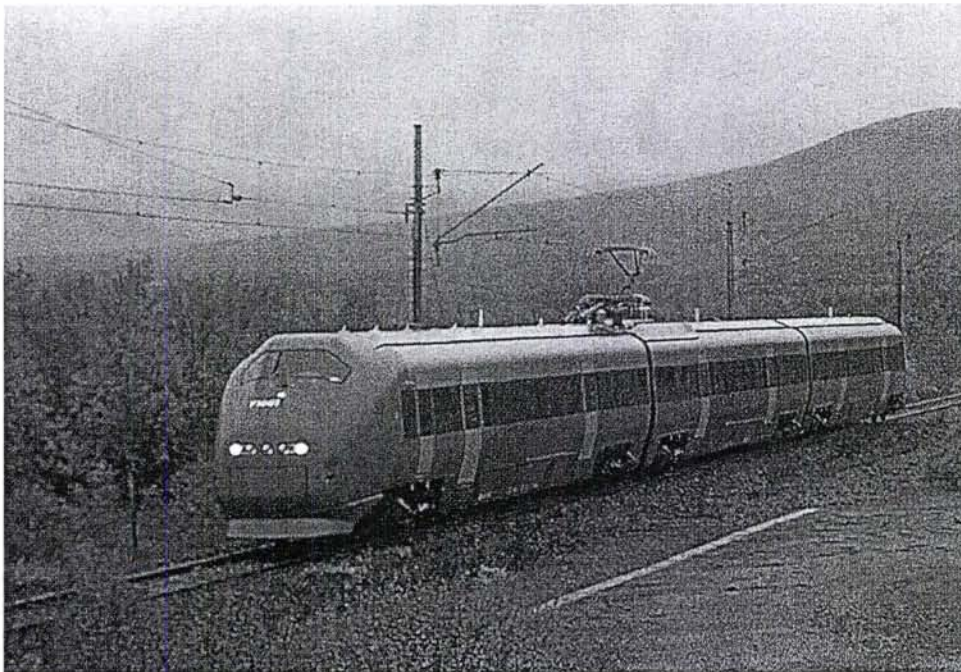


## **SIMULERING AV SAMARBEID MELLOM STRØMAVTAKER OG KONTAKTLEDNING.**



Oktober 99

Jernbaneverket  
Biblioteket

# Rapport



Jernbaneverket  
Ingeniørtjenesten

Prosjektnr.: **198095**  
Saksref.: **98/4329 JI 763**  
Prosjektnavn: **Samarbeid mellom kontaktledning og strømavtaker - simulering.**  
Oppdragsgiver: **Jernbaneverket Hovedkontoret**  
Rapport nr.: **1**

## Sammendrag

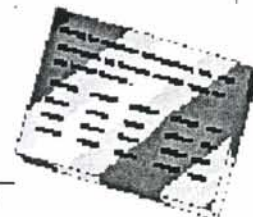
Denne utredningen ble utarbeidet etter initiativ fra Region Nord og Hovedkontoret. Styringen av prosjektet ble lagt til en arbeidsgruppe under Faglig forum for kontaktledning og banestrømforsyning.

Interessen for temaet, simulering av samarbeidet mellom strømavtaker og kontaktledning, har blant annet bakgrunn i at det skal kjøres krengetog på eldre kontaktledningsanlegg. Dette innebærer for eksempel at det er ønskelig å øke tillatt toghastighet på deler av jernbanenettet, om mulig til 160 km/t for en del traséavsnitt. Krengetogene er dessuten bygget som sett, noe som innebærer at det vil være nødvendig å koble sammen flere sett for å kunne øke transportkapasiteten pr. avgang. Sammenkobling fører til kjøring med to strømavtakere da settene ikke kan kobles sammen elektrisk. Konsekvensene ved innføring av kjøring med hastighet utover dimensjonerende toghastighet for kontaktledningsanlegget og med flere strømavtakere var usikker. Blant usikkerhetsmomentene som opptrer ved slik drift er hvilke økede dynamiske belastninger som opptrer og dermed hvilke hastigheter som kan tillates.

Det ble valgt å foreta simulering for kontaktledningssystemene "Tabell 54 med standardforbedring etter Skaugstadmetoden" og "System 35". Disse systemene representerer mye av de eldre kontaktledningsanleggene som finnes ute i det norske jernbanenettet. Førstnevnte er mest utbredt i Region Nord på Dovrebanen, mens det andre benyttes over hele landet.

Simuleringene ble foretatt hos Adtranz. Nødvendige inndata ble hentet fra 3 utvalgte prøvestrekninger og supplert med systemverdier der den eksisterende dokumentasjonen for anleggene ikke var tilgjengelig eller tilstrekkelig nøyaktig. Data for strømavtaker ble innhentet hos leverandør. Opplysningen ble lagt inn i simuleringens matematiske modeller. Det ble foretatt til sammen 22 simuleringer. Disse omfattet kjøring med både en og to strømavtakere. Toghastigheten varierte mellom 90 km/t og 160 km/t tilpasset etter prøvestrekningene og hvilke resultater som kom fram fra de første simuleringene.

Simuleringsresultatene ble vurdert med hensyn til kontaktkrefter mellom strømavtaker og kontaktledning, og løft i kontakttråden. Grenseverdien for tillatelige kontaktkrefter, det vil si at strømavtakeren ikke utsetter kontaktledning eller strømavtaker for uakseptable påkjenninger, er satt til  $150 \text{ N} \geq \text{kraft} \geq 20 \text{ N}$ . Maksimalt tillatt løft i kontakttråd i utligger er satt til 11 cm. Løft av kontakttråd er mest kritisk i utligger fordi dersom løftet blir for stort kan strømavtaker slå bort i utliggerørerne og skades. Skade på strømavtakerens slepekull kan føre til følgeskader på kontaktledningsanlegget, blant annet forårsake nedringing.





Kontaktkrefter mellom strømvaktaker og kontaktledning, og løft i kontakttråden er avhengig av toghastigheten. Disse parametrene er derfor avgjørende for hvilken toghastighet som kan tillates kjørt på elektrifiserte traséer. Basert på de simuleringsresultater for prøvestrekningene kunne følgende konklusjoner trekkes: Løft i kontakttråd i utligger representert hastighetsbegrensning kun for System 35, rettlinjert trasé. Kontaktkrefter representerer hastighetsbegrensning for alle simulerte systemer.

Maksimal tillatelig toghastighet for prøvestrekningene i helhet ble satt til:

- 90 km/t med to strømvaktaker for System 35 MS kurverik trasé
- Uavklart, men under 130 km/t med to strømvaktaker for System 35 rettlinjert trasé
- Uavklart, men under 160 km/t med en strømvaktaker for System 35 rettlinjert trasé
- 120 km/t med to strømvaktaker for Tabell 54 (dynamisk standardforbedret etter Skaugstad-metoden) med nedheng.
- 140 km/t med en strømvaktaker for Tabell 54 (dynamisk standardforbedret etter Skaugstad-metoden) med nedheng.
- Uavklart, men under 110 km/t med to strømvaktaker for Tabell 54 (dynamisk standardforbedret etter Skaugstad-metoden) med oppstrekk.
- 140 km/t med en strømvaktaker for Tabell 54 (dynamisk standardforbedret etter Skaugstad-metoden) med oppstrekk.

Mer detaljer om konklusjonene angående tillatelig toghastighet se kapittel 5 og 8. Vurderingene bak konklusjonene er beskrevet i kapittel 4.

Nøyaktigheten på simuleringsresultatene regnes som god. Men matematiske modeller kan ikke gjengi faktiske forhold i detalj, blant annet med hensyn til lokale avvik grunnet slitasje på anlegg, vindforhold osv. Simuleringsresultatene må derfor verifiseres med målevognkjøring på prøvestrekningene.

For JBV Ingeniørtjenesten  
Prosjektansvarlig (PA): Kolbjørn Lofthus

Signatur: 

Prosjektleder (PL): Marianne Nyebak

Signatur: 

Rapport utarbeidet av: Marianne Nyebak

Signatur: 

## INNHold

INNHold .....	1
<b>1. INNLEDNING.....</b>	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN.....	1
1.2 MÅLSETNING.....	1
<b>2. INNDATA.....</b>	<b>2</b>
2.1 NØDVENDIG INNDATA .....	2
2.2 UTVELGELSE AV INNDATA.....	2
2.3 NØYAKTIGHET PÅ INNDATA.....	3
2.4 MÅLINGER.....	3
<b>3. SIMULERINGSPROGRAM .....</b>	<b>4</b>
3.1 BESKRIVELSE AV SIMULERINGSPROGRAM .....	4
3.2 VALG AV TOGHASTIGHET .....	4
3.3 SIMULERINGSPROSESS.....	4
3.4 FORETATTE SIMULERINGER .....	5
3.5 SIMULERINGSRESULTAT .....	6
3.6 SIMULERINGENS NØYAKTIGHET .....	6
<b>4. DISKUSJON AV SIMULERINGSRESULTATENE .....</b>	<b>7</b>
4.1 SYSTEM 35 MS, KURVERIK. ....	7
4.1.1 Løft i kontakttråd.....	7
4.1.2 Kontaktkrefter .....	10
4.2 SYSTEM 35, RETT LINJE. ....	13
4.2.1 Løft i kontakttråd.....	13
4.2.2 Kontaktkrefter .....	18
4.3 TABELL 54 MED 4 CM NEDHENG.....	23
4.3.1 Løft i kontakttråd.....	23
4.3.2 Kontaktkrefter .....	29
4.4 TABELL 54 MED 4 CM OPPSTREKK.....	34
4.4.1 Løft i kontakttråd.....	34
4.4.2 Kontaktkrefter .....	40
<b>5. KONKLUSJON .....</b>	<b>46</b>
5.1 SYSTEM 35 MS, KURVERIK .....	46
5.2 SYSTEM 35, RETTLINJE.....	46
5.3 TABELL 54, NEDHENG .....	47
5.4 TABELL 54, OPPSTREKK .....	48
<b>6. VIDERE ARBEID .....</b>	<b>49</b>
<b>7. REFERANSER .....</b>	<b>50</b>
<b>8. VEDLEGG.....</b>	<b>I</b>
8.1 OPPSUMMERING SIMULERINGSRESULTAT.....	I
8.1.1 Kurverik "System 35 MS".....	II
8.1.2 Rettlinje "System 35".....	III
8.1.3 Rettlinje/kurverik "Tabell 54" standardforbedret etter Skaugstad-metoden, 4 cm nedheng midt i spenn. ....	VI
8.1.4 Rettlinje/kurverik "Tabell 54" standardforbedret etter Skaugstad-metoden, 4 cm oppstrekk midt i spenn. ....	VIII
8.2 TILLATELIG TOGHASTIGHET FOR VANLIGE TOG OG KRENGETOG. ....	X
8.3 KORT BESKRIVELSE AV KONTAKTLEDNINGSSYSTEMENE SOM ER SIMULERT. ....	XI
8.4 EKSEMPEL PÅ SIMULERINGS-DOKUMENTASJON. ....	XV



## 1. INNLEDNING

### 1.1 Bakgrunn

Arbeidet med å få til denne rapporten startet opprinnelig hos Region Nord i 1998. Simulering av samarbeidet mellom strømvaktaker og kontaktledning var også et tema som opptok Hovedkontoret. Den grunnleggende problemstillingen for utredningen gjelder hele landet. Det ble derfor besluttet å slå sammen avsatte ressurser og opprette et sentralt styrt prosjekt. Styringen av prosjektet ble lagt til en arbeidsgruppe nedsatt av Faglig forum for kontaktledning og banestrømforsyning. Sommeren 1998 gruppen utvidet ved at det ble det engasjert en person fra Jernbaneverket Ingeniørtjenesten for å undersøke muligheten for å få utført simulering, tilrettelegge nødvendig inndata og stå for skrivingen av utredningsrapporten. Resten av arbeidsgruppen fungerte som diskusjons- / ideforum, kilde til relevant underlagsmateriale og kvalitetssikring under arbeidet. I arbeidet med å kartlegge nødvendige inndata for simuleringene fikk prosjektet dessuten verdifull hjelp fra det personalet som kjenner prøvestrekningene best. Den grad av nøyaktighet som ble oppnådd på inndataene skyldes i stor grad deres velvillige bistand.

Interessen for temaet, simulering av samarbeidet mellom strømvaktaker og kontaktledning, har blant annet bakgrunn i at det skal kjøres krengetog på eldre kontaktledningsanlegg. Dette innebærer for eksempel at det er ønskelig å øke tillatt toghastighet på deler av jernbanenettet, om mulig til 160 km/t for en del traséavsnitt. Mye av kontaktledningsanleggene er av eldre årgang, i varierende forfatning og beregnet for lavere hastigheter enn det er ønskelig å benytte for krengetogkjøring. Konsekvensene av kjøring med hastighet utover dimensjonerende toghastighet var derfor usikker. Krengetogene er dessuten bygget som sett, noe som innebærer det vil være nødvendig å koble sammen flere sett for å kunne øke transportkapasiteten pr. avgang. Sammenkobling fører til kjøring med to strømvaktaker da settene ikke kan kobles sammen elektrisk. Blant usikkerhetsmomentene som opptrer ved slik drift er hvilke økede dynamiske belastninger som opptrer og dermed hvilke hastigheter som kan tillates.

Simuleringene ble bestemt foretatt for kontaktledningssystemene "Tabell 54 med standardforbedring etter Skaugstadmetoden" og "System 35". Disse systemene representerer mye av de eldre kontaktledningsanleggene som finnes ute i det norske jernbanenettet. Førstnevnte er mest utbredt i Region Nord på Dovrebanen, mens det andre benyttes over hele landet.

Følgende personer har vært med i arbeidsgruppen: Thor Egil Thoresen (leder), Teknisk myndighet Hovedkontoret; Johan A. Wikander, Teknisk kontor Region Nord; Ole Løken, Teknisk kontor Region Øst; Terje Bagås, Teknisk Sektor Materielle teknologi NSB BA; Thorleif Pedersen, Teknisk myndighet Hovedkontoret; og Marianne Nyebak, Ingeniørtjenesten.

### 1.2 Målsetning

Rapportens målsetning er å presentere hvilke resultater simuleringene ga med hensyn til kontaktkrefter og løft i kontakttråden. Videre å framlegge de konklusjoner og sammenhenger som kan trekkes fra resultatene.

## 2. INNDATA

### 2.1 Nødvendig inndata

Nødvendig inndata er definert av Jernbaneverkets krav og av hvilke opplysninger som er påkrevd for å få simuleringsprogrammet til å virke.

Inndataene består av parametre for strømvaktaker, kontaktledning og utliggerer. Parametrene definerer i hovedsak vekt, krefter og avstander.

### 2.2 Utvelgelse av inndata.

Det ble bestemt å simulere til sammen fire prøvestrekninger bestående av to ledninger hver. Utvalget bestod av henholdsvis rett linje og kurverik trasé for "System 35" og "Tabell 54". Det ble videre besluttet at inndataene skulle skrive seg fra eksisterende anlegg og ikke direkte fra systemtabellene. Arbeidsgruppen hadde ansvaret for å velge ut passende strekninger og framskaffe dokumentasjon på disse anleggene.

Ved utvelgelsen av prøvestrekninger ble det valgt tre strekninger i Region Nord og en strekning i Region Sør.

Nr.	Sted	Km	Ledningsnr.	Lengde	System type	Trase
1	Støren - Hovin	505,396 – 507,307	167 & 168	2.092 m	System 35 med Y-line (Anlegget er ombygd fra Tabell 54 uten å skifte utliggerer & hengetråder)	Rett linje
2	Kongsberg - Nordagutu	114,062 - 116,419	12 & 13	2.534 m	System 35 MS	Kurverik
3	Losna - Fåvang	227,580 – 230,200	83 & 84	2.800 m	Tabell 54 m/ dynamisk standardforbedring etter Skaugstad-metoden	Rett linje
4	Melhus - Søberg	529,261 - 530,883	188 & 189	1.802 m	Tabell 54 m/ dynamisk standardforbedring etter Skaugstad-metoden og System 35 med Y-line	Kurverik



## 2.3 Nøyaktighet på inndata.

Inndata for strømvaktakeren ble framskaffet fra leverandøren. Dataene var ikke for WBL88, men for WBL85 med leverandørens forsikring om at forskjellen var minimal og derfor tilstrekkelig nøyaktig.

Inndata for kontaktledningsanlegget ble hentet fra løfteskjema, maste-, utligger- og hengetrådtabeller for de respektive strekninger. Denne informasjonen ble også supplert av systemtabeller og målinger av hengetrådlengder. Nøyaktigheten på underlagsmaterialet var av svært varierende kvalitet. Det bestod delvis av opprinnelige tabeller fra anleggenes bygging og delvis av reviderte eller nyere tabeller. Felles for det meste av underlaget var at det var mangelfullt datert. Tabellenes innhold varierte også en del. Der det ikke var tilstrekkelige data ble disse hentet fra systemtabellene dersom det var mulig.

Nøyaktige opplysninger om nedheng på "Tabell 54" med dynamisk standardforbedring etter "Skaugstad-metoden" er ikke tilgjengelig. Det ble derfor besluttet å benytte 4 cm nedheng ved midterste hengetråd i simuleringsøyemed. Dette nedhenget er basert på erfaringstall og forventet effekt ved standardforbedringen.

Det ble ved målinger i 1998 bekreftet at denne typen anlegg på Dovrebanen ikke har det forventede nedhenget. Det har derimot oppstrekk [1]. Oppstrekket kan ikke karakteriseres ved å være jevnt fordelt over ledningene eller symmetrisk om et spenns midtpunkt. Da det ikke ble funnet noe klart mønster i oppstrekket, ble en gjennomsnittsverdi på 4 cm oppstrekk ved midterste hengetråd valgt for simuleringsformål. Det ble derfor utført to simuleringsserier med henholdsvis nedheng og oppstrekk for "Tabell 54".

Prøvestrekning 1 og 3 er bygget om fra standard "Tabell 54". Det ble ikke byttet hengetråder eller utligger ved ombygningene. Det er foretatt mindre justeringer av hengetrådplasseringen horisontalt [2]. Disse er trolig ikke kommet med i underlagsmaterialet. Dette antas ikke å medføre så store unøyaktigheter at simuleringsresultatene forringes i vesentlig grad.

Målinger har vist at kontaktråden på Dovrebanen er slitt 4 - 5% [2]. I simuleringen er det lagt inn 5% slitasje for prøvestrekningene på Dovrebanen, mens det for prøvestrekningen i Region Sør er beholdt kontaktrådvect uten slitasje da denne er av nyere dato.

## 2.4 Målinger

Det ble avdekket at dokumentasjonen på hengetrådenes lengde ikke var tilstrekkelig for prøvestrekningene i Region Nord. Det ble derfor besluttet å få disse målt for å kunne gi et så riktig bilde som mulig av kontaktledningen.

### 3. SIMULERINGSPROGRAM

#### 3.1 Beskrivelse av simuleringsprogram

Simuleringsprogrammet [3] er basert på matematiske modeller som beskriver kontaktledningens og strømvaktakerens dynamikk.

En passerende strømvaktaker forårsaker transversale mekaniske bølger i kontaktledningen. Bølgene forplanter seg både foran og etter strømvaktakeren. For å beskrive bølgebevegelsen benyttes en enkel "vibrerende pianotråd"-modell. Kontakttråd, bæreline og Y-line beskrives som pianotråd med strekk. Tilhørende sett av differensialligninger løses (integreres) for de punkter der hengertråder, Y-line og lette direksjonsstag kommer i kontakt med de langsgående linene. Kontakttrådens løft bestemmes ved superposisjon av alle de transversale bølgene. Modellen er tilstrekkelig nøyaktig så lenge toghastigheten ikke nærmer seg bølgehastigheten. Toghastigheten for de foretatte simuleringer ligger godt innenfor denne begrensingen. Ved høyhastighetsbaner, med de kontaktledningssystemer som er i bruk i dag, er toghastigheten ca. 70% av bølgehastigheten.

Det er like viktig å beskrive strømvaktakerens dynamikk nøyaktig. Den blir derfor beskrevet som en egen modell med tilhørende ligninger. Modellen består av atskilte masser forbundet av fjærer og dempere. Strømvaktakerer med elastisk øvre ramme og individuelt opphengte slepekull medfører bevegelsesligninger med åtte frihetsgrader. Strømvaktakerens aerodynamiske egenskaper tas det hensyn til ved å benytte tilleggskrefter på massene. Det er også mulig å benytte en modell med stive slepekull som gir et ligningssett med seks frihetsgrader. Ved bruk av denne må det tas hensyn til ulineære forhold og roterende bevegelser.

#### 3.2 Valg av toghastighet

Da forespørselen på simuleringen ble sendt ut, ble toghastigheten satt til 90 km/t for kurverik strekning og 130 - 170 km/t for rett linje. Senere ble dette vurdert på nytt. Hastigheten for første simulering på hver prøvestrekning ble satt ut fra hastighetsprofil for de aktuelle strekningene. Toghastigheten for de påfølgende simuleringene ble bestemt av resultat fra allerede utførte simuleringer. En oversikt over de benyttede hastighetene er vist i kap. 3.4.

#### 3.3 Simuleringsprosess

Nødvendig inndata ble overført til et skjema fra Adtranz. Disse opplysningene ble deretter lagt inn i simuleringsprogrammet. Grunnet at programmet opprinnelig er beregnet for bruk på noe mer moderne anlegg ble det nødvendig å foreta noen justeringer av inndata. Det var spesielt utliggerne med 0-sikksakk som voldt noen problemer. Dette ble løst ved å legge disse inn som en svært liten masse. Det ble så laget en tegning av kontaktledningsanlegget for den aktuelle prøvestrekningen. I delene ved begynnelsen og slutten av hver prøvestrekning ble det lagt til en fiktiv ledning for å få et riktig forløp ved simulering.

Da alle opplysninger for prøvestrekningene med "System 35" var lagt inn i simuleringsprogrammet ble simuleringen igangsatt. Deretter ble opplysningene for "Tabell 54" lagt inn. Det ble besluttet å kun benytte en prøvestrekning for dette kontaktledningssystemet. Den siste strekningen ble utelatt ved simuleringen grunnet stor usikkerhet i underlagsmaterialet i tillegg til at den viste seg å inneholde to forskjellige kontaktledningssystemer.



Det var representanter fra Jernbaneverket tilstede hos Adtranz i Tyskland ved simuleringen.

### 3.4 Foretatte simuleringer

Det ble simulert for følgende hastigheter:

Hastighet [km/t]	Antall strømvaktakere	Avstand mellom strømvaktakere [m]	System	Trasé K: kurverik R: rett linje	Ref. kapittel
90	2	108,48	S-35 MS	K	4.1, 5.1
100	2	63,5	S-35 MS	K	4.1, 5.1
110	2	108,48	S-35 MS	K	4.1, 5.1
130	2	108,48	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
130	2	63,5	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
140	2	108,48	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
140	2	63,5	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
150	2	108,48	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
160	2	108,48	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
160	2	63,5	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
160	1	-	S-35 m/Y-line	R	4.2, 5.2
120	2	63,5	Tab. 54 nedheng	K / R	4.3, 5.3
130	2	108,48	Tab. 54 nedheng	K / R	4.3, 5.3
130	2	63,5	Tab. 54 nedheng	K / R	4.3, 5.3
140	1	-	Tab. 54 nedheng	K / R	4.3, 5.3
150	1	-	Tab. 54 nedheng	K / R	4.3, 5.3
110	2	108,48	Tab. 54 oppstrekk	K / R	4.4, 5.4
120	2	108,48	Tab. 54 oppstrekk	K / R	4.4, 5.4
130	2	108,48	Tab. 54 oppstrekk	K / R	4.4, 5.4
130	2	63,5	Tab. 54 oppstrekk	K / R	4.4, 5.4
140	1	-	Tab. 54 oppstrekk	K / R	4.4, 5.4
150	1	-	Tab. 54 oppstrekk	K / R	4.4, 5.4

### 3.5 Simuleringsresultat

Presentasjonen av simuleringsresultatene er valgt inndelt i underkapitler etter prøvestrekningene. For hver simulering finnes følgende diagrammer:

- Oversikt over kontaktledningens oppbygging og tilstand før simuleringen starter.
- Sikksakk
- Kurve for kontaktkreftene mellom kontaktråd og slepekull.
- Kurve for kontaktkreftene tilsvarende det som måles med målevogn.
- Kurve for løft av strømvaktakeren. Kurvene viser løft for rammen (YS), kontaktpunktet (FH\_MAX) og strømvaktakerhodets ubelastede ende (YSL\_MAX)

Det finnes dessuten en oversikt over statistiske data for kurvene.

Se vedlegg 8.4 for et eksempel på denne dokumentasjonen. Komplet sett av dokumentasjonen for simuleringsresultatene leveres ikke med denne rapporten grunnet det store omfanget. Et sett finnes hos Teknisk myndighet i Hovedkontoret og kan fås derfra om ønskelig.

### 3.6 Simuleringens nøyaktighet

Det er foreløpig uklart hvor nøyaktig simuleringsresultatene representerer virkelige lastforhold. Dette kan ikke avgjøres før det er foretatt målevognkjøring på prøvestrekningene og resultatene av denne sammenlignes med simuleringsresultatene.

Det kan imidlertid slås fast at for tidligere simuleringer foretatt for Deutsche Bahn har simuleringsresultatene hatt svært stor likhet med målevognsresultater for første strømvaktaker. Det er noe større avvik for andre strømvaktaker. Disse avvikene kan blant annet forklares med at simuleringene i noen grad opererer med ideelle forhold. Ute vil det være faktorer som vind, lokale variasjoner i sporhøyde og så videre, som det ikke lar seg gjøre å ta med i modellene for simuleringene. Det bør i forbindelse med henvisning til resultatene for Deutsche Bahn legges til at disse ble gjort for høyere hastighet og et kontaktledningssystem med strengere krav enn de som er aktuelle for simuleringene i denne rapporten.



## 4. DISKUSJON AV SIMULERINGSRESULTATENE

Analysen av løft- og kontaktkraftkurvene gir ikke eksakte svar, den presenterer trender i resultatene. Det forekommer en del forskjeller mellom spenn som tilsynelatende representerer helt identiske tilfeller. Dette kan i noen grad skyldes at det er forskjeller i inndata for eksempel med hensyn til hengetrådlengde og – avstand. En slik dybde i analysen var ikke innenfor rammene på dette prosjektet grunnet arbeidsmengden det innebærer.

Behandling av resultatene som representerer simulering av krefter "målt" i samme punkt som måling med målevogn slik at simuleringsresultatene lettest mulig kan verifiseres med målinger. Generelt sett er resultatene for krefter "målt" i kontaktpunktet noe høyere og har mer "piggete" kurveform. Noen videre diskusjon av kurvene for kontaktpunkt blir ikke medtatt i det følgende.

Hver prøvestrekning er delt i forskjellige kategorier etter spennlengde (a). Vekslingene består av 3 spenn. Kurveforløpet for disse spennene er forskjellige, men det midterste spennet hvor strømvaktakeren skifter til neste ledning er mest karakteristisk og er derfor valgt som en kategori.

Det gjøres for øvrig oppmerksom på at alle verdier for løft og kontaktkrefter i dette kapitlet er avlest resultatkurvene manuelt og derfor inneholder ev. viss feilmargin i forhold til verdier fra simuleringsprogrammets statistikk oppgitt i kapittel 8 Vedlegg.

### 4.1 System 35 MS, kurverik.

Prøvestrekningens trasé hadde kurveradius fra rettlinje ned mot 290 m. Spennlengden varierte fra 60 til 37m.

Med bakgrunn i kurveform er det valgt å dele analysen av simuleringsresultatene inn i fem kategorier:

1. Spennlengde  $a > 49$  m.
2. Spennlengde  $a = 49$  m.
3. Spennlengde  $49 \text{ m} > a \geq 45$  m.
4. Spennlengde  $a < 45$  m.
5. Midterste spenn i veksling.

#### 4.1.1 Løft i kontakttråd.

Simuleringsresultatene viser løft for tre forskjellige punkt på strømvaktakerne; kontaktpunkt mellom slepekull og kontakttråd (YFH\_MAX), ramme (YS) og ubelastet ende det vil si høyeste punkt på strømvaktakeren (YSL\_MAX). Referanselinjen for løft trekkes mellom kontakttrådens festepunkt i utliggerne for hvert spenn.

Kategori 2,3 og 4 ga simuleringsresultater med relativt lik kurveform og vil derfor bli behandlet samlet.

Spennlengder  $a = 60$  m og  $a = 57$  m skilte seg ut fra de andre spennlengdene i kurveform. Disse spennlengdene tilhørte spenn i tilknytning til veksling, det vil si første og tredje spenn ved veksling og en til to spenn før og etter disse, og overgangskurver med felles kurvepunkt (s-kurver).

**Maksimalt løft:**•  **$a \leq 49$  m:**

Kontaktpunkt:

Maksimalt løft inntreffer stort sett mellom første og andre hengestråde etter utligger. Dette gjelder for første strømvaktaker for alle simulerte hastigheter og andre strømvaktaker for 90 km/t og 100 km/t. Ved 110 km/t, andre strømvaktaker, har maks kontaktkrefter flyttet seg til mellom andre og fjerde hengestråde etter utligger for spennlengdene  $49 \text{ m} \geq a > 40 \text{ m}$ .

Ramme:

Maksimalt løft inntreffer like etter første hengestråde etter utligger for alle simuleringsresultatene unntatt når  $a = 49$  m for hastighet 110 km/t. Maks kontaktkrefter inntreffer for dette tilfellet mellom tredje og fjerde hengestråde etter utligger.

Ubelastet ende av strømvaktaker:

Maksimalt løft inntreffer like før/ ved første hengestråde etter utligger, med samme unntak som for ramme.

Tabell 4–1 Maksimalt løft når  $a \leq 49$  m. System 35 MS, kurverik.

	Maks løft [cm]	Typisk verdi for maks løft [cm]
Kontaktpunkt	3,2	2,5 - 3,2
Ramme	7,2	5,5 - 7
Ubelastet ende	6,8	5,5 - 6,5

Tabell 4–2 Maksimalt løft i utligger når  $a \leq 49$  m. System 35 MS, kurverik.

	Maks løft [cm]	Typisk verdi for maks løft [cm]
Kontaktpunkt	2,2	1 - 2
Ramme	6,5	4,5 - 6
Ubelastet ende	6	4,5 - 6

•  **$a > 49$  m:**

Ved  $a = 57$  m opptrer maksimalt løft om lag midt i spennet for alle "målepunkt", med unntak av andre strømvaktaker ved 110 km/t hvor maks løft inntreffer mellom tredje og fjerde hengestråde før og etter utligger.

Når  $a = 60$  m inntreffer maksimalt løft for ramme og ubelastet ende, stort sett ved første hengestråde etter utligger og i noen tilfeller også ved første hengestråde før utligger. For kontaktpunktet er bildet noe mer variabelt. Ved de to laveste toghastighetene inntreffer maksimalt løft ved første hengestråde før og etter utligger for første strømvaktaker og i løpet av første  $\frac{1}{4}$  av spennet for andre strømvaktaker. Når toghastigheten er 110 km/t befinner maks løft seg midt i spennet for begge strømvaktakerne.



Tabell 4–3 Maksimalt løft når  $a > 49$  m. System 35 MS, kurverik.

	Maks løft [cm]	Typisk verdi for maks løft [cm]
Kontaktpunkt	7,5	5,8 - 7,5
Ramme	10	8 - 10
Ubelastet ende	9	6,5 - 9

Tabell 4–4 Maksimalt løft i utligger når  $a > 49$  m. System 35 MS, kurverik.

	Maks løft [cm]	Typisk verdi for maks løft [cm]
Kontaktpunkt	5	2 - 5
Ramme	8,2	6 - 7,5
Ubelastet ende	6,5	6

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimalt løft inntreffer mellom tredje og fjerde hengetråd etter utligger for alle simulerte toghastigheter. I tillegg er det en kurvetopp med høyt løft nummer to for de fleste spenn. Denne er plassert ved andre hengetråd før utligger for andre strømvaktaker ved toghastighet 90 km/t og mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger for øvrige tilfeller.

Tabell 4–5 Maksimalt løft for midterste spenn i veksling. System 35 MS, kurverik.

	Maks løft [cm]	Typisk verdi for maks løft [cm]
Kontaktpunkt	8	7 - 8
Ramme	11	9,8 - 10
Ubelastet ende	10,7	9 - 10

Tabell 4–6 Maksimalt løft i utligger for midterste spenn i veksling.  
System 35 MS, kurverik.

	Maks løft [cm]	Typisk verdi for maks løft [cm]
Kontaktpunkt	5	4,5 - 5
Ramme	7,5	6,5 - 7,5
Ubelastet ende	7,5	6,5 - 7

**Konklusjon:**

Som forventet ble de høyeste verdiene for løft funnet i de lengste spennene og i veksling. Ved å sammenligne resultatene av alle simuleringene for systemet, ble maksimum løft bestemt til 8, 11 og 10,7 cm for henholdsvis kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende av strømvaktaker (avlest verdi). Disse resultatene framkom for andre strømvaktaker ved simulering for toghastighet 90 km/t med 108,48 m mellom strømvaktakerne. Det ble ikke registrert noe løft på over 8,2 cm i utligger i noe målepunkt.

Utfra observasjonene ovenfor kan det konkluderes med at løft isolert sett ikke representerer noen hastighetsbegrensning for kontaktledningssystemet innenfor det simulerte hastighetsområdet.

**4.1.2 Kontaktkrefter**

Analysen av resultatene for krefter ble delt i samme kategorier som for løft. De største kreftene forekom for korte spennlengder og andre strømvaktaker. Simuleringsresultatene viste kun ett tilfelle av kontaktkrefter  $\geq 150$  N. Det forekom ikke kontaktkrefter  $< 20$  N.

**Maksimale kontaktkrefter:**

- **$a \leq 49$  m:**

Maksimale krefter for oppstod for samtlige tilfeller like etter første hengetråd etter utligger. Utover dette var det en del ulikheter. De fleste tilfellene hadde en til krafttopper i tillegg. For første strømvaktaker ved hastighet 90 km/t og for spennlengdene  $49 \geq a \geq 45$  m for hastighet 100 km/t, oppstår krafttopper ca. midt i spennet. Tilsvarende krafttopp for andre strømvaktaker opptrer på ulike steder. Fra og med de korteste spennlengdene for hastighet 100 km/t og for alle tilfelle ved hastighet 110 km/t opptrer krafttoppene på samme sted for både første og andre strømvaktaker. Disse er plassert i området tredje til andre hengetråd før utligger. Maksimale krefter for de forskjellige hastigheter er som følger:

Tabell 4–7 Maksimale kontaktkrefter når  $a \leq 49$  m. System 35 MS, kurverik.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	90 km/t (lang)	95 - 105	50 - 100
	100 km/t (kort)	105 - 123	40 - 105
	110 km/t (lang)	105 - 120	50 - 115
Strømvaktaker 2	90 km/t (lang)	92 - 120	50 - 100
	100 km/t (kort)	105 - 149	30 - 125
	110 km/t (lang)	120 - 151	40 - 130



- **a > 49 m**

Når a = 60 m opptrer maksimale krefter stort sett på samme sted for begge strømvaktakerne. Felles for alle hastighetene er en krafttopp ved første hengetråd etter utligger. I tillegg er det for 90 km/t, 100 km/t og 110 km/t krafttopper ved henholdsvis fjerde hengetråd etter utligger, midt i spenn og i området fjerde til andre hengetråd før utligger.

Dersom a = 57 m varierer resultatene litt mer. For toghastighet 110 km/t er resultatene tilnærmet lik som for a = 60 m. Toghastighet 100 km/t gir maksimale kontaktkrefter ved tredje hengetråd før utligger for begge strømvaktakerne. Den laveste av de simulerte toghastighetene viser størst forskjell i resultatene for strømvaktakerne. Maks krefter opptrer henholdsvis ved fjerde hengetråd etter utligger for første strømvaktaker og ved tredje og andre hengetråd før utligger for andre strømvaktaker.

Tabell 4–8 Maksimale kontaktkrefter når a > 49 m. System 35 MS, kurverik.

	Hastighet	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	90 km/t (lang)	90	60 - 85
	100 km/t (kort)	93	58 - 90
	110 km/t (lang)	110	60 - 90
Strømvaktaker 2	90 km/t (lang)	90	55 - 85
	100 km/t (kort)	115	50 - 90
	110 km/t (lang)	110	53 - 100

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimale krefter opptrer mellom tredje og fjerde hengetråd før og etter utligger for begge strømvaktakerne i alle simulerte hastigheter. I tillegg er der krafttopper i tilknytning til andre hengetråd før utligger for hastighetene 90 km/t og 100 km/t.

Tabell 4–9 Maksimale kontaktkrefter for midterste spenn i veksling.  
System 35 MS, kurverik.

	Hastighet	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	90 km/t (lang)	95	50 - 90
	100 km/t (kort)	100	50 - 98
	110 km/t (lang)	118	55 - 105
Strømvaktaker 2	90 km/t (lang)	145	43 - 130
	100 km/t (kort)	100	55 - 80
	110 km/t (lang)	100	62 - 100

**Minimale kontaktkrefter:**•  **$a \leq 49$  m:**

Minimum kontaktkrefter oppstår i området fra andre hengeråd før til siste utligger i spennet. Dette gjelder begge strømvaktaker for alle simulerte hastigheter. Når det gjelder andre strømvaktaker har denne i tillegg minimumspunkt for krefter i området andre til tredje hengeråd etter utligger når toghastigheten er 110 km/t og for 90 km/t når  $a \leq 45$  m.

Tabell 4–10 Minimale kontaktkrefter når  $a \leq 49$  m. System 35 MS, kurverik.

Hastighet	1. strømvaktaker [N]	2. strømvaktaker [N]
90 km/t (lang)	39 – 43	44 – 48
100 km/t (kort)	30 – 50	22 – 52
110 km/t (lang)	45 – 50	30 – 45

•  **$a > 49$  m:**

Minimum kontaktkrefter opptrer på forskjellige steder. Generelt kan det sies at for  $a = 57$  m finnes minimum som oftest i området andre til tredje hengeråd etter utligger for begge strømvaktaker. For  $a = 60$  m opptrer minimum som oftest i området rundt andre hengeråd før utligger.

Tabell 4–11 Minimale kontaktkrefter når  $a > 49$  m. System 35 MS, kurverik.

Hastighet	1. strømvaktaker [N]	2. strømvaktaker [N]
90 km/t (lang)	50	45
100 km/t (kort)	46	39
110 km/t (lang)	50	42

• **Veksling, midtspenn:**

Minimumskrefter opptrer omtrent på samme sted for begge strømvaktakerne; mellom tredje og andre hengeråd før utligger og ved andre hengeråd etter utligger.

Tabell 4–12 Minimale kontaktkrefter for midterste spenn i veksling.  
System 35 MS, kurverik.

Hastighet	1. strømvaktaker [N]	2. strømvaktaker [N]
90 km/t (lang)	38	30
100 km/t (kort)	42	43
110 km/t (lang)	45	58



### **Harde punkter:**

Ingen spesielle harde punkter observert for 90 km/t og 100 km/t. For hastighet 110 km/t, første strømvaktaker opptrer høye krefter og lite løft samtidig ved tredje hengestråd før utligger når  $a < 49$  m, og ved andre hengestråd før utligger når  $a = 60$  m. De samme forholdene vises også ved andre strømvaktaker.

### **Samsvar mellom høye løft og store krefter:**

For begge strømvaktaker inntreffer dette samtidig for midtspennet i vekslingsfelt. For de øvrige spennene er det ikke noen klar trend. Store krefter og store løft opptrer i nærheten av hverandre, men ikke direkte sammenfallende.

### **Konklusjon:**

Krefter er den begrensende faktor for tillatelig toghastighet. Det anbefales å benytte 90 km/t som maksimal framføringshastighet for tog med to strømvaktaker, da differansen mellom maksimum og minimum opptredende kontaktkraft og grenseverdiene på henholdsvis 150 N og 20 N er marginal for høyere hastigheter.

## **4.2 System 35, rett linje.**

Prøvestrekningens trasé består av rett linje og en kort kurve med kurveradius 1660 m. Spennlengden var med et unntak mellom 59 m til 61 m. Det siste spennet var på 50 m. I vekslingenes midtspenn var det benyttet sm utligger.

Analysen av simuleringresultatene er derfor delt inn i 2 kategorier:

1. Spennlengde  $a \geq 50$  m.
2. Midterste spenn i veksling.

### **4.2.1 Løft i kontakttråd.**

Simuleringresultatene viser løft for tre forskjellige punkt på strømvaktakerne; kontaktpunkt mellom slepekull og kontakttråd (YFH\_MAX), ramme (YS) og ubelastet ende det vil si høyeste punkt på strømvaktakeren (YSL\_MAX). Referanselinjen for løft trekkes mellom kontakttrådens festepunkt i utliggerne for hvert spenn.

### **Maksimalt løft:**

Maksimalt løft er høyere for kjøring med kort avstand mellom strømvaktakerne (63,4 m) enn når det benyttes lengre strømvaktakeravstand. Dette gjelder alle simulerte toghastigheter på denne prøvestrekningen.

Når det benyttes to strømvaktaker opptrer maksimalt løft med tilnærmet lik plassering i et spenn både kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende av strømvaktaker.

Ved begynnelsen av simuleringen for 160 km/t med strømvaktakeravstand 108,5 m er det for andre strømvaktaker svært store utslag i løft på tredje spennet i simuleringen. Det velges å se bort fra dette grunnet at fenomenet opptrer i oppstarten av simuleringen og kun kjente data for den påbegynnende ledningen er lagt inn. Resultatene skiller seg dessuten betraktelig fra vekslingen hvor data for begge ledninger er kjent.

- **a ≥ 50 m:**

Det ble påvist en viss sammenheng mellom traséens horisontal- og vertikalkurvatur og simuleringsresultatene. Sammenhengen er ikke entydig, imidlertid kommer den klart uttrykk ved toghastighet 130 km/t og 140 km/t samt ved kjøring med en strømvaktaker.

For den laveste toghastigheten er det ikke noe særlig forskjell på hvor maksimalt løft opptrer om strømvaktakeravstanden er kort eller lang. Maksimalt løft opptrer mellom fjerde hengetråd før utligger og utligger, med hovedtyngden av punktene mellom tredje og første hengetråd før utligger. Ved overganger i kurvatur flytter maksimalt løft seg til området ved første hengetråd etter utligger. Samme plassering gjelder for toghastighet 140km/t for begge strømvaktaker når det er kort avstand mellom dem og for første strømvaktaker når det benyttes lang strømvaktakeravstand. Forbindelsen mellom kurvatur og maksimalt løft trer i mindre grad fram for andre strømvaktaker for disse tilfellene.

Andre strømvaktaker med 140 km/t og lang strømvaktakeravstand viser maksimalt løft mellom første og andre hengetråd etter utligger. Det eneste stedet hvor maksimalt løft opprettholder sin plassering fra de forrige simuleringene er ved reduksjon i kurveradien.

Når det gjelder resten av simuleringene begynner forskjellene mellom plasseringen av maksimalt løft for første og andre strømvaktaker å bli tydeligere. For toghastighet 150 km/t er plasseringen av maksimalt løft mellom første og andre hengetråd etter utligger og/eller mellom fjerde og andre hengetråd før utligger for første strømvaktaker. Kort strømvaktakeravstand, 160 km/t, framstår med maksimalt løft lik den første plasseringen i forrige simulering, mens når strømvaktakeravstanden er lang blir resultatet som for den andre. Maksimalt løft for andre strømvaktaker for de siste tre simuleringene opptrer henholdsvis mellom andre og tredje hengetråd etter utligger; mellom tredje og første hengetråd før utligger; og mellom tredje og fjerde hengetråd etter utligger.

Maksimalt løft for kjøring med en strømvaktaker, 160 km/t, opptrer mellom tredje og første hengetråd før utligger og ved første utligger i spennet dersom vertikalkurvatur endrer seg med mer enn 3 ‰.



Tabell 4–13 Maksimalt løft når  $a \geq 50$  m. System 35, rettlinjje.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>130 km/t</b> (kort)	15	15,5	16	10 -12,5	10 - 14	11,5 -15
<b>130 km/t</b> (lang)	13	14	16	9 -11,5	10 - 13	10,5 -15
<b>140 km/t</b> (kort)	13	15	17	10 -13	10,5 - 14	11,5 -15
<b>140 km/t</b> (lang)	12	14,5	15	9,5 -11,5	10,5 - 13,5	11 -14
<b>150 km/t</b> (lang)	12,5	14	15	10 -11,5	11 - 13,5	12 -14,5
<b>160 km/t</b> (kort)	15,5	17	15++	13 -15	13 - 15,5	15++
<b>160 km/t</b> (lang)	13	14	15	11 -13	11 - 13	12 -14,5
<b>160 km/t</b> (1 str.avt.)	13	14,5	15,5	11 -12	11,5 - 13	13 -14,5

Tabell 4–14 Maksimalt løft i utligger når  $a \geq 50$  m. System 35, rettlinje.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
130 km/t (kort)	11,5	13,3	14	10,2 - 11,5	11,8 - 13,3	13 - 14
130 km/t (lang)	11,5	13,5	14,5	11 - 11,5	12,5 - 13,5	14,5
140 km/t (kort)	12	14,8	15++	11,8 - 12	14 - 14,8	15 - 15++
140 km/t (lang)	11	13	13,5	10 - 11	12,5 - 13	12,5 - 13,5
150 km/t (lang)	11	12	13	10,5 - 11	11,5 - 12	12,5 - 13
160 km/t (kort)	14,8	16,8	15++	14 - 14,8	15,5 - 16,8	15++
160 km/t (lang)	13	13	15	9,5 - 13	11 - 13	14 - 15
160 km/t (1 str.avt.)	12	13	14	-	-	-

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimalt løft opptrer på tilnærmet samme steder for alle tre målepunktene. Når toghastigheten er 130 km/t finnes maksimalt løft for henholdsvis første og andre strømvaktaker med kort og lang strømvaktakeravstand ved utliggerne; ved utligger og mellom tredje og andre hengertråd før utligger; ved andre hengertråd etter utligger og ved utliggerne; og ved første utligger i spennet.

For første strømvaktaker, 140 km/t, finnes maksimalt løft ved første utligger i spennet. Andre strømvaktaker gir maksimum løft ved første utligger i spennet og i tillegg mellom tredje og andre hengertråd før utligger når det benyttes kort strømvaktakeravstand. Dersom det benyttes lang strømvaktakeravstand inntreffer maksimum løft ved første hengertråd.

150 km/t med lang strømvaktakeravstand og 160 km/t kort strømvaktakeravstand representerer maksimum løft mellom første og andre hengertråd etter utligger for første strømvaktaker og henholdsvis ved andre hengertråd og første hengertråd etter utligger for andre strømvaktaker.



Tabell 4–15 Maksimalt løft for midterste spenn i veksling. System 35, rettlinje.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>130 km/t</b> (kort)	8,5	8,5	8,5	8 – 8,5	8 – 8,5	8 – 8,5
<b>130 km/t</b> (lang)	10	9,5	11,5	8 – 9,5	7,5 – 9,5	8 – 11,5
<b>140 km/t</b> (kort)	10,5	10,5	10,5	8 – 10,5	7,5 – 10,5	8 – 10,5
<b>140 km/t</b> (lang)	10	10,5	10,5	8,5 – 10	8 – 10,5	8 – 10,5
<b>150 km/t</b> (lang)	11,8	11,8	12	10,5 – 11,8	11,2 – 11,8	11 – 12
<b>160 km/t</b> (kort)	14,5	15,7	14,8	11,5 – 14,5	11 – 15,7	11,5 – 14,8
<b>160 km/t</b> (lang)	11	11,3	11	9 – 11	8 – 11,3	8 – 11
<b>160 km/t</b> (1 str.avt.)	11	12,5	11,2	8 – 11	8 – 12,5	9 – 11,2

Tabell 4–16 Maksimale løft i utligger når midterste spenn i veksling. System 35, rettlinj.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
130 km/t (kort)	8,5	8,5	8,5	8 – 8,5	8 – 8,5	8 – 8,5
130 km/t (lang)	9,5	9,5	11,5	8 – 9,5	7,8 – 9,5	8 – 11,5
140 km/t (kort)	10,5	10,5	10,5	9,5 – 10,5	9,5 – 10,5	9,5 – 10,5
140 km/t (lang)	9,8	9,7	10	9,5 – 9,8	9,2 – 9,7	9 – 10
150 km/t (lang)	9,5	10	9,5	9 – 9,5	8,5 – 10	9 – 9,5
160 km/t (kort)	13,5	13	15	10,2 – 13,5	10,5 – 13	10 – 15
160 km/t (lang)	11	11	11	10,5 – 11	9 – 11	10,2 – 11
160 km/t (1 str.avt.)	10,2	8,8	10,2	–	–	–

**Konklusjon:**

Utfra observasjonene ovenfor kan det konkluderes med at løft representerer hastighetsbegrensning for kontaktledningssystemet innenfor det simulerte hastighetsområdet. Dette gjelder for alle simuleringene unntatt for hastighet 140 km/t og 150 km/t når det benyttes lang strømvaktakeravstand.

**4.2.2 Kontaktkrefter**

Analysen av resultatene for krefter ble delt i samme kategorier som for løft. Med hensyn til krefter forekom disse i alle varianter fra svært lave til svært høye. Typiske forekommende kontaktkraftverdier for første strømvaktaker var alle, med et unntak, innenfor de gitte grenseverdiene. Andre strømvaktaker hadde også et tilfelle hvor grenseverdien ble overskredet og i tillegg tre tilfeller der kontaktkreftene var kun marginalt innenfor grenseverdiene.

**Maksimale kontaktkrefter:**

- **a ≥ 50 m:**

Simuleringsresultatene viste at for toghastighet mindre enn 160 km/t inntraff maksimalpunktet for krefter i området mellom første og andre hengetråd etter utligger for første strømvaktaker. I tillegg var det en eller flere krafttopper ved de fire siste



hengetrådene før utligger. For de resterende simuleringene opptrer maksimale krefter ved tredje og/eller andre hengetråd før utligger for første strømvaktaker.

Maksimale krefter for andre strømvaktaker inntreffer etter et litt annet mønster. For begge simuleringene med 130 km/t og 140 km/t med kort strømvaktakeravstand, opptrer maksimale krefter ved andre hengetråd før og etter utligger. Krafttoppen før utligger har sammenheng med endringer i kurvatur. Øvrige simuleringer gir maksimale kontaktkrefter ved andre hengetråd etter utligger for 140 km/t med lang strømvaktakeravstand; ved andre og tredje hengetråd etter utligger for 150 km/t med lang strømvaktakeravstand og 160 km/t med kort strømvaktakeravstand; og til slutt ved fjerde hengetråd etter utligger for 160 km/t med lang strømvaktakeravstand.

Sammenhengen mellom kurvatur og maksimale krefter ses tydeligst når avstanden mellom strømvaktakerne er kort.

Det oppstår dessuten et svingefenomen om lag fire spenn før vekslingen mellom prøveledningene i simuleringen for 130 km/t med 108,48 m mellom strømvaktakerne. Starten på svingningene faller samtidig med at vertikalkurvaturen har sin største endring, fra 0 % til 9%. Kraftspissene for maksimum og minimum krefter har i dette området en del større forskjell i amplitude enn andre steder i simuleringen. Fenomenet er ikke like klart uttrykt i noen av de andre simuleringene.

Tabell 4–17 Maksimale kontaktkrefter når  $a \geq 50$  m. System 35, kurverik.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktaker)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	130 km/t (kort)	139	40 – 120
	130 km/t (lang)	143	30 – 135
	140 km/t (kort)	130	40 – 125
	140 km/t (lang)	115	50 – 115
	150 km/t (lang)	138	40 – 125
	160 km/t (kort)	197	55 – 115
	160 km/t (lang)	145	50 – 135
	160 km/t (1 strømvakt.)	165	55 – 135
Strømvaktaker 2	130 km/t (kort)	150	40 – 130
	130 km/t (lang)	150	40 – 148
	140 km/t (kort)	135	30 – 130
	140 km/t (lang)	148	40 – 140
	150 km/t (lang)	138	50 – 130
	160 km/t (kort)	162	40 – 150
	160 km/t (lang)	165	40 – 140

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimal krefter opptrer på forskjellige steder for de forskjellige simuleringene.

Mellom andre og tredje hengetråd før og etter utligger for første strømavtaker og like etter tredje hengetråd etter utligger for andre strømavtaker når toghastigheten er 130 km/t og strømavtakeravstanden er kort. Tilsvarende for lang strømavtakeravstand og samme hastighet, er mellom fjerde og tredje før utligger og like etter første hengetråd etter utligger.

For simuleringene med 140 km/t inntreffer krafttoppene ved andre hengetråd før utligger unntatt for andre strømavtaker når det er lang avstand mellom strømavtakerne, der de opptrer ved andre hengetråd etter utligger. Første strømavtaker har maksimale krefter ved andre hengetråd etter utligger og andre strømavtaker mellom andre og tredje hengetråd etter utligger for toghastighet 150 km/t.

Toghastighet 160 km/t og kort avstand viser henholdsvis krafttopper i området første og andre hengetråd etter utligger og mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger for første og andre strømavtaker. Den siste simuleringen med to strømavtakere og krafttopper mellom andre og tredje hengetråd etter utligger og like etter tredje hengetråd etter utligger. Kjøring med en strømavtaker i 160 km/t ga samme resultat som for første strømavtaker i forrige simulering.

Tabell 4–18 Maksimale kontaktkrefter for midterste spenn i veksling.  
System 35, rettligne.

	Hastighet (Avstand mellom strømavtakere)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømavtaker 1	130 km/t (kort)	100	52 – 100
	130 km/t (lang)	135	45 – 125
	140 km/t (kort)	110	55 – 105
	140 km/t (lang)	112	55 – 110
	150 km/t (lang)	120	55 – 115
	160 km/t (kort)	185	55 – 180
	160 km/t (lang)	142	60 – 130
	160 km/t (1 strømavt.)	152	58 – 130
Strømavtaker 2	130 km/t (kort)	125	35 – 115
	130 km/t (lang)	140	40 – 120
	140 km/t (kort)	128	45 – 112
	140 km/t (lang)	140	45 – 110
	150 km/t (lang)	150	48 – 120
	160 km/t (kort)	148	45 – 145
	160 km/t (lang)	149	60 – 147



**Minimale kontaktkrefter:**• **a ≥ 50 m:**

Minimale krefter opptrer ved forskjellige steder etter hvilken strømvaktaker og hastighet det ses på.

Simuleringen for 130 km/t med kort strømvaktakeravstand gir minimumspunkt for kontaktkrefter stort sett mellom andre og tredje hengetråd etter utligger og mellom andre hengetråd etter utligger til andre hengetråd før utligger for henholdsvis første og andre strømvaktaker. Tilsvarende for lang avstand mellom strømvaktakerne er mellom andre og fjerde hengetråd før og etter utligger for begge strømvaktakerne. Minimumspunkt mellom fjerde og andre hengetråd før utligger for andre strømvaktaker forekommer kun når det er endringer i sporets kurvatur.

Toghastighet 140 km/t gir minimumspunkt mellom andre og fjerde hengetråd etter utligger for første strømvaktaker. I tillegg mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger ved lang strømvaktakeravstand og mellom fjerde og første hengetråd før utligger ved endring i sporets kurvatur når det benyttes kort strømvaktakeravstand. Andre strømvaktaker har minimumspunkt ved henholdsvis tredje hengetråd etter utligger og mellom andre og første hengetråd før utligger, med et punkt ca. midt i spennet ved endringer i kurvatur, for denne hastigheten.

150 km/t med lang avstand og 160 km/t med kort strømvaktaker har minimumspunkt i området rundt andre hengetråd før utligger for første strømvaktaker. For den laveste hastigheten dessuten punkt rundt midten av spennet ved endringer i kurvatur. For andre strømvaktaker i disse simuleringene samt den for 160 km/t (begge strømvaktaker) opptrer minimum krefter midt i spennet. Dette gjelder også for kjøring med en strømvaktaker når det er endringer i kurvaturen, ellers er plassering av minimum krefter variable, men som regel mot slutten av spennet.

Tabell 4–19 Minimale kontaktkrefter når a ≥ 50 m. System 35, rettlinjé.

Hastighet	1. strømvaktaker [N]	2. strømvaktaker [N]
130 km/t (kort)	32	37
130 km/t (lang)	8	25
140 km/t (kort)	38	27
140 km/t (lang)	40	38
150 km/t (lang)	25	39
160 km/t (kort)	20	34
160 km/t (lang)	25	35
160 km/t (1 strømvakt.)	12	-

- **Veksling, midtspenn:**

Minimal kontaktkrefter opptrer mellom tredje og andre hengeråd før utligger for første strømvaktar ved 140 km/t med kort og lang strømvaktaravstand, og for andre strømvaktar ved 130 km/t og 150 km/t med lang strømvaktaravstand.

Minimumspunkt ved fjerde hengeråd før utligger gjelder 130 km/t kort og lang strømvaktaravstand. For første strømvaktar 150 km/t lang avstand og begge strømvaktar 160 km/t lang avstand inntreffer minimale krefter ved fjerde hengeråd etter utligger. De gjenstående resultatene for andre strømvaktar 130 km/t kort strømvaktaravstand, 140 km/t lang avstand og begge strømvaktar 160 km/t kort avstand er henholdsvis mellom andre og tredje hengeråd etter utligger; mellom andre og første hengeråd før utligger og ved første hengeråd etter utligger; like etter tredje hengeråd etter utligger; og til slutt ved første hengeråd etter utligger.

Tabell 4–20 Minimale kontaktkrefter for midterste spenn i veksling. System 35, rettlinj.

Hastighet	1. strømvaktar [N]	2. strømvaktar [N]
130 km/t (kort)	52	18
130 km/t (lang)	39	32
140 km/t (kort)	48	35
140 km/t (lang)	48	43
150 km/t (lang)	39	32
160 km/t (kort)	30	41
160 km/t (lang)	48	40
160 km/t (1 strømv.)	50	-

### Konklusjon:

Krefter er begrensende faktor for tillatelig toghastighet. Den eneste simuleringen hvor resultatene var tilstrekkelig innenfor grenseverdiene på  $150 \text{ N} > F > 20 \text{ N}$  var for 140 km/t med kort strømvaktaravstand.

### Harde punkter:

Ingen spesielle harde punkter observert for noe punkt mellom utliggerne. Det var aldri løft på mindre enn 5 cm for vanlige spenn og ca 4,3 cm for midtspenn i veksling, selv når kreftene kom langt over hva som er tillatelig.

### Samsvar mellom høye løft og store krefter:

Store krefter og store løft opptrer i nærheten av hverandre, men ikke direkte sammenfallende.



### 4.3 Tabell 54 med 4 cm nedheng.

Prøvestrekningens trasé hadde kurveradius fra rettlinje ned mot 435 m. Spennlengden varierte fra 60 til 45 m.

Med bakgrunn i simuleringsresultatenes kurveform er det valgt å dele analysen av resultatene inn i fire kategorier:

1. Spennlengde  $a > 56$  m.
2. Spennlengde  $56 \text{ m} > a > 45$  m.
3. Spennlengde  $a = 45$  m.
4. Midterste spenn i veksling.

#### 4.3.1 Løft i kontakttråd.

Simuleringsresultatene viser løft for tre forskjellige punkt på strømvaktakerne; kontaktpunkt mellom slepekull og kontakttråd (YFH\_MAX), ramme (YS) og ubelastet ende, det vil si høyeste punkt på strømvaktakeren, (YSL\_MAX). Referanselinjen for løft trekkes mellom kontakttrådens festepunkt i utliggerne for hvert spenn.

De korteste spennlengdene  $a = 45$  m, skiller seg fra de øvrige ved at amplituden for variasjonene i løft er merkbart lavere enn for de andre spennlengdene. Det er likevel valgt å se på disse samlet der dette er hensiktsmessig, i den videre behandling.

##### 4.3.1.1 Løft for kjøring med en strømvaktaker for toghastighet 140 og 150 km/t.

###### Maksimalt løft:

- **$a > 45$  m:**

Simuleringsresultatene viser at når spennlengden er over 45 m forekommer maksimum løft i samme område for kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende av strømvaktaker. Maksimum løft opptrer i hovedsak mellom tredje og andre hengestråd før utligger for alle tre målepunktene. Når toghastigheten er 150 km/t har dessuten løftkurven for ubelastet ende av strømvaktaker et ekstra toppunkt mellom andre og første hengestråd før utligger.

Tabell 4–21 Maksimalt løft for kjøring med en strømvaktaker.  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	10,2	8,5 – 9,5	11	9,5 – 11
Ramme	14	11 – 13,5	15,5	13 – 15
Ubelastet ende	12,8	9 – 12	13,5	10 – 13

Tabell 4–22 Maksimale løft i utligger for kjøring med en strømvaktaker.  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	4,5	4,2 – 4,5	5	3,5 – 5
Ramme	8,5	8 – 8,5	9,5	8 – 9,5
Ubelastet ende	8,3	7,5 – 8,3	9,5	8,5 – 9,5

- **a = 45 m:**

Maksimum løft i forekommer i tilknytning til første hengetråd før utligger for kontaktpunkt og ramme. For ubelastet ende av strømvaktaker opptrer maksimum løft like etter utligger. Plasseringen av maks løft gjelder for begge hastighetene.

Tabell 4–23 Maksimale løft for kjøring med en strømvaktaker.  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	7	6,5	7,5	7
Ramme	10,5	9,5	11	10
Ubelastet ende	9,3	8,5	11	9,5

Tabell 4–24 Maksimale løft i utligger for kjøring med en strømvaktaker.  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	5,5	-	6,8	-
Ramme	10	-	10,8	-
Ubelastet ende	9	-	10,5	-

- **Veksling, midtspenn:**

I vekslingens midtspenn opptrer maksimum løft mellom tredje og andre hengetråd før utligger når toghastigheten er 140 km/t. Dersom hastigheten økes til 150 km/t flytter maksimum løft seg noe i retning siste utligger i spennet slik at dette opptrer i tilknytning til andre hengetråd før utligger.



Tabell 4–25 Maksimalt løft for kjøring med en strømvaktaker. Midtspenn veksling. Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	9,5	9,5	10	10
Ramme	13	12,5 – 13	14	13 – 14
Ubelastet ende	12	11 – 12	12,5	12 – 12,5

Tabell 4–26 Maksimalt løft i utligger for kjøring med en strømvaktaker. Midtspenn veksling. Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	6	-	6,5	-
Ramme	9	-	9,5	-
Ubelastet ende	7,5	-	9,5	-

#### **Minimum løft:**

Minimum løft inntreffer hovedsakelig i området mellom første og andre hengetråd etter utligger for alle tilfeller. Unntaket er for  $a = 45$  m der minimum løft for kontaktpunkt opptrer mellom første utligger i spennet og første hengetråd etter denne.

#### **Konklusjon:**

Som forventet ble de høyeste verdiene for løft funnet i de lengste spennene og i veksling. Det ble ikke registrert noe løft i utligger på over 10,8 cm i noe målepunkt for kjøring med en strømvaktaker.

Ut fra observasjonene ovenfor kan det konkluderes med at løft ikke representerer hastighetsbegrensning for kontaktledningssystemet innenfor det simulerte hastighetsområdet.

#### **4.3.1.2 Løft for kjøring med to strømvaktaker.**

##### **Maksimalt løft:**

- **a > 45 m:**

Første strømvaktaker for toghastighet 120 km/t gir maksimalt løft ved tredje hengetråd for kontaktpunktet. Ramme og ubelastet ende gir maksimalt løft henholdsvis mellom tredje og andre hengetråd før utligger og i tilknytning til tredje hengetråd før utligger når  $a > 56$  m. For alle målepunkt når  $56 \text{ m} \geq a > 45$  m første strømvaktaker samt for andre strømvaktaker når  $a > 45$  m opptrer maksimalt løft mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger.

Begge simuleringene for toghastighet 130 km/t plasserte maksimalt løft på samme steder. Ved passering med første strømvaktaker opptrer maksimalt løft mellom tredje og andre hengestråd før utligger for alle målepunkt unntatt for ubelastet ende når  $56 \text{ m} \geq a > 45 \text{ m}$ . Her opptrer maksimalpunktet innenfor området ved tredje hengestråd  $\pm$  halve avstanden til forrige/neste hengestråd. Her er også maksimalt løft for kontaktpunkt og ubelastet ende når  $a > 56 \text{ m}$  ved passering av andre strømvaktaker. Tilsvarende er plasseringen for ramme ved tredje hengestråd før utligger. De gjenværende tilfellene når  $56 \text{ m} \geq a > 45 \text{ m}$  for andre strømvaktaker inntreffer maksimalt løft mellom fjerde og tredje hengestråd før utligger.

Tabell 4–27 Maksimalt løft når  $a > 45 \text{ m}$ . Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
120 km/t (kort)	10	13,5	12,5	6,5 - 9,5	8,5 - 13	7 - 12
130 km/t (kort)	15	19,2	17++	8,5 - 14,5	12 - 18,5	9 - 17++
130 km/t (lang)	11,2	19	17++	6 - 10,5	11 - 18	9 - 17++

Tabell 4–28 Maksimalt løft i utligger når  $a > 45 \text{ m}$ . Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
120 km/t (kort)	2,5	7	7,5	2 - 2,5	6 - 7	5,2 - 7,5
130 km/t (kort)	4	8	7,5	2,5 - 4	6,5 - 8	6 - 7,5
130 km/t (lang)	3	8,5	8	2,5 - 3	7 - 8,5	7 - 8



- **a = 45 m:**

Simulering av toghastighet 120 km/t resulterte i samme plassering av maksimalt løft for begge strømvaktakerne. Ved andre hengetråd før utligger, mellom andre og første hengetråd før utligger og like etter utligger for henholdsvis kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende av strømvaktakerhodet.

Passering første strømvaktaker med toghastighet 130 km/t ga likt resultat for plassering av maksimalt løft uavhengig av strømvaktakeravstand, mellom andre og første hengetråd for kontaktpunkt og ramme og like etter utligger for ubelastet ende. Resultatene for andre strømvaktaker varierte noe mer. Kort strømvaktakeravstand ga henholdsvis mellom andre og første hengetråd før utligger; ved første hengetråd etter utligger; og ved utligger. Simuleringen med lang strømvaktakeravstand resulterte i ved første hengetråd før og etter utligger; mellom andre og første hengetråd før utligger; og like etter utligger. Resultatene er listet i rekkefølgen kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende.

Tabell 4–29 Maksimalt løft når a = 45 m. Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>120 km/t</b> (kort)	6,5	9	8,2	5,8 - 6,5	8 - 8,8	7,7 - 8,2
<b>130 km/t</b> (kort)	8,8	11	11,8	7 - 7,5	9,5 -10,5	8,5 -10,7
<b>130 km/t</b> (lang)	8,2	11,2	9	6,5 - 8	9 -10,5	8,5 - 9

Tabell 4–30 Maksimalt løft i utligger når a = 45 m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>120 km/t</b> (kort)	4,2	7,7	7,5	4 - 4,2	7,5 - 7,7	7 - 7,5
<b>130 km/t</b> (kort)	5	8,5	11,5	4,2 - 5	8,5	8,2 -11,5
<b>130 km/t</b> (lang)	5	9,5	9	5	9 - 9,5	8,5 - 9

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimalt løft finnes med samme plassering for de tre målepunktene for den første strømvaktakeren. Plasseringen er henholdsvis ved andre hengeråd før utligger, mellom tredje og andre hengeråd før utligger og mellom tredje og andre hengeråd før utligger for simuleringene i Tabell 4–31.

Simulering for 120 km/t ga maksimalt løft i kontaktledning ved passering andre strømvaktaker mellom fjerde og tredje hengeråd før utligger (kontaktpunkt), ved tredje hengeråd før og etter utligger (ramme) og ved tredje hengeråd før utligger (ubelastet ende). Togastighet 130 km/t og kort strømvaktakeravstand ga maksimalt løft ved tredje hengeråd før utligger for alle målepunktene ved passering andre strømvaktaker. Dersom lang strømvaktakeravstand ble benyttet fikk man det samme resultatet med unntak av for ramme hvor maksimalt løft oppstod mellom fjerde og tredje hengeråd.

Tabell 4–31 Maksimalt løft for midterste spenn i veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>120 km/t</b> (kort)	8	10,5	9,5	7,5 - 8	9,5 -10,5	9,5
<b>130 km/t</b> (kort)	11	13,5	12,3	9,8 -11	12 -13,5	11,5 -12,3
<b>130 km/t</b> (lang)	11	13,5	12	9 -11	12 -13,5	11,5 -12

Tabell 4–32 Maksimalt løft i utligger for midterste spenn i veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>120 km/t</b> (kort)	5,2	7,5	7,5	5 - 5,2	7,5	7 - 7,5
<b>130 km/t</b> (kort)	7,5	8,2	8	5 - 7,5	8 - 8,2	8
<b>130 km/t</b> (lang)	5,5	10	8	5,2 - 5,5	8 -10	8



**Minimum løft:**

Minimum løft opptrer i området mellom utligger og andre hengertråd etter utligger for tilnærmet alle målepunkter og simulerte hastigheter. Unntaket er når  $a = 45$  m ved kjøring med lang strømvaktakeravstand og toghastighet 130 km/t hvor minimum løft opptrer området ved tredje hengertråd etter utligger.

**Konklusjon:**

Løft av kontaktledning i utligger representerer ikke begrensning for toghastigheten for simuleringene.

Generelt løft pr. spenn er mindre for spennlengde lik 45 meter enn for de øvrige kategoriene. Løft i utligger er imidlertid større enn for lengre spenn. Forskjellen mellom første og andre strømvaktaker er dessuten mindre enn for større spennlengder.

**4.3.2 Kontaktkrefter****4.3.2.1 Kraftkurver for simulering med en strømvaktaker for toghastighet 140 og 150 km/t.**

De største kreftene opptrer for lange spennlengder. Det er til sammen 16 tilfeller der maksimale kontaktkrefter overstiger grensen på 150 N. Disse er alle knyttet til simuleringen for toghastighet lik 150 km/t for  $a > 45$  m. Det er ingen tilfeller av kontaktkraft under 20 N.

**Maksimale kontaktkrefter:**•  **$a > 45$  m:**

Maksimale krefter opptrer ved første hengertråd før utligger når toghastigheten er 140 km/t. Når hastigheten økes til 150 km/t opptrer maksimale krefter ved andre og første hengertråd før utligger.

Tabell 4–33 Kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker.  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet	Maks krefter [N]	Typisk verdi for krefter [N]
140 km/t	140	45 - 127
150 km/t	165	40 - 150

•  **$a = 45$  m:**

Når spennlengden er lik 45 m er kontaktkreftene noe mindre enn for lengre spenn, og opptrer like etter utligger.

Tabell 4–34 Kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker.  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet	Maks krefter [N]	Typisk verdi for krefter [N]
140 km/t	120	60 - 115
150 km/t	145	60 - 120

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimale krefter for midtspenn veksling opptrer i områdene mellom tredje og andre hengetråd før utligger og mellom andre og første hengetråd før utligger for toghastighet 140 km/t. For toghastighet 150 km/t er tilsvarende simuleringsresultat ved tredje hengetråd etter utligger og ved andre og første hengetråd før utligger.

Tabell 4–35 Kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker. Midtspenn veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet	Maks krefter [N]	Typisk verdi for krefter [N]
140 km/t	110	60 - 110
150 km/t	140	50 - 135

**Minimum kontaktkrefter:**

Minimum kontaktkrefter for toghastighet 140 km/t finnes mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger for de lengste spennlengdene, ved midterste hengetråd når  $a = 45$  m og ved andre hengetråd etter utligger i midtspenn veksling.

Tilsvarende for hastighet 150 km/t er mellom første hengetråd og andre hengetråd etter utligger samt mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger, midt i spennet og ved andre hengetråd etter utligger samt ved tredje hengetråd før utligger.

Tabell 4–36 Minimum kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet	Min. krefter [N]		
	$a > 45$	$a = 45$	Midtsp. veksling
140 km/t	42	50	55
150 km/t	38	45	50

**Konklusjon:**

Simuleringsresultatene viser utillatelige kontaktkrefter ved kjøring med 150 km/t.

**Harde punkt:**

Ingen spesielle harde punkt er observert mellom utliggerne for simuleringsresultatene.



**Samsvar mellom høye løft og store krefter:**

Det er ikke funnet noen klar trend. Store krefter og store løft opptrer i nærheten av hverandre, men ikke direkte sammenfallende.

**4.3.2.2 Kraftkurver for simulering med to strømvaktaker.**

De største kreftene opptrer i de lengste spennene og for andre strømvaktaker i midtspenn veksling. Det forekommer 18 tilfeller av kontaktkrefter  $\geq 150$  N. Disse fordeler seg på simuleringene for toghastighet 130 km/t med noen på hver av strømvaktakerne for de aller lengste spennlengdene ved kjøring med kort strømvaktakeravstand. For kjøring med lang strømvaktakeravstand forekommer for store kontaktkrefter kun for andre strømvaktaker når  $a \geq 45$  m. Her inntreffer dessuten 8 tilfeller av kontaktkrefter  $\leq 20$  N.

**Maksimale kontaktkrefter:**• **a > 45 m:**

Maksimale krefter for  $a > 45$  m opptrer mellom andre og første hengetråd før utligger ved passering første strømvaktaker og mellom tredje og første hengetråd før utligger ved passering andre strømvaktaker for toghastighet 120 km/t.

Kjøring med kort strømvaktakeravstand i 130 km/t resulterer i maksimale kontaktkrefter like før første hengetråd før utligger for første strømvaktaker. Plasseringen for andre strømvaktaker er mellom tredje og andre hengetråd før utligger.

Kjøring med lang strømvaktakeravstand viste en sammenheng mellom hvor maksimale krefter opptrer og bruk av halv-sikksakk for de aller lengste spennene. Det vil si at når  $a > 56$  m er det krafttopper i tillegg til maksimale kontaktkrefter ved henholdsvis første og andre hengetråd for første og andre strømvaktaker. Disse ekstra toppene opptrer henholdsvis ved tredje hengetråd før utligger og ved de siste tre hengetrådene før utligger.

Tabell 4–37 Maksimale kontaktkrefter når  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktaker)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	120 km/t (kort)	120	50 – 100
	130 km/t (kort)	165	40 – 135
	130 km/t (lang)	145	40 – 135
Strømvaktaker 2	120 km/t (kort)	118	45 – 110
	130 km/t (kort)	158	35 – 140
	130 km/t (lang)	162	20 – 140

- **a = 45 m:**

Plasseringen av maksimale kontaktkrefter opptrer på tilnærmet samme sted for første strømvaktaker i alle tre simuleringene. Disse finnes i området utligger til første hengetråd etter utligger og i tillegg ved første hengetråd før utligger når toghastighet er 130 km/t. Resultatene for andre strømvaktaker varierer noe mer. Toghastighet 120 km/t gir maksimale krefter ved første hengetråd, mellom andre og tredje hengetråd og mellom fjerde og femte hengetråd etter utligger. Toghastighet 130 km/t med henholdsvis kort og lang strømvaktakeravstand gir maksimale kontaktkrefter like etter første hengetråd før utligger og mellom andre og første hengetråd før utligger.

Tabell 4–38 Maksimale kontaktkrefter når a = 45 m.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	120 km/t (kort)	105	50 – 95
	130 km/t (kort)	115	60 – 110
	130 km/t (lang)	125	55 – 120
Strømvaktaker 2	120 km/t (kort)	110	50 – 108
	130 km/t (kort)	135	60 – 120
	130 km/t (lang)	125	60 – 120

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimale krefter for midtspenn veksling opptrer for toghastighet 120 km/t ved tredje hengetråd etter utligger for første strømvaktaker og ved tredje hengetråd før utligger for andre strømvaktaker. Tilsvarende for 130 km/t og kort strømvaktakeravstand er mellom tredje og fjerde hengetråd etter utligger pluss mellom tredje og andre og mellom andre og første hengetråd før utligger for første strømvaktaker og ved tredje hengetråd før og etter utligger for andre strømvaktaker. Lang strømvaktakeravstand resulterte i maksimale kontaktkrefter mellom andre og første hengetråd før utligger og ved tredje strømvaktaker før utligger for henholdsvis første og andre strømvaktaker.



Tabell 4–39 Maksimale kontaktkrefter for midterste spenn i veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktaker)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	120 km/t (kort)	105	55 – 100
	130 km/t (kort)	112	60 – 110
	130 km/t (lang)	115	60 – 105
Strømvaktaker 2	120 km/t (kort)	130	40 – 120
	130 km/t (kort)	125	40 – 120
	130 km/t (lang)	147	55 – 120

- **Minimale kontaktkrefter:**

Minimum for kontaktkrefters plassering varierer en del med spennlengden. Kjøring med toghastighet 120 km/t ga minimum kontaktkrefter ved andre hengetråd etter utligger når  $a > 56$  m første strømvaktaker og når  $56 \text{ m} \geq a > 45$  m for andre strømvaktaker. Øvrige resultat for  $a > 45$  m ga minimum krefter ved utliggerne for første strømvaktaker og mellom andre og tredje hengetråd etter utligger for andre strømvaktaker. Spennlengde lik 45 m resulterte i kraftminimum ved første og tredje hengetråd etter utligger for første strømvaktaker og ved første hengetråd etter og andre hengetråd før utligger for den andre. Tilsvarende for midtspenn veksling ble ved fjerde hengetråd etter utligger og ved andre hengetråd før og etter utligger.

Simuleringene for toghastighet 130 km/t ga samme plassering av kraftminimum for første strømvaktaker på begge simuleringene. Det samme gjelder andre strømvaktaker når  $a > 45$  m. Resultatene, første strømvaktaker, ble for de fire spennlengdekategoriene: mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger; ; mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger pluss mellom andre og tredje hengetråd etter utligger; ved første hengetråd etter utligger pluss mellom tredje og andre hengetråd før utligger og til slutt mellom første og andre hengetråd etter utligger. De kategoriene med lengst spennlengder ga minimum krefter ved tredje hengetråd etter utligger og ved andre hengetråd etter utligger for andre strømvaktaker.  $a = 45$  m og midtspenn veksling resulterte i minimum krefter ved midterste hengetråd for andre strømvaktaker når det ble benyttet lang strømvaktakeravstand. Kort avstand ga minimumspunkt ved første hengetråd etter og andre hengetråd før utligger for  $a = 45$  m og ved andre og fjerde hengetråd etter utligger for midtspenn veksling.

Tabell 4–40 Minimale kontaktkrefter. Standardforbedret tabell 54 med nedheng.

Hastighet	1. strømvaktaker [N]			2. strømvaktaker [N]		
	$a > 45\text{m}$	$a = 45 \text{ m}$	Midtspenn	$a > 45\text{m}$	$a = 45 \text{ m}$	Midtspenn
120 km/t (kort)	42	40	50	38	45	39
130 km/t (kort)	35	50	45	25	53	38
130 km/t (lang)	35	53	43	2	50	40

### Konklusjon:

Kontaktkrefter representerer ikke hastighetsbegrensing for kjøring i 120 km/t. Kontaktkreftene ved toghastighet 130 km/t er ikke innenfor kravene for akseptabel hastighet.

### Harde punkt:

Ingen spesielle harde punkt er observert mellom utliggerne for simuleringsresultatene.

### Samsvar mellom høye løft og store krefter:

Høye løft og store krefter er ikke direkte sammenfallende med opptrer nært hverandre.

## 4.4 Tabell 54 med 4 cm oppstrekk.

Prøvestrekningens trasé hadde kurveradius fra rettlinje ned mot 435 m. Spennlengden varierte fra 60 til 45 m.

Med bakgrunn i kurveform er det valgt å dele analysen av simuleringsresultatene inn i fire kategorier:

1. Spennlengde  $a > 56$  m.
2. Spennlengde  $56 \text{ m} > a > 45$  m.
3. Spennlengde  $a = 45$  m.
4. Midterste spenn i veksling.

Kategori 1 og 2 framstilles samlet. Analysen av simuleringsresultatene er videre skilt på hvorvidt det benyttes en eller to strømvaktaker.

### 4.4.1 Løft i kontakttråd.

Simuleringsresultatene viser løft for tre forskjellige punkt på strømvaktakerne; kontaktpunkt mellom slepekull og kontakttråd (YFH\_MAX), ramme (YS) og ubelastet ende det vil si høyeste punkt på strømvaktakeren (YSL\_MAX). Referanselinjen for løft trekkes mellom kontakttrådens festepunkt i utliggerne for hvert spenn.

De korteste spennlengdene  $a = 45$  m, skiller seg fra de øvrige ved at amplituden for variasjonene i løft er merkbart lavere enn for de andre spennlengdene.

#### 4.4.1.1 Løft for kjøring med en strømvaktaker for toghastighet 140 og 150 km/t.

##### Maksimalt løft:

- **$a > 45$  m:**

Simuleringsresultatene viser at når spennlengden er over 45 m forekommer maksimum løft i samme område for kontaktpunkt og ubelastet ende av strømvaktaker. Tilsvarende maksimum for ramme forskjøvet om lag en halv avstand mellom hengetrådene mot siste utligger i spennet.

Maksimum løft for 140 km/t opptrer mellom tredje og andre hengetråd før utligger for kontaktpunkt og ubelastet ende av strømvaktaker, mens tilsvarende for ramme er ved andre hengetråd før utligger. Maksimum løft for 150 km/t er henholdsvis ved tredje hengetråd før utligger og mellom tredje og andre hengetråd før utligger.



Tabell 4–41 Maksimalt løft for kjøring med en strømvaktaker.  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	15 – 16,5	14 – 16	14,5 – 15,5	14 – 15
Ramme	18 – 20,5	17 – 19	18 – 19,5	17,5 – 18
Ubelastet ende	17 – 19	15 – 17	16 – 18	14 – 17

Tabell 4–42 Maksimalt løft i utligger for kjøring med en strømvaktaker.  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	6	5 - 6	7	5 - 7
Ramme	11	9,5- 11	12	10 - 12
Ubelastet ende	11	8 - 11	12	9 - 12

- **a = 45 m:**

Når spennlengden er 45 m opptrer maksimum løft i området ved andre hengertråd før utligger for 140 km/t og i området fra andre til siste hengertråd før utligger i for 150 km/t.

Tabell 4–43 Maksimalt løft for kjøring med en strømvaktaker.  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	9,5	8,5	10	9
Ramme	12,5	12	14	13
Ubelastet ende	11	10,5	16,5	11,5

Tabell 4–44 Maksimalt løft i utligger for kjøring med en strømvaktaker.  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	7	5,5	7,5	6 – 6,5
Ramme	11	10	11,5	10 – 11
Ubelastet ende	11	9,5	11	9 – 10

- **Veksling, midtspenn:**

I vekslingens midtspenn opptrer maksimum løft i området fra og med andre hengetråd før til siste utligger i spennet for alle tilfeller.

Tabell 4–45 Maksimalt løft for kjøring med en strømvaktaker. Midtspenn veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	10	-	9,5	-
Ramme	12,8	-	12,2	-
Ubelastet ende	12	-	11	-

Tabell 4–46 Maksimalt løft i utligger for kjøring med en strømvaktaker.  
Midtspenn veksling. Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	140 km/t		150 km/t	
	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]	Maks løft [cm]	Typisk verdi maks løft [cm]
Kontaktpunkt	7	-	8,5	-
Ramme	9,5	-	11	-
Ubelastet ende	9	-	10,5	-

### Minimum løft:

Minimum løft inntreffer i området mellom første utligger i spennet og andre hengetråd etter denne for alle tilfeller. I tillegg til dette har kurven for midtspenn veksling et ekstra punkt med lavt løft ved tredje hengetråd etter utligger for 150 km/t.

**Konklusjon:**

Som forventet ble de høyeste verdiene for løft funnet i de lengste spennene og i veksling. Ved å sammenligne resultatene av alle simuleringene for systemet, ble maksimum løft bestemt til 16,5 cm, 20,5 cm og 19 cm for henholdsvis kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende av strømvaktaker (avlest verdi). Disse resultatene framkom for ved simulering for toghastighet 140 km/t. Det ble ikke registrert noe løft i utligger på over 12 cm i noe målepunkt. Da løft i utligger for kontaktpunkt var godt innenfor grensen på 11 cm regnes løft i utligger ikke som kritisk. Løft representerer ikke hastighetsbegrensning for kontaktledningssystemet innenfor det simulerte hastighetsområdet.

**4.4.1.2 Løft for kjøring med to strømvaktakere.****Maksimalt løft:**• **a > 45 m:**

Maksimum løft opptrer tilnærmet samtidig for kontaktpunkt, ramme og ubelastet ende av strømvaktaker. Det vil derfor ikke bli skilt på målepunkter her.

For toghastighet 110 km/t og 120 km/t inntreffer maksimalt løft mellom fjerde og tredje hengetråd før utligger. Unntatt for andre strømvaktaker når  $a > 56$  m, da er maksimalt løft innen området ved fjerde hengetråd etter utligger. Resultatene fra simuleringene med toghastighet 130 km/t viser noe av det samme mønsteret. Maksimalt løft inntreffer innenfor området tredje hengetråd før utligger pluss halve avstanden til foregående og påfølgende hengetråd. Unntaket er her for andre strømvaktaker når  $56 \text{ m} > a > 45 \text{ m}$ .

Tabell 4–47 Maksimalt løft når  $a > 45$  m. Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
<b>110 km/t</b> (lang)	17	21	20	14 - 16,5	17 - 20	15 - 19
<b>120 km/t</b> (lang)	19	22	22	13 - 19	15 - 22	14 - 21
<b>130 km/t</b> (kort)	23,5	27,5	25,5	15 - 23	18,5 - 27	16 - 25
<b>130 km/t</b> (lang)	23	26,5	25,5	15 - 23	17 - 26	15 - 25



Tabell 4–48 Maksimale løft i utligger når  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
110 km/t (lang)	3	7	7	2 - 3	5 - 7	5 - 7
120 km/t (lang)	5	8	8	2 - 5	6 - 8	5 - 8
130 km/t (kort)	7	12	11	2 - 7	8 - 12	6 - 11
130 km/t (lang)	7,5	12	12	1,5 - 7,5	6 - 12	6 - 12

- **a = 45 m:**

Maksimale løft når toghastigheten er 110 km/t med lang strømvaktakeravstand, er henholdsvis ved andre hengertråd før utligger og ved tredje hengertråd etter utligger for første og andre strømvaktaker.

For de øvrige simuleringene inntreffer maksimale løft mellom andre og første hengertråd før utligger. Som for de lengste spennlengdene er det også her unntak. Det gjelder for andre strømvaktaker når toghastighet er 130 km/t. Når det benyttes kort og lang strømvaktakeravstand opptrer maksimale løft for disse tilfellene mellom andre og tredje hengertråd etter utligger ( i tillegg til en topp på samme sted som for første strømvaktaker) og ved fjerde hengertråd etter utligger.

Tabell 4–49 Maksimale løft når  $a = 45$  m. Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
110 km/t (lang)	14	17	16	11,5 - 13	14 - 17	13 - 14
120 km/t (lang)	15	20,5	18	12 - 14	15 - 17	12 - 15
130 km/t (kort)	12,5	16	13	9 - 10,5	13	9 - 12
130 km/t (lang)	12	14	12	8 - 9	11	10 - 11

Tabell 4–50 Maksimalt løft i utligger når a = 45 m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
110 km/t (lang)	5	7	6	2 - 3	6 - 7	5,5 - 6
120 km/t (lang)	5	10	9,5	5	10	9 - 9,5
130 km/t (kort)	6	10	10	5 - 6	9 -10	9 -10
130 km/t (lang)	7	11	10	6,5 - 7	11	10

- **Veksling, midtspenn:**

Hvor maksimalt løft opptrer for de to laveste toghastighetene er litt varierende. For hastighet 110 km/t er maksimalpunktene ved fjerde hengeråd etter utligger for første strømvaktaker, og mellom tredje og andre hengeråd for den andre strømvaktakeren. Økes hastigheten til 120 km/t opptrer maksimalpunktene mellom fjerde og tredje hengeråd før utligger og ved tredje og fjerde hengeråd etter utligger.

De to siste simuleringene gir maksimalt løft i området mellom tredje hengeråd før utligger og nærmeste hengeråd før og etter for første strømvaktaker. Andre strømvaktaker har maksimalt løft ved tredje hengeråd før utligger.

Tabell 4–51 Maksimalt løft for midterste spenn i veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
110 km/t (lang)	8,3	12	14,5	7 - 8,3	9,5 - 12	9 - 14,5
120 km/t (lang)	9	12	11	8,5 - 9	10 - 12	9 - 10
130 km/t (kort)	12	15	13,5	9,5 -12	12 - 15	10 - 13,5
130 km/t (lang)	11,5	14,2	13,5	10 -11,5	13 - 14,2	12 - 13,5

Tabell 4–52 Maksimalt løft i utligger for midterste spenn i veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Maks løft [cm]			Typisk verdi for maks løft [cm]		
	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende	Kontakt-punkt	Ramme	Ubelastet ende
110 km/t (lang)	5,5	8,5	8	5 - 5,5	8 - 8,5	8
120 km/t (lang)	5,5	8,5	8	5 - 5,5	8 - 8,5	8
130 km/t (kort)	6,5	9,5	9	5 - 6,5	8 - 9,5	8 - 9
130 km/t (lang)	7	9,8	9	5 - 7	8 - 9,5	8 - 9

### Konklusjon:

Løft i utligger for kontaktpunktet er ikke hastighetsbegrensende for noen av simuleringene. Høyeste avleste verdi er 7,5 cm.

Når det gjelder forskjellen på kjøring med kort (63,4 m) og lang (108,48 m) strømvaktakeravstand viser analysen av maksimalt løft følgende:

- \* Lang avstand fører til noe høyere maksimalverdi for løft i utligger, ca. 0 – 0,5 cm høyere.
- \* Kort avstand gir generelt noe høyere maksimalverdi for løft. Variasjonene er i størrelsesorden 0 – 1 cm.

## 4.4.2 Kontaktkrefter

### 4.4.2.1 Kraftkurver for simulering med en strømvaktaker for toghastighet 140 og 150 km/t.

De største kreftene opptrer for lange spennlengder. Det er til sammen 25 tilfeller der maksimal kontaktkrefter overstiger grensen på 150 N. Disse er alle knyttet til simuleringen for toghastighet lik 150 km/t for  $a > 45$  m. Det er ingen tilfeller av kontaktkraft under 20 N.

### Maksimale kontaktkrefter:

- **a > 45 m:**

Maksimale krefter opptrer som regel i området rundt andre hengestrå før utligger når  $a > 45$  m. Det er dessuten krafttopp i området rundt fjerde hengestrå før utligger for hastighet 150 km/t.



Tabell 4–53 Kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker.  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet	Maks krefter [N]	Typisk verdi for krefter [N]
140 km/t	130 - 140	45 - 125
150 km/t	165 - 180	50 - 140

- **a = 45 m:**

Når spennlengden er lik 45 m finnes store kontaktkrefter som for lengre spenn, men også i tilknytning til utliggerne.

Tabell 4–54 Kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker.  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet	Maks krefter [N]	Typisk verdi for krefter [N]
140 km/t	125	55 - 120
150 km/t	135	55 - 125

- **Veksling, midtspenn:**

Maksimale krefter for midtspenn veksling opptrer i områdene ved andre hengestråd før og etter utligger.

Tabell 4–55 Kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker. Midtspenn veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet	Maks krefter [N]	Typisk verdi for krefter [N]
140 km/t	120	55 - 115
150 km/t	142	50 - 140

### Minimum kontaktkrefter:

Minimum for kontaktkrefter finnes for alle tilfeller, unntatt for midtspenn veksling, i området fra første hengestråd til og med andre hengestråd etter utligger. I midtspenn veksling opptrer minimum kontaktkrefter i tilknytning til andre, tredje og fjerde hengestråd etter utligger for 140 km/t og ved tredje hengestråd før utligger for 150 km/t.

Tabell 4–56 Minimum kontaktkrefter for kjøring med en strømvaktaker.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet	Min. krefter [N]		
	$a > 45$	$a = 45$	Midtsp. veksling
140 km/t	39 - 41	39	40
150 km/t	23 - 30	40	38

### **Konklusjon:**

Simuleringsresultatene viser utillatelige kontaktkrefter ved kjøring med 150 km/t.

### **Harde punkt:**

Ingen spesielle harde punkt er observert mellom utliggerne for simuleringsresultatene.

### **Samsvar mellom høye løft og store krefter:**

Det er ikke funnet noen klar trend. Store krefter og store løft opptrer i nærheten av hverandre, men ikke direkte sammenfallende.

#### ***4.4.2.2 Kraftkurver for simulering med to strømvaktaker.***

De største kreftene opptrer nesten utelukkende for andre strømvaktaker. Betraktes resultatene for de to laveste toghastighetene opptrer krefter større eller lik 150 N når spennlengden er  $56 \text{ m} > a \geq 45 \text{ m}$ . For simuleringen med toghastighet 130 km/t forekommer 80 – 90 % av tilfellene der kontaktkreftene er for høye ved spennlengder over 45 m.

Situasjonen for lave kontaktkrefter er tilsvarende. I all hovedsak forekommer kontaktkrefter mindre enn 20 N ved andre strømvaktaker. For de laveste simulerte toghastighetene opptrer disse henholdsvis når  $56 \text{ m} > a > 45 \text{ m}$  og når  $56 \text{ m} > a \geq 45 \text{ m}$  samt et tilfelle i veksling. Betraktes toghastighet 130 km/t forekommer om lag 80 % av tilfellene for  $F \leq 20 \text{ N}$  når  $a > 45 \text{ m}$ .

Totalt forekommer 87 tilfeller av  $F \geq 150 \text{ N}$  og 45 tilfeller av  $F \leq 20 \text{ N}$ . Tilfellene er fordelt på alle simuleringene, men hovedtyngden er på den høyeste toghastigheten.

### **Maksimale kontaktkrefter:**

- **a > 45 m:**

Maksimale krefter opptrer i området fjerde til første hengestråle før utligger for første strømvaktaker når  $a > 56 \text{ m}$  og toghastigheten er 110 km/t og 120 km/t. Det samme gjelder for begge strømvaktakerne når hastigheten er 130 km/t. Og  $a > 45 \text{ m}$ . De resterende tilfellene for toghastighet 110 km/t har et maksimalpunkt ca. ved andre hengestråle etter utligger og et punkt mellom fjerde og tredje hengestråle før utligger. For de lengste spennene,  $a > 56 \text{ m}$ , når hastigheten er 120 km/t opptrer maksimale krefter på andre strømvaktaker som sistnevnte.

Maksimale kontaktkrefter når  $56 \text{ m} \geq a > 45 \text{ m}$  og toghastighet 120 km/t er mellom første og andre hengestråle etter utligger pluss i området ved tredje hengestråle før utligger og ved tredje hengestråle etter utligger pluss mellom tredje og andre hengestråle før utligger for henholdsvis første og andre strømvaktaker.

Tabell 4–57 Maksimale kontaktkrefter når  $a > 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktakere)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	110 km/t (lang)	135	55 – 115
	120 km/t (lang)	140	45 – 120
	130 km/t (kort)	148	30 – 130
	130 km/t (lang)	150	50 – 130
Strømvaktaker 2	110 km/t (lang)	190	40 – 145
	120 km/t (lang)	148	40 – 130
	130 km/t (kort)	185	35 – 150
	130 km/t (lang)	195	10 – 150

- **a = 45 m:**

Når spennlengden er 45 m finnes maksimale krefter mellom andre og tredje hengetråd etter utligger for første strømvaktaker og ved siste hengetråd før utligger for begge strømvaktakere ved toghastighet 110 km/t. Toghastighet 120 km/t gir maksimale krefter i området utligger til første hengetråd etter og mellom tredje og andre hengetråd før utligger for begge strømvaktakere. Tilsvarende for 130 km/t med kort strømvaktakeravstand blir ved siste hengetråd før utligger, første strømvaktaker har dessuten et maksimumspunkt like etter første utligger i spennet.

I den siste simuleringen opptrer maksimale krefter for første strømvaktaker som for foregående simulering. Andre strømvaktaker har sine maksimale kontaktkrefter ved første og andre hengetråd etter utligger pluss ved andre hengetråd før utligger og like før utligger når det skifter til ny spennlengde.



Tabell 4–58 Maksimale kontaktkrefter når  $a = 45$  m.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktaker)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	110 km/t (lang)	145	40 – 120
	120 km/t (lang)	135	35 – 145
	130 km/t (kort)	125	60 – 120
	130 km/t (lang)	130	55 – 120
Strømvaktaker 2	110 km/t (lang)	165	40 – 120
	120 km/t (lang)	151	30 – 145
	130 km/t (kort)	155	45 – 125
	130 km/t (lang)	130	50 - 120

- **Veksling, midtspenn:**

Gjennomgående for begge strømvaktaker og alle simulerte toghastigheter er en krafttopp ved tredje hengetråd etter utligger. Med unntak av andre strømvaktaker når hastighet er 130 km/t og det benyttes lang strømvaktakeravstand, er det en krafttopp i tillegg. Denne opptrer i de fleste tilfeller i området ved tredje hengetråd før utligger.

Tabell 4–59 Maksimale kontaktkrefter for midterste spenn i veksling.  
Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

	Hastighet (Avstand mellom strømvaktaker)	Max kraft [N]	Typiske verdier for krefter [N]
Strømvaktaker 1	110 km/t (lang)	115	50 – 110
	120 km/t (lang)	130	48 – 110
	130 km/t (kort)	125	60 – 110
	130 km/t (lang)	132	50 – 130
Strømvaktaker 2	110 km/t (lang)	130	40 – 120
	120 km/t (lang)	110	50 – 105
	130 km/t (kort)	125	45 – 120
	130 km/t (lang)	130	42 - 125

- **Minimale kontaktkrefter:**

Minimum for kontaktkrefter finne generelt i området første til tredje hengetråd etter utligger. Hovedtyngden av minimumspunktene er knyttet til andre hengetråd etter utligger. Nøyaktig plassering varierer med strømvaktaker (en eller to), spennlengde og hastighet.

Tabell 4–60 Minimale kontaktkrefter. Standardforbedret tabell 54 med oppstrekk.

Hastighet	1. strømvaktaker [N]			2. strømvaktaker [N]		
	a > 45m	a = 45 m	Midtspenn	a > 45m	a = 45 m	Midtspenn
110 km/t (lang)	38	30	35	25	30	25
120 km/t (lang)	18	20	44	17	24	45
130 km/t (kort)	41	41	53	-8	18	45
130 km/t (lang)	15	55	42	-5	25	35

**Konklusjon:**

Kravet for tillatelige kontaktkrefter brytes i alle simuleringene.

**Harde punkt:**

Ingen spesielle harde punkt er observert mellom utliggerne for simuleringresultatene.

**Samsvar mellom høye løft og store krefter:**

Høye løft og store krefter opptrer nært hverandre, men ikke direkte sammenfallende.



## 5. KONKLUSJON

Grunnlaget for de konklusjoner som er trukket er simuleringsresultatene for kontaktkrefter og løft av kontaktråd ved passering av strømvaktaker. Kontaktkreftene er definert som kreftene mellom strømvaktakeren (slepekullet) og kontaktråden. Grenseverdiene som er satt for disse kreftene er at kontaktkraften skal være mellom 20 N og 150 N. Dersom kontaktkraften fraviker verdiene i dette intervallet blir strømvaktakingen dårlig og det oppstår lysbuer. Løft i kontaktråd er mest kritisk i utligger. Dersom for store løft oppstår kan dette medføre at strømvaktaker slår bort i utligger og forårsaker ødeleggelser på strømvaktakers slepekull. Kjøring med skadete strømvaktaker kan forårsake følgeskader på kontaktledningsanlegget blant annet neddriving. Maksimalt tillatt løft i utligger er fastsatt til 11 cm.

Resultatene fra simuleringene sammenlignes i tillegg med en tabell for tillatelig toghastighet fra oppdragsgiver se Tabell 8–5. Tabellen gir tillatelig toghastighet for henholdsvis vanlige tog og krengetog relatert til kurveradius. De gitte hastighetene antas å være teoretiske gitt for spor uten å ta hensyn til kontaktledningsanlegget. Krengetog kan i følge denne tabellen kjøre 25 % hurtigere enn vanlige tog ved samme kurveradius.

Dersom konklusjonene fra denne rapporten benyttes til å fastsette tillatt maksimalhastighet for kjøring på kontaktledningssystem Tabell 54 med standardforbedring etter Skaugstadmetoden, bør resultatene for simulering med nedheng og oppstrekk vurderes mot hverandre. Det må også tas i betraktning tilstanden på anlegget som vurderes [1].

### 5.1 System 35 MS, kurverik

Denne prøvestrekningen er simulert kun for kjøring med to strømvaktaker.

Prøvestrekningen inneholder traséavsnitt med kurveradius på henholdsvis 281 m, 292 m, 364 m, 439 m og 481 m i tillegg til traséavsnitt med rett linje.

I følge tabellen er tillatelig hastighet med krengetog henholdsvis 89 km/t, 103 km/t og 115 km/t, for traséavsnitt med kurveradius mellom 250 m og 300 m, 300 m og 400 m og mellom 400 m og 500 m.

Dersom prøvestrekningen ses under ett bør hastigheten begrenses til 90 km/t som maksimal hastighet grunnet kontaktkreftene som oppstår. Ved å dele opp strekningen ytterligere vil det under forutsetning av at kurveradien  $R \geq 400$  m og spennlengden  $49 \geq a \geq 45$  m, være mulig å benytte 110 km/t som maksimal hastighet. Denne simuleringen gir ikke svar på hvilken hastighet som er øvre grense for de rettlinjede traséavsnittene.

Løft av kontaktråd i utligger for kontaktpunktet mellom strømvaktaker og kontaktråd representerer ikke noe problem i noen av de foretatte simuleringene for dette systemet.

### 5.2 System 35, rettlinje

Denne prøvestrekningen er simulert for kjøring med to strømvaktaker, samt en simulering for kjøring med en strømvaktaker.

Prøvestrekningen inneholder et traséavsnitt med kurveradius 1660 m. Denne delen av strekningen inklusive overgangskurvene i begge ender utgjør om lag 150 m.

Tabellen over teoretisk tillatelig hastighet med krengetog er lite relevant som sammenligningsgrunnlag for denne prøvestrekningen. Den angir krengetogshastighet  $> 200$  km/t.

Simuleringen viste en viss sammenheng mellom endringer i kurvatur, løft og kontaktkrefter. Sammenhengen mellom løft og endring i kurvatur kom klarest til uttrykk ved de to laveste toghastighetene samt ved kjøring med en strømvaktaker. For kontaktkrefter kom tilsvarende sammenheng klarest til uttrykk ved kjøring med kort strømvaktakeravstand. De påviste trendene for sammenheng mellom endringer i kurvatur, løft og kontaktkrefter var ikke så klare at det kan basert på dem trekkes noen sikker konklusjon hvorvidt endring i kurvatur representerer spesielle problemer for systemet.

En samlet vurdering av prøvestrekningen indikerer at ingen av de simulerte tilfellene er akseptable for trafikkering. Dette gjelder både for kjøring med en og to strømvaktakere. Kjøring i  $140$  km/t med lang strømvaktakeravstand er kun marginalt ( $< 5$  N) innenfor de satte grenseverdier for kontaktkrefter og maksimalt løft i utligger løft er lik grenseverdien. Trafikkering med denne hastigheten anbefales derfor ikke.

Hastighetsbegrensingen skyldes både kontaktkrefter og løft av kontakttråd i utligger for kontaktpunktet mellom strømvaktaker og kontakttråd.

Det bør imidlertid legges til at prøvestrekningen er ombygd fra Tabell 54 uten å bytte utligger og hengertråder. Resultater fra simulering av et "rent" System 35 anlegg vil muligens skille seg noe fra de resultatene som er vist her.

### 5.3 Tabell 54, nedheng

Denne prøvestrekningen er simulert for kjøring med både en og to strømvaktakere.

Prøvestrekningen inneholder traséavsnitt med kurveradius på henholdsvis  $439$  m,  $671$  m,  $794$  m og  $1064$  m i tillegg til traséavsnitt med rett linje. I følge Tabell 8–5 er tillatelig hastighet med krengetog henholdsvis  $103$  km/t,  $126$  km/t,  $136$  km/t og  $162$  km/t for traséavsnittene med kurvatur.

Simuleringen viser at for kjøring med en strømvaktaker er  $140$  km/t øvre tillatelige hastighet for hele prøvestrekningen. Dersom hastigheten økes til  $150$  km/t overskrides grenseverdien satt for kontaktkrefter. Dersom  $a = 45$  m og  $R = 439$  m er også kjøring med en strømvaktaker innenfor grenseverdiene for maksimale kontaktkrefter når toghastigheten er  $150$  km/t. Marginen er knapp, ca.  $5$  N, derfor bør det vurderes nærmere om det er heldig å tillate høyere hastighet for dette traséavsnittet.

Kjøring på anlegg av type "Tabell 54 med nedheng" med to strømvaktakere anses å gi de størst utslag på løft og kontaktkrefter ved kort ( $63,4$  m) strømvaktakeravstand. Simuleringene viser således at høyeste toghastighet som kan tillates er  $120$  km/t.  $130$  km/t gir både for store og for små kontaktkrefter i forhold til de satte grenseverdiene på  $150$  N og  $20$  N. Dersom  $a = 45$  m og  $R = 439$  m er også kjøring med to strømvaktakere innenfor grenseverdiene for maksimale kontaktkrefter når toghastigheten er  $130$  km/t.

Løft av kontakttråd i utligger for kontaktpunktet mellom strømvaktaker og kontakttråd representerer ikke noe problem i noen av de foretatte simuleringene for dette systemet.



## 5.4 Tabell 54, oppstrekk

Denne prøvestrekningen er simulert for kjøring med både en og to strømvaktakere.

Prøvestrekningen inneholder traséavsnitt med kurveradius på henholdsvis 439 m, 671 m, 794 m og 1064 m i tillegg til traséavsnitt med rett linje. I følge Tabell 8–5 er tillatelig hastighet med krengetog henholdsvis 103 km/t, 126 km/t, 136 km/t og 162 km/t for disse traséavsnittene.

Simuleringen viser at for kjøring med en strømvaktaker er 140 km/t øvre tillatelige hastighet for hele prøvestrekningen. Dersom hastigheten økes til 150 km/t overskrides grenseverdien satt for kontaktkrefter. Så langt  $a = 45$  m og  $R = 439$  m er også kjøring med en strømvaktaker innenfor grenseverdiene for maksimale kontaktkrefter når toghastigheten er 150 km/t.

Kjøring med to strømvaktakere på anlegg av type "Tabell 54 med oppstrekk" gir utilletelige kontaktkrefter for alle simulerte hastigheter. Tillatt hastighet blir dermed å finne under 110 km/t, hvor hastighetsgrensen opptrer er ikke avklart.

Løft av kontakttråd i utligger for kontaktpunktet mellom strømvaktaker og kontakttråd representerer ikke noe problem i noen av de foretatte simuleringene for dette systemet.



## 6. VIDERE ARBEID

Det bør utføres målevognkjøring for de aktuelle prøvestrekningene slik at nøyaktigheten på simuleringsresultatene kan verifiseres ved å sammenligne dem med måleresultat.

## 7. REFERANSER

- [1] "Kartlegging av oppstrekk og lave/høye kontaktledningspunkter på Dovrebanen", Jernbaneverket Ingeniørtjenesten, desember 1998.
- [2] "Utredning: Årsaker og tiltak i forbindelse med oppstrekk i kl-anlegget på Dovrebanen.", Jernbaneverket Ingeniørtjenesten, januar 1998.
- [3] "Systematic Development of a High-speed Overhead Contact Line", Dr.-Ing Klaus Becker, Dr. Andreas König, Dipl.-Ing. Uwe Resch and Dr.-Ing. Bernd-Wolfgang Zweig, Railway Technical Review No. 3-4/1995

## 8. VEDLEGG

### 8.1 Oppsummering simuleringresultat.

Tabellene i kapittel 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3 og 8.1.4 i dette vedlegget er ment som en oppsummering av resultatene og konklusjonene i kapittel 4 og 5. Grenseverdiene som er lagt til grunn maksimalt løft i utligger på 11 cm, største tillatte kontaktkraft 150 N og minste tillatte kontaktkraft 20 N. Negative kontaktkrefter betyr at strømvaktakeren har mistet kontakten med kontaktråden, det vil si fraslag.

Verdiene som er skrevet i **fet kursiv** er lest av kurvene, de øvrige verdiene er hentet fra simuleringens statistikk. De fire første linjene i tabellen presenterer resultatene for kontaktkrefter i kontaktpunktet mellom slepekull og kontaktråd. De fire neste tilsvarer den verdien som kan leses av ved målevognkjøring. Det er disse verdiene som har blitt benyttet ved vurdering av kontaktkrefter i denne rapporten. Linje ni til og med elleve viser maksimalt løft i utligger for de ulike "målepunktene" i simuleringen. Den mest kritiske av disse er kontaktpunkt, som representerer punktet der slepekullet berører kontaktråden.

Nederst i hver tabell er hastigheten vurdert ved hjelp av kategoriene "Akseptabel", "Anbefales ikke" og "Uakseptabel". Kritiske verdier for denne vurderingen er markert med skravering eller grå bakgrunnsfarge. For at en toghastighet skal komme i kategorien "Akseptabel" må kontaktkreftene for simuleringen være innenfor grenseverdiene med ca. 5 N og maksimalt løft i utligger være  $\leq 11$  cm. Vurderingen gjelder prøvestrekningen sett under ett.



### 8.1.1 Kurverik "System 35 MS"

Tabell 8-1 Oppsummering.

Parameter	90 km/t		100 km/t		110 km/t	
	Avstand mellom strømv. 108,48 m		Avstand mellom strømv. 63,4 m		Avstand mellom strømv. 108,48 m	
	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	69,40	70,78	70,22	71,31	74,33	76,34
Max kontaktkraft [N]	103,82	128,38	122,29	145,92	133,61	163,74
Min. kontaktkraft [N]	35,53	10,87	28,46	6,91	31,53	24,65
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %	0 %	0,313 %	0 %	0 %
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	69,40	70,78	70,23	71,31	74,34	76,35
Max kontaktkraft for måling [N]	104,40	145,06	122,77	148,24	130,05	150,59
Min. kontaktkraft for måling [N]	37,80	30,26	31,54	21,07	40,07	27,25
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Max løft ved utligger strømvaktar – kontaktpunkt [cm]	4,5	4	4,5	4	5	5
Max løft ved utligger strømvaktar – ramme [cm]	7	8,2	7	6,5	7,5	7,4
Max løft ved utligger strømvaktar – ubelastet ende [cm]	6,8	6,5	7,5	7	6	7
Merknader	Maks hastighet for prøvestrekningen sett under ett. Ellers for traséavsnittene der $a < 45$ m og $R < 400$ m.		Marginalt under grenseverdien for maks krefter ved korte spennlengder.		Maks hastighet for traséavsnittene der $R \geq 400$ m og $49\text{ m} \geq a \geq 45$ m.	
Vurdering	<b>Akseptabel</b>		<b>Anbefales ikke.</b>		<b>Uakseptabel</b>	

### 8.1.2 Rettlinje "System 35"

NB! Anlegget er ombygget fra Tabell 54 uten å skifte utliggere og hengertråder.

Tabell 8-2 Oppsummering.

Parameter	130 km/t		130 km/t		140 km/t	
	Avstand mellom strømv. 63,4 m		Avstand mellom strømv. 108,48 m		Avstand mellom strømv. 63,4 m	
	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	81,93	82,54	81,85	82,50	81,96	82,74
Max kontaktkraft [N]	131,25	157,96	159,48	159,84	138,99	145,48
Min. kontaktkraft [N]	28,10	4,36	15,90	14,98	29,35	15,64
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,174%	0,067 %	0,026 %	0 %	0,076%
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	81,96	82,56	81,86	82,51	81,96	82,77
Max kontaktkraft for måling [N]	137,97	160,02	142,48	149,52	130,97	136,81
Min. kontaktkraft for måling [N]	32,43	17,73	3,55	25,75	36,04	22,86
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,026 %	0,082 %	0 %	0 %	0 %
Max løft ved utligger strømvaktar – kontaktpunkt [cm]	<b>10,2</b>	<b>11,5</b>	<b>11</b>	<b>11,5</b>	<b>12</b>	<b>11,8</b>
Max løft ved utligger strømvaktar – ramme [cm]	<b>11,8</b>	<b>13,3</b>	<b>12,5</b>	<b>13,5</b>	<b>14,8</b>	<b>14</b>
Max løft ved utligger strømvaktar – ubelastet ende [cm]	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14,5</b>	<b>14,5</b>	<b>15++</b>	<b>15</b>
Merknader						
Vurdering	<b>Uakseptabel</b>		<b>Uakseptabel</b>		<b>Uakseptabel</b>	

Parameter	140 km/t		150 km/t		160 km/t	
	Avstand mellom strømvakt. 108,48 m		Avstand mellom strømvakt. 108,48 m		Avstand mellom strømvakt. 63,4 m	
	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	81,72	82,36	87,26	87,20	92,72	92,88
Max kontaktkraft [N]	125,60	152,26	149,25	175,83	250,65	212,04
Min. kontaktkraft [N]	32,01	12,67	24,16	11,92	0	4,13
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,135 %	0 %	0,102 %	0,426 %	0,332 %
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	81,74	82,37	87,27	87,20	92,73	92,89
Max kontaktkraft for måling [N]	126,21	146,49	142,72	152,51	212,88	183,17
Min. kontaktkraft for måling [N]	39,97	36,21	26,28	31,19	-16,62	9,69
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %	0 %	0 %	0,289 %	0,119 %
Max løft ved utligger strømvaktaker – kontaktpunkt [cm]	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>10,5</b>	<b>14,8</b>	<b>14</b>
Max løft ved utligger strømvaktaker – ramme [cm]	<b>13</b>	<b>12,5</b>	<b>12</b>	<b>11,5</b>	<b>16,8</b>	<b>15,5</b>
Max løft ved utligger strømvaktaker – ubelastet ende [cm]	<b>13,5</b>	<b>12,5</b>	<b>13</b>	<b>12,5</b>	<b>15++</b>	<b>15++</b>
Merknader						
Vurdering	<b>Anbefales ikke</b>		<b>Uakseptabel</b>		<b>Uakseptabel</b>	



Parameter	160 km/t		160 km/t
	1. str.avt.	2. str.avt.	En strømvaktaker
	Avstand mellom strømvakt. 108,48 m		
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	91,68	91,62	91,75
Max kontaktkraft [N]	169,43	155,96	189,26
Min. kontaktkraft [N]	22,63	9,47	11,91
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,048 %	0,886%
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	91,71	91,63	91,76
Max kontaktkraft for måling [N]	160,54	162,35	167,56
Min. kontaktkraft for måling [N]	24,57	25,67	11,86
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %	0,148 %
Max løft ved utligger strømvaktaker – kontaktpunkt [cm]	<b>13</b>	<b>9,5</b>	<b>12</b>
Max løft ved utligger strømvaktaker – ramme [cm]	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>13</b>
Max løft ved utligger strømvaktaker – ubelastet ende [cm]	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14,5</b>
Merknader			
Vurdering	<b>Uakseptabel</b>		<b>Uakseptabel</b>

### 8.1.3 Rettlinje/kurverik "Tabell 54" standardforbedret etter Skaugstad-metoden, 4 cm nedheng midt i spenn.

Tabell 8-3 Oppsummering.

Parameter	120 km/t		130 km/t		130 km/t	
	Avstand mellom strømvakt. 63,4 m		Avstand mellom strømvakt. 63,4 m		Avstand mellom strømvakt. 108,48 m	
	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	74,04	75,48	81,31	84,65	81,44	84,50
Max kontaktkraft [N]	116,68	129,22	154,03	158,96	141,19	167,13
Min. kontaktkraft [N]	37,02	23,07	34,39	16,95	34,03	0,07
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %	0 %	0,069 %	0 %	0,842 %
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	74,02	75,46	81,30	84,62	81,42	84,48
Max kontaktkraft for måling [N]	115,34	130,74	163,74	155,97	144,12	162,49
Min. kontaktkraft for måling [N]	39,76	27,68	34,22	24,40	33,56	2,39
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,449 %
Max løft ved utligger strømvaktaker – kontaktpunkt [cm]	5	5,2	7,5	5	5,5	5,2
Max løft ved utligger strømvaktaker – ramme [cm]	7,7	7,5	8,5	8,5	10	9,5
Max løft ved utligger strømvaktaker – ubelastet ende [cm]	7,5	7,5	8,2	11,5	9	8,5
Merknader	Maks hastighet for prøvestrekningen sett under ett.		Akseptabel for traséavsnitt som oppfyller a = 45 m og R = 439 m		Akseptabel for traséavsnitt som oppfyller a = 45 m og R = 439 m	
Vurdering	<b>Akseptabel</b>		<b>Uakseptabel</b>		<b>Uakseptabel</b>	

Parameter	140 km/t	150 km/t
	En strømvaktaker	En strømvaktaker
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	81,06	86,40
Max kontaktkraft [N]	142,77	177,64
Min. kontaktkraft [N]	37,36	16,98
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,064 %
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	80,37	86,39
Max kontaktkraft for måling [N]	140,35	161,86
Min. kontaktkraft for måling [N]	37,85	35,64
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0 %
Max løft ved utligger strømvaktaker – kontaktpunkt [cm]	<b>6</b>	<b>6,8</b>
Max løft ved utligger strømvaktaker – ramme [cm]	<b>10</b>	<b>10,8</b>
Max løft ved utligger strømvaktaker – ubelastet ende [cm]	<b>9</b>	<b>10,5</b>
Merknader	Maks hastighet for prøvestrekningen sett under ett.	Kan tillates når a = 45 m og R = 439 m, men anbefales ikke grunnet knapp margin til grenseverdi for kontaktkrefter.
Vurdering	<b>Akseptabel</b>	<b>Uakseptabel</b>



### 8.1.4 Rettlinje/kurverik "Tabell 54" standardforbedret etter Skaugstad- metoden, 4 cm oppstrekk midt i spenn.

Tabell 8-4 Oppsummering.

Parameter	110 km/t		120 km/t		130 km/t	
	Avstand mellom strømvakt. 108,48 m		Avstand mellom strømvakt. 108,48 m		Avstand mellom strømvakt. 63,4 m	
	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.	1. str.avt.	2. str.avt.
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	79,39	79,60	80,51	80,73	84,75	87,73
Max kontaktkraft [N]	159,78	178,61	145,65	216,31	151,53	191,15
Min. kontaktkraft [N]	21,53	9,36	4,57	0	28,86	0
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,441 %	0,272 %	1,15 %	0 %	2,329%
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	79,36	79,57	80,47	80,69	84,73	87,69
Max kontaktkraft for måling [N]	165,59	186,38	141,04	221,46	146,71	182,38
Min. kontaktkraft for måling [N]	20,67	10,78	14,59	-18,70	38,20	-4,39
Kontaktkraft < 20 N	0 %	0,106 %	0,159 %	0,586 %	0 %	1,195 %
Max løft ved utligger strømvaktaker – kontaktpunkt [cm]	5,5	5	5	5,5	6,5	7
Max løft ved utligger strømvaktaker – ramme [cm]	8,5	8	10	10	10	12
Max løft ved utligger strømvaktaker – ubelastet ende [cm]	8	8	9,5	9	10	11
Merknader						
Vurdering	Uakseptabel		Uakseptabel		Uakseptabel	

Parameter	130 km/t		140 km/t	150 km/t
	Avstand mellom strømvakt. 108,48 m			
	1. str.avt.	2. str.avt.	En strømvaktaker	En strømvaktaker
Gj.snitt verdi kontaktkraft [N]	84,92	86,94	84,17	88,71
Max kontaktkraft [N]	149,39	208,89	143,18	182,48
Min. kontaktkraft [N]	29,32	0	26,20	11,12
Kontaktkraft < 20 N	0 %	1,012 %	0 %	0,196 %
Gj.snitt verdi kontaktkraft for måling [N]	84,90	86,91	84,15	88,61
Max kontaktkraft for måling [N]	152,53	197,23	140,64	169,98
Min. kontaktkraft for måling [N]	41,24	-7,58	37,61	15,99
Kontaktkraft < 20 N	0 %	2,214 %	0 %	0,120 %
Max løft ved utligger strømvaktaker – ramme [cm]	7	7,5	7	8,5
Max løft ved utligger strømvaktaker – kontaktpunkt [cm]	11	12	11	12
Max løft ved utligger strømvaktaker – ubelastet ende [cm]	10	12	11	12
Merknader				Kan tillates når a = 45 m og R = 439 m
Vurdering	<b>Uakseptabel</b>		<b>Akseptabel</b>	<b>Uakseptabel</b>

## 8.2 Tillatelig toghastighet for vanlige tog og krengetog.

Forutsetningen for denne tabellen er at (teoretisk) hastighet er gitt med hensyn til sporkurvatur, underforstått med ideelle forhold riktig overhøyde for kurvene etc. Den tar ikke hensyn til begrensinger fra kontaktledningsanlegg. Hastighet for kurveradius over 2000 m er ikke tatt med.

Tabell 8-5 Tillatelig hastighet for vanlige tog og krengetog.

Radius [m]	Hastighet [m/s]	Vanlig tog [km/h]	Krengetog [km/h]	Differanse
2000	51	184	230	46
1800	48	174	218	44
1600	46	164	206	41
1500	44	159	199	40
1400	43	154	192	38
1300	41	148	185	37
1200	40	142	178	36
1100	38	136	170	34
1000	36	130	162	32
900	34	123	154	31
800	32	116	145	29
700	30	109	136	27
600	28	101	126	25
500	26	92	115	23
400	23	82	103	21
300	20	71	89	18
250	18	65	81	16
180	15	55	69	14



### 8.3 Kort beskrivelse av kontaktledningssystemene som er simulert.

Tabell 54 er betegnelsen for en eldre type kontaktledningsanlegg. Prøvestrekningene benyttet i dette prosjektet ble bygget rundt 1970. Siden byggingen har strekningene blitt dynamisk standardforbedret ved hjelp av Skaugstad-metoden.

Systemkarakteristikk:

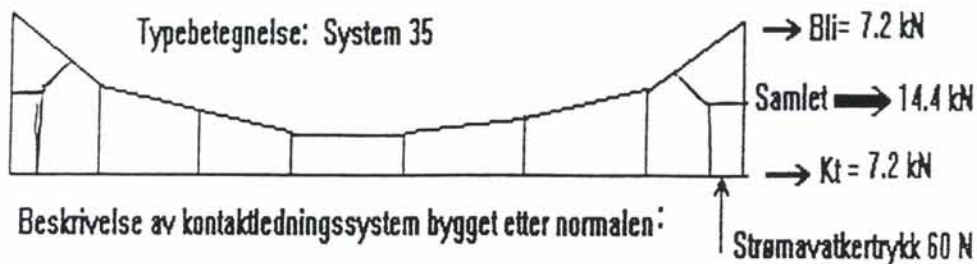
- Ingen Y-line
- Kontakttråd: 100 mm<sup>2</sup> Cu  
Strekk: 9,8 kN (1000 kp)
- Bæreline: 50 mm<sup>2</sup> Cu  
Strekk: 4,9 kN (500 kp)
- Piggisolator i utligger (se tegning E-3905 and E-4446)
- Det benyttes seksjonmidtutligger i veksling. (se tegning E-3898, nedre del)
- Det er delvis benyttet halv-sikksakk.

System 35 kan deles i to versjoner, avhengig av om det benyttes Y-line eller ikke. Dersom det ikke benyttes Y-line kalles det System 35 MS. Karakteristikken under gjelder begge versjonene.

Systemkarakteristikk:

- Kontakttråd: 100 mm<sup>2</sup> Cu  
Strekk: 7,06 kN (720 kp)
- Bæreline: 50 mm<sup>2</sup> Cu  
Strekk: 7,06 kN (720 kp)
- Det benyttes stavisolatorer i utliggeren (se tegning E-7017 and E-7018)
- Det er delvis benyttet halv-sikksakk.

En kort karakteristikk av systemene når de bygges etter normalen følger.



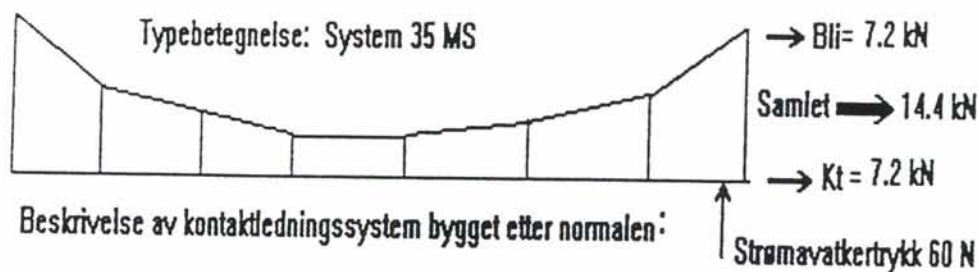
Komponenter

	Tverrsnitt	Materiale	Strekk-kraft i kN
Kontaktledning:	100 mm <sup>2</sup>	Cu	7.2
Bæreline.....:	50 mm <sup>2</sup>	Cu	7.2
Hengetråd.....:	Ø 4 mm	Cu	
Y-line.....:	11 m		
Utligger type....:	nA, nB, skA, sIA, skB, sIB, brI, brII		
Isolator i utl.....:	Glass		
Isolator i avsp.:	Glass		

Maks nedheng midt i spenn ved 60 m.....<sup>30</sup>.....mm for R = ∞

Balansearm....:

Antall hengetråder i 60 m spenn er.....<sup>8</sup> og 6 under 50 m spenn



Komponenter

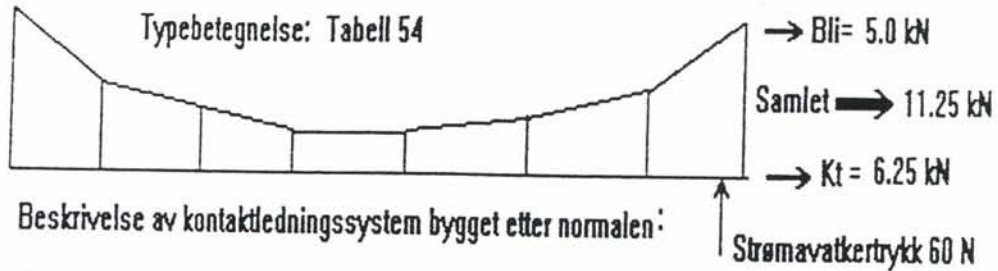
	Tverrsnitt	Materiale	Strekk-kraft i kN
Kontaktledning:	100 mm <sup>2</sup>	Cu	7.2
Bæreline.....:	50 mm <sup>2</sup>	Cu	7.2
Hengetråd.....:	Ø 4 mm	Cu	
Y-line.....:	ingen		
Utligger type...:	nA, nB, skA, slA, skB, slB, brI, brII		
Isolator i utl.....:	Glass		
Isolator i avsp.:	Glass		

Maks nedheng midt i spenn ved 60 m.....<sup>30</sup>.....mm for R = ∞

Balansarm...:

Antall hengetråder i 60 m spenn er.....<sup>8</sup> og 6 under 50 m spenn





Beskrivelse av kontaktledningssystem bygget etter normalen:

Komponenter

	Tverrsnitt	Materiale	Strekk-kraft i kN	MERKNAD
Kontaktledning:	100 mm <sup>2</sup>	Cu	6.25	80 mm <sup>2</sup> har 6.93 kN
Bæreline.....:	50 mm <sup>2</sup>	Cu	5.0	50 mm <sup>2</sup> har 4.32 kN
Hengetråd.....:	Ø 4 mm			
Y-line.....:	ingen			
Utligger type....:				
Isolator i utl.....:				
Isolator i avsp.:				
Maks nedheng midt i spenn ved 60 m..... <sup>59</sup> .....mm for R = ∞				
Balansearm....:	E-3909			
Antall hengetråder i 60 m spenn er...7...				

## 8.4 Eksempel på simuleringsdokumentasjon.

Dette kapitlet inneholder et eksempel på den dokumentasjon som framkommer av simuleringen. Det er valgt å benytte simuleringen for kjøring i 140 km/t med en strømvaktaker på kontaktledningsanlegg av type "Tabell 54", standardforbedret etter Skaugstad-metoden, med nedheng. Bakgrunnen for dette er at denne viser resultater som er innenfor grenseverdiene, samtidig som omfanget av dokumentasjonen begrenses. Dersom det simuleres for to strømvaktakere fås tilsvarende kurver for andre strømvaktaker separat.

## Description of the figures

The figure of the **assembly state** shows the overhead contact line before the simulation starts (x,y-position). Small circles and stars mark the cantilevers and the steady arms. Vertical lines show the positions of the droppers. At the overlap span there are some dummy-points. These dummy-points are marked with small stars on the contact wire.

At the overhead line Table 54 and System 35 occur steady arms without a force caused by the stagger. These cantilevers have the stagger 0.0 m. To simulate this special type of cantilever a cantilever model without a steady arm is used. The steady arm is described as a mass at the contact wire. These cantilevers are marked with small stars.

The figure of the **stagger** shows the x,z-position of the contact wire.

The figure of the **contact force** shows the sum of the contact forces between the contact strips and the contact wire. The droppers are marked with vertical lines. Bold vertical lines show the positions of the cantilevers. At the cantilevers without an steady arm a small square is used.

The figure of the **measure of contact force** shows the sum of the forces measured with strain gauges between the contact strips and the springs. The droppers are marked with vertical lines. Bold vertical lines show the positions of the cantilevers. At the cantilevers without an steady arm a small square is used.

The figure of **pantograph points** shows the up and down motion of the pantographs. The curve YS shows the motion of the frame. The curve FH\_MAX is the up and down motion of the contact point. In order to make the chart easier to read this curve is shifted by -0.03 m or -0.05 m.

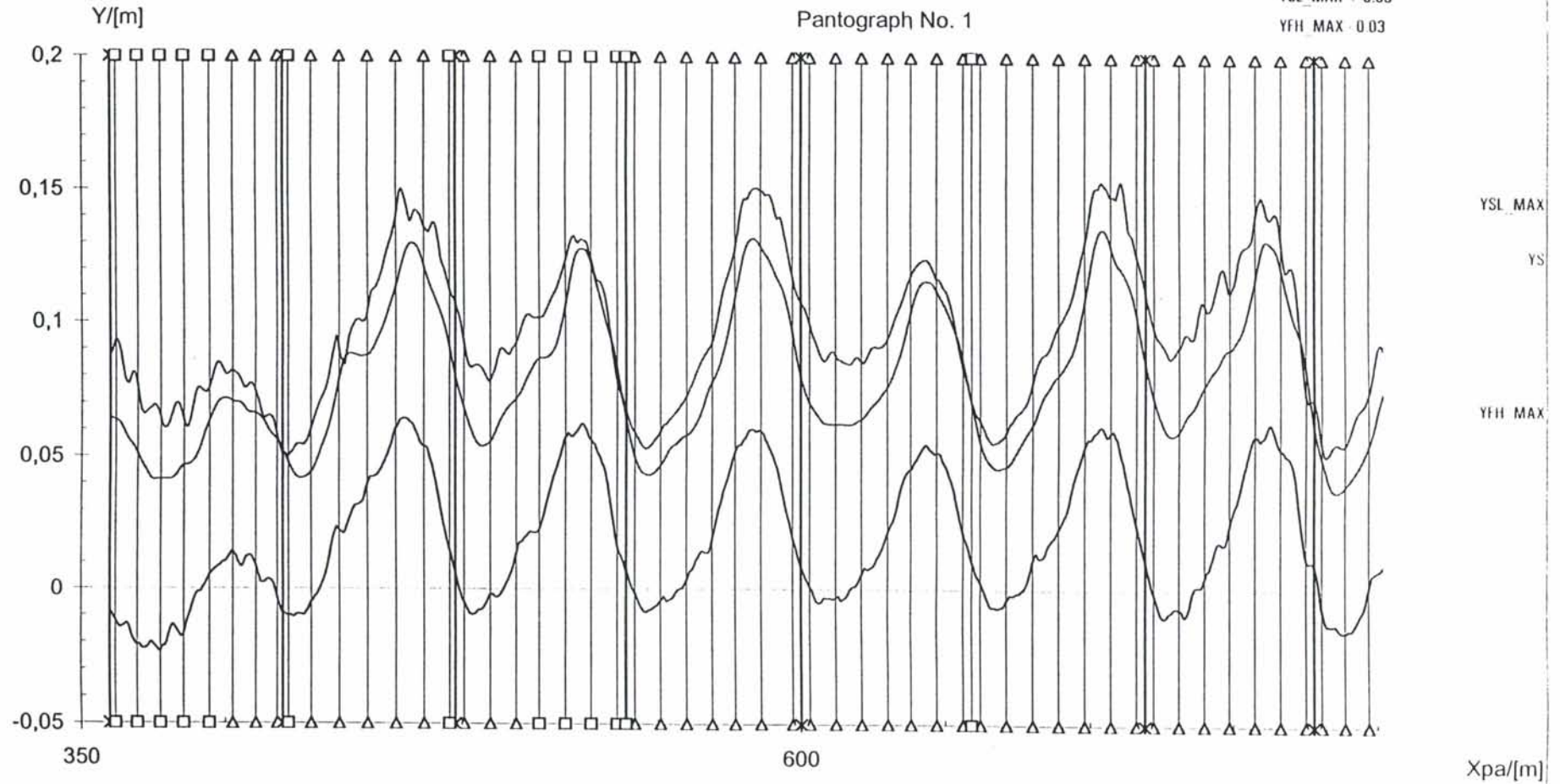
The contact strips of the pantograph WBL85-OTU are able to rotate. This rotational motion is caused by the stagger of the contact wire and needs some space at the cantilevers. The curve YSL\_MAX shows the height of the contact strip at the unloaded end. This curve is shifted by 0.03 m or 0.05 m.

The figure **time curve of special points** shows the up and down motion of catenary points. The points are described using the number of the catenary ,the wire (FA- contact wire, YS-stitch wire, TR-catenary wire) and the x-position. The passage of the pantograph is marked with a small vertical line. To visualise the dynamic behaviour of the cantilevers with a dropper to the stitch wire the motion of the contact wire and the stitch wire is shown.



# TIME CURVE OF PA-POINTS

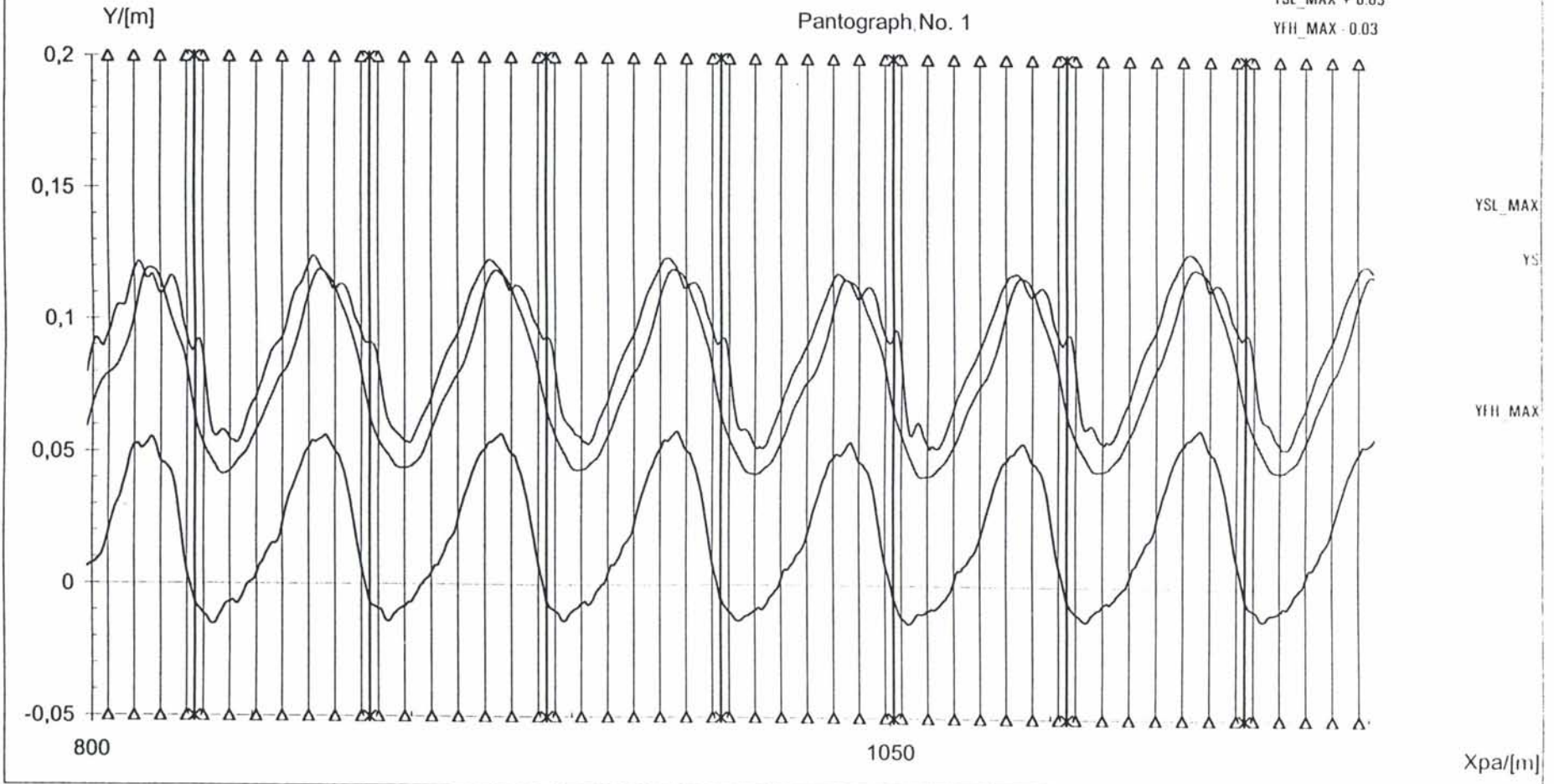
  
**ADtranz**  
YSL MAX + 0.03  
YFH MAX - 0.03



# TIME CURVE OF PA-POINTS

**ADtranz**  
YSL\_MAX + 0.03  
YFH\_MAX - 0.03

Pantograph No. 1



# TIME CURVE OF PA-POINTS

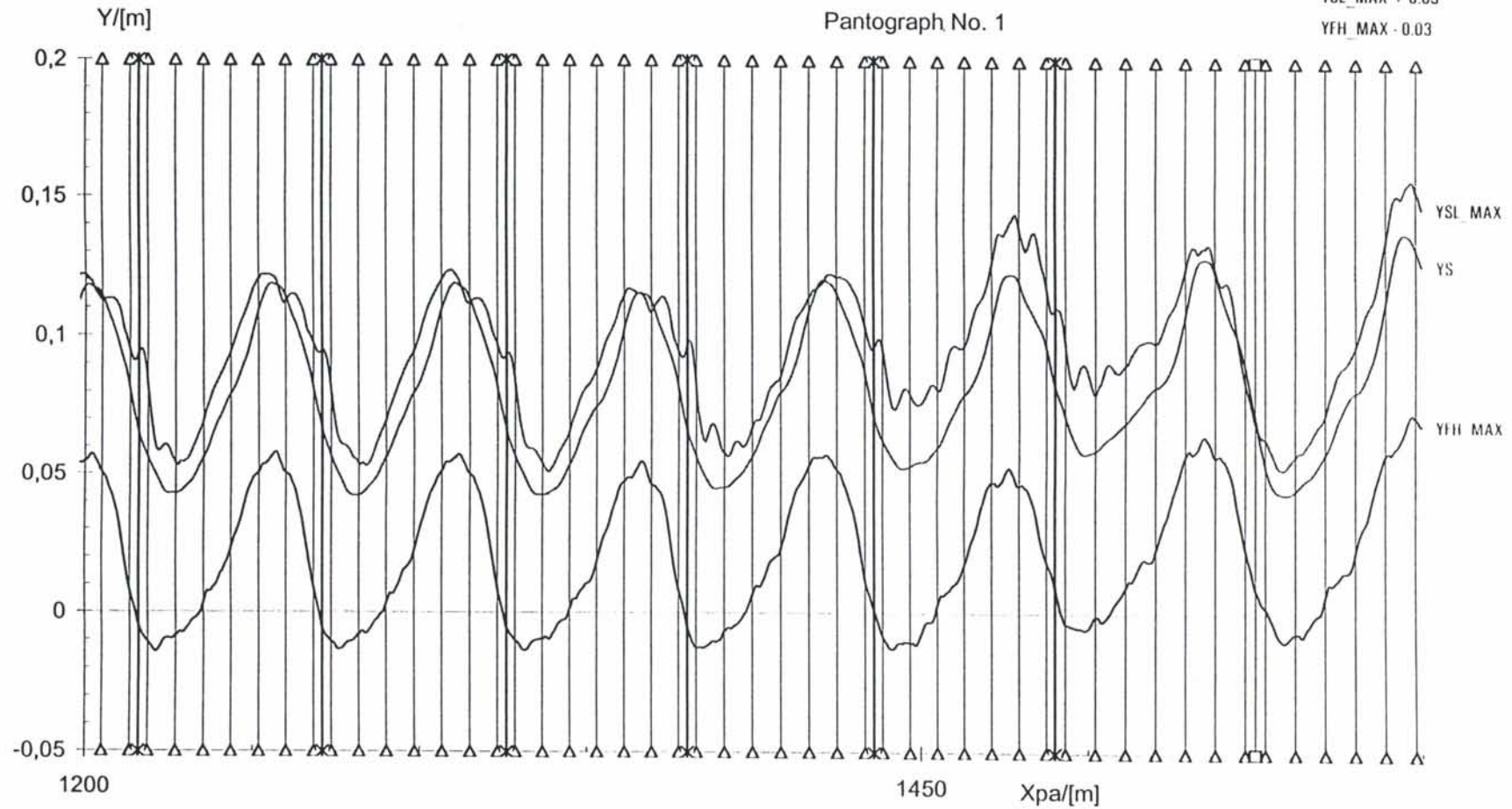


**ADtranz**

YSL\_MAX + 0.03

YFH\_MAX - 0.03

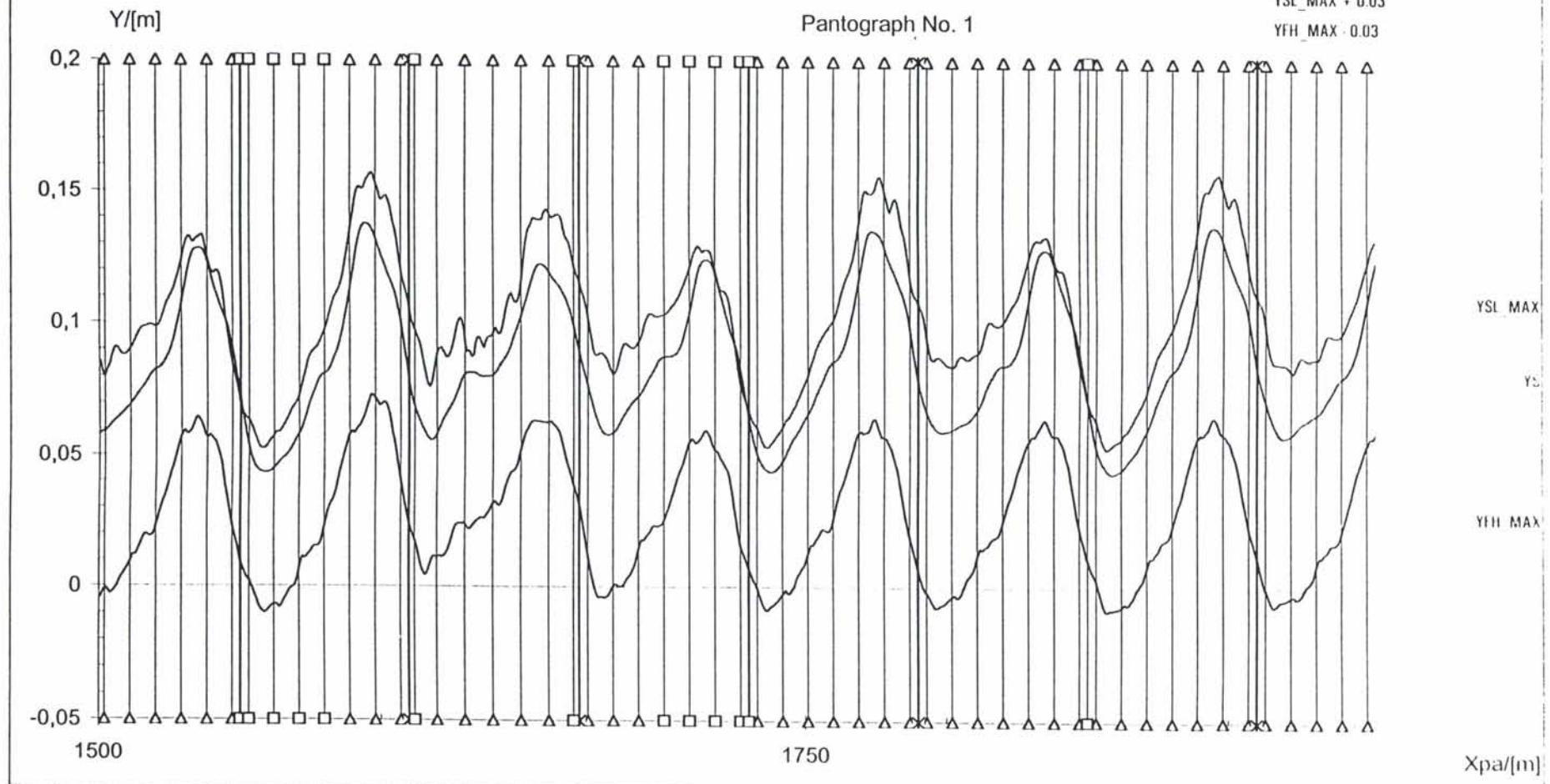
Pantograph No. 1





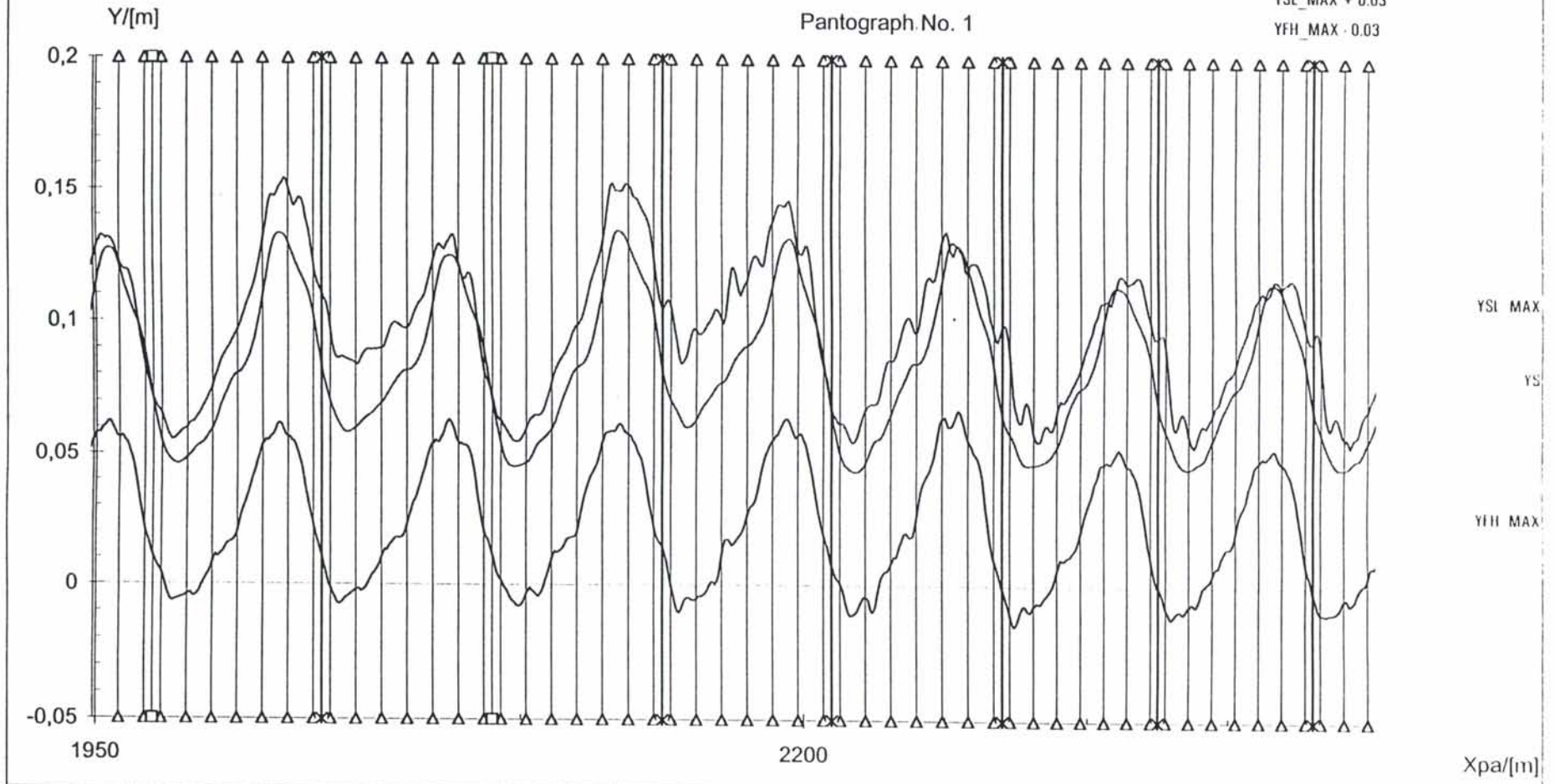
TIME CURVE OF PA-POINTS

  
**ADtranz**  
YSL\_MAX + 0.03  
YFH\_MAX - 0.03



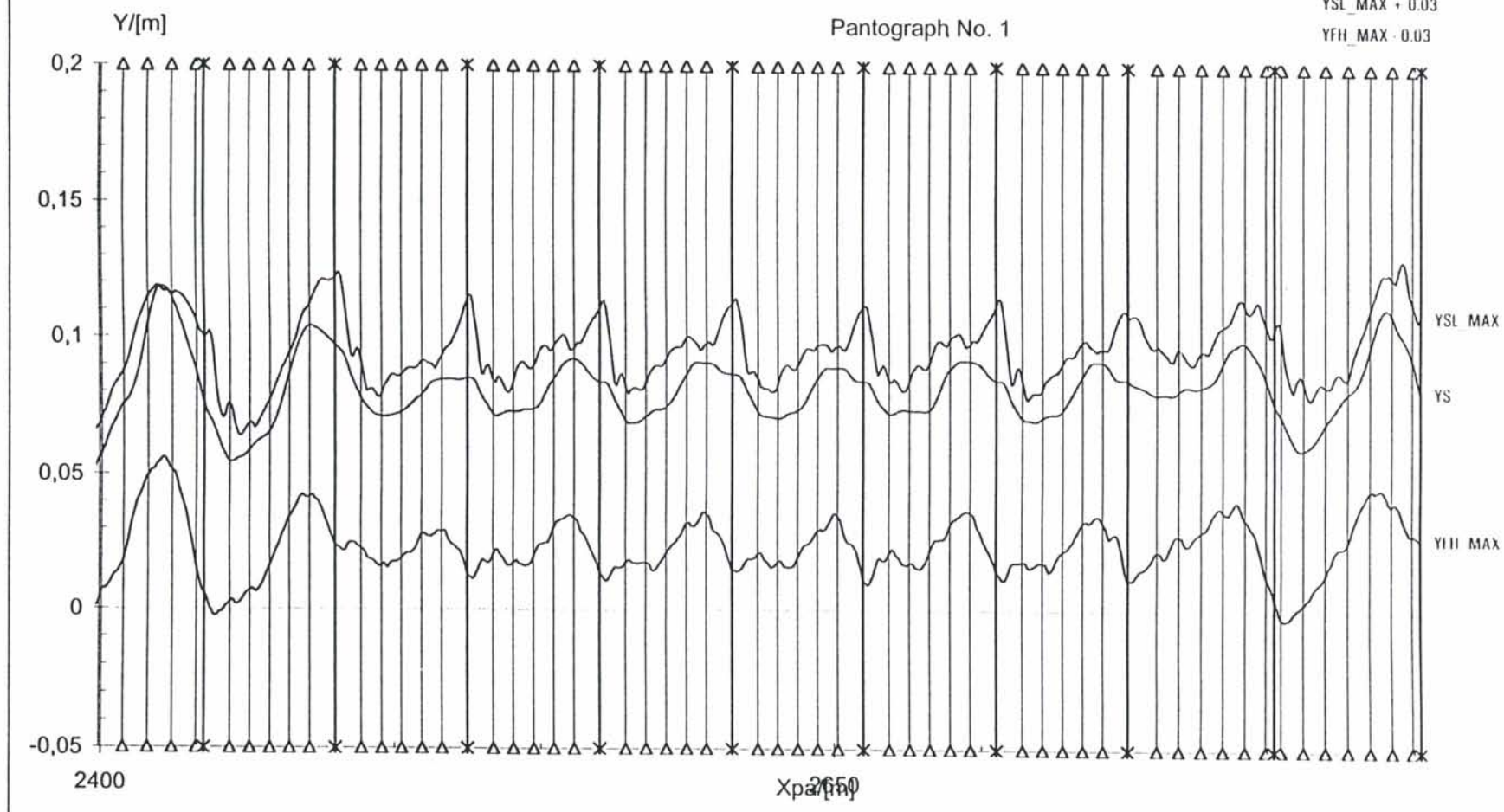
# TIME CURVE OF PA-POINTS

  
**ADtranz**  
YSL\_MAX + 0.03  
YFH\_MAX - 0.03



# TIME CURVE OF PA-POINTS

  
**ADtranz**  
YSL\_MAX + 0.03  
YFH\_MAX - 0.03





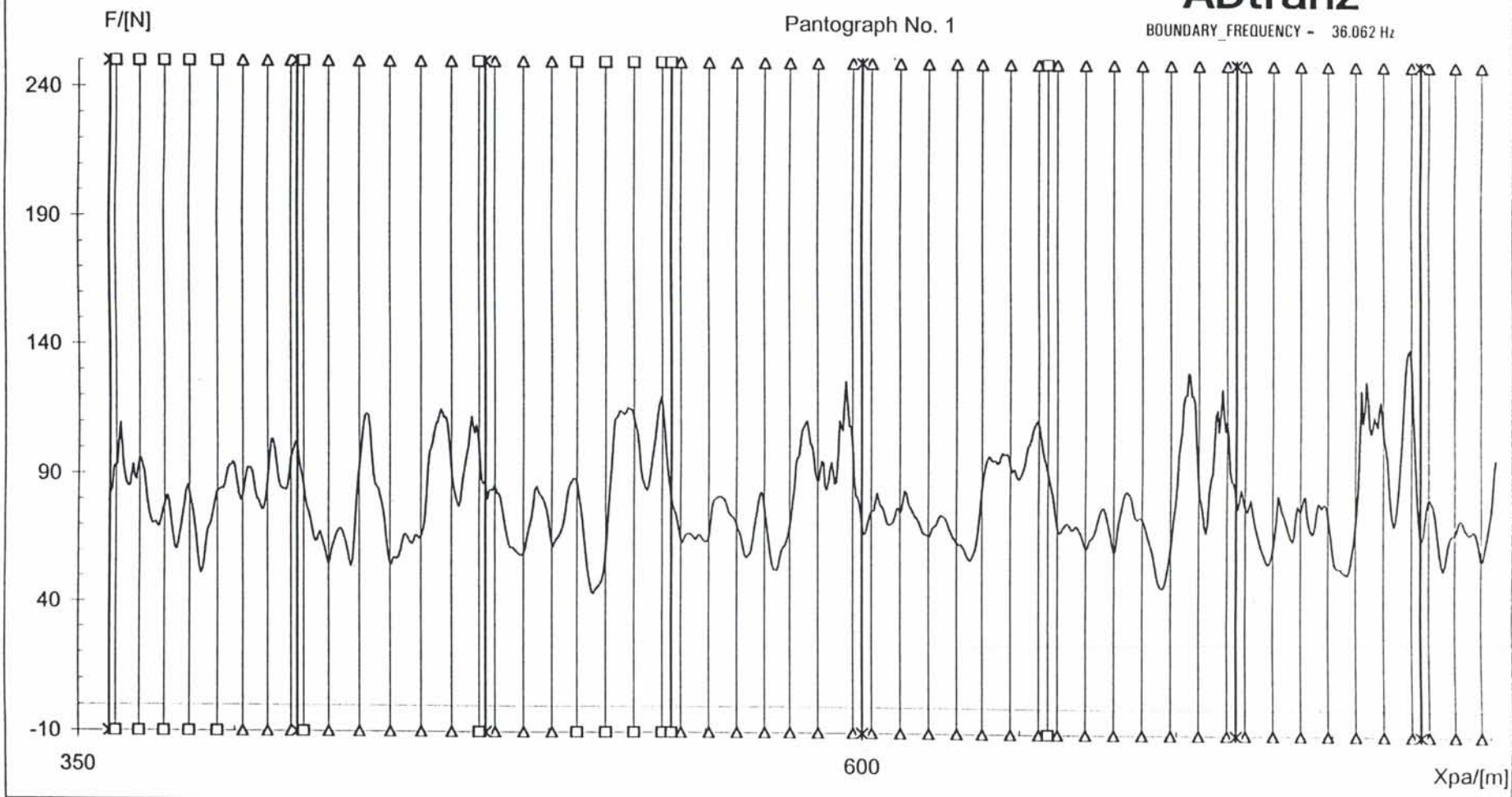
MEASURE OF CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY = 36.062 Hz

Pantograph No. 1



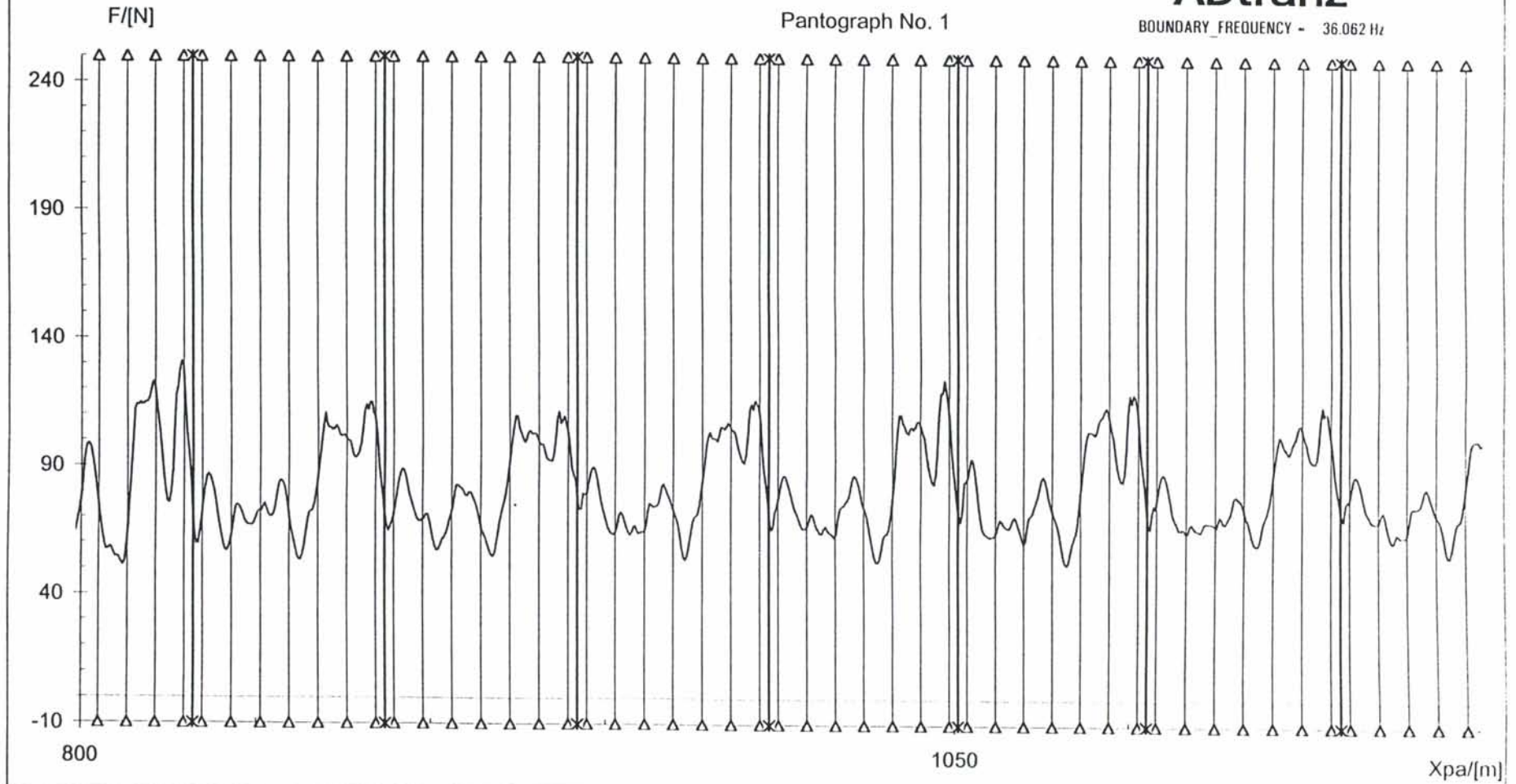
MEASURE OF CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1



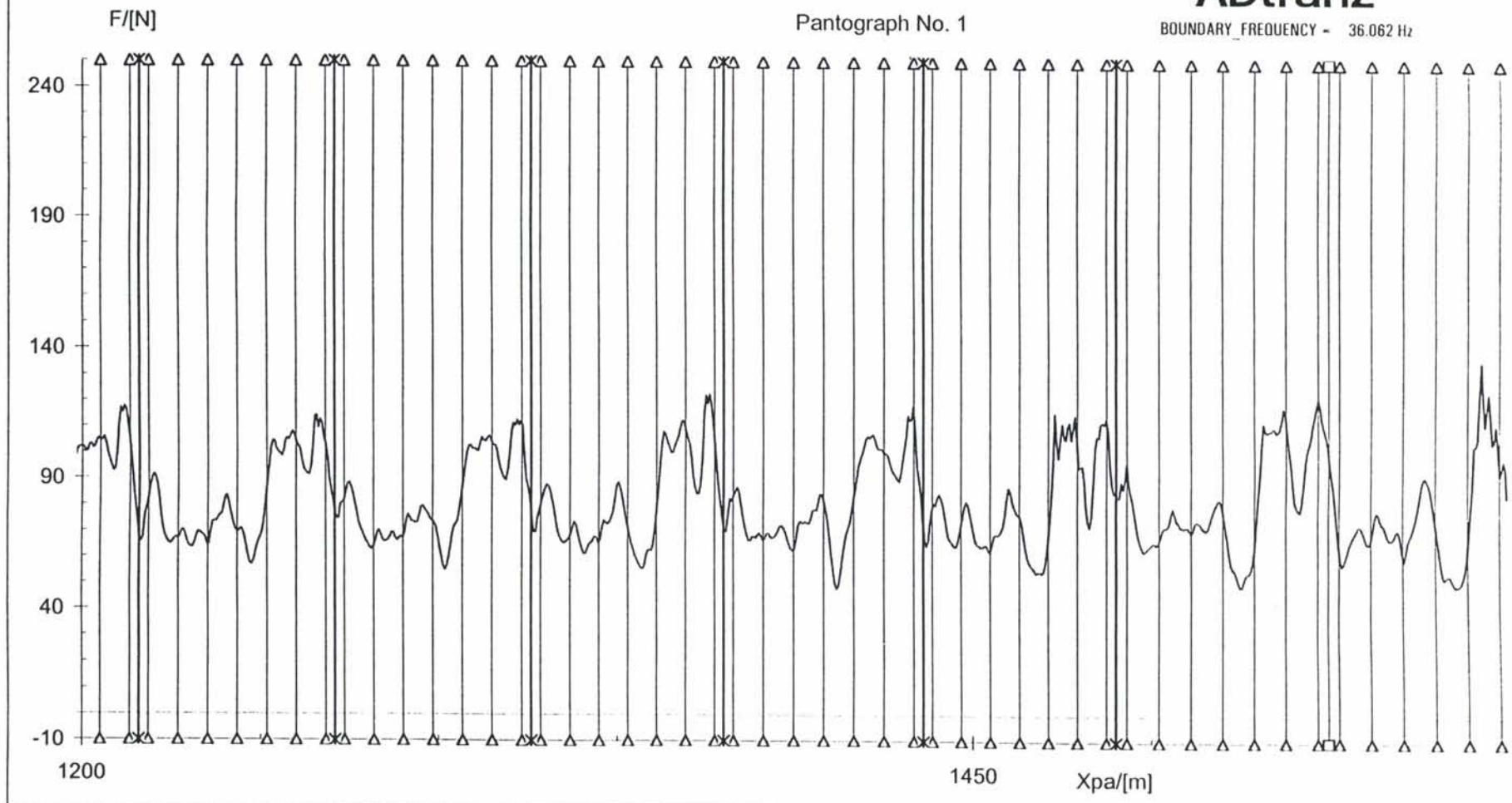
MEASURE OF CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1





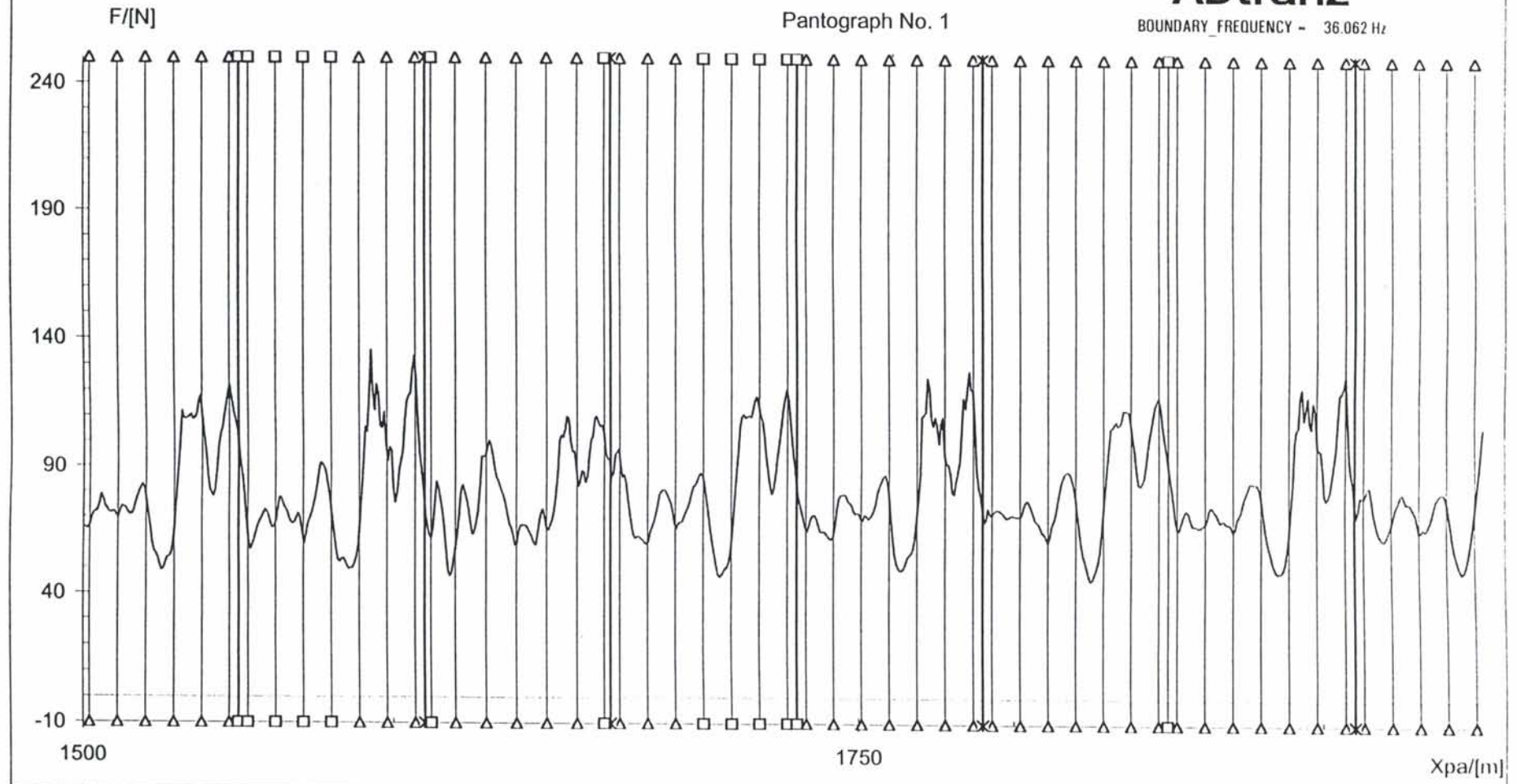
MEASURE OF CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1



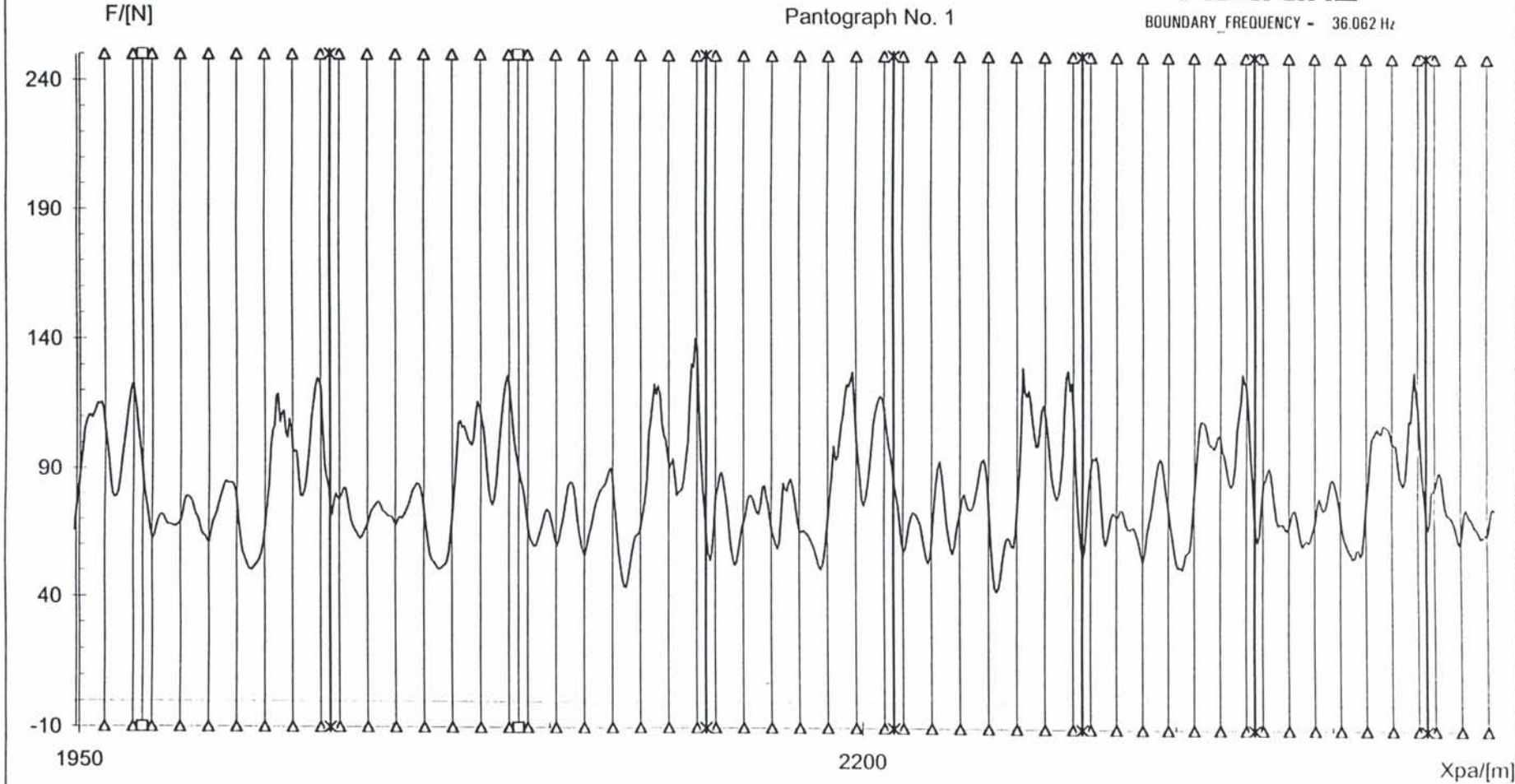
MEASURE OF CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY = 36.062 Hz

Pantograph No. 1



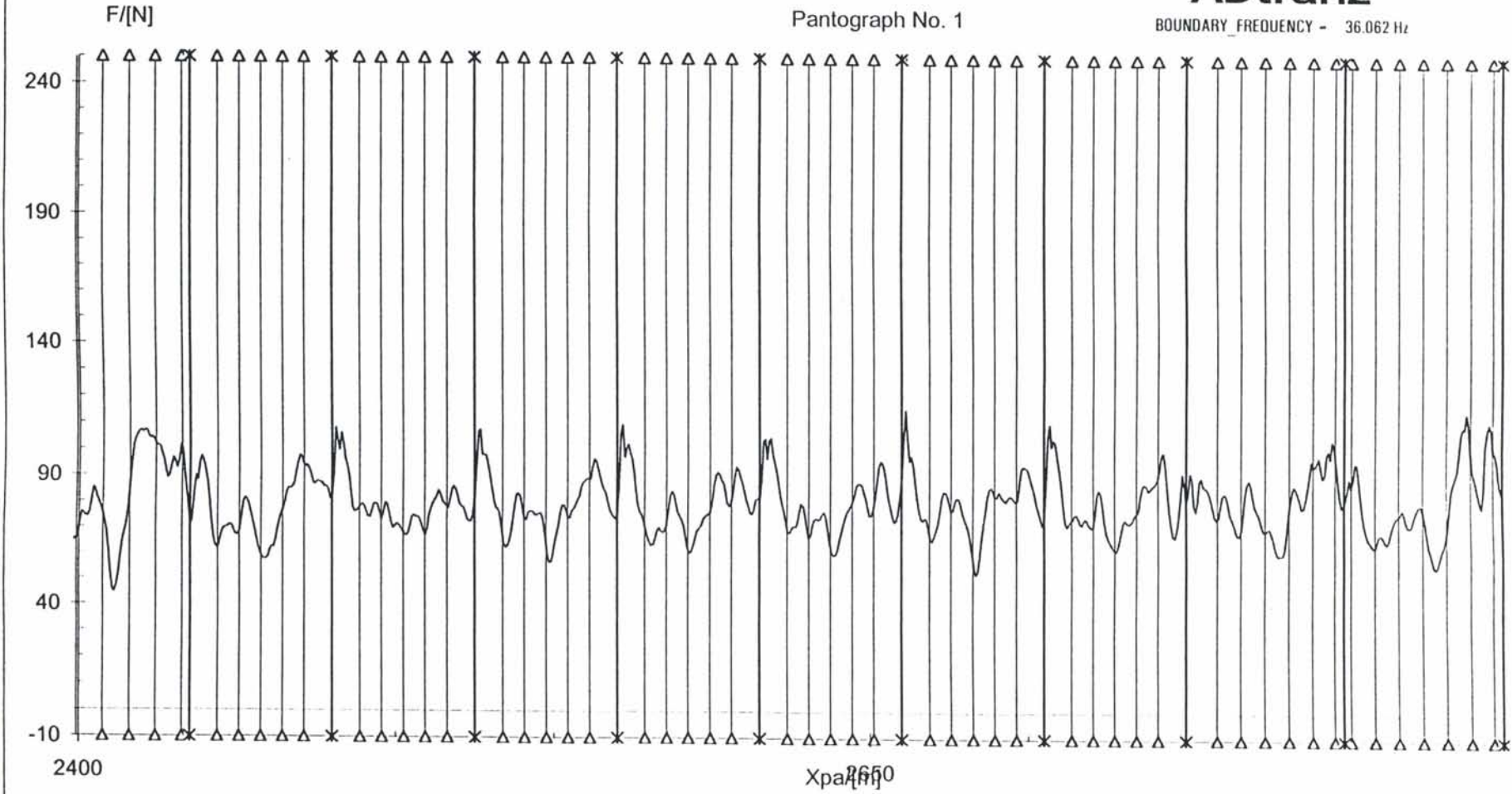
MEASURE OF CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1





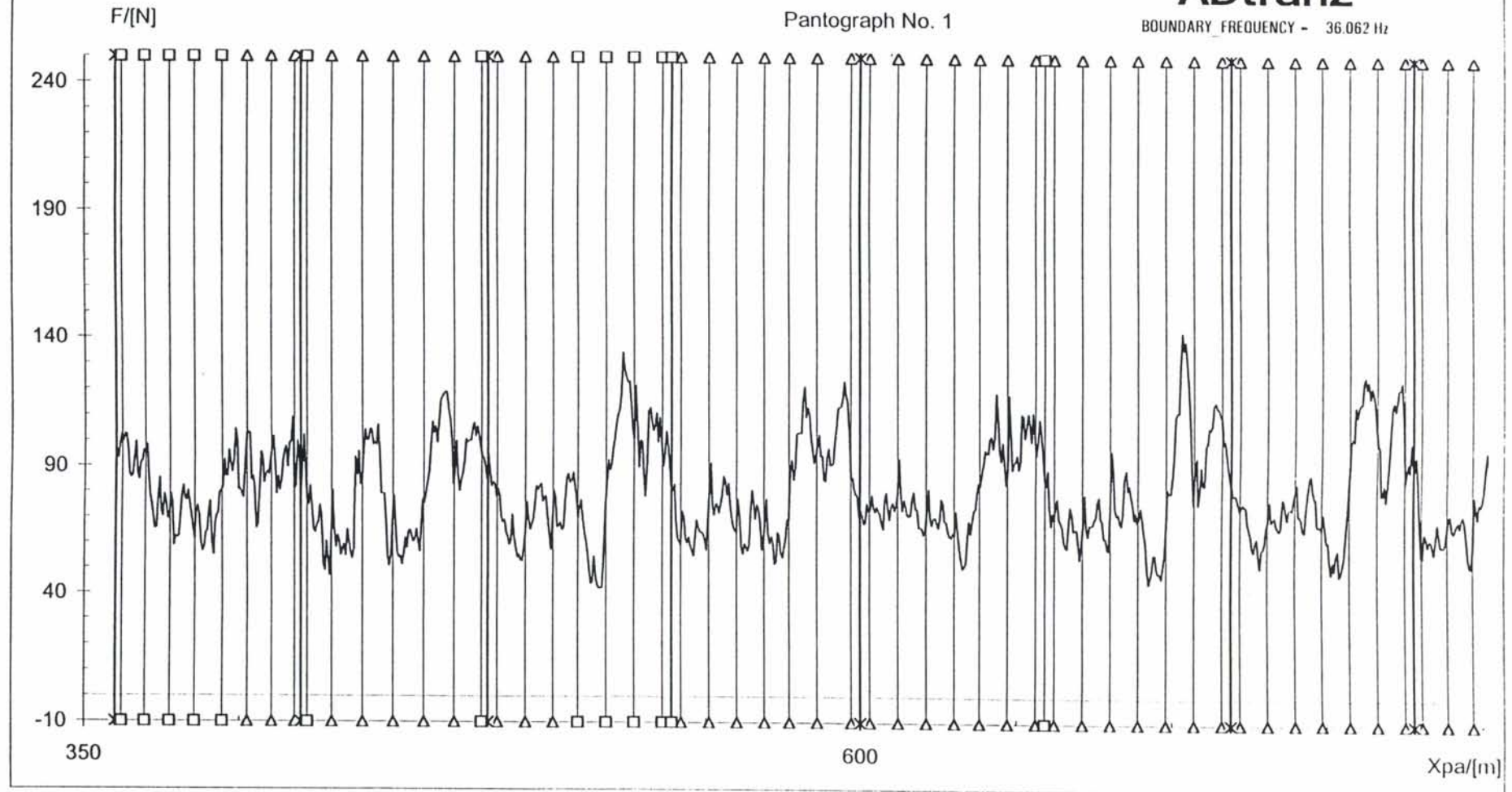
# CURVE OF THE CONTACT FORCE



## ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1



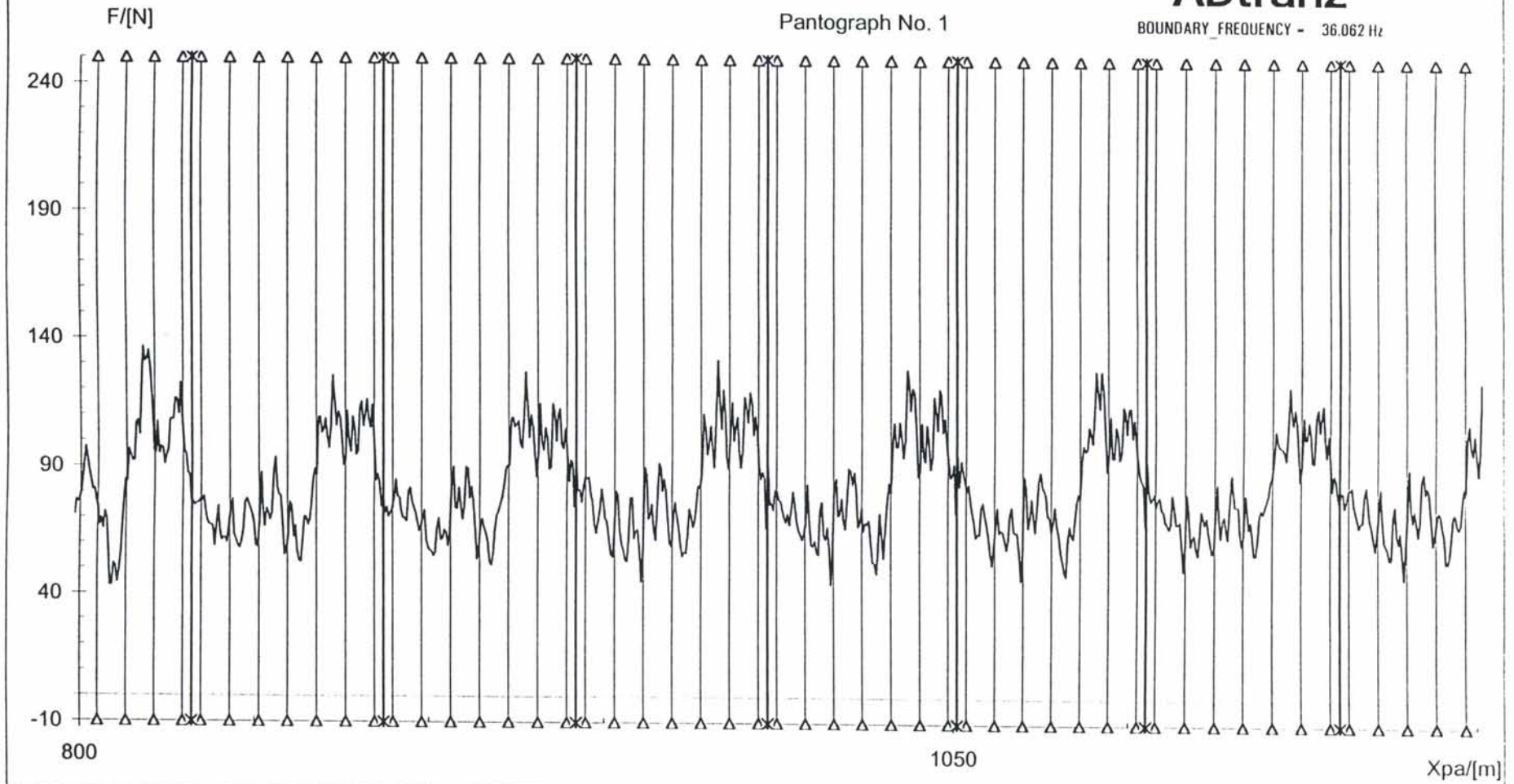
# CURVE OF THE CONTACT FORCE



## ADtranz

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1



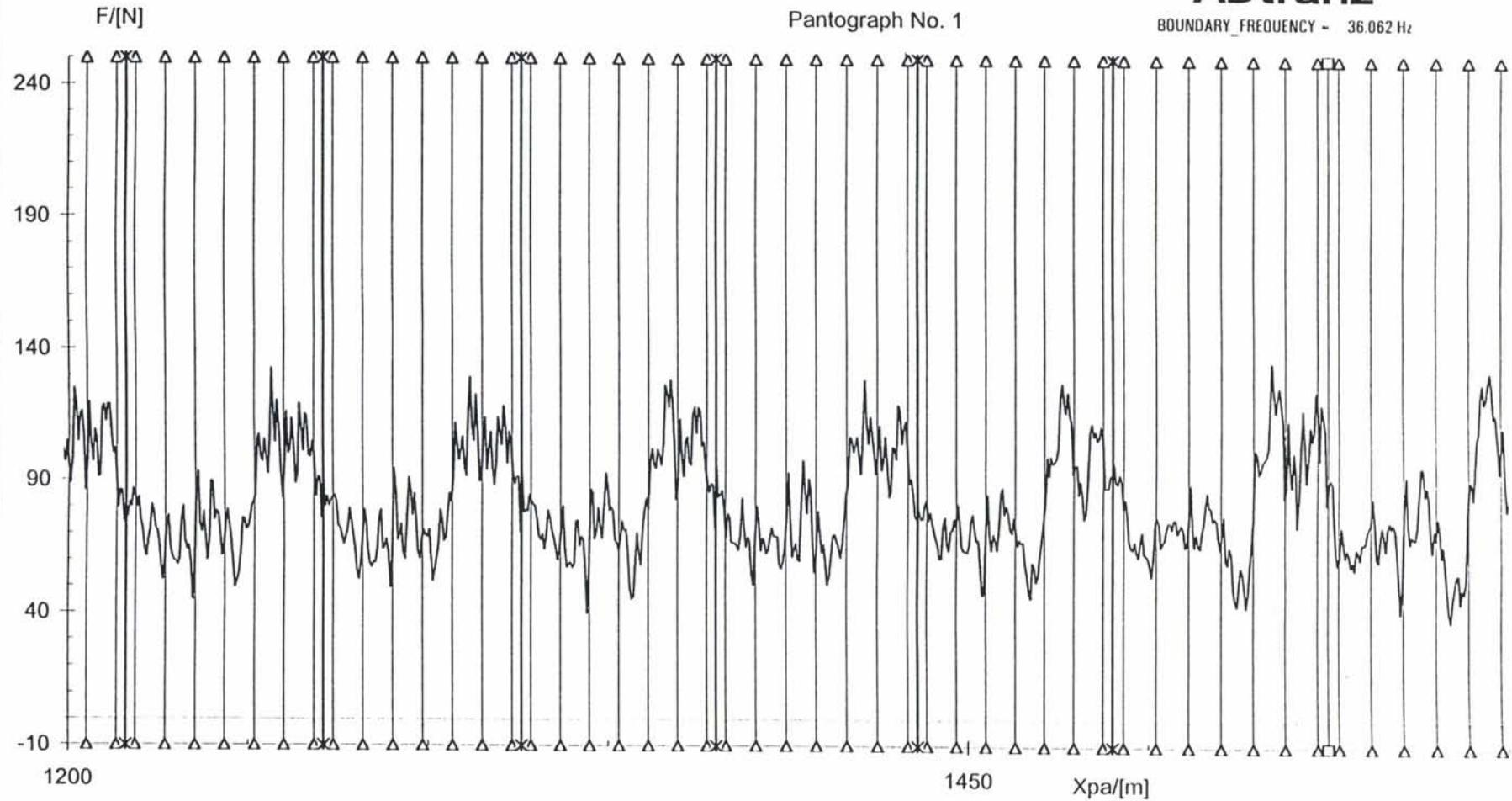
# CURVE OF THE CONTACT FORCE



**ADtranz**

BOUNDARY\_FREQUENCY = 36.062 Hz

Pantograph No. 1





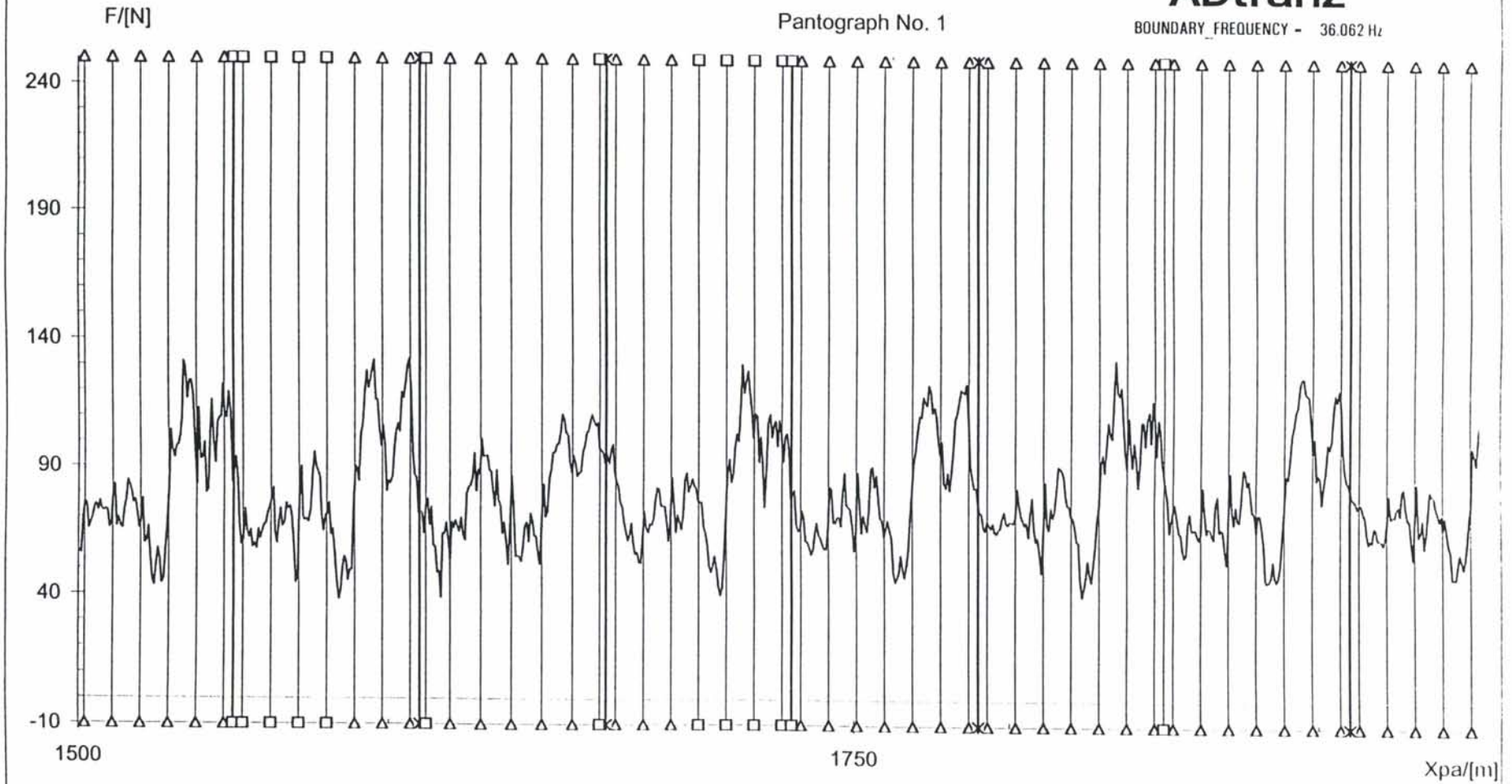
# CURVE OF THE CONTACT FORCE



**ADtranz**

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1



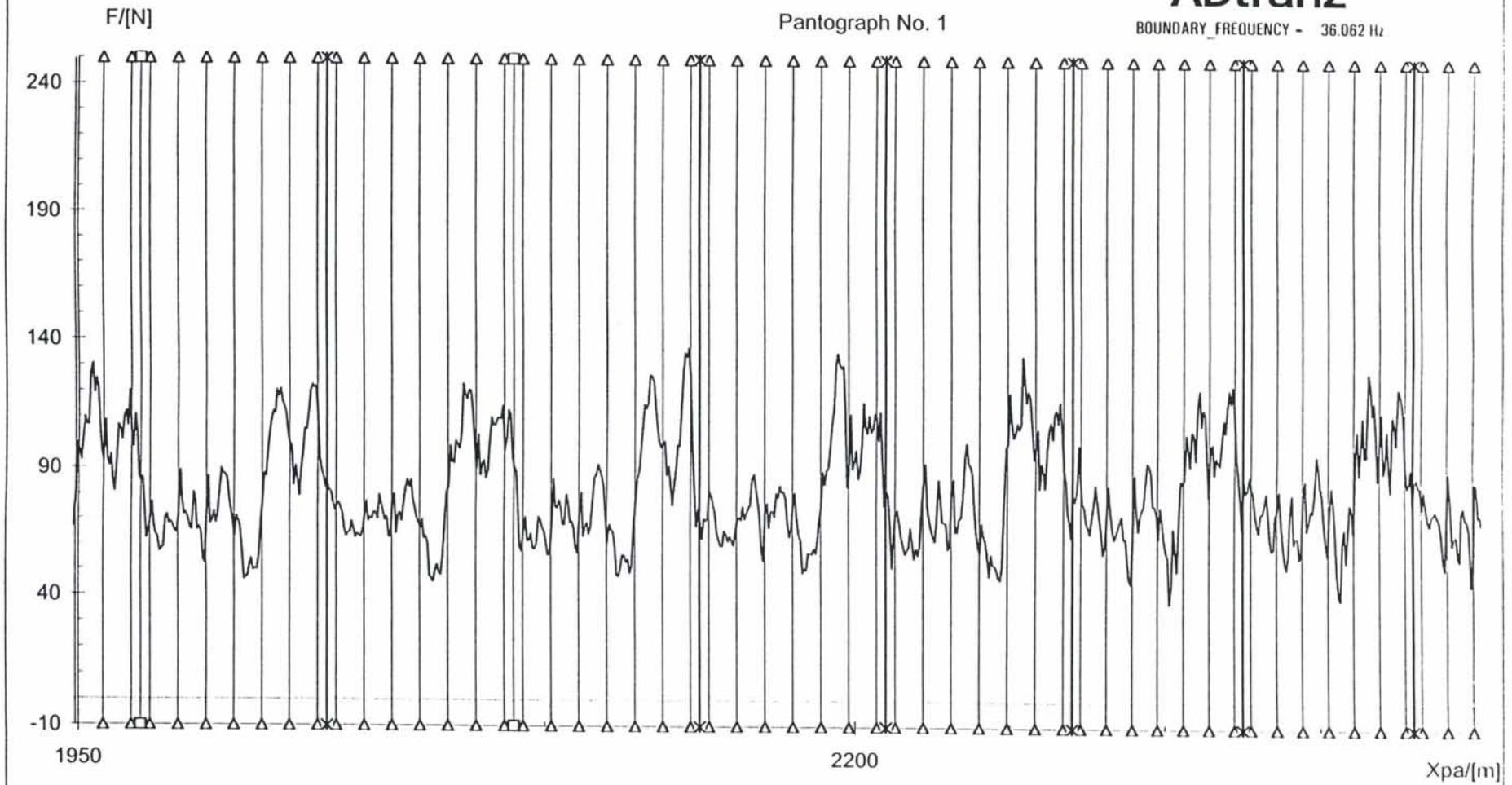
# CURVE OF THE CONTACT FORCE



**ADtranz**

BOUNDARY\_FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1



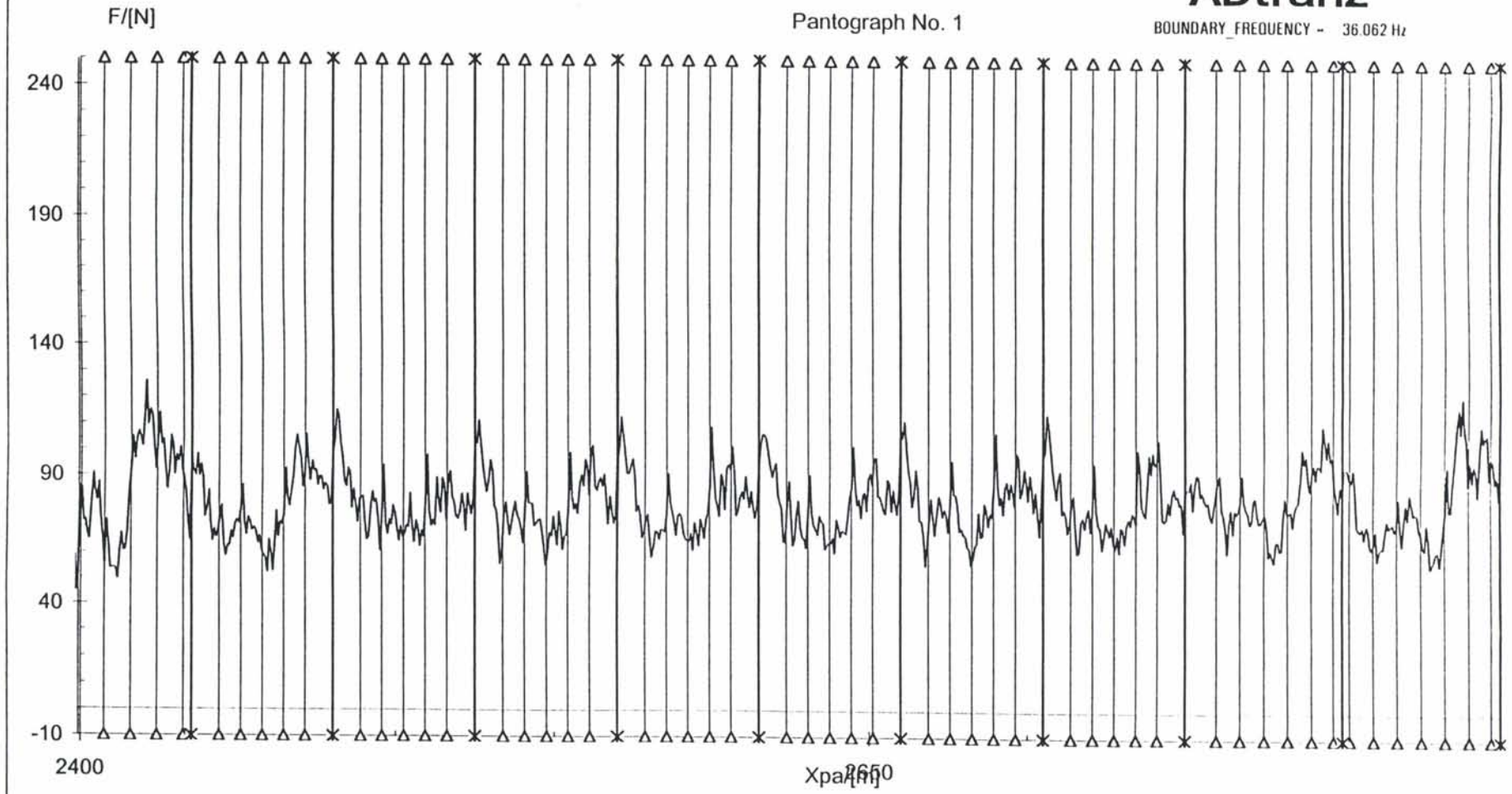
CURVE OF THE CONTACT FORCE



ADtranz

BOUNDARY FREQUENCY - 36.062 Hz

Pantograph No. 1





## PANTOGRAPH NUMBER 1 CONTACT BREAKS

calculation Norway Table 54 without stitch wire V=140km/h one pantograph from 2/24/ 99  
 INTEGRATION LENGTH = 0.086 M  
 BOUNDARY FREQUENCY = 36.062 CPS

H V B

## STATISTICAL EVALUATION OF THE CONTACT FORCE

Norway Table 54 without stitch wire V=140km/h one pantograph  
 from 2/24/ 99 Pantograph 1

STATISTICAL EVALUATION IN 0.34318 M-STEPS FROM 360.22495 M TO 1599.89807 M

MEAN AVERAGE		DEVIATION	
100N		100N	
0.81062847		0.19129053	

Minimum: 37.35665 N Maximum: 142.76968 N

F = 0N: 0.00000% F < 5N: 0.00000% F < 10N: 0.00000% F < 20N: 0.00000%

## CONTACT FORCE PARTITION

FROM	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
	2	36	127	333	479	397	259	245	204	166

FROM	1.4	1.5	1.6	1.7
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	1.5	1.6	1.7	1.8
	103	45	11	2

## STATISTICAL EVALUATION OF THE MEASURED CONTACT FORCE

Norway Table 54 without stitch wire V=140km/h one pantograph  
 from 2/24/ 99 Pantograph 1

STATISTICAL EVALUATION IN 0.34318 M-STEPS FROM 360.22495 M TO 1599.89807 M

MEAN AVERAGE		DEVIATION	
100N		100N	
0.81053019		0.17593631	

Minimum: 43.64981 N Maximum: 140.24048 N

F = 0N: 0.00000% F < 5N: 0.00000% F < 10N: 0.00000% F < 20N: 0.00000%

## CONTACT FORCE PARTITION

FROM	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	12	110	271	583	411	306	193	228	185	83

FROM	1.5	1.6	1.7
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	1.6	1.7	1.8
	18	7	2

## PANTOGRAPH NUMBER 1 CONTACT BREAKS

Calculation Norway Table 54 without stitch wire V=140km/h one pantograph from 2/24/ 99  
 INTEGRATION LENGTH = 0.086 M  
 BOUNDARY FREQUENCY = 36.062 CPS

H V B

## STATISTICAL EVALUATION OF THE CONTACT FORCE

Norway Table 54 without stitch wire V=140km/h one pantograph  
 from 2/24/ 99 Pantograph 1

STATISTICAL EVALUATION IN 0.34318 M-STEPS FROM 1500.28979 M TO 2849.92261 M

MEAN AVERAGE	DEVIATION
100N	100N
0.80379039	0.18393189

Minimum: 37.84903 N Maximum: 137.02446 N

F = 0N: 0.00000% F < 5N: 0.00000% F < 10N: 0.00000% F < 20N: 0.00000%

## CONTACT FORCE PARTITION

FROM	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
	4	43	108	240	466	402	309	234	164	139
FROM	1.4	1.5	1.6	1.7						
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	1.5	1.6	1.7	1.8						
	76	46	18	1						

## STATISTICAL EVALUATION OF THE MEASURED CONTACT FORCE

Norway Table 54 without stitch wire V=140km/h one pantograph  
 from 2/24/ 99 Pantograph 1

STATISTICAL EVALUATION IN 0.34318 M-STEPS FROM 1500.28979 M TO 2849.92261 M

MEAN AVERAGE	DEVIATION
100N	100N
0.80366218	0.17228320

Minimum: 42.58366 N Maximum: 140.35266 N

F = 0N: 0.00000% F < 5N: 0.00000% F < 10N: 0.00000% F < 20N: 0.00000%

## CONTACT FORCE PARTITION

FROM	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	18	112	216	466	480	354	194	140	153	72
FROM	1.5	1.6	1.7							
TO MULTIPLY BY MEAN AVERAGE	1.6	1.7	1.8							
	36	7	2							

