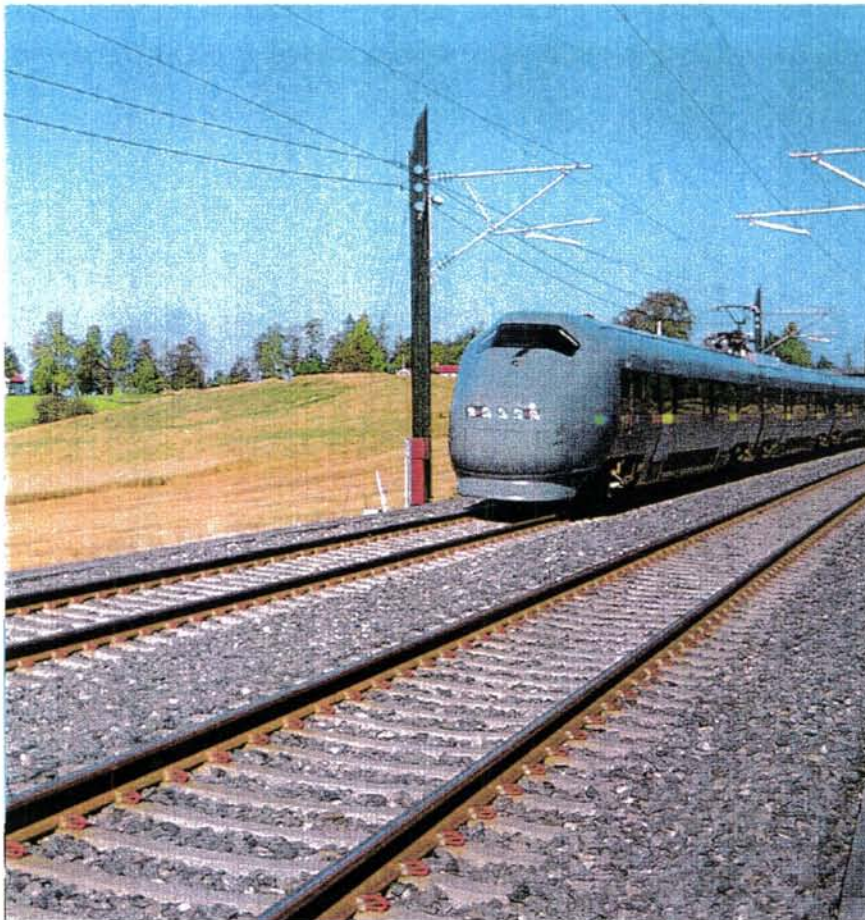


Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn

Rapport 8:

Setninger og tilstandsutvikling målt i driftsfasen for Gardermobanen, parsell Kløfta - Trøgstad



Jernbaneverket



BANVERKET



SINTEF

CHALMERS



103158-8

36802:8

STF22 A00606



SINTEF Bygg og miljøteknikk
Vegteknikk

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Alfred Getz vei 3
Telefon: 73 59 47 20
Telefaks: 73 59 70 20

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

“Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn”

**Rapport 8:
Setninger og tilstandsutvikling målt i driftsfasen for
Gardermobanen, parsell Kløfta - Trøgstad**

FORFATTER(E)

Terje Lindland og Odd Magne Solheim

OPPDRAAGSGIVER(E)

Jernbaneverket og Banverket

RAPPORTNR. STF22 A00606	GRADERING Åpen	OPPDRAAGSGIVERS REF. Arne Vik (Jernbaneverket) og Anna Andrén (Banverket)	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-01698-3	PROSJEKTNR. 690400	ANTALL SIDER OG BILAG 55 sider + 3 bilag
ELEKTRONISK ARKIVKODE i:\2230\pro\690400\rapport\A00606.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Terje Lindland <i>T. Lindland</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Merete Kvidal <i>Merete Kvidal</i>
ARKIVKODE 611	DATO 2000-09-08	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Geir Svanø, forskningssjef <i>Geir Svanø</i>	

SAMMENDRAG

Rapporten inngår i FoU-prosjektet ”Erfaringer med utbygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn”. Prosjektet er et norsk/svensk samarbeidsprosjekt finansiert av Jernbaneverket og Banverket. Prosjektet ledes av SINTEF Bygg og miljøteknikk og utføres av SINTEF og Chalmers tekniska högskola i samarbeid med Jernbaneverket og Banverket. Ideen bak prosjektet er å vinne økt innsikt i setningsproblematikken for nye baner på bløt grunn gjennom erfaring fra gjennomførte jernbaneprosjekter. Sentralt i FoU-prosjektet er en systematisk informasjonsinnsamling fra 4 utvalgte nyanlegg i utbyggings- og driftsfasen.

Rapporten gjelder en utvalgt strekning på Gardermobanen (Kløfta – Trøgstad) inkludert nytt parti av Hovedbanen ved Trøgstad og oppsummerer målinger som er gjort de første 2-3 år av driftsfasen på strekningene. De mest sentrale data fra driftsfasen er:

- Setningsutvikling av spor og kontaktledningsmaster målt ved presisjonsnivellement
- Setningsutvikling i enkelte fyllinger målt med setningsslanger under fyllingene og Consoil setningsmåler
- Utvikling av sporets geometriske standard registrert med STRIX
- Gjennomførte vedlikeholdsarbeider som påvirker sporets høydebeliggenhet

Forventede setningsproblemer på denne delen av Gardermobanen er belyst i en tidligere rapport (rapport 2), hvor det er tatt utgangspunkt i data tilgjengelig på prosjekteringsstadiet og under byggefasen. Foreliggende rapport og rapport 2 vil, sammen med tilsvarende rapporter om de tre andre strekningene, danne erfaringsgrunnlaget for FoU-prosjektet. Med basis i dette erfaringsgrunnlaget vil det i siste del av prosjektet bli belyst hvordan setningsproblematikken kan håndteres på en mest mulig sikker og økonomisk optimal måte.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Jernbane	Railroad
GRUPPE 2	Fundament	Foundation
EGENVALGTE	Setninger	Settlement
	Tilstand	Condition
	Erfaring	Experience

FORORD

Denne rapporten er den åttende i en serie av rapporter i prosjektet "Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn". Prosjektet gjennomføres i samarbeid mellom SINTEF og Chalmers tekniska högskola og på oppdrag av Jernbaneverket i Norge og Banverket i Sverige.

To jernbanestrekninger i hvert land inngår i prosjektet som forsøksstrekninger. I Norge inngår følgende strekninger:

- Skogerparsellen på Vestfoldbanen
- Strekningen Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen, inkludert nytt parti av Hovedbanen ved Trøgstad

I Sverige inngår følgende strekninger:

- Strekningen Sättinge-Lekarekulle på Västkustbanan
- Strekningen Läggesta-Malmby på Svealandsbanan

Innenfor rammen av prosjektet er det utarbeidet rapporter fra innsamling av setningsinformasjon fra prosjekterings- og byggefasen. Disse er utgitt som rapport nr 1-4.

Denne rapporten omhandler innsamling av data fra driftsfasen for strekningen Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen (km 35,750 – 42,270) samt et nytt parti av Hovedbanen ved Trøgstad bru (km 41,230 – 42,390). Rapporten oppsummerer resultatene av datainnsamlingen fra de første 2 – 3 år av driftsfasen. Det er utarbeidet tilsvarende rapporter for de tre andre strekningene (rapportene 5-7). Rapportene på de to svenske strekningene er utarbeidet av Chalmers tekniska högskola.

Prosjektet ledes av et prosjektråd bestående av:

Anna Andrén, Banverket (fra januar 00)
Peter Zackrisson, Banverket (til september 99)
Bjørn Dehlbom, Banverket (til april 00)
Bente Lillestøl, Jernbaneverket (til mars 97)
Arne Vik, Jernbaneverket (fra mars 97)
Christopher Schive, Jernbaneverket
Bjørn Falstad, Jernbaneverket (fra september 97)
Göran Sällfors, Chalmers tekniska högskola
Sven Liedberg, Chalmers tekniska högskola/Skanska Teknik AB
Odd Magne Solheim, SINTEF/NOTEBY AS
Terje Lindland, SINTEF

Prosjektmedarbeidere hos SINTEF på denne delen av prosjektet har vært Odd Magne Solheim, Terje Lindland og Merete Kvidal.

Trondheim september 2000

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	4
1. GENERELL OMTALE AV PROSJEKTET	7
1.1 Orientering om prosjektet.....	7
1.2 Målsetting med rapporten.....	7
2. OMTALE AV PARSELLEN	9
2.1 Lokalisering.....	9
2.2 Fyllingsstrekninger med potensiale for setninger	11
2.3 Utførte setningsreduserende tiltak.....	12
3. SETNINGSPROGNOSER	14
3.1 Basis for setningsprognosene	14
3.2 Forventede mest kritiske setninger for utført banefundament.....	14
4. SETNINGER MÅLT UNDER FyllINGENE	17
5. SETNINGER MÅLT PÅ BANEANLEGGET I DRIFTSFASEN	18
5.1 Generelt om setningsnivellement	18
5.2 Setningsutvikling på Hovedbanen.....	19
5.2.1 Måleperiode.....	19
5.2.2 Midlere setninger målt langs banestrekningen.....	19
5.2.3 Setningsutvikling i tverrprofil	21
5.2.4 Differansesetninger	24
5.2.5 Skjevsetninger	25
5.3 Setningsutvikling på Gardermobanen	26
5.3.1 Måleperiode.....	26
5.3.2 Midlere setninger målt langs banestrekningen.....	26
5.3.3 Setningsutvikling i tverrprofil	29
5.3.4 Differansesetninger	31
5.3.5 Skjevsetninger	33
5.4 Setningsmålinger ved kulverter gjennom Gardermobanen	34
5.4.1 Måleperiode.....	34
5.4.2 Målte setninger ved kulvertene	35
6. UTVIKLING AV SPORETS GEOMETRISKE STANDARD	38
6.1 Sportilstandsmålinger med STRIX	38
6.2 Ujevnheter i høyden av en skinnestreng.....	40
6.2.1 Generelt om høydefeil.....	40
6.2.2 Høydefeil på Hovedbanen.....	41
6.2.3 Høydefeil på Gardermobanen	44
6.3 Vindskjevhet.....	47
6.3.1 Generelt om vindskjevhetsfeil.....	47
6.3.2 Vindskjevhetsfeil på Hovedbanen.....	48
6.3.3 Vindskjevhetsfeil på Gardermobanen	50
6.4 Foreløpige tanker om sporfeil og setninger.....	52
7. UTFØRT VEDLIKEHOLD I DRIFTSPERIODEN	53
8. REFERANSER	55

BILAG:

- Bilag 1 STRIX-målinger på Gardermobanen. Feilvekst av høydefeil
- Bilag 2 STRIX-målinger på Gardermobanen. Feilvekst av vindskjevhetsfeil
- Bilag 3 Sammenheng mellom kilometrering og profilering

SAMMENDRAG

Denne rapporten oppsummerer resultatene av setningsmålinger og tilstandsmålinger utført på parsellen Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen (km 35,750-42,270) og på et parti av Hovedbanen ved Trøgstad bru (km 41,230-42,390).

Setninger målt på spor og kontaktledningsfundamenter i driftsfasen

Setningsutviklingen av spor og kontaktledningsfundamenter er målt ved hjelp av presisjonsnivellelement på skinnene og fundamentene gjennom de første 2-3 driftsår for banestrekningene.

Referansestrekningen ved Trøgstad bru består av to tilløpsfyllinger med høyder på inntil ca 10 m. Som setningsreducerende tiltak er benyttet K/C-peler kombinert med Leca-fylling. Maksimal setningsutvikling i løpet av ca 3 år har vært:

- Søndre tilløpsfylling: 129 mm som tilsvarer 41 mm/år
- Nordre tilløpsfylling: 102 mm som tilsvarer 33 mm/år

Setningsprognosene som ble utført innenfor rammen av dette prosjektet, tydet på setninger i størrelsesorden 120-150 mm. Setningshastigheten har hatt en avtagende tendens gjennom måleperioden. På søndre tilløpsfylling var setningshastigheten ca 60 mm/år i starten av måleperioden og ca 25 mm/år i slutten av måleperioden. Tilsvarende tall for nordre tilløpsfylling var 45 mm/år og 15 mm/år. Det har vært en svak tendens til størst setning sentralt i fyllinga. Skjevsetningene har vært små.

Maksimal differansesetninger på de to tilløpsfyllingene var:

- Søndre tilløpsfylling (inn mot brua)
 - mastefundamenter: 2,5 ‰ (150 % av tillatt verdi ifølge Jernbaneverkets krav)
 - skinnestrenger: 5,2 ‰ (240 % av tillatt verdi ifølge Jernbaneverkets krav)
- Nordre tilløpsfylling (nordre del av tilløpsfyllinga)
 - mastefundamenter: 1,8 ‰ (100 % av tillatt verdi ifølge Jernbaneverkets krav)
 - skinnerstrenger: 2,2 ‰ (100 % av tillatt verdi ifølge Jernbaneverkets krav)

Bortsett fra et parti som ligger på en 6 m høy fylling, har det vært små setninger i måleperioden på 22 måneder på *referansestrekningen på Gardermobanen*. Maksimal setninger på fyllingen har vært 64 mm som tilsvarer 33 mm/år. I sporet var setningshastigheten ca 40 mm/år det første året og ca 23 mm/år det andre året. Mastefundamentene har hatt noe mindre setningsutvikling enn sporet. Ellers har setningene i måleperioden vært under 10 mm med unntak av to korte parti med setninger på henholdsvis 18 og 12 mm.

På hele denne strekningen av Gardermobanen er både differansesetninger og skjevsetninger langt under Jernbaneverkets krav.

Utvikling av sporets geometriske standard

Både utvikling av høydefeil (ujevnhet i høydene av hver skinnestreng) og vindskjevheter i sporene er undersøkt i prosjektet.

På *referansestrekningen ved Trøgstad bru* på Hovedbanen, som er enkeltsporet, viser STRIX-målingene over en måleperiode på ca 3 år følgende for høydefeil:

- På brua var det ingen feilvekst de første 2,5 år. A-feil (2-6 mm) oppsto etter ca 3 år på brua.
- På tilløpsfyllingene var det en feilvekst for A-feil på i størrelsesorden 5 feil pr skinnestreng pr 100 m-strekning gjennom måleperioden på 3 år. A-feilene, både antall pr 100 m-strekning og feilvekst, fordeler seg forholdsvis jevnt over hele lengden på tilløpsfyllingene.
- Inn mot brua oppsto B-feil (6-9 mm) 0,5-1 år etter sporjustering. På tilløpsfyllinga forøvrig oppsto ikke B-feil.
- Inn mot brua oppsto C-feil (>9 mm) 1-1,5 år etter sporjustering. På tilløpsfyllinga forøvrig oppsto ikke C-feil.

For vindskjevhetsfeil viser STRIX-målingene følgende:

- På brua var det ingen feilvekst de første 2,5 år. A-feil (2-7 mm) oppsto etter ca 3 år på brua.
- På nordre tilløpsfylling var det en feilvekst for A-feil på i størrelsesorden 3 feil pr 100 m-strekning i løpet av måleperioden på 3 år. Det er en viss opphopning av feil inn mot brua.
- Det har ikke oppstått B-feil (7-10 mm) og C-feil (>10 mm) i løpet av måleperioden.

Observert tilstandsutvikling tyder på:

- Feilveksten av sporfeil på fyllinger med langvarige setninger i grunnen er klart større og har større omfang enn feilveksten på strekninger uten setninger i grunnen. Dette viser at langvarige setninger har vesentlig betydning for utvikling av sporfeil.
- De fleste og alvorligste feilene oppstår ved overgang mellom ulike grunnforhold; her overgang mellom bru og fylling. Her er det potensiale for differansesetninger.
- Studien viser at setningsinduserte feil av langbølga karakter også genererer feil av kortbølga karakter, som registreres med STRIX målevogn.

På *referansestrekningen på Gardermobanen* viser STRIX-målingene de to første driftsår en eksponentiell vekst i antall sporfeil (A-feil). Spesielt etter ca 1,5 år øker antall feil.

Forøvrig er følgende observert for høydefeil:

- Det oppsto ikke B- og C-feil på strekningen.
- På de lengste fyllingsstrekningene ble det ikke generert flere sporfeil enn på de øvrige strekningene i løpet av måleperioden.
- Heller ikke på en høy fylling med maksimale setninger på 60 mm, ble det flere sporfeil enn gjennomsnittlig på strekningen.
- På to korte fyllinger på under 100 m, ble det generert over dobbelt så mange sporfeil som på strekningen forøvrig.
- Målingene viser flere sporfeil ved kulvertene enn på fyllingene forøvrig. Ved enkelte kulverter er det opp mot dobbelt så mange sporfeil som gjennomsnittlig på fyllingene. Variasjonene er imidlertid store fra kulvert til kulvert.

Det oppsto såpass få vindskjevhetsfeil i løpet av måleperioden at det er vanskelig å se spesielle utviklingstrekk for vindskjevheter.

Generelt er feiltilveksten betydelig lavere på referansestrekningen på Gardermobanen enn på referansestrekningen på Hovedbanen.

1. GENERELL OMTALE AV PROSJEKTET

1.1 Orientering om prosjektet

Både i Norge og i Sverige foregår en stor del av jernbaneutbyggingen på bløte og kompressible leiravsetninger. Et hovedproblem med jernbaneutbygging på bløt grunn er at det utvikles setninger i grunnen lenge etter at bygging er avsluttet. Dette har ugunstige følger for geometrisk tilstand av sporet og kontaktledningen i driftsfasen.

På denne bakgrunn er det etablert et norsk/svensk samarbeidsprosjekt finansiert av Jernbaneverket og Banverket. Prosjektet har tittelen ”Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn”. Prosjektet ble påbegynt høsten 1995 og har en varighet på 5-6 år. Prosjektet ledes av SINTEF Bygg og miljøteknikk. Chalmers tekniska högskola medvirker i prosjektet sammen med SINTEF. Jernbaneverket og Banverket utfører selv deler av informasjonsinnsamlingen i prosjektet.

Hovedambisjonen med prosjektet er å legge grunnlag for en mest mulig sikker og økonomisk optimal håndtering av setningsproblemene ved prosjektering, utbygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn. Noen av hovedspørsmålene i denne forbindelse er:

- Hva er nødvendige geotekniske undersøkelser for å få et tilfredstillende prosjekteringsgrunnlag?
- Hva er optimal bruk av setningsreducerende tiltak?
- Hvordan bør banestrekninger med pågående setninger følges opp i driftsfasen?

Sentralt i prosjektet står en systematisk informasjonsinnsamling om setningsrelaterte forhold fra utvalgte utbyggingsparseller. To utbyggingsparseller fra hvert land inngår i prosjektet. På utbyggingsparsellene er informasjonsinnsamlingen konsentrert om to hovedstadier:

1. Informasjonsinnsamling fra byggefasen (som omfatter prosjektering og utbygging)
2. Informasjonsinnsamling fra tidlig driftsfase (de 2-3 første driftsår for anlegget)

I tilknytning til byggefasen er informasjonen om forventede setninger sentralt. Dette baseres i hovedsak på prognoser som utarbeides spesielt for dette prosjektet med basis i byggeplanene og tilgjengelig geoteknisk prosjekteringsgrunnlag. I driftsfasen kartlegges opptredende setninger og geometriske feil gjennom de 2-3 første driftsår. Sentralt her er en sammenligning mellom setningsutviklingen og generering av sporfeil.

Basert på resultatene fra de 4 utbyggingsparsellene vil det mot slutten av prosjektet bli gjennomført en samlet analyse av de ulike problemstillingene prosjektet skal belyse.

1.2 Målsetting med rapporten

Denne rapporten oppsummerer målingene som er gjort i driftsfasen for parsellen Kløfta – Trøgstad på Gardermobanen og et parti av Hovedbanen ved Trøgstad bru. Innledningsvis i rapporten er det tatt med en oppsummering av de setningsprognosene som er utført og dokumentert i rapport nr 2: ”Forventede setninger for Gardermobanen, parsell Kløfta - Trøgstad” /1/.

Videre i rapporten er det lagt vekt på følgende målinger fra driftsfasen:

- Setningsutvikling av spor og kontaktledningsmaster målt ved presisjonsnivellement
- Setningsutvikling under enkelte fyllinger målt med setningsslanger under fyllingene og Consoil setningsmåler
- Utvikling av sporets geometriske standard registrert med STRIX målevogn
- Gjennomførte vedlikeholdsarbeider som påvirker sporets høydebeliggenhet

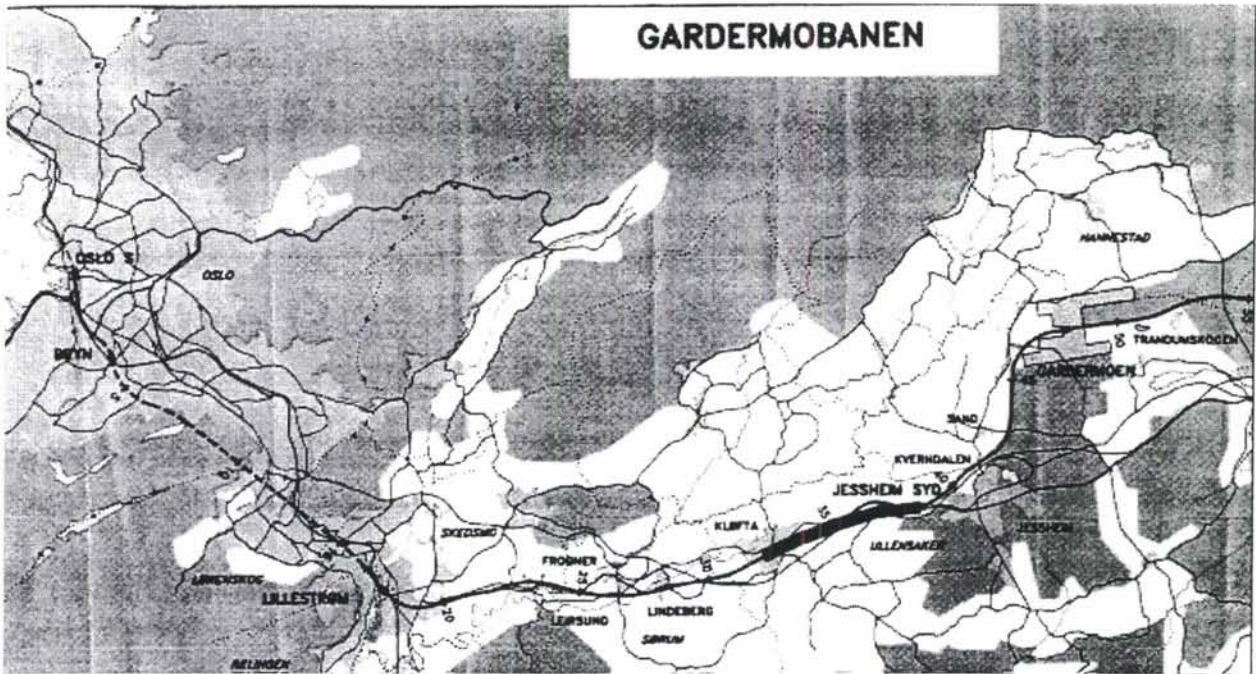
Hensikten med denne rapporten er å systematisere og sammenstille data og informasjon fra driftsfasen. Sammen med informasjon fra byggefasen skal disse sammenstillingene tjene som basisgrunnlag for vurderinger og analyser av utvalgte problemstillinger. Basisrelasjonene som vil bli undersøkt i neste fase av prosjektet er :

- Sammenheng mellom setningsprognoser og målte setninger
- Setningsreduksjon med bruk av setningsreducerende tiltak sammenholdt med tiltakskostnader
- Målte setninger og tilstandsutvikling for spor
- Målte setninger og vedlikeholdsbehov

2. OMTALE AV PARSELLEN

2.1 Lokalisering

Strekningen er en del av den 10.3 km lange anleggsparsellen Arteid Bru-Kverndalen på Gardermobanen (GMB), som ble åpnet for trafikk sommeren 1998. En nyanlagt del av Hovedbanen (HB) ved Trøgstad, hvor Hovedbanen krysser i ny bru over Gardermobanen, inngår også i strekningen. Denne strekningen ble åpnet for trafikk i oktober 1996. I figur 2.1 er beliggenheten av strekningen på Gardermobanen vist. Trøgstad bru er lokalisert i nordre del av denne strekningen.



FIGUR 2.1 Lokalisering av strekningen Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen

I tabell 2.1 er noen nøkkelopplysninger om referansestrekningen gitt.

TABELL 2.1 Nøkkelopplysninger om referansestrekningen (parsell Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen)

Lokalisering	På Gardermobanen, innenfor anleggsparsell Arteid Bru-Kverndalen i Akershus fylke. Sørenden av parsellen like sør for Kløfta stasjon, nordenden ved Trøgstad. Midten av parsellen ligger ca 35 km fra Oslo Sentralstasjon målt langs Gardermobanen.
Referansesystem for stedsangivelse	GMB: Kilometrering (km-brudd ved km 40,910) HB: Kilometrering
Strekningens beliggenhet (i referansesystemet)	Aktuell del av GMB: km 35,750 – km 42,264 Aktuelle deler av HB: km 41,240 – km 41,660 og km 41,930 – km 42,380 (tilløpsfyllinger) Total lengde: 6200m+870m=7070 m
Byggherre	NSB Gardermobanen A/S (for omlagt del av HB: Jernbaneverket og NSB Gardermobanen A/S)
Prosjektert av	Hovedkonsulent: Reinertsen Engineering Underkonsulent geoteknikk: Siv.ing Ottar Kummeneje A/S
Bygd av	Hovedentreprenør: A/S Veidekke
Byggeperiode	Prosjektering (byggeplaner): juli 1994–desember 1994 Underbygningsarbeider: mai 1995–des 1996
Driftsstart GMB	Prøvedrift: april 1998 Ordinær drift: oktober 1998
Driftsstart HB	Omlagt del av Hovedbanen ved Trøgstad ble tatt i bruk i desember 1996.
Kort karakteristikk av anlegget	GMB: Nytt dobbeltspor dimensjonert for 200 km/time. På deler av strekningen ligger traseen i nærføring med eksisterende Hovedbane. Banen går mye i skjæring eller på lave fyllinger. En større fylling, 6 kulverter i banefundamentet. En god del støyvoller langs banen. Også til dels omfattende terrengendringer i banens nærområder (nedplanering, motfylling, massedeponier). HB v/Trøgstad: 280 m lang bru med store tilløpsfyllinger for nytt enkeltspor, totalt ca 1500 m.
Grunnforhold	Stort sett regelmessige grunnforhold. Marine leiravsetninger med mektighet stort sett mer enn 40 m. Under tørrskorpelaget (1–4 m) er leira middels fast til bløt. Sensitiv og kvikk leire fra 10–15 m dybde. Lagdelt siltig leire i enkelte områder, særlig i nordre del. Uregelmessige grunnforhold med oppfylte leirmasser, muligens også rasmasser på ett parti (der hvor den største fyllinga ligger).
Banefundament	Forsterkningslag: 72 cm knust stein 0–250 mm Frostsikringslag: min 110 cm tunnelstein med d_{max} 500 mm Trau i skjæring: 3 % tverrfall på fri strekninger, 3 % ensidig fall på strekninger bygd inntil eksisterende bane. Fiberduk kl IV og jordarmeringsnett i trauet. Fyllinger: Bygd av sprengstein, delvis lettklinker på noen partier
Drenering	Lukket drenering i separat ledning med fall min 1:250 Delvis lukket overvannssystem
Grunnforsterkning	GMB: K/C-peler mest i skjæringer, men også under 1 av 6 kryssende kulverter HB: K/C-peler under tilløpsfyllingene nærmest brua ved Trøgstad
Baneoverbygning	Skinner: UIC 60 Sviller: UIC 60 c/c Ballast: 50 cm puk 25–63 mm
Kontaktledningsanlegg	Fundamenter: 5 m lange betongpeler rammet fra FP, unntatt for den største fyllinga, hvor det er benyttet sålefundamenter gravd ned i steinfyllinga. Master: H-profil i stål

2.2 Fyllingsstrekninger med potensiale for setninger

Fyllinger

Det er lokalisert til sammen 8 fyllingsstrekninger, hvorav 6 på selve Gardermobanen og 2 på Hovedbanen ved Trøgstad. En oversikt over fyllingsstrekningene er vist i tabell 2.2. Av den 6,2 km lange referansestrekningen på Gardermobanen ligger ca 58 % på fylling. Utenom fylling 4 er det relativt lave fyllinger. Fyllingene 7 og 8 på omlagt del av Hovedbanen er høye fyllinger.

TABELL 2.2 Oversikt over fyllingsstrekningene på Gardermobanen og Hovedbanen (HB)

Parameter	enhet	Fylling							
		1	2	3	4	5	6	7 (HB)	8 (HB)
Strekning	km	35,80- 36,65	36,80- 38,65	38,80- 39,07	39,77- 40,25	40,58- 40,68	42,12- 42,19	41,28- 41,66	41,93- 42,38
Lengde	m	850	1850	270	480	100	70	380	450
Fyllingshøyde-typisk	m	1,8	1,5	1,0	6	1,7	3	6	5
Fyllingshøyde - maksimal	m	2,2	2	1,6	7,5	1,9	4	11	8
Fyllingsbredde	m	10-20	10-20	10-15	30-45	10-20	5-20	10-25	10-20
Fyllingstverrsnitt - typisk	m ²	25	20	15	250	20	50	150	100
Sideutvidelse av gml fylling		ja	ja	ja	ja	nei	delvis	ja	ja
Opprinnelig terrengtype ^{*)}		A	A	A	C	B	B	C	C
Variasjon i grunnforhold		liten	liten	liten	stor	liten	liten	noe	noe
Kulverter i fyllingen	stk	4	2						
Overgang til bru	stk							1	1

^{*)} opprinnelig type leirterreng (før inngrep):

A) tilnærmet flatt, antatt uberørt etter avsetning

B) kupert etter lokale ravinedannelser

C) kupert etter større ravinedannelser og ras

Kulverter i fyllingene

Det er bygd 6 kulverter gjennom banefundamentet på fyllingene 1 og 2. Nøkkelopplysninger om kulvertene framgår av tabell 2.3. Slik kulvertene er utført kan det bli lokal grunnvannssenking. Kulvertene vil dermed representere et potensiale for differansesetninger i grunnen av to årsaker:

- Varierende fyllingsvekt (avlastning ved kulverten)
- Varierende GV-senkning (størst ved kulverten)

TABELL 2.3 Kulverter på fyllingsstrekning 1 og 2

Identifikasjon	Kulvert nr	1	2	3	4	5	6
	Km	36,02	36,24	36,36	36,42	37,03	37,67
Størrelse (innvendige mål)	høyde	3 m	4,3 m	3 m	3 m	3 m	3 m
	bredde	4 m	11 m	3,5 m	4 m	4 m	4 m
Ny fylling	høyde	1,7 m	1,0 m	0	2,2 m	1,8 m	2,0 m
	bredde	14,5 m	12 m	-	11 m	10 m	10,5 m
Gml fylling	bredde	lav	24 m	-	36 m	10 m	11 m
Terrenginngrep	gravedybde ^{*)}	4,1 m	6,1 m	5,9 m	3,6 m	2,1 m	3,8 m
	GV-senkning ^{**)}	2,2 m	3,4 m	2,5 m	0	1,4 m	2,5 m

^{*)} Det er utført masseutskifting til frostfri dybde under kulvertene

^{**)} GV-senkningen er beregnet ut fra antatt GV for opprinnelig terreng og planlagt dretnivå (grunnvannssenkingen er lokal ved kulvertene)

2.3 Utførte setningsreducerende tiltak

En oversikt over utførte setningsreducerende tiltak på fyllingsstrekningene er gitt i tabell 2.4. Alle tiltak i forbindelsene med grunnarbeidene som er forventet å innvirke på setningene i driftsfasen er medtatt her. Omfanget og kostnadene for tiltakene er vist i tabell 2.5.

Aktive forsterkningstiltak i form av K/C-peler og Leca lettklinker er benyttet i beskjedent omfang på Gardermobanen (ca på 5% av fyllingspartiene). På Hovedbanen er slike tiltak benyttet under nesten 1/3 av fyllingene. Gjennomsnittlige kostnader for tiltakene som er utført, er:

- På GMB: ca 20 000 kr pr lm dobbeltspor
- På HB: ca 30 000 kr pr lm enkeltspor

Det viktigste setningsreducerende tiltaket på Gardermobanen er tidlig utlegging av fyllingene. Dette var tatt inn som en forutsetning i anbudet. Dette har trolig ikke gitt vesentlige tilleggskostnader.

TABELL 2.4 Oversikt setningsreducerende tiltak

Type tiltak	Nærmere beskrivelse	Parti hvor tiltaket er benyttet		Hovedhensikt
		Fylling	Strekning/sted	
K/C-peler	Ø600 mm, L=15 m, c/c 50 cm i ribber	1	Ved kulvert 2 (for Fv 452)	Stabilisering av byggegrøp for vegkulvert under GMB, HB og tilliggende stasjonsområde
	Ø600 mm peler c/c 1-1,25 m i trekantmønster. Pelelengder 8-18 m	7	HB km 41,560 – km 41,655	Reduksjon og utjevning av setninger (kombinert med Leca-fylling)
	Ø600 mm peler c/c 1-1,25 m i trekantmønster. Pelelengder 12-18 m	8	HB km 41,935 – km 41,985	Reduksjon og utjevning av setninger (kombinert med Leca-fylling)
Leca lett fyllmasse	Inntil 2 m tykk Leca-fylling	4	km 39,780 – km 39,930	Utjevning av differansesetninger
	Lecafylling med 9 m bredde på toppen, høyde 6 m nord for km 41,535, gradvis avtrappet sør for km 41,535	7	HB km 41,455 – km 41,658	Reduksjon og utjevning av setninger (kombinert med K/C-peler nærmest brua)
	Lecafylling med 11 m bredde på toppen, høyde inntil 4,8 m, gradvis avtrappet nord for km 41,945	8	HB km 41,934 – km 41,990	Reduksjon og utjevning av setninger (kombinert med K/C-peler)
Tidlig utlegging av fyllinger	Krav om oppfylling til FP innen 1/11-95 stilt i anbudgrunnlaget	4	km 39,780 – km 39,800	Gjøre unna mest mulig av setningene før driftsstart

TABELL 2.5 Omfang og kostnad for setningsreduserende tiltak

Type tiltak	Sted	Utførelsesmetode	Utført mengde	Totalkostnad (eks.mva)	Beregnet enhetskostnad (eks.mva)
K/C-peler	GMB v/ Kløfta, km 36,229 – km 36,251 (ved kulvert 2*)	Ø600 mm peler satt i ribber med rute størrelse 2x4 m til dybde 15 m u/terreng. Skråpeler under eksisterende spor for HB.	2234 peler, hvorav 334 skråpeler. Samlet pelelengde 32848 lm bto og 20850 lm nto (med innblanding) pelelengde. Stabilisert areal ca 71x22m (1570 m ²)	kkkr 1500 hvorav 35% til stabiliseringsmidler	a) ca kr 72,- pr nto lm pel, ca kr 46,- pr bto lm pel b) ca kr 670 pr pel c) ca kr 254 pr m ³ stabilisert leire d) kr 955 pr m ² stabilisert areal d) kr 68000,- pr lm dobbeltspor
	HB ved Trøgstad km 41,560 – km 41,655 og km 41,935 – km 41,985 (søndre og nordre tilløpsfylling til Trøgstad bru, fylling 7 og 8)	Ø600 mm peler satt i trekantmønster til dybder stort sett 12-18 m. Øverste 1 m uten innblanding av kalk/semment.	2703 peler, hvorav 231 skråpeler. Samlet pelelengde 39104 lm bto og 36622 lm nto (med innblanding) pelelengde. Stabilisert areal, fylling 7 ca 24x95 m (2280 m ²) og fylling 8 ca 23.5x50 m (1175 m ²)	kkkr 2040 hvorav 44% til stabiliseringsmidler	a) ca kr 56,- pr nto lm pel, ca kr 52,- pr bto lm pel b) ca kr 755 pr pel c) ca kr 197 pr m ³ stabilisert leire d) kr 590 pr m ² stabilisert areal d) kr 14000,- pr lm dobbeltspor
Leca lett-klinker (**)	GMB ved Haug km 39,780 – km 39,930 (søndre del av fylling 4)	Kileformet Leca fylling som del av steinfylling, inntil 2 m tykt Leca-lag	6729 vam ³ over en strekning 150 m	kkkr 1888 (uten fradrag for sparte fyllmasser)	a) ca kr 280 pr m ³ b) ca kr 12 500 pr lm dobbeltspor
	HB ved Trøgstad km 41,455 – km 41,658 og km 41,934 – km 41,990 (søndre og nordre tilløpsfylling til Trøgstad bru, fylling 7 og 8)	Søndre landkar: 6 m tykk Leca-fylling avtrappet til null over 80 m lengde. Nordre landkar: kileformet fylling med tykkelse inntil 4-5 m.	20874 vam ³ over to strekninger på tilsammen 259 lm	kkkr 5855 (uten fradrag for sparte fyllmasser)	a) ca kr 280 pr m ³ b) ca kr 22 000 pr lm enkeltspor

*) K/C-peler er her primært benyttet for å sikre stabiliteten i byggefasen ved utgraving for kulvertkryssing av Fv 452 sør for Kløfta st. Mindre enn 30 % av pelene har betydning med tanke på setninger av ny GMB. "Lengde" av stabilisert parti langs GMB er 22 m.

**) Leca-fyllinger er lagt ut og komprimert i lagtykkelser maks 1 m. Separasjon mot leire og sprengstein er sikret med fiberduk. Overdekningen over Leca-fyllingene er min 182 cm opp til Formasjonsplan.

3. SETNINGSPROGNOSER

3.1 Basis for setningsprognosene

Som del av dette prosjektet er det utført egne setningsberegninger for å undersøke potensialet for setninger langs parsellen. Disse setningsprognosene er presentert i /1/.

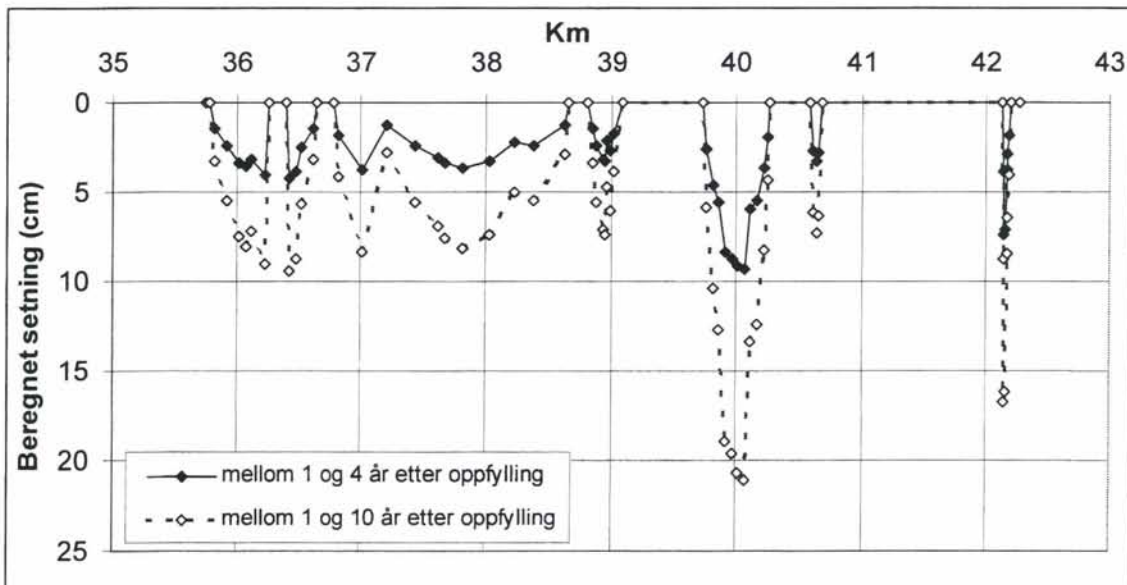
Setningsprognosene er utarbeidet med basis i byggeplantegninger og tilgjengelig geoteknisk prosjekteringsgrunnlag. Det er både utarbeidet setningsprognoser for banefundamentet slik dette er utført og for et tilfelle uten bruk av setningsreducerende tiltak. Forventede mest kritiske setninger i driftsfasen er fokusert og sammenholdt med setningskravene i Jernbaneverkets regelverk /2/. Her er det tatt hensyn til virkelig liggetid for fyllingene før banen ble tatt i bruk.

Ved utarbeidelse av setningsprognosene er karakteristiske egenskaper for grunnen tolket med basis i utførte grunnundersøkelser.

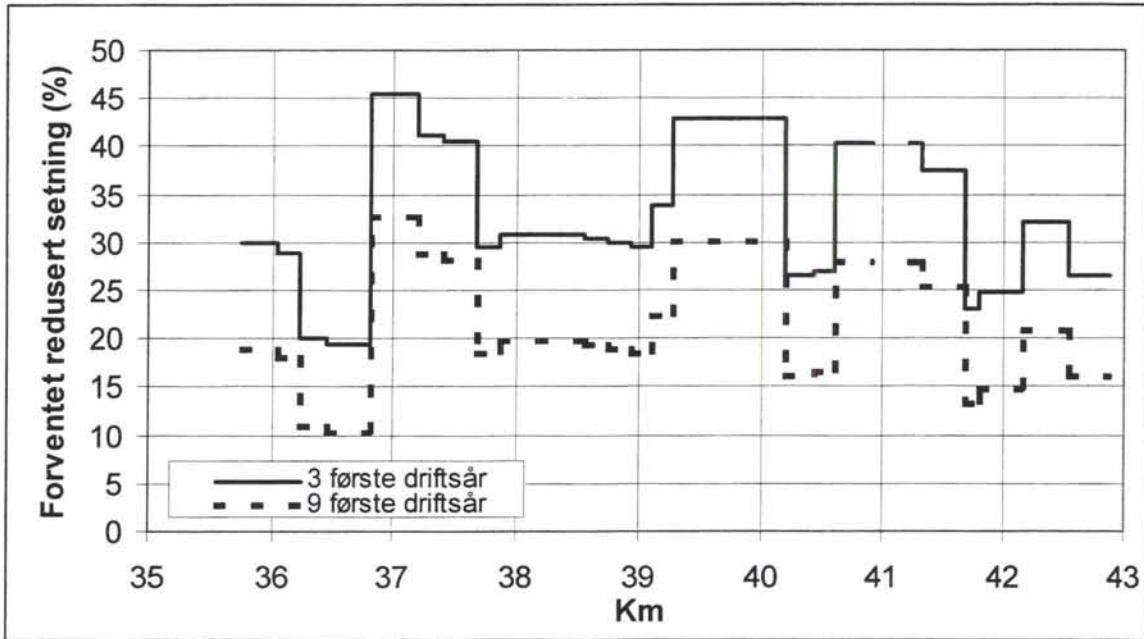
3.2 Forventede mest kritiske setninger for utført banefundament

Forventet setningsutvikling for utført banefundament er vist i figur 3.1, 3.2 og 3.3. Jernbaneverkets regelverk angir akseptgrenser for maksimalt tillatte setninger i tidsperiodene 1-4 år og 4-10 år etter oppfylling (δ_{1-4} og δ_{4-10}). Akseptgrensene avhenger av lengden av den setningsgivende perioden mellom oppfylling og ferdigjustering av sporet før banedrift t_0 .

Figur 3.1 viser beregnet setningsutvikling uten setningsreducerende tiltak for Gardermobanen. I figur 3.2 er forventet reduksjon av setningene som følge av liggetid for fyllingene ut over ett år vist.



FIGUR 3.1 Strekning langs Gardermobanen. Estimat av midlere setningsutvikling i enkeltprofiler i tidsperiodene 1-4 år og 1-10 år etter oppfylling

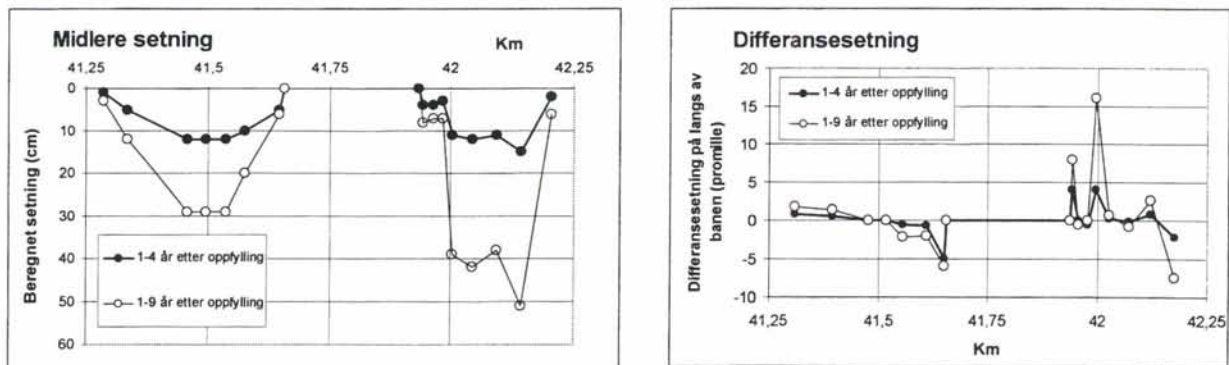


FIGUR 3.2 Forventet reduksjon av setningene langs Gardermobanen i driftsperioden som følge av liggetid for fyllingene ut over ett år (driftsstart antatt 1998-04-01)

Under tilløpsfyllingene til Trøgstad bru på Hovedbanen er det brukt setningsreduserende tiltak i omfattende grad (se tabell 2.4 på side 12). Utførte grunnforsterkningstiltak består av:

- K/C-peler under 95 m lengde av søndre tilløpsfylling og 50 m lengde av nordre tilløpsfylling (totalt 2700 peler med lengde inntil 18 m)
- Løs Leca i ca 200 m lengde av søndre tilløpsfylling og 55 m lengde av nordre tilløpsfylling (totalt ca 6700 m³; dvs ca 26 m³ Leca pr lm fylling i gjennomsnitt).

Effekten av disse omfattende tiltakene på setningsutviklingen vil være betydelig, og det er gjort en separat beregning av forventet setningsutvikling med de utførte tiltakene. Resultatet er vist i figur 3.3.



FIGUR 3.3 Beregnede midlere setninger og differansesetninger for utført banefundament langs Hovedbanen ved Trøgstad (medregnet effekt av setningsreduserende tiltak)

Av figur 3.3 framgår at setningene mellom 1 og 4 år etter oppfylling er maksimalt 12-15 cm, men det totale potensiale for setninger i driftsfasen er beregnet å være ca tre ganger så stort. Beregnede differansesetninger i overgangene inn mot brua er første 3 driftsår i størrelsesorden 5 ‰ på begge sider. Dette er nesten dobbelt så mye som tillatt ifølge setningskravene. Langs nordre tilløpsfylling viser beregningen at det er ett parti til med like store differansesetninger som inn mot brua. Dette kan tyde på at de setningsreduserende tiltakene er avsluttet noe tidlig på nordsiden av brua. På søndre tilløpsfylling tyder beregningen på at avtrappingen av de setningsreduserende tiltakene sørover fra brua har vært vellykket. For begge fyllingene må det imidlertid ventes å gjenstå et differansesetningsproblem i fyllingsavslutningene inn mot brua.

Alt i alt antas de setningsreduserende tiltakene langs Hovedbanen å ha redusert potensialet for setninger vesentlig, fra å ligge langt over tillatte verdier til å nærme seg disse. Deler av de setningsreduserende tiltakene måtte uansett gjennomføres av stabilitetshensyn.

4. SETNINGER MÅLT UNDER FYLLINGENE

Under anleggsperioden ble det installert 4 slangesetningsmålere langs referansestrekningen. Lokalisering av målerne og gjennomførte målinger pr 1997-01-23 er vist i tabell 4.1. I 1997 er setningsslangene målt to ganger; hhv 6/5 og 8/11.

TABELL 4.1 Oversikt over gjennomførte slangesetningsmålinger tom 1996

Lokalisering av installerte målere		Tidspunkter			
Km	Fylling	1. måling (referanse-måling)	fyllingen antatt ferdig utlagt (oppfyllings-tidspunkt)	2.måling	3.måling
39,950	fylling 4	95-10-15	95-11-01	96-07-03	*)
40,075	fylling 4	95-10-15	95-11-01	96-07-03	96-09-18
HB 41,640	fylling 7	96-09-18	sept/okt-96	ikke utført	
HB 41,950	fylling 8	96-09-18	sept/okt -96	ikke utført	

*) planlagt 96-09-18, men måling umulig da måleslangen var fylt med vann

På grunn av problemer med usikre høydefastmerker er setningsslangemålingene svært usikre. Resultatene av målingene utført i 1995 og 1996 er likevel bearbeidet og vist i tabell 4.2. Målinger utført i 1997 kan det ikke heftes lit til. Det er også opplyst at måleslangen ved profil 39,950 ikke lenger er i funksjon. Det er derfor ikke utført flere slangesetningsmålinger.

TABELL 4.2 Setninger i byggeperioden iflg slangesetningsmålinger

Km	Tidsperiode (regnet fra oppfylling)	Målte setninger i angitte tidsperioder			
		middel-verdi (cm)	maksimal-verdi (cm)	skjev-setning (%)	setnings-hastighet (cm/år)
39,950	0-8 mnd	24	31	2	36
40,075	0-8 mnd	27	30	1	41
	8-10.5 mnd	7	7	~ 0	34

5. SETNINGER MÅLT PÅ BANEANLEGGET I DRIFTSFASEN

5.1 Generelt om setningsnivellement

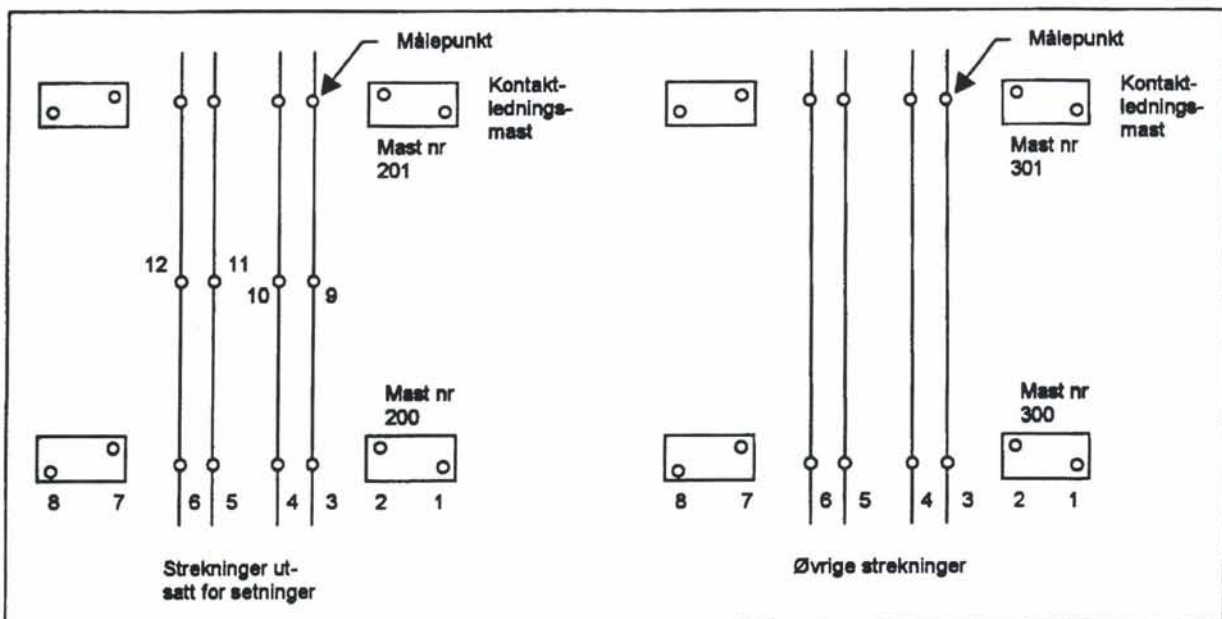
På fyllingene med potensiale for setninger er det nivellert i følgende tverrprofil:

- I tverrprofil ved mastefundamentene er alle 4 skinnestrengene (skinnetopp) og 2 punkt på hver kontaktledningsfundament nivellert, dvs 8 punkt pr tverrprofil (på Hovedbanen, som er enkeltsporet er 4 punkt i tverrprofilen nivellert)
- I tverrsnitt midt mellom mastene er alle 4 skinnestrengene (2 skinnestrenger på Hovedbanen) nivellert

På de øvrige strekningene er det nivellert i følgende tverrprofil:

- I tverrprofil ved mastefundamentene er alle 4 skinnestrengene (skinnetopp) og 2 punkt på hver kontaktledningsfundament nivellert, dvs 8 punkt pr tverrprofil (4 punkt på Hovedbanen)

Måleprinsippet er vist i figur 5.1.



FIGUR 5.1 Måleprinsipp for setningsnivellement

Nivellerte høyder for baneanlegget er bearbeidet ved bruk av regneark. Med utgangspunkt i målingene er det utarbeidet ulike diagrammer for å beskrive setningene av baneanlegget i driftsfasen. Disse diagrammene er presentert i kapitlene 5.2-5.3.

Ved beregning av setningene i sporene er det tatt hensyn til de utførte sporjusteringene. Figur 7.1-7.3 i kapittel 7 viser en samlet oversikt over utførte setningsnivellement, STRIX-målinger og sporjusteringer. Setningsutviklingen målt på kontaktledningsfundamentene (se f.eks figur 5.3) er beheftet med minst usikkerhet. Resultatene av disse målingene virker også gjennomgående troverdige.

5.2 Setningsutvikling på Hovedbanen

5.2.1 Måleperiode

Tabell 5.1 viser tidspunktene det er utført setningsnivellement. Trøgstad bru ble tatt i bruk i desember 1996, dvs 3 måneder før første setningsmåling. Tilløpsfyllingene til brua ble bygd sommeren 1996, dvs ca 9 måneder før setningsmålingene begynte.

TABELL 5.1 Oversikt over setningsnivellement ved Trøgstad bru på Hovedbanen

Måletidspunkt	Tid etter første måling
1997 19.-20. mars	0 mnd
11.-12. september	6 mnd
1998 19.-23. juni	15 mnd
1999 24.-25. mars	24 mnd
23. november	32 mnd
2000 3.-4. mai	37,5 mnd

5.2.2 Midlere setninger målt langs banestrekningen

En oversikt over akkumulert setningsutvikling på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene er vist i figur 5.2 og figur 5.3. Figur 5.2 viser målt setning på kontaktledningsfundamentene, mens figur 5.3 viser midlere setning målt i sporet (middel av målingene på hver av de 2 skinnene). Figurene viser målt setningsutvikling på ulike tidspunkt i driftsfasen regnet fra første måling i mars 1997 (ca 3 måneder etter åpning av brua) til siste måling i mai 2000. På begge tilløpsfyllingene har det oppstått setninger over en strekning på 300-350 meter. På sidene av disse to partiene er det bare generert små setninger. Maksimale setninger har oppstått over en strekning på 100-150 meter på hver av tilløpsfyllingene. I løpet av den 37,5 måneder lange måleperioden har maksimal setning på søndre tilløpsfylling vært ca 13 cm i sporet og ca 12 cm for kontaktledningsfundamentene, som står på ytterkanten av fyllinga. På nordre tilløpsfylling har maksimal setning vært ca 10 cm i sporet og ca 9 cm for kontaktledningsfundamentene.

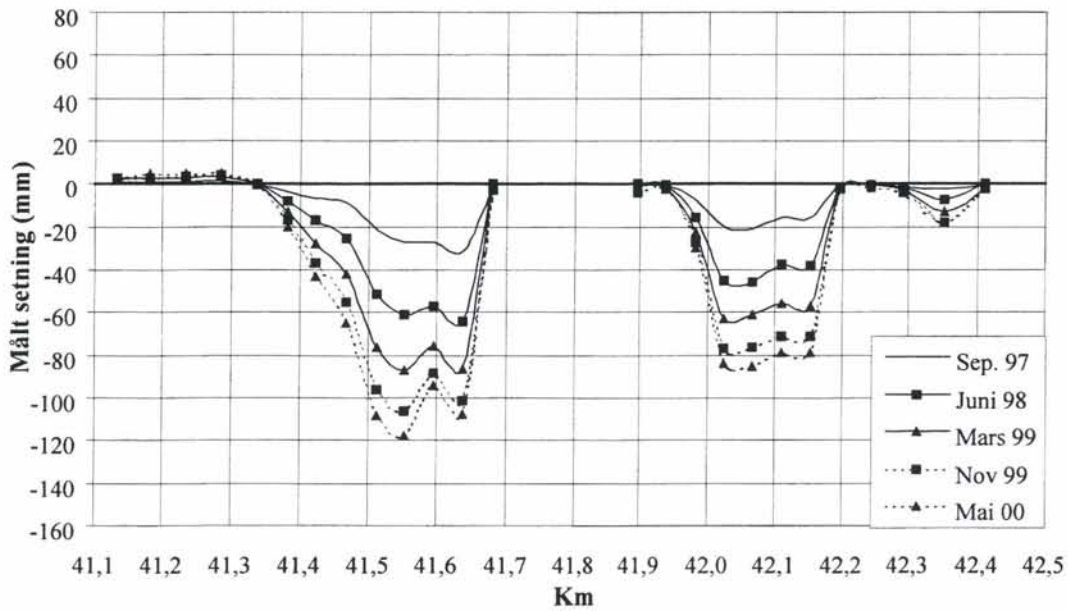
Maksimal setningsutvikling målt på de to tilløpsfyllingene i løpet av den ca 3 år lange måleperioden (3-40 måneder etter driftstart) har vært:

søndre tilløpsfylling: 129 mm (maks v/ km 41,552)
nordre tilløpsfylling: 102 mm (maks v/ km 42,132)

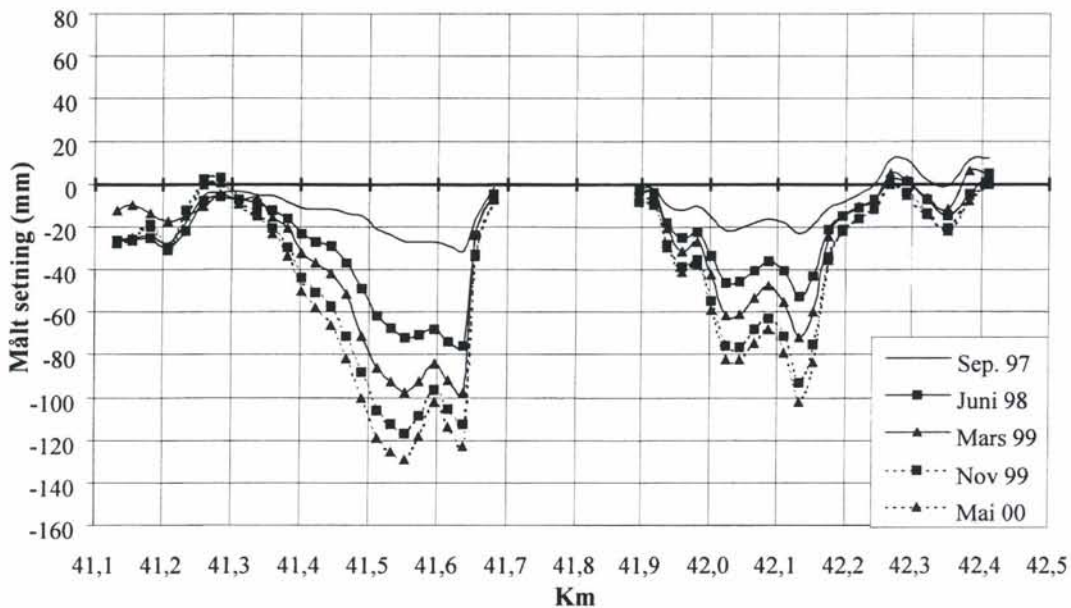
Største målte midlere setningshastighet på de to tilløpsfyllingene i løpet av måleperioden er:

søndre tilløpsfylling: 41 mm/år
nordre tilløpsfylling: 33 mm/år

Trøgstad bru har en lengde på 280 m, og strekker seg fra km 41,656 til km 41,936. På figur 5.2 og figur 5.3 ser en tydelig bruas beliggenhet.



FIGUR 5.2 Hovedbanen ved Trøgstad. Setning målt på kontaktledningsfundamentene



FIGUR 5.3 Hovedbanen ved Trøgstad. Setning målt i sporet (midlere setning av de to skinnestrengene)

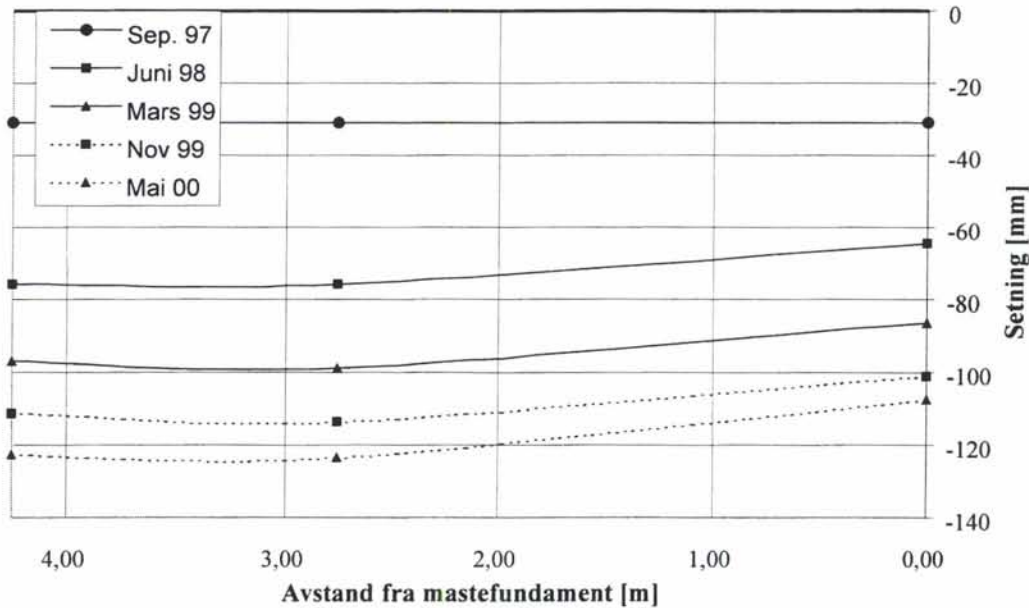
5.2.3 Setningsutvikling i tverrprofil

Målt tverrprofil med størst setninger på søndre tilløpsfylling er ved km 41.552. Målte setninger i de ulike målepunktene i tverrprofilen i km 41.638 er vist i figur 5.4. Setningene i dette tverrprofilen, som ligger nærmere inn mot brua, er under 1 cm mindre enn i tverrprofilen ved km 41.552.

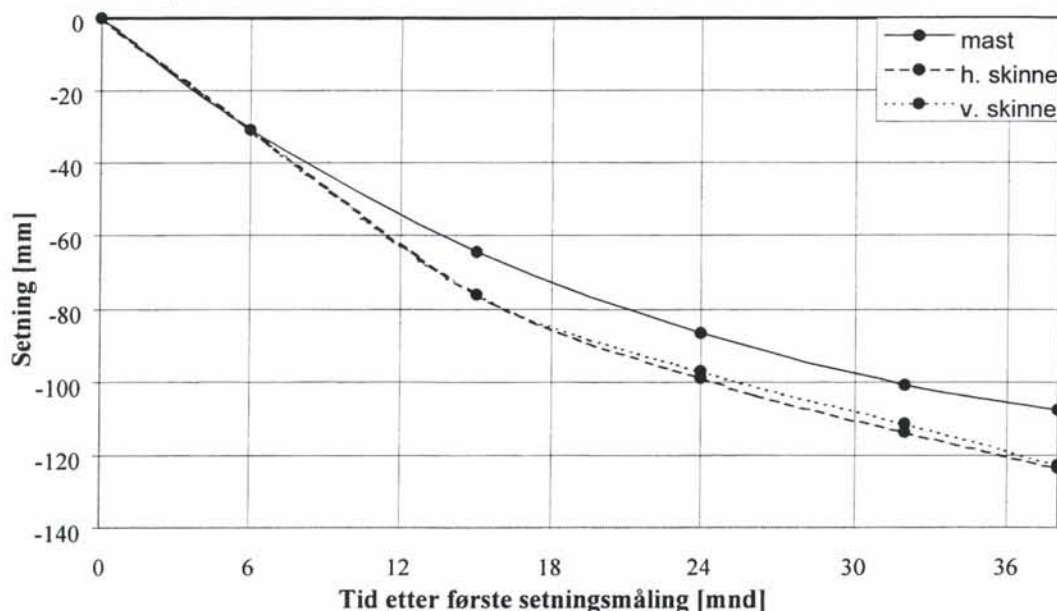
Figur 5.5 viser tidsutviklingen av setningene i tverrprofilen i km 41.638 for hver av de to skinnestrengene og mastefundamentet. I figur 5.5 er setningene av skinnene korrigert for pakking i mai/juni 1997, sporjustering i juli/august 1997 (skifting av glideskjøt) og pakking i oktober 1999.

Figur 5.4 viser at setningsmønsteret i tverrprofilen har vært regelmessig gjennom hele måleperioden. Det har vært en tendens til skjevsetning mot venstre side av profilet (ca 4 ‰), dvs at sporet har satt seg mer enn mastefundamentene. For fyllinga som helhet er skjevsetningene små.

Figur 5.5 viser at setningshastigheten har hatt en gradvis avtagende tendens gjennom måleperioden. I sporet var setningshastighet ca 60 mm/år i starten av måleperioden og ca 25 mm/år 3 år senere. Mastefundamentene har hatt mindre setningshastighet enn sporene, særlig ved slutten av måleperioden. Da var setningshastigheten for mastefundamentene ca 15 mm/år.



FIGUR 5.4 Målte setninger i tverrprofil ved km 41,638 på søndre tilløpsfylling

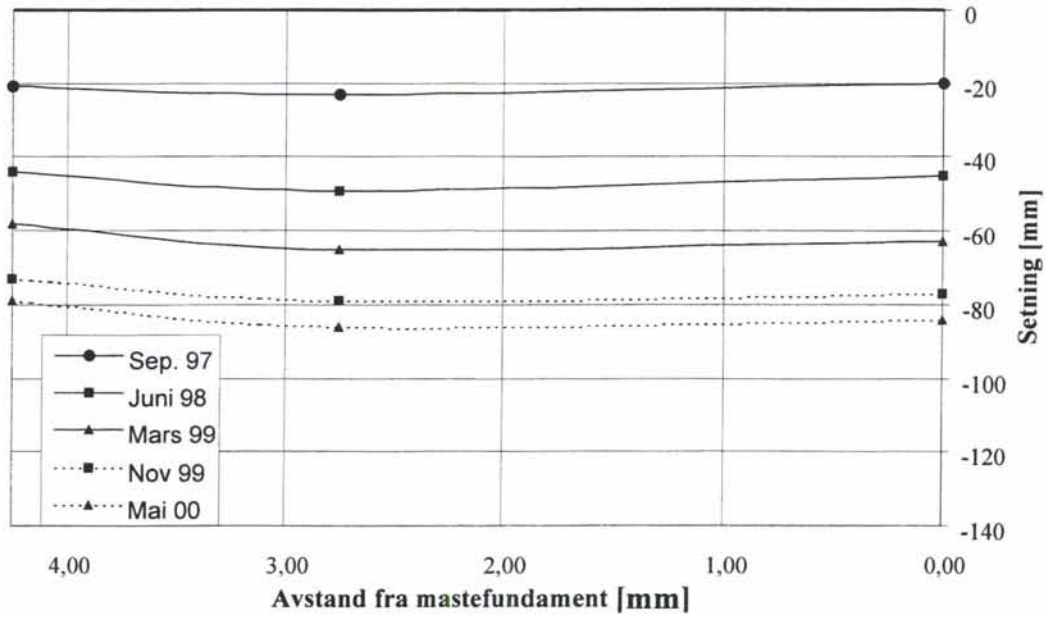


FIGUR 5.5 Tidsutvikling av setningene i sporet ved km 41,638 på søndre tilløpsfylling

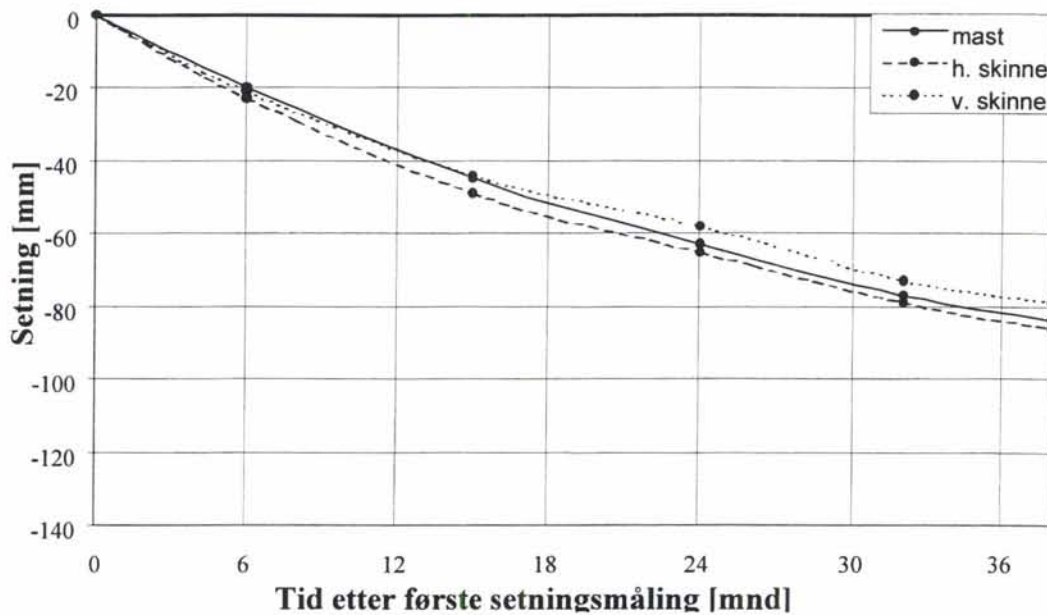
Målt tverrprofil med størst setninger på nordre tilløpsfylling er ved km 42,132. Målte setninger i de ulike målepunktene i tverrprofilet i km 42,025 er vist i figur 5.6. Setningene i sporet i dette tverrprofilet, som ligger nærmere inn mot brua, er ca 2 cm mindre enn i tverrprofilet ved km 42,132. Setningene målt på kontaktledningsfundamentene er like i de to tverrprofilene. Figur 5.7 viser tidsutviklingen av setningene i tverrprofilet i km 42,025 for hver av de to skinnene og mastefundamentet.

Figur 5.6 viser at setningsmønsteret i tverrprofilet har vært regelmessig gjennom hele måleperioden. Det har vært en svak tendens til størst setning sentralt i fyllinga. For fyllinga som helhet er skjevsetningene små.

Figur 5.7 viser at setningshastigheten har hatt en gradvis avtagende tendens gjennom måleperioden. Både i sporet og i mastefundamentene var setningshastigheten ca 45 mm/år i starten av måleperioden og ca 15 mm/år ved slutten av måleperioden (ca 3 år senere).



FIGUR 5.6 Målte setninger i tverrprofil ved km 42,025 på nordre tilløpsfylling



FIGUR 5.7 Tidsutvikling av setningene i sporet ved km 42.025 på nordre tilløpsfylling

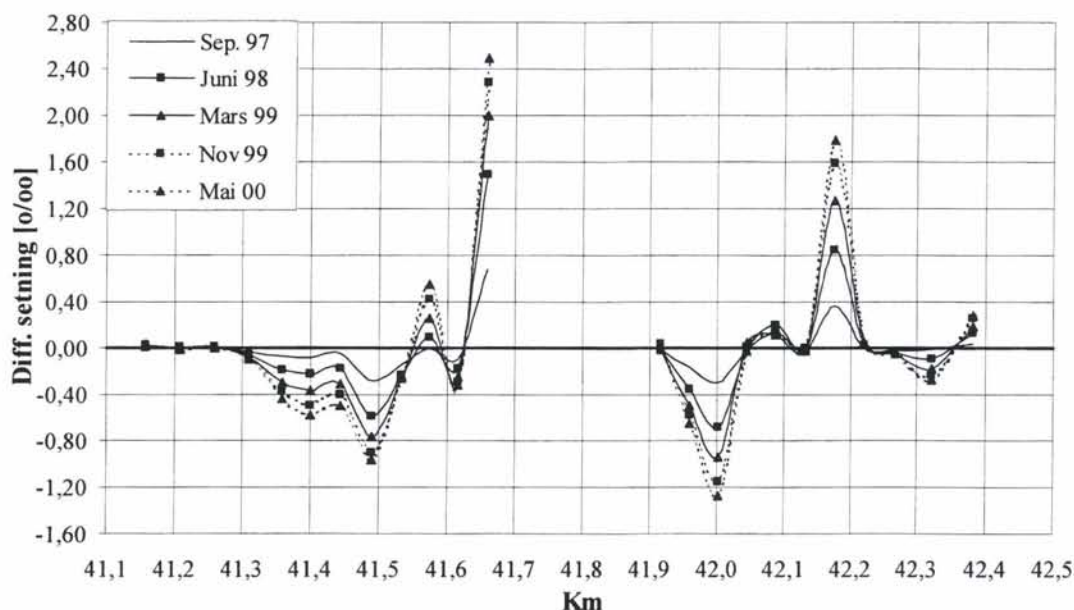
5.2.4 Differansesetninger

Differansesetninger målt mellom mastefundamentene er vist i figur 5.8. Figuren viser differansesetninger på ulike tidspunkt gjennom hele måleperioden. Målingene viser at de største differansesetningene har funnet sted inn mot brua på begge tilløpsfyllingene i tillegg til lenger nord på nordre tilløpsfylling.

Maksimale differansesetninger generelt mellom mastefundamentene på de to tilløpsfyllingene i løpet av den 37,5 måneder lange måleperioden er:

- søndre tilløpsfylling: 2,5 ‰ (inn mot brua)
- nordre tilløpsfylling: 1,8 ‰ (nordre del av tilløpsfyllinga)

Den største differansesetningen på søndre tilløpsfylling tilsvarer ca 150 % av tillatt verdi ifølge Jernbaneverkets setningskrav /2/. Måleverdiene for mastene viser at differansesetningene på søndre tilløpsfylling overskrider setningskravene som gjelder for de 3 første driftsårene.



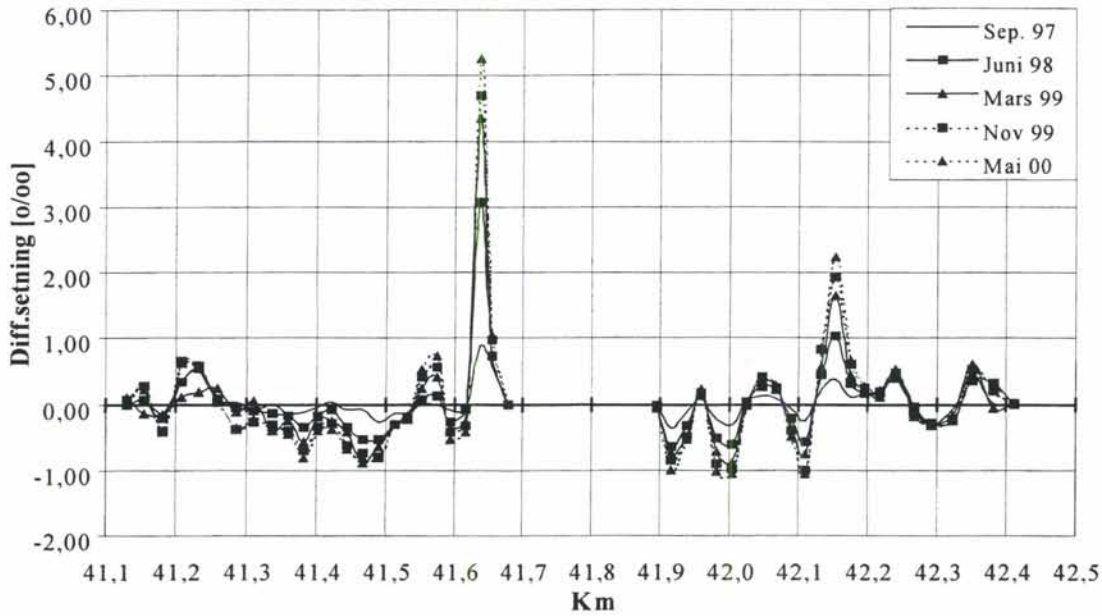
FIGUR 5.8 Differansesetning mellom mastefundamentene

Midlere differansesetning målt langs sporet er vist i figur 5.9. Kurven er beregnet ut fra middel av de to skinnene.

Maksimale differansesetninger målt på de to tilløpsfyllingene er:

- søndre tilløpsfylling: 5,2 ‰ (nær brua)
- nordre tilløpsfylling: 2,2 ‰ (nordre del av tilløpsfyllinga)

Forøvrig overskrider differansesetningene ikke 1 ‰ på strekningen. Maksimal differansesetning målt i sporet nær brua på søndre tilløpsfylling er mer enn dobbelt så stor som tillatt verdi ifølge Jernbaneverkets setningskrav /2/. Ved midten av nordre tilløpsfylling er målt differansesetning på grensen av tillatt verdi. Forøvrig ligger differansesetningene målt på sporet klart innenfor setningskravene for de tre første driftsårene.



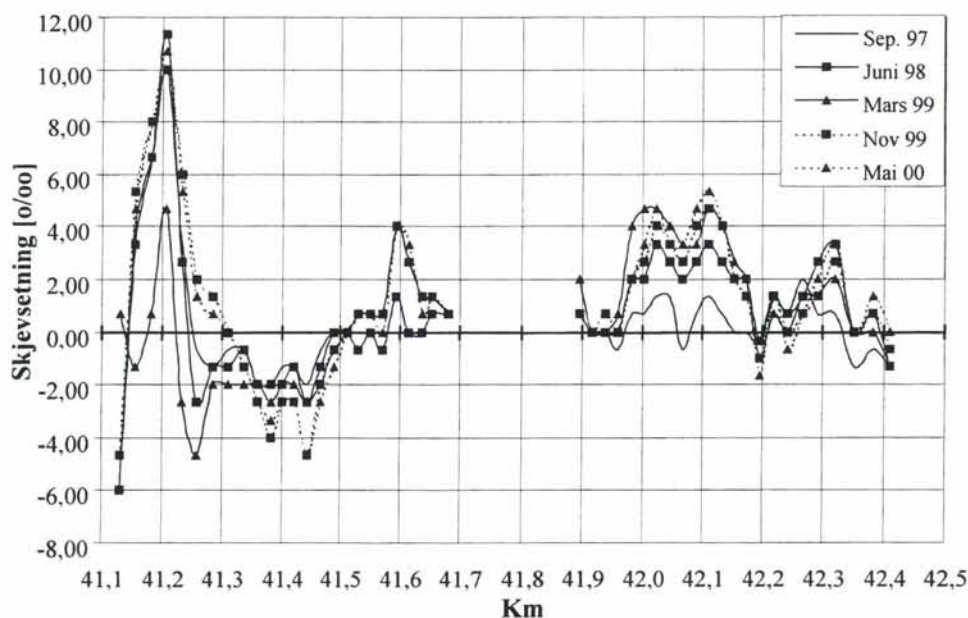
FIGUR 5.9 Midlere differansesetning målt langs sporet

Kurvene i figur 5.8 viser at differansesetninger mellom mastefundamentene omtrent bare har funnet sted på fyllingspartiene. Kurvene i figur 5.9 viser at differansesetningene i sporet ikke er like klart avgrenset til fyllingspartiene. Dette kan skyldes at deformasjoner i overbygningen bidrar til høydeforskjeller langs sporet.

5.2.5 Skjevsetninger

Sideskjevheter målt i sporet gjennom den ca 3 år lange måleperioden er vist i figur 5.10. Med unntak av et sted langs sporet er målte sideskjevheter maksimalt 6 ‰ i måleperioden. Inn mot brua (nærmeste 50 m) er sideskjevhetene under 2 ‰.

Punktet med størst skjevsetning er ved km 41,2 og sideskjevheten i dette tverrprofilet er 12 ‰. Denne sideskjevheten har oppstått over en måleperiode på 37,5 mnd. Måleperioden starter ca 9 mnd etter oppfylling. I dette området har det ikke vært setninger. Dette viser at andre forhold enn langvarige setninger i grunnen har bidratt til sideskjevheter i sporet. I Jernbaneverkets nåværende setningskrav /2/ er maksimalt tillatt skjevsetning av fyllinger 12 ‰ i løpet av de 3 første driftsår. Skjevsetningen av fyllinga er derfor såvidt innenfor tillatt verdi.



FIGUR 5.10 Sideskjevheter målt mellom skinnene i sporet

5.3 Setningsutvikling på Gardermobanen

5.3.1 Måleperiode

Tabell 5.2 viser tidspunktene det er utført setningsnivellement. Strekningen ble åpnet for prøvedrift i april 1998 og for ordinær trafikk i oktober 1998. Første nivellement ble utført i juni 1998, dvs ca 4 måneder før banen ble åpnet for ordinær drift. De 6 fyllingene som er lokalisert på strekningen har liggetider på fra 2 til 3 år fra oppfylling (innfylling av nedre forsterkningslag) til ordinær drift i oktober 98.

TABELL 5.2 Oversikt over setningsnivellement på Gardermobanen, parsell Kløfta-Trøgstad

Måletidspunkt	Tid etter første måling
1998 10.-18. juni	0 mnd
1999 27. april-7. mai	10,5 mnd
2000 7.-26. april	22 mnd

5.3.2 Midlere setninger målt langs banestrekningen

Akkumulert setningsutvikling langs parsellen på Gardermobanen er vist i figur 5.11 og 5.13. Figur 5.11 viser midlere setning målt i sporene (middel av spor 1 og spor 2), mens figur 5.13 viser midlere setning av kontaktledningsfundamentene (middel av venstre og høyre side). Figurene viser akkumulert setningsutvikling på 2 tidspunkt i driftsfasen etter første måling i juni 98. Samlet måleperiode er på ca 22 måneder fram til april 2000.

Av figurene ser en at de største setningene har oppstått på et parti rundt km 40,0. Dette partiet ligger på fylling 4 (nummerering av fyllingene er vist i tabell 2.2). Figur 5.12 og 5.14 viser

akkumulert setningsutvikling over strekningen fra km 39,5 til km 40,5 mer detaljert. Figurene viser at det har oppstått en forsenkning på ca 6 cm over en lengde på ca 350 m i løpet av måleperioden på 22 måneder.

Maksimal setningsutvikling målt på de 5 fyllingspartiene (på fylling 6 er det ikke utført målinger) i løpet av måleperioden på 22 måneder er:

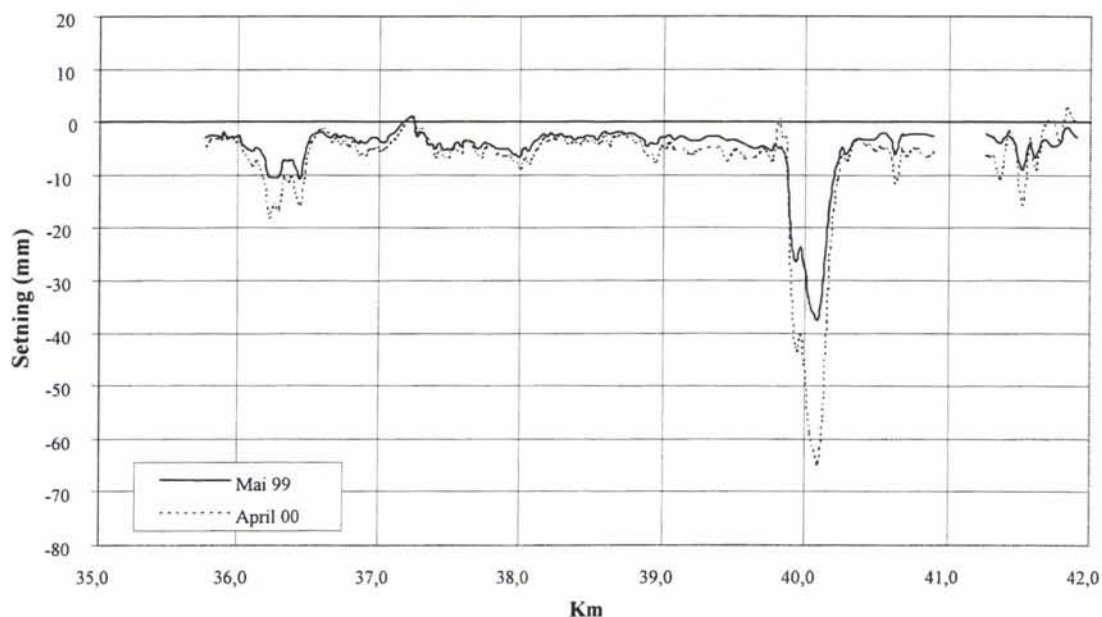
fylling 1:	18 mm	(maks v/ km 36,212)
fylling 2:	9 mm	(maks v/ km 38,058)
fylling 3:	8 mm	(maks v/ km 38,911)
fylling 4:	64 mm	(maks v/ km 40,097)
fylling 5:	12 mm	(maks v/ km 40,643)

På 3 av de 5 fyllingene er det målt setninger på over 10 mm i løpet av måleperioden på 22 måneder. I tillegg er det et kort parti rundt km 41,5 som har hatt setninger på over 10 mm (ca 16 mm). Fylling 4 skiller seg klart ut når det gjelder setningsutvikling, og målingene tyder på at det fortsatt pågår betydelig setningsutvikling her. Forøvrig på strekningen er setningene små.

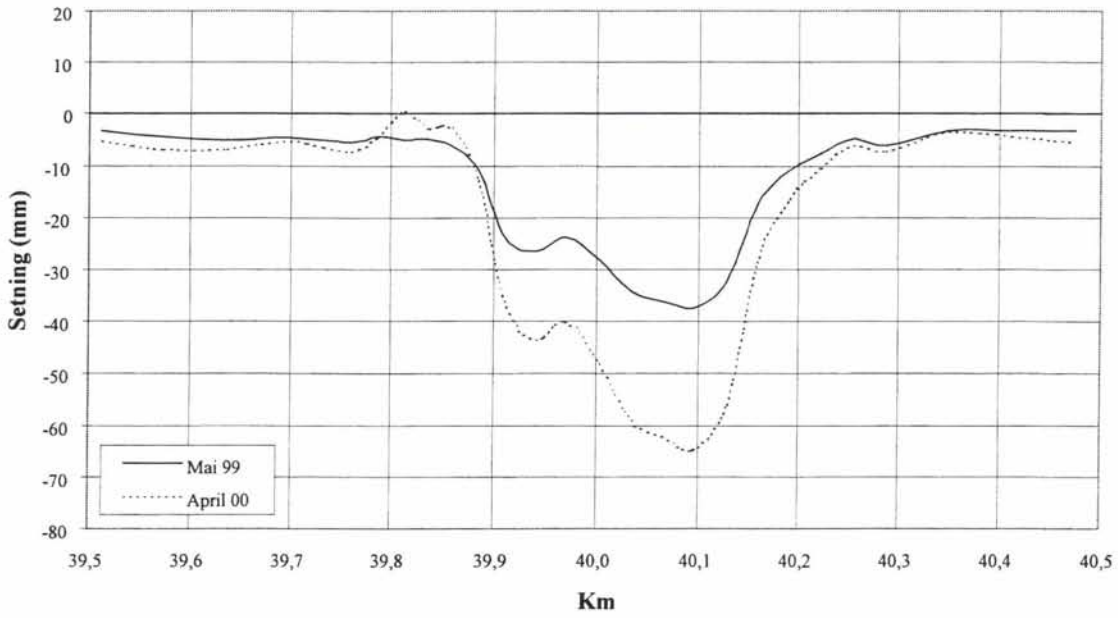
Største midlere setningshastighet på de 5 fyllingene i løpet av måleperioden er:

fylling 1:	10 mm/år
fylling 2:	5 mm/år
fylling 3:	4 mm/år
fylling 4:	33 mm/år
fylling 5:	7 mm/år

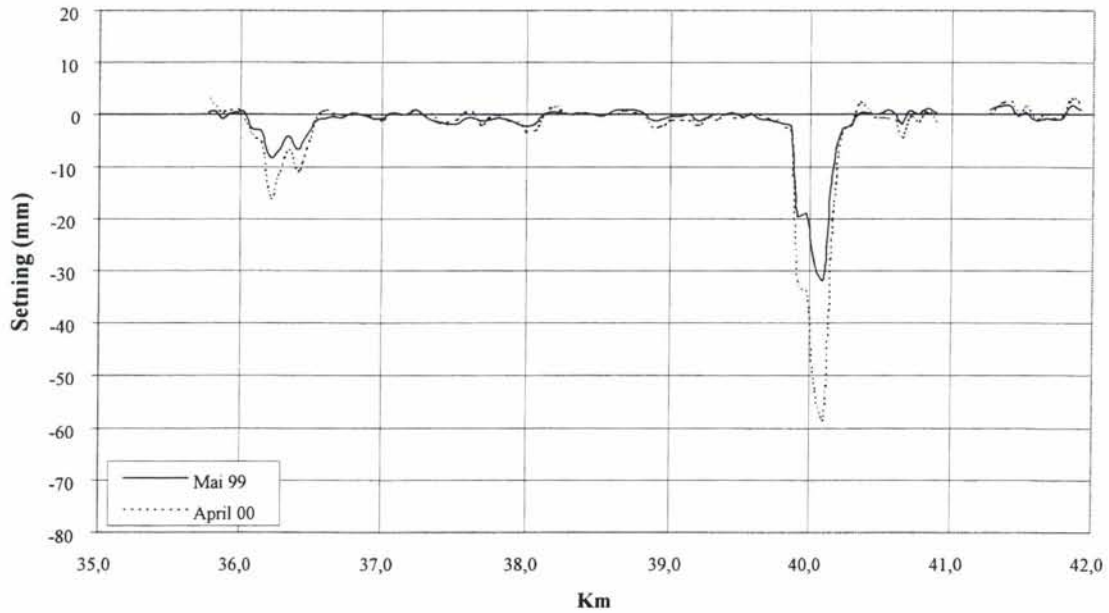
Det er et kjedebrudd ved km 40,910. Derfor er det ingen målinger på de aktuelle figurene på strekningen km 40,910-km 41,224.



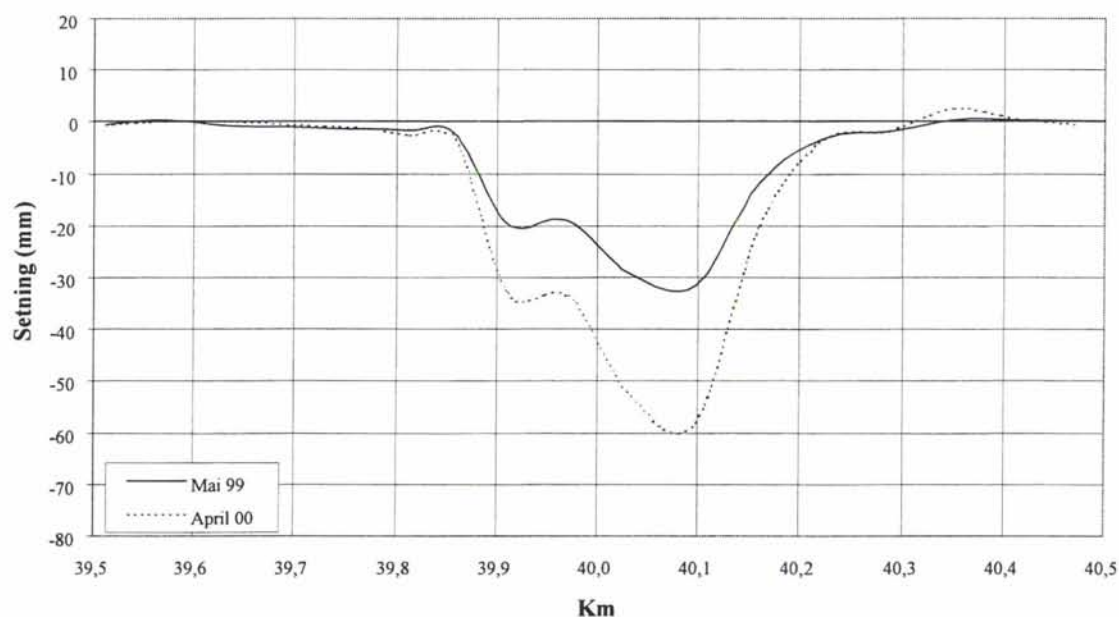
FIGUR 5.11 Midlere setning målt i sporene (middel av spor 1 og spor 2), parsell Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen



FIGUR 5.12 Midlere setning målt i sporene (middel av spor 1 og spor 2) på strekningen km 39,5-km 40,5



FIGUR 5.13 Midlere setning målt på kontaktledningsfundamentene (middel av venstre og høyre side), parsell Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen



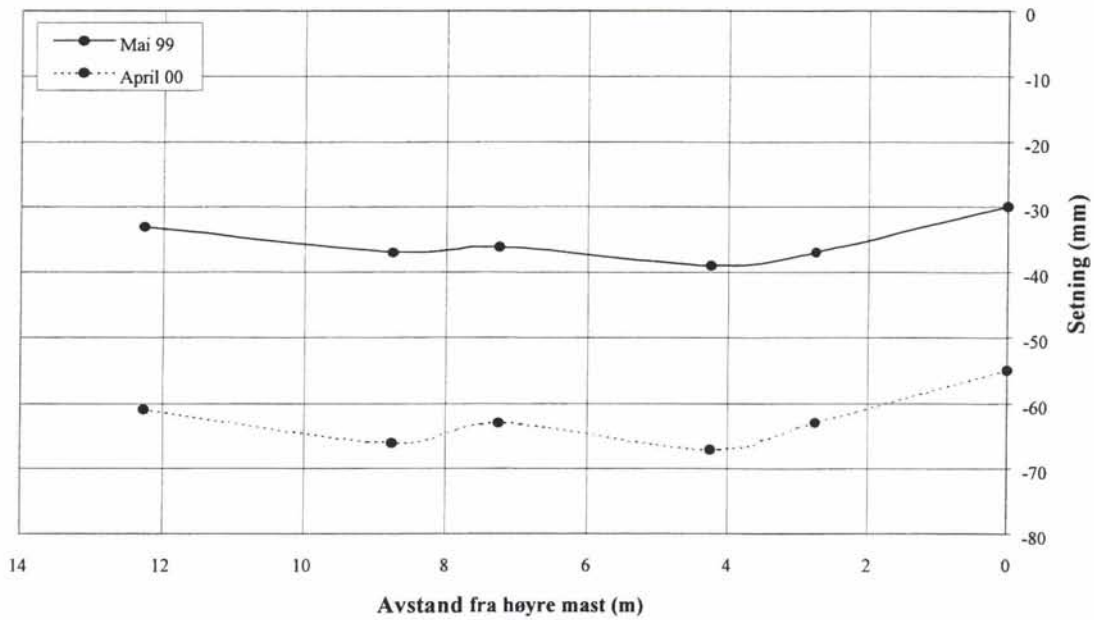
FIGUR 5.14 Midlere setning målt på kontaktledningsfundamentene (middel av venstre og høyre side) på strekningen km 39,5-km 40,5

5.3.3 Setningsutvikling i tverrprofil

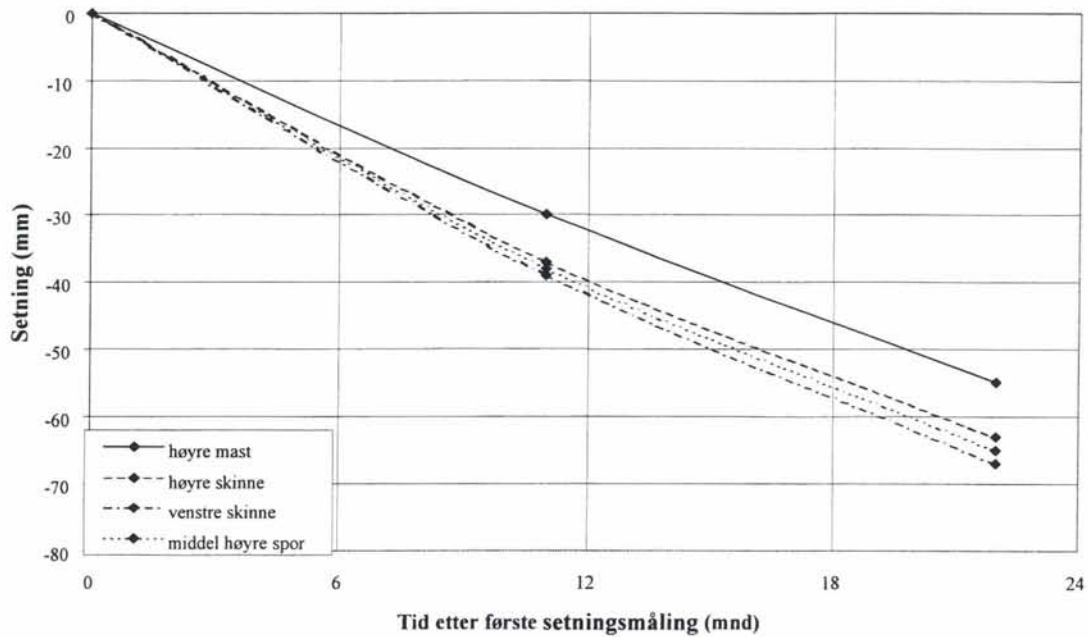
Det tverrprofilet som det er målt størst setning i på fylling 4, er ved km 40,097. Målte setninger i dette tverrprofilet er vist i figur 5.15. Figur 5.16 og 5.17 viser tidsutviklingen av setningene i høyre spor og venstre spor og på tilhørende mastefundamenter.

Figur 5.15 viser at setningsmønsteret har vært regelmessig gjennom måleperioden. Det har vært en svak tendens til at sporene setter seg mer enn mastefundamentene. Det har også vært en svak tendens til skjevsetning mot venstre side av tverrprofilet. For fyllinga som helhet har skjevsetningene vært små (ca 0,5 ‰), men i spor 1 er det generert en skjevhet på ca 2,7 ‰ og på spor 2 ca 2,1 ‰ i løpet av måleperioden på 22 mnd. Disse skjevsetningene ligger langt under tillatt verdi (25 ‰ for 3 første år i driftsperioden)

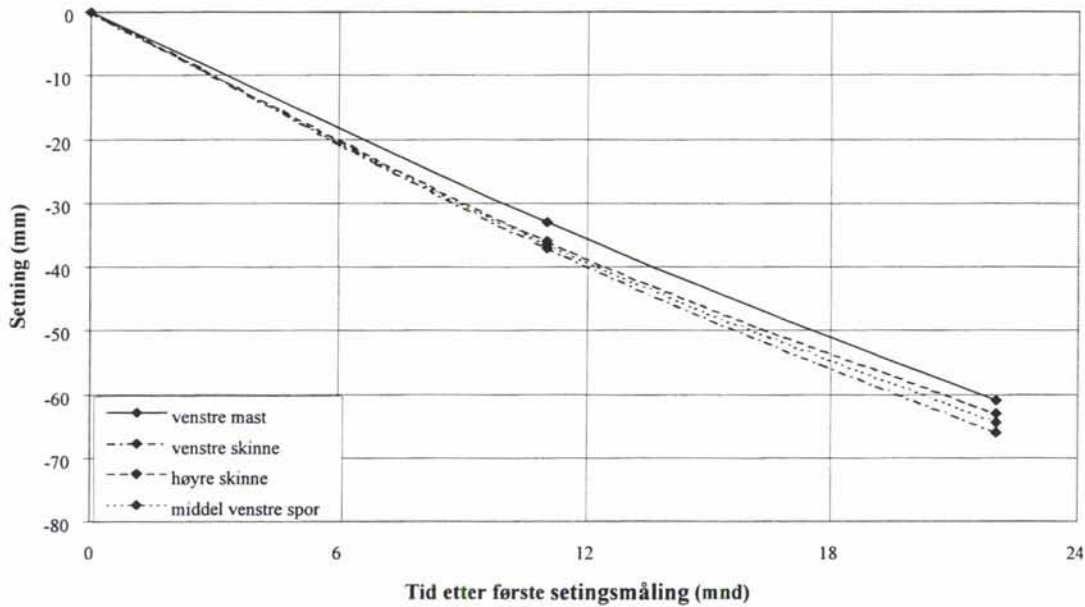
Figur 5.16 og 5.17 viser at setningshastigheten har hatt en avtagende tendens gjennom måleperioden. I sporet var setningshastigheten ca 40 mm/år det første året og ca 23 mm/år det andre året. Mastefundamentene har hatt noe mindre setningshastighet enn sporene.



FIGUR 5.15 Målte setninger i tverrprofil ved km 40,097



FIGUR 5.16 Tidsutvikling av setningene i høyre spor (spor 1) ved km 40,097

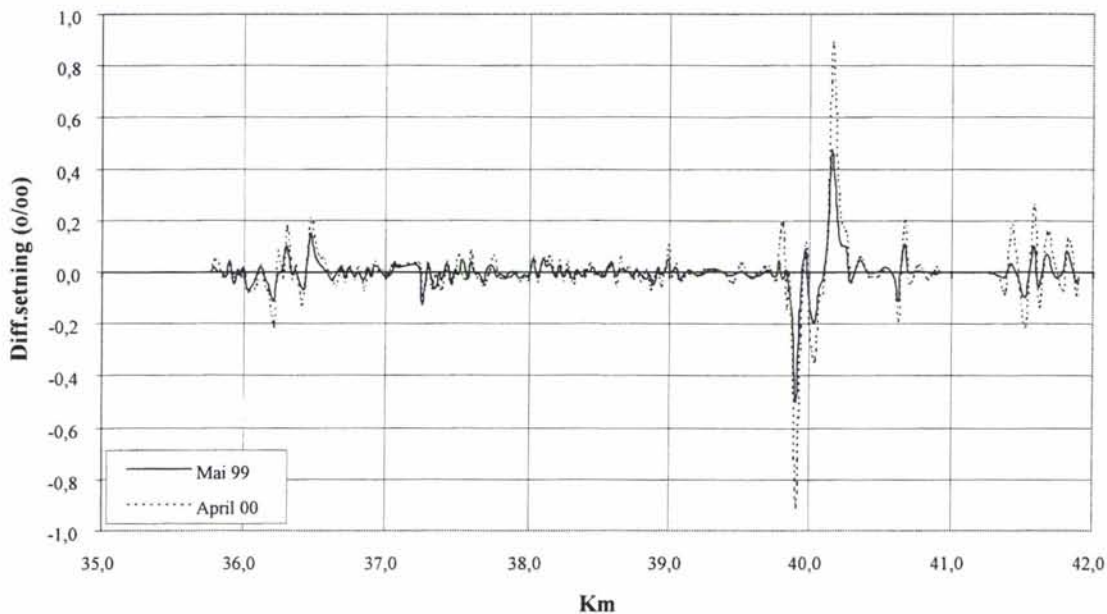


FIGUR 5.17 Tidsutvikling av setningene i venstre spor (spor 2) ved km 40,097

5.3.4 Differansesetninger

Differansesetning målt langs sporet

Midlere differansesetning målt langs sporene er vist i figur 5.18. Figuren er beregnet ut fra middel av målte setninger på de 4 skinnene i dobbeltsporet. Maksimal differansesetning er målt til 0,9 ‰ på fylling 4. Dette ligger langt under kravet til differansesetning (ca 4,5 ‰ for den første 3-årsperioden etter driftsstart) ifølge Jernbaneverkets setningskrav /2/. Ellers på strekningen er de midlere differansesetningene i dobbeltsporet meget små og maksimalt ca 0,2 ‰. De største differansesetningene er målt der setningene er størst.

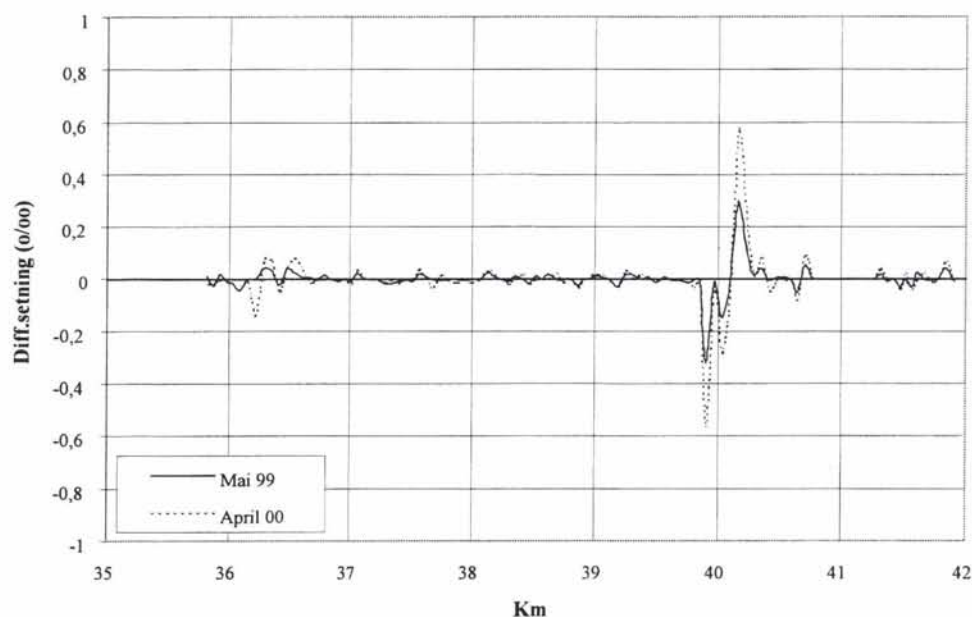


FIGUR 5.18 Midlere differansesetning målt langs sporene (middel av spor 1 og 2)

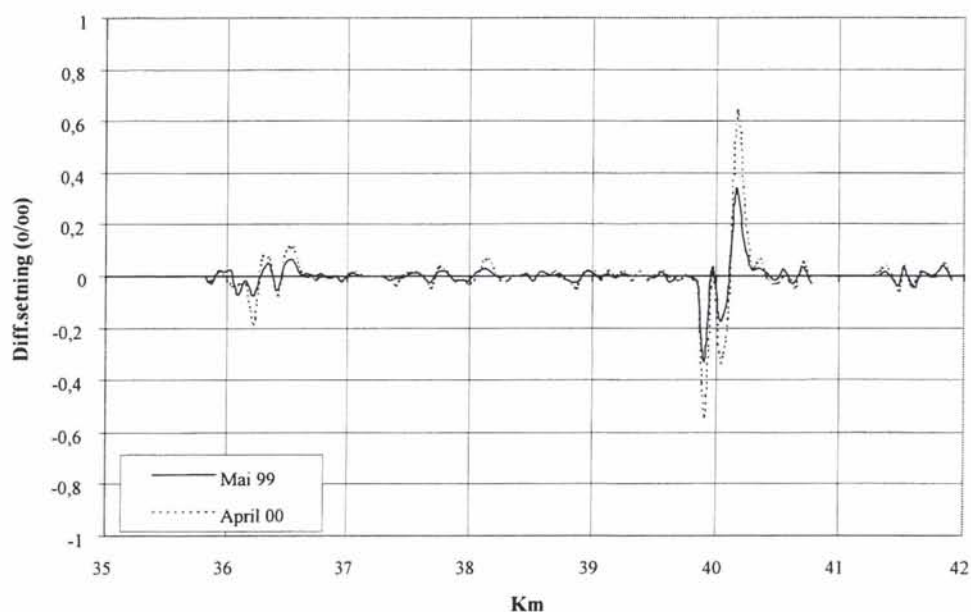
Differansesetninger målt mellom mastefundamentene

Differansesetningene målt mellom mastefundamentene langs hvert av sporene er vist i figurene 5.19 og 5.20. Figurene viser differansesetningene ved midten og slutten av måleperioden.

Målingene viser at høydeendringer mellom mastefundamentene omtent bare har funnet sted på fylling 4 der setningene er størst. Maksimal differansesetning på fyllingen er 0,6 ‰, som er langt under tillatt verdi (3,2 ‰) ifølge Jernbaneverkets setningskrav /2/ for den første 3-årsperioden etter driftsstart.



FIGUR 5.19 Differansesetning mellom mastefundamentene langs spor 1

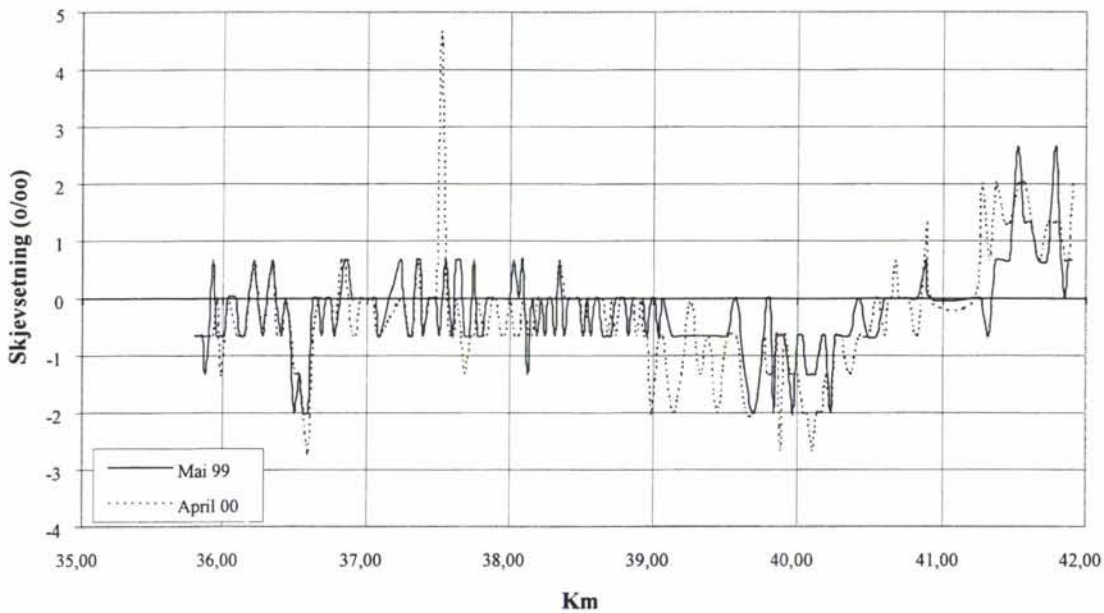


FIGUR 5.20 Differansesetning mellom mastefundamentene langs spor 2

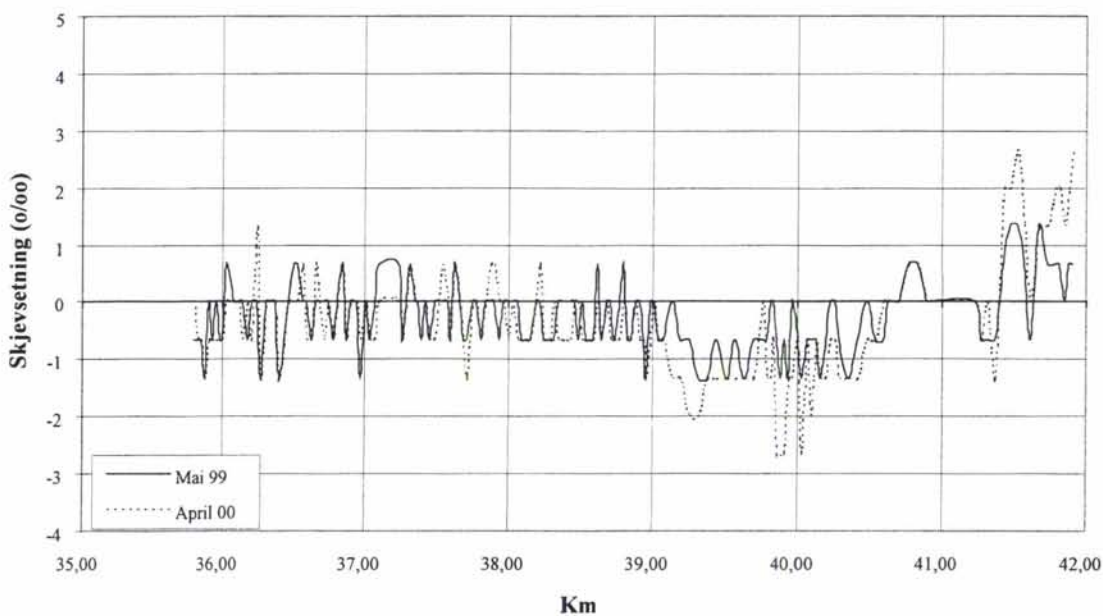
5.3.5 Skjevsetninger

Sideskjevheter målt i sporene

Sideskjevheter målt i hvert av sporene i løpet av måleperioden på 22 måneder er vist i figurene 5.21 og 5.22. Med unntak av ett sted langs spor 1 (ca 4,5 ‰ ved km 37,5) er målte sideskjevheter maksimalt 3 ‰ i løpet av måleperioden på 22 måneder. Ved km 40, der setningene er størst, er sideskjevhetene opp mot 3 ‰. I Jernbaneverkets setningskrav /2/ er maksimalt tillatt skjevsetning av fyllinger 35 ‰ i løpet av de tre første driftsår.



FIGUR 5.21 Sideskjevheter målt i spor 1

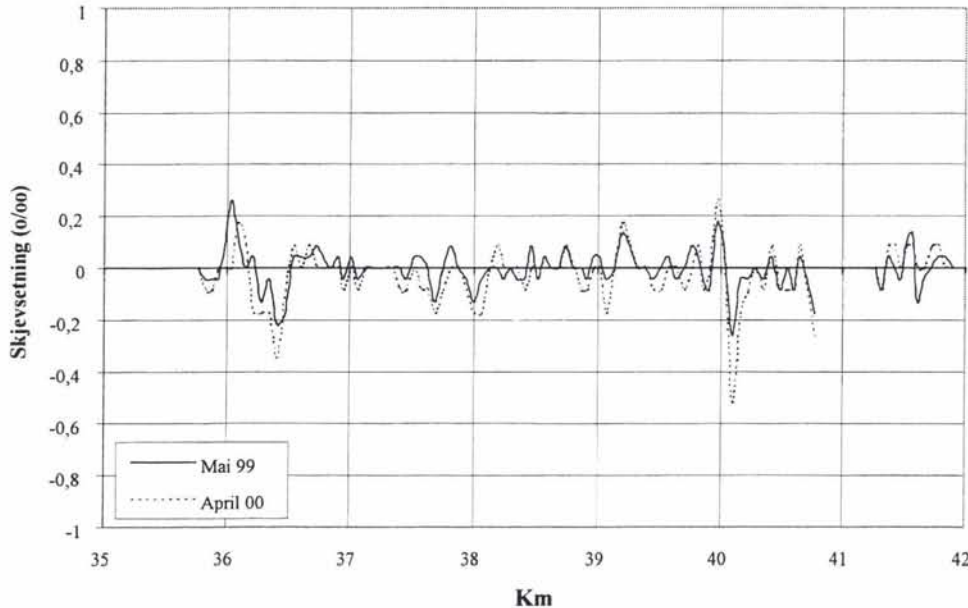


FIGUR 5.22 Sideskjevheter målt i spor 2

Skjevsetning målt mellom kontaktledningsfundamentene

Skjevsetningene målt mellom mastefundamentene på hver side av dobbeltsporet er vist i figur 5.23. Det viktigste bidraget til høydeforskjeller mellom mastefundamentene har vært setninger i grunnen. Genererte skjevheter er imidlertid svært små med maksimale verdier på 0,3-0,5 ‰

Den naturlige ”hengekøyeefasongen” for setninger under fyllinger kan imidlertid gi litt skjevsetning av sporene selv om det ikke er skjevsetning av fyllingen som helhet.



FIGUR 5.23 Skjevsetninger målt mellom kontaktledningsmastene på hver side av sporene

5.4 Setningsmålinger ved kulverter gjennom Gardermobanen

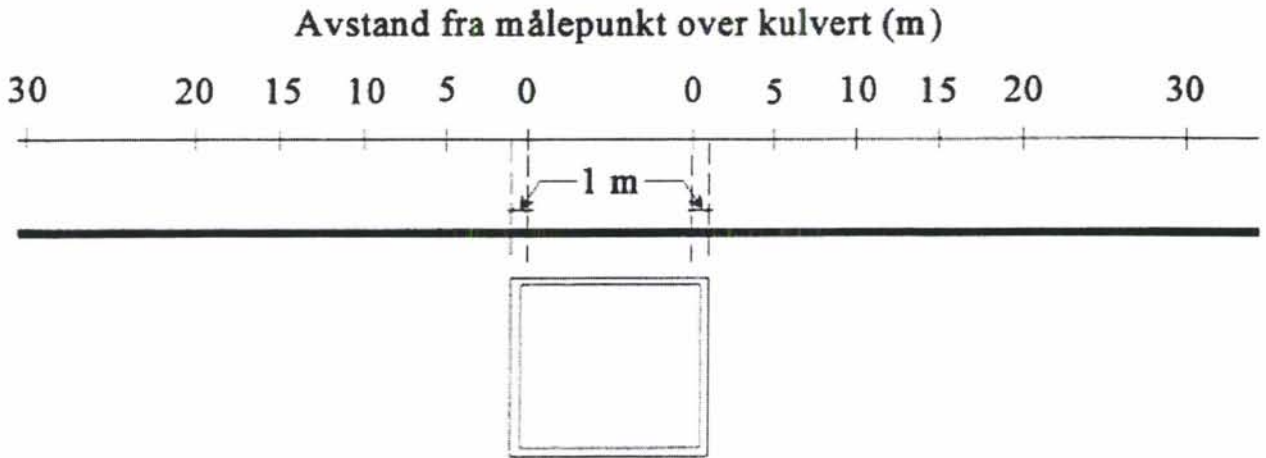
5.4.1 Måleperiode

Ved kulverter under banen kan det være et potensiale for lokale differansesetninger både gjennom den avlastning kulvertene gir av fyllingsvekta og på grunn av muligheten for lokal grunnvannsenkning i kulvertområdet. Derfor ble det besluttet å undersøke setningene nær 6 kulverter (kulvert 1-6 i tabell 2.3) spesielt. I tabell 5.3 er det vist en oversikt over når det er utført nivellement på de 6 kulvertene. Strekningen ble åpnet for prøvedrift i april 1998 og for ordinær trafikk i oktober 1998. Første nivellement ble utført i juni 1998 dvs ca 4 måneder før banen ble åpnet for ordinær drift.

TABELL 5.3 Oversikt over nivellement på 6 utvalgte kulverter på Gardermobanen

Måletidspunkt	Tid etter første måling
1998 10.-18. juni	0 mnd
14.-15. september	3 mnd
1999 27.-30. april	10.5 mnd
2000 7.-11. april	22 mnd

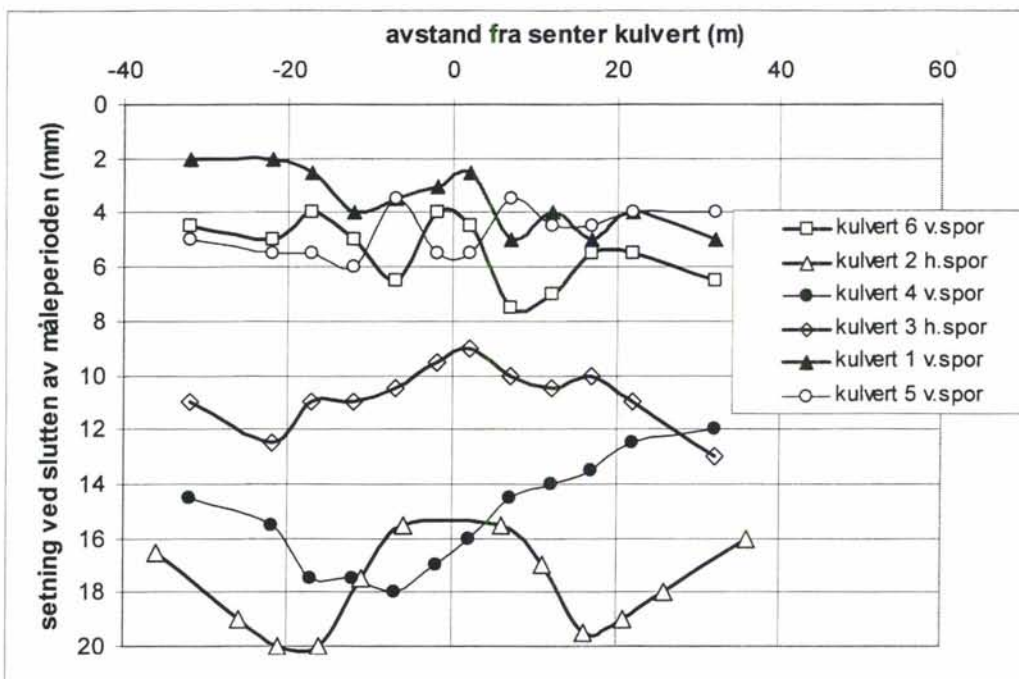
Det er nivellert i tverrprofil med avstand på 5, 10, 15, 20 og 30 m til hver side fra kulvertene. I tillegg er det nivellert i to tverrprofil lokalisert ca 1 m inn på kulverten, se figur 5.24.



FIGUR 5.24 Opplegg for nivellement ved kulverter

5.4.2 Målte setninger ved kulvertene

De seks kulvertene hvor det er utførte detaljerte setningsmålinger ligger på fyllingsstrekning 1 og 2. Med hensyn til lokalisering, dimensjoner og terrenginngrep for kulvertene vises til tabell 2.3. Målte setninger nær de seks kulvertene er vist i figur 5.25. Figuren viser setningene generert i løpet av hele måleperioden for ett av sporene ved hver kulvert.



FIGUR 5.25 Målte setninger ved kulvertene ved slutten av måleperioden

På flere av stedene er det minst setning ved selve kulverten. Mest tydelig er dette ved kulvert 2, men også ved kulvert 3 og 6 er det en slik tendens. Ved kulvert 4 er det oppstått en forsenkning ved kulverten.

En oversikt over maksimale setninger og differansesetninger på enkeltskinner i løpet av måleperioden er vist i tabell 5.4. Maksimale setninger målt på skinnene er fra 7 til 20 mm ved slutten av måleperioden. Maksimale setninger opptrer til side for kulvertene, men i varierende avstand. Minste avstand er ned mot 5 meter (kulvert 6), mens ved kulvert 3 ligger maksimalsetningen mer enn 20 meter fra kulverten. På noen av kulvertene er det betydelig variasjon av setningene for de ulike skinnene. Særlig gjelder dette for kulvert 6.

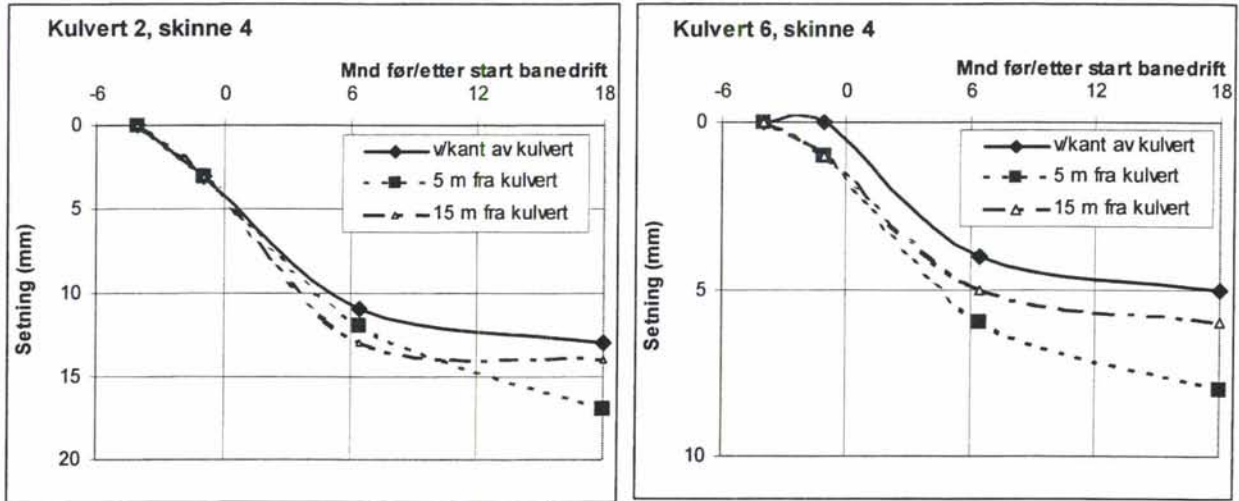
Maksimal differansesetning i kulvertområdene varierer lite og er for enkeltskinner 0,6-0,8 ‰ i slutten av måleperioden. Differansesetningene, som maksimalt er inntil 4 mm målt over en lengde på 5 meter, er trolig for små til å generere sporfeil ifølge Jernbaneverkets krav til justeringsstandard /2/.

TABELL 5.4 Maksimale setninger og differansesetninger nær kulvertene på ulike tidspunkt (nulltidspunktet er 4 måneder før åpning av Gardermobanen for ordinær banedrift)

Kulvert	Maksimal setning			Maksimal diff.setning			Avstand innerkant kulvert til maksimal setning	Antatt ugunstigste skinne* (skinne 1 er høyre skinne i høyre spor)
	3 mnd	10,5 mnd	22 mnd	3 mnd	10,5 mnd	22 mnd		
1	1 mm	4 mm	7 mm	0,2 ‰	0,4 ‰	0,6 ‰	15-20 m	skinne 1
2	3 mm	12 mm	20 mm	0,2 ‰	0,2 ‰	0,8 ‰	10-15 m	skinne 4
3	3 mm	9 mm	13 mm	0,2 ‰	0,4 ‰	0,6 ‰	20-30 m	skinne 3
4	3 mm	11 mm	18 mm	0,2 ‰	0,2 ‰	0,8 ‰	5-10 m	skinne 2
5	1 mm	5 mm	7 mm	0,2 ‰	0,2 ‰	0,6 ‰	10 m	skinne 1 og 4
6	1 mm	6 mm	8 mm	0,2 ‰	0,4 ‰	0,8 ‰	5 m	skinne 4

* skinne med antatt størst potensiale for høydefeil ut fra setningsmålingene

To eksempler på tidsutviklingen av setningene ved selve kulvertene og i avstand 5 og 15 meter fra denne er vist i figur 5.26. Kurvene gjelder skinner med ugunstigste setningsmønster.



FIGUR 5.26 Setningsutvikling av antatt ugunstigste skinner ved kulvert 2 og 6

Figur 5.26 viser at setningsutviklingen er større og mer langvarig i avstand 5 meter fra kulvertene enn ved kanten av kulvertene og i større avstand. Over tid resulterer dette i de lokale forsenkningene av sporet inn mot kulvertene som kan ses av figur 5.25.

Setningsmønsteret i grunnen ved kulvertene er et resultat av to mekanismer:

- grunnvannsenking i kulvertområdet
- avlastning av fyllinga som følge av kulverten

Grunnvannsenking vil gi størst setning under kulvertene, mens redusert tilleggsbelastning som følge av kulvertene vil bidra til det motsatte. Ved flere av kulvertene kan resultatet av begge disse mekanismene ses. Mest tydelig er dette ved kulvert 2, som er en stor kulvert med bredde ca 11 meter. Under og til sidene for denne kulverten er grunnen forsterket med K/C-peler.

Ved kulvertene er det også større muligheter enn ellers til ujevne setninger i overbygningen. Årsaken til det er varierende stivhet i underbygningen.

6. UTVIKLING AV SPORETS GEOMETRISKE STANDARD

6.1 Sportilstandsmålinger med STRIX

Ett av hovedformålene med dette prosjektet er å studere sammenhenger mellom setninger og sporfeil. Derfor var det ønskelig at tilstandsmåling med målevogn og setningsnivellement ble utført omtrent samtidig. I prinsippet er det utført to målinger pr år, én om våren og én om høsten. Tilstandsmålingene er utført med STRIX målevogn, se figur 6.1.

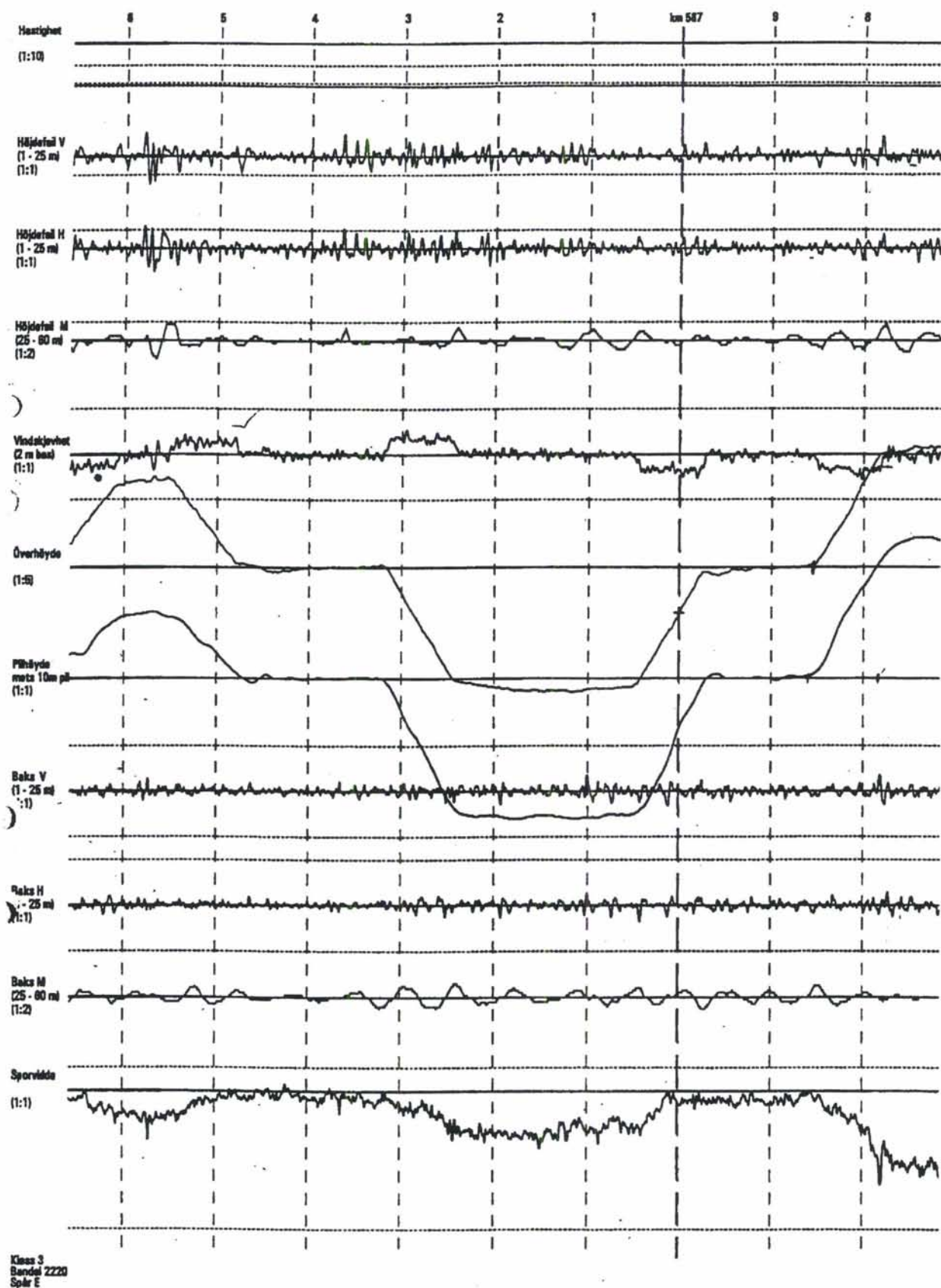


FIGUR 6.1 STRIX målevogn

Strekningen på Hovedbanen har kvalitetsklasse K1 (hastighet 125-140 km/t), mens strekningen på Gardermobanen har kvalitetsklasse K0 (hastighet > 145 km/t).

Figur 6.2 viser et typisk STRIX-målevogndiagram. I dette prosjektet er to typer sporfeil undersøkt:

- ujevnheter i høyden av hver skinnestreng (linje 2 og 3 i diagrammet i figur 6.2)
- vindskjevhet (målebasis 2 m) (linje 5 i diagrammet i figur 6.2)



FIGUR 6.2 Diagram fra STRIX målevogn (diagrammet er nedfotografert)

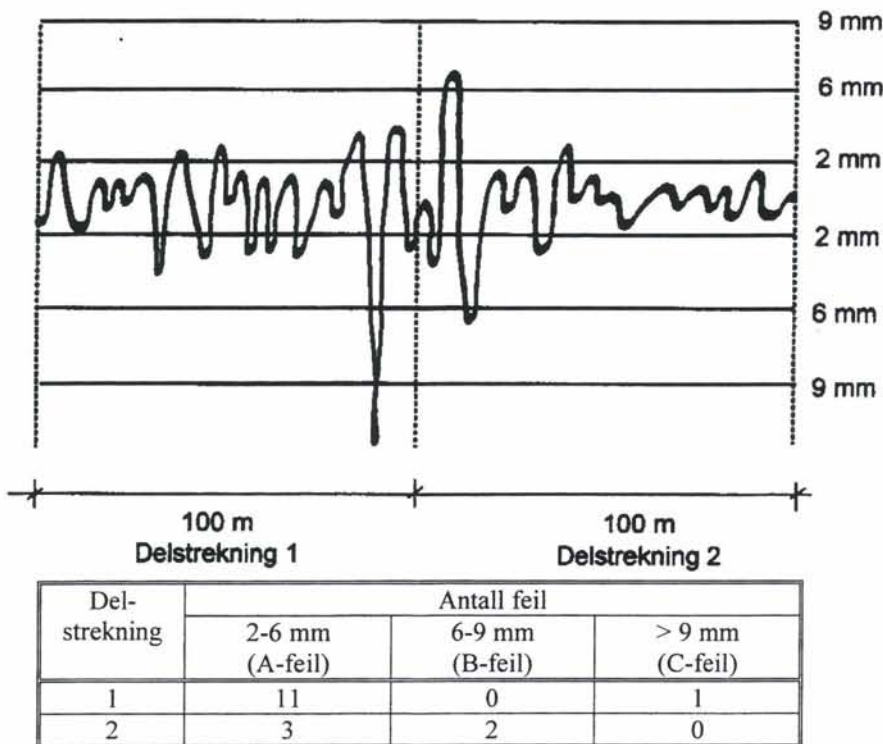
STRIX-diagrammet viser tilstanden på måletidspunktet. For å kunne følge tilstandsutviklingen, må en ha minst to påfølgende tilstandsmålinger uten at det er utført drifts- eller vedlikeholdsarbeider i perioden mellom tilstandsmålingene.

Det er vanskelig og arbeidskrevende å følge utviklingen av hver enkelt sporfeil. Derfor er det valgt å dele parsellen inn i 100 m-strekninger og avlese antall feil innenfor hver 100 m-strekning. Antall sporfeil innenfor følgende tre intervall avleses på hver 100 m-strekning:

- A-feil (mellom krav til nyjustert spor og vedlikeholdsgrense)
- B-feil (mellom vedlikeholdsgrense og akuttgrense)
- C-feil (over akuttgrense)

Feilveksten innenfor hver 100 m-strekning er beregnet ved å sammenligne to tilstandsmålinger.

Prinsippet for avlesning av antall feil innenfor hver 100 m-strekning er vist i figur 6.3. I diagrammet i figuren er grensekravene for høydefeil til nyjustert spor, vedlikeholdsgrense og akuttgrense lagt inn.



FIGUR 6.3 Prinsipp for avlesning av antall feil innenfor hver 100 m-strekning fra STRIX-målinger, eksempel for ujevnheter i høyden av hver skinnestreg

6.2 Ujevnheter i høyden av en skinnestreg

6.2.1 Generelt om høydefeil

Ujevnheter i høyden av en skinnestreg måles som utslaget fra en 0-linje over en målebasislengde. Denne feilen har først og fremst betydning for komforten til de reisende. Ved hastigheter opp mot 200 km/t vil langbølga feil ha større innvirkning på komforten enn ved lavere hastigheter. Tabell 6.1 viser definisjon av sporfeil, dvs inngrepsverdier for K0-baner og inndeling av sporfeil i henholdsvis A-, B- og C-feil. Trøgstad bru er egentlig en K1-bane, men alle de andre strekningene

som inngår i dette prosjektet er K0-baner. Derfor har vi brukt kravene til K0-baner også på Trøgstad bru.

TABELL 6.1 Definisjon av sporfeil

Type feil	Intervall (mm)	Definisjon
A-feil	2-6	Mellom krav til nyjustert spor og vedlikeholdsgrense
B-feil	6-9	Mellom vedlikeholdsgrense og akuttgrense
C-feil	> 9	Over akuttgrense

Antall sporfeil er avlest innenfor de 3 intervallene, som er vist i tabell 6.1, på hver skinnestreng på hver 100 m-strekning.

6.2.2 Høydefeil på Hovedbanen

Det er utført målinger med STRIX målevogn til følgende tidspunkt:

- mai 1997
- oktober 1997
- mai 1998
- oktober 1998
- mars 1999
- oktober 1999
- juli 2000

Det er utført sporjusteringer på strekningen til følgende tidspunkt:

- Pakking på søndre tilløpsfylling i mai/juni 1997
- Glideskjøt på søndre tilløpsfylling skiftet juli/august 1997 (mellom STRIX-målingen i mai og oktober)
- Pakking på søndre tilløpsfylling like etter STRIX-måling i oktober 1999

Figur 7.1 i kapittel 7 viser en samlet oversikt over utførte setningsnivellement, STRIX-målinger og sporjusteringer på strekningen.

På nordre tilløpsfylling er det ikke utført sporjustering i løpet av måleperioden på ca 3 år, mens det på søndre tilløpsfylling er utført sporarbeider 3 ganger i måleperioden på 3 år. STRIX-målingene på nyjustert spor på denne strekningen viser at det er i størrelsesorden 1,0-1,5 feil pr 100 m-strekning som overskrider kravet til nyjustert spor. Dette er i samme størrelsesorden som på Skogerparsellen på Vestfoldbanen /4/.

Tabell 6.2 viser omfanget av genererte høydefeil på de to tilløpsfyllingene og på selve brua. Tabellen viser gjennomsnittlig antall høydefeil pr skinnestreng pr 100 m-strekning til de ulike måletidspunktene. På søndre tilløpsfylling er ikke sporfeil i mai 97 tatt med i tabellen da glideskjøten ble skiftet og sporet pakket i juli/august 97. Heller ikke sporfeil i juli 00 er tatt med da sporet ble pakket like etter målingen i oktober 99. Tabellen viser at det er klar forskjell mellom sporfeilfrekvens på fyllinger med pågående setninger og på brua som står i ro.

TABELL 6.2 Gjennomsnittlig antall høydefeil pr skinnestreng pr 100 m-strekning på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene ved ulike måletidspunkt

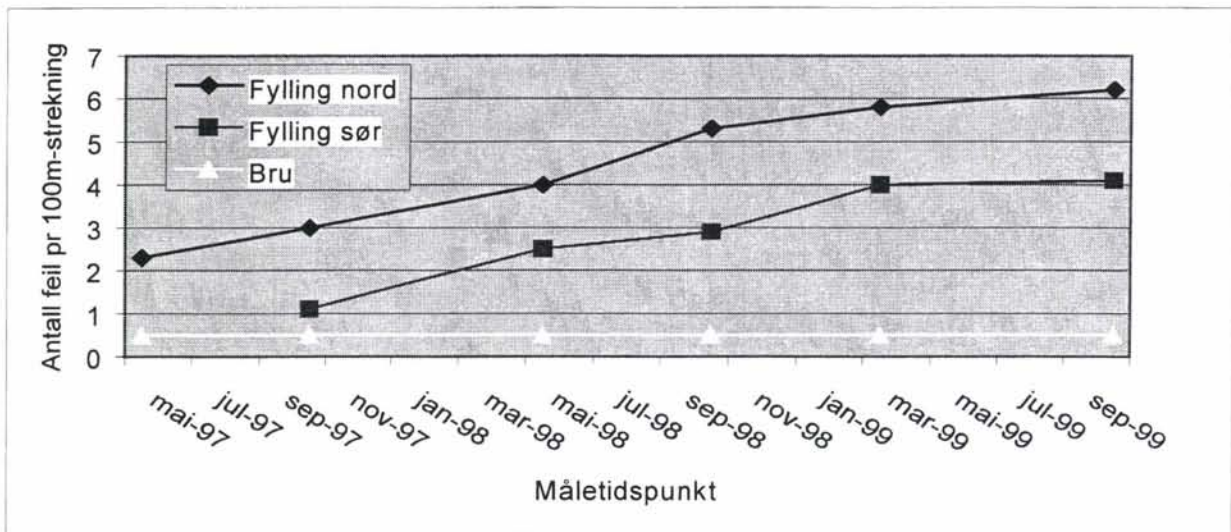
Strekning	Mai 97			Oktober 97			Mai 98			Oktober 98			Mars 99			Oktober 99			Juli 00		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Fylling s	-	-	-	1,1	0,0	0,0	2,5	0,3	0,0	2,9	0,4	0,1	4,0	0,1	0,4	4,1	0,1	0,5	-	-	-
Bru	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,5	0	0
Fylling n	2,3	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	4,0	0,3	0,0	5,3	0,3	0,0	5,8	0,5	0,0	6,2	0,4	0,0	7,0	0,3	0

Tabell 6.3 viser gjennomsnittlig feilvekst for perioder på 1, 2, 2,5 og 3,0 år. Perioden på 2,5 og 3 år omfatter kun målingene som er gjort på nordre tilløpsfylling.

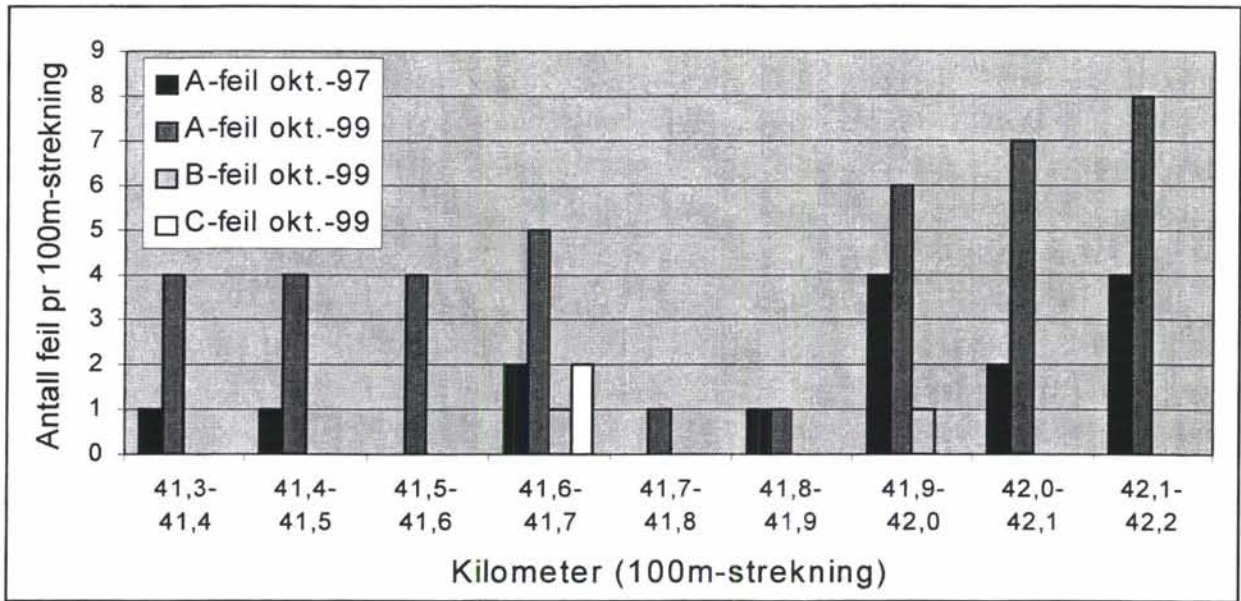
TABELL 6.3 Gjennomsnittlig feilvekst for høydefeil ved tilstandsmålinger i perioden mai 97-juli 00

Strekning	Gjennomsnittlig feilvekst/100 m											
	Okt 97-okt 98 (ca 1 år)			Okt 97-okt 99 (ca 2 år)			Mai 97-okt 99 (ca 2,5 år)			Mai 97-juli 00 (ca 3 år)		
	A-feil	B-feil	C-feil	A-feil	B-feil	C-feil	A-feil	B-feil	C-feil	A-feil	B-feil	C-feil
Hele strekningen	1,6	0,3	0,1	2,4	0,2	0,2	2,9	0,3	0,0	3,2	0,2	0
Tilløpsfyllinger	2,0	0,4	0,1	3,1	0,2	0,3	3,8	0,3	0,0	4,7	0,3	0
Bru	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0	0

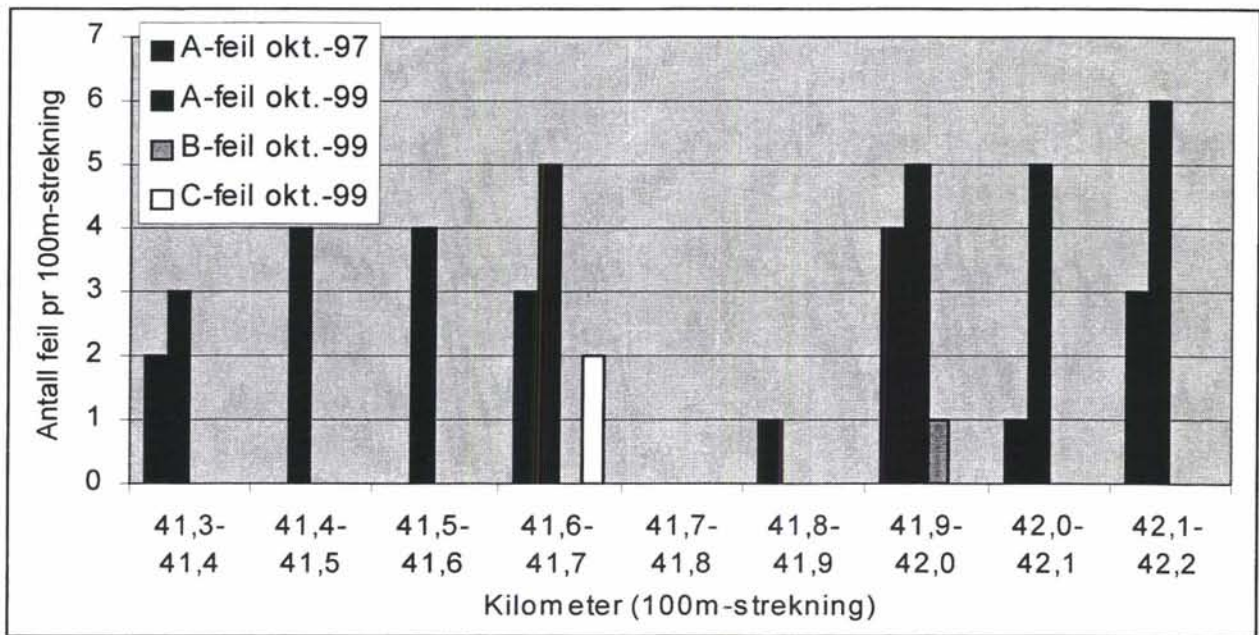
Utvikling av gjennomsnittlig antall A-feil (2-6 mm) pr skinnestreng pr 100 m-strekning på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene er framstilt i figur 6.4. Det framgår at de to tilløpsfyllingene har omtrent lik feilutvikling etter oktober 1997.


FIGUR 6.4 Utvikling av gjennomsnittlig antall A-feil (2-6 mm) pr 100 m-strekning på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene for perioden mai 97-oktober 99

Utvikling av feil er vist noe mer detaljert for hver av de to skinnestrengene på de enkelte 100 m-strekningene i figur 6.5 og 6.6. Brua ligger på km 41,7-41,9. Det var ingen B- eller C-feil i oktober 97.



FIGUR 6.5 Antall A-, B- og C-feil på høyre skinnestreng på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene i oktober 97 og oktober 99.



FIGUR 6.6 Antall A-, B- og C-feil på venstre skinnestreng på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene i oktober 97 og oktober 99.

I løpet av måleperioden på 22 måneder har det altså vært gjort sporjustering på to delstrekninger:

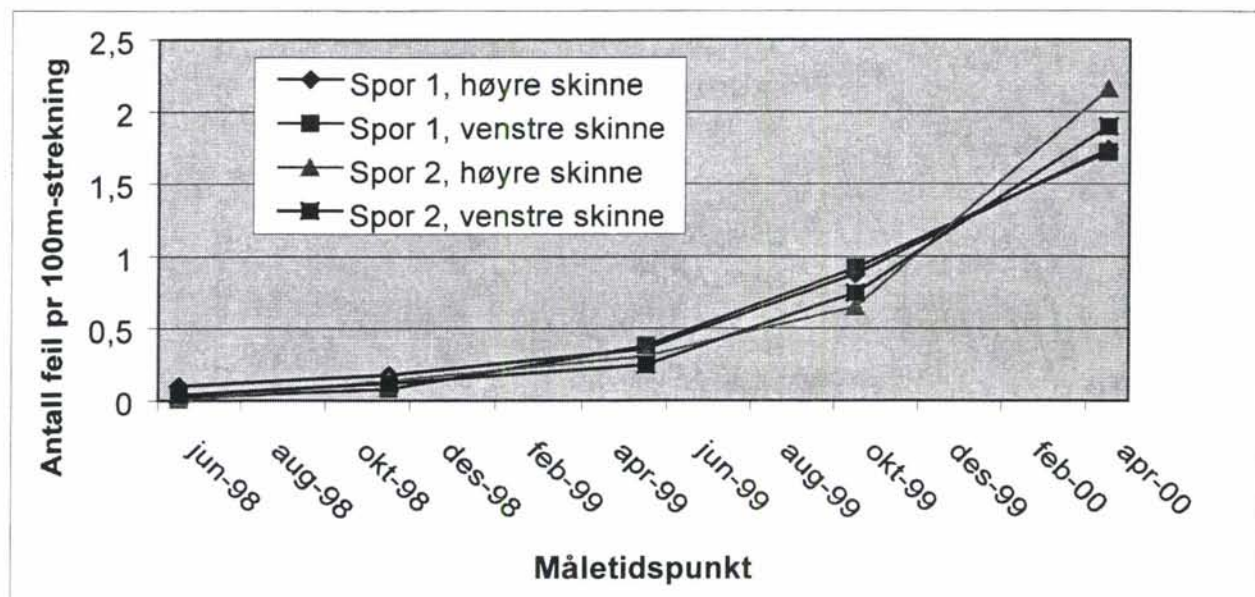
- km 37,1-37,4
- km 41,3-42,0

De to delstrekningene utgjør ca 18 % av den totale strekningen. Delstrekningen km 37,1-37,4 ligger på fylling 2 (se tabell 2.2) mellom kulvert 5 og kulvert 6 (se tabell 2.3). Delstrekningen km 41,3-42,0 ligger mellom de 2 korte fyllingene 5 og 6. På denne strekningen har en vært plaget med urolig spor i driftsperioden.

Figur 7.2 og 7.3 i kapittel 7 viser en samlet oversikt over utførte setningsnivellement; STRIX-målinger og sporjustering på strekningen.

STRIX-målingene på nyjustert spor i juni 98 viser at kravene til nyjustert spor overskrides på kun 3-4 % av 100 m-strekningene. Gjennomsnittlig er det 0,04 A-feil pr 100 m-strekning (èn A-feil for hver 25te 100 m-strekning). Dette er betydelig lavere enn på tilløpsfyllingene på Trøgstad bru (kap 6.2.2) og på Skogerparsellen på Vestfoldbanen /4/.

Figur 6.7 viser utviklingen av gjennomsnittlig antall høydefeil (A-feil) pr 100 m-strekning for den delen av strekningen som det ikke har vært gjort sporjustering på. Figuren viser en eksponentiell vekst i antall A-feil utover i driftsperioden. Spesielt etter ca 1,5 år øker antall feil.



FIGUR 6.7 Utvikling av antall høydefeil på den delen av strekningen hvor det ikke har vært sporjustering

Gjennomsnittlig feilvekst pr 100 m-strekning for hver av de 4 skinnestregene er vist i tabell 6.4. Perioden på 1 år inkluderer hele strekningen, mens perioden på 2 år kun inkluderer den delen av strekningen som ikke er justert (i mai og oktober 99). Tabellen viser en gjennomsnittlig feilvekst på 1,9 A-feil/100 m i måleperioden på snaut 2 år. På hele strekningen har det kun oppstått 2 B-feil (6-9 mm). Disse feilene har oppstått på de strekningene som er justert i måleperioden.

TABELL 6.4 Gjennomsnittlig feilvekst i perioden juni 98-april 00 for høydefeil (A-feil) ved tilstandsmålinger

Høydefeil (A-feil)	Spor 1		Spor 2		Snitt alle skinner
	Venstre skinne	Høyre skinne	Venstre skinne	Høyre skinne	
Feilvekst/100 m, første år	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6
Feilvekst/100 m, første 2 år	1,6	1,7	2,2	1,9	1,9

Videre er det undersøkt om det er systematiske forskjeller mellom ulike parti på strekningen. Tabell 6.5 viser en oversikt over gjennomsnittlig feilvekst på ulike deler av strekningen.

I bilag 1 er feilvekst for hver 100 m-strekning vist for hver skinnestreng.

TABELL 6.5 Gjennomsnittlig feilvekst (A-feil) i perioden juni 98-april 00 på ulike deler av strekningen

Måleperiode	Hele strekning	Fylling 1-4	Fylling 5-6	Øvrige strekning	Kulvert 1-6	Km 36,2-36,5	Km 39,9-40,3
1 år	0,6	0,3	0,5	0,9	0,4	0,3	0,1
2 år	1,9	1,6	4,2	2,2	2,3	2,4	1,7

Fyllingene 1-4 er alle lengre enn 270 m, mens fyllingene 5 og 6 er henholdsvis 100 m og 70 m. Kulvertene 1-4 ligger på fylling 1 mens kulvert 5 og 6 ligger på fylling 2. På strekningen 36,2-36,5 (på fylling 1 på strekningen med kulvert 2, 3 og 4) var maksimal setning i løpet av måleperioden 18 mm, mens på strekningen 39,9-40,3 (på fylling 4) var maksimal setning 60 mm i måleperioden. På disse to strekningene skilte setningene seg klart ut fra de øvrige delene av strekningen hvor setningene ikke oversteg 10 mm.

Tabell 6.5 viser følgende tendens for høydefeil (A-feil) for en måleperiode på ca 2 år:

- På de lengste fyllingsstrekningene har det ikke blitt flere sporfeil enn på de øvrige strekningene i løpet av måleperioden. Tabellen viser at det er færre sporfeil på disse fyllingene.
- Heller ikke på fylling 4, med maksimale setninger på 60 mm (km 39,9-40,3), var det blitt flere sporfeil enn gjennomsnittlig på strekningen.
- På de 2 korte fyllingene (fylling 5 og 6) med lengde under 100 m, var det generert over dobbelt så mange sporfeil som på strekningen forøvrig. Disse to strekningene utgjør imidlertid bare 4 % av de strekningene som inngår i tabellen.
- Målingene tyder på at det er flere sporfeil i tilknytning til kulvertene enn på fyllingene generelt. Ved enkelte kulverter er det opp mot dobbelt så mange sporfeil som gjennomsnittlig på fylling 1 og 2. Variasjonene er imidlertid store fra kulvert til kulvert.

6.3 Vindskjevhet

6.3.1 Generelt om vindskjevhetsfeil

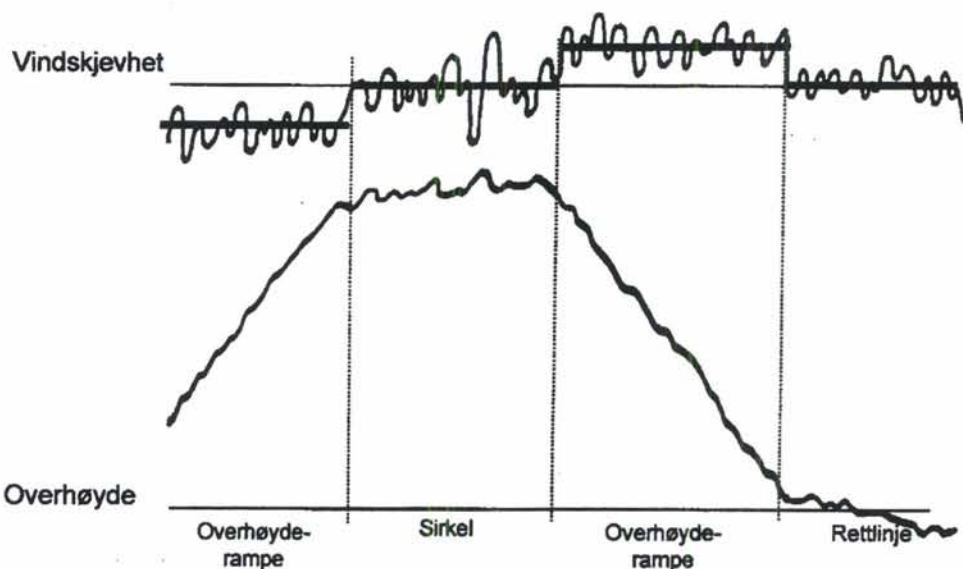
Et spor er vindskjevt når overhøyden varierer fra punkt til punkt i sporet. Vindskjevhet kan skyldes feil i skinnenenes høydebeliggenhet eller være tilsiktet i forbindelse med overhøyderamper. Stor vindskjevhet gir avsporingfare, og vindskjevheten har derfor betydning for sikkerheten. Tabell 6.6 viser definisjon av sporfeil, dvs inngrepsverdier for K0-baner og inndeling av sporfeil i henholdsvis A-, B, og C-feil.

TABELL 6.6 Definisjon av sporfeil (2 m målebasis)

Type feil	Intervall (mm)	Definisjon
A-feil	2-7	Mellom krav til nyjustert spor og vedlikeholdsgrense
B-feil	7-10	Mellom vedlikeholdsgrense og akuttgrense
C-feil	> 10	Over akuttgrense

Antall sporfeil er avlest innenfor de 3 intervallene, som er vist i tabell 6.6, på hver 100 m-strekning.

Som nevnt ovenfor vil det i overhøyderamper være innebygget en vindskjevhet. Denne "initielle" vindskjevheten må ikke inkluderes i den vindskjevheten som avleses på diagrammet. Dette er det korrigert for ved å forskyve 0-linja. Prinsippet for korrigering er vist i figur 6.8.



FIGUR 6.8 Prinsipp for forskyving av 0-linje i overhøyderamper ved avlesing av vindskjevhetsfeil

6.3.2 Vindskjevhetsfeil på Hovedbanen

Det er utført målinger med STRIX målevogn til følgende tidspunkt:

- mai 1997
- oktober 1997
- mai 1998
- oktober 1998
- mars 1999
- oktober 1999
- juli 2000

Det er utført sporjusteringer på strekningen til følgende tidspunkt:

- Pakking på søndre tilløpsfylling i mai/juni 1997
- Glideskjøt på søndre tilløpsfylling skiftet sommeren 1997 (mellom måling i mai og oktober)
- Pakking på søndre tilløpsfylling like etter STRIX-måling i oktober 1999

STRIX-målingene på nyjustert spor på denne strekningen viser at det i gjennomsnitt er opp mot 0,1 feil pr 100 m-strekning som overskrider kravet til nyjustert spor. Dette er noe mindre enn det som ble funnet på Skogerparsellen på Vestfoldbanen /4/.

Tabell 6.7 viser omfanget av vindskjevhetsfeil på de to tilløpsfyllingene og på selve brua gjennom måleperioden. Tabellen viser gjennomsnittlig antall vindskjevhetsfeil pr 100 m-strekning til de ulike måletidspunktene. På søndre tilløpsfylling er ikke sporfeil i mai 97 og juli 00 tatt med i tabellen da sporet ble pakket like etter disse målingene. Tabellen viser at det er klar forskjell mellom sporfeilfrekvens på fyllinger med pågående setninger og på brua som står i ro.

TABELL 6.7 Gjennomsnittlig antall vindskjevhetsfeil pr 100 m-strekning på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene ved ulike måletidspunkt.

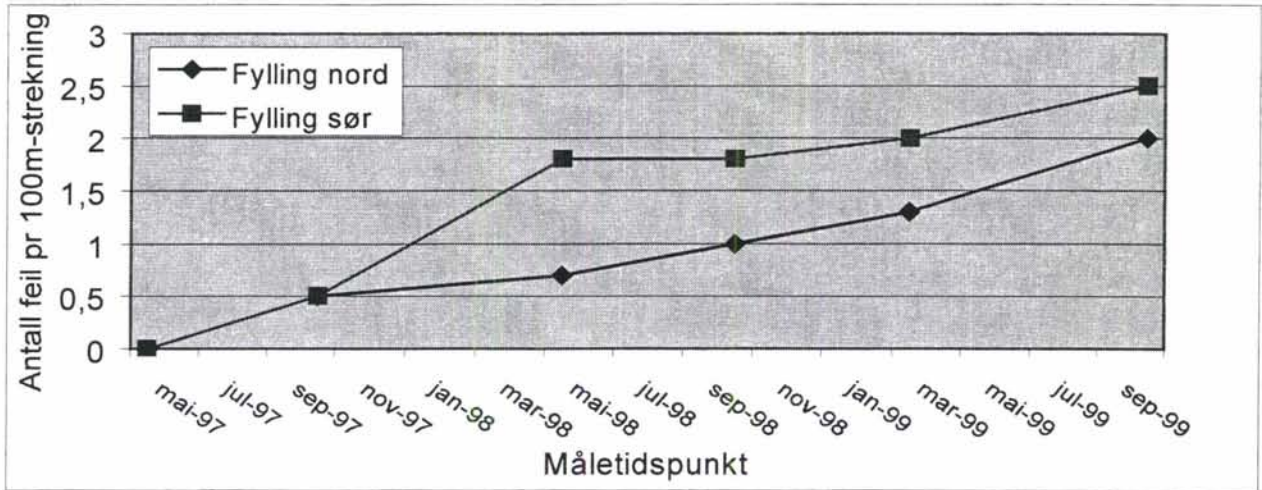
	Mai 97			Oktober 97			Mai 98			Oktober 98			Mars 99			Oktober 99			Juli 00		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Fylling s	-	-	-	0,3	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	-	-	-
Bru	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Fylling n	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0

Tabell 6.8 viser gjennomsnittlig feilvekst for perioder på 1, 2, 2,5 og 3 år. Periodene på 2,5 og 3 år omfatter kun målingene som er gjort på nordre tilløpsfylling.

TABELL 6.8 Gjennomsnittlig feilvekst for vindskjevhetsfeil ved tilstandsmålinger i perioden mai 97-juli 00

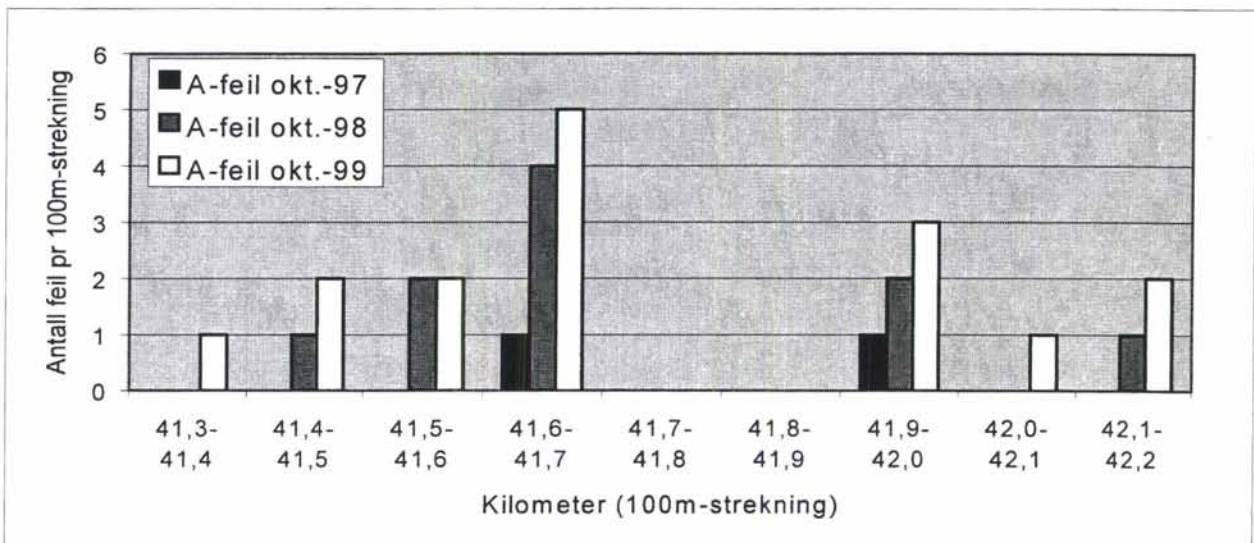
Strekning	Gjennomsnittlig feilvekst/ 100m											
	Okt 97-okt 98 (ca 1 år)			Okt 97-okt 99 (ca 2 år)			Mai 97-okt 99 (ca 2,5 år)			Mai 97-juli 00 (ca 3,0 år)		
	A-feil	B-feil	C-feil	A-feil	B-feil	C-feil	A-feil	B-feil	C-feil	A-feil	B-feil	C-feil
Hele strekningen	0,9	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
Tilløpsfyllinger	1,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0
Bru	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0

Utvikling av antall A-feil (2-7 mm) pr 100 m-strekning på de to tilløpsfyllingene i perioden mai 97 – oktober 99 er framstilt i figur 6.9. Det var ingen A-feil på selve brua i denne perioden. På brua oppsto A-feil etter ca 3 år.



FIGUR 6.9 Utvikling av antall antall A-feil (2-7 mm) pr 100 m-strekning på de 2 tilløpsfyllingene

Utviklingen av feil på de enkelte 100 m-strekningene er vist noe mer detaljert i figur 6.10. Brua ligger på km 41,7-41,9. Det var ikke registrert vindskjevhetfeil som overskred vedlikeholdsgrensa i måleperioden på strekningen.



FIGUR 6.10 Antall A-feil som vindskjevheter på Trøgstad bru og de to tilløpsfyllingene i oktober 97, 98 og 99

For generering av vindskjevhetsfeil viser tabell 6.7-6.8 og figur 6.9-6.10 følgende:

- På brua var det ingen feilvekst de første 2,5 år. A-feil (2-7 mm) oppsto etter ca 3 år på brua.
- På nordre tilløpsfylling var feilveksten for A-feil på i størrelsesorden 3 feil pr 100 m-strekning i måleperioden på 3 år. Det var en viss opphopning av feil inn mot brua.
- Tilsvarende har det vært en feilvekst på ca 2 feil i løpet av 2,5 år og 1,5-2,0 feil i løpet av 2 år.
- Det har ikke oppstått B- og C-feil i løpet av måleperioden.

Ut fra dette kan en trekke følgende konklusjoner:

- På fyllinger med langvarige setninger i grunnen oppstår langt flere vindskjevhetsfeil enn på strekninger uten setninger i grunnen. Dette viser at langvarige setninger har vesentlig betydning for utvikling av vindskjevhetsfeil.
- Det er en viss opphopning av vindskjevhetsfeil ved overgang mellom ulike grunnforhold, dvs de områdene med størst differansesetninger. På denne strekningen er det overgang mellom bru og fylling. Det er derfor viktig å legge inn tilstrekkelige ressurser for å forbedre slike problempunkt.
- Det har oppstått færre vindskjevhetsfeil enn høydefeil på de to tilløpsfyllingene. Feilvekst og størrelsen på feilene er også mindre for vindskjevhetene sammenlignet med høydefeilene.

6.3.3 Vindskjevhetsfeil på Gardermobanen

Følgende målinger med STRIX målevogn er brukt i dette prosjektet:

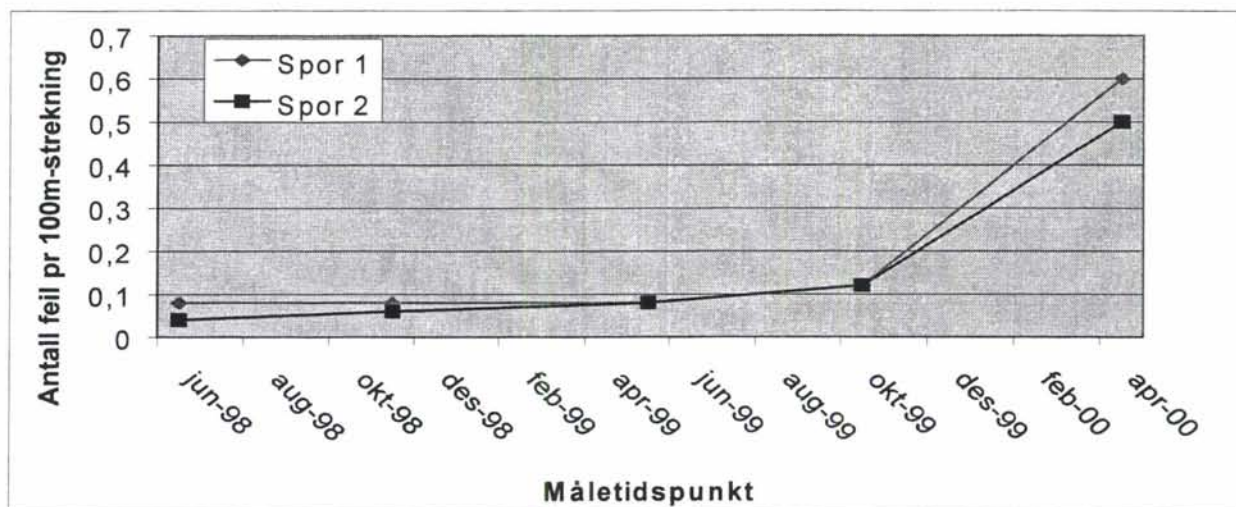
- juni 98
- november 98
- mai 1999
- oktober 1999
- april 2000

I løpet av måleperioden på 22 måneder har det vært gjort sporjustering på to delstrekninger på begge sporene:

- km 37,1-37,4
- km 41,3-42,0

Disse to delstrekningene utgjør ca 18 % av den totale strekningen. STRIX-målingene på nyjustert spor på denne strekningen viser at det er opp mot 0,1 feil pr 100 m-strekning som overskrider kravet til nyjustert spor. Dette er omtrent som på Trøgstad bru og noe mindre enn det som ble funnet på Skogerparsellen på Vestfoldbanen /4/.

Figur 6.11 viser gjennomsnittlig antall vindskjevhetsfeil (A-feil) pr 100 m-strekning for den delen av strekningen som det ikke har vært sporjustering på. Figuren viser at feilantallet øker spesielt fra ca 1,5 år etter sporjustering. Det er ikke registrert B- og C-feil på strekningen.



FIGUR 6.11 Gjennomsnittlig antall vindskjevhetsfeil på hver 100 m-strekning på den delen av strekningen som det ikke har vært gjort sporjustering på.

Gjennomsnittlig feilvekst pr 100 m-strekning for de 2 sporene er vist i tabell 6.9. Tabellen viser en gjennomsnittlig feilvekst på 0,5 A-feil/100 m i måleperioden på ca 2 år. Dette er betydelig lavere enn på Trøgstad bru. Det samme gjelder for en måleperiode på 1 år.

TABELL 6.9 Gjennomsnittlig feilvekst i perioden juni 98-april 00 for vindskjevhetsfeil (A-feil) ved tilstandsmålinger

Vindskjevhetsfeil	Spor 1	Spor 2	Snitt begge spor
Feilvekst/100 m, første år	0,08	0,03	0,06
Feilvekst/100 m, første 2 år	0,52	0,46	0,49

I bilag 2 er feilvekst for hver 100 m-strekning vist for hver skinnestreng.

Videre er det undersøkt om det er systematiske forskjeller mellom ulike parti. Det er store variasjoner i hvor vindskjevhetene oppstår. Det er derfor vanskelig å trekke klare konklusjoner.

For spor 1 er de fleste feilene lokalisert på følgende strekninger:

- km 37,0-37,6 (første del av fylling 2 fra kulvert 5 til kulvert 6)
- km 38,8-40,2 (fylling 3 og 4 samt strekningen mellom de to fyllingene)
- km 41,2-42,2 (strekning med urolig spor og fylling 6)

For spor 2 er de fleste feilene lokalisert på følgende strekninger:

- km 36,0-36,8 (fylling 1 med kulvertene 1-4)
- km 37,1-37,5 (første del av fylling 2 mellom kulvert 5 og 6)
- km 39,6-39,8 (inn mot fylling 4)
- km 40,4- 42,2 (fra fylling 5 til fylling 6, inkludert strekning med urolig spor)

6.4 Foreløpige tanker om sporfeil og setninger

En av hovedhensiktene med dette prosjektet er å øke kunnskapene om hvordan setninger bidrar til forringet geometrisk standard for sporet. I prosjektet "Jernbanebygging på bløt grunn" /3/ ble det påvist en viss opphoping av sporfeil i overgangssonene mellom forskjellige typer grunnforhold. På de undersøkte strekningene var det ikke tilgang på setningsmålinger, og det var dermed ikke mulig å undersøke hvordan setninger bidrar til tilstandsreduksjon.

Ved Trøgstad bru på Hovedbanen er det i dette prosjektet påvist at feilveksten på fyllinger med langvarige setninger i grunnen er klart større enn feilveksten på strekninger uten setninger i grunnen. Studien viser også at setningsinduserte feil av langbølga karakter genererer feil av kortbølga karakter, som registreres med målevogn. Videre viser studien at det er en opphoping av feil ved overgang mellom ulike grunnforhold, i dette tilfellet mellom bru og fylling.

På parsellen på Gardermobanen er setningene betydelig mindre enn ved Trøgstad bru. Tendensene på denne parsellen er ikke så klare som ved Trøgstad bru. Ved to korte fyllinger med lengde under 100 m er det en viss opphoping av sporfeil, selv om setningene ikke er spesielt store. Videre er det en viss opphoping av sporfeil ved de 6 kulvertene på strekningen.

I neste fase av prosjektet vil setninger og generering av sporfeil bli grundigere belyst gjennom mer detaljert evaluering. Det er rimelig å anta at det i hovedsak er setningsforskjeller, og ikke totalsetninger, som skaper problem for jernbanedriften. Derfor må slike analyser fokuseres på sammenhenger mellom setningsforskjeller og sporfeil. Siden det i praksis vil være sammenheng mellom størrelsen på setningsforskjeller og totale setninger, må det undersøkes om det også er sammenheng mellom sporfeil og gjennomsnittlige setninger. I denne sammenheng er lengden av setningsgivende parti og lengden av overgangssone sentrale parametre. Et endelig opplegg for analysene må tilpasses det gjennomførte måleprogrammet på alle 4 utbyggingsparsellene i Sverige og Norge.

7. UTFØRT VEDLIKEHOLD I DRIFTSPERIODEN

Det har vært behov for å pakke og justere sporet på deler av strekningene både på Hovedbanen og Gardermobanen. Tabell 7.1 og 7.2 viser utførte justeringer og utstrekning av disse på henholdsvis Hovedbanen og Gardermobanen.

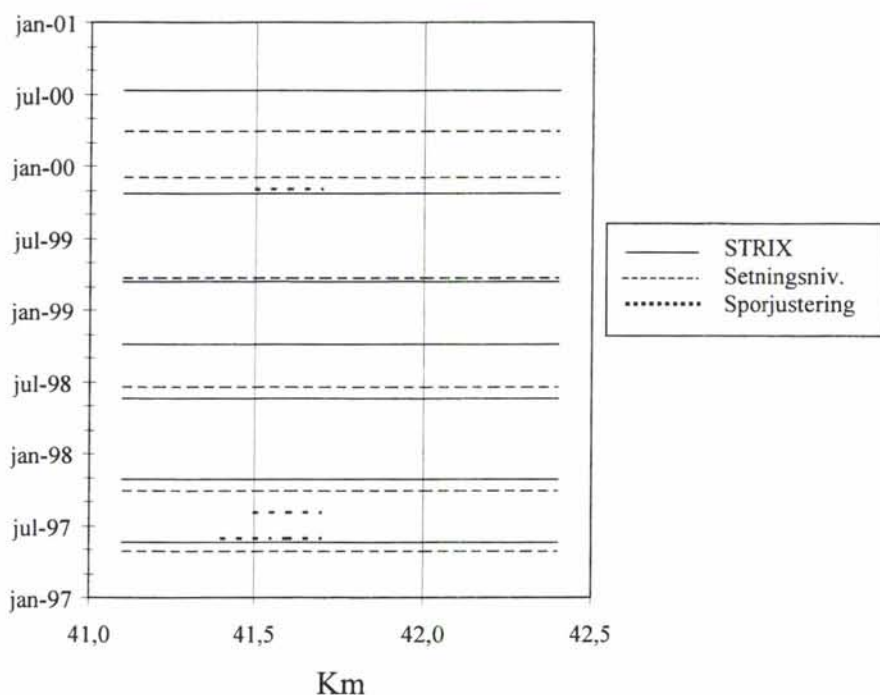
TABELL 7.1 Sporjusteringer ved Trøgstad bru på Hovedbanen de tre første driftsår

Tidspunkt	Tiltak	Strekning
Mai/juni 1997	Pakking	Km 41,45-41,68
Juli/august 1997	Skiftet glideskj/pakking	Km 41,52-41,67
23. oktober 1999	Pakking	Km 41,53-41,67

TABELL 7.2 Sporjusteringer på parsell Kløfta-Trøgstad på Gardermobanen de to første driftsår

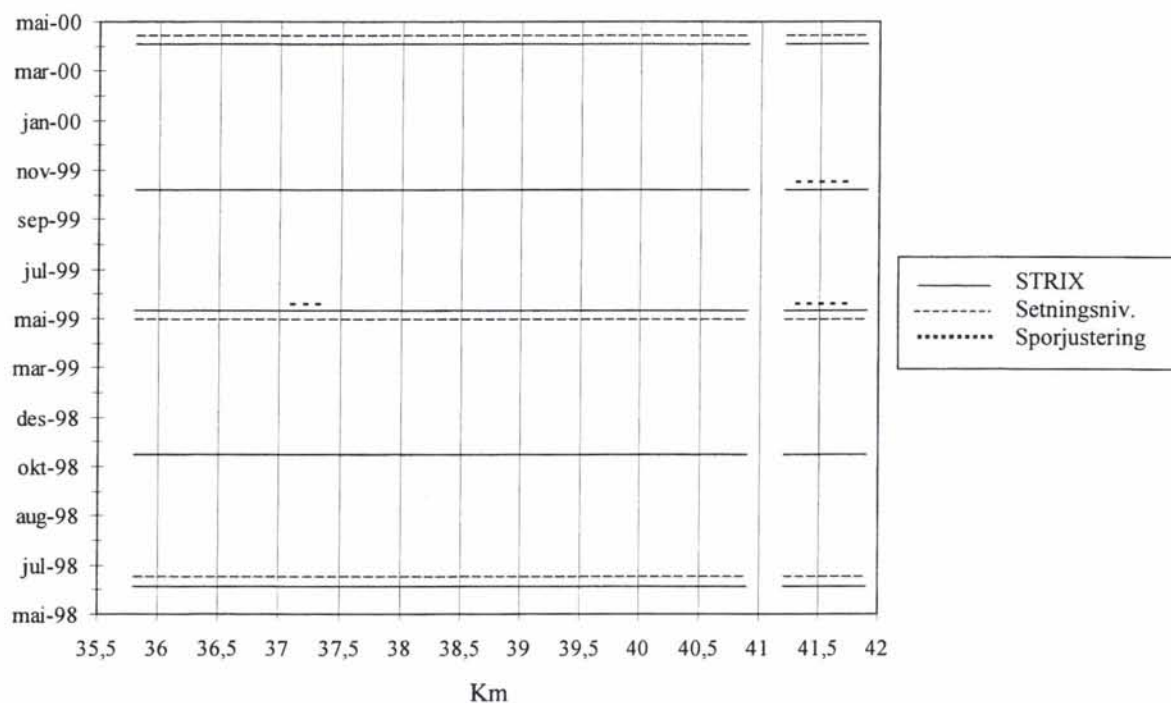
Tidspunkt	Tiltak	Spor 1	Spor 2
Mai 1999	Pakking	Km 37,1-37,4 Km 41,3-42,0	Km 37,1-37,4 Km 41,3-42,0
Oktober 1999	Pakking	Km 41,3-42,0	

Figur 7.1 gir en grafisk oversikt over utførte setningsnivellement, STRIX-målinger og justeringer i sporet som er utført på referansestrekningen på Hovedbanen ved Trøgstad bru.

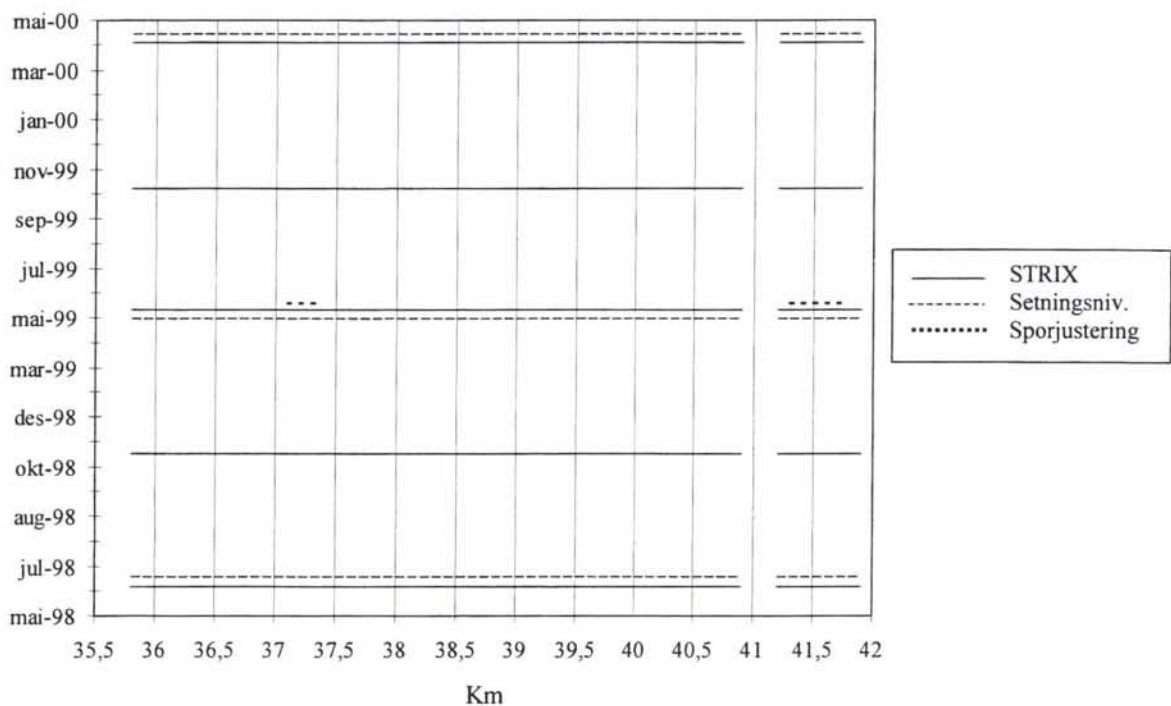


FIGUR 7.1 Utførte setningsnivellement, tilstandsmålinger med STRIX målevogn og justeringer i sporet på Hovedbanen

Figur 7.2 og 7.3 viser grafiske oversikter over utførte setningsnivellelement, STRIX-målinger og justeringer i spor 1 og 2 på referansestrekningen på Gardermobanen. Det er kjedebrudd fra km 40,910 til km 41,224.



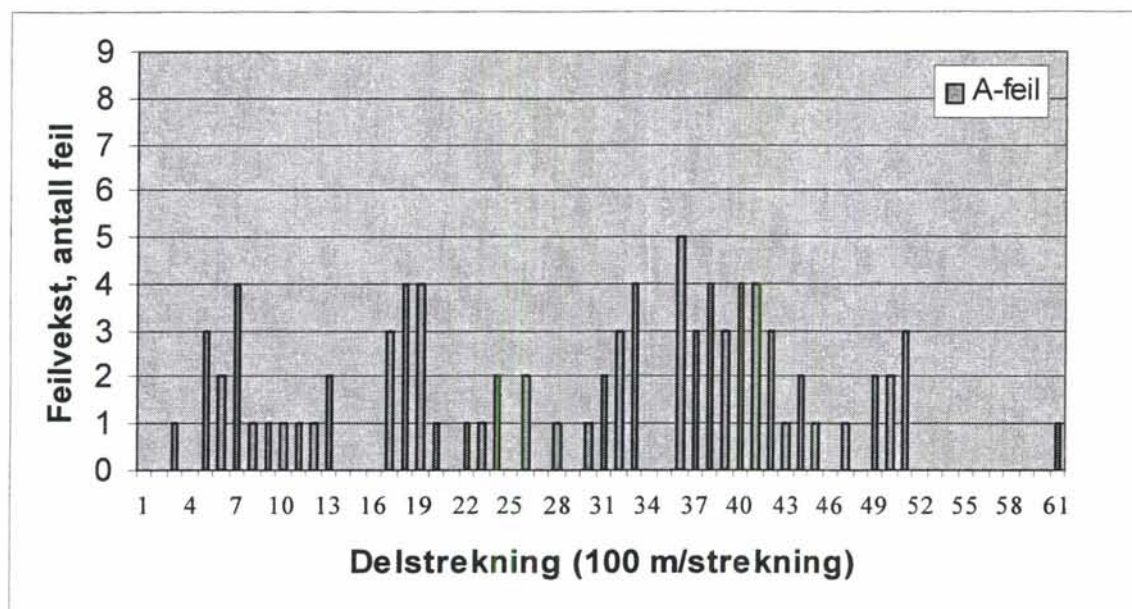
FIGUR 7.2 Utførte setningsnivellelement, tilstandsmålinger med STRIX målevogn og justeringer i spor 1 på Gardermobanen



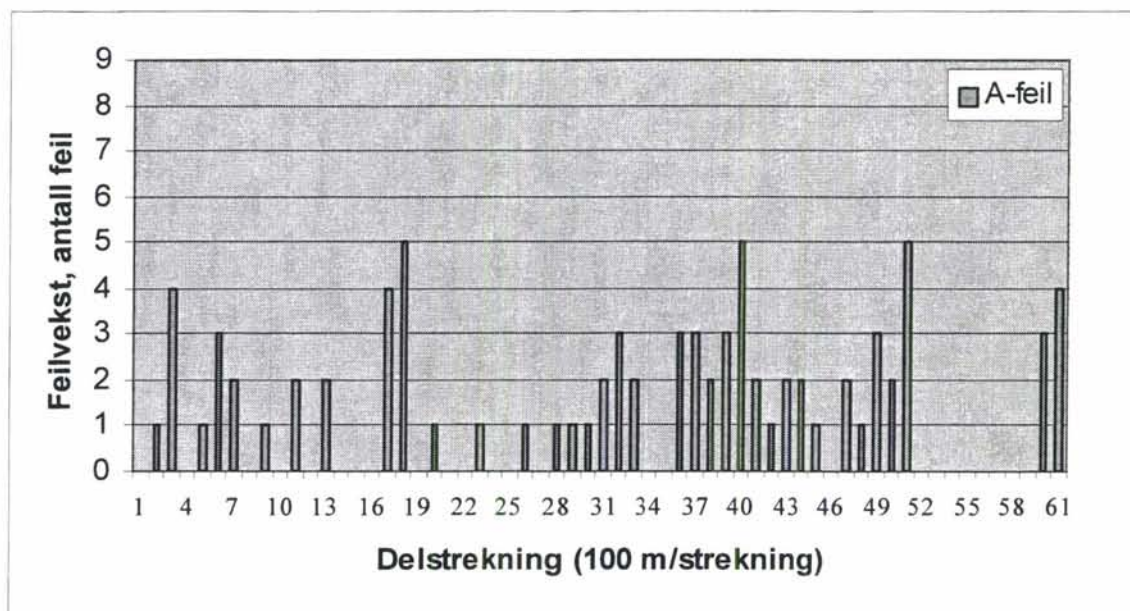
FIGUR 7.3 Utførte setningsnivellelement, tilstandsmålinger med STRIX målevogn og justeringer i spor 2 på Gardermobanen

8. REFERANSER

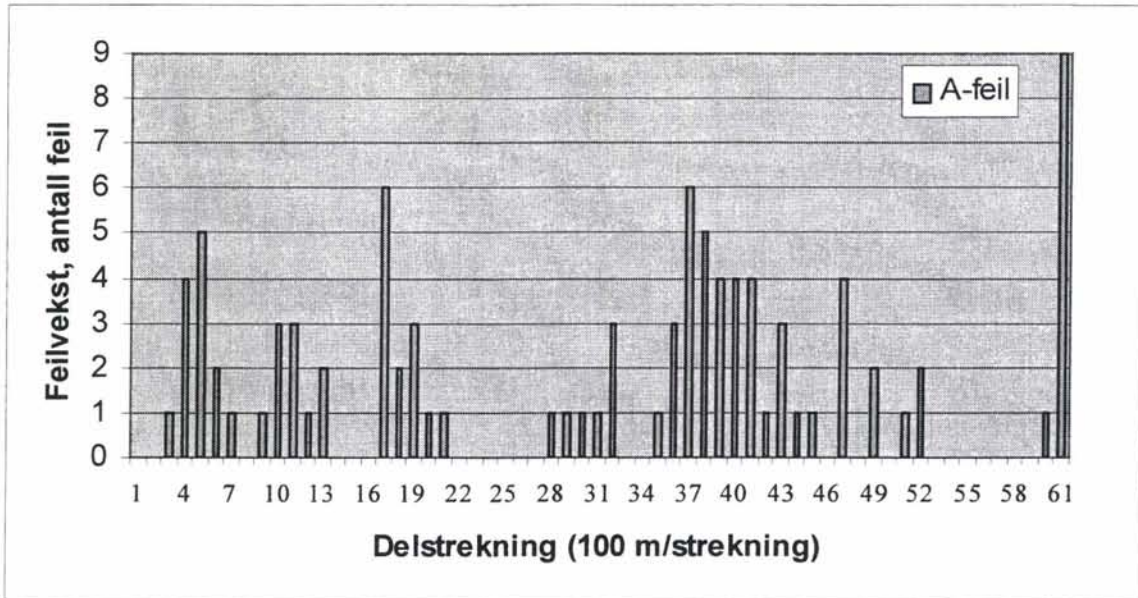
- /1/ Solheim, O.M. (1998): "Forventede setninger for Gardermobanen, parsell Kløfta - Trøgstad". Rapport 2 i prosjektet "Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn". SINTEF-rapport STF22 A98604. Trondheim april 1998.
- /2/ Jernbaneverket (1998): Teknisk regelverk. "Underbygning. Regler for prosjektering og bygging." JD520.
- /3/ Lindland, T., Solheim, O.M. og Furuberg, T. (1994): "Jernbanebygging på bløt grunn. Hovedprosjektrapport." SINTEF-rapport STF61 A94005. Trondheim januar 1994.
- /4/ Lindland, T., Solheim, O.M. (1998): "Setninger og tilstandsutvikling målt i driftsfasen på Vestfoldbanen, Skogerparsellen". Rapport 5 i prosjektet "Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn". SINTEF-rapport STF22 A98639. Trondheim november 1998.



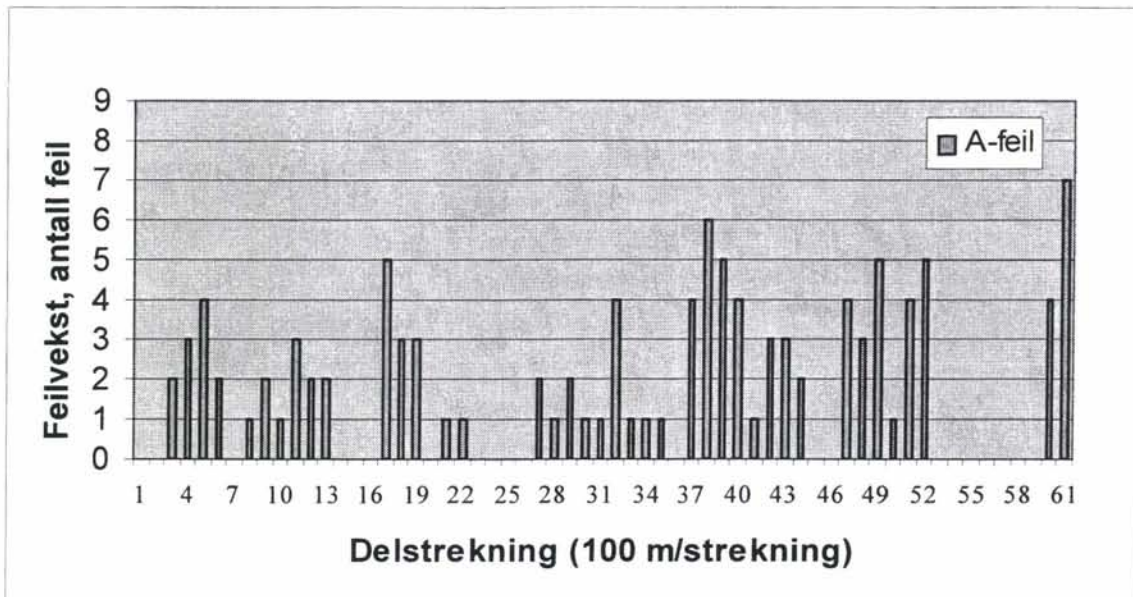
FIGUR B1.1 Feiltilvekst av høydefeil for høyre skinne i spor 1, juni 1998 – april 2000. På delstrekning 14-16 og 52-59 er det utført sporjustering i måleperioden.



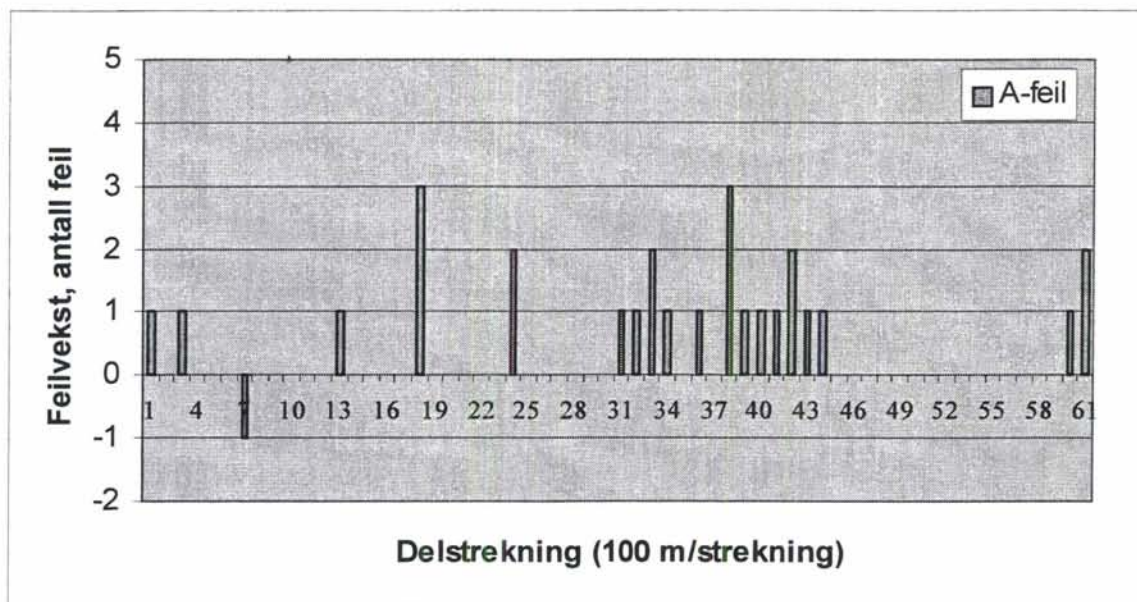
FIGUR B1.2 Feiltilvekst av høydefeil for venstre skinne i spor 1, juni 1998 – april 2000. På delstrekning 14-16 og 52-59 er det utført sporjustering i måleperioden.



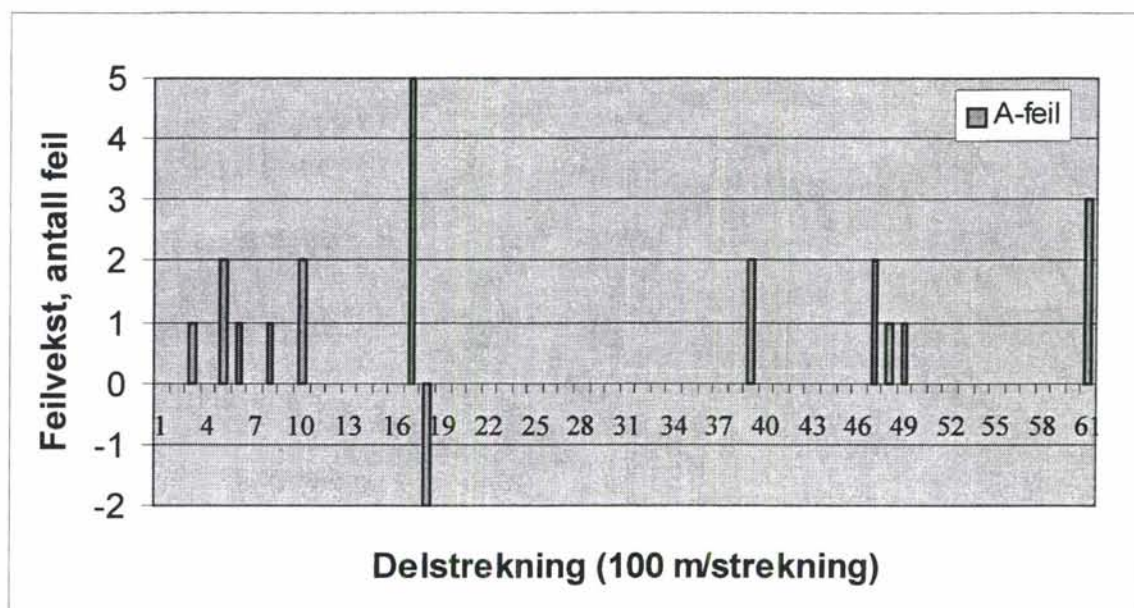
FIGUR B1.3 Feiltilvekst av høydefeil for høyre skinne i spor 2, juni 1998 – april 2000. På delstrekning 14-16 og 52-59 er det utført sporjustering i måleperioden.



FIGUR B1.4 Feiltilvekst av høydefeil for venstre skinne i spor 2, juni 1998 – april 2000. På delstrekning 14-16 og 52-59 er det utført sporjustering i måleperioden.



FIGUR B2.1 Feiltilvekst av vindskjevhetsfeil i spor 1, juni 1998 – april 2000.
 På delstrekning 14-16 og 52-59 er det utført sporjustering i måleperioden.



FIGUR B2.2 Feiltilvekst av vindskjevhetsfeil i spor 2, juni 1998 – april 2000.
 På delstrekning 14-16 og 52-59 er det utført sporjustering i måleperioden.

Hovedbanen

Sammenheng mellom kilometrering og profilering:

$$KM = 41,0356 + \text{profil (i km)}$$

Gardermobanen

Sammenheng mellom kilometrering og profilering:

Strekningen km 35,750 – km 40,910

$$KM = 33,750 + \text{profil (i km)}$$

Strekningen km 41,224 – km 42,264

$$KM = 34,064 + \text{profil (i km)}$$

Det er kjedebrudd på strekningen km 40,910 – 41,224

**Oversikt over rapporter i prosjektet:
"Erfaringer med bygging og drift av jernbaneanlegg på bløt grunn"**

- | | |
|-----------|--|
| Rapport 1 | Forventede setninger for Vestfoldbanen, Skogerparsellen |
| Rapport 2 | Forventede setninger for Gardermobanen, parsell Kløfta-Trøgstad |
| Rapport 3 | Förväntade sättningar för Västkustbanan delsträckan Sätinge-Lekarekulle |
| Rapport 4 | Förväntade sättningar för Svealandsbanan delsträckan Läggesta-Malmby |
| Rapport 5 | Setninger og tilstandsutvikling målt i driftsfasen på Vestfoldbanen, Skogerparsellen |
| Rapport 6 | Sättningar och uppmätt tillståndsutveckling i driftsfasen för Västkustbanan, delsträckan Sätinge – Lekarekulle |
| Rapport 7 | Sättningar och uppmätt tillståndsutveckling i driftsfasen för Svealandsbanan, delsträckan Läggesta – Malmby |
| Rapport 8 | Setninger og tilstandsutvikling målt i driftsfasen for Gardermobanen, parsell Kløfta-Trøgstad |

Jembaneverket
Biblioteket



12TU00844