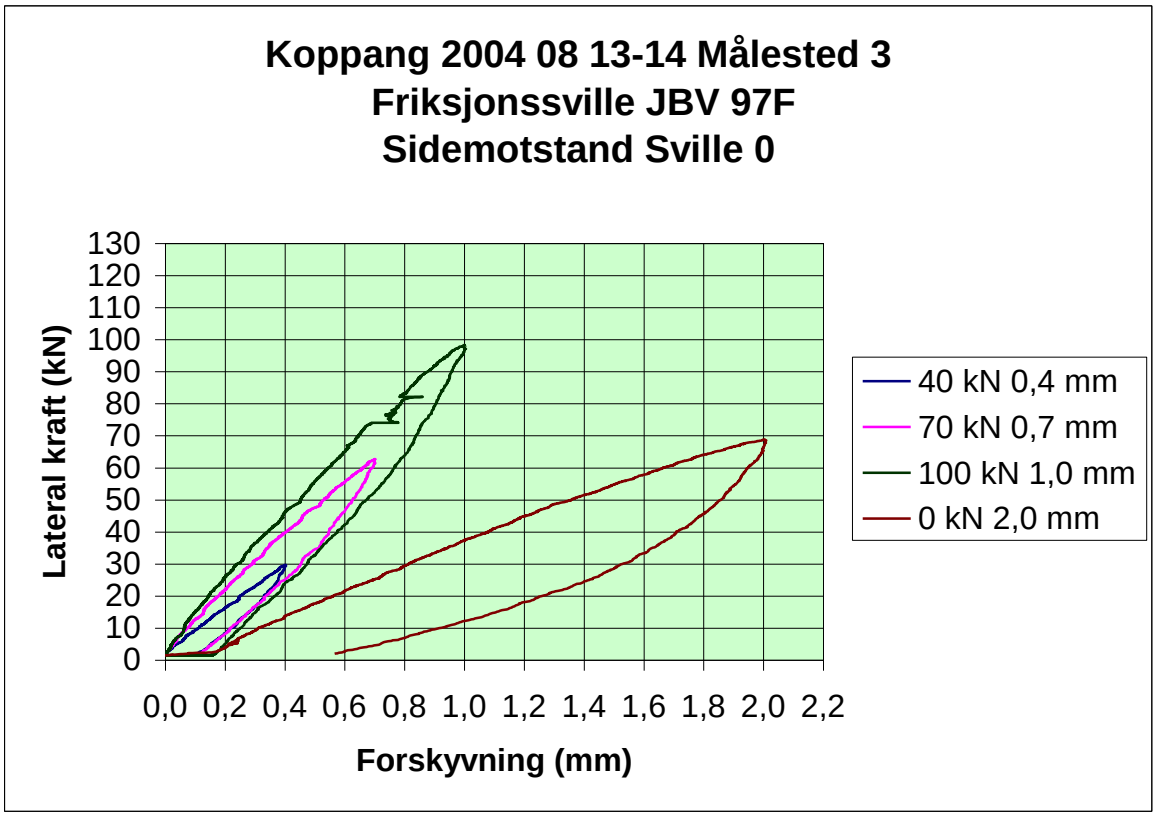
Måleprosedyren som er beskrevet i avsnitt 4, ble gjennomført ved alle målesviller.

Måleresultatene er vist både grafisk som kurver, i tabell form og i stolpediagram. Kurvene i den grafiske fremstillingen viser lateral kraft som funksjon av forskyvning ved spesifisert økning av pålastingskraft (~ 5kN/s) under de tre ulike aksellastene med etterfølgende avlasting etter ORE DT 150. I tillegg er det for ubelastet spor målt sideforskyvningskraft som funksjon av forskyvning opp til 2 mm.

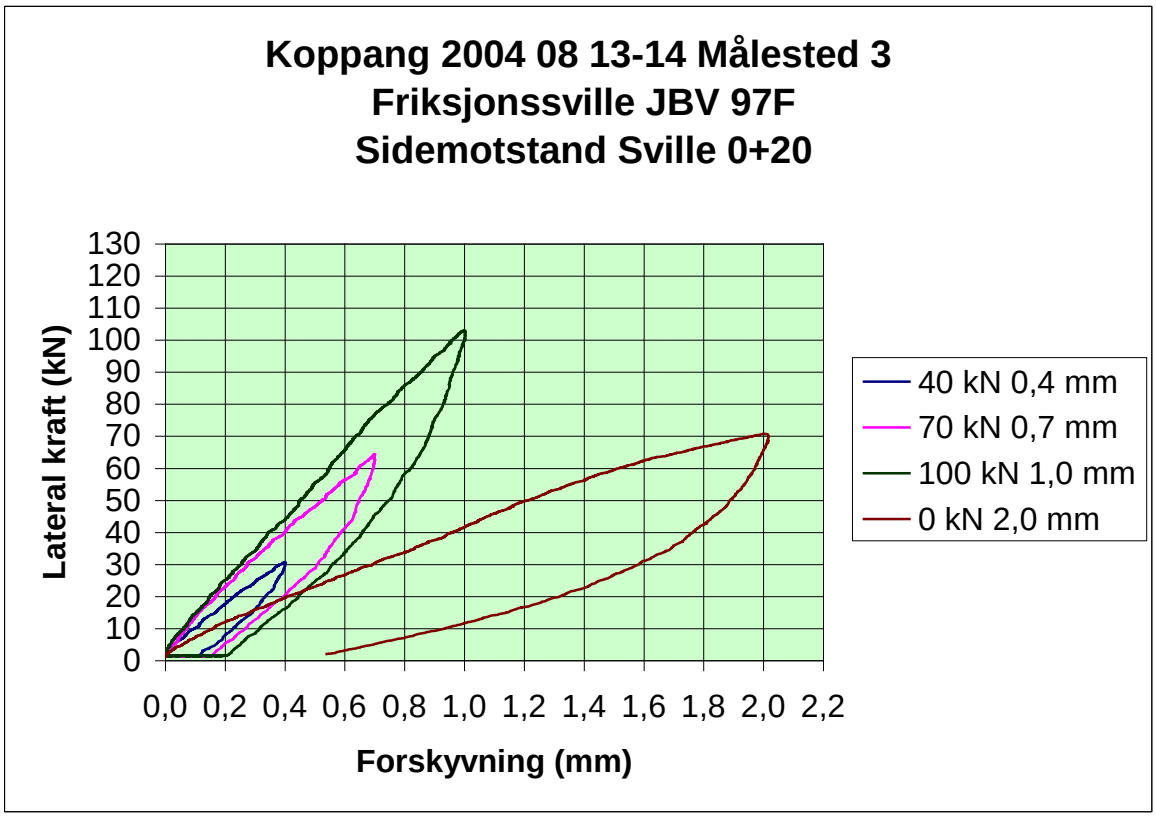
I tabellform er måleresultatene gitt for de 4 aksellast- / forskyvningstrinnene sammen med middelverdier, standardavvik og S_{lim} for de tre første last trinnene som spesifisert av ORE.

6.1 Friksjonssville JBV 97F

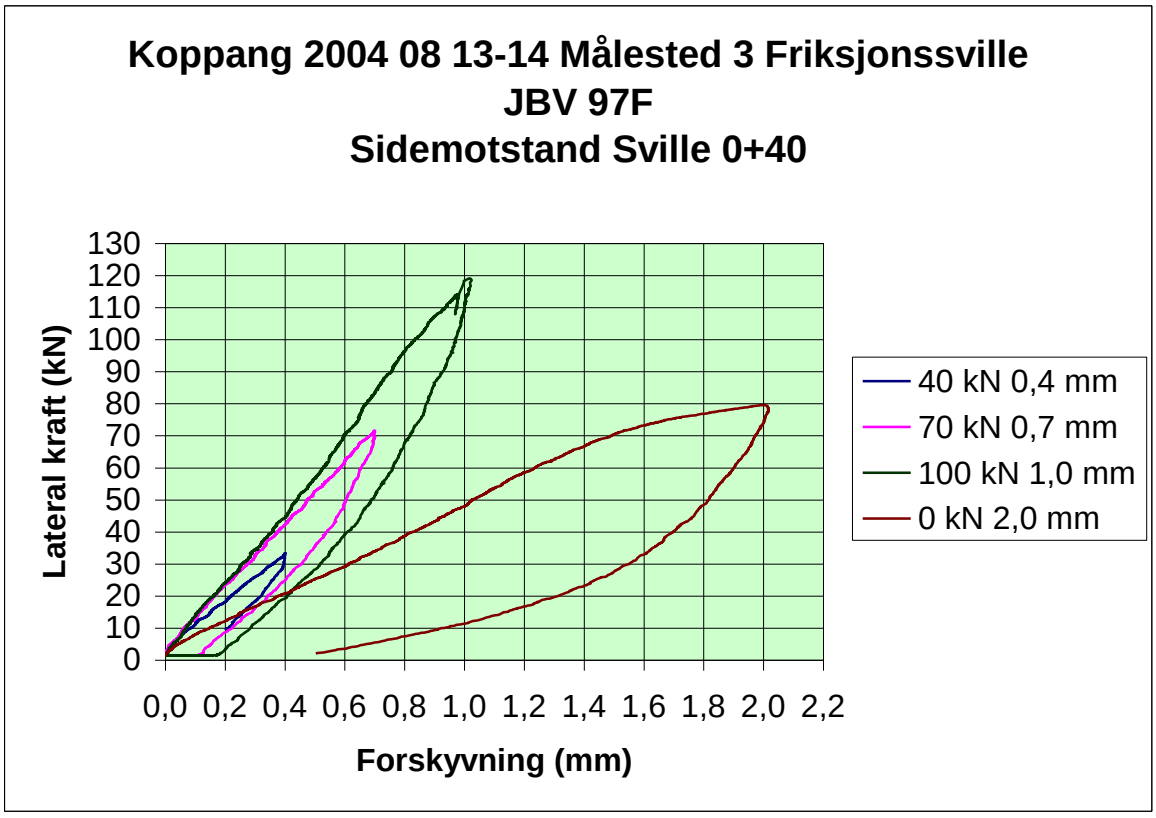
Måleresultatene for de 4 aksellast trinnene på de 7 målesvillene i feltet med friksjonssviller er analysert under ett og vist grafisk i figurene 5 til 11.



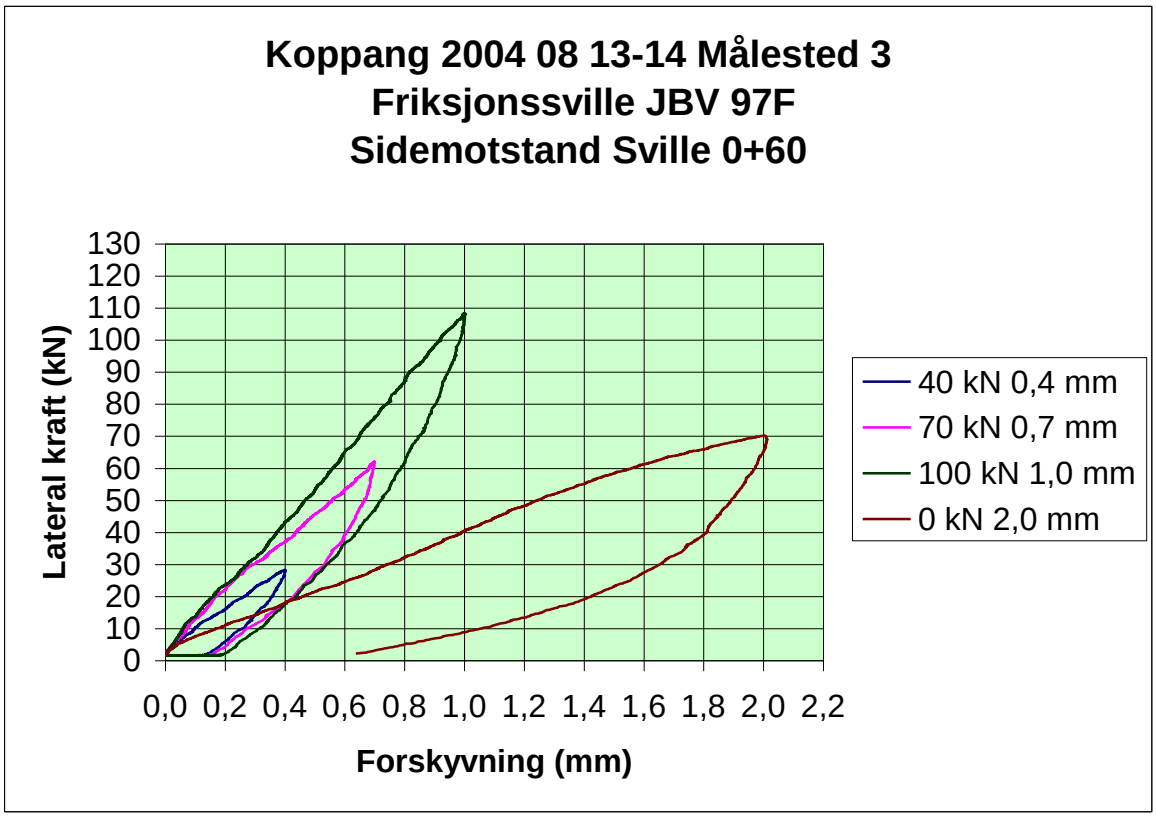
Figur 5 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0*



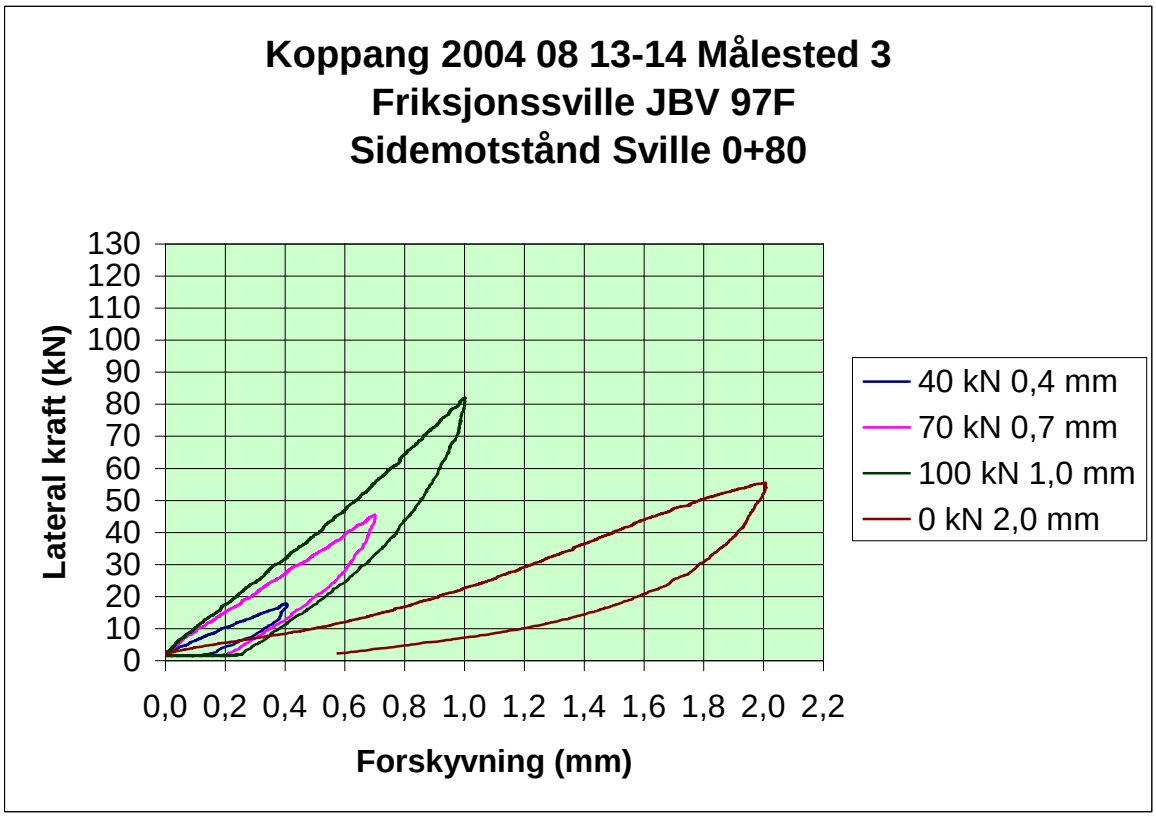
Figur 6 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+20*



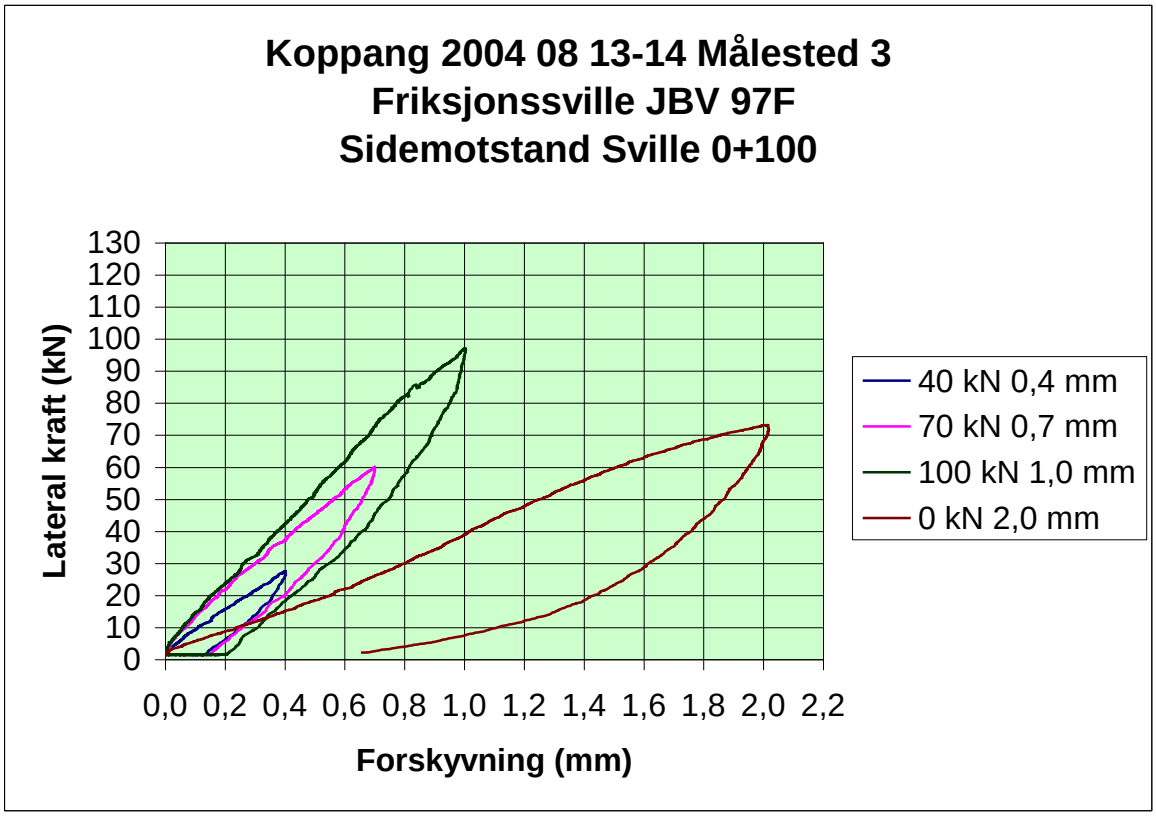
Figur 7 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+40*



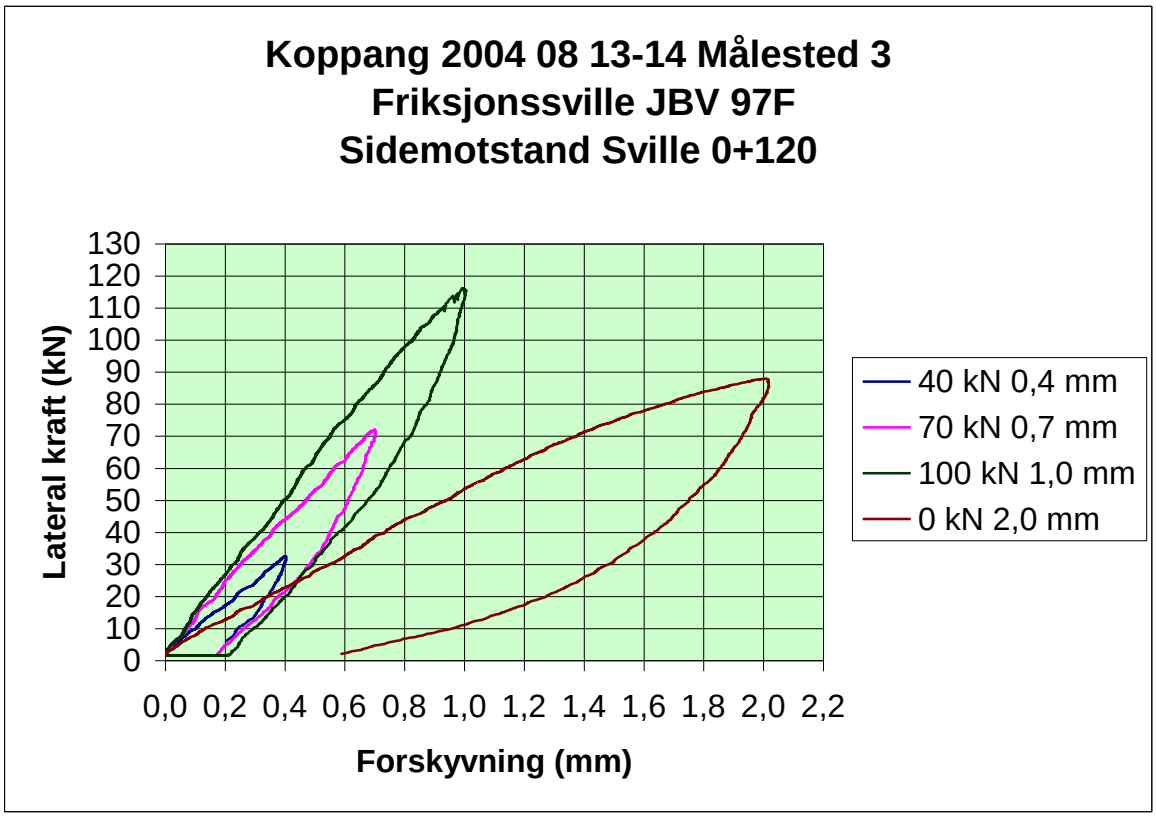
Figur 8 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+60*



Figur 9 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+80*



Figur 10 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+100*



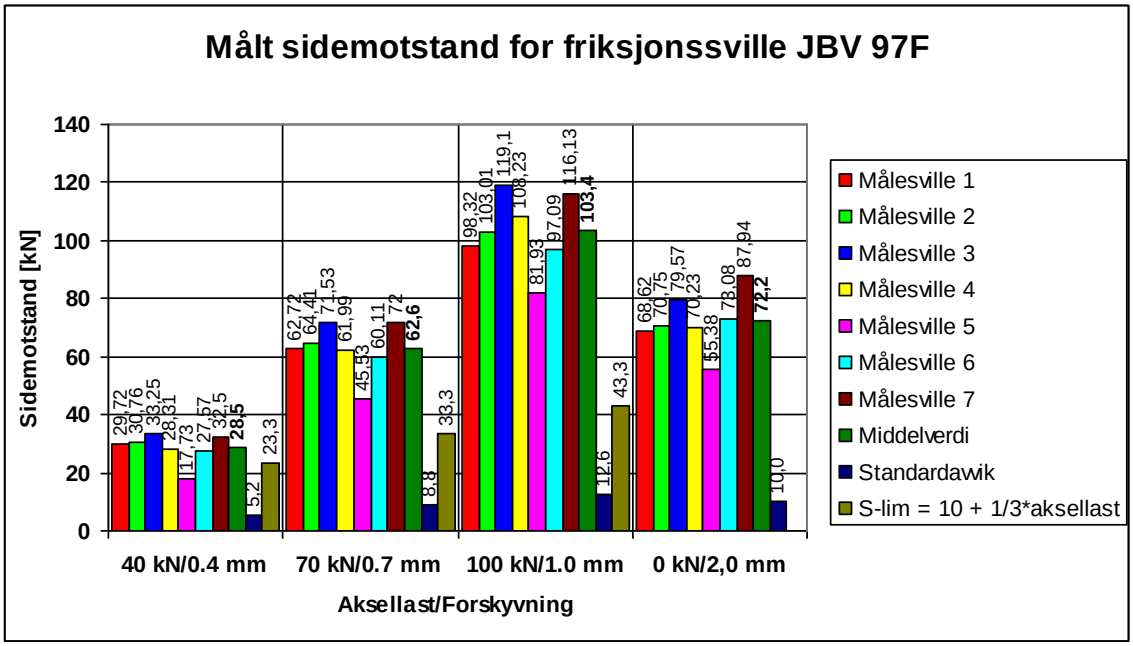
Figur 11 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for friksjonssville JBV 97F, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+120*

I figur 12 er måleresultatene gitt i tabellform for de 4 aksellast- / forskyvningstrinnene sammen med middelverdier, standardavvik og S-lim for de tre første last trinnene som spesifisert av ORE.

Dat 2004-08-14 Plats: Koppang Mätsträcka: 250+455		Plats:	Koppang	Mätsträcka: 250+455
Luft/rältemperatur:	6,9 C- +5,8 C /7 C- +6,5 C	Spår:	S49-räl, Pandrol fastclip på 10 mm underlägg och JBV 97F sliper	
	40 kN/0.4 mm	70 kN/0.7 mm	100 kN/1.0 mm	0 kN/2,0 mm
Mätpunkt 1	29,72	62,72	98,32	68,62
Mätpunkt 2	30,76	64,41	103,01	70,75
Mätpunkt 3	33,25	71,53	119,10	79,57
Mätpunkt 4	28,31	61,99	108,23	70,23
Mätpunkt 5	17,73	45,53	81,93	55,38
Mätpunkt 6	27,57	60,11	97,09	73,08
Mätpunkt 7	32,50	72,00	116,13	87,94
Medelvärde	28,5	62,6	103,4	72,2
Standardavvikelse	5,2	8,8	12,6	10,0
S-lim = 10+1/3*Axellast	23,3	33,3	43,3	

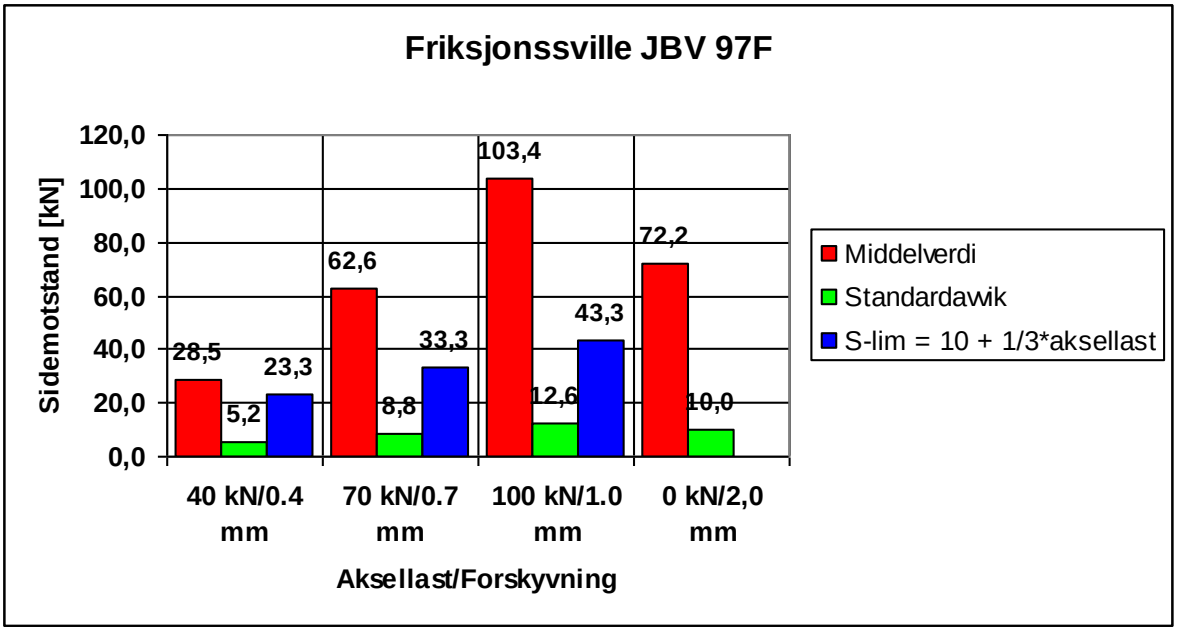
Figur 12 *Måleresultatene for friksjonssvillen JBV 97F.*

I figur 13 er de samme verdiene vist i stolpediagram. I de fleste målepunktene er forskyvningsmotstandene svært like. Målesville 5 (Mätpunkt 5) fra venstre viser imidlertid en gjennomgående lav forskyvningsmotstand. Årsaken til dette er usikkert, og det kan vurderes å ta den ut av det statistiske beregningsgrunnlaget. Hvis målesville 5 ble fjernet, ville både middelverdi øke og standardavviket reduseres for resultatene til sporet med JBV 97F. Disse variasjonene viser at det er behov for måleresultater fra flere sviller for å få god dekning av variasjonene som forekommer.



Figur 13 *Måleresultatene for friksjonssville JBV 97F vist med stolpediagram.*

I figur 14 viser stolpediagrammet middelverdier, standardavvik og S_{lim} etter ORE samlet for alle de 7 målepunktene med JBV 97F.

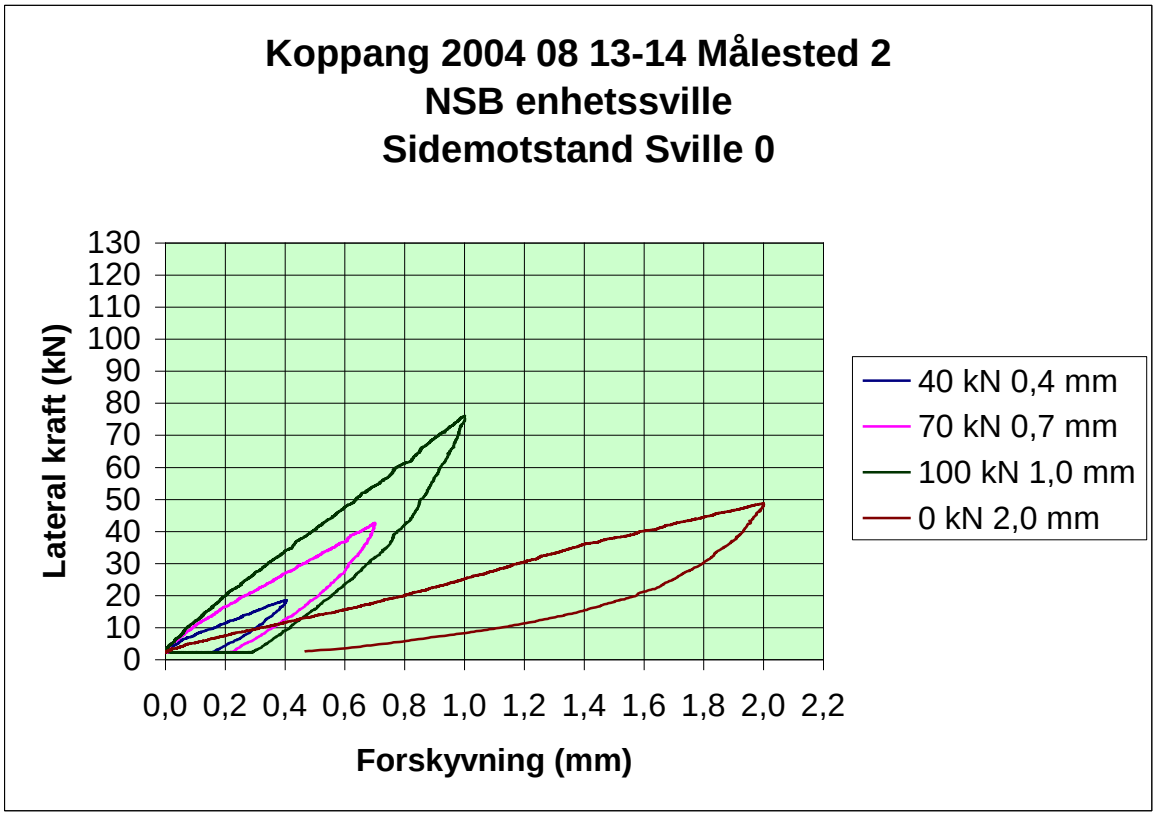


Figur 14 *Måleresultatene for friksjonssville JBV 97F vist med stolpediagram; middelverdi, standardavvik og S_{lim} for de 7 målesvillene sett under ett.*

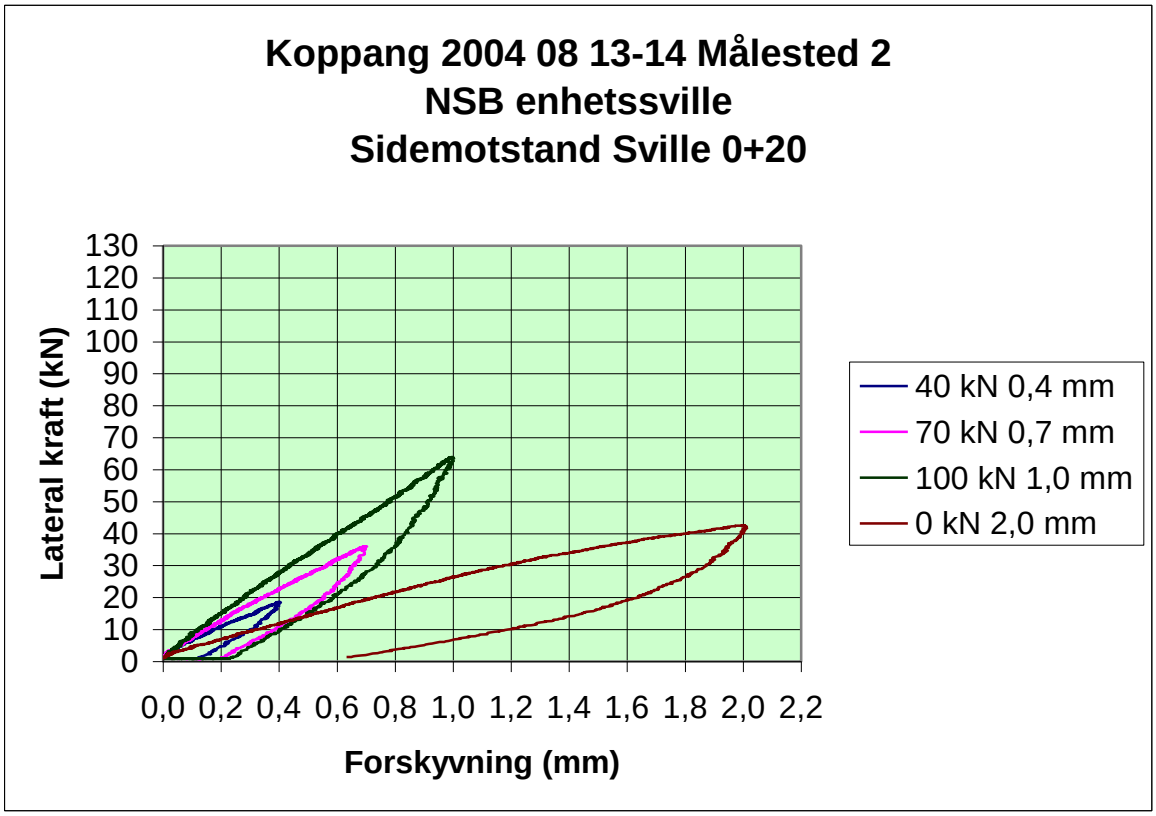
Standardavviket varierer relativt lite for de fire belastningstilfellene og har en gjennomsnittsverdi på 9,2.

6.2 NSB enhetssville

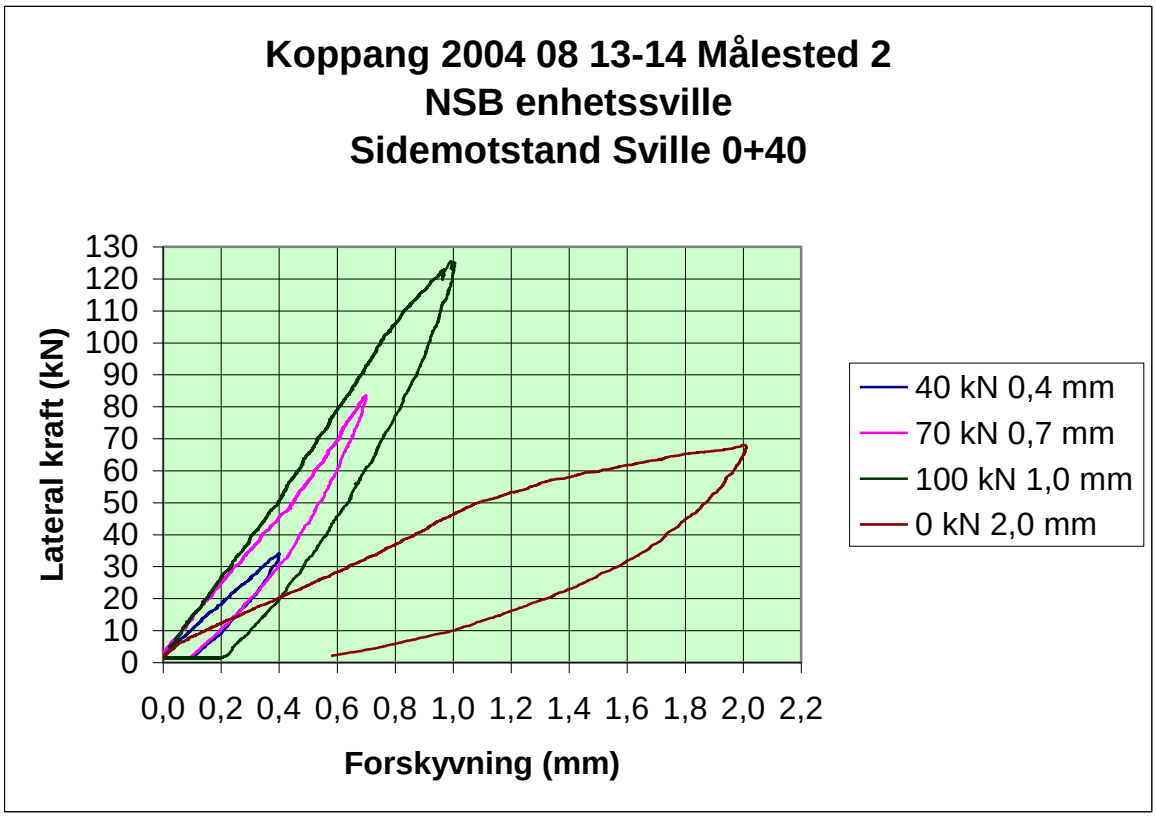
Måleresultatene for de 4 aksellasttrinnene på de 5 målesvillene i feltet med NSB enhetssville er analysert under ett og vist grafisk i figurene 15 til 19 med på- og avlastningskurver for lateral kraft som funksjon av sideforskyvning av målesvillen.



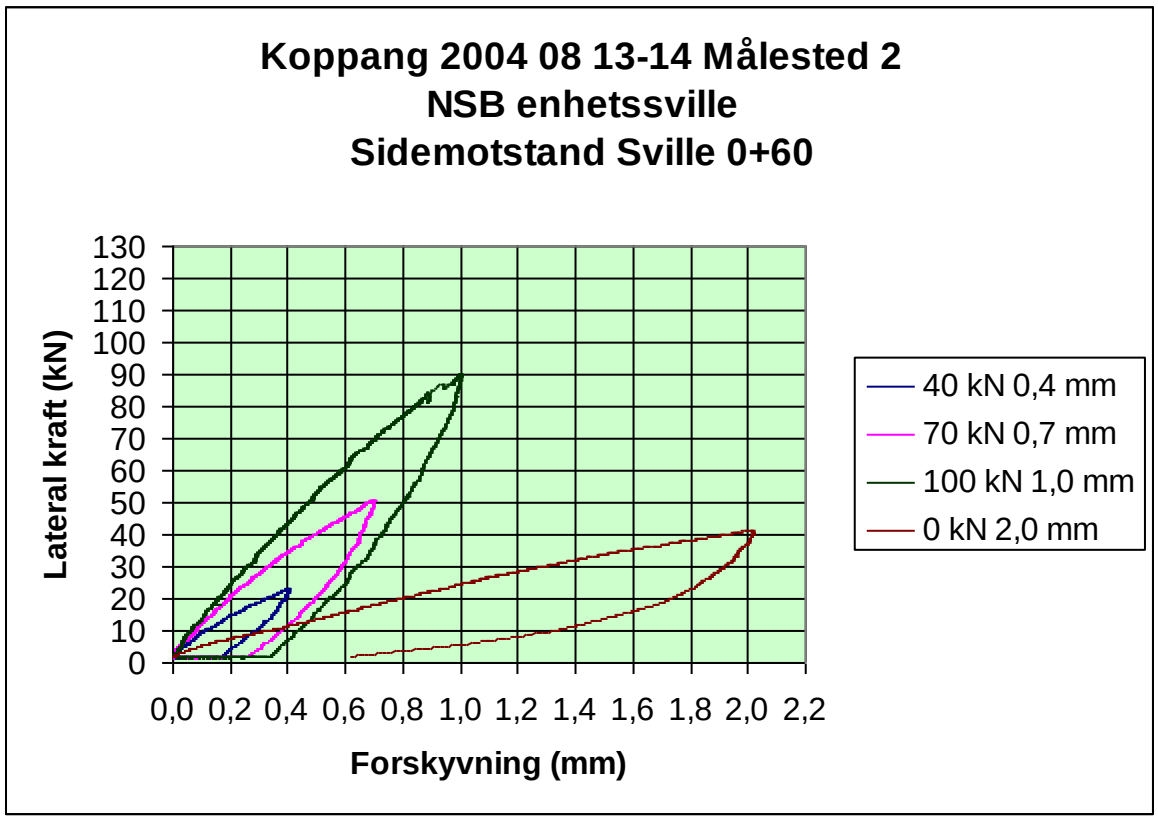
Figur 15 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for NSB enhetssville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0*



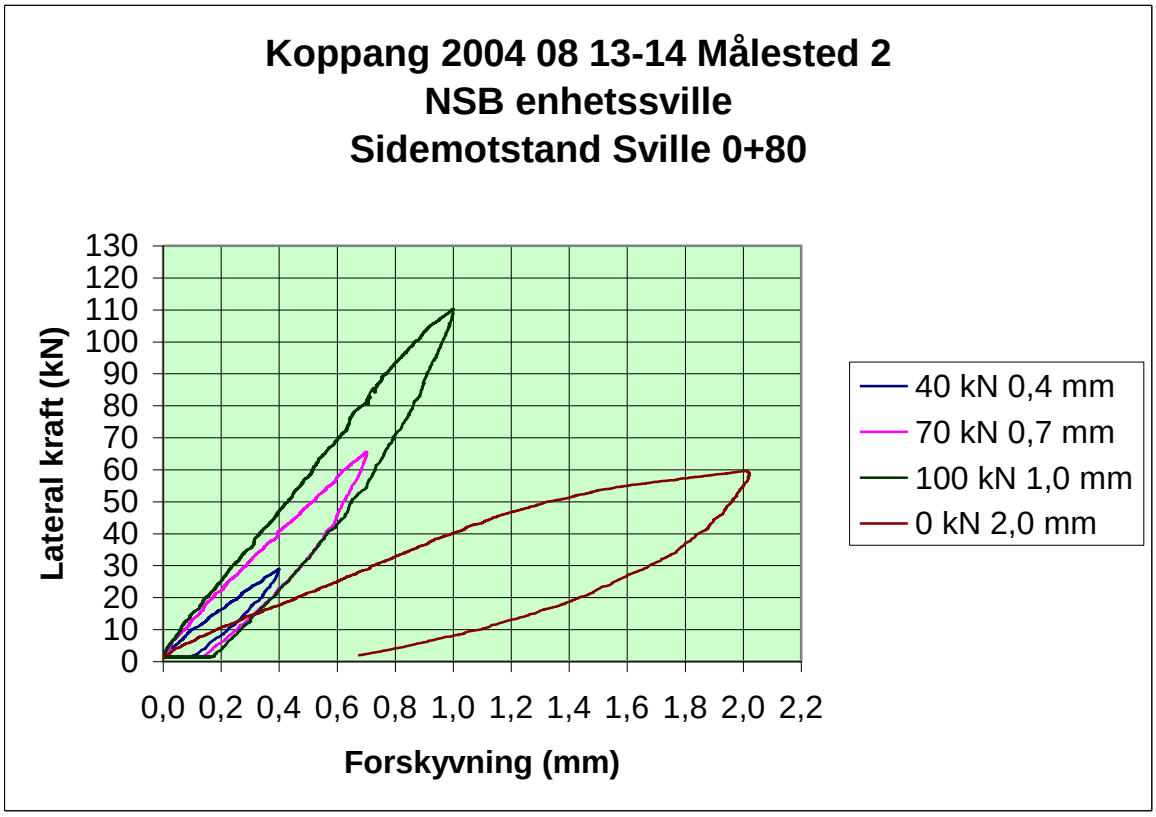
Figur 16 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for NSB enhetssville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+20*



Figur 17 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for NSB enhetssville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+40*



Figur 18 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for NSB enhetssville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+60*

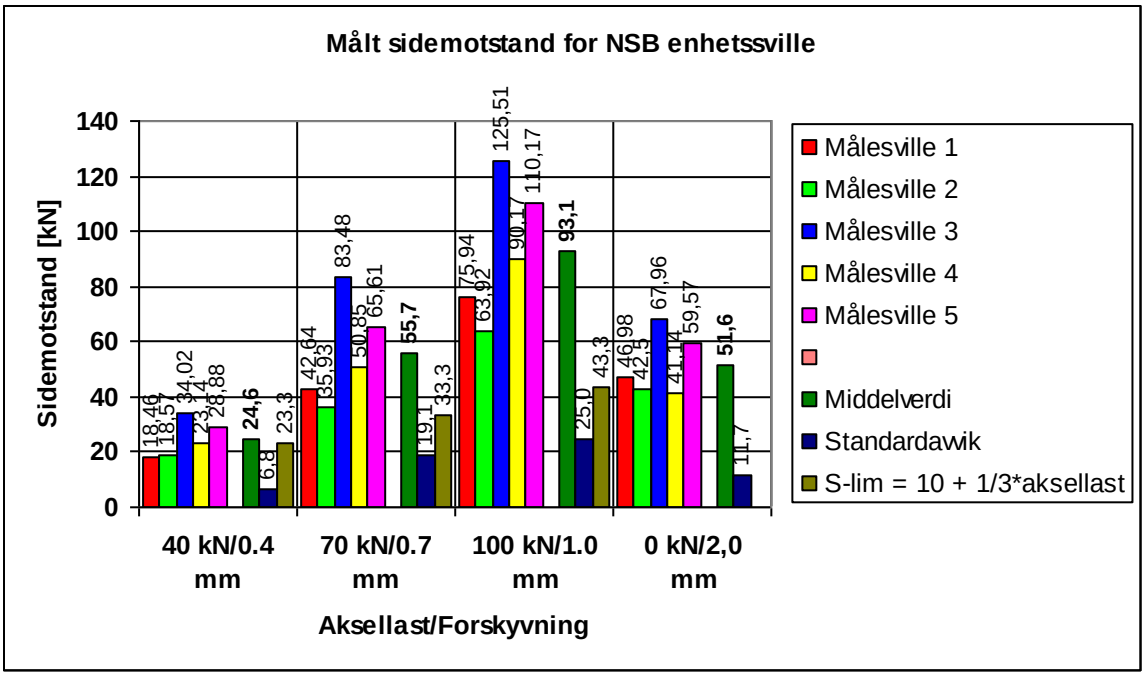


Figur 19 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for NSB enhetssville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+80*

I figur 20 er disse måleverdiene vist i tabellform sammen med middelverdier, standard avvik og S_{lim} -verdier etter ORE. Disse dataene er vist som stolpediagram i figur 21.

Dat 2004-08-13-14		Plats:	Koppang	Mätsträcka: 250+341
Luft/rältemperatur:	8,5 C- +7,3 C 12 C- +8 C	Spår:	S49-räl, Pandrol 341 på EVA 5 mm underlägg och NSB enhetssville	
	40 kN/0.4 mm	70 kN/0.7 mm	100 kN/1.0 mm	0 kN/2,0 mm
Mätpunkt 1	18,46	42,64	75,94	46,98
Mätpunkt 2	18,57	35,93	63,92	42,50
Mätpunkt 3	34,02	83,48	125,51	67,96
Mätpunkt 4	23,14	50,85	90,17	41,14
Mätpunkt 5	28,88	65,61	110,17	59,57
Medelvärde	24,6	55,7	93,1	51,6
Standardavvikelse	6,8	19,1	25,0	11,7
S-lim = 10+1/3*Axellast	23,3	33,3	43,3	

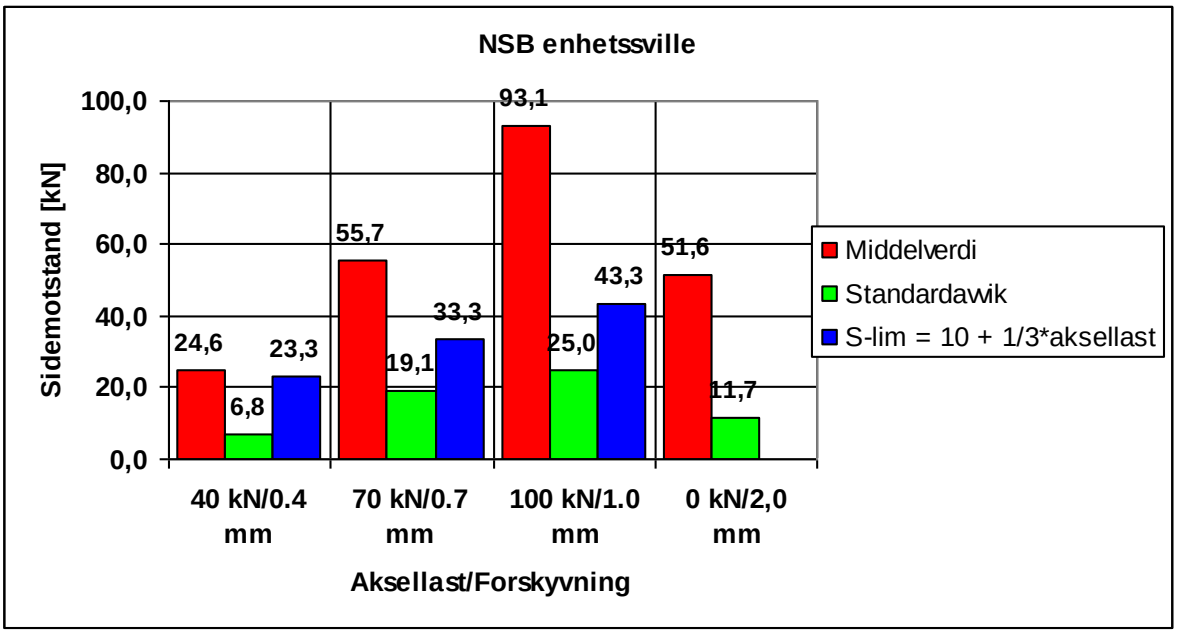
Figur 20 *Måleresultatene for NSB enhetssville.*



Figur 21 *Måleresultatene for NSB enhetssville vist med stolpediagram.*

Det er noe variasjon mellom resultatene for de enkelte NSB enhetssvillene. Målesviller 3 og 5 (Mätpunkt 3 og 5) viser en del høyere motstand enn de tre andre målepunktene. En årsak til dette kan være lokale forhold og en naturlig variasjon fra sville til sville.

I figur 22 vises stolpediagrammet middelverdier for forskyvningsmotstanden sammen med standardavvik og S_{lim} etter ORE samlet for de 5 målepunktene med NSB enhetssviller.

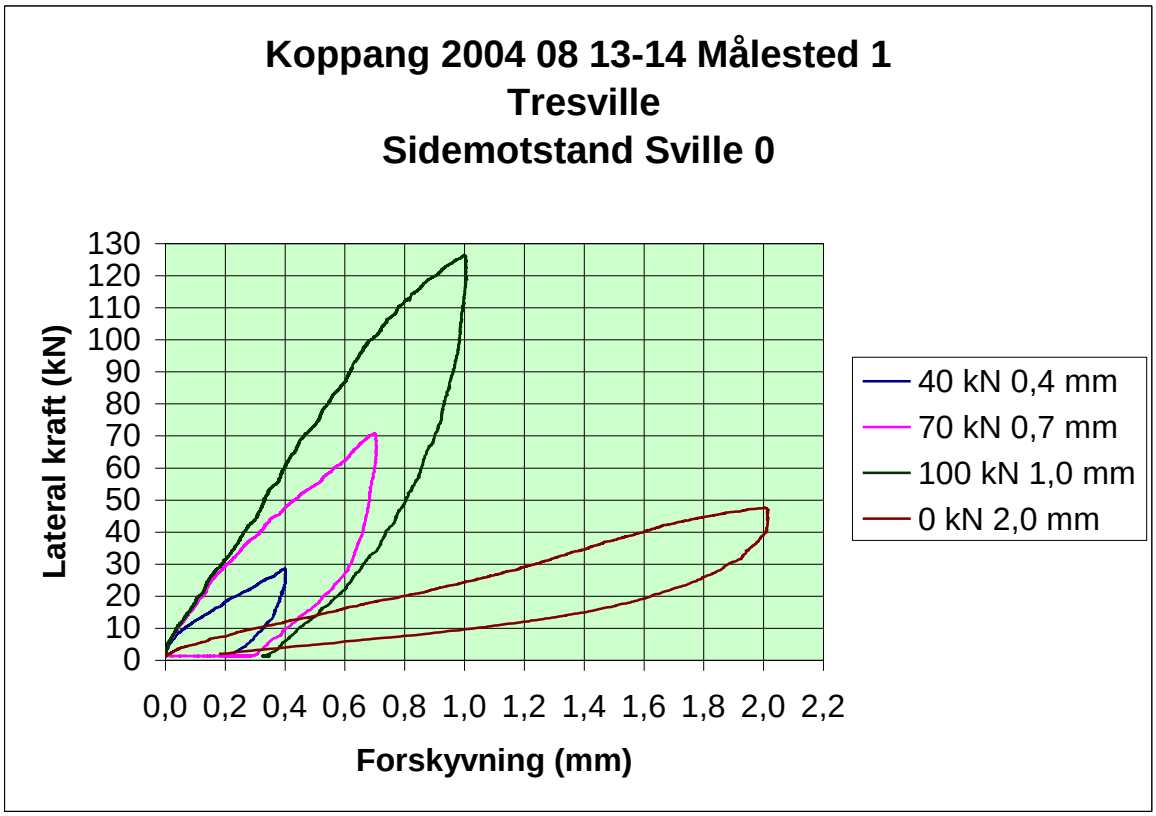


Figur 22 *Måleresultatene for NSB enhetssville vist med stolpediagram; middelverdi, standardavvik og S_{lim} for de 5 målesvillene sett under ett.*

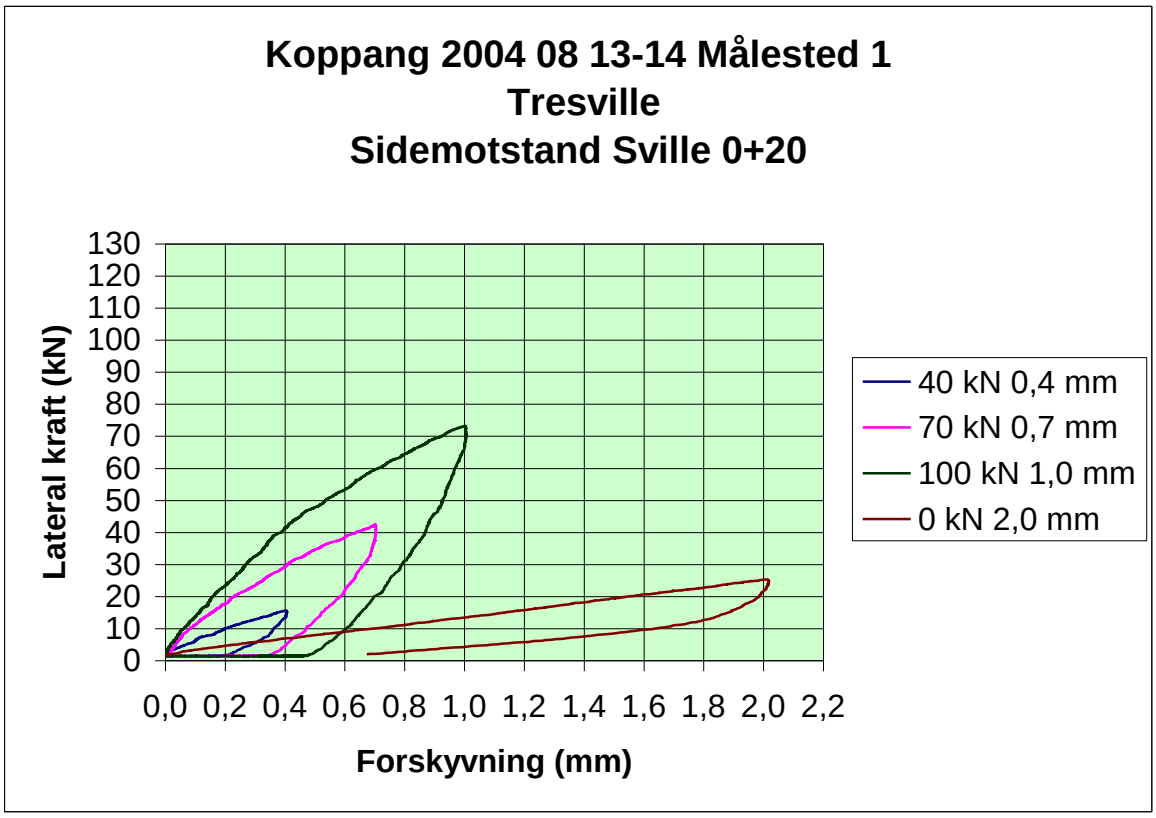
Variasjonen i standardavviket er betydelig større for NSB enhetssville enn JBV 97F. Gjennomsnittsverdien for standardavviket er 15,7.

6.3 Tresville

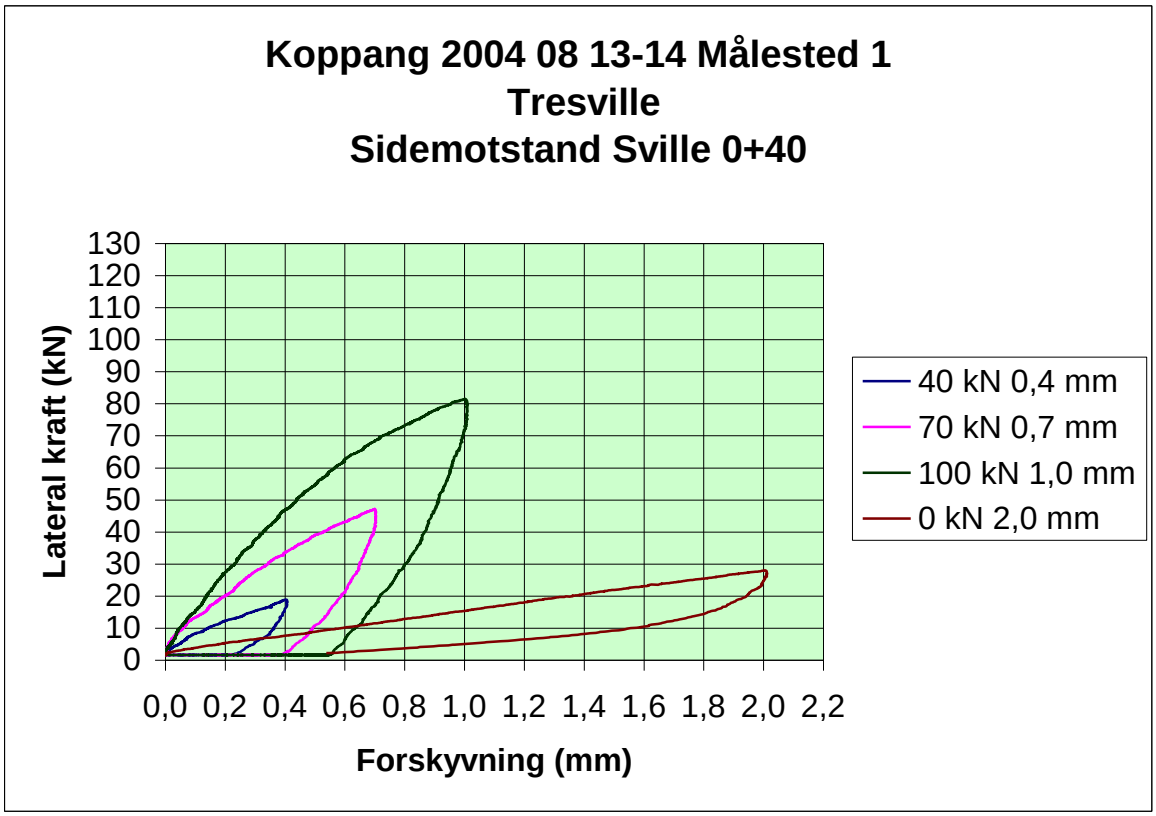
Måleresultatene for de 4 aksellasttrinnene på de 5 målesvillene i feltet med tresviller er analysert under ett og vist grafisk i figurene 23 til 27.



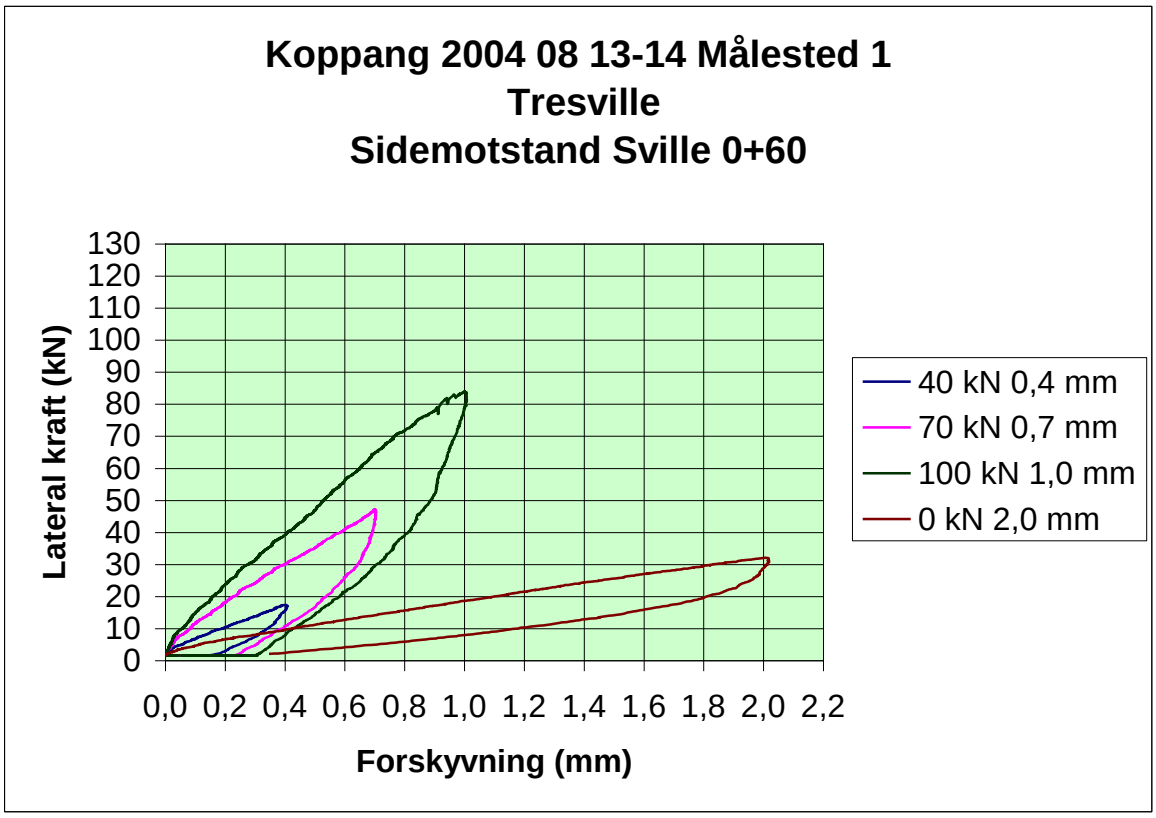
Figur 23 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for tresville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0*



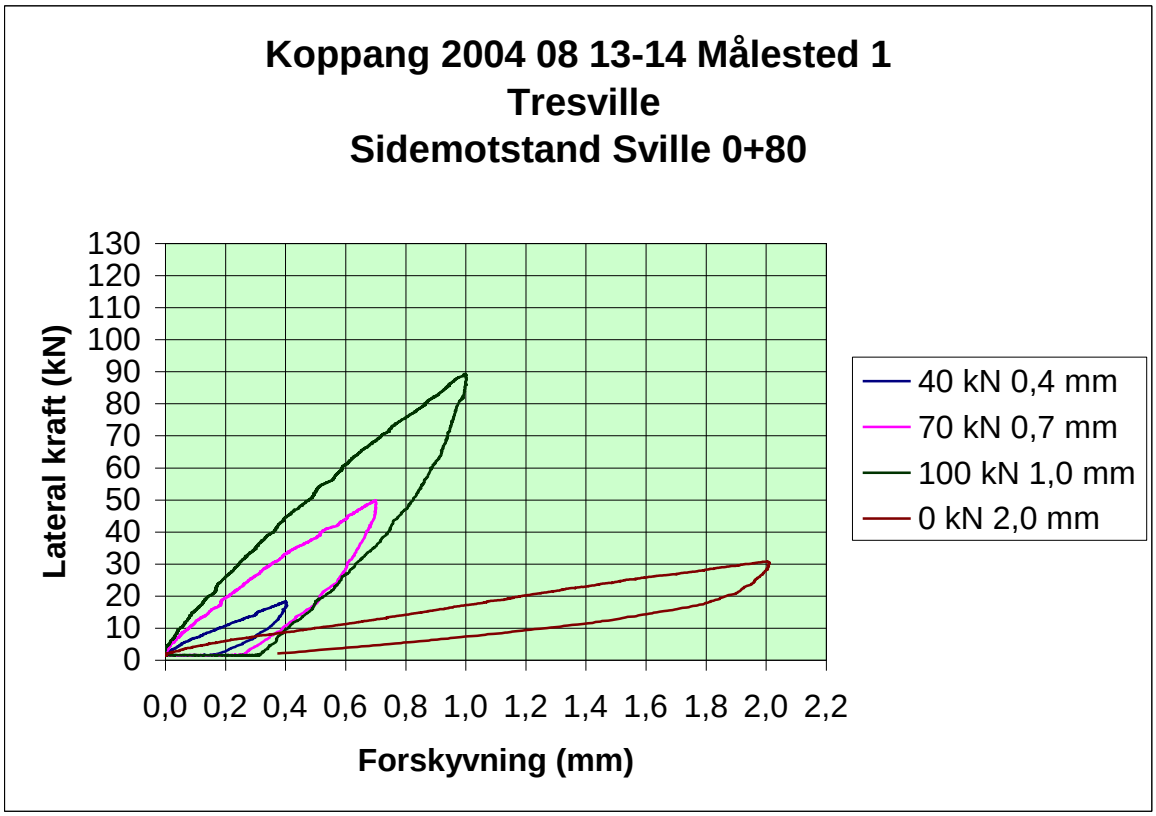
Figur 24 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for furusville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+20*



Figur 25 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for tresville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+40*



Figur 26 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for tresville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+60*

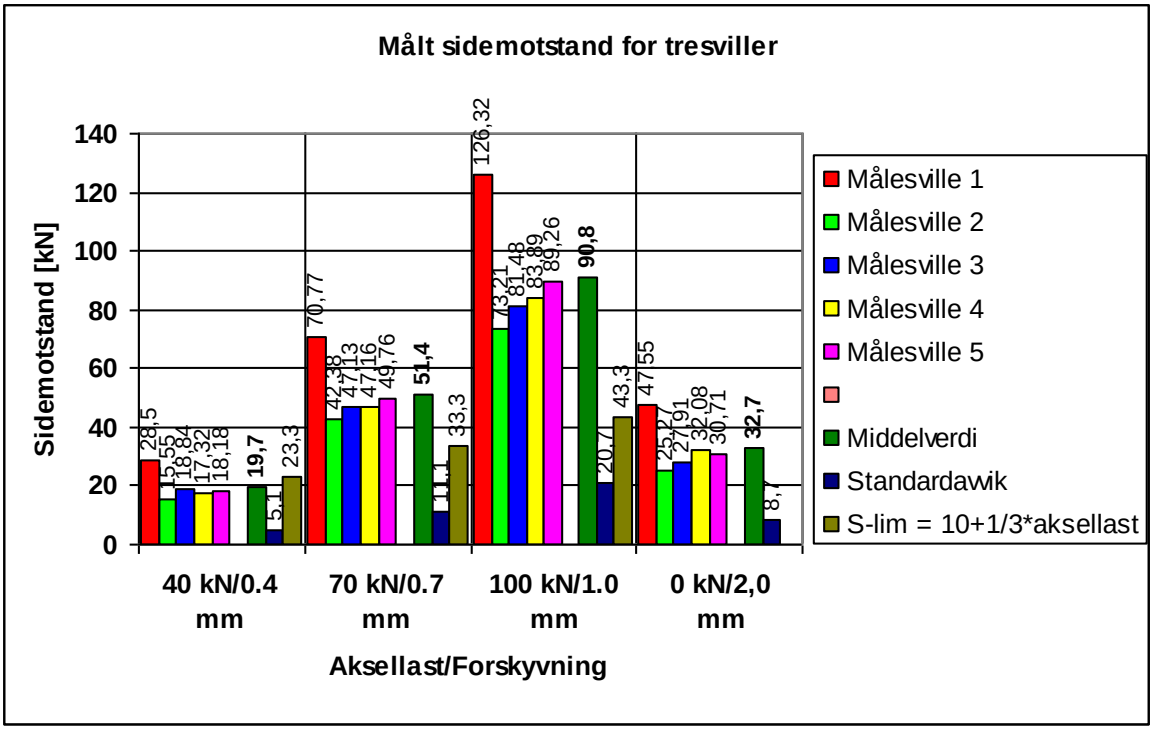


Figur 27 *Grafisk fremstilling av måleresultatet for tresville, - lateral kraft som funksjon av forskyvningen. Målesville 0+80*

I figurene 28 og 29 er måledata gitt i tabellform og vist i grafer for hver målesville.
Videre er det angitt middelverdier, standardavvik for hver svillegruppe og S_{lim} verdier.

Dat 2004-08-14		Plats:	Koppang	Mätsträcka: 250+575
Luft/rältemperatur:	5,9 C - +3,8 C 6,1 C- +4,8 C	Spår:	S49-räl, Heyback på furusliper	
	40 kN/0.4 mm	70 kN/0.7 mm	100 kN/1.0 mm	0 kN/2,0 mm
Mätpunkt 1	28,50	70,77	126,32	47,55
Mätpunkt 2	15,55	42,38	73,21	25,27
Mätpunkt 3	18,84	47,13	81,48	27,91
Mätpunkt 4	17,32	47,16	83,89	32,08
Mätpunkt 5	18,18	49,76	89,26	30,71
Medelvärde	19,7	51,4	90,8	32,7
Standardavvikelse	5,1	11,1	20,7	8,7
S-lim = 10+1/3*Axellast	23,3	33,3	43,3	

Figu r28 *Måleresultatene for tresville.*

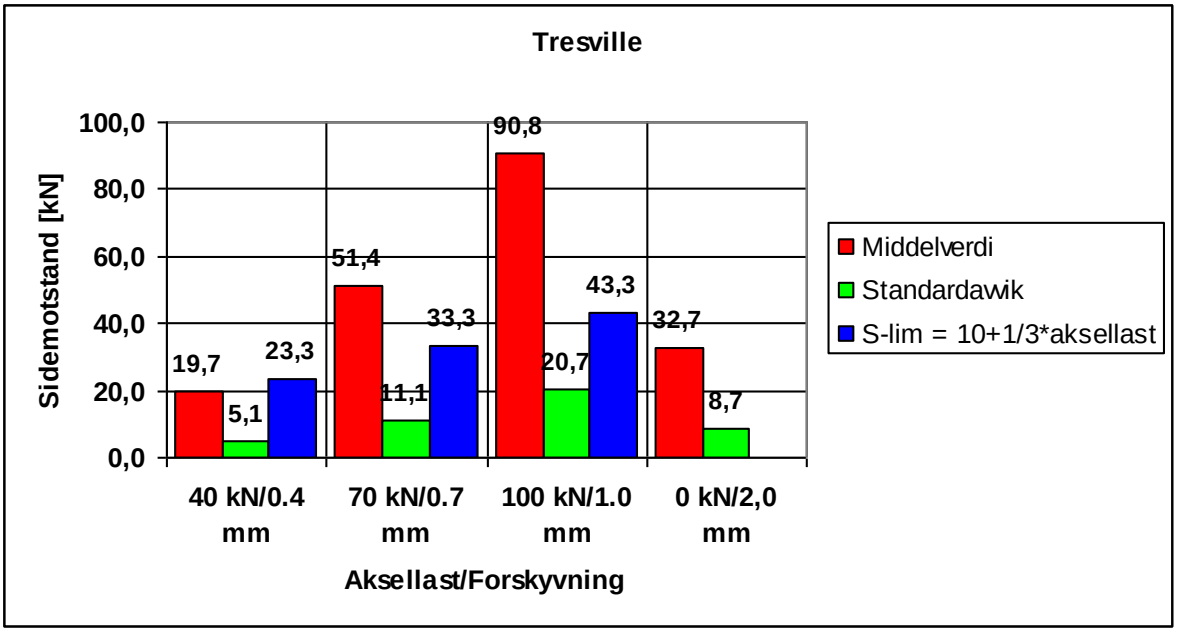


Figur 29 *Måleresultatene for tresville vist med stolpediagram.*

Målesville 1 (Mätpunkt 1) viser unormal stor sideforskyvningsmotstand ved alle de fire belastningsforsøkene, i forhold til de andre testede tresvillene. Det er vanskelig å si nøyaktig hva dette skyldes, men mulige årsaker kan ligge i lokale forhold eller i selve gjennomføringen av målingene på denne ene tresvillen. Det kan derfor være aktuelt å ta målesville 1 ut av det

statistiske beregningsgrunnlaget. Hvis målepunkt 1 blir fjernet, vil både middelverdi og standardavviket reduseres for resultatene til sporet med tresvillene.

Stolpediagrammet i figur 30 viser middelverdiene for målt sideforskyvningskraft, standardavvik og S_{lim} etter ORE samlet for de 5 målepunktene med tresviller.



Figur 30 *Måleresultatene for tresville vist med stolpediagram; middelverdi, standardavvik og S_{lim} for de 5 målesvillene sett under ett.*

Standardavviket varierer noe mer enn for JBV 97F og har en gjennomsnittsverdi på 11,4.

7 Avvik i bredde på ballastskulderen

Sidemotstanden til de tre sporkonstruksjonene med hhv. friksjonssville JBV 97F, NSB enhetssville og tresville skulle testes under like forhold. Når det gjelder skinneprofil, ballasttype, ballastkvalitet, sporgeometri, underbygning og vær og temperaturforhold, var de tilnærmet like for alle sporkonstruksjonene. Det viste seg imidlertid at bredden på ballastskulderen varierte.

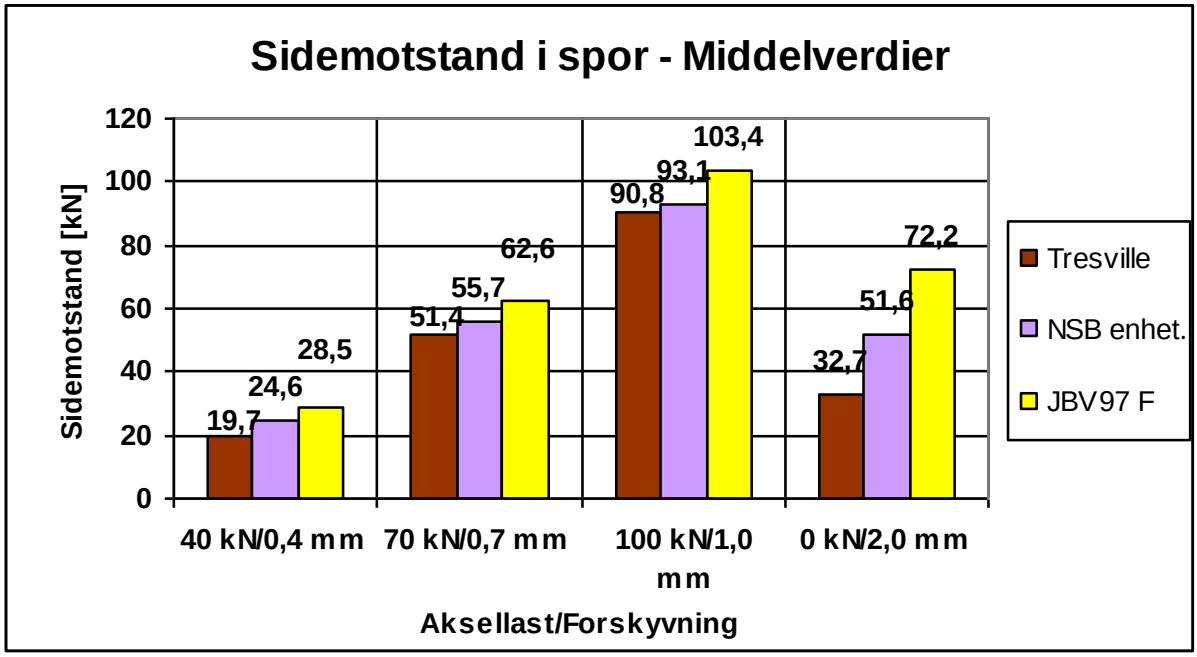
Etter JD 530, kap.10, avsnitt 2.4 skulle ballastskulderen ha en bredde på 55 cm med en overhøyde på 10 cm i dette tilfellet. I stedet lå bredden på ballastskulderen kun rundt 45 cm ved friksjonssvillene, mellom 90 cm og 100 cm ved NSB enhetssvillene og i overkant av 60 cm ved tresvillene. Ved de to siste prøvepunktene for friksjonssvillen som lå mot partiet med tresviller, målesvillene 6 og 7, var ballastbredden som for tresvillene, dvs. i overkant av 60 cm. Overhøyde med pukk på ballastskulderen fantes ikke på noen av prøvestedene.

Hvor mye de ulike breddene på ballastskuldrene har å si for sideforskyvningsmotstanden for de tre testede sporkonstruksjonene, er vanskelig å anslå direkte. Det er imidlertid sikkert at friksjonssvillen JBV 97F ville fått bedre resultater, mens NSB enhetssvillen og tresvillen ville kommet ut med lavere måleverdier dersom ballastskulderen hadde vært utformet etter teknisk regelverk. Et grovt anslag tilsier at differansen mellom måleresultatene for JBV 97F og de to andre svilletypene antagelig ville økt med 5 – 10 % hvis bredden på ballastskulderen hadde vært lik. Dette kan imidlertid kontrolleres nærmere ved hjelp av geotekniske beregninger.

Det må allikevel understrekes at selv om bredden på ballastskulderen var mindre for JBV 97F enn for NSB enhetssvillene og tresvillene, viste målingene at friksjonssvillene gav høyere sideforskyvningsmotstand enn de to andre svilletypene.

8 Sammenligning av måleresultatene for de tre sporkonstruksjonene

I figur 31 er middelverdiene for sidemotstanden til de tre sporkonstruksjonene vist for de fire belastningstilfellene. Friksjonssvillen JBV 97F gir sporet i alle lasttilfellene størst sidemotstand. Deretter følger sporet med NSB enhetssville, og lavest verdier har tresvillesporet.



Figur 31 *Middelverdi for sideforskyvningsmotstanden i de fire lasttilfellene.*

Ved økende aksellast avtar den prosentvise forskjellen i sidemotstanden mellom friksjonssvillen JBV 97F og de andre to svilletypene, selv om forskjellen i den reelle tallverdien øker. Når aksellasten vokser fra 40 kN til 100 kN, reduseres den prosentvise forskjellen mellom friksjonssvillen og NSB enhetssvillen fra 16 % til 11 %. Tilsvarende reduksjon i forholdet til tresvillen er fra 45 % til 14 %.

I det ubelastede sporet (aksellast 0 kN) hvor forskyvningen er 2,0 mm, ligger sidemotstanden for sporet med friksjonssviller 40 % høyere enn for sporet med NSB enhetssville og hele 121 % høyere enn tresvillesporet. Dette er en vesentlig økning med tanke på sideforskyvningsmotstanden og den generelle sidestabiliteten i et jernbanespor.

Hvis vi også tar i betraktning at ballastskulderen skulle vært bredere for friksjonssvillen og smalere for NSB enhetssvillen og tresvillen, må vi kunne forvente at sidemotstanden i sporet med JBV 97F hadde ligget enda noen prosent høyere i forhold til sporet med de to andre svilletypene.

Sammenligner vi standardavvikene for sidemotstanden for sporkonstruksjonene med de tre svilletypene i figurene 14, 22 og 30, ser vi at standardavviket for friksjonssvillen varierer betydelig mindre for de fire belastningstilfellene, enn hva som er tilfelle for NSB enhetssvillen og tresvillen. I tillegg er gjennomsnittsverdien for standardavvikene til JBV 97F lavere. Den gjennomsnittelige verdien for standardavvikene til JBV 97F, NSB enhetssvillen og tresvillen er

hhv. 9,2; 15,7 og 11,4. Dette viser at friksjonssvillen gir et jevnere og mer stabilt feste for sporet i ballasten, enn to av de svilletypene som Jernbaneverket benytter i dag.

9 Videre arbeide

I og med at bredden på ballastskulderen ikke var lik for de 3 svilletypene under feltforsøket ved Koppang, er det i første omgang behov for å se nærmere på hvilken innvirkning de ulike breddene på ballastskulderen har for måleresultatene. Deretter bør man ved hjelp av FEM-analyse (Finite Element Model) og resultatene fra målingene på Rørosbanen, forsøke å beregne den forventede økte sidemotstanden i et spor ved innlegging av friksjonssviller. Dette vil redusere faren for utknekking og øke mulighetene for å helsveise spor i mindre kurveradier enn hva som er tillatt i dag.

Selv om resultatene etter testing av friksjonssvillen JBV 97F ute i en kurve med radius 250 m er svært gode m.t.p. sideforskyvningsmotstanden, må man ta i betraktning at antall målinger er begrenset. Det vil derfor kunne være nødvendig med noen flere feltforsøk bl.a. på rettlinje og i kurver, for å få et bredere grunnlag til å ta beslutninger om friksjonssvillens kvaliteter og praktiske brukbarhet. Innvirkning av skinnetemperatur og ballastens konsolideringsgrad på sideforskyvningsmotstanden til friksjonssvillen, og utvikling av sidemotstanden over flere år mht. slitasje på svillens underside, er bl.a. temaer som bør belyses nærmere.