

DB Systemtechnik

auswerten



berichten



Bericht

- Endeligt udkast -

Undersøgelse af leje- og dæmperskader på DSB's IC2- og IC4-togsæt

Dokument: 14-17462-DSB-140312-01 Version 1.10
Dato: 04.07.2014

Fagområde: I.TVI 11, Bremseteknik
I.TVI 21, Løbetøj
I.TVI 22, Hjul



Resultaterne er udelukkende baseret på de i rapporten beskrevne forhold. Denne rapport må ikke offentliggøres uden ordregivers skriftlige samtykke hertil. Offentliggørelse i uddrag kræver ligeledes samtykke fra den i rapporten anførte ordretager.

Indholdsfortegnelse

Side

1	Ordreoplysninger	5
2	Opgavebeskrivelse	5
2.1	Hypotesetræ	6
2.2	Belastning	6
2.2.1	Primærdæmpersystem	6
2.2.1.1	Dimensionering / belastning	6
2.2.1.2	Driftsmålinger	8
2.2.1.3	Anbefalinger/aktiviteter	8
2.2.2	Kræfter genereret af hjulskader	9
2.2.2.1	Sporets tilstand	9
2.2.2.2	Ikke tilladt slid	10
2.2.2.3	Bremsens indflydelse	10
2.2.2.3.1	Blokeringsbeskyttelse	10
	Belastbarhed af aksellejekasser	10
2.3	10	
2.3.1	Konstruktion/dimensionering	10
2.3.1.1	Konstruktion/pasningstolerancer	12
2.3.1.2	Materiale	13
2.3.1.2.1	Materiale egnet?	13
2.3.1.2.2	Materiale korrekt leveret?	13
	Løbfladeskader	13
2.4	13	
2.4.1	Driv- og løbehjulsæt	13
2.4.2	Bremseskiver	13
2.4.3	Hjulslid / løbfladeskader	13
2.4.3.1	Fakta	14
	Hjulmateriale	16
2.4.3.2		16
2.4.3.3	Gennemførte vedligeholdelsesaktiviteter	16
2.4.3.4	Gruppering af hændelser, årsager og aktiviteter	17
	Anbefaling - kortsigtede aktiviteter til gennemførelse af sikker drift	17
2.4.4	17	
2.4.5	Nødvendige undersøgelser med henblik på at reducere opståede skader på løbflader	18
3	Resultater	18
3.1	Sammenfatning	18
3.2	Anbefalinger	19
4	Underskrifter	20

Liste over forkortelser

HB		Hårdhed i henhold til Brinell
F	-	Kraft
F_{ges}	-	Samlet kraft
F_a	-	Accelerationskraft
FFT	-	Fast Fourier Transformation
k	-	Geometrifaktor
K_t		Kærvtal
S_h		Flangehøjde
σ_{max}	-	Maksimal spænding
σ_{mG}		Spænding med støbegrat
σ_{oG}		Spænding uden støbegrat
$\sigma_{zulässig}$	-	Tilladt spænding
V_{max}	-	Maksimal hastighed

Kilde-/litteraturliste

- /1/ DSB: "Summary of wheel reprofile", Excel-Tabelle mit Reprofilierungsdaten von IC4-Zügen
- /2/ Knorr-Bremse: Bremsberechnung „TA27304/74, Rev.04“, 02.03.2005
- /3/ LUCCHINI RS: Report "DSB IC4 wheel with wear damages", Rev. 0, 14.04.2014
- /4/ LUCCHINI RS: 3.1 Zeugnis Qualität der Radsätze – Order 100638 - „IC2-IC4 E1002002.pdf“, 22.10.2012
- /5/ DSB: Instandhaltungshandbuch Rad "Hjulmanual - 2.002", Rev. 2, 03.09.2013
- /6/ Force Technology: Examination of fractured Axle Box „114-23061 HPN/mal“, 25.02.2014
- /7/ Investigation Report: IBT-R/U021321, Subject: Axlebox GHK.176466 (V.v. 24.04.02) Stress Analysis, AnsaldoBreda Pistoia Italien, Date:30-Apr-02
- /8/ Investigation Report Enclosures: IBT-R/U021321 - Enclosures, Subject: Axlebox GHK.176466 (V.v. 24.04.02) Stress Analysis, AnsaldoBreda Pistoia Italien, Date:30-Apr-02
- /9/ Investigation report: IBT-R/U031302, Axlebox GHK.176466 (V.v. 01.02.02) Stress Analysis with Bearing removed AnsaldoBreda Pistoia Italy, Date of report 23.01.03
- /10/ SCHAEFFLER GROUP INDUSTRIAL, Lower Part of Axlebox Z-176466 (040803) – Stress Analysis for Lower Part under Damper Loads – Project IC4 – DSB, AnsaldoBreda, Date 11.03.2011
- /11/ FKM-Richtlinie, Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen, 6., überarbeitete Ausgabe 2012
- /12/ Force Technology, Fractured arm from the primary suspension damper, 110-23322 HPN/mal, Date 09.03.2010
- /13/ EN 13749:2011, Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Festlegungsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen
- /14/ EN 13103: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Laufradsatzwellen – Konstruktions- und Berechnungsrichtlinie
- /15/ EN 13104: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Treibradsatzwellen – Konstruktionsverfahren
- /16/ EN 13749 (2005): Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Spezifikationsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen

- /17/ EN 13260: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsätze – Produktanforderungen
- /18/ EN 13261: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsatzwellen - Produktanforderungen
- /19/ EN 13262: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Räder – Produktanforderungen
- /20/ EN 15313: Bahnanwendungen – Im Betrieb befindliche Radsätze – Instandhaltung der Radsätze im eingebauten oder ausgebauten Zustand
- /21/ UIC 812-3: Technische Lieferbedingungen für Vollräder aus gewalztem unlegiertem Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen

Endeligt udkast

1 Ordreoplysninger

Kommissorium

Siden 2010 har der på DSB's IC2- og IC4-togsæt været flere tilfælde med revner hhv. brud på aksellejekasserne samt med beskadigede dæmpere.

Togsætproducenten (AnsaldoBreda) har anmodet konstruktøren og producenten af lejerne (FAG) om en undersøgelse af de opståede lejeskader. I den forbindelse er der kun taget højde for komponenterne hjullejer og dæmpere. Ud fra den udarbejdede rapport kunne der ikke findes en årsag til skaderne.

Hidtil har komponenterne været betragtet uafhængigt af hinanden. DB Systemtechnik har fået til opgave at udføre en undersøgelse af komponenternes indbyrdes påvirkninger og fælles relationer i togsættet.

DB Systemtechnik's undersøgelse er baseret på mulige skadelige påvirkninger med baggrund i de udleverede dokumenter og egne erfaringer inden for dette fagområde.

I første omgang anføres løsningsmuligheder hhv. det videre forløb med et efterfølgende forsøgsprogram for derved at kunne finde frem til den endelige årsag. Der foreslås ligeledes afhjælpende foranstaltninger.

Ordregiver:

DSB (Danske Statsbaner)
Telegade 2
2630 Taastrup
Dänemark

Kontaktperson:

Bo Simonsen
E-mail: bsim@dsb.dk

Ordretager:

DB Systemtechnik GmbH
Weserglaci 2
32423 Minden
Deutschland

Herr Michael Gerstner
E-mail: michael.gerstner@deutschebahn.com

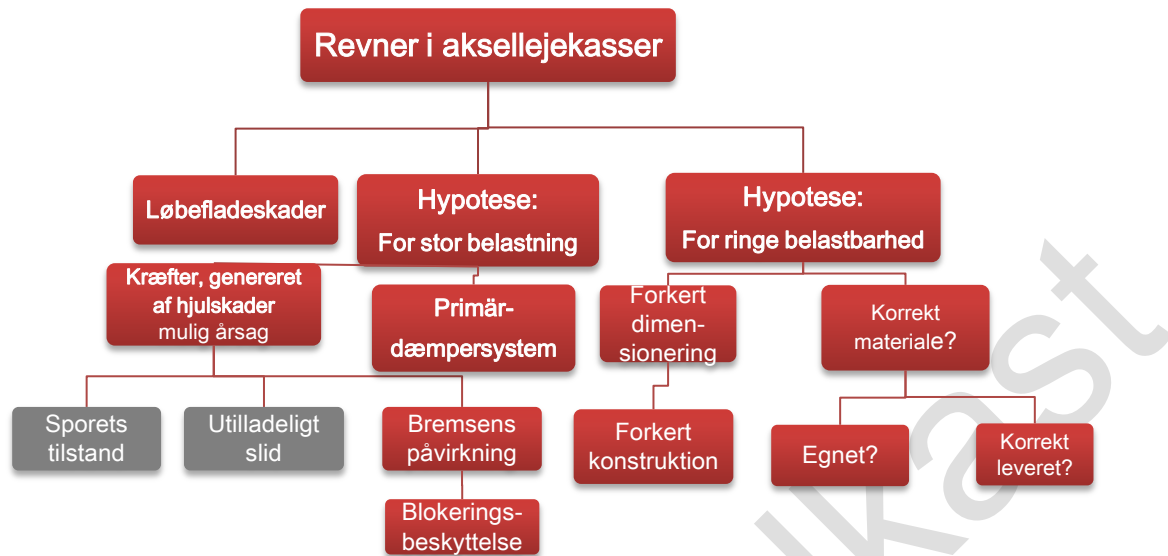
Rapport fordelt til:

DSB	(2x)
I.TVE 1, Projekter	(1x)
I.TVI 11, Bremsteknik	(1x)
I.TVI 21, Løbetøj	(1x)
I.TVI 22, Bogier	(1x)

2 Opgavebeskrivelse

Indledningsvist er der opbygget et hypotesetræ, der indeholder de væsentlige punkter hhv. påvirkninger med hensyn til belastning og belastbarhed for aksellejekasserne. Efterfølgende er de enkelte tænkelige årsager i videst muligt omfang undersøgt og vurderet hver for sig. Derudover er der foretaget en sammenfatning af de enkelte punkter, der er foreslået yderligere undersøgelser og anført indledende løsningsmuligheder.

2.1 Hypotesetræ



Figur 1: Hypotesetræ (egen opstilling)

2.2 Belastning

Det er først og fremmest blevet undersøgt hhv. afklaret, om belastninger, der har indvirkning på de beskadigede komponenter, er undervurderet hhv. ikke specificeret tilstrækkeligt. Hvis de reelle belastninger ligger betydeligt over specifikationen, har dette negativ indflydelse på levetiden og kan resultere i komponentfejl. I første omgang er dokumenternes konsistens kontrolleret. Dernæst kan der gennemføres driftsmålinger til registrering af de reelle belastninger.

2.2.1 Primærdæmpersystem

2.2.1.1 Dimensionering / belastning

I driften er der konstateret støddæmpere med revnede svejsesømme. Det formodes, at konstruktionen ikke kan modstå de belastninger, der rent faktisk opstår under drift.

I EN 13749:2005 nævnes en sædvanlig primærdæmperhastighed på mindst 300 mm/s mellem aksellejekassen og bogierammen. På grund af styrearmens geometri stiger denne værdi for IC4's vedkommende med følgende faktor k :

$$k = \frac{0,5 \times 16\text{mm} + 355\text{mm} + 400\text{mm}}{400\text{mm}} = 1,9075$$

Formel 1: Beregning af geometrifaktor

Værdierne i formel 1 fremgår af tegningerne P110126 og 051-5000000006480:

Bredde for dæmperleje	16 mm
Afstand fra midten af hjulleje til kontaktflade på dæmperleje	355 mm
Afstand fra midten af hjulleje til hjulsætføringsbøsning	400 mm

Betragtes geometrifaktoren i henhold til formel 2 optræder der primærdæmper-hastigheder på mindst 572 mm/s.

$$v_{maks.dæmper} = v_{maks.hjulsæt} * k = 300 \frac{mm}{s} * 1,9075 = 572 mm/s$$

Formel 2: Beregning af maks. dæmperhastighed

I det følgende er udgangspunktet 600 mm/s.

På den foreliggende tegning (P110126) er anført en primærdæmpervægt på 7,5 kg. Ifølge oplysninger fra dæmperproducenten (MSA) vejer den affjedrede del på aksellejet (nederste øje, bunden af beholder, beholder, dæmperstangføring,...) ca. 4,5 kg, og den primæraffjedrede del på bogierammen (øverste øje, dæksel, stempelstang, stempel, beskyttelsesrør, ...) vejer ca. 3,0 kg.

I henhold til EN 13749:2011 tages der højde for en konstant vertikalacceleration på 25 g på hjullejet. Den usædvanlige vertikalacceleration er anført med 70 g.

Antages det, at enden af svingarmen bidrager med yderligere 0,5 kg, kan der under hensyntagen til geometrifaktor k således tages udgangspunkt i følgende vertikale accelerationskræfter:

$$\text{Driftsbelastning: } F_{a,drift} = (4,5kg + 0,5kg) \times 25 \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,9075 = 2.339N$$

$$\text{Usædvanlig belastning: } F_{a,maks} = (4,5kg + 0,5kg) \times 70 \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,9075 = 6.549N$$

På nuværende tidspunkt viser karakteristikken, at forholdet kraft-stempelhastighed udviser usædvanlig stærk progressivitet fra og med hastigheder på 400 mm/s. Ved høje støddæmperhastigheder opstår der derved stor kraft. På baggrund af den karakteristik, som MSA har målt på en primærdæmper, kan dæmperkraften ved en stempelhastighed på 600 mm/s interpoleres til 3.355 N. Ud fra de sædvanlige tolerancer i ny tilstand, nyt driftsmønster samt temperaturpåvirkninger kan der erfaringsmæssigt tages udgangspunkt i en maks. primærdæmperkraft på 5.033 N. Som usædvanlig primærdæmperkraft regnes der i henhold til EN 13749:2005 med en dobbelt nominel værdi på 6.710 N.

Dæmper- og accelerationskræfter udløser følgende belastninger:

$$F_{samlet drift} = 5.033N + 2.339N = 7.372N$$

Formel 3: Samlet driftsbelastning

$$F_{samlet,maks.} = 6.710N + 6.549N = 13.259N$$

Formel 4: Samlet usædvanlig belastning

2.2.1.2 Driftsmålinger

DSB udtaler den 02. maj 2014, at AnsaldoBreda udfører driftsmålinger i uge 20. Formålet med disse målinger er at finde frem til de reelle belastninger af aksellejekassen. DSB har udleveret testspecifikationen til vurdering hos DB Systemtechnik.

Til underbyggelse af udtalelserne skal der i forbindelse med driftsmålingerne tages højde for nedenstående punkter:

- Påklæbning af strain gauge i det højeste belastningsområde (revneniveau). I den forbindelse opmåles en beskadiget aksellejekasse.
- Måling af kræfter på dæmperen, f.eks. med strain gauge øverst på stempelstangen. I den forbindelse fjernes beskyttelsesrøret.
- Vertikalacceleration på aksellejekassens arm, som påvirker primærdæmperens karakteristik.
- Primærdæmperens bevægelse i tilfredsstillende datakvalitet, som kan danne grundlag for udledning af dæmperhastigheder.
- Optegning af dæmperens karakteristik (karakteristik op til 1.000 mm/s ved amplituder på ± 25 mm og ± 2 mm) for de primærdæmpere, der er omfattet af testen.
- Optegning af urundheder (hjulprofiler) som funktion over hjulomkreds.

I forbindelse med vurderingen bør alle måleværdier vises frekvensopdelt. Derudover bør der udføres en frekvensanalyse (FFT).

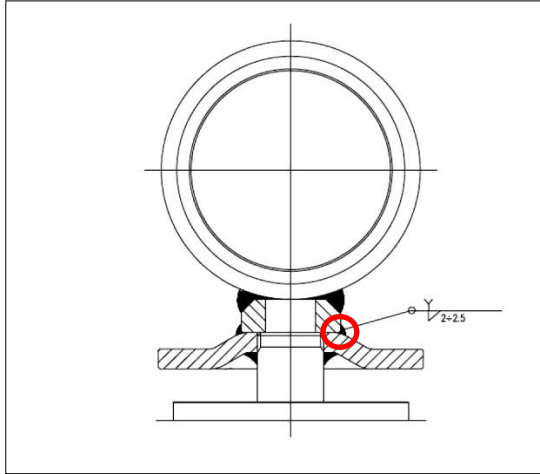
For at sikre, at alle forekommende belastninger registreres, bør målefrekvensen (sampling-frekvensen) være mindst 1.000 Hz, og filterfrekvensen bør være mindst 200 Hz.

2.2.1.3 Anbefalinger/aktiviteter

Det anbefales at optimere primærdæmperen på følgende måde:

1. Optimering af karakteristik: Ifølge oplysninger fra dæmperproducenten (MSA) bør det være muligt at udvikle en ny karakteristik, der ikke længere udviser en så stærk progressivitet ved stempelhastigheder over 400 mm/s. De aktuelle kontrolpunkter ved 100 mm/s og 300 mm/s bør i den forbindelse videst muligt holdes konstant. Efter vurdering af de målinger, AnsaldoBreda har gennemført, og under hensyntagen til resultaterne heraf bør den videre proces afstemmes med dæmperproducenten.

2. Optimering af svejsesømme: Den aktuelle 2 mm-svejsesøm mellem dæksel og afstandsstykke på den øverste befæstigelse har ifølge oplysninger fra dæmperproducenten (MSA) ved 10.000 cyklusser en tilladt belastning på 15.000 til 16.000 N.



Figur 2: Position for den svejsesøm, der skal optimeres

Her anbefales det at revurdere dimensionering af dæmperen på baggrund af de udregnede stempelhastigheder og den evt. nye fastlagte dæmperkarakteristik.

Det anbefales i forbindelse med revision at udskifte den aktuelle dæmper med en dæmper, der er optimeret i henhold til ovennævnte punkter.

2.2.2 Kræfter genereret af hjulskader

Hjulurundheder kan, afhængig af disses form og størrelse, resultere i høje spidsbelastninger på alle uaffjedrede komponenter i løbetøjet, dvs. også i hjullejet. Dette skyldes, at helhjulets center (og dermed også hjulakslen) i forbindelse med kørsel med et urundt hjul ikke længere vil bevæge sig helt parallelt med skinnehovedet, men derimod vil følge en bølget linje. De opståede svingninger af akslen i z-retning og de tilhørende accelerationer i samme retning som konsekvens af hjulurundhedens amplitudeform og -højde er afhængig af kørselshastigheden.

Ved tilsvarende undersøgelser på andre tog med urunde hjul er der målt accelerationer i z-retning på mere end 100 g (dvs. større end 1000 m/s²).

Mulige årsager til hjulurundheder:

- Flader, der er opstået på grund af blokerede hjul i forbindelse med bremsning
- Termisk overbelastning forårsaget af stort hjulslip og deraf følgende materialeudfald
- Uens materialekvalitet (hårdhed, ...) over hjulomkreds
- Udmattelse som følge af rullekontakt (RCF)

2.2.2.1 Sporets tilstand

Sporforholdenes indflydelse på skader kunne ikke vurderes, da togenes driftsmønster i løbet af den hidtidige driftsperiode skal være kendt.

Eftersom en vurdering af omløb ville være meget omfattende, og der ikke kan tages udgangspunkt i en udslagsgivende skadepåvirkning, blev denne undersøgelse stillet i bero.

2.2.2.2 Ikke tilladt slid

På grund af manglende data om udvikling af hjulprofiler og løbeflader (flangetykkelser, flangehøjde, løbecirkeldiameter, løbecirkeldiameterforskel osv.) i løbet af driftsperioden kan der på nuværende tidspunkt ikke gives oplysninger om hjulenes slidforhold.

For at kunne skaffe oplysninger herom og for at kunne reducere belastninger forårsaget af løbefladeskader, anbefales det at kontrollere og dokumentere hjulprofiler samt løbeflader regelmæssigt. Intervallet herfor bør være efter en tilbagelagt afstand på 30.000 km.

2.2.2.3 Bremsens indflydelse

Et for højt bremsemoment kan føre til, at det modmoment, der genereres ved hjul-/skinnekontakt, ikke længere er tilstrækkeligt til at holde hjulet i en rullende bevægelse i løbet af bremseprocessen. Som følge heraf falder hjulets rullehastighed hurtigere end togets hastighed, hvilket kan føre til glidning og videre til fuldstændig blokering af hjulet, mens toget fortsat er i bevægelse. Herved opstår en stærkt forøget energiindtrængen i hjulets løbeflade, hvilket fører til forøget slid og, i tilfælde af fuldstændig blokering af hjulet, til flader på hjulet. Begge fænomener fører til hjulurundheder. IC2-/IC4-togsættenes bremsemoment er, sammenlignet med andre togsæt, ikke usædvanligt højt.¹ Glidning kan dog principielt ikke undgås, når adhæsion mellem hjul og skinne er reduceret. Sådanne situationer opstår generelt i forbindelse med fugtige eller fedtede skinner, specielt om efteråret, når løvfald er hovedårsagen til fedtede skinner.

For at kunne holde glidning mellem hjul og skinne inden for toleranceområdet og for, om muligt, helt at kunne undgå blokering af hjul, er moderne togsæt udstyret med et blokeringsbeskyttelsessystem, der reducerer bremsemomentet, når dette er for højt.

2.2.2.3.1 Blokeringsbeskyttelse

IC4's blokeringsbeskyttelse er ved lave adhæsionskoefficienter ikke i stand til at forhindre blokering af hjulene. Dette tema behandles allerede i en Task Force internt i DSB og omtales derfor ikke yderligere i denne rapport.

2.3 Belastbarhed af aksellejekasser

I dette afsnit er det afklaret hhv. undersøgt, om materialet og konstruktionen svarer til de specificerede krav, eller om der allerede i forbindelse med beregning og dimensionering har fundet forseelser sted.

2.3.1 Konstruktion/dimensionering

Følgende oplysninger mht. dimensionering af aksellejekassen er baseret på rapporter fra FAG /7/, /8/, /9/ og /10/; disse rapporter er stillet til rådighed fra ordregiver.

Specielt det nyeste dokument /10/ (Version: 11.03.2011) er gennemgået. Dette dokument indeholder yderligere vurderinger af aksellejekassens nederste del.

På det sted, hvor primærdæmperen er koblet til aksellejekassens konsol, er forudset belastninger på ± 2 kN og ± 4 kN. Herved fås de i tabel 1 anførte spændinger og udnyttelsesgrader. På basis af de udregnede værdier er også kræfter ved 100 % udnyttelsesgrad vurderet.

¹ IC4-togsættenes adhæsionsudnyttelse i forbindelse med farebremsninger ligger ifølge bremseberegning /2/ mellem 12 og 15 %. Disse værdier er typiske for sammenlignelige togsæt.

Belastning	N	-2.000	-4.000	2.000	4.000
$\sigma_{\max}$ Overside af konsol	MPa	36,8	69,5	-21,5	-48,3
$\sigma_{\max}$ Underside af konsol	MPa	-57,2	-111,1	51,1	105,3
σ_{tilladt}	Mpa	139,5	139,5	139,5	139,5
Udnyttelsesgrad for overside af konsol		26,38%	49,82%	15,41%	34,62%
Udnyttelsesgrad for underside af konsol		41,00%	79,64%	36,63%	75,48%
tilladt belastning ved 100% udnyttelsesgrad på overside af konsol	N	-7.582	-8.029	12.977	11.553
tilladt belastning ved 100% udnyttelsesgrad på underside af konsol	N	-4.878	-5.023	5.460	5.299

Tabel 1: Udnyttelsesgrad for og vurdering af aksellejekassernes styrke

Sammenholdt med de i afsnit 2.2.1.1 vurderede belastninger viser det sig, at de mulige maksimale belastninger specielt på undersiden af aksellejekasserne kan ligge over de tilladte belastningsværdier.

På grund af faste randbetingelser, og hvis akselkassens øverste del betragtes som en flade (plan), kan der opstå falsk stivhed for systemet som helhed, eftersom den halve akselkasse del specielt i forbindelse med en trykkraft (nedad; negativ) ikke kan udvide sig.

Beregningerne med og uden støbegrat viser i henhold til formel 5 et højt kærvtal på ca. 1,42. Dette tal er opstået på grund af støbegraten. Det svarer til en lokal spændingsforøgelse på 142 % langs med støbegraten (se /10/ s. 11 og s. 18), som netop ligger i det højt belastede område, hvor revnerne hhv. bruddene i aksellejekasserne er opstået.

$$K_t = \frac{\sigma_{mG}}{\sigma_{oG}} = \frac{48,3 \text{ MPa}}{33,9 \text{ MPa}} = 1,42$$

Formel 5: Kærvtal

Anbefalinger:

- I forbindelse med fremtidige beregninger anbefales det at implementere den i henhold til kapitel 2.2.1.1 vurderede dæmperkraft for driftsmæssige og udsædvanlige belastninger, samtidig med at der tages højde for de kræfter, der er målt under drift.
- For at kunne give et mere nøjagtigt billede af stivheden for systemet som helhed bør beregningsmodellen udvides med akselkassens øverste del samt akselkasseringen, som omfavner hjullejet. Der bør anvendes kontaktelementer i beregningsmodellen for at repræsentere pasningstolerancerne for akselkasseringen.
- Støbegratens kærvvirkning kan reduceres, ved at støbegraten planslides efter fremstilling.
- Nye udregnede belastninger kan på et senere tidspunkt danne grundlag for yderligere anbefalinger.



Figur 3: Nederste aksellejekasse med revne (kilde: /12/)



Figur 4: Detailsnit af revnested (kilde: /12/)

2.3.1.1 Konstruktion/pasningstolerancer

Revurdering af pasningstolerancerne på de til rådighed værende tegninger har ikke givet anledning til bemærkninger.

Ved pasning af akslen/den indvendige lejerings er der tale om pasning med et minimalt overmål på 0,051 mm og et maksimalt overmål på 0,101 mm. Disse værdier fremgår af akslens

tolerance 150 p6 (+0,068 mm/+0,043 mm) og den indvendige lejerings tolerance 150 mm (-0,008 mm/-0,033 mm).

I forbindelse med pasning af den udvendige lejering/akselkasseringen er der tale om en tolerance med et næsten ikke mærkbart pasningsspil. Det minimale pasningsspil er 0,000 mm, og det maksimale pasningsspil er 0,146 mm. Disse værdier fremgår af den udvendige lejerings tolerance 250 mm (0,000 mm/-0,100 mm) og akselkasseringens tolerance 250 H7 (+0,046 mm/ 0,000 mm).

Da der ikke foreligger detailtegninger, har det ikke været muligt at foretage yderligere vurderinger med hensyn til f.eks. pasning mellem akselkassering og nederste hhv. øverste lejekassedel.

De vurderede pasningstolerancer ligger i det sædvanlige område. Det formodes derfor, at disse ikke har indflydelse på revnedannelsen i aksellejekassen.

2.3.1.2 Materiale

2.3.1.2.1 Materiale egnet?

Det anvendte materiale er støbemateriale EN GJS 400-18 LT, hvilket også forekommer i mange andre aksellejekasse-konstruktioner, hvor det har vist sig at være i orden.

2.3.1.2.2 Materiale korrekt leveret?

FORCE TECHNOLOGY har fået til opgave at undersøge en knækket aksellejekasse fra et IC4-togsæt og fastlægge årsagen til skaden. Med dette formål er brudfladerne blevet undersøgt visuelt. Der er udført materialetekniske undersøgelser (strukturundersøgelser og hårdhedsmålinger). Disse undersøgelser er dokumenteret i rapport /6/.

Undersøgelserne har ikke afdækket materialefejl. De udregnede hårdhedsværdier og strukturundersøgelser svarer til støbemateriale EN GJS 400-18 LT. Fejlleverance kan derfor udelukkes som årsag til skaden.

2.4 Løbefladeskader

2.4.1 Driv- og løbehjulsæt

Hjulsættene på IC2 og IC4 er udstyret med helhjul, der som nye har en løbecirkeldiameter på 860 mm. Helhjulene (nye) har en afdrejningsavance – i radius – på 30 mm. Hjulene er fremstillet af materiale ER 7.

Hjulakslen dimensioneres efter EN 13103 for løbehjulaksler og efter EN 13104 for drivhjulaksler. Hjulene er i overensstemmelse med forskrifterne i EN 13260 til 13262. Hjulprofilet er DSB 97-1 (svarer til S1002 med 30 mm flangetykkelse i henhold til EN 13715).

2.4.2 Bremseskiver

Hjulsættene på IC2 og IC4 er udstyret med akselmonterede bremsskiver.

- Drivhjulaksel med 2 akselmonterede bremsskiver
- Løbehjulaksel med 3 akselmonterede bremsskiver

2.4.3 Hjulslid / løbefladeskader

På DSB's IC2- og IC4-togsæt er der konstateret graverende fejl i løbefladerne. Skaderne er opstået på både drivhjulssættene og – i væsentligt større omfang – på løbehjulssættene (position 1 og 10); skaderne er delvist konstateret allerede efter en tilbagelagt afstand på 50.000 km.

Det drejer sig om:

- Flader
- Materialeudfald og nedbrud af materialet

Ved besigtigelse af hjulsæt 4 på togsæt nr. 5707 kunne der konstateres sildebensmønstrede små revner på løbefladerne. Dette forekom hovedsageligt på den side, der ligger over for aksellejekasseskaden. Disse 45° rettede fine overfladeskader forekommer ved overgangen mellem flange og løbeflade og på løbefladen på en afstand på ca. 90 til 120 mm målt fra hjulets bagside. I det videre skadesforløb vokser de sildebensmønstrede små revner sammen under løbefladen, og der opstår materialeudfald, hvilket ses tydeligt på den side, hvor lejeskaden er opstået. Det vurderes, at disse beskadigelser skyldes høj materialebelastning, der tyder på høj termisk belastning af hjulene og/eller højt længde- hhv. tværsslip.

2.4.3.1 Fakta

Der er indtil nu konstateret beskadigelser på aksellejekasserne og/eller dæmperen på seks løbehjulsæt og et drivhjulsæt. Disse beskadigelser er opstået ved forskellige tilbagelagte afstande.

Togsæt-type	Togsæt-nr.	Place-ring Hjulsæt	Hjul	Aksellejekasse	Dæmper	Dato for hændelse	Tilbagelagt afstand [km]
IC4	5608	1	venstre	knækket	knækket	22.02.2010	50.000
IC4	5618	1	venstre	knækket	-	03.12.2010	100.000
IC4	5650	10	venstre	knækket	knækket	03.02.2014	150.000
IC2	5707	4	venstre	revne	knækket	27.03.2014	55.000
IC4	5630	3	venstre	revne	knækket	08.04.2014	170.000
IC4	5651	4	højre	revne	knækket	07.04.2014	165.000
IC4	5671	6	venstre	-	knækket	22.04.2014	70.700

Tabel 2: Opståede skader på aksellejekasser hhv. dæmpere

Der er konstateret betydelige skader på alle de pågældende hjuls løbeflader. Revner i aksellejekasserne samt de på figur 5 viste løbefladeskader er hele tiden – med undtagelse af togsæt 5651 – opstået på det venstre helhjul. Her er konstateret en revne på den højre aksellejekasse. Vores erfaringer viser, at man kan gå ud fra, at der også allerede forekommer materialebeskadigelser på det hjul, der sidder i hjulsættets modsatte side. Her vil der dog være tale om beskadigelser af mindre omfang.



Figur 5: Løbefladeskader (kilde: DSB: Løbefladeskader på IC4, togsæt 5618)

Profil- og spormålene, der er anført i tabel 3, er dokumenteret på basis af et beskadiget hjulsæt, hvor der er konstateret en revne i aksellejekassen.

Hjulsæt		
	Venstre [mm]	Højre [mm]
Hjuldiameter	856,39	860,34
SR	1418,83	
AR	1359,18	
Hjulurundhed (radial- kast)	3,27	0,14
Aksialkast	0,20	0,27
Flangehøjde	31,34	29,08
Flangetykkelse	30,77	28,89
qR	12,57	9,71

Tabel 3: Profil- og spormål for hjulsæt 4 på togsæt 5707

Hjulene på det i tabel 3 dokumenterede hjulsæt udviste en hjuldiameterforskel på 3,95 mm. På hjulet til venstre er der målt en urundhed på 3,27 mm. Det er ikke registreret, om der har været tale om en klassisk urundhed (polygonisering) eller om en enkeltstående flade.

I forbindelse med løbetekniske undersøgelser af hjul med enkeltstående flader på > 3 mm er der målt aksiale accelerationer på > 100 g.

Forskellen i flangetykkelser mellem venstre hjul (30,77 mm) og højre hjul (28,89 mm) er 1,88 mm. Det betyder, at hjulet må have løbet stærkt ujævnt (skævt). Dette indikeres yderligere ved forskellen mellem qR-mål højre på 9,71 mm og qR-mål venstre på 12,57 mm. Ved kurvekørsel opstår der som følge af RCF øget slid, der forårsaget af revnedannelse på det hjul, der er yderst i kurven. Dette er i modstrid med det foreliggende skadesbillede, eftersom det venstre hjul udviser en højere skadesgrad.

Forskellen i flangehøjde fra $s_{h,venstre}$ (31,34 mm) til $s_{h,højre}$ (29,08 mm) er 2,26 mm. Det svarer ca. til diameterforskellen mellem de to hjul.

De massive løbefladeskader på det undersøgte hjul, som det fremgår af billederne 68237 og 68238 i undersøgelsesrapporten /3/, har resulteret i fuldstændig nedbrud af hjulmaterialet på løbefladerne. Hjulmaterialet er herved valset udad og væk fra kontaktfladen. Dette har resulteret i det typiske "hulslid" samt ændring af hjulprofil.

I /1/ er registreret de afdrejninger, der er gennemført på IC4-togsættens hjulsæt. Det bemærkes i den forbindelse, at for hjulsættene 1 og 10 måtte hjuldiameteren reduceres yderligere med faktor 2 i forhold til de andre hjulsæt for at kunne fjerne de forekomne løbefladeskader. Dette tyder på, at belastningen af hjulenes løbeflader her må være tilsvarende højere.

2.4.3.2 Hjulmateriale

LUCCHINI har foretaget en materialeteknisk undersøgelse af et beskadiget IC4-hjul. Undersøgelserne er gennemført i henhold til forskrifterne i UIC 812-3. De materialetekniske standardværdier, der er dokumenteret i undersøgelsesrapporten, svarer til standardværdierne i UIC 812-3. Trækstyrken på 857 MPa ligger i det nedre toleranceområde.

I den udleverede specifikation /4/ for hjulmateriale til helhjul ER7 - EN 13262 kategori 1 - underskrives de foreskrevne mindsteværdier for hjulkransens hårdhed delvist. EN 13262 kræver en mindstehårdhed på 245 HB i kategori 1. Hårdheder for hjulkransen er målt til at ligge i området fra 236 til 266 HB. Kravet i EN 13262, om at der højst må forekomme en hårdhedsdifference på 30 HB mellem hjulene i en produktionsserie, overholdes kun lige.

2.4.3.3 Gennemførte vedligeholdelsesaktiviteter

Eftersynsintervallet, der er fastsat af producenten, er 180.000 km.

På grund af tidligere hændelser har den nationale godkendelsesmyndighed foreskrevet, at hjulløbeflader og aksellejekasser skal kontrolleres visuelt efter 7 driftsdøgn.

Dokument /5/ danner grundlag for hjulvedligeholdelse. Her anføres de grænseværdier, der skal overholdes i forbindelse med driftvendt vedligeholdelse.

Dokument er baseret på vedligeholdelse af klodsbremsede godsvognshjul. Dette dokument kan derfor kun til en vis grad anvendes i forbindelse med vedligeholdelse af skivebremsede IC2- hhv. IC4-hjul

2.4.3.4 Gruppering af hændelser, årsager og aktiviteter

Mulige årsager til betydelige løbefladeskader er:

1. Hjulmaterialets hårdhedsværdier i hjulkransen samt trækstyrken ligger i det nedre toleranceområde. De svarer til reglerne, men de fremmer en negativ slidudvikling.
2. Indbygges hjulsæt ikke parallelt i en bogie, opstår skævløb af bogien. Hjulsættenes indbygningstilstande i bogien kendes i øjeblikket ikke. Konsekvenserne af skævløb er forøget "slip" og konstant ujævnt løb (forandret angrebsvinkel).
3. Glidning og hjulslip fører til hjulslid og lokal varmeindtrængen. Dette medfører strukturændring i løbefladen og dermed udviklingen af det sprøde materiale (martensit). Dette sprøde materiale kan skalle af under rulning/udvalsning.
4. Bremseblending, der ikke er indstillet optimalt, og blokeringsbeskyttelse, der ikke er indstillet optimalt, vil kunne resultere i blokeringer og dermed forøget varmeindtrængen i løbefladen.

2.4.4 Anbefaling - kortsigtede aktiviteter til gennemførelse af sikker drift

Kortfristede aktiviteter til reducere af skader på løbeflader:

1. Vedligeholdelsesaktiviteter

1.1. Opretholdelse af visuel kontrol efter 7 driftsdøgn.

1.2. Hjulurundhedskontrol med et endnu ikke fastsat eftersynsinterval.

Gennemførelse af hjulurundhedskontrol:

- Hjulsættet hhv. bogien løftes så meget, at hjulsættet kan drejes hele vejen rundt, så der kan udføres hjulurundhedskontrol.
- Hjulets løbeflader skal rengøres inden hjulurundhedskontrol.
- Måleuret (om muligt digitalt med hukommelse og hjul på sonden) skal fastgøres på sporet med en magnetisk måleholder.
- Løbecirklen (70 mm fra hjulets bagside) skal mærkes/tegnes.
- Måleholderen med opspændt måleur skal justeres og positioneres i forhold til løbecirklen.
- Målingens påbegyndelse markeres med kridt på hjulkransens yderside.
- Hjulet drejes langsomt hele vejen rundt med hånden, så der kan udføres hjulurundhedskontrol.
- Efter afsluttet hjulurundhedskontrol dokumenteres måleværdien med kontrol-dato og tilbagelagt afstand for hjulsættet i en dertil udarbejdet protokol.

1.3. Ved en hjulurundhed på $\geq 0,5$ mm skal hjulsættet afdrejes.

1.4. Eftervisning af den tilladte hjuldiameterforskel i bogien og med hensyn til driftenheden.

1.5. Indførelse af komfortafdrejninger efter en tilbagelagt afstand, der skal fastsættes på grundlag af skadesstatistik.

2. Vedligeholdelsesdokumentation

Det anbefales, at vedligeholdelsesdokumentation for IC2-/IC4-togsættenes hjulsæt udarbejdes hhv. gennemgås på baggrund af EN 15313 – Instandhaltung der Radsätze im eingebauten oder ausgebauten Zustand (Vedligeholdelse af hjulsæt i monteret eller demonteret tilstand).

3. Hjulmateriale

Anvendelse af andet hjulmateriale med højere brudstyrke ER 8. Materialet SUPERLOS, som LUCCHINI har foreslået, svarer til ER 9. Dette hjulmateriale har, på grund af det højere kulstofindhold for ER 9, større tendens til revnedannelse. Konsekvensen heraf ville være, at hjulslid forøges yderligere ved hjulafdrejning. Inden der træffes beslutning om at ændre på hjulmaterialet, bør det overvejes at afprøve dette i drift.

2.4.5 Nødvendige undersøgelser med henblik på at reducere opståede skader på løbeflader

For hele tiden at kunne modvirke skader i aksellejekasser og på hjulenes løbeflader anbefales nedenstående undersøgelser:

1. Udarbejdelse af en detaljeret skadesstatistik: registrering af skadens omfang på basis af tilbagelagt afstand og driftsforhold.
2. Løbe- og bremsetekniske undersøgelser
 - 2.1. Registrering af hastighed for alle driv- og løbehjulsæt
 - 2.2. Registrering og vurdering af signal for glidning og hjulslip; blokeringsbeskyttelsesforsøg; bremseblending (et helt togsæt)
 - 2.3. Undersøgelse af bremsekraftfordeling i togsættet og blokeringsbeskyttelsen. Undersøgelse af løbefladerens belastning via retarderen og trykluftbremsen
 - 2.4. Registrering af tryk i trykluftbremsen (cylindertryk)
 - 2.5. Accelerationer (retning X, Y og Z) for drivhjulsættene
 - 2.6. Drivhjulsættenes bevægelse (retning Z) i forhold til bogien
 - 2.7. Undersøgelse af retarderbremSENS funktion
 - 2.8. Accelerationstest med IC4 med og uden belastning
 - 2.9. Retardationstest med og uden ballast og påhængslast
3. Restspændingsmåling og ikke-destruktiv test af beskadigede hjul
4. Revurdering af hjulsættenes indbygningstilstande i bogien for at kunne konkludere, om hjulsættene er indbygget i overensstemmelse med tegningerne.

3 Resultater

3.1 Sammenfatning

Skaderne på aksellejekasserne og primærdæmperne skyldes ikke en enkelt omstændighed. Det drejer sig om et samspil mellem forskellige påvirkninger, der fører til funktionsfejl og kræver nærmere undersøgelse.

Der er følgende hovedaktivitetsområder:

- I driften er der konstateret støddæmpere med revnede svejsesømme. Det formodes, at konstruktionen ikke kan modstå de belastninger, der rent faktisk opstår under drift. På nuværende tidspunkt viser karakteristikken, at forholdet kraft-hastighed udviser usædvanlig stærk progressivitet fra og med hastigheder på 400 mm/s. Ved høje støddæmperhastigheder opstår der derved stor kraft.

- Sammenholdt med de i afsnit 2.2.1.1 vurderede belastninger viser det sig, at de mulige maksimale belastninger specielt på undersiden af aksellejekasserne kan ligge over de tilladte belastningsværdier. På grund af faste randbetingelser, og hvis akselkassens øverste del betragtes som en flade (plan), kan der opstå falsk stivhed i beregningsmodellen for aksellejekasserne, hvilket fører til unøjagtige beregningsresultater. Støbegraten ligger i et yderst ugunstigt område.
- De iagttagede pasningstolerancer ligger i det sædvanlige område. Det antages derfor, at disse ikke har indflydelse på revnedannelsen i aksellejekasserne.
- Det anvendte materiale forekommer i mange andre aksellejekasse-konstruktioner og har vist sig som værende i orden. Det har ikke været muligt at påvise anvendelse af ukorrekt materiale.
- Der foreligger ingen detaljeret vedligeholdelsesforskrift.
- De udregnede hårdhedsværdier for hjulkransene samt trækstyrken ligger i det nedre toleranceområde hhv. underskrides delvist. Disse værdier fremmer dermed en negativ slidudvikling.
- Glidning og hjulslip fører til hjulslid og lokal varmeindtrængen. Dette medfører strukturændring i løbefladen og dermed udviklingen af det sprøde materiale (martensit). Dette sprøde materiale kan skalle af under rulning/udvalsning.
 - Brems blending, der ikke er indstillet optimalt, og blokeringsbeskyttelse, der ikke er indstillet optimalt, kan resultere i blokeringer og dermed forøget varmeindtrængen i berøringsfladen mellem hjul og skinne.

3.2 Anbefalinger

Følgende anbefales:

- I forbindelse med næste revision anbefales det at montere en optimeret støddæmpervariant. Støddæmperkarakteristikken bør optimeres, således at dæmperkraften over stempelhastigheder på 400 mm/s ikke længere stiger så stærkt. Derudover bør dimensionering af de mekaniske komponenter (f.eks. svejsesømme m.m.) revurderes.
- For at reducere løbefladeskader og den dermed forbundne vertikale dynamik bør IC4-togsættenes blokeringsbeskyttelsessystem gennemgås/optimeres, såfremt dette er muligt.
- IC2-togsættenes blokeringsbeskyttelsessystem bør, på samme måde som IC4-togsættenes blokeringsbeskyttelsessystem, undersøges nærmere med henblik på at udforske systemets mulige indflydelse på hjulskader.
- Det anbefales, at der gennemføres en ny styrkeberegning af aksellejekassen eller en optimeret variant på basis af korrekt støddæmperkraft samt resultaterne af de driftsmålinger, AnsaldoBreda har udført. For at kunne reducere kærsvirkningen forårsaget af støbegraten bør enten støbeformen ændres eller i det mindste sømmen planslibes efter fremstilling.

- Det skønnes tilmed nødvendigt, at der udarbejdes en omfattende vedligeholdelsesforskrift for hjulsæt og aksellejekasser til IC2-/IC4-togsæt.
- Vedligeholdelsesaktiviteter:
 - Visuel kontrol efter 7 driftsdøgn
 - Hjulurundhedskontrol med et endnu ikke fastsat eftersynsinterval
 - Hjulafdrejning ved urundheder på $\geq 0,5$ mm
 - Kontrol af tilladt diameterforskel
 - Indførelse af komfortafdrejninger
- Afprøvning af andet hjulmateriale (ER 8) med højere brudstyrke anbefales
- Udarbejdelse af en detaljeret skadesstatistik
- Løbe- og bremsetekniske undersøgelser
- Restspændingsmåling og ikke-destruktiv prøvning af beskadigede hjul

4 Underskrifter

Gerstner
L I.TVI 22

Schöppe
I.TVI 22