

R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## Hjulslag / Materialutfall

### Aktuelle hjulslagsdetektorer

SINTEF Bygg og miljøteknikk  
Vegteknikk

September 1997

Jernbaneverket  
Biblioteket



**SINTEF**



**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Vegteknikk

Postadresse: 7034 Trondheim  
Besøksadresse: Alfred Getz vei 3  
Telefon: 73 59 47 20  
Telefaks: 73 59 70 20

Foretaksnr: NO 948 007 029 MVA

# SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Hjulslag/Materialutfall**

Aktuelle hjulslagsdetektorer

Jernbaneverket  
Biblioteket

FORFATTER(E)

Terje Lindland og Kjell Arne Skoglund

OPPDRAGSGIVER(E)

Jernbaneverket Region Nord

RAPPORTNR	GRADERING	OPPDRAGSGIVERS REF.	
STF22 A97514	Åpen	Hans Svee	
GRADERING 1. SIDE	ISBN	PROSJEKTNR.	ANTALL SIDER OG BILAG
Åpen	82-595-9608-3	22G042	36 sider inkl. 2 bilag
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKLEDER (NAVN, SIGN.)	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
s:\2230\22g042\A97514\rapport.doc		Terje Lindland	
ARKIVKODE	DATO	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)	
Åpen	1997-09-11	Dag Bertelsen, fung. Forskningsjef <i>Dag Bertelsen</i>	

## SAMMENDRAG

Hjulslag og materialutfall har betydning for nedbrytning av sporet. Jernbaneverket har derfor behov for å utarbeide et regelverk som tar hensyn til nedbrytning av over- og underbygning.

Før dette gjøres ønsker Jernbaneverket Region Nord å undersøke mulighetene for å kunne utøve en effektiv kontroll av et regelverk. Målsettingen med dette prosjektet er å undersøke om det finnes utstyr og systemer med anerkjent teknologi som er i stand til å overvåke det rullende materiell og å måle omfanget av hjulskader.

I litteraturundersøkelsen i prosjektet er det funnet fram til fire ulike hjulslagsdetektorer. Disse er kort beskrevet med virkemåte, driftserfaringer og anskaffelseskostnader. I rapporten er det også tatt med vurderinger omkring bygging av et eget system.

Rapporten inneholder også et kapittel om forekomst av hjulfeil og gjeldende regelverk, og et kapittel om detektering av defekte hjul.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Jernbane	Railway
GRUPPE 2	Skadedetektor	Damage detector
EGENVALGTE	Toghjul	Rail vehicle wheel
	Hjulskade	Wheel defect
	Impulslast	Impact load

## FORORD

Hjulslag og materialutfall har betydning for nedbrytning av sporet både med hensyn til geometri og overbygningskomponenter. Jernbaneverket har derfor behov for å utarbeide et regelverk som tar hensyn til nedbrytning av over- og underbygning. Dette regelverket må inneholde toleranse-grenser og hvordan det skal reageres når grensene overskrides.

Før dette gjøres ønsker Jernbaneverket Region Nord å undersøke mulighetene for å kunne utøve en effektiv kontroll av et regelverk. Målsettingen med prosjektet er derfor å undersøke om det finnes utstyr og systemer med anerkjent teknologi som er i stand til å overvåke det rullende materiell og å måle omfanget av hjulskader.

Rapporten er laget på oppdrag av Jernbaneverket Region Nord, med Hans Svee, Øyvind Brustad og Alf Helge Løhren som hovedkontakter.

I tillegg til Terje Lindland, som har vært prosjektansvarlig, og Kjell Arne Skoglund, som har gjort hoveddelen av litteraturundersøkelsen, har Einar Værnes og Kjell Enoksen deltatt i deler av arbeidet.

Trondheim, september 1997

**INNHold**

	Side
<b>FORORD</b> .....	2
<b>SAMMENDRAG</b> .....	4
<b>1 INNLEDNING</b> .....	6
1.1 Generelt .....	6
1.2 Litteraturundersøkelse.....	6
1.3 Andre kontakter .....	7
<b>2 HJULFEIL OG GJELDENE REGELVERK</b> .....	8
2.1 Forekomst av hjulfeil .....	8
2.2 Gjeldende regelverk .....	10
<b>3 DETEKTERING AV DEFEKTE HJUL</b> .....	12
3.1 Historikk.....	12
3.2 Prinsipper for detektering.....	13
3.3 Fordeler med hjulslagsdetektorer.....	13
3.4 Prinsipielle begrensninger ved hjulslagsdeteksjon.....	14
<b>4 HJULSLAGSDETEKTORER</b> .....	15
4.1 Ulike systemer .....	15
4.2 Salient Systems sin WILD detektor .....	15
4.3 Caltronic.....	17
4.4 Frontec sin Frontrack detektor .....	18
4.5 Kistler og Dewetron.....	19
4.6 Bygging av et eget system.....	19
4.7 Kort vurdering av systemene.....	21
4.8 Konklusjoner og anbefalinger - deteksjonssystem .....	22
<b>5 KRAV TIL INSTALLASJONSSTED</b> .....	23
<b>6 BEHOV FOR VIDERE ARBEID OG UNDERSØKELSER</b> .....	24
<b>7 LITTERATURHENVISNINGER</b> .....	25

**BILAG:**

- 1 Liste over øvrig aktuell litteratur
- 2 Liste over kontakter (personer, firma etc.)

## SAMMENDRAG

Hensikten med dette prosjektet er å undersøke om det finnes utstyr og systemer med anerkjent teknologi som er i stand til å overvåke det rullende materiell og å måle omfanget av hjulskader.

Det er gjennomført en litteraturundersøkelse. Av denne framgår det at det finnes flere slags hjulfeildetektorer:

- Detektorer som baserer seg på reaksjoner i sporet:
  - tøyninger i skinnefoten (strekkklapper)
  - akselerasjonsmålinger (akselerometre)
  - trykceller som måler kraft mellom skinne og sville
- Akustiske sensorer som lytter på slaglyder
- Detektorer som baserer seg på at hjulslag bryter en strømkrets
- Ultralyd

De tre førstnevnte er egnet til å finne hjulslag og materialutfall, mens sistnevnte først og fremst er egnet til å finne sprekker i hjulet. Prosjektet har blitt konsentrert om detektorer som måler på reaksjoner i selve sporet.

De systemene som gir de mest omfattende og pålitelige dataene er de som måler reaksjoner direkte på skinnene. Rent måleteknisk er det også mye som taler for at systemer som baserer seg på tøyings- eller kraftmålinger gir de beste kvantitative mål på sporreaksjonene. Akselerometerbaserte systemer har i noen tilfeller ikke fanget opp hjulfeil, og har i noen tilfeller vist seg vanskelig å kalibrere.

Gjennom litteraturstudien og diverse kontakter har vi funnet fram til 4 ulike hjulslagsdetektorer. De 4 systemene, som er nærmere beskrevet i kapittel 4, er:

- Salient Systems, Inc., USA, sin WILD detektor. Strekkklappbasert
- Caltronic, Danmark. Akselerometerbasert
- Frontec, Sverige. Frontrack detektor. Trykceller mellom skinner og sviller. Noe utvikling gjenstår
- Avantec as, Norge. Forhandler system fra Kistler og Dewetron. Akselerometerbasert

Foruten de skreddersydde systemene har vi også sett på muligheten av å kunne bygge et deteksjonssystem helt fra grunnen av ved hjelp av komponenter som er kommersielt tilgjengelig. Av de alternativene vi har sett på har vi vurdert et system fra SINTEF Elektronikk og kybernetikk som det beste. Dette systemet baserer seg på trykkfølsomme kabler og er kort beskrevet i kapittel 4.6.

Følgende oppstilling viser anskaffelseskostnader for de ulike systemene:

Type detektor	Anskaffelseskostnad mill kr (eks moms)	Merknad
WILD	1.5	Hus/rom til plassering av utstyr og reise, kost og losji til monteringsmannskap kommer i tillegg
Caltronic	0.8	Reise, kost og losji til monteringsmannskap kommer i tillegg
Frontrack	1-2	Anskaffelseskostnad ikke så detaljert spesifisert som for WILD og Caltronic
Kistler og Dewetron	0.17 (komponenter) 0.15-0.25 (øvrige kostn)	Øvrige kostnader som installering, programvare-tilpasning og kommunikasjonsutstyr er grovt vurdert
Bygging av eget system	0.69 (utvikling prototyp) ca. 0.4 (fase 2)	Fundament- og sporarbeider kommer i tillegg. Fase 2 består av evt. modifiseringer for en mer permanent installering.

Ved installering av hjulslagsdetektorer må det stilles spor- og driftsmessige krav til installasjonsstedet. Dette går på forhold som rettlinjert spor, konstant hastighet, nærhet til hjul-/vognverksted, strøm- og telefonforbindelse, plass til målebu/måleboks og at begge skinner må kunne instrumenteres.

Også forhold som justeringsstandard på spor, helsveist/lasket spor, svilleavstand og homogenitet i underbygningen kan ha betydning for valg av installeringssted.

## 1 INNLEDNING

### 1.1 Generelt

Gjeldende akseptkriterier og kvalitetskrav med hensyn til hjulslag og materialutfall på det norske jernbanenettet er definert i to trykk og et S-sirkulære.

I Trykk 405.1 art. 156 /2/ er det definert grensemål for hjulslag. Grensemål for materialutfall mangler i dette trykket, men i S-sirkulære 59/1996 /12/ (hjulslag/materialutfall-lytteposter) er grensemål for materialutfall fastsatt til 40 mm. I bestemmelsene som idag står i Trykk 405.1 art. 156 pkt 2.5.4 vil dette bli tilføyet når nytt trykk foreligger.

I Trykk 741.1.2 utgave juli 1995 (Vedlikeholdsforskrifter for rullende materiell) /5/ er retningslinjer for kontroll og dreining av hjul gitt. Trykket gjelder for eier av rullende materiell. Trykket beskriver inspeksjonsrutiner for kontroll av hjulprofil og hvilke hjulmål som skal måles med foreskrevet verktøy.

Bakgrunnen for dette prosjektet er et ønske fra Jernbaneverket å kunne identifisere hjul som påfører overbygningen for store laster og dermed stor slitasje og høyere skadefrekvens. Med såkalte hjulskadedetektorer installert vil det i framtida kunne bli mulig å redusere slitasje og antall feil såvel i sporet som for det rullende materiell. Slikt utstyr kan også gjøre det mulig å sette krav til trafikkeringselskapet om største tillatte sporkrefter, enten det nå er NSB BA eller andre som kan tenkes å få trafikkeringsrett.

Hjulskadedetektorer kan i hovedsak deles inn i sprekkedetektorer og hjulslagsdetektorer. Etter ønske fra oppdragsgiver ble vårt arbeid konsentrert om hjulslagsdetektorer.

Før vi forlater sprekkedetektorer nevner vi at de ofte er basert på ultralyd. I mange tilfeller er slike detektorer en videreutvikling av mer verkstedspreget utstyr. Som eksempel nevnes et system utviklet av Scanning Systems Inc. for den tidligere Santa Fe Railroad (nå BNSF) til bruk på en godsterminal /18/. Dette systemet, som ble kalt Wheelfax, var i stand til å finne hjulfeil/-sprekker når hastigheten var opptil ca. 50 km/h. Et litt annet ultralydssystem er tatt i bruk av Hamersley Iron Railways, Australia /13/. Her ble det satt opp en teststasjon som togsettet kunne kjøre inn på. Mens toget stod i ro ble hjulene på en aksel rotert og sjekket ved hjelp av ultralyd, deretter ble toget flyttet slik at neste hjulsett kunne prøves og så videre til alle hjul var testet. Via Siemens har vi også fått kjennskap til et tredje system kalt Inspektomat utviklet av Vossloh Rail Systems GmbH. Dette systemet er bygd opp av forskjellige moduler som kan finne både riss og hjulslag, men denne detektoren kan gjennomkjøres kun med en hastighet på 10-30 km/h.

Detektorer som kan finne sprekker i hjulene, uten at det er materialutfall, er ikke nærmere omtalt videre i rapporten.

### 1.2 Litteraturundersøkelse

Det er foretatt et omfattende litteratursøk for å finne beskrivelser av metoder som brukes til å detektere hjulfeil. Følgende søkebegrep er benyttet: 'Impact load', 'wheel flat', 'wheel failure', 'wheel damage', 'wheel crack', 'wheel defect' og avledninger av disse.

Disse databasene/-kildene er gjennomgått med de søkebegrepene som er nevnt ovenfor:

- BIBSYS (bøker og tidsskrifter ved norske høgskole- og universitetsbibliotek)
- WWW-søkbare databaser gjennom NTUB: OCLC First Search, WebSPIRS (flere enkeltbaser), ISI-databasene (først og fremst Science Citation Index)
- CD-rom ved NTUB: 'Compendex Plus' 1987- mars 1997, 'Inspec' 1989-1996, 'Transport' fram til første del av 1997, 'Metadex' 1985- første del av 1997
- ESA-IRS med databasen NTIS som hovedkilde (må betale per søk, ikke fullstendig gjennomført)
- Noen nettstedet som inneholder litteraturlister over jernbanemner
- Artikler som er funnet gir ofte henvisninger videre til andre artikler om samme emne

Litteraturhenvisningene i kapittel 7 og vedlegg 1 gir en oversikt over den litteraturen som er funnet.

### 1.3 Andre kontakter

Det er tatt kontakt med en rekke firmaer og enkeltpersoner som kan tenkes å vite noe om emnet. Jernbaneselskaper både i Nord-Amerika og Europa er kontaktet, likeså utviklere og produsenter av hjulslagsdetektorer. En tredje kategori er firma som har en del basisutstyr, men som bruker dette til andre formål enn hjulslagsdeteksjon. Typisk her er vibrasjonsmålinger i kulelagre og roterende utstyr for øvrig. Vi har også vært i kontakt med en håndfull enkeltpersoner ved universiteter, forskningsinstitusjoner og nasjonale tilsynsmyndigheter. En liste over de foretak og personer som er kontaktet er gitt i vedlegg 2.

Foruten dette har vi gjennom internett undersøkt en del universiteter i Europa for å se om det var noe forskning rundt dette med hjulfeilsdetektorer. Søket har vært noe overfladisk, og vi har ikke greid å finne noen relevante forskningsaktiviteter.



## 2 HJULFEIL OG GJELDENDE REGELVERK

### 2.1 Forekomst av hjulfeil

ORE har i /1/ katalogisert en del hjulfeil. Vi har gjengitt de typer som angår hjulbanen i tabell 1 nedenfor.

TABELL 1 Feiltyper på hjulbanen /1/

Type <sup>1)</sup>	Beskrivelse	Sannsynlig årsak	Reparasjon
Riller <sup>2)</sup>	En eller flere langsgående riller	Bortsliping av materiale p.g.a. inhomogeniteter i bremseklossene, evt. komposittklosser	Hjuldreining
Hjulslag	Ovale og ofte varmpåkjenete flater	Glidning av hjul mot skinne som følge av bremsing	Vanligvis hjuldreining, men små hjulslag slites bort av seg selv, f.eks. ved bremsing
Materialopp-hopning	Materiale fra skinne eller bremseklosser som legger seg på løpebanen	Kraftig bremsing som skinnene eller bremseklossene ikke tåler	Vanligvis hjuldreining, men små materialansamlinger vil slites bort av seg selv
Oppflising	Metallflyt, ikke ulikt en sveisesøm	Kraftig bremsing	Små feil slites bort av seg selv, hjuldreining i alvorlige tilfeller
Material-avskalling	Små stykker som faller ut i kontaktsonen mellom hjul og skinne	For store hjulkrefter	Hjuldreining
Shelling <sup>2)</sup>	Sprekker og senere avskalling fra kontaktsonen mellom hjul og skinne	For store trykkspenninger i forhold til hjulets materialkvalitet	Hjuldreining
Varmemerker <sup>2)</sup>	Fargeflekker fordelt over hele hjulomkretsen	Betydelig oppvarming som følge av bremsing og av glidning	Hjulet kan holdes i trafikk
Overflatesprekker	Riss orientert hovedsakelig på tvers av hjulbanen, men noen ganger med en del sprekker også på langs. Små metallbiter kan falle ut.	Endrete materialegenskaper i overflaten p.g.a. bremsing	Hjulet kan som regel beholdes i trafikk, men når hjulet dreies (av denne eller andre årsaker) må alle slike overflateriss bli fjernet
Temperatursprekker <sup>2)</sup>	Radiale sprekker, i alvorlige tilfeller går sprekken gjennom hjulringen	Temperaturkrefter i hjulet som følge av friksjonsvarme fra bremsing	Hjulet eller hjulringen byttes ut
Sprekkdannelse	Radiale sprekker, i alvorlige tilfeller går sprekken gjennom hjulringen	Hakk eller skår laget av kaldmarkering med skarpkantet skrifttegn forårsaker spenningskonsentrasjon	Hjulet eller hjulringen byttes ut

<sup>1)</sup> Betegnelse brukt her er samsvarende med betegnelser i /5/.

<sup>2)</sup> Disse feiltyperne er ikke tatt med i /5/.

I tabell 1 er ikke betegnelsen 'materialutfall' brukt. Vi vil likevel bruke dette begrepet som en samlebetegnelse på de hjulfeil der biter av materialet i hjulbanen faller ut. Fra tabell 1 ser vi at dette skjer ved 'materialavskalling' og i noen grad ved 'shelling' og 'overflatesprekker'.

Vi har vært i kontakt med tre av NSB BAs verksteder for å innhente opplysninger om hjulfeil og hvordan disse fordeler seg.

NSB BA Trondheim, Verksted Marienborg, opplyste at hjul som kom inn til dette verkstedet i hovedsak dreies av tre årsaker:

- Materialutfall
- Hjulslag (friksjonsslitte flater på hjulets løpebane)
- Slitasjegrenser nås

Materialutfall på grunn av sprekkevekst (overflatesprekker og muligens også shelling) synes å være et økende problem - i all fall relativt sett. Det antas at dette skyldes høyere stålkvalitet (hardhet) i både skinner og hjul, og at sporet er blitt stivere etter at betongsviller har tatt over for tresviller. Økte skinnevekter bidrar også til et stivere spor (økt skinnevekt gir høyere vertikalt arealtreghetsmoment).

Tradisjonelle hjulslag synes å være et avtagende problem i forhold til andre hjulfeil som f.eks materialutfall fordi stadig flere lok og motorvognsett bygges ut med såkalt glidevern (datastyrt ventil som løser bremsene dersom hjulet er i ferd med å blokkeres når toget er i fart). Dette er også erfaringen i Sverige. Dette trenger imidlertid ikke bety at det absolutte antall hjulslag avtar. På grunn av høye kostnader er det ikke aktuelt å montere glidevern på vognmateriellet etter det vi har fått opplyst ved Verksted Marienborg.

Ved Marienborg blir det ikke ført statistikk over fordelingen av hjulfeil, men det ble anslått en fordelingen på omtrent 40 % på både materialutfall og hjulslag, mens slitasje stod for de resterende 20 %. Feilmarginen ble anslått til  $\pm 5$  %. Marienborg dreier årlig i størrelsesorden 800-1000 hjulsatser.

Fra Lodalen har vi fått veldig grundig statistikk. Der dreies i hovedsak hjul på personmaterieil og lok. Fordelingen på feiltyper er som følger (avrundet): Hjulslag 23 %, materialutfall 10 %, slitte hjul 21 %, tynne flenser 30 %, sprekker 3,0 %, differansedreining 9,0 %, urunde hjul 0,5 %, profilendring 3,6 %, rubb og annet 0,3 %. Det er også opplyst om at problemet med tynne flenser ser ut til å være økende. Hjulslag og materialutfall er ifølge denne statistikken et vinterfenomen. Det blir også pekt på at sprekker, materialutfall og tynne flenser representerer de høyeste kostnadene relativt sett.

Fra NSB Gods, Gpm, har vi fått opplyst at det til nå i 1997 er byttet ut ca. 1000 hjulsatser. Omtrentlig fordeling er oppgitt til å være 50 % hjulslag, 25 % materialutfall, 10 % høy/skarp flens mens 15 % er oppgitt 'diverse' (som eksempel er nevnt utgått revisjonstid). Det ble opplyst om at antall hjulslag og materialutfall økte vinterstid og særlig i kuldeperioder.

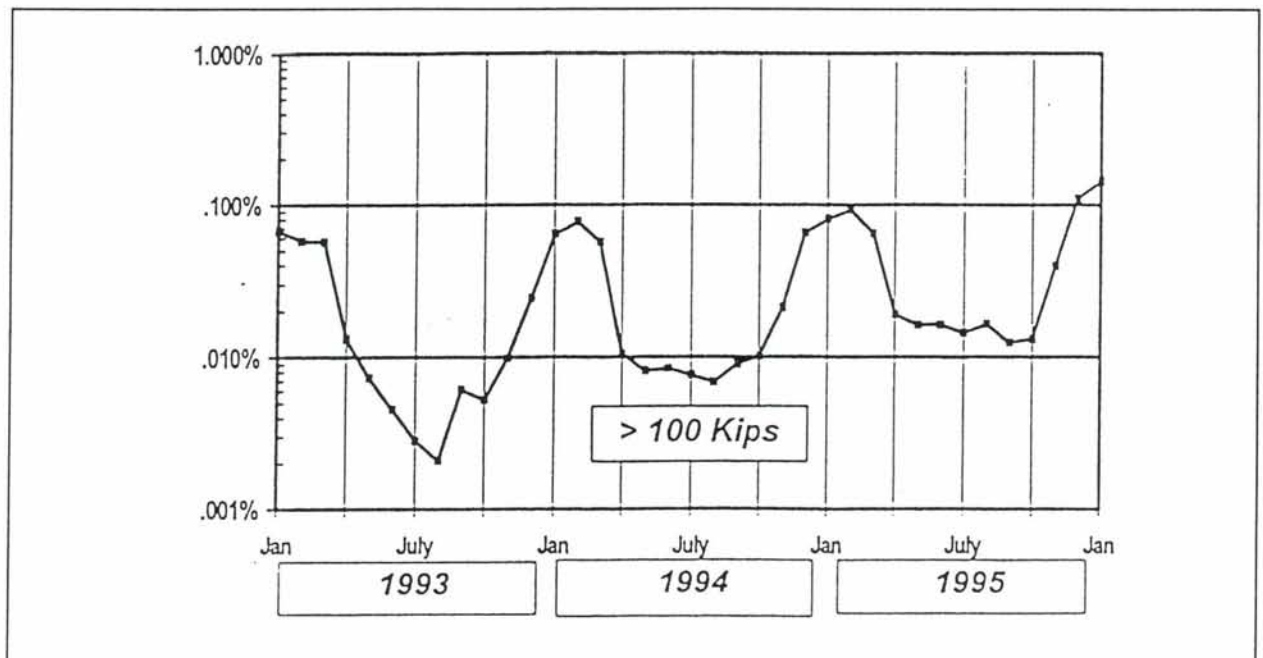
Tabell 2 oppsummerer omtrentlig fordeling av hjulfeil ved tre norske verksteder.

**TABELL 2** Omtrentlig fordeling av årsaker til at hjul dreies

	Hjulslag, %	Material- utfall, %	Annet (se tekst), %	Omfang
Marienburg	ca. 40	ca. 40	ca. 20	Årlig dreies 800-1000 hjulsatser.
Grorud	ca. 50	ca. 25	ca. 25	Dreid ca. 1000 hjulsatser fra januar til mai -97.
Lodalen	23	10	67	Dreid 3037 hjulsatser i 1996

Det kan ut fra denne statistikken se ut som godsvogner er mer utsatt for hjulslag og materialutfall, mens det for personmateriellet og lokene er slitasje i en eller annen form som betyr mest. Vi vil likevel ikke trekke for bastante konklusjoner fordi vi ikke har særlig nøyaktig statistikk fra Marienburg og Grorud. Nøyaktige data fra Marienburg og Grorud ville ha vært av særlig interesse for Region Nord siden disse (særlig Grorud) tar seg av godsmateriellet, som har de høyeste aksellastene.

Sesongvariasjoner i antall hjulfeil er også kjent i andre forvaltninger. Ifølge Clegg og Blevins /3/ er forekomsten av impulstillegg over 100 kips (ca. 45 tonn) ved Canadian National (CN) omtrent 10 ganger høyere om vinteren enn om sommeren, jf. figur 1. Årsaken til dette antas å være at sporet er frosset, og dermed stivere, i vinterhalvåret. /3/ indikerer ellers at CN må skifte hjul p.g.a. shelling og hjulslag to til tre ganger så ofte om vinteren som om sommeren.



**FIGUR 1** Sesongvariasjonene til impulslaster over 100 kips (ca. 45 tonn). Merk logaritmisk skala på 2. akse. /3/

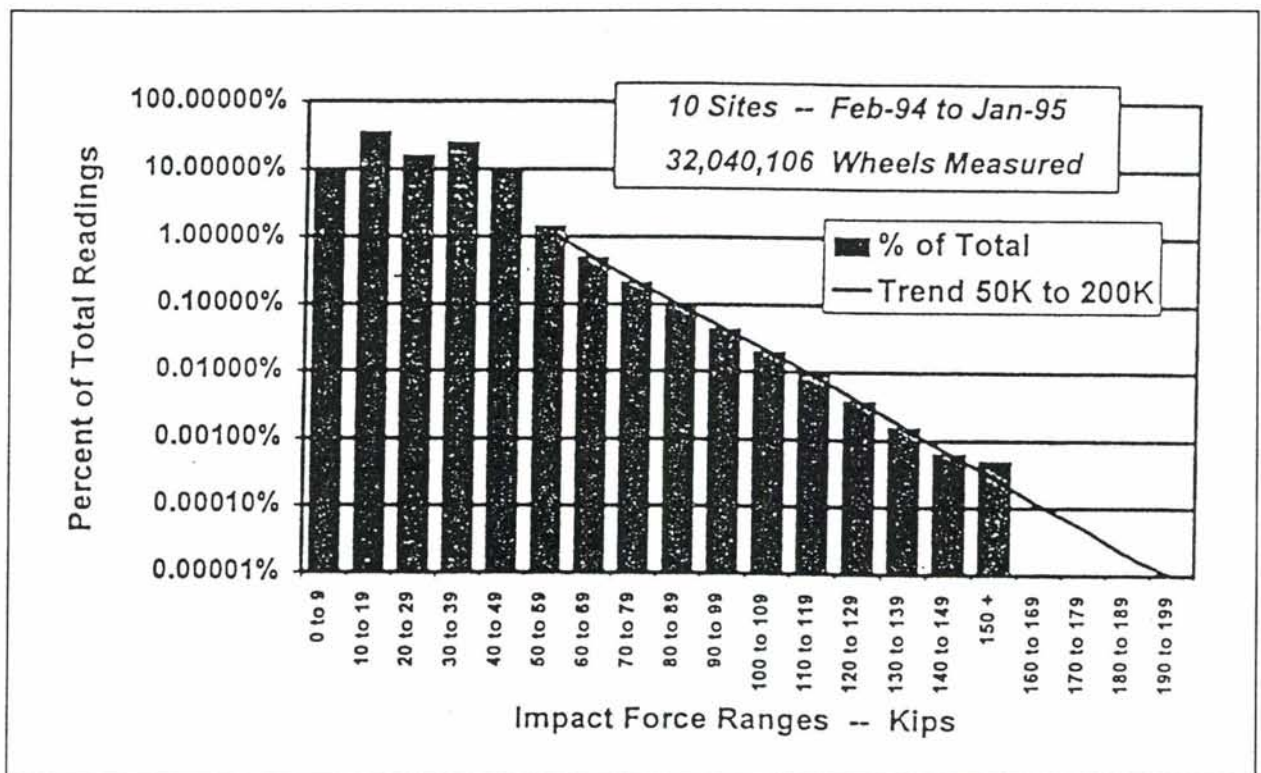
## 2.2 Gjeldende regelverk

Etter gjeldende norsk regelverk /5/ skal hjulslag ikke være lengre enn 40 mm på hjul som er mindre enn 900 mm i diameter mens kravet er 60 mm på hjul med større diameter. Samme

lengderegel gjelder for materialopphepning. For materialutfall gir /12/ at slike feil ikke kan være større enn 40 mm.

Det norske regelverket baserer seg altså på geometrisk størrelse på hjulfeilene og ikke på faktisk påkjenning på sporet. Dette har inntil nylig også vært gjeldende praksis ved andre jernbaneforvaltninger. Etter hvert som hjulslagsdetektorer har blitt installert har imidlertid enkelte forvaltninger erkjent at hjul som ikke skal tas ut av trafikk etter slike geometribaserte regler likevel kan ha skadelig høye impulslaster. Som eksempel på regler basert på påkjenninger i sporet nevnes at Canadian National (CN) krever øyeblikkelig utskifting av hjul som gir høyere impulstillegg enn 150 kips (ca. 68 tonn) /4/. (Dette kan synes å være ekstreme impulslaster, men ifølge CN forekommer dette på ett av ca. 150 000 hjul. Dessuten er tillatt statisk hjullast på de aktuelle målestedene 39 kips (ca. 17,7 tonn).) Etter januar 1996 kan alle sporeiere tilsuttet Association of American Railroads (AAR) ta ut hjulsatser som gir mer enn 90 kips (ca. 41 tonn) i dynamiske hjullasttillegg og forlange betaling for jobben hos materielleier. Også i Norge vil dette bli mer aktuelt etter hvert som utstyr som kan måle impulstillegg installeres i sporet.

Figur 2 gir et bilde av fordelingen av impulslaster ved Canadian National.



FIGUR 2 Fordeling av impulslaster ved Canadian National basert på målinger med WILD-detektor. Merk logaritmisk skala på 2. akse. /3/

I Sverige /16/ er det også foreslått å innføre regler som setter grenser for sporpåkjenningene når man blir mer i stand til å måle disse påkjenningene.

En studie gjort av Zeta-Tech /4/ tyder på at det i alle tilfeller vil lønne seg økonomisk for spor- og materielleier under ett å ta hjul ut av trafikk når dynamisk hjullasttillegg er over 80-90 kips (ca. 36-41 tonn).

### 3 DETEKTERING AV DEFEKTE HJUL

#### 3.1 Historikk

Det har omtrent i hele jernbanehistorien vært kjent at man har dynamiske laster som følge av spor- eller hjulfeil, og at disse kan bli betydelige i størrelse. Problemet inntil for noen år siden har vært å kunne måle slike laster.

Et av de første forsøkene på å finne en effektiv hjulslagsdetektor ble gjort av ORE rundt 1970, jf. /6/, /7/, /8/, /9/ og /10/. Det ble innledningsvis satt som mål at denne innretningen skulle være i stand til å måle lengden på hjulslaget og impulslasten /6/.

Deutsche Bahn AG (DB), Ungarske Statsbaner (MÁV) og Statens Järnvägar hadde allerede på det tidspunktet utviklet hjulslagsdetektorer med noe forskjellig teknologi. Det ble derfor bestemt at disse detektorene i regi av ORE skulle gjennom en sammenliknende test for å finne den detektoren som kunne anbefales. Detektoren til DB og MÁV var basert på strekkklapper (MÁV-detektoren estimerte også lengden på hjulslaget), mens SJs var piezoelektrisk (akselerometre). I påvente av at forsøkene skulle komme i gang i mai 1971 utviklet også MÁV et elektronisk system, og dette ble tatt med i testene i tillegg til de andre detektorsystemene. Konklusjonen var at forskjellene mellom de fire systemene var så liten at andre faktorer som kostnader og mobilitet avgjorde at de elektroniske systemene til SJ og MAV skulle testes videre /7/. Konklusjonen var at begge var egnet for formålet /10/. Så vidt vi har kunnet bringe på det rene er ingen av disse detektorene i bruk eller i produksjon i dag.

Ifølge TRB /11/ ble interessen i USA for hjulfeilsdetektorer vakt etter at Amtrak observerte alvorlige sprekkedannelser i betongsviller. Som det første jernbaneselskapet i USA hadde Amtrak satt i gang en storstilt overgang til betongsviller i 1978, på linja mellom Washington og New York. Allerede etter 18 måneders drift på det nye sporet ble det observert sprekker i svillene rett under skinnene. Det ble etter hvert slått fast at disse sprekke skyldtes dynamiske hjullaster på grunn av hjulfeil. The Batelle Columbus Laboratories, Ohio, ble engasjert til å konstruere en hjulslagsdetektor, og denne ble installert i 1983. Dette første systemet besto av fire kretser, basert på strekkklapper (tøyningsmålinger), på ei skinne. Selskapet Salient Systems Inc. ble dannet, og dette begynte produksjon og installering av hjulslagsdetektoren WILD System (Wheel Impact Load Detector). Etter hvert er det blitt installert flere WILD-detektorer i USA og også i Canada og i Storbritannia. Canadian National (CN) er det jernbaneselskap i Nord-Amerika som har flest hjulslagsdetektorer i drift i dag, jf. /4/.

Systemer basert på akselerometre, bl.a. Caltronic, har også vært prøvd ut i USA. På grunn av utviklingen av det amerikanske regelverket mot mer kvantitative mål på impulslastene har slike systemer blitt mindre populære.

I Norden har Sverige, Danmark og Finland erfaring med hjulslagsdetektorer. Vi har vært inne på at Sverige rundt 1970 var med på et ORE-prosjekt om hjulslagsdetektorer. I 1990 ble en Caltronic-detektor installert ved Hallsberg, og i slutten av 1992 ble det installert en WILD-detektor fra Salient Systems mellom Notviken og Luleå. I Europa er Salient Systems nå representert ved Adtranz. Frontec, et svensk IT-selskap med representanter i mer enn 50 land, har dessuten utviklet en hjulslagsdetektor basert på trykkceller mellom skinne og sville. Dette systemet, kalt Frontrack, har blitt uttestet på Malmbanan i de siste årene. Systemet er ennå ikke fullt ut kommersialisert. Caltronic er utviklet i Danmark og den første prototypen ble utplassert

på Nørreport stasjon på nærtrafikknettet ved København i 1987. Denne er fortsatt i drift. Finland anskaffet en Caltronic-detektor i 1989, og den ble plassert ved Kouvola /14/. Det er også planer om å installere hjulslagsdetektorer ved brua over Store Bælt og ved den kommende Øresundsbrua. Etter hva vi forstår er Adtranz med sin WILD-detektor fra Salient Systems en aktuell leverandør til disse prosjektene /21/.

### 3.2 Prinsipper for detektering

Av den litteraturen som til nå er gjennomgått går det fram at det finnes flere slags hjulfeilsdetektorer:

- Detektorer som baserer seg på reaksjoner i sporet:
  - tøyninger i skinnefoten (strekkklapper)
  - akselerasjonsmålinger (akselerometer)
  - trykceller som måler kraft mellom skinne og sville
- Akustiske sensorer som lytter på slaglyder
- Detektorer som baserer seg på at hjulslag bryter en strømkrets
- Ultralyd

De tre førstnevnte er egnet til å finne hjulslag og materialutfall, mens sistnevnte først og fremst er egnet til å finne sprekker i hjulet. Vi skal konsentrere oss om detektorer av den første typen da slike er kommersielt tilgjengelige.

### 3.3 Fordeler med hjulslagsdetektorer

Fordeler med hjulfeilsdetektorer sett fra sporeiers side kan kort oppsummeres som følger:

- Reduserer påkjenningene på overbygningskomponenter, f.eks mindre skader i skinneskjøter
- Dermed lengre levetid for overbygninga med de økonomiske gevinster dette har
- Omkostninger til manuelle inspeksjoner reduseres
- Redusert støy og vibrasjonsnivå
- Færre reparasjoner og stengninger
- Identifisere årsaksforhold ved skader

Fordeler sett fra materielleiers side:

- Hjulfeil blir oppdaget på et tidlig tidspunkt
- Redusert slitasje på hjul og hjullagre og dermed forlenget levetid
- Vognen kan i mindre alvorligere tilfeller tas ut til vedlikehold på en planmessig måte
- På lengre sikt er det mulig at mindre sporslitasje vil gi reduserte kjørevegsavgifter til sporeier
- Mindre energiforbruk p.g.a. bedre hjul- og vogn gange (estimert 0,5 % reduksjon i /11/)
- Omkostninger til manuelle inspeksjoner reduseres
- Redusert støy og vibrasjonsnivå

Alt i alt er det å håpe at hjulfeilsdetektorer vil gi en økonomisk gevinst for både sporeier og materielleier.

### 3.4 Prinsipielle begrensninger ved hjulslagsdeteksjon

Det kan også være på sin plass å nevne at det finnes noen prinsipielle problemer når det gjelder å finne dynamiske laster.

Den dynamiske responsen til sporet, altså hvilke dynamiske krefter det blir utsatt for, er ikke bare avhengig av hjulenes tilstand og hastighet men også av hvordan sporet er oppbygd og hvilken tilstand det er i. Det vil derfor være umulig å si generelt for hele sporet at et hjul med en viss hastighet gir så og så mange kN i impulslast. Impulslastene vil variere fra sted til sted, og vil være høyest der sporet er stivest. Dette betyr også at et frosset spor vil gi høyere impulslast enn et ufrosset spor, og impulslastene har derfor sesongmessige variasjoner som vi har sett i figur 1. For å ta hensyn til dette kan det være en fordel å montere hjulslagsdetektoren på en strekning med stiv undergrunn.

Noe av det samme forholdet har vi når det gjelder impulslast midt over ei sville kontra midt mellom to sviller. I tillegg kommer bidrag fra vertikalfeil i sporet, enten som følge av sporgeometriske feil eller som følge av skinnefeil.

Det vil også være visse problemer forbundet med at utslaget på måleinstrumentet, enten det nå er strekkklapper, akselerometre eller noe annet, vil være størst når impulslasten kommer rett over måleinstrumentet. Selv om det til en viss grad går an å korrigere for dette vil det være en kilde til unøyaktighet. For å ta hensyn til dette er det viktig at det legges vekt på kalibrering av detektoren.

Til sist vil vi nevne at det er fordelaktig å kunne måle så høyt opp i konstruksjonen som mulig, dvs. på selve skinnene. Skal impulslast måles lengre ned i konstruksjonen, f.eks. på svillene eller nede i pukklaget, kan de overliggende sporkomponentene dempe påkjenningene. En slik endring i påkjenninger kan tenkes skje på to måter, enten ved at maksimalt utslag blir mindre, eller at visse, særlig høyfrekvente, bidrag blir filtrert bort.

## 4 HJULSLAGSDETEKTORER

### 4.1 Ulike systemer

Vi skal i det følgende omtale de hjulslagsdetektorene som vi har fått kjennskap til gjennom litteraturen og de kontakter vi har tatt. De ulike systemene oppsummeres som følger:

- Salient Systems, Inc., USA, sin WILD detektor. Strekkklappbasert
- Caltronic, Danmark. Akselerometerbasert
- Frontec, Sverige. Frontrack detektor. Trykkceller mellom skinner og sviller. Noe utvikling gjenstår
- Avantec as, Norge. Forhandler et system med komponenter fra Kistler og Dewetron. Akselerometerbasert

### 4.2 Salient Systems sin WILD detektor

Som nevnt i avsnitt 3.1 ble systemet utviklet rundt 1980 av The Batelle Columbus Laboratories og senere overtatt av det nystartede selskapet Salient Systems, Inc.

Detektoren består av følgende komponenter:

- 80 givere (strekkklapper) montert på skinnene, jf. /21/.
- Site Master
- Tilslutningskretskort
- Giver
- Kabling
- Vern

Utdata for en WILD-detektor er:

- Toghastighet
- Antall aksler og vogner (funnet med hjelp av en database av akselavstander for de ulike vogn- og loktyper)
- Estimat på total togvekt
- Hvilket hjul og den tilhørende vogn med typebetegnelse som har for store dynamiske laster
- Verdien på midlere hjullast og dynamisk tillegg

Disse utdataene blir overført via modem og telefonlinjer fra dataanlegget i målebua til den som skal ta hånd om dataene.

Prisen er oppgitt å være ca. kr 1 500 000 eks. mva. ferdig installert. Prisen er eksklusiv hus eller rom for å plassere utstyret og reise, kost og losji for mannskapet. Sannsynlig sluttpris nærmer seg vel derfor fort 2 mill. kr.

Det selskap som kanskje har mest erfaring med hjulslagsdetektoren WILD er Canadian National (CN). Ifølge /3/ ble 11 slike detektorer installert i perioden 1992 til 1995 hos CN. WILD-detektoren er også installert i Storbritannia /15/ og ved Kanaltunnelen /21/.



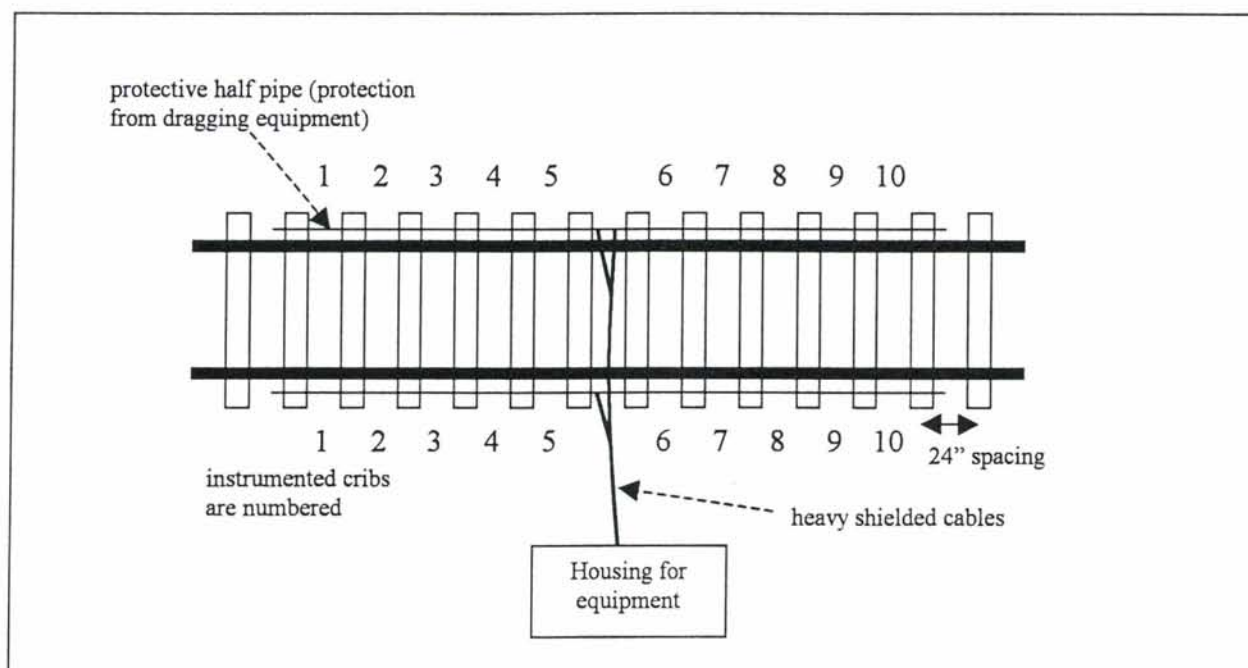
En slik WILD-detektor har også vært i drift i Sverige med et målepunkt mellom Luleå og Notvikén siden 1992, jf. /16/. Erfaringene herfra synes å være meget gode. Noen hjulskader som er registrert med detektoren er f.eks ikke oppdaget manuelt. En har imidlertid hatt noen problemer i Europa med at returstrømmer kan påvirke resultatene fra WILD-detektoren. I en undersøkning i perioden 30/11-93 til 25/4-94 hadde man følgende hjulfeilstatistikk (totalt ca. 6500 tog) /16/:

- 15 % av alle tog hadde minst ett hjul med dynamiske laster over et fastsatt alarmnivå
- Dette utgjør 0,18 % av alle hjul (totalt antall passerte hjul var ca. 1,4 millioner)
- Manuell besikting greide kun å finne skader ved 70 % av hjulene som ble detektert

For å undersøke dette siste punktet nærmere ble 13 detekterte hjul tatt ut for en grundigere undersøkelse. På disse hjulene ble det foretatt okulærbesikting og profilmåling ved hjelp av et spesialinstrument fra Salient Systems. Mens okulærbesiktingen ikke greide å finne hjulslag for alle hjul, viste profilmålingene at det var enten hjulslag eller urunde hjul også der okulærbesiktingen kom til kort. Særlig der hjulslagene var kombinert med knusing/sprekker på løpebanen var hjulslagene vanskelig å oppdage ved okulærbesikting. Når det gjelder urunde hjul kan det enten være at hjulet er ovalt, eller at hjulet er rundt men ikke roterer eksakt om hjulaksen. Siste tilfelle oppstår ved dreining når senterspissen ikke er sentrert til akselens rotasjonsakse.

Konklusjonen i den svenske undersøkelsen er at Salient hjulslagsdetektor faktisk oppdager hjul som skal tas ut av trafikk i henhold til det svenske reglementet, og at systemet oppdager flere defekte hjul enn det man gjør ved mer manuelle metoder.

Figur 3 viser en prinsippskisse av en WILD-detektor installert i sporet.



FIGUR 3 Prinsippskisse av en WILD-detektor installert i sporet /4/

### 4.3 Caltronic

Dette danske systemet ble utviklet i siste halvdel av 1980-tallet, og den første detektoren ble installert i nærtrafikknettet til DSB ved København i 1987. Systemet baserer seg på akselerometre. Firmaet Caltronic, som stod for utvikling og salg av dette systemet de første årene, er nå gått inn i The Ødegaard & Danneskiold-Samsøe Group som er et københavnbasert selskap. Etterhvert har detektoren blitt installert i Finland (Kouvola), Tsjekkoslovakia, Sverige (Hallsberg), Iran, USA, Spania og Hong Kong.

Detektoren, som har det offisielle navnet Caltronic Wheel Monitoring System, Version 2.0, består av følgende komponenter (standardversjonen):

- 14 (2\*7) akselerometre og 6 hjulsensorer
- En PC av anerkjent merke med modem og skriver plassert der brukeren vil ta ut opplysninger
- Caltronic programpakke med brukergrensesnitt
- Kabinett ved sporet som huser elektronisk utstyr inkludert modemlinje
- Standard teknisk beskrivelse med brukermanual og servicemanual

Utdata fra standardversjonen er:

- Maksimalakselerasjonen for hvert hjul
- Tidspunkt for når toget har passert
- Hastigheten til toget
- Akseltelling fra front og fra bakende av toget
- Automatisk akustisk alarm og utskrift
- Tognummer (forutsatt I/O kommunikasjon)
- 'Train Passage Report' blir lagret

Prisen for standardversjonen er oppgitt å være DEM 200 000, altså ca. kr 800 000 inkludert installasjon. I tillegg kommer kost og losji for Caltronics folk og eventuelle avgifter ved innførsel til Norge. Dessuten er det forutsatt at sporeier stiller med strøm- og telefonforbindelse samt tog til uttesting og kalibrering av systemet. Det er derfor rimelig å anta en sluttsum rundt 1 mill. kroner. Systemet har fem måneders leveringstid.

Ut over de kravene til installasjonssted som står i kapittel 5 oppgis det at hastighetene til de forskjellige togslagene bør være mest mulig lik og høyere enn 30 km/h.

Det er også mulig å få ekstrautstyr som automatisk vognidentifikasjon (ca. kr 120 000), programvare for hjulvedlikehold (ca. kr 6000) og utendørssett for oppvarming, kjøling og solbeskyttelse (ca. kr 30 000).

I Sverige har en erfaringer med at tog med hjulskade har passert en slik detektor uten at feil er detektert. Sommeren -96 ble en slik hjulskade registrert manuelt uten at den var registrert i detektoren.

Figur 4 viser et eksempel på en Caltronic-detektor.



FIGUR 4 Caltronic-detektor installert i sporet /14/

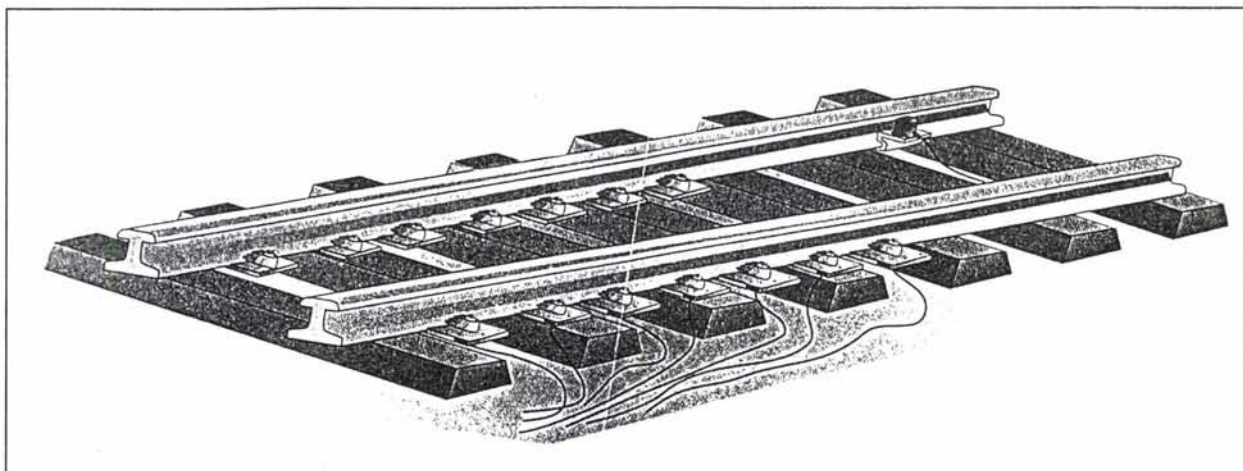
#### 4.4 Frontec sin Frontrack detektor

I Sverige har et firma ved navn Frontec utviklet en prototyp som ved hjelp av trykceller måler krefter mellom skinne og sviller, jf. /19/. Den består av to trykceller per sville, én for hver av festene, og i den foreliggende versjonen blir fire sviller instrumentert. Trykcellene overfører via væske kraften til et målesystem. Datafangsten og bearbeidingen skjer ved hjelp av et datasystem som er bygd opp av standardkomponenter. Systemet har i prinsippet de samme utdata som WILD detektoren.

Ett målepunkt med åtte lastceller fordelt på fire sviller inklusive presentasjonsenhet ble oppgitt å koste et sted mellom 1-2 millioner kroner.

Det understrekes at dette svenske systemet ennå ikke er fullt utprøvd. Tester på Malmbanan viser at utstyret var i stand til å oppdage 73 % av alle hjulfeil som gir dynamiske lastbidrag. Etter disse testene er utstyret imidlertid blitt forbedret, bl.a. med dobbelt så høy samplingsfrekvens.

En prinsippsskisse av Frontrack detektoren er vist i figur 5.



FIGUR 5 Prinsippskisse av Frontrack detektor /19/

#### 4.5 Kistler og Dewetron

Dette systemet blir forhandlet av Avantec as, Oslo. Systemet baserer seg på akselerometre fra Kistler og datainnsamlingsutstyr fra Dewetron. Etter opplysning fra Avantec as, blir dette systemet brukt av Sveitsiske Forbundsbaner (SBB). Ifølge /20/ har SBB tre hjulslagsdetektorer i drift per i dag. Om alle disse baserer seg på Kistler/Dewetron vites ikke, vi har ikke lyktes i å få tak i en kontaktperson i SBB. Vi vet dermed heller ikke noe mer om utdata fra dette systemet og hvilke driftserfaringer man har gjort seg.

Det tilbudet vi har fått fra Avantec as er på ca. kr 170 000 ekskl. mva. for komponenter. Det er da regnet med 4 akselerometre på hver skinne med tilhørende kabling, forsterkere og måleenhet. Installering og evt. programvaretilpasning kommer i tillegg, og dette arbeidet ble av Avantec as vurdert til å være av forholdsvis moderat omfang. Kommunikasjonsutstyr med modem er heller ikke inkludert i tilbudet fra Avantec. En meget grov vurdering er at prisen ferdig installert blir et sted mellom 300 000 og 400 000 kroner. Leveringstid er etter avtale.

Selv om Avantec as ikke selv har hatt befatning med hjulslagsdeteksjon tidligere må man gå ut fra at de gjennom Kistler og Dewetron har tilgang til den kunnskapen som er nødvendig for å få til hensiktsmessige løsninger.

#### 4.6 Bygging av et eget system

Foruten disse mer eller mindre skreddersydde systemene har vi også vurdert muligheten av å kunne bygge et deteksjonssystem helt fra grunnen av ved hjelp av komponenter som er kommersielt tilgjengelige.

Vi har vært i kontakt med noen firma som driver med akselerasjonsmålinger ved hjelp av akselerometre. Disse firmaene driver i hovedsak med vibrasjonsmålinger på kulelager og roterende utstyr for øvrig. Velger man å gå videre med dette må man påregne noe utviklingsarbeid, og dermed ekstra kostnader, for å få til en fornuftig instrumentering og datainnsamling. Tabell 3 gir en oversikt over disse firmaene og de priser på komponenter som er oppgitt.

Tabellen er satt opp ut fra de behov for utstyr disse firmaene umiddelbart så for seg, og det er mulig at ikke alle forhold er vurdert like godt. Ingen av firmaene har tidligere vært borti instrumentering av jernbanespor og hadde heller ikke noen umiddelbare kontakter som hadde erfaring i så måte. Det anbefales derfor å lese tabellen med visse forbehold.

TABELL 3 Firma med pristilbud på utstyr for akselerometermålinger. (Adresser og kontaktpersoner finnes i Vedlegg 2)

Firma	Utstyr og pris
Bently Nevada, Bergen	'Velomito' transducere (akselerometre), 4,5-5000 Hz, ca. kr 3500 pr stk. Kabel, per transducer, ca. kr 1000 ADRE for Windows (styringsenhet med programvare), ca. kr 140 000
SPM Støtpulsmåtare, Gjerdrum	Transducer, 32 kHz, ca. kr 1700 pr. stk. Omformer, to målepunkt (transducere), ca. 6000 Først og fremst for måling på hjul og kulelagre
Vibro-Meter Skandinavia AS, Tønsberg	CE680 M201 akselerometer, 0,5-6000 Hz, kr 3360 pr stk Kabel, pr. stk., kr 1820 Monitor, VMS 820, kr 11 478

Vi har dessuten vært i kontakt med SINTEF Elektronikk og kybernetikk for å forhøre oss om mulige måter å instrumenter sporet på. Løsninger som ble foreslått er:

- Trykkfølsomme kabler (piezokabler og fiberoptiske sensorbånd). Kablene legges i et fundament under skinnene. Denne løsningen er avhengig av et fundament som muligens kan gi visse justeringsmessige vanskeligheter for sporet. Dette er kanskje den metoden som er best egnet til å finne statiske vognvekter, jf. Weigh-in-motion systemer. Med tanke på at det er behov for et spesialfundament (en form for langsville eller betongplate) under skinnene er det mulig at et slikt system ikke vil gi samme bilde av impulslastene som resten av sporet. Legger man myke gummiremser under skinnene kan denne effekten til en viss grad oppveies. Metoden med piezokabler brukes i dag i vegsammenheng i lastfelter og for hastighetsmålinger for fotobokser. Teknologien med piezokabler er derfor lett tilgjengelig, og den er relativt billig. Når det gjelder fiberoptiske sensorbånd fines det færre standardkomponenter, men den vil være omtrent ufølsom for elektromagnetisk støy.
- Strekkklapper/akselerometre. Dette er en kjent og mye brukt teknologi med flere typer standardkomponenter. Komponentene er billige, men det må regnes med en god del ekstra kostnader til kalibrering og programvaretilpasning. Strekkklapper finnes i utførelser som kan sveises direkte til skinnene. Ellers er det vanlig å feste både strekkklapper og akselerometre med epoksy. Denne løsningen trenger ingen nye sporkomponenter.

SINTEF Elektronikk og kybernetikk har laget et pristilbud på et system med trykkfølsomme kabler i et eget fundament. Årsaken til at denne løsningen ble valgt er at man føler at denne løsningen er den som sikrest kan konkurrere med eksisterende systemer når det gjelder pris sammenholdt med den kompetansen som er tilgjengelig ved SINTEF Elektronikk og kybernetikk. Løsningen har den fordelen at man måler kontinuerlig over ei strekning på ca. 3,5-4 meter (én hjulomkrets) og på et bortimot homogent spor. Man eliminerer dermed den kompliserende faktoren som svilleavstand og giverplassering representerer. Dette fører i sin tur til forenklet signalbehandling og kalibrering.

Det vil bli forsøkt benyttet både en fiberoptisk sensor og en piezoelektrisk kabel. Sistnevnte er allerede i bruk på det norske vegnettet, mens fiberoptiske sensorer er mer på prototypstadiet. Fiberoptiske sensorer har imidlertid potensiale for å kunne gi en sannere måling av vekt, være mindre avhengig av togets hastighet og på sikt også kunne plasseres lengre unna styringselektronikken.

Fordi det trengs en del uttesting av sensorenes egnethet er det foreslått i en første fase å prøve ut piezokabler og fiberoptiske sensorbånd i parallell. Kablene legges mellom en gummiforing og ned i et betongfundament. Nødvendig tykkelse på gummiforingen må man finne fram til ved litt eksperimentering. Den største usikkerheten knytter seg til å finne en måte å feste skinnene til fundamentet som sikrer en jevn kraftoverføring langs målestrekningen på 3,5-4 meter. Muligens finnes det elementer for planoverganger på markedet som kan benyttes, eventuelt må det støpes et eget fundament.

Kostnader for en første fase er satt til 690 000 kroner. Dette inkluderer komponenter og arbeid med programvaretilpasning og noe uttesting. Jernbaneverket må i tillegg dekke kostnader til alt sporarbeid inkludert tilvirkning av fundamentet sensorkablene skal legges i.

I en senere fase foretar man en mer permanent installering basert på erfaringer fra den første fasen. En endelig installasjon vil kunne bestå i å utvikle et mer miljøbestandig sensorelement, optoelektronikk og forbedring av programvare etter Jernbaneverkets ønsker. Denne fasen er løselig estimert til kr 400 000. Innhold og kostnader for denne fasen vil være gjenstand for nærmere forhandlinger på bakgrunn av erfaringene fra den første fasen.

Foruten SINTEF Elektronikk og kybernetikk har også SINTEF Materialteknologi, SINTEF Bygg og miljøteknikk (avd. for Konstruksjonsteknikk og avd. for Sement og betong) og MARINTEK erfaring med tøyningsmålinger.

#### **4.7 Kort vurdering av systemene**

Når man skal vurdere hvilket system man skal basere seg på, må man ha gjort seg opp ei mening om hvilke utdata som er ønskelige. I tillegg kommer selvsagt økonomiske aspekter som ikke er vurdert i denne rapporten ut over løselige kostnadsoverslag for installering.

De systemene som gir de mest omfattende og pålitelige dataene er etter vår mening de som måler reaksjoner direkte på skinnene. Av disse ser det ut som systemer som måler tøyninger, akselerasjoner og støttepunktskrefter er de som er tilgjengelige på markedet, nemlig WILD, Caltronic, Kistler og Frontrack. I tillegg vil en egenutviklet løsning med trykkfølsomme kabler kunne realiseres innenfor relativt begrensede kostnadsrammer.

Rent måleteknisk er det også mye som taler for at systemer som baserer seg på tøynings- eller trykkraftmålinger gir de beste kvantitative mål på sporreaksjonene.

Når det gjelder akselerometre montert på skinnene synes dette å være den 'nest beste' løsningen hva gjelder å oppnå pålitelige kvantitative data. Det har vist seg vanskelig å kalibrere denne type detektorer, og særlig det å få kalibreringen til å holde seg over ei viss tid, jf. /4/. Likevel vil et slikt system kunne identifisere hjulslag og materialutfall, og den relative størrelsen på sporpåkjenningene for hjulene i et togsett. Hvor store kreftene er i sporet i absolutte verdier (kN) er vanskeligere å kunne fastslå med noen grad av nøyaktighet.

Akustiske sensorer som lytter etter slaglyder er en mer usikker metode og er etter det vi kjenner til ikke tilgjengelig på markedet i dag. Det har vært forsket en del rundt denne metoden, og det kan tenkes at den en gang i framtiden kan bli tilgjengelig.

Banverket skal sommeren -97 gjøre en sammenligning av WILD- og Caltronic-detektoren ved å installere dem like ved hverandre.

#### 4.8 Konklusjon og anbefalinger - deteksjonssystem

Av de fire ferdige systemene som vi har sett på er det Salient Systems sin WILD-detektor som det er mest erfaring med fra regulær drift. Mye tyder derfor på at dette systemet er det som i dag er det beste systemet for å detektere hjulslag og materialutfall. Vi gjør likevel et lite forbehold når det gjelder mulig påvirkning fra andre strømmer som går i skinnene.

Som de 'nest beste' systemene vil vi sette Caltronic og Frontrack. Det er vunnet relativt mye erfaring med Caltronic og systemet har gjennomgått en viss utvikling. Det har vært stilt spørsmål ved om systemet er i stand til å detektere alle hjulslag og materialutfall, dessuten om systemet holder kalibreringen godt nok. Når det gjelder Frontrack så er systemet ennå ikke fullt utprøvd og kommersielt tilgjengelig, men selve måleprinsippet med lastceller mellom skinne og sville virker etter vår mening mer egnet for kvantitative målinger enn akselerometre som for Caltronic. Med mer uttesting og erfaring med Frontrack kan det hende dette systemet vil være å foretrekke framfor Caltronic.

Vi setter Kistler/Dewetron på tredje plass først og fremst fordi det er begrenset med erfaring fra dette systemet. Kistler og Dewetron er likevel anerkjente produsenter av hhv. akselerometre og datainnsamlingsutstyr.

Å bygge et eget system mer eller mindre fra grunnen av vil alltid være beheftet med noe mer usikkerhet enn mer ferdige systemer. Skal et slikt norskbygget system kunne konkurrere i pris bør man derfor satse på teknologi som forenkler kalibrering og datainnsamling i forhold til de eksisterende systemene. Av de mulighetene man har til å bygge et eget system vil vi derfor anbefale løsningen til SINTEF Elektronikk og Kybernetikk med trykkfølsomme kabler under skinnene i et eget fundament.

Årsaken til at vi ikke anbefaler å gå videre med egenutviklede systemer basert på strekkklapper eller akselerometre er at slike systemer vil komplisere datainnsamlingen (få til et fornuftig helhetsbilde når man har flere transducere) og kalibreringen. Disse problemene er selvsagt løsbare (jf. de ferdige systemene), men er vurdert til å kreve atskillig mer arbeid enn et system basert på trykkfølsomme kabler. Kostnadmessig og tidsmessig tror vi derfor at et system med trykkfølsomme kabler er å foretrekke dersom det blir aktuelt å bygge et eget system.

## 5 KRAV TIL INSTALLASJONSSTED

Det er viktig at detektoren installeres slik at flest mulig tog (aksler) passerer den. Ved installasjon i Region Nord bør detektoren installeres så nær Trondheim som mulig. Ved vurdering av om en skal installere en detektor sør eller nord for Trondheim, må en ta hensyn til forhold som:

- Antall tog totalt
- Antall persontog/godstog
- Aksellastfordeling på tog

Det må også stilles en del generelle krav til installasjonsstedet: Hjulslagsdetektorer av WILD-typen setter følgende krav til sporet der den skal installeres ifølge Samuels og Palesano /17/:

- Rettlinjet spor av en gitt lengde (ca 400 meter)
- Majoriteten av tog må ha konstant hastighet uten akselerasjon eller retardasjon
- Hastigheten til de forskjellige togene bør være mest mulig lik (og høyere enn en minste-hastighet; f.eks 30 km/h for Caltronic-detektoren).
- Nærhet til hjul-/vognverksted
- Strøm- og telefonforbindelse
- Plass til ei målebu/måleboks
- Begge skinner må kunne instrumenteres fordi hjulfeilene som oftest ikke opptrer likt på begge hjul på samme aksel

Tilsvarende krav vil være gyldige også for andre typer detektorer.

Av andre forhold som også vil ha en viss betydning er:

- Sporet må på målestrekningen være godt justert og ha minimalt med skinnefeil. I beste fall vil man da kunne unngå ny kalibrering etter sporvedlikehold.
- Sporet bør være helsveist over målestrekningen for å unngå slag i skinneskjøter.
- Jevn og varig svilleavstand på det aktuelle målestedet.
- Mest mulig lik og homogen underbygning



## 6 BEHOV FOR VIDERE ARBEID OG UNDERSØKELSER

Ut fra det vi har funnet i dette prosjektet tror vi at det kan være til nytte for Jernbaneverket å gå videre på følgende punkter:

- Kartlegge mer nøyaktig hvilke behov Jernbaneverket, evt. i samarbeid med NSB BA, har når det gjelder hjulslagsdeteksjon. Aktuelle problemstillinger kan være hvor stor grad av nøyaktighet som kreves på impulslastmålingene og de statiske målingene, hvor spesifikk man skal være på hjulidentifikasjonen og evt. hvilke interesser NSB BA kan tenkes å ha i forbindelse med hjulslagsdeteksjon.
- Grundigere teknisk analyse av de enkelte deteksjonssystemene der man går gjennom de tekniske spesifikasjonene. For to av systemene (WILD- og Caltronic-detektorer) kan erfaringer fra Sverige være nyttig.
- Vurdere videre muligheter for å bygge et eget system uavhengig av de systemene som finnes på markedet.

## 7 LITTERATURHENVISNINGER

Litteraturen i denne lista er tilgjengelig ved SINTEF Bygg og miljøteknikk, avd. Vegteknikk (bortsett fra /18/).

- /1/ ORE: Katalog der Schäden und Fehler an Radreifen und Rädern der Wagen, *Unterhaltung der Wagenradsätze*, Frage B 79, Rp 10/d, ORE, Utrecht, Nederland, oktober 1970.
- /2/ NSB: *Trykk 405.1: Felles forskrifter for stasjons-, tog- og linjetjenester*, Oslo 1982
- /3/ Clegg, E. og Blevins, W. G.: Wheel Impact Load Detector Experience on CN, *International Heavy-Haul Association Conference on Feight Car Trucks/Bogies Montreal*, Quebec, Canada, 9.-12. juni, 1996.
- /4/ Zeta-Tech Associates: *Wheel Impact Detection Systems the North American Experience*, Cherry Hill, New Jersey, USA, 1997, 28 sider.
- /5/ NSB: *Trykk 741.1.2: VedlikeholdsForskrifter for rullende materiell*, NSB, Oslo, juli 1995.
- /6/ ORE: Begriffsbestimmung der Radverformungen. Ursache der Radverformungen. Auswirkungen der verformten Räder. Selbsttätige Ortung der verformten Räder. *Überarbeitung eines akustischen Gerätes zur Entdeckung von Flachstellen bestimmten Ausmasses*, Frage B 110 Rp 1/D, Utrecht, Nederland, oktober 1968.
- /7/ ORE: Recommendations for the construction of a system for the detection of wheelflats, *Development of a device for the detection of wheel-flats of a certain size*, Question A 110, Rp 2/E, Utrecht, Nederland, oktober 1971.
- /8/ ORE: Testing of the system recommended by the A 110 Specialists Committee for the detection of wheel-flats, *Development of a device for the detection of wheel-flats of a certain size*, Question A 110, Rp 3/E, Utrecht, Nederland, oktober 1974.
- /9/ ORE: Detailed description of the JUL 400, *Development of a device for the detection of wheel-flats of a certain size*, Question A 110, Rp 4/E, Utrecht, Nederland, oktober 1975.
- /10/ ORE: Vergleichende Untersuchung der Betriebseinsätze der Geräte Kolumbus und JUL 400, *Entwicklung eines Gerätes zur Entdeckung von Flachstellen bestimmten Ausmasses*, Frage A 110, Rp 5/D, Utrecht, Nederland, april 1977.
- /11/ TRB: Research Pays Off. Dynamic Wheel Load Detector Extends Life of Concrete Railroad Ties, *TR News 01/1987*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, USA, 1987, s. 8-9.
- /12/ NSB Persontrafikk Togdrift: *S-sirkulære 59/1996: Hjulslag/Materialutfall - Lytteposter*, Oslo 1996

- /13/ Ward, M.: Development of a semi automatic/automatic rolling stock wheel ultrasonic testing facility, *Mechanical Engineering Transactions - Institution of Engineers*, vol. ME15, nr. 2, 1990, Australia, s. 134-139.
- /14/ Ødegaard & Danneskiold-Samsøe Group: Pristilbud og diverse brosjyrer for Caltronic hjulslagsdetektor, 1997.
- /15/ Partington, W.: Wheel impact load monitoring, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport*, vol. 100, nr. 4, 1993, s. 243-245.
- /16/ Banverket ved Lennart Andersson: *Mätrapport: Prov av hjulskadedetektoren i Notviken*, rapport nr. TE-95/01, Tekniska Avdelningen Elektro & Mätteknik, Banverket, Sverige, 1995.
- /17/ Samuels, J. M. og Palesano, J.J.: Using mainline wheel impact detectors to increase the productivity of car inspection functions, *Mechanical Engineering Transactions - Institution of Engineers*, vol. ME13, nr. 3, des. 1988, Australia, s. 165-168.
- /18/ Progressive Railroading, NN: Inspect Wheels "in Motion": At its Argentine Yard, Santa Fe Set up and Tested Automatic System to Check for Flaws in Wheels, *Progressive Railroading*, nr. 1, 1974, Murphy-Richter Publishing Company, s. 50-52.
- /19/ Frontec: Frontrack WDD/WWD system, brosjyre fra Frontec
- /20/ SBB News: Elektronischer Blick unter die Züge, Pressemitteilung vom 24.02.97, SBB News Februar 1997, Internettutgave, 1997.
- /21/ Åkesson, H.: Feil hjul på sporene. Moderne detektorer reduserer toghavarier, *Norden på spor*, kundemagasinet fra Adtranz, nr. 2/97, s. 14-15.

*Bilag 1*

**Liste over øvrig aktuell litteratur**

**Litteratur vi har kopi av (\*\*= høyaktuelt, \*=noe mindre relevant)**

Ahlbeck, D. R. og Hadden, J. A.: Measurement and Prediction of Impact Loads from Worn Railroad Wheel and Rail Surface Profiles, *ASME Journal of Engineering for Industry*, vol. 107, s. 197-295, mai 1985. \*\*

Jung, P.: Danish System Detects Wheel Flats, *Railway Technology International*, s. 230-232, 1989. \*\*

Tuten, J. M. og Harrison, D. H.: Design, Validation and Application of a Monitoring Device for Measuring Dynamic Wheel/Rail Loads, ASME Paper No. 84-WA/RT-10, desember 1984. \*\*

Wada, K. og Sihoya, A.: A Device for the Detection of Wheel Flats, *Railway Technical Research Inst., Quarterly Reports, Japan*, 3/1978, s. 139ff.

Choi, K. og Chang, F.-K.: Identification of impact force and location using distributed sensors, *AIAA Journal*, vol. 34, nr. 1, 1996, s. 136-142. (Ikke jernbanemålinger) \*

Edel, K.- O. ; Hintze, H. og Korn, M.: Analysis of a Solid Railway Wheel Breakage, *Rail International*, 1992/01. 23(1) pp28-40. \*

Fermer, M. og Nielsen, J. C. O.: Vertical interaction between train and track with soft and stiff railpads - full-scale experiments and theory, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: *Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 209, nr. 1, 1995, s. 39-47. \*

Fukuda, H; Sasama, H. og Tanabe, S.: Studies for the use of acoustic diagnosis in the railways, *Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute, Japan)*, vol. 27, nr. 4, s. 131-135, 1986. \*

Kumagai, N.; Hasegawa, I. og Kawaguchi, K.: A Study on Mechanisms of Wheel Flat Occurrence and Wheel Skid, *Railway Technical Research Inst, Quarterly Reports*, 1993/05, 34(2) pp103-110. \*

Kumagai, N.; Ishikawa, H.; Haga, K.; Kigawa, T. og Nagase, K.: Factors of wheel flats occurrence and preventive measures, *Wear*, vol. 144, nr. 1-2, 1991. \*

ORE: Beitrag zur Erforschung der Riffeln auf den Radlaufflächen von Schienenfahrzeugen, *Lärm im Eisenbahnwesen*, Frage C 137, Rp 15/D, Utrecht, september 1980. \*

Nagy, K.; Dousis, D. A. og Finch, R. D.: Detection of Flaws in Railroad Wheels Using Acoustic Signatures, 'ASME Winter Annual Meeting Dec. 1977', Report No. 77-WA/RT-1, 7 sider. \*

Newton, S.G. og Clark, R. A.: An Investigation into the Dynamic effects on the Track of Wheel Flats on Railway Vehicles, *Journal of Mechanical Engineering Science*, nr. 4, 1979. \*

Railway Systems Controls, NN: Cracked-wheel Detector "Could Save Millions", *Railway System Controls*, no. 5, 1975, Simmons-Boardman Publishing Corporation, USA, s. 12-14. \*

Tajaddini, A.: Testing the effects of wheel impact loads on bridges, *Railway Track and Structures*, vol. 92, nr. 3, 1996, s. 17-20. \*

### Litteratur vi har forsøkt å skaffe

AAR: Recommended Functional/Operating Guidelines for a Flat Wheel Detector, 35th Annual Technical Conference, Louisville, Kentucky, Association of American Railroads, Communication and Signal Division, USA, oktober 1995, s. 358-360.

AAR (Kalay, S. F.): Wheel Impact Load Detector Tests and Development of Wheel-Flat Specification, *Report R-829*, USA, mai 1993.

AAR: Wheel Impact Acceleration Detector System Performance Tests, *Report R-852*, USA, oktober 1993.

Acharya, D.; Kalay, S. og Guins, T.: *Preliminary Cost Assessment of Wheel Removal Based on Wheel Impact Load Detectors*, AAR Internal Paper, meeting of the Subcommittee on Mechanical and Track Standards, 26. oktober, 1992.

Ahlbeck, D. R.; Johnson, M. R.; Harrison, H. D. og Tuten, J. M.: *Measurements of Wheel/Rail Loads on Class 5 Track (Final rept. Jan-Dec 78)*, Battelle Columbus Labs., Sponsored by Federal Railroad Administration, report no. FRA/ORD-80/19, NTIS PB80-196868, februar 1980, 294 sider.

Ahlbeck, D. R.; Tuten, J. M.; Jeffrey, A. og Harrison, H. D.: *Development of Safety Criteria for Evaluating Concrete Tie Track in the Northeast Corridor: Volume 1. Remedial Projects Assessment*, US Fed Railroad Adm Off Res Dev Rep FRA ORD v 1-2 n 86-08, 1986.

Banan, M. R.; Ghaboussi, J. og Florom, R.L.: Neural Networks in Railway Engineering: Acoustic Wayside Detection, *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks* (konferanse), vol. 4, s. 1147-53, ASME, New York, 1994.

Banshotani, T.; Nakao, H. og Oda, H.: Development of the automatic wheel flats detection system, *4th International conference on computer aided design, manufacture and operation in the railway and other advanced mass transit systems, Madrid, Spania, 1994*, *Computers in Railway 1994*, vol 4/V1, s. 293-300.

Bartle, P. og Chitty, G.: Wheel Defect Detection - Queensland Railways Trials, *BHP Melbourne Research Laboratories Report No. MRL/PC 164/90/002*, oktober 1990, Melbourne,

Dousis, D. A.: *Acoustic signature processing for railroad wheel flat spot detection*, M.Sc. thesis, Cullen College of Engineering, University of Houston, USA, 1975, 86 sider.

Duosis, D. A. og Finch, R. D.: *A Yard Test of Acoustic Signature Inspection of Railroad Wheels*, paper til 'The Winter Annual Meeting ASME Nov. 1980', rapport nr. 80-WA/RT-2, 6 sider.

Frarey, J. L.; Smith, R. L. og Krauter, A. I.: Wayside Derailment Inspection Requirements Study for Railroad Vehicle Equipment, FRA/ORD-77/18, NTIS (PB-271244/AS DOTL NTIS), USA, 1977, 150 sider.

Haran, S.; Rocha, S. M. og Finch, R. D.: *Evaluation of a Prototype Acoustic Signature Inspection System for Railroad Wheels*, National Technical Information Service (PB85-225183/WTS), 1985, 162(?) sider.

Harrison, D. H. og Ahlbeck, D. R.: Development and Evaluation of Wayside Wheel/Rail Measurement Techniques, ASME Rail Transportation Division, RTD Vol. 3, San Fransisco, USA, desember 1989.

Igwemezie, J.O.; Kennedy, S.L. og Tiessinga, J.: Track structure research II, task 1. CIGGT report no. 90-11, Canadian Inst. of Guided Ground Transport, Kingston, Ontario, Canada, 1991, 123 sider.

Kalay, S. F. og Tajaddini, A.: Condemning Wheels Due to Impact Loads: Preliminary Survey - Six Railroads' Experience, *AAR Report No. R-754*, februar 1990.

Kalay, S. F.; Tajaddini, A. og Stone, D. H.: Detecting wheel tread surface anomalies, *Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers 1992*, publisert i Rail Transportation - 1992 ASME, Rail Transportation Division, vol. 5, s. 165-174, 1992, New York, USA.

Kemeney, L. G.: The Computerised Monitoring of Railway Wheels in Motion, *Heavy Haul Railways Conference*, september 1978, Perth, Australia, Institution of Engineers, s. 1-10.

Leedham, R.; Barnbara, J. og Harrison, H.: Burlington Northern Railroad's Experience With Wayside Detectors, *Proceedings of the joint AREA and ASME Railroad Conference*, Florida, October 23-25, 1990.

Nagy, K. og Finch, R. D.: *Feasibility of Flaw Detection in Railroad Wheels Using Acoustic Signatures*, Dept. of Mechanical Engineering, Houston Univ., Sponsored by Federal Railroad Administration, report no. DOT-TSC-FRA-76-6, FRA/ORD-76/290, NTIS PB-263 248/7, USA, oktober 1976, 206 sider.

National Bureau of Standards: Overview of Current Efforts to Detect and Prevent Steel Wheel Failures, *22nd Meeting of Mech Failures Prev Group, report no. 436 Spec. Publ.*, California, USA, 1975, s. 261-288.

Port Authority Trans-Hudson Corporation, NN: *Reduction of wheel wear and wheel noise study: Phase 2, analysis and test, Task 5: Flat wheel monitoring system*, Port Authority Trans-Hudson Corporation (sponsored by U.S. Urban Mass Transportation Administration), New York, USA, 1981.

Raskin, S. H.: Rail Car Component Defect Detection Using Pitless Railway Scales (A Feasibility Study Plan), Federal Railroad Administration, Report No. FRA/ORD-79/50, 1980, 101 sider.

Scott, J. F.: *Evaluation of a Wheel Impact Load Detector at Stony Plain, Alberta*, Canadian National Technical Research Center, august 1992.

Slaba, J.: *Railway Wheel Defect Study*, Report Number CIGGT-PRO-067, Canadian Inst. of Guided Ground Transport, Kingston, Ontario, Canada, 1992, 192 sider. Tilgjengelig fra National Technical Information Service (MIC-93-04659/WTS).

Stone, D. H.; Kalay, S. F. og Tajaddini, A.: Statistical behaviour of wheel impact detectors to various wheel defects, *Tenth International Wheelset Congress*, Sydney, Australia, 1992, publisert av National Conference Publication - Institution of Engineers, nr. 92, pt 10, s. 9-13, Australia, 1992.

Tse, Y. H. og Steets, P. G.: *Wheel Impact Detection (Cost Savings and Safety Through "Management by Prevention")*, ASME, 1995.

Toronto Transit Commission, NN: *1975 technical reports: Track vibration isolation system for the Spadina Subway. Supervisory control system for the Spadina Subway. Development of subway car flat wheel monitoring system*, Toronto Transit Commission (TTC), Subway Construction Branch, Engineering Dept., Toronto, Canada, 1975, 33 sider.

#### **Øvrig litteratur, men kanskje ikke direkte relevante artikler:**

Ahlbeck, D. R.: *Evaluation of Railroad Wheel Tread Impact Load Damage Factors*, AAR Report No. R-851, oktober 1993.

Ahlbeck, D.R.: A study of dynamic impact load effects due to railroad wheel profile roughness, *10th IAVSD Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*, Praha, 1987.

Ahlbeck, D. R.: The Effects of Railroad Wheel Profile Roughness on Impact Loads and Train Resistance, *3rd International Heavy Haul Railway Conference*, Paper No. IB-12, Vancouver, Canada, oktober 1986.

Ahlbeck, D. R.: An Investigation of Impact Loads Due to Wheel Flats and Rail Joints, ASME Paper 80-WA/RT-1, desember 1980.

Ahlbeck, D. R. og Harrison, D. H.: The Effects of Wheel/Rail Impact Loading Due to Wheel Rail Runout Profiles, *9th International Wheelset Congress*, Montreal, Canada, september 1988.

Antulov, R. (1991), Vertical Wheel Loads on the Westrail Test Track. RoA Vehicle Track Studies: Study No. 2, Railways of Australia, Railways of Australia Technology Development & Application Report No. TS 403.1/23, March, Aus.

Antulov, R. (1992), Vertical Wheel Loads on the WESTRAIL Test Track (ROA Vehicle/Track Studies: Study No. 2), Railways of Australia, *ROA Report No. ROA TDAC 2/14/91*, Aus.

Bray, D.E. and Finch, R. D.: *Flaw Detection in Model Railway Wheels*, Houston University, Dept. of Mechanical Engineering, NTIS (PB-199956 DOTL NTIS), USA, 1971, 234(?) sider.

Cannon, D.F. og Sharpe, K.A.: (1981), Wheel Flats and Rail Fracture, *Proceedings of Seminar Organised by BR R&D and AAR 21-26 Sept. Nottingham*, Storbritannia, 1981, s. 127-131.



Clark, A. V.; Schramm, R. E.; Fukuoka, H. og Mitrovic, D. V.: Ultrasonic Characterization of Residual Stress and Flaws in Cast Steel Railroad Wheels, *Ultrasonics Symposium Proceedings 1987*, publisert av IEEE, New York, USA, 1987.

Dong, R. G. og Sankar, S.: Characteristics of impact loads due to wheel tread defects, Rail Transportation American Society of Mechanical Engineers, *Rail Transportation Division (Publication)*, RTD 8, 1994, New York, s. 23-30.

Dong, R.G.; Sankar, S. og Dukkipati, R.V.: A finite element model of the railway track and its application to the wheel flat problem, Mechanical Engineering Publishers Limited, Proc Instn Mech Engrs. Vol 208, Part F:Journal of Rail and Rapid Transit, pp.61-72. 9 May, London and Birmingham, USA, 1994.

Drish, W.: *Train Energy Model User's Manual Version 1.5*, AAR Report No. R-711, februar 1989.

Elkins, J. A.: Prediction of wheel/rail interaction: the state of the art, *Vehicle System Dynamics*, vol. 20, suppl., 1991, s. 1-27.

Frederick, C.O. (1978): The effect of wheel and rail irregularities on the track, Institution of Engineers, Australia & Australian Institute of Mining & Metallurgy. *Heavy Haul Railways Conference*, Session 204, Paper G.2. Sept. Barton, Australia, 1978.

Guins, T. S.; Acharya, D. S.; Kalay, S. F. og Tajaddini, A.: *Analysis of High Impact Wheel Loads, Proceedings of Vehicle Track System program Review*, Chicago, Illinois, USA, 1993.

Grassie, S.L.: Determination of Allowable Wheel Defects, Railways of Australia, draft report March (1990), Railways of Australia, Project 2/88, Australia, mars 1990. 2705

Harrison, D. H. og Ahlbeck, D. R.: Railroad Track Structure Performance Under Wheel Impact Loading, 66th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington D.C., januar 1987.

Harrison, D. H.; Bethune, A. E. og Ahlbeck, D. R.: Comparison of Measured and Predicted Impact loads on 100 Ton Coal Gondolas - Volume 1 Railways in Action, *Proceedings of the 4th International Heavy Haul Railway Conference*, s. 409-413, Brisbane, Australia, september 1989.

Kalay, S. F. og Tajaddini, A.: Transmission of Wheel Impact Loads Into the Vehicle and track Structures, RTD-Vol. 4, Rail Transportation, ASME, 1991, s. 41-53.

Martland, C. D. og Chiang, K. F.: *The Economics of High Impact Wheels: Wheel Replacement and Track Deterioration Costs*, Final Report to the AAR by the AAR Affiliated Research Laboratory, MIT, 7. mai, 1993.

McClelland, J.: The Economics of Increased Axle Load, AAR Report No. LA-002, august 1991.

Satoh, Y: Dynamic Effect of a Flat Wheel on Track Deformation, *Bulletin of Permanent Way Society of Japan*, nr. 7, july 1979.

Schramm, R. E.; Clark, A. V. Jr.; Schull, P. J. og Mitrakovic, D. V.: Flaw detection in railroad wheels using rayleigh-wave EMATS, *Review Of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation* (tidsskrift), vol. 7B, 1988.

Singh, S.: *Vehicle Track Resistance Research: A summary Document*, AAR Report No. R-800, januar 1992.

Stigsson, M.: Dynamisk respons i räl till följd av hjulplattor, rapportkode LUTVDG/(TVSM-5068)/1-88/(1996), Lund, Sverige, 1996, 80 sider.

Tajaddini, A. og Kalay S. F.: Vehicle/Track System Response Due to Condemnable Wheel Tread Defects, AAR Report R-810, april 1992.

*Bilag 2*

**Liste over kontakter (personer, firma etc.)**

Association of American Railroads (AAR), Washington DC, USA  
Att.: Michele Johnson, e-mail: Michele\_Johnson@aar.com

ADtranz, P.b. 83, 2011 Strømmen  
Att.: Per Trondsen, tlf. 63 80 43 27, faks 63 80 43 00. Har også hatt kontakt med  
ADtranz Sverige, Center of Expertice, ved Göran Brännström, tlf. +46 8 681 5064.  
Adtranz er Salient Systems sin representant når det gjelder WILD hjulslagsdetektor.

Avantec as, Rosenholmveien 20, 1252 Oslo  
Tlf. 22 61 10 90, faks 22 61 07 59  
Att.: Svend Salicath, tlf. 22 76 38 80 og Karl Olav Haram, tlf. 22 76 38 74  
Leverandør av utstyr for hjulslagsdeteksjon fra Kistler og Dewetron.

Banverket, Bolänge, Sverige  
Tlf. +46 243 450 00  
Att.: Åke Jahlenius

Bently Nevada, Bergen  
Tlf. 55 20 20 30  
Att.: Rune K. Baldersheim  
Har gitt prisoverslag på akselerometre, kabling og styringsenhet.

Conrail (jernbaneselskap), P.O. Box 41410, Philadelphia, PA 19101-1410, USA  
Att.: Joseph A. Smak, tlf. +1 215 209 4308, faks +1 215 209 4943

Esveld, Coenraad  
Delft University of Technology, Road and Railway Research Laboratory  
Tlf. +31 15 278 5066, faks +31 15 278 3443

Federal Railroad Administration (FRA), Washington DC, USA  
Att.: Magdy El-Sibaie, tlf. +1 202 632 3259, faks +1 202 632 3854  
Skaffet til veie en litteraturoversikt.

Frontec Pajala AB, Odonvägen 15, S-984 32 Pajala, Sverige  
Tlf. +46 978 112 10, faks +46 978 110 90  
Att.: Thore Kostenniemi  
Produsent av en hjulslagsdetektor kalt Frontrack. (Frontec er representert i Norge ved  
Max Sievert A/S, P.b. 9188 Grønland, 0134 Oslo, tlf. 22 17 30 85, faks 22 17 25 11)

Holta og Håland, Stavanger  
Tlf. 51 41 87 77  
Driver med vibrasjons- og kraftmålinger, men først og fremst for oljeindustrien.

Jernbaneverket, Biblioteket  
Tlf. 23 15 12 36, faks 23 15 31 75  
Har framskaffet en del av litteraturen.

Ontario Northland (jernbaneselskap), 555 Oak Street East, North Bay Ontario P1B 8L3  
Tlf. +1 705 472 4500, faks +1 705 476 9878  
Att.: John H. Huisjes

NSB BA Gods, Produksjon Materieil  
Tlf. 23 15 42 70, faks 23 15 48 47  
Att.: Øystein Repål, tlf. 23 15 22 50

NSB BA Trondheim, Verksted Marienborg  
Tlf. 72 57 24 00  
Att.: Hakvåg, tlf. 72 57 29 54, Bjarne Flåta

NSB BA Teknisk sektor Lodalen  
Faks 23 15 43 32  
Att.: Nils Petter Aspestrand, tlf. 23 15 43 68

Rießberger, Klaus  
Technische Universität Graz, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft  
Tlf. +43 316 873 6215, faks +43 316 816896

Salient Systems, Inc., 4330 Tuller Road, Columbus/Dublin, Ohio, USA  
Produsent av en hjulslagsdetektor kalt WILD. Representert i Skandinavia ved ADtranz.

Siemens A/S (i Norge)  
Faks 22 63 43 99  
Att.: Bråten, Erling Gjertsen  
Forespurt om hjulslagdetektorer.

SINTEF Elektronikk og Kybernetikk, O.S. Bragstad plass, Trondheim  
Tlf. 73 59 30 00, faks 73 59 43 99  
Att.: Kjetil Johannessen, tlf. 73 59 44 04

SPM Stötpulsmätare, 2022 Gjerdrum  
Tlf. 63 99 06 10, faks 63 99 10 20  
Har gitt prisoverslag på akselerometre og styringsenhet.

Vibro-Meter Skandinavia AS, P.b. 2194, 3103 Tønsberg  
Tlf. 33 32 48 00, faks 33 32 47 44  
Att.: Bent Holmen  
Har gitt prisoverslag på akselerometre, kabling og styringsenhet.

ZETA-TECH Associates, Inc., P.O. Box 8407, Cherry Hill, NJ 08002, USA  
Tlf. +1 609 779 7795, faks +1 609 779 7436  
Att.: Allan M. Zarembski, Donald R. Holfeld  
Har foretatt en studie for Banverket, Sverige, om amerikanske erfaringer med hjulslagsdetektorer.

Ødegaard & Danneskiold-Samsøe A/S, Kroghsgade 1, DK-2100 Copenhagen Ø, Danmark  
Tlf. +45 35 26 60 11, faks +45 35 43 60 11  
Att.: Ulrik Danneskiold-Samsøe.  
Produsent og installatør av systemet Caltronic.