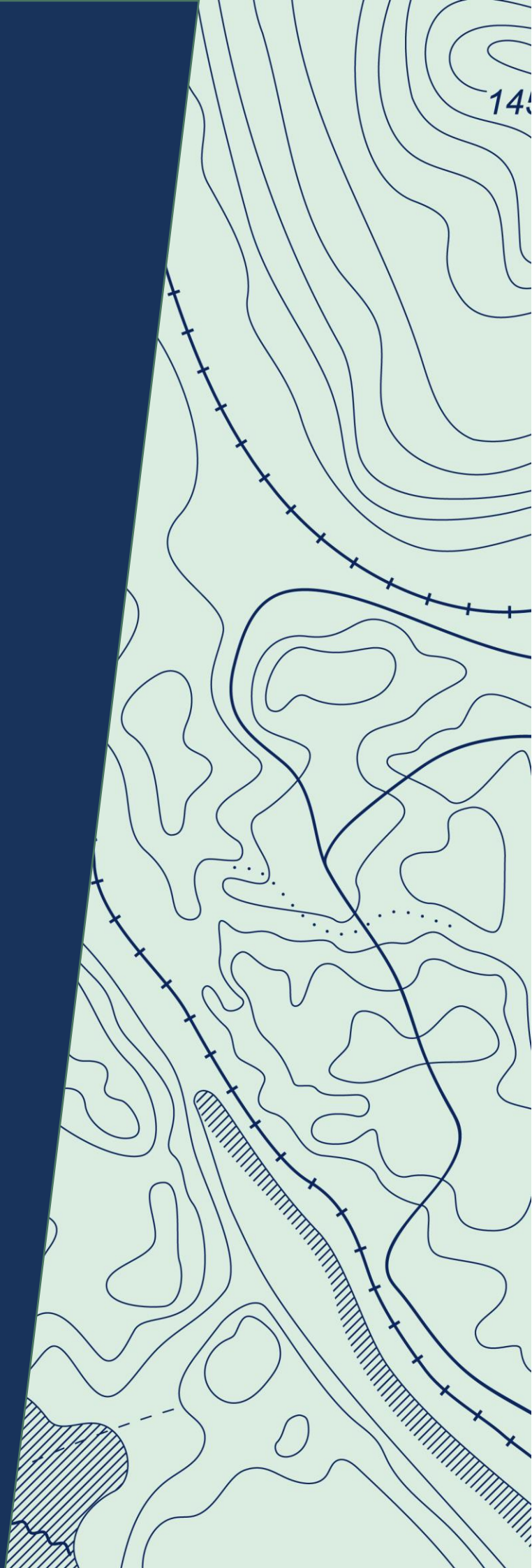


Urspårning med godståg 9914 på Malmbanan

Statens haverikommission har utrett en urspårning som inträffade vid Vassijaure driftplats, Norrbottens län, den 17 december 2023

2025-05-22



Om Statens haverikommission

Statens haverikommission (SHK) utreder olyckor och allvarliga tillbud från säkerhetssynpunkt oavsett om de inträffat på land, till sjöss eller i luften. Myndighetens olycksutredningar ska sprida kunskap och ge underlag för åtgärder hos myndigheter, företag, organisationer och enskilda som förbättrar säkerheten och minskar risken för olyckor. Verksamheten ska också bidra till att människor kan känna trygghet och tillit till samhällets institutioner och till förtroendet för transportsystemen. I uppdraget ingår också att bedöma de insatser som samhällets räddningstjänst har gjort i samband med en olycka. Däremot ska utredningarna inte fördela skuld eller ansvar, vare sig straffrättsligt, civilrättsligt eller förvaltningsrättsligt.

SHK:s utredningar syftar till att ge svar på tre frågor

- Vad hände?
- Varför hände det?
- Hur undviks att en liknande händelse inträffar i framtiden?

Rapporten finns även på SHK:s webbplats: www.shk.se

Rapporten omfattas av licensen Creative commons erkännande 2.5 Sverige (CCBY 2.5 SE). Det betyder att du får kopiera, sprida och bearbeta texten under förutsättning att du anger att SHK är upphovsrättsinnehavare. Om du använder materialet i denna rapport ska du som källa ange Statens haverikommission och rapportnummer.

Illustrationerna i SHK:s rapporter skyddas av upphovsrätt. Om inte annat anges i rapporten är SHK upphovsrättsinnehavare. Om någon annan än SHK är upphovsrättsinnehavare behöver du dennes tillstånd för att få använda materialet.

ISSN 1400–5743

Diarienummer: J-18/23

Innehållsförteckning

Om Statens haverikommission	2
1. Sammanfattning.....	5
Orsaker till olyckan	5
Säkerhetsrekommendationer	5
Summary in English	6
Causes of the accident	6
Safety recommendations	6
2. Utredningen.....	7
Utredningsmaterialet	7
3. Faktaredovisning.....	9
3.1 Händelseförlopp	9
3.2 Räddningsinsats	10
3.3 Personskador	10
3.4 Materiella skador	10
3.4.1 Skador på fordon	10
3.4.2 Skador på infrastruktur	10
3.5 Personal	11
3.6 Berörda aktörer	11
3.7 Tåget och dess sammansättning	11
3.8 Infrastruktur	11
3.9 Olycksplatsundersökning	12
3.9.1 Undersökning av infrastrukturen	12
3.9.2 Undersökning av fordon	16
3.10 Särskilda undersökningar	20
3.10.1 Inledande teknisk undersökning	20
3.10.2 Fördjupad teknisk undersökning av Element	22
3.10.3 Simuleringar och beräkningar av Chalmers	25
3.10.4 Tekniska möten	28
3.10.5 Tidigare erfarenheter av sprickbildning i flänsar vid underhåll	28
3.11 Väder	28
3.12 Sträckor för fordon 87 74 6871151-1 före urspårningen	29
3.13 Loggfiler	30
3.13.1 Registreringsutrustning	30
3.13.2 Signalställverket	30

3.13.3	Spårläge.....	30
3.14	Detektorer	30
3.14.1	LKAB Malmtrafik AB:s system för analys av detektordata.....	30
3.14.2	Trafikverkets detektorer.....	30
3.14.3	Detektorer i Norge	32
3.14.4	Övrig detektering.....	33
3.14.5	Urspårningsslingor.....	33
3.14.6	Lastfördelning i tåg 9914	34
3.15	Utveckling av hjul typ Blue Light Super 32,5.....	34
3.15.1	Ökning av största tillåtna axellast (STAX) på Malmbanan.....	34
3.15.2	BLS 32,5	34
3.15.3	Minsta tillåtna hjuldiameter.....	35
3.16	Historik för tillverkning av hjulaxel HP10380	35
3.17	Historik för underhåll av hjulaxel HP10380	36
3.18	Regler för underhåll	36
3.18.1	Underhållsansvarig enhet (ECM).....	36
3.18.2	Hantering av avvikelser	37
3.18.3	Regler för sprickor på insidan av hjulringen.....	39
3.19	Hälsa och arbetsmiljö	39
3.20	Tidigare liknande händelser	39
3.20.1	Narvik 2019	39
3.20.2	Referenser till andra hjulskador med spricka i fläns	40
3.21	Vidtagna åtgärder	40
3.21.1	LKAB Malmtrafik AB.....	40
3.21.2	Chalmers tekniska högskola.....	41
4.	Analys	42
4.1	Hur spårade tåget ur?.....	42
4.2	Varför gick hjulet sönder?	43
4.3	Hade hjulskadan kunnat identifieras innan urspårningen?	44
4.4	Hur kan en liknande händelse undvikas i framtiden?.....	46
5.	Slutsatser.....	47
5.1	Utredningsresultat.....	47
5.2	Orsaker	47
6.	Säkerhetsrekommendationer	47
Bilagor		48

1. Sammanfattning

Den 17 december 2023 spårade ett lastat tåg för LKAB Malmtrafik AB ur med ett hjul nära Tornehamn på Malmbanan mellan Kiruna och Narvik. Hjulet och senare båda hjulen på samma axel rullade urspårade på en sträcka av 15 km och orsakade omfattande skador i spåret. På Vassijaure driftplats förvärrades urspårningen, flera fordon spårade ur och ytterligare skador uppstod i infrastrukturen. Urspårningen orsakade inga personskador.

Utredningen visar att hjulet brast från löpbanan till navet på hjulaxeln, förlorade sin presspassning i navet, flyttade inåt på axeln och spårade ur innanför den högra rälen i färdriktningen. Brottet initierades i en utmattningsspricka på baksidan av hjulflänsen och fortsatte som ett snabbt sprödbrott i hela sprickans längd till navet.

Tekniska undersökningar visar att hjulet uppfyllde gällande krav och standarder. Det har heller inte framkommit några avvikelser i underhållet av hjulaxeln.

Hjulskadan orsakades sannolikt av en kombination av ogynnsamma och samverkande faktorer som inte tidigare bedömts i relation till riskerna för utmattningssprickor i flänsen och sprödbrott till navet.

Simuleringar och beräkningar av olika lastfall visar att dragspänningar och utmattningssprickor kan uppkomma i flänsen. För mer omfattande resultat som kan leda till reviderade dimensionerings- och underhållskriterier behövs ytterligare studier och mer detaljerade analyser.

Orsaker till olyckan

Den direkta orsaken till urspårningen var att ett hjul flyttade sig på sin axel.

Orsaken till att hjulet förflyttade sig var ett brott från en utmattningsspricka i flänsen till navet vilket medförde att hjulet förlorade sin presspassning mot axeln.

Lastfall och faktorer som skapade utmattningssprickan och orsakade brottet bör ha samverkat negativt och varit nära hållfasthetsnivåer.

Lastfall och faktorer som initierar och driver utmattningssprickor i flänsen har inte varit del i normal dimensionering eller underhållskriterier för järnvägshjul.

Säkerhetsrekommendationer

Mot bakgrund av de åtgärder som vidtagits eller som kommer att vidtas av LKAB Malmtrafik AB och Chalmers tekniska högskola avstår SHK från att lämna några säkerhetsrekommendationer.

Summary in English

On 17 December 2023, a loaded train operated by LKAB Malmtrafik AB derailed with one wheel near Tornehamn on the Malmbanan line between Kiruna and Narvik. The wheel and subsequently both wheels, derailed over a distance of 15 km causing extensive damage to the track. At Vassijaure station, the derailment worsened, with several vehicles derailing and inflicting further damage to the infrastructure. The derailment caused no injuries.

The investigation revealed that the wheel fractured from the running surface to the hub of the wheel axle, losing its press fit at the hub. This allowed the wheel to move inwards along the axle and derail inside the right rail in the direction of travel. The fracture initiated from a fatigue crack at the back of the wheel flange and progressed as a rapid brittle fracture along the entire length of the crack to the hub.

Technical investigations confirmed that the wheel met applicable requirements and standards. Additionally, no deviations in the maintenance of the wheel axle were identified.

The wheel damage was likely caused by a combination of unfavourable and interacting factors that had not previously been assessed in relation to the risks of fatigue cracks in the flange and brittle fracture in to the hub. Simulations and calculations of various load cases indicate that tensile stresses and fatigue cracks can occur in the flange. For more comprehensive insights that could lead to revised design and maintenance criteria, further studies and detailed analyses are required.

Causes of the accident

The direct cause of the derailment was a wheel moving along its axle.

The cause of the wheel moving was a fracture resulting from a fatigue crack in the flange, extending to the hub, which led to the wheel losing its press fit on the axle.

The load cases and factors that contributed to the fatigue crack and subsequent fracture likely interacted negatively and approached strength limits.

The load cases and factors that initiate and propagate fatigue cracks in the flange have not been part of normal design or maintenance criteria for railway wheels.

Safety recommendations

In light of the measures that have been taken or will be taken by LKAB Malmtrafik AB and Chalmers University of Technology, SHK refrains from issuing any safety recommendations.

2. Utredningen

Statens haverikommission (SHK) underrättades den 17 december 2023 om att en olycka inträffat samma dag på driftplatsen Vassijaure i Norrbottens län.

Den 18 december 2023 beslutade SHK att utreda händelsen med motiveringen att kostnaderna för olyckan uppskattades överstiga 2 miljoner euro.¹

SHK påbörjade olycksplatsundersökningen den 19 december 2023.

SHK har företrätts av Jonas Bäckstrand, ordförande, Mikael Hillbo, utredningsledare och Lars Dahlin, utredare.

SHK har biträtts av Element Materials Technology AB (Element) och Chalmers tekniska högskola (Chalmers) som experter på metallurgi och järnvägsmekanik.

Utredningen har följts av Transportstyrelsen genom Lena Ecström-Ärlik.

Utredningsmaterialet

- Undersökning av urspårningssträckan och olycksplatsen.
- Tekniska undersökningar av föremål från olycksplatsen.
- Faktaunderlag, styrande dokument och registreringar från berörda aktörer.
- Tekniska möten och dialog med LKAB Malmtrafik AB, Lucchini Sweden AB, Element och Chalmers.
- Platsbesök hos LKAB Malmtrafik AB i Kiruna, Lucchini Sweden AB i Surahammar och Duroc Rail AB i Luleå.

Underlag från utredningsmaterialet har arbetats in i rapporten.

Ett haverisammanträde hölls i Kiruna den 4 december 2024. Vid haverisammanträdet presenterades det faktaunderlag som fanns vid den tidpunkten.

¹ Kriterium i lagen (1990:712) om undersökning av olyckor för när järnvägsolyckor ska utredas.

Slutrapport SHK 2025:09

Typ av händelse:	Urspårning på en sträcka av 15 km
Tidpunkt:	2023-12-17 kl. 16.22–17.00
Järnvägsnät:	Del av Malmbanan Boden–Narvik
Sträcka:	Björkliden–Vassijaure (km 1520–1535)
Infrastrukturförvaltare:	Trafikverket
Trafikeringsystem:	System H
Tågskyddssystem:	ATC
Järnvägsföretag:	LKAB Malmtrafik AB
Trafikverksamhet:	Tågfärd
Tågnummer:	9914
Tåglängd:	746 meter
Tågvikt:	8 145 ton
Tågets största tillåtna hastighet:	60 km/tim
Fordon:	Två IORE-lok och 34 fordon av typen Fammoorr050 (68 parkopplade boggivagnar)
Första urspårade fordon:	87 74 6871151-1
Väder:	Uppehåll och nära 0 °C
Personskador:	Inga
Skador på fordon:	6 stycken Fammoorr050 skrotades
Skador på infrastruktur:	Spår, kontaktledning och byggnadsverk
Skador på miljö:	Inga skador

3. Faktaredovisning

3.1 Händelseförlopp

Söndagen den 17 december 2023 kl. 13.56 avgick LKAB Malmtrafik AB tåg 9914 från Kiruna med destination Narvik. Tåget bestod av två lok av typen IORE och 68 boggivagnar lastade med järnmalm. Vagnarna hade lastats i Svappavaara och framförts till Kiruna under förmiddagen.



Figur 1 visar en del av Malmbanan mellan Björkliden och Vassijaure (det grå strecket under väg E10). Tåg 9914 färdades från höger till vänster, illustrerat av de blå pilarna. Det första hjulet spårade ur efter Tornehamn på järnvägens km 1520 (1), tåget passerade Kopparåsen (2) och den slutliga urspårningen inträffade i Vassijaure på km 1535 (3). Till höger visas Sverige med en hänvisning till det berörda området. Källa: www.hitta.se ©Lantmäteriet.

På sträckan från Björkliden mot Kopparåsen, vid km 1520+650², spårade den 47:e vagnen ur med sitt fjärde och sista högra hjul i färdriktningen. Hjulet började att rulla innanför den högra rälen. Det vänstra hjulet på samma axel spårade inte ur varför boggin fortsatte att följa rälerna med tre av fyra hjul.

Det urspårade hjulet orsakade stora skador på rälsbefästningar och betongslipers innanför höger räl på en sträcka av 15 km till Vassijaure. Lokföraren märkte inte urspårningen eftersom ett lastat malmtåg har stor rörelseenergi och loken hög dragkraft. Enstaka urspårade hjul eller hjulaxlar påverkar därför i mycket begränsad omfattning tågets framförande.

Vid Kopparåsens driftplats uppstod skador innanför höger räl i de två växlar som tåget passerade.

Närmare Vassijaure driftplats, på km 1533, spårade även det vänstra hjulet på samma axel ur innanför sin räl. Den sista hjulaxeln på vagn 47 rullade därefter med båda hjulen innanför rälerna fram till Vassijaure driftplats. I den första växeln till spår 1 och 2 orsakade den urspårade hjulaxeln mer omfattande skador. Flera hjulaxlar spårade ur åt höger i färdriktningen, sannolikt hela den bakre boggin på vagn 47. De urspårade hjulaxlarna rullade till höger i spåret utmed spår 1, se bangårdsritning i figur 4.

I den avslutande växeln från spår 1 och 2 mot Riksgränsen tappade vagn 48 sina båda boggier och bottenluckan för malmtömning. Vagn 49 stoppades upp och trycktes tillsammans med vagn 50–57 åt sidan av spåret av rörelseenergin från den återstående delen

² Järnvägens längdmätning i kilometer + meter, i detta fall från Stockholm.

av tåget. Vagnarna spårade ur i ett snögalleri som skyddade spåret mot snödrev. De bärande delarna av snögalleriet skadades varefter väggar, tak och kontaktledning rasade över vagnarna, se figur 2.



Figur 2 visar i den vänstra bilden de sista vagnarna i tåget och det skadade snögalleriet. I bakgrunden till vänster står tågets främre del mot Riksgränsen. I den högra bilden visas några av de urspårade vagnarna med delar av det raserade snögalleriet över sig.

När bara den främre delen av tåget fortsatte gick bromssystemets huvudledning sönder och nödbromsen gick till. Tåget stannade efter cirka 200 meter med vagn 47 och 48 urspårade längst bak.

Tågets sista elva vagnar förblev stående på spåret bakom snögalleriet.

3.2 Räddningsinsats

Olyckan krävde ingen räddningsinsats.

3.3 Personskador

Olyckan orsakade inte några personskador.

3.4 Materiella skador

3.4.1 Skador på fordon

Vagn 47–57 fick varierande grad av skador.

Kostnaderna för skador på fordonen uppgick till 14,8 miljoner kronor.

3.4.2 Skador på infrastruktur

Skadorna på infrastrukturen blev mycket omfattande. Totalt behövde ungefär 26 000 betongslipers bytas ut. Ett stort antal rälsbrott uppstod. Vidare skadades sammanlagt fyra växlar i Kopparåsen och Vassijaure.

Delar av snögalleri 13A, i den västra delen av Vassijaure driftplats, föll samman och den takmonterade kontaktledningen rasade ner.

Trafikverket har beräknat de sammanlagda kostnaderna för återställandet av järnvägen till 500 miljoner kronor.

3.5 Personal

Lokföraren av tåg 9914 hade varit anställd som lokförare vid LKAB Malmtrafik AS i Narvik i 18 år. Lokföraren var utbildad på lokförarskolan i Norge och arbetade även som körlärare.

3.6 Berörda aktörer

Järnvägsföretaget LKAB Malmtrafik AB är ett helägt dotterbolag till gruvbolaget LKAB. Utöver järnvägstrafik för transport av järnmalm är LKAB Malmtrafik AB även underhållsansvarig enhet och utför underhåll på sina egna fordon.

Trafikverket är infrastrukturförvaltare med ansvar för drift- och trafikledning samt för att järnvägen är i ett trafiksäkert skick och att den får det underhåll som krävs.

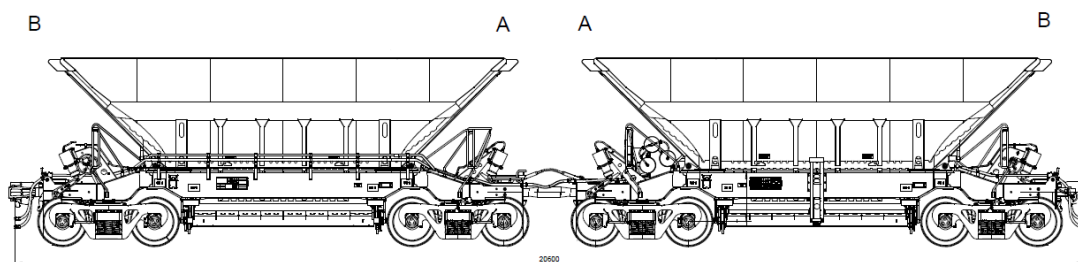
Italienska Lucchini RS tillverkar hjulämnena och Lucchini Sweden AB i Surahammar utför slutbehandling av hjul och monterar färdiga hjulaxlar till bland annat LKAB Malmtrafik AB.

Duroc Rail AB i Luleå utför underhåll av hjulaxlar för bland annat LKAB Malmtrafik AB.

3.7 Tåget och dess sammansättning

LKAB Malmtrafik AB använder sexaxliga, 180 ton tunga lok av typen IORE. Normalt används två lok med en sammanlagd längd av 46 meter till ett malmtåg.

Tåget hade 68 malmvagnar kopplade två och två med en fast dragstång och gemensam styrning av tryckluftsbromsen, se figur 3. Två vagnar bildar ett fordon med beteckningen Fammoor050 och ett gemensamt fordonsnummer. De har en sammanlagd längd av 20,6 meter, en egenvikt av 43,4 ton olastade och kan lastas till en axellast av 32,5 ton. LKAB Malmtrafik benämner varje vagn Fanoo.

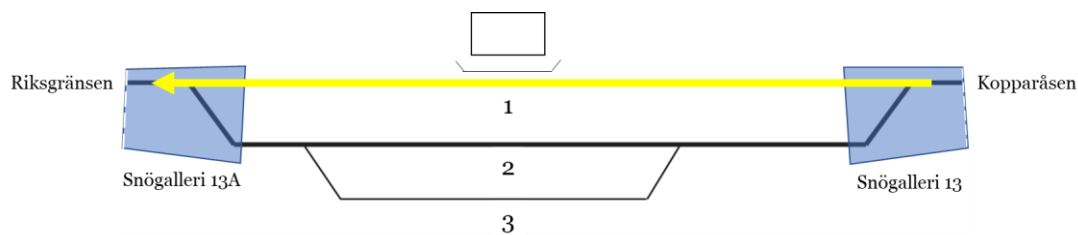


Figur 3 visar en ritning av två permanent kopplade malmvagnar med beteckningen Fammoor050. Källa: LKAB malmtrafik AB.

3.8 Infrastruktur

Malmbanan är den svenska järnvägen mellan Boden och Riksgränsen. Den norska sträckan från Riksgränsen till Narvik benämns Ofotbanen. Malmbanan är elektrifierad och enkelspårig med driftplatser där tåg kan mötas.

Vassijaure driftplats har tre spår. Spår 1 och 2 är nästan 800 meter långa och avsedda för tågmöte. Spår 3 är kortare och avsett för uppställning av fordon. Spår 1 har en 100 meter lång plattform framför stationshuset. Det finns långa snögallerier som sträcker sig in över växlarna till spår 1 och 2 i båda ändar, se figur 4.



Figur 4 visar en skiss över bangården på Vassijaure driftplats. Den gula pilen markerar tågets färdriktning.
Källa: Trafikverket.

Spåret är uppbyggt av betongslipers med ett avstånd av 0,55 meter och pandrolinfästning till räler som väger 60 kg/meter. Sträckan Kiruna–Narvik medger en axellast av 31 ton.

Trafikeringsystem H tillämpades, med hinderfrihetskontroll baserat på fullständiga signalställverk på driftplatserna och linjeblockering på linjen.

Tågskyddssystem på sträckan var ATC³.

Trafikledning av den svenska delen av Malmbanan sker från Trafikverkets trafikcentral i Boden. Den norska delen av järnvägen trafikleds av Bane NOR.

3.9 Olycksplatsundersökning

SHK undersökte olycksplatsen den 19–27 december 2023 med undantag för ett allmänt uppehåll i arbetet på olycksplatsen den 24 december.

3.9.1 Undersökning av infrastrukturen

Första skadan på km 1520

Efter urspårningen den 17 december var spåret inte helt täckt av snö. Trafikverket hade därför kunnat syna av och identifiera den första skadan i spåret på km 1520, på linjen mellan Björkliden och Kopparåsen.

Vid SHK:s första platsbesök på eftermiddagen den 19 december snöade och blåste det varför spåret hade täckts av snö. Med ledning av Trafikverkets iakttagelser sopades och kontrollerades skadeplatsen och ett antal platser framåt och bakåt i tågets färdriktning.

Den första skadan i spåret var vid kontaktledningsstolpe 115 på km 1520+657. En rälsbefästning hade slagits av från slipern innanför den högra rälen, se figur 5.

³ ATC – Automatic Train Control.



Figur 5 visar den första skadan på rälsbefästning innanför den högra rälen i tågets färdriktning. Den röda pilen markerar skadan och den gula pilen tågets färdriktning.

Den 20 och 21 december genomfördes undersökning av banan till fots från den första urspårningsplatsen fram till Vassijaure. En traktor røjde spåret från snö med en roterande borste.

Vid kontaktledningsstolpe 117, cirka 100 meter efter den första skadan, hittades ett bromsblock⁴ i spåret. Vid stolpe 129, cirka 600 meter vidare framåt, hittades ytterligare ett bromsblock. De två bromsblocken märktes upp och omhändertogs av SHK.

Från den första urspårningsplatsen var ungefär varannan rälsbefästning skadad. Från kontaktledningsstolpe 145 var alla befästningar innanför den högra rälen skadade. Det fanns inga motsvarande skador utmed den vänstra rälen.

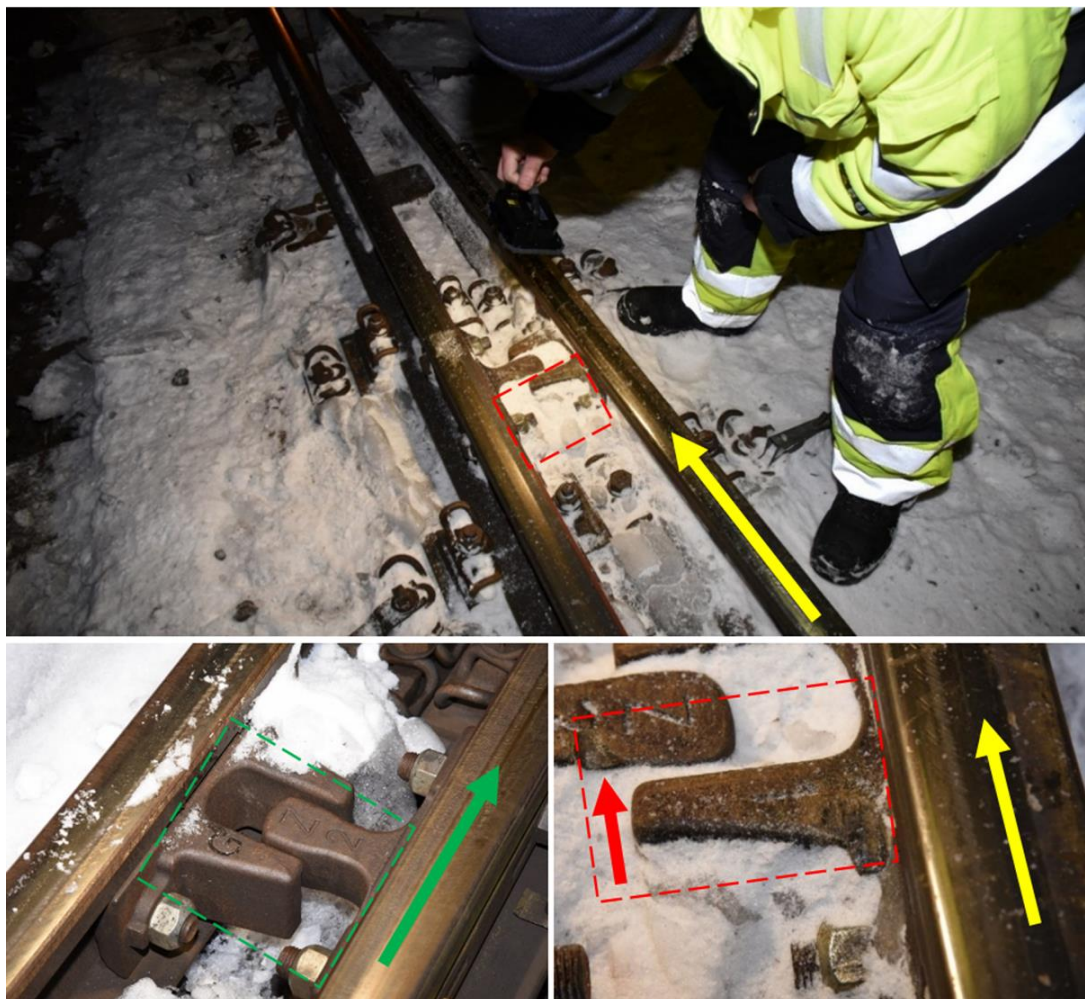
Vid kontaktledningsstolpe 151 fanns kablar över betongslipers i syfte att detektera urspårade hjulaxlar. Kablarna hade inte skadats, se vidare i avsnitt 3.14.5.

Skador vid Kopparåsens driftsplats på km 1524

Tåget passerade Kopparåsens driftsplats på spår 3, längst till höger i färdriktningen. Den första växeln låg därför i högerläge. Spetsen på den högra växeltungan i tågets färdriktning hade skadats.

I växeln i slutet av spår 3 mot Vassijaure fanns skador innanför den högra rälen med tydliga märken av en fläns och en löpbana tillhörande ett järnväghjul. Det fanns inte några motsvarande märken eller andra typer av skador på vänster sida i växeln, där det andra hjulet på en urspårad hjulaxel med normal spårvidd skulle ha rullat, se figur 6.

⁴ Ett bromsblock trycker mot hjulets löpbana för att bromsa tåget.



Figur 6 visar växeln i Kopparåsen från spår 3 mot Vassijaure. De gula pilarna visar den högra rälen och tågets färdriktning. Nere till vänster visas den oskadade detaljen på utsidan av den vänstra rälen, markerad i grönt. Till höger visas höger sida i växeln med tydliga märken av ett järnvägshjul i den röda streckade ramen. Den röda pilen pekar på märket från hjulflänsen. Löpbanans bredare avtryck framgår innan och till höger om flänsen.

De plywoodskivor som var monterade som snöskydd utmed rälna i växlarna var oskadade vilket visade att inga urspårade hjul passerat på utsidan av rälna.

Skador mellan Kopparåsen och Vassijaure på km 1525–1534

Direkt efter växeln i Kopparåsen på km 1525 fanns ett rälsbrott i den högra rälen.

På en sträcka av 1,6 km på km 1526–1527 fanns risk för laviner från intilliggande slutningar varför den delen av banan inte undersöktes. När den övriga olycksplatsundersökningen avslutades gjordes bedömningen att sträckan inte behövde undersökas av SHK.

Efter km 1527 mot Vassijaure fanns återkommande rälsbrott, först enbart i den högra rälen och från km 1533 även i den vänstra. Från km 1533 fanns även skador från ett urspårat hjul innanför den vänstra rälen.

Skador vid Vassijaure driftplats på km 1535

På Vassijaure driftplats framfördes tåget genom den första växeln i högerläge till spår 1. I växeln uppstod skador och ett lock av glasfiber över omlägningsmekanismen hade märken av två hjul innanför rälerna. Avståndet mellan flänsarna var 1010 mm, ungefär 400 mm mindre än det nominella måttet för en normalspårig hjulaxel. Snöskyddet av plywood på utsidan av rälerna vid växeltungorna var helt utan skador.

In genom växeln tvingades de båda hjulen mot varandra av rälerna mot korsningspartiet. Nära korsningen hade höger räl mot spår 2 gått sönder i ett antal delar. Något hade även fastnat i, böjt upp och slagit loss en del av moträlen på höger sida av växeln, se figur 7.



Figur 7 visar den första växeln i Vassijaure med skadorna närmast före korsningspartiet. Vidare visas spår 1 efter växeln med märken efter hjul till höger om spåret. Tågets färdriktning och den högra rälens markeras med gula pilar.

Efter växeln korsningsparti mot spår 1 fanns de första skadorna av hjul till höger om spåret. Där låg även delar till en boggi från en Fanoovagn.

Utmed spår 1 fanns fortsatta märken efter hjul i och till höger om spåret i färdriktningen. Plattformkanten på höger sida av spåret utmed stationshuset hade skador. Strax efter plattformen hittades en del av ett hjul mellan rälerna, se figur 8.

Vidare utmed spår 1 hade delar av en vägoövergång slagits loss och följt med fram till den avslutande växeln från spår 1 och 2. I växeln uppstod stora skador till följd av urspårade fordon. Ursparningen skadade även snögalleri 13A som skyddade spåret och växeln mot snödrev, varvid delar av konstruktionen och kontaktledningen rasade samman, se figur 8.



Figur 8 visar till vänster spår 1 med stationshuset och plattformen i bakgrunden. Mellan rälerna hittades en del av ett hjul, markerat med en röd streckad ruta. Till höger visas växeln från spår 1 och 2 mot Riksgränsen och det raserade snögalleriet. I bakgrunden ligger urspårade vagnar. Höger räl i färdriktningen är markerad med gula pilar.

Den främre delen av tåget fortsatte med två urspårade vagnar, vilket skadade spåret och snögalleriets högra vägg fram till platsen där vagnarna stannade. Framför den första urspårade vagnen och boggin var spåret och snögalleriet utan synbara skador.

Efter en inledande undersökning gav SHK medgivande till att riva de delar av snögalleriet som rasat ner ovanpå de urspårade vagnarna.

3.9.2 Undersökning av fordon

Loken och de 46 första vagnarna

IORE-lok 91 74 0000 103-3 och 91 74 0000 110-8 och de första 46 vagnarna stod på spåret och hade inte några skador som kunde kopplas till urspårningen. Lokets front hade stannat vid km 1536+070, på linjen mot Riksgränsen och Norge.

Efter undersökningen gav SHK medgivande att flytta fordonen till Narvik för kompletterande undersökning av LKAB Malmtrafik AB.

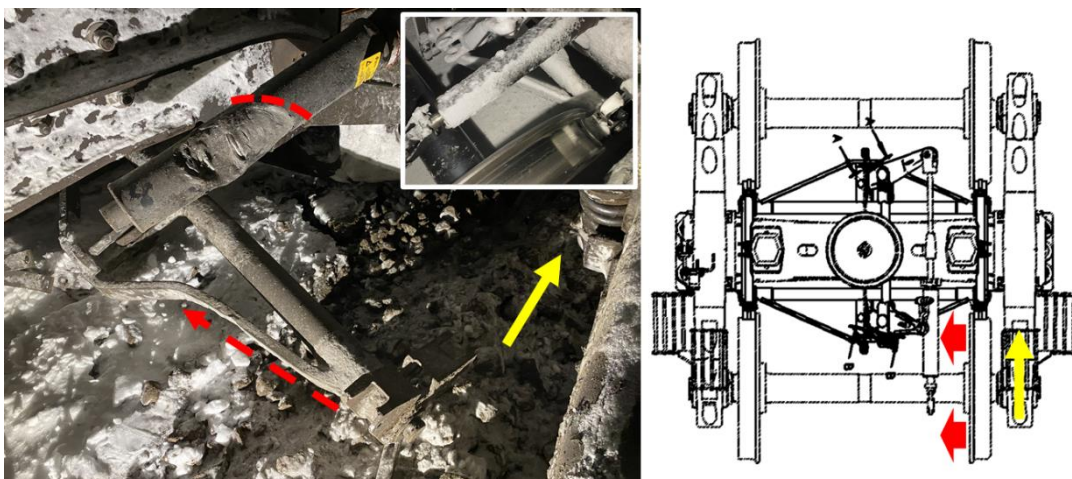
Vagn 47

Vagn 47 hade stannat vid km 1535+550, kopplad till vagn 46 och det framförvarande tåget. Den första boggin stod på spåret och hade inte några skador som kunde kopplas till urspårningen. Den bakre boggin hade spårat ur, lossnat från sitt fäste och förflyttats bakåt in under den permanenta kopplingen till vagn 48. Boggin saknade även den sista hjulaxeln, se figur 9.

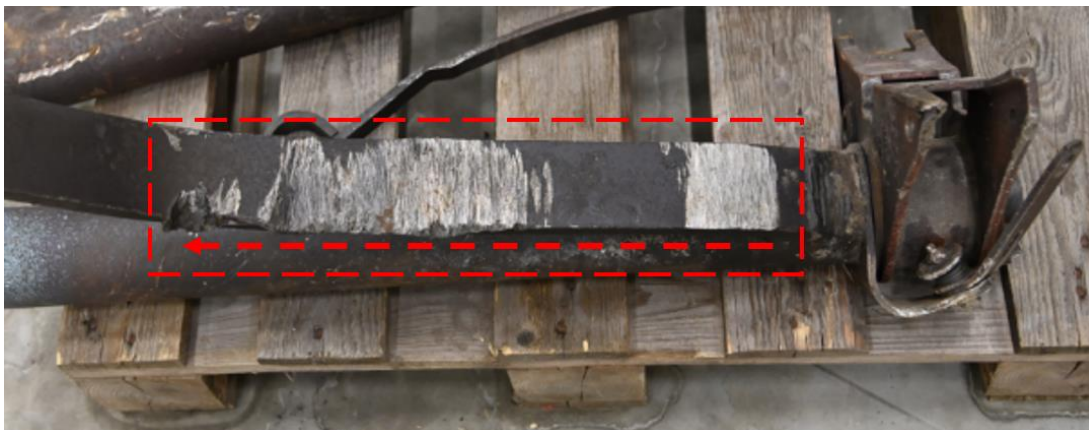


Figur 9 visar vagn 47 till vänster och den lossade boggien i mitten, som förskjutits bakåt mot vagn 48. Den röda pilen pekar mot platsen för den saknade hjulaxeln. Den högra rälen och tågets färdriktning är markerade med en gul pil.

I boggien vid den saknade hjulaxeln fanns skador som visade att det högra hjulet förflyttat sig i sidled. Hjulet hade skrapat mot och böjt ett diagonalt stag samt gjort ett nötningsmärke med radie på bromsregulatorn, se figur 10 och 11. Bromsblocken saknades i boggien.



Figur 10 visar bromsrörelsen vid den saknade hjulaxelns högra hjul. Skadorna är illustrerade av röda streckade linjer. Den infällda bilden visar en oskadad bromsrörelse med ett hjul i normal position som referens. Till höger visas en ritning av boggien med röda pilar som illustrerar hur hjulet flyttat sig i sidled. De gula pilarna visar tågets färdriktning. Källa ritning: LKAB Malmtrafik AB.



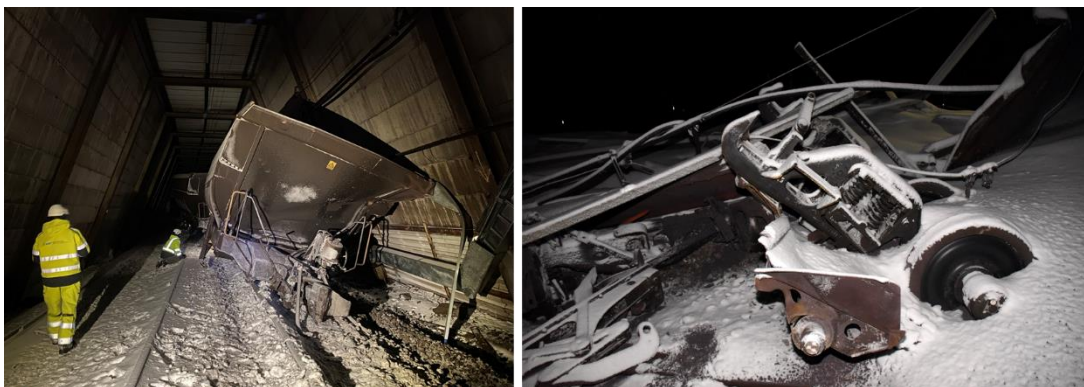
Figur 11 visar märken och skador från hjulet på det diagonala staget efter demontering och rengöring.

Efter undersökningen gav SHK medgivande att bärga vagn 47 samt beslutade att den bakre boggin, inklusive den kvarvarande hjulaxeln, skulle transporteras till SHK för teknisk undersökning.

Vagn 47 och den parkopplade vagnen 48 hade LKAB Malmtrafik AB:s vagnsnummer 4152 och 4151. Båda vagnarna hade genom sin permanenta koppling det gemensamma europeiska fordonsumret 87 74 6871151-1. Den saknade hjulaxeln hade LKAB:s beteckning HP10380.

Vagn 48

Båda boggierna och bottenluckan för lossning av järnmalm hade lossnat i växeln från spår 1 och 2 mot Riksgränsen. Kopplet hade släppt från vagn 49 och vagnskorgen släpats vidare i spåret efter tåget, se figur 12.

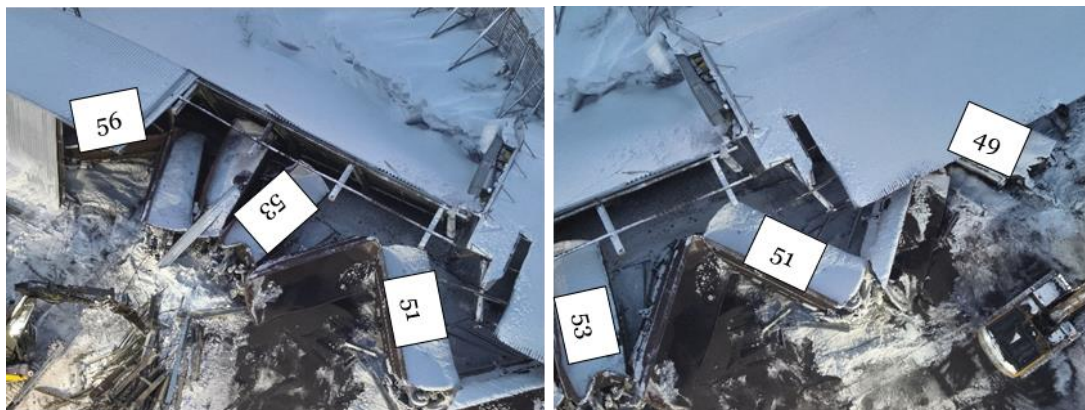


Figur 12 visar till vänster slutet av vagn 48 utan boggierna och bottenlucka inne i snögalleriet. Till höger ligger vagn 48:s boggierna och bottenlucka vid växeln från spår 1 och 2 mot Riksgränsen. Delarna döljs delvis av järnmalm som runnit ut från vagnen och från bakomvarande urspårade vagnar.

Efter undersökning gav SHK medgivande att bärga vagnskorgen.

Vagn 49–57

Vagn 49 hade stoppats upp, sannolikt av boggierna och bottenluckan från vagn 48. Rörelseenergin i den återstående delen av tåget gjorde att vagn 49–56 trycktes åt sidorna och placerade sig i olika vinklar mot spåret, se figur 13.



Figur 13 visar två drönbilder över den stora urspårningsplatsen efter att många delar av det raserade snögalleriet lyfts åt sidan. SHK har markerat positionen för några av vagnarna i båda bilderna. Tåget framfördes åt höger.

Några vagnar välte och tappade ut sin last av järnmalm. Vagn 57 spårade avslutningsvis ur åt höger medan den parkopplade vagn 58 stod kvar på spåret.

Efter den inledande fordonundersökningen gav SHK medgivande till bärgning för att kunna se dolda skador och föremål under vagnarna, se vidare nedan.

Vagn 58-68

De elva sista vagnarna i tåget stod kvar på spåret och hade inga betydande skador.

SHK gav medgivande att flytta vagnarna till Kiruna för kompletterande undersökning av LKAB Malmtrafik AB.

Den saknade hjulaxeln från vagn 47

Vid bärgningen hittades en skadad hjulaxel under vagn 49. När vagnen hade flyttats kunde hjulaxeln lyftas fram och bekräftas vara den saknade hjulaxeln HP10380 från vagn 47. Ett hjul hade lossnat från sitt nav och var förskjutet intill det andra hjulet på axeln. Hjulskivan var sprucken och saknade delar, se figur 14.



Figur 14 visar till vänster den skadade hjulaxeln under vagn 49 och till höger hjulaxeln när den kunde lyftas fram.

Under bärgningen av vagnarna hittades ytterligare en del av ett hjul.

Hjulaxeln flyttades till plattformen och det skadade hjulet kontrollerades tillsammans mot de två lösa delarna som hittats i spår 1 och under de urspårade vagnarna. Delarna passade och bildade ett i huvudsak helt hjul, se figur 15.



Figur 15 visar det skadade hjulet med de två lösa delarna inpassade. På vänster sida av hjulet framgår en spricka från löpbanan till navet.

Den skadade hjulaxeln och de två lösa delarna av hjulet omhändertogs av SHK för teknisk undersökning.

Efter avslutad undersökning av fordonen på olycksplatsen gjorde SHK ett platsbesök i LKAB Malmtrafik AB:s verkstad i Kiruna. Syftet var att se boggikonstruktionen och hjulaxlar på Fanoo-vagnar samt att få information av verkstadspersonalen.

3.10 Särskilda undersökningar

3.10.1 Inledande teknisk undersökning

Hjulaxel HP10380 med det skadade hjulet, de två lösa delarna av hjulet, de två bromsblocken och resterande delar av den bakre boggin från vagn 47 transporterades till SHK:s lokal för undersökning.

Hjulaxel HP10380

Hjulen var av typen Blue Light Super - BLS 32,5.

Märkningen på hjul och axel överensstämde med LKAB Malmtrafik AB:s uppgifter för hjulaxel HP10380 samt med dokumentation från tillverkaren Lucchini RS och Lucchini Sweden AB.

Utöver alla brottytor och skador på det lösa, högra hjulet hade även det vänstra hjulet och axeln skador till följd av urspårningen, se figur 16.



Figur 16 visar hjulaxel HP10380 vid den inledande undersökningen i SHK:s lokaler.

Axelns rullager påvisade inte tecken på varmgång eller andra fel som skulle ha kunnat orsaka hjulskada eller urspårning. Det fanns heller inga tecken på underskridna mått avseende hjulprofil och hjuldiameter eller andra uppenbara avvikelser på hjulen eller axeln. Båda hjulen hade blå färgskiftning och värmeoxider i radien under hjulringen, se vidare kapitel 3.10.2.

Efter en inledande undersökning och bland annat avgjutning av ytor i sprickan mot navet beslutades att skicka det spruckna hjulet inklusive de två lösa delarna till Element för fördjupad undersökning. Resterande delar av hjulaxeln och boggin bibehölls för undersökningar i SHK:s lokal.

Bromsblockens placering mot hjulen

Två bromsblock hittades i spåret, i anslutning till den första urspårningsplatsen. Det är sannolikt att bromsblocken lossnade av skakningar från det urspårade hjulet och att bromsblocket på höger hjul lossnade först.

Bromsblocket som hittades vid stolpe 117 hade tydligt slitage på sidan mot hjulflänsen. Det andra bromsblocket, som hittades vid stolpe 129, hade inte motsvarande slitage, se figur 17.



Figur 17 visar till vänster bromsblocket som hittades vid kontakledningsstolpe 117 med tydligt tecken på slitage på sidan mot en hjulfläns. Till höger visas bromsblocket från stolpe 129 utan motsvarande slitage på sidan som sitter mot hjulflänsen.

Bromsblockens slitage visar att placeringen mot löpbanan sannolikt var olika på höger respektive vänster hjul på HP10380.

LKAB Malmtrafik AB har beskrivit att bromsblocken teoretiskt ska vara centrerade mot mitten av hjulets löpytor. I praktiken påverkar bland annat hjulprofilen och bromsrörelsens spel i sidled bromsblockens anläggning mot hjulet. Bilder från andra Fanoo-boggier visar olika placering av bromsblock, se figur 18.



Figur 18 visar till vänster den teoretiska placeringen av ett bromsblock, i rött, mot hjulets löpyta i vitt. I mitten visas ett exempel på bromsblock som är placerat mot ytterkanten av hjulets löpyta. Till höger visas ett bromsblock som är placerat mot hjulflänsen. Källa: LKAB Malmtrafik AB.

Bromsblockets placering påverkar hur värme utvecklas i hjulringen och flänsen under inbromsning.

Bromsblocken är sintrade⁵ med järn som huvudsaklig komponent. LKAB Malmtrafik AB har använt samma typ av bromsblock i över 20 år.

3.10.2 Fördjupad teknisk undersökning av Element

Det skadade hjulet undersöktes av Element i syfte att klarlägga skadeförloppet och om möjligt fastställa orsaken till haveriet. Hela undersökningsresultatet beskrivs i bilaga 1.

Visuell undersökning

Det skadade hjulet hade en brottyta in till navet och två ytterligare brottytor till två lösa delar.

I två av hjulringens brottytor fanns utmattningssprickor i flänsen, se figur 19. Sprickan i brottyta 1 var 20 x 14 mm och sprickan i brottyta 2 var 20 x 9 mm.

⁵ Sintring är en process där fasta partiklar sammanfogas vid hög temperatur, dock under smältpunkten.



Figur 19 visar utmattningssprickorna i flänsarna vid brottytorna 1 och 2. Den mörka ovalen på brottyta 1 är spår efter avgjutning för tillverkning av replika (Struers Repliset) för kontroll i mikroskop.

Hjulets delar och brottytor illustreras i figur 20.



Figur 20 visar det skadade hjulet med brottytor markerade 1–3. Den blå färgskiftningen av värmeoxider framgår innanför hjulringen, markerad med en röd pil. De gula pilarna visar brottnens riktning enligt den fraktografiska undersökningen.

Fraktografisk undersökning

Den fraktografiska undersökningen visar brottyornas riktning i materialet. Det primära brottet bedöms ha utgått från utmattningssprickan i position 1 i figur 20. Det fortsatta brottet går i riktning mot navet och domineras av transkristallinskt klyvbrott, det vill säga ett snabbt överbelastningsbrott längs hela sprickans längd.

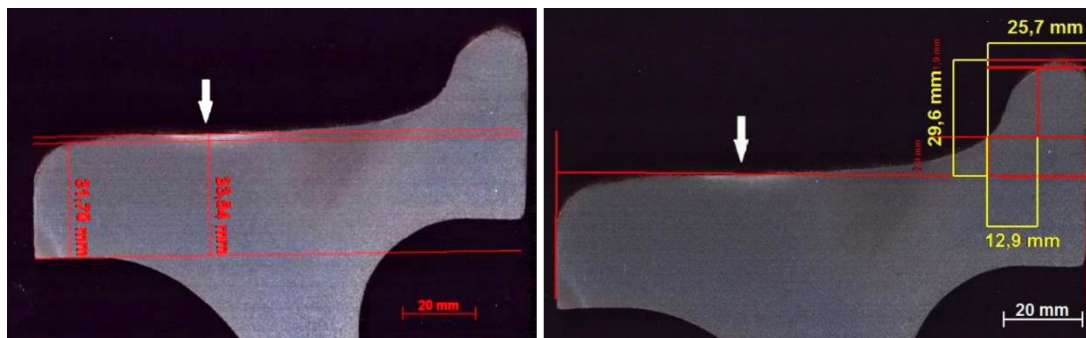
Brottet från position 2 går i riktning mot det primära brottet. Det innebär att brottet från position 2 inträffat efter brottet från position 1 in till navet.

Vid position 3 fanns ingen utmattningsspricka i flänsen. Brottriktningen går i riktning mot brottet i position 2.

Båda utmattningssprickorna i position 1 och 2 har undersökts med svepelektronmikroskop. Skador från urspårningen har gjort att det saknas finare fraktografiska kännetecken. Det medför att det inte har gått att exempelvis bedöma sprickornas tillväxthastighet.

I radien under hjulringen fanns en blå färgskiftning och oxidering till följd av uppvärmning.

Ett tvärsnitt av hjulringen mätte en tjocklek av 33,5 mm vilket motsvarar en hjuldiameter på 866 mm. I samma tvärsnitt var flänsbredden 25,7 mm och flänshöjden 29,6 mm, se figur 21.



Figur 21 visar ett tvärsnitt av hjulringen med en tjocklek av 33,5 mm samt flänsbredden 25,7 mm och flänshöjden 29,6 mm.

Underlag från LKAB Malmtrafik AB visar att kraven på hjulprofilen är en ringtjocklek över 29 mm, en flänsbredd över 24 mm och en flänshöjd under 34 mm.

Sammansättning

Materialanalysen visar att stålet överensstämmer med certifikat från tillverkningen och den tillämpade amerikanska standarden AAR M-107/M-208 (Class B).

Mekanisk provning

Materialets hållfasthet överensstämde med förväntade brott- och sträckgränser. Slagsegheten var låg vid rumstemperatur och ytterligare lägre vid minusgrader.

Hårdhet och mikrostruktur

Materialets hårdhet överensstämde med Lucchini RS:s certifikat från tillverkningen.

Mikrostrukturen avvek inte från den förväntade ferrit/perlitiska strukturen med en deformationszon under löpbanan.

Penetrantundersökning

Vänster hjul på HP10380 har kontrollerats med penetrant⁶ för att se om det fanns utmattningssprickor på insidan av flänsen. Inga sprickor kunde noteras.

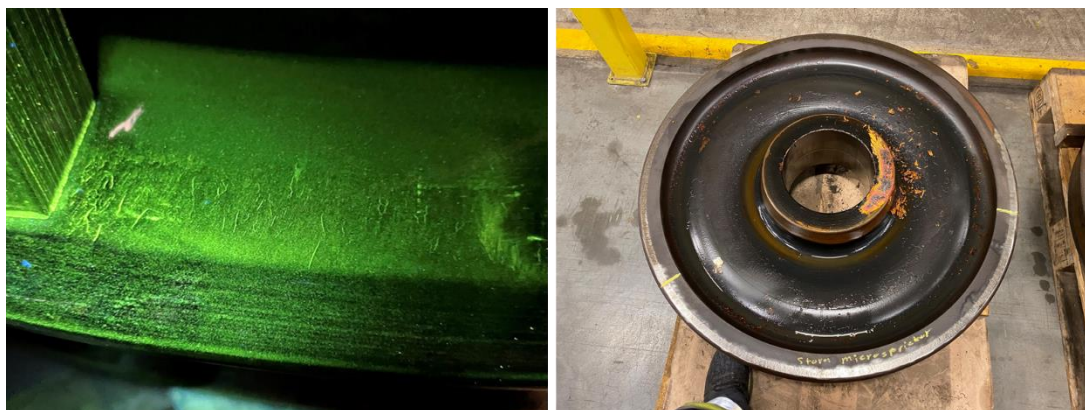
Sprickkontroll av andra hjul av samma typ

SHK genomförde den 20 oktober 2024 med hjälp av Element en sprickkontroll på tio utbytta BLS 32,5-hjul i Duroc Rail AB:s lokaler i Luleå. Hjulen hade sparats efter omstomning med montage av nya hjul på axlarna. Syftet var att se om andra BLS 32,5-hjul med sliten

⁶ En färgad vätska med låg ytspänning som tränger in i sprickor och sedan framträder när ytan behandlas med en framkallare.

hjulprofil och högt kilometerantal hade sprickor på insidan av flänsen. Undersökningen genomfördes med magnetpulverprovning.

Inget av hjulen uppvisade sprickor i själva flänsen. Fyra av hjulen hade radiella mikrosprickor i varierande omfattning på den plana insidan under flänsen. Hjulen hade även olika former av repor och hack på insidan av hjulringen, se figur 22.



Figur 22 visar till vänster radiella mikrosprickor på den plana insidan av hjulet upp till flänsen under provningen. Till höger visas ett av hjulen med markering med gul krita av området som hade mikrosprickor.

Slutsatser

Enligt Elements undersökningar behöver många faktorer samverka för att orsaka den aktuella utmattningssprickan och restbrottet till navet. Att det är många faktorer som behöver samverka förklarar att skadetyper är ovanlig och att de lastfall⁷ som driver den inte har varit en del av normal dimensionering av järnvägshjul. Se vidare i bilaga 1.

3.10.3 Simuleringar och beräkningar av Chalmers

Chalmers har biträtt SHK och Element med beräkningar, simuleringar och järnvägs-mekanisk kunskap. Syftet har varit att bedöma om skadan kan ha orsakats av de kända förutsättningarna eller om ytterligare faktorer behövs för att förklara haveriet.

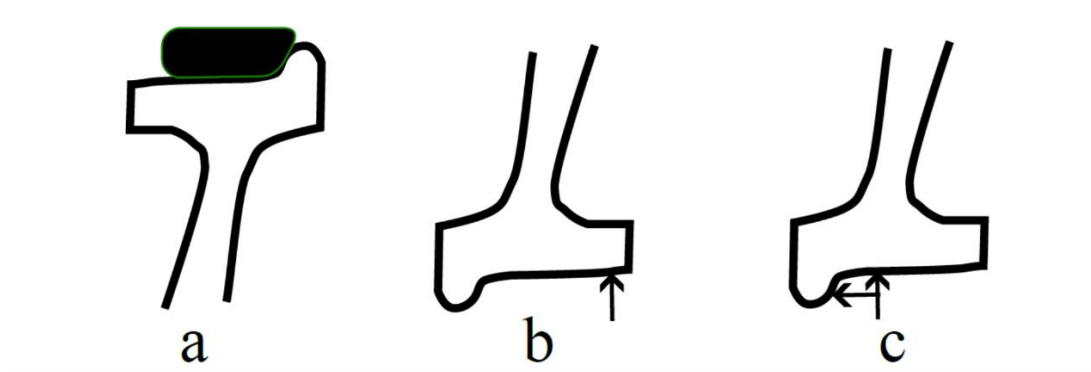
Skadorna på hjulet har delvis lett till nya former av beräkningar och simuleringar i förhållande till tidigare arbeten om järnvägshjul.

Hela undersökningsresultatet beskrivs i bilaga 2.

⁷ Ett lastfall är en uppsättning laster och villkor som omfattar ett specifikt lastförhållande.

Lastfall

Tre olika lastfall har simulerats i syfte att se hur de påverkar ett hjul och risken för sprickbildning i flänsen, se figur 23.



Figur 23 visar de tre lastfallen i beräkningarna.

Lastfall a) med termisk last från bromsblock mot flänsen.

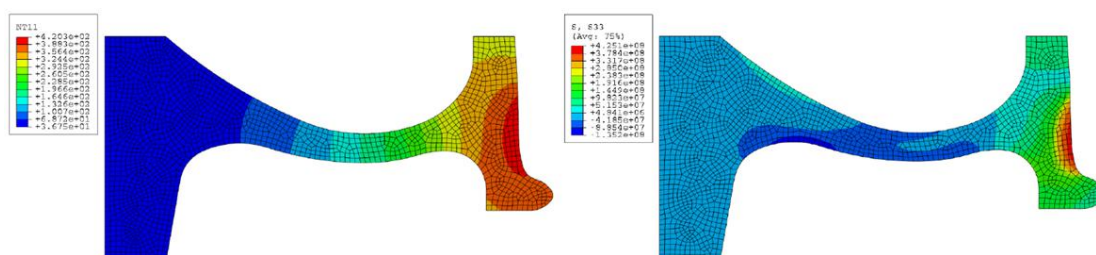
Lastfall b) om rälen är placerad närmare ytterkanten av hjulet.

Lastfall c) om ytterrälen ligger an mot hjulet och flänsen vid gång i kurva.

Restspänningstillstånd i flänsen efter lastfall a)

Tidigare studier visar att ett malmvagnshjul utvecklar cirka 30 kW bromseffekt under 30 minuter från Riksgränsen ner till Narvik. Bromsblockets termiska last och påverkan har tidigare simulerats med friktion närmare ytterkanten av hjulets löpbana, utan anliggning mot flänsen.

I denna studie har bromsblocket, med ledning av utredningens iakttagelser, simulerats att verka i innerkanten av löpbanan och mot flänsen med 30, 40, 50 respektive 60 kW effekt. Med 30 och 40 kW effekt kvarstod försumbara restspänningar efter bromsning och avsvanling men med 50 kW effekt kvarstod en dragspänning på 28 MPa på insidan av flänsen när hjulet svalnat. Resultat från simuleringen med 50 kW framgår av figur 24.



Figur 24 visar simuleringen med 50 kW. Till vänster hjulets högsta temperatur 420°C i det röda området och till höger en bestående restspänning på 28 MPa i flänsen.

Restspänningstillståndet i flänsen beror av den högsta värmepåverkan sedan föregående svarvning.

Spänningar i hjulet vid lastfall b) och c)

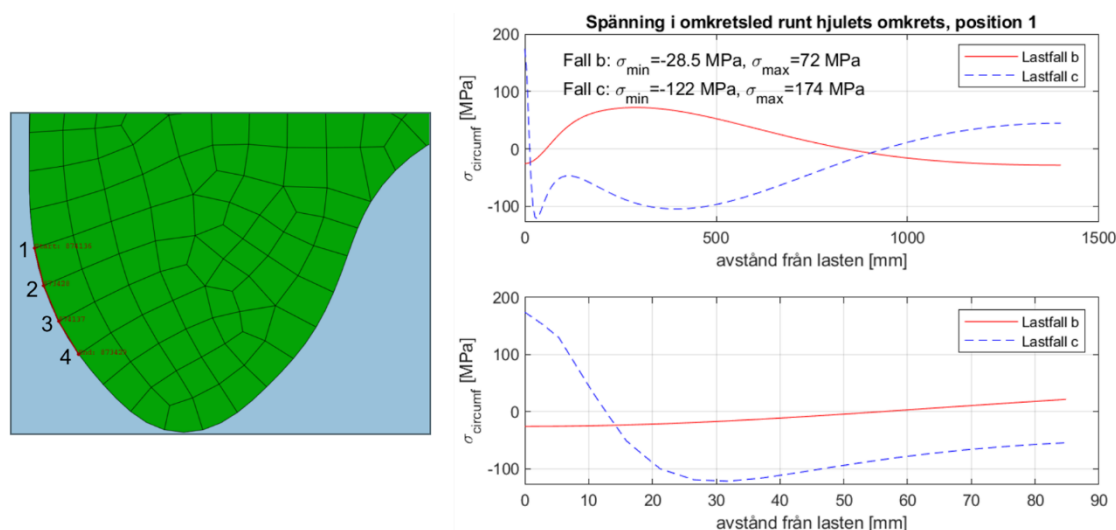
Angivna laster är baserade på EN 13979–1⁸ och axellasten 31 ton.

Lastfall b) har beräknats som en vertikal kraft på 191 kN, motsvarande 1,25 gånger den statiska hjullasten, applicerad 15 mm från hjulringens ytterkant.

Lastfall c) har beräknats som en vertikal kraft på 191 kN applicerad 27 mm från flänssidan samt en lateral kraft på 91 kN, motsvarande 0,6 gånger den statiska hjullasten, applicerad 14 mm ovanför löpcirkeln mot flänsen.

Simuleringarna mätte spänningar i fyra mätpunkter. Lastfall c) gav högre dragspänningar på insida fläns än lastfall b). De båda lastfallen och spänningarna samverkade inte, se figur 25.

Den högsta dragspänningen beräknades i lastfall c) till 174 MPa i position 1.



Figur 25 visar till vänster mätpunkterna 1–4 i flänsen samt till höger de uppmätta spänningarna i position 1 vid lastfall b) och c).

Utmattningshållfasthet

Materialets brottgräns i löpbanan och stommen ger en oreducerad utmattningsgräns nära 450 MPa i flänsen. För att sprickor ska initieras krävs en reduktion av utmattningsgränsen. Förutsatt att insidan av hjulet och flänsen har ytskador är en reduktion av utmattningsgränsen till en tredjedel inte orimlig. Bedömningen är därför att lastfall c) kan överstiga materialets hållfasthet och bilda utmattningssprickor.

Spricktillväxt

Det är utifrån befintliga data inte möjligt att med precision beräkna tillväxten och livslängden på en initierad spricka. En uppskattning av hur ofta höga lateralkrafter kan uppkomma kopplad till analys av spricktillväxt indikerar att sprickan behöver belastas under månader av drift innan den växt till risk för ett haveri.

⁸ EN 13979–1 Järnvägar – Hjulpar och boggier – Helhjul – Förfarande av konstruktionsbedömningen – Del 1: Smidda och valsade hjul

Slutsatser

Enligt Chalmers antyder simuleringarna och beräkningarna att dragspänningar och utmattningssprickor kan uppkomma i flänsen. Resultaten är dock nära hållfasthetsnivåerna varför många negativt påverkande faktorer — som hög bromseffekt mot flänsen, sliten hjulprofil, låg brottseghet, tidigare skada på insida av flänsen och höga belastningar — måste samverka för att orsaka ett utmattningsbrott. För mer omfattande resultat som kan leda till reviderade dimensionerings- och underhållskriterier m.m. behövs ytterligare studier och mer detaljerade analyser. Se vidare i bilaga 2.

3.10.4 Tekniska möten

SHK beslutade i samråd med Element att bjuda in LKAB Malmtrafik AB och Lucchini Sweden AB till tekniska möten och dialog i syfte att ge insyn i utredningen, dela preliminära utredningsresultat och komplettera faktaunderlaget i den fortsatta utredningen. SHK beslutade även att bjuda in Chalmers med ledning av deras kunskap och forskning kring järnvägsmekanik.

3.10.5 Tidigare erfarenheter av sprickbildning i flänsar vid underhåll

I samband med sprickkontrollen av BLS 32,5-hjul presenterade och diskuterade SHK fakta från utredningen med anställda på Duroc Rail AB, både med administrativ personal och med personal som arbetade med underhåll av hjulaxlar.

Nästan ingen hade erfarenhet av sprickor på baksidan av flänsen. Personal som arbetade med spricksökning av andra ytor på järnväghjul och axlar kände inte till problematiken och hade inte sett hjul med sprickor i fläns.

En svarvare med lång yrkeserfarenhet av hjulsvarvning hade kännedom om enstaka hjul av typen BLS 31 med sprickor i flänsen, senast ett hjul år 2019. Vid det tillfället hade sprickan i flänsen hanterats som en normal avvikelse och svarvats bort. I något annat fall hade hjulaxeln skickats till omstomning och fått nya hjul. Ingen av sprickorna hade bedömts som allvarliga fel och därför inte noterats eller rapporterats till LKAB Malmtrafik AB.

LKAB Malmtrafik AB svarvar cirka 25 % av sina hjulaxlar i den egna verkstaden i Kiruna (de övriga 75 % svarvas av Duroc Rail AB). LKAB Malmtrafik AB har inga rapporterade allvarliga fel eller andra noteringar om sprickor i fläns vid svarvning.

3.11 Väder

Låga temperaturer kan påverka hållfastheten för stål. SHK har frågat SMHI om temperaturer för sträckan Luleå–Riksgränsen en vecka före urspårningen. Mätstationerna sammanfaller inte helt med järnvägens sträckning men ger ett underlag för det närliggande området.

Veckan före urspårningen var det generellt kallare i norra Norrland. Den 12 och 13 december var temperaturen vid några tillfällen -29°C grader där fordon 87 74 6871151-1 och hjulaxel HP 10380 befann sig, se tabell 1.

Tabell 1

Datum:	På sträckan:	Lägsta temperatur °C:
10 december	Luleå–Vitåfors	–12,9
11 december	Luleå–Vitåfors	–13,7
12 december	Vitåfors–Riksgränsen	–28,9
13 december	Kiruna–Riksgränsen	–29,3
14 december	Svappavaara–Riksgränsen	–28,3
15 december	Svappavaara–Riksgränsen	–22,1
16 december	Svappavaara–Riksgränsen	–21,6
17 december	Svappavaara–Riksgränsen	–4,3

När tåg 9914 framfördes på sträckan från Kiruna till Vassijaure den 17 december var det uppehåll och nära 0 °C.

3.12 Sträckor för fordon 87 74 6871151-1 före urspårningen

LKAB Malmtrafik AB har redovisat på vilka sträckor fordon 87 74 6871151-1 och hjulaxel HP10380 framfördes veckan före urspårningen, se tabell 2.

Tågsätten och vagnen vändes några gånger i samband med lastning i Kiruna. Hjulaxel HP10380 var därför antingen fjärde eller femte axel i färdriktningen av de två permanent kopplade vagnarnas åtta hjulaxlar.

Tabell 2

Datum:	Sträcka:
10 december	Luleå–Vitåfors–Luleå
11 december	Luleå–Vitåfors–Luleå–Vitåfors
12 december	Vitåfors–Kiruna–Narvik–Kiruna
13 december	Kiruna–Narvik–Kiruna
14 december	Kiruna–Narvik–Kiruna–Svappavaara
15 december	Svappavaara–Kiruna–Narvik–Kiruna
16 december	Kiruna–Narvik–Kiruna–Svappavaara
17 december	Svappavaara–Kiruna–Vassijaure

3.13 Loggfiler

3.13.1 Registreringsutrustning

Tågets framförande bedöms inte ha haft påverkan på eller orsakat urspårningen. SHK har därför inte granskat lokets registreringsutrustning.

3.13.2 Signalställverket

Trafikverket loggar indikeringar från signalställverken. Av data framgår att tåg 9914 avgick från Kiruna malmbangård kl. 13.56 och att det mötte resandetåg 93 i Björkliden kl. 16.33. Tåg 93 var därför närmast föregående tåg på sträckan Björkliden–Vassijaure. Den första indikeringen på urspårning var kl. 16.58 när växeln från Vassijaure spår 1 och 2 mot Riksgränsen gick ur kontroll till följd av skador.

Inledningsvis fanns en tågväg ställd för resandetåg 96 från Björkliden via Kopparåsen mot Vassijaure. Tågklararen återtog tågvägen kl. 17.01 och förhindrade ytterligare tågrörelser genom att kl. 17.12 avspärra sträckan till Vassijaure. Tåg 96 befann sig då vid Abisko, cirka 20 km öster om den första urspårningsplatsen.

3.13.3 Spårläge

Trafikverket kontrollerar spårläget med mätvagnar. Mätningarna omfattar bland annat spårvidd och rälnas höjdläge. Stora avvikelser i spårvidd eller i höjdläge mellan rälna kan medföra risk för urspårning. Mindre avvikelser resulterar i felanmälan och planerade åtgärder. Allvarliga och akuta spårlägesfel resulterar i hastighetsnedsättning eller trafikstopp.

Den närmast föregående mätningen av spårläget på sträckan utfördes den 25 november 2023. Mätningen visade inga avvikelser eller fel som krävde direkta åtgärder. Vid urspårningsplatsen km 1520+650 var spårvidden 10–15 mm över normal spårvidd vilket är inom toleranserna och under den första gränsen för planerat underhåll.

3.14 Detektorer

3.14.1 LKAB Malmtrafik AB:s system för analys av detektordata

LKAB Malmtrafik AB använder systemet Predge Rolling stock och bland annat Trafikverkets detektordata för att analysera, identifiera och förebygga olika typer av hjul- och axelskador. Systemet kan skapa arbetsorder för kontroll av identifierade brister.

Det fanns noteringar i systemet för det aktuella hjulet på hjulaxel HP10380, ”wheel damage prediction” och ”visible wheel damage”, en förutsägelse om synlig hjulskada i perspektivet 20 000 km. Det var inte en notering om att hjulet hade allvarligare fel som krävde direkta åtgärder.

3.14.2 Trafikverkets detektorer

Trafikverket har detektorer i spåret i syfte att upptäcka fordonsfel som riskerar att skada infrastrukturen och orsaka olyckor. Överskridna gränsvärden genererar larm till trafikledningscentralen där tågklararen kan kontakta föraren av tåget och vidta andra säkerhetsåtgärder.

Varmgångs- och tjuvbromsdetektorerna registrerar höga temperaturer i hjullager eller hjul vilka i sin tur riskerar att orsaka fordonsskador och urspårning.

Hjulskaadedetektorerna registrerar vertikala krafter kopplade till hjulens kontakt med rälen. Höga krafter riskerar att skada rälen och orsaka rälsbrott.

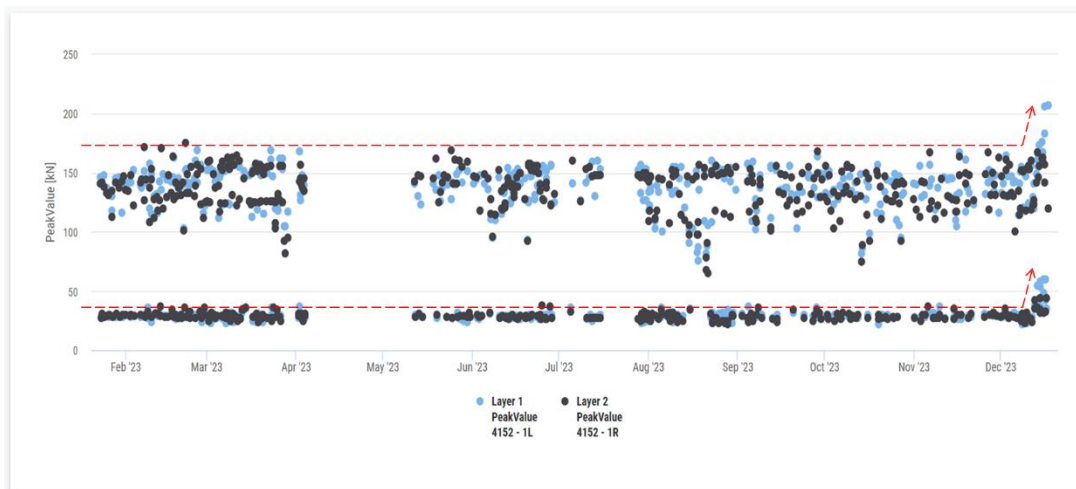
Trafikverkets detektordata är tillgängliga för järnvägsföretagen och kan kopplas till fordonssnummer med hjälp av RFID⁹.

Data för hjulaxel HP10380 under 2023

SHK har tagit del av data från detektorer på Malmbanan för 2023, inkluderat för tåg 9914 den 17 december.

Hjulaxel HP10380 har inte registrerat några avvikande höga temperaturer i lager- och tjuvbromsdetektorer under 2023. Tåg 9914 passerade tre varmgångs- och tjuvbromsdetektorer utan att registrera några förhöjda temperaturer. Den sista detektorn var strax söder om Abisko på km 1500.

I diagrammet i figur 26 visar "PeakValue 4152-1 L" med ljusblå prickar alla mätvärden för det aktuella hjulet på HP10380 i alla hjulskaadedetektorer under 2023. Värdena är högre för lastade tåg och lägre för olastade tåg. Från den 12 december 2023 börjar kraften mot rälen att öka jämfört med tidigare uppmätta högsta nivåer för 2023.

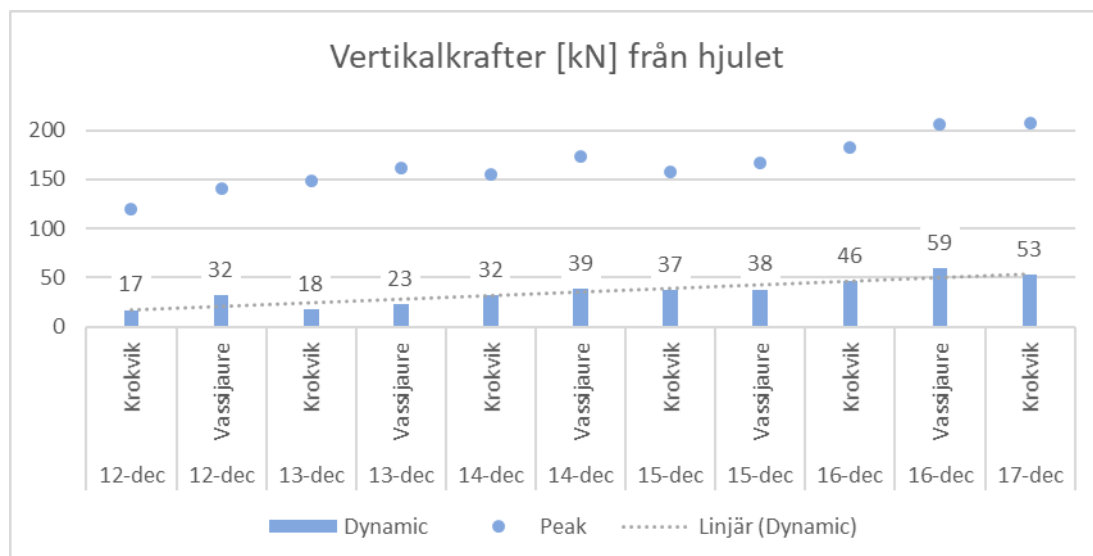


Figur 26 visar att krafterna för "PeakValue 4152 - 1L" med ljusblå prickar för det aktuella hjulet ökar för både lastade och olastade tåg från den 12 december, markerat med röda streckade linjer och pilar.

Källa: LKAB Malmtrafik AB.

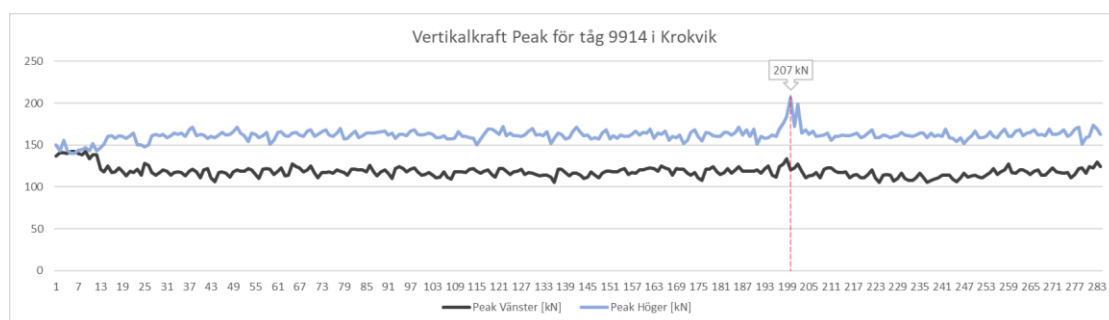
Hjulets dynamiska tillskott mot rälen (Dynamic) kan beräknas genom att ta bort medelkontaktkraften (Mean), motsvarande hjullasten, från hjulets högsta registrerade kraft (Peak). Diagrammet i figur 27 visar krafterna från det aktuella hjulet på hjulaxel HP10380 med lastade tåg förbi Krokvik och Vassijaure 12–17 december 2023. Både den högsta kraften Peak och det dynamiska tillskottet mot rälen är stigande och detektorn i Vassijaure visar generellt något högre värden.

⁹ RFID – Radio-frequency identification.



Figur 27 visar ökningen av vertikalkrafter från det aktuella hjulet i detektorerna Krokvik och Vassijaure. Källa: Trafikverket.

Den sista hjulskadedetektorn som passerades före urspårningen fanns i Krokvik på km 1419+390, strax väster om Kiruna. Höger hjul på hjulaxel HP10380 registrerade tågets högsta vertikalkraft Peak på 207 kN, se figur 28. Först ett värde över 350 kN hade genererat larm till trafikcentralen.



Figur 28 visar vertikalkrafter för hela tåg 9914 vid detektorn i Krokvik. Källa: Trafikverket.

3.14.3 Detektorer i Norge

SHK har tagit del av data från två norska hjulskadedetektorer dagen före urspårningen, för passage av samma vagnar som sedan gick i tåg 9914.

Detektorn i Haugfjell, efter Bjørnfjell, registrerade en vertikal kraft, Peak, på 155 kN för hjulet på hjulaxel HP10380, inte nämnvärt högre än genomsnittet 151 kN på samma sida av tåget. Detektorn registrerade även lateralkrafter utan avvikande värden för HP10380 i förhållande till övriga hjulaxlar.

Detektorn i Straumsnes, närmare Narvik, registrerade tågets högsta vertikalkraft på 180 kN för vagn 47 med hjulaxel HP10380. Det framgår dock inte för vilken av axlarna eller på vilken sida kraften var högst.

3.14.4 Övrig detektering

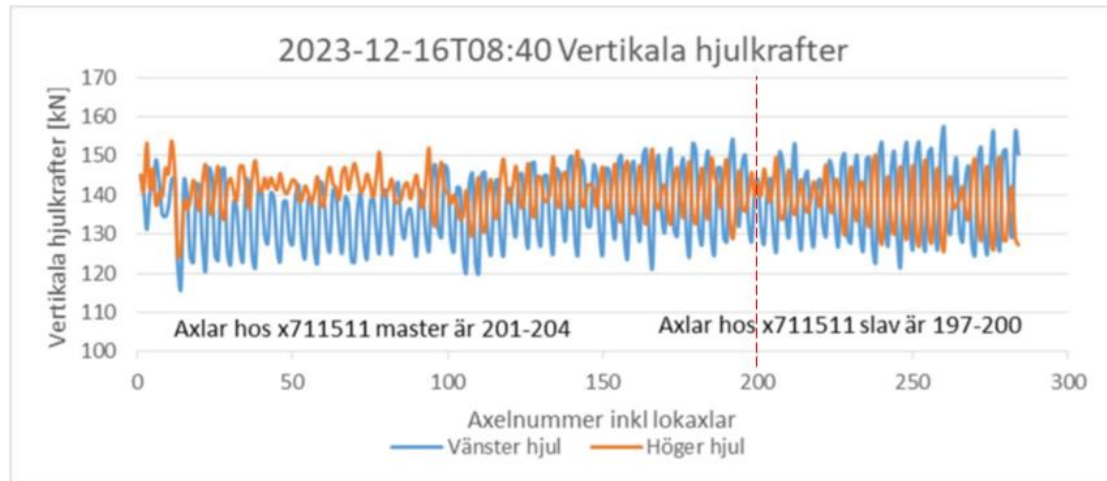
Damill AB är ett svenskt företag inom industriell mätteknik. Efter ett tidigare samarbete med Trafikverket och olika järnvägsföretag fanns mätutrustning kvar i spåret vid km 1521+763, en dryg kilometer efter den initiala urspårningsplatsen. Detektorn hade ingen koppling till Trafikverkets trafikledningscentral. Utöver vertikala krafter mot rälen registrerade givarna lateralkrafter och hjulaxlarnas vinkel i förhållande till spåret.

SHK bad Damill AB att ladda ner alla data fram till urspårningen i syfte att komplettera historiken för hjulaxel HP10380. Data har presenterats för SHK i en rapport.

Data visar att tåg 9914 passerade detektorn med en hastighet av 53 km/h. Axel 200, den fjärde hjulaxeln i färdriktningen på vagn 47, hade spårat av från höger räl och registrerade vertikala slag med ett mellanrum som motsvarade avståndet mellan varje betongsliper. Vagnens last komprimerades av att de övriga hjulen fick ökad belastning.

Rapporten redovisar vidare data för åtta lastade tåg fördelade över den tid som hjulaxel HP10380 var monterad på fordon 87 74 6871151-1. Första passage av detektorn skedde den 2 juli 2022. Underlaget visar inga avvikande vertikal- eller lateralkrafter för hjulaxel HP10380 eller förändring över tid i relation till övriga hjulaxlar i de utvalda tågen.

Vid passagen dagen före urspårningen registrerade detektorn, i likhet med den norska detektorn i Haugfjell, inga avvikande vertikalkrafter för axelposition 200 och hjulaxel HP10380, se figur 29.



Figur 29 visar data från Damill AB och vertikalkrafterna för tågsättet med hjulaxel HP10380 dagen före urspårningen.

3.14.5 Urspårningsslingor

Trafikverket har urspårningsslingor på Malmbanan i syfte att detektera redan urspårade hjulaxlar. En kabelslinga sitter klamrad vinkelrät mot spåret över ett antal slipers. Syftet med kabelslingan är att en urspårad hjulaxel ska skada kabeln som via ett relä påverkar den efterföljande signalen och stoppar tåget samt ger indikering till tågklararen i tågledningssystemet.

I det aktuella fallet passerade det urspårade hjulet tre urspårningsslingor, vid km 1522+433, 1526+604 och 1531+216, utan att skada kablarna i tillräcklig omfattning för att påverka signalanläggningen och stoppa tåget.

3.14.6 Lastfördelning i tåg 9914

Hjulskadedetektorn i Krokvik registrerade 58 % av vagnarnas last på höger sida av tåg 9914. För loken var fördelningen 51 % på höger sida vilket tyder på att detektorn var relativt kalibrerad mellan vänster och höger sida.

Hjulaxel HP10380 registrerade 15,7 ton på höger sida och 27 ton totalt för axeln. Sammanlagt registrerade 156 av hjulaxlarna en last över 15,5 ton på höger sida, det vill säga över hälften av den maximala axellasten 31 ton. Den genomsnittliga lasten för vänster och höger hjul på samma axel var dock 27,1 ton och inte över 31 ton i något fall.

Bilder på tågsättet visar att lasten ligger något förskjuten till höger. Det kan förklaras med att tågsättet lastades med hjullastare från vänster sida i Svappavaara.

3.15 Utveckling av hjul typ Blue Light Super 32,5

3.15.1 Ökning av största tillåtna axellast (STAX) på Malmbanan

Malmbanans infrastruktur medger högre laster och STAX än det övriga svenska och europeiska järnvägsnätet¹⁰. Infrastruktur och fordon har utvecklats för att möjliggöra högre transportkapacitet genom högre axellast och längre tåg. Sedan 2019 respektive 2021 kan tågen framföras med 31 tons axellast på sträckorna Gällivare–Luleå och Kiruna–Narvik. Trafikverket planerar och genomför åtgärder för att höja kapaciteten till 32,5 ton. LKAB Malmtrafik AB har motsvarande planering och har genomfört prov med vagnar och hjulaxlar för högre kapacitet, exempelvis med hjul av typen BLS 32,5.

3.15.2 BLS 32,5

Lucchini RS har utvecklat BLS 32,5 för en axellast av 32,5 ton enligt tekniska standarder och krav för tillverkning av järnvägshjul. Förändringen från föregående hjul typ BLS 31 var att tjockleken på hjultallriken ökades med 1 mm för att klara den ökade lasten från 31 till 32,5 ton.

LKAB Malmtrafik AB har haft nästan 5000 hjulaxlar med hjul av typen BLS 32,5. Vid omstomning med nya hjul ersätts idag BLS 32,5 av nya hjul som Lucchini RS typ SUR35 eller VMS 915 från tillverkaren Valdunes. I maj 2025 var 328 hjulaxlar med hjul av typen BLS 32,5 fortfarande i drift.

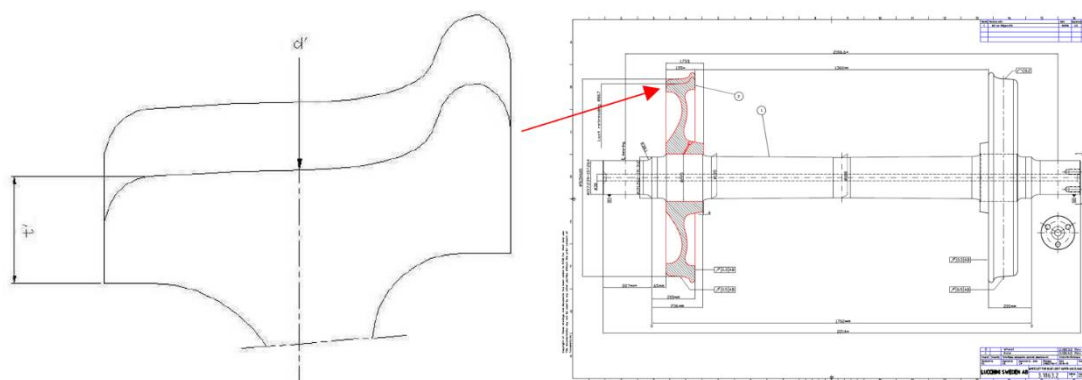
Hjul av typen BLS 32,5 har även levererats till andra fordon som brukas av andra järnvägsföretag.

¹⁰ I Sverige medges på vissa sträckor 25 tons axellast för godståg medan övriga Europa har upp till 22,5 tons axellast. Vid godstrafik i USA eller till exempel malmtrafik i Australien förekommer 35 eller 40 tons axellast.

3.15.3 Minsta tillåtna hjuldiameter

Hjul av typen BLS 31 hade tidigare en minsta tillåtna diameter efter svarvning på 867 mm. På förfrågan från LKAB Malmtrafik AB genomförde Charmec¹¹ inom Chalmers Tekniska Högskola år 2008 simuleringar och beräkningar för att bedöma om hjuldiametern kunde reduceras. Resultaten jämfördes med tidigare beräkningar och visade att en reduktion av diametern ner till 857 mm endast medförde begränsade och acceptabla ökningar i mekaniska påkänningar och restspänningar i hjulen. Lucchini Sweden AB tog del av resultatet i mars 2008.

LKAB Malmtrafik AB valde med underlag av beräkningarna att börja tillämpa en minsta hjuldiameter på 862 mm efter svarvning för BLS 31 och 32,5. En hjuldiameter d' på 862 mm motsvarar en hjulringstjocklek t' på 31,5 mm, se figur 30. Hjulringen klarar då ett slitage av 2,5 mm i drift innan den är 29 mm, vilket motsvarar den minsta tillåtna hjuldiametern på 857 mm.



Figur 30 visar hjulringens diameter d' och minsta tjocklek t' i relation till en ritning av hjulaxeln.
Källor: LKAB Malmtrafik AB och Lucchini Sweden AB.

För hjul av typerna SURA35 och VMS915 tillämpar LKAB Malmtrafik AB en minsta tillåtna hjulringstjocklek på 46,5 mm efter svarvning, motsvarande en hjuldiameter på 862 mm.

3.16 Historik för tillverkning av hjulaxel HP10380

Axel- och hjulämnena till HP 10380 tillverkades av Lucchini RS i Italien. Slutbearbetning och montage av hjulaxeln utfördes av Lucchini Sweden AB i Surahammar hösten 2018.

Hjulet som havererade var tillverkat i batch E1800069 med märkning E1800069-59. Materialcertifikat och testprotokoll från Lucchini RS visar att gällande krav var uppfyllda.

En serie mätprotokoll från Lucchini Sweden AB visar att slutbearbetning, montage och kontroll av den aktuella hjulaxeln utfördes mot gällande krav och utan anmärkningar.

Axeldiametern vid navet noterades vara 220,013 mm och hjulets innerdiameter 219,71 mm innan det värmdes upp och krymptes fast på axeln. Efter montage uppmättes det så kallade A-måttet, mellan hjulskivornas insidor, till 1360,04 mm. Hjuldiametern var 914,9 mm.

¹¹ Chalmers Railway Mechanics (Charmec) – är ett nationellt centrum inom järnvägsmekanik etablerat vid Chalmers tekniska högskola med tolv intressenter från näringsliv och förvaltningar, bland annat Trafikverket och Lucchini Sweden AB. Forskningen utgår från samverkan mellan fordon/bana och relaterade fenomen.

Hjulaxeln levererades till LKAB Malmtrafik AB den 25 oktober 2018.

3.17 Historik för underhåll av hjulaxel HP10380

Hjulaxel HP10380 monterades på en vagn den 31 oktober 2018 och ingick fram till oktober 2020 i tester för 32,5 tons axellast. Det finns inga noteringar om skador på hjulaxeln kopplade till provperioden.

Hjulaxeln har kontrollerats vid planerad översyn med ett intervall av 80 000 km.

Det finns två arbetsorder för avvikelser på hjulaxeln, båda avseende brister i hjulprofilen som krävde åtgärd med svarvning.

Den 5 februari 2021 skapades en arbetsorder på grund av att hjulet hade så kallad dubbel-fläns. Det innebär att hjulets löpyta mot rälen är skålformad vilket påverkar hjulaxelns gång i spåret negativt. Svarvning är noterad den 1 mars 2021 från en hjuldiameter av 906 mm till 900 mm. Hjulaxelns A-mått noterades efter svarvning till 1359,21 mm.

Den 27 oktober 2021 skapades en arbetsorder på grund av för tunn hjulfläns. Svarvning är noterad den 2 mars 2022 från en diameter av 899 mm till 866 mm. A-mått efter svarvning uppmättes till 1359,22 mm.

Den 29 juni 2022 monterades hjulaxel HP10380 på fordon 87 74 6871151-1 och behöll samma position, utan rapporterade skador eller ytterligare arbetsorder fram till urspårningen.

Vid urspårningen hade hjulen ackumulerat en sträcka av totalt 528 081 km.

Det finns inga noteringar eller arbetsordrar om tjuvbroms för hjulaxeln som kan kopplas till den blå värmeoxid som fanns på hjulet efter urspårningen.

3.18 Regler för underhåll

3.18.1 Underhållsansvarig enhet (ECM)

Krav för att ett järnvägsfordon ska få tas i bruk beskrivs bland annat i EU-förordningen 2019/779¹². Förordningen ställer krav på certifiering av *underhållsansvarig enhet* (ECM - Entity in charge of maintenance). LKAB Malmtrafik AB innehar certifiering som underhållsansvarig enhet sedan den 18 december 2013.

Syftet med en underhållsansvarig enhet är att det ska finnas ett utpekat ansvar för den kompetens som krävs för att styra underhåll av järnvägsfordon. Ansvaret är uppdelat på fyra funktioner F1–F4, se tabell 3.

¹² Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2019/779 av den 16 maj 2019 om fastställande av detaljerade bestämmelser om certifiering av enheter som ansvarar för underhåll av fordon i enlighet med Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2016/798 och om upphävande av kommissionens förordning (EU) nr 445/2011.

Tabell 3 beskriver de olika funktioner som ingår i en underhållsansvarig enhet.

Funktion	Uppgift	Vem
Ledningsfunktion (F1)	Ansvarig för att övervaka och koordinera underhållsfunktionerna F2, F3 och F4	LKAB Malmtrafik AB
Underhålls-utvecklingsfunktion (F2)	Ansvarig för att skapa, upprätthålla och uppdatera underhållsdokumentation	LKAB Malmtrafik AB
Styrning av underhåll (F3)	Ansvarig för beställning och kontroll av fordon inför och efter underhållsaktiviteter	LKAB Malmtrafik AB
Utförande av underhåll (F4)	Ansvarig för genomförande av underhåll	LKAB Malmtrafik AB Duroc Rail AB*

*Duroc Rail AB genomför underhåll av hjulaxlar på uppdrag av LKAB Malmtrafik AB.

Ledningsfunktionen F1 ansvarar för att skapa rätt förutsättningar för genomförandet och utvecklingen av underhållet och ska bland annat riskhantera, övervaka och säkerställa att information och dokumentation fungerar på ett tillfredsställande sätt samt att se till att kontinuerlig förbättring sker och att kompetensen förvaltas.

Funktionerna F2, F3 och F4 skapar tillsammans en underhållsprocess för järnvägsfordon. Styrande dokument beskriver hur underhåll av hjulaxlar ska utföras i förebyggande och felavhjälpanande syfte.

LKAB Malmtrafik AB använder systemet Maximo för registrering och beställning av underhåll. När uppsatta parametrar uppnås genereras en beställning om underhåll och enheten för styrning av underhåll planerar in vagnen till rätt plats och verkstad. LKAB Malmtrafik AB genomför främst eget underhåll men upphandlar även tjänster som exempelvis lagerrevision och omstomning av hjulaxlar enligt avtal med Duroc Rail AB.

Den enhet som utför underhållet ska intyga att alla åtgärder utförts enligt underhållsdokumentationen. Avslutningsvis kontrollerar funktionen som styr underhållet att alla planerade åtgärder är utförda innan vagnen sätts i trafik.

3.18.2 Hantering av avvikelser

LKAB Malmtrafik AB ska enligt förordningen om underhållsansvarig enhet ha ett förfarande för att regelbundet samla in, övervaka och analysera relevanta säkerhetsdata såsom information om erfarenheter, felfunktioner, defekter och reparationer kopplat till den dagliga driften och det dagliga underhållet.

Funktioner som genomför underhåll ska lämna uppgifter om eventuella fel eller defekter som rör säkerheten och som organisationen har upptäckt.

LKAB Malmtrafik AB ska även ha förfaranden för att säkerställa att olyckor, tillbud och händelser som kunde ha lett till olyckor eller andra farliga händelser rapporteras, registreras, utreds och analyseras.

LKAB Malmtrafik AB tar upp rapporterade avvikelser vid bl.a. regelbundna analysmöten där funktionen för underhållsutveckling bedömer, analyserar och beslutar om förändringar i underhållsprocessen.

Avvikelser i samband med drift

Rutinen för kontroll av hjulaxlar i drift beskrivs bland annat i det styrande dokumentet LKAB-174-61 *Syning av malmvagnar*.

Kvalitetskontroll ska göras vid tågs ankomst till Kiruna samt på annan plats där vagnar ska lastas. I kontrollen ingår bland annat att okulärt kontrollera ringtjocklek, löpbanan, hjulfläns, dubbelfläns, hjulaxel och hjulstomme samt lager. Kontrollen ska säkerställa att vagnen är trafikduglig och kan skickas på ett nytt transportuppdrag.

Säkerhetssyning ska göras före tågs avgång med inriktning på utförd lastning samt på de detaljer som kan ha påverkats vid sammansättning av tåget.

Om kontrollerna upptäcker en trafiksäkerhetsavvikelse eller skada ska vagnen rapporteras i Maximo, märkas med skadeanslag och åtgärdas av utbildad personal.

Avvikelser i samband med översyn

Underhållsinstruktionen *Översyn av vagn Fanoo UI2* anger att översyn ska planeras med ett intervall av 80 000 km för kontroll av hela vagnen. Hjulpar ska kontrolleras avseende bland annat hjulprofil, hjuldiameter, oxidation på hjulskivan till följd av tjuvbroms och för skador eller otillåtna sprickor i hjulbanan. Hjulstommen får inte ha sprickor. Avseende tjuvbroms finns tydliga instruktioner rörande ny färgbortbränning med skarp kant och oxidation på hjulskivan.

Vid identifierat fel ska hjulparet bytas ut.

Avvikelser i samband med underhåll i hjulverkstad

MTF1 *Hjulpar - vagnar Underhållsanvisningar* beskriver hur underhåll ska genomföras av hjulverkstäder. Avseende hjulen behandlas okulärbesiktning av skador, svarvning och omstomning av hjul. Allvarliga skador ska rapporteras till LKAB Malmtrafik AB. Som allvarligare skada har angivits sprickor i löpbanan, om dessa når ut mot löpbanans kanter, övriga sprickor i hjulet, axelsprickor, brott i hjul och axel samt lossnat krympförband.

3.18.3 Regler för sprickor på insidan av hjulringen

Det finns detaljerade krav på hjulets löpbana och på flänsen mot löpbanan, det vill säga de ytor som normalt samverkar med rälerarna. Kraven avseende skador på insidan av flänsen och hjulringen är mindre reglerade.

Europeisk standard

Den europeiska standarden EN 15313 *Drift- och underhållskrav för hjulpar* beskriver i punkt 6.2.3.10 om radiella märken och radiella defekter på insidan av hjulringen:

- Radiella märken på hjulringens insida är tillåtna.
- Det får inte finnas några radiella ytmärken som uppvisar en skåreffekt, på engelska "Notch effect"¹³.

Standarden definierar inte skillnaden mellan tillåtna radiella märken på hjulringens insida och radiella ytmärken som uppvisar en skåreffekt. SHK:s bedömning är att alla radiella märken kan uppvisa en skåreffekt som från ett hållfasthetsperspektiv kan ge spänningskoncentrationer i materialet.

LKAB Malmtrafik AB

LKAB Malmtrafik AB har implementerat EN 15313 i rutiner och underhållsdokumentation.

Utöver regler för kvalitetskontroll och säkerhetssyning i drift samt vid översyn anges krav i MTF 1 *Hjulpar - vagnar Underhållsanvisningar*:

Punkt 5.3.4 *Toleranser och ytjämnhet*: "Hjul som ej ska omsvarvas får ha mindre ytfel, typ intryckningar, porer på löpbana och fläns. Sprickor eller sådana ytfel som kan utgöra brottanvisningar får ej förekomma."

3.19 Hälsa och arbetsmiljö

Hälsa och arbetsmiljö bedöms inte ha påverkat händelsen.

3.20 Tidigare liknande händelser

3.20.1 Narvik 2019

LKAB Malmtrafik AB hade en liknande skada mellan löpbanan och navet i Narvik den 14 januari 2019. Felet identifierades i samband med säkerhetssyning före avgång mot Kiruna. Vagnen växlades ur tåget för hjulbyte och undersökning av hjulet.

Hjulaxeln hade hjul av typen BLS 31. Hjuldiametern uppmättes efter händelsen till 869,1 mm och hjulflänsen till 26,9 mm vilket var godkända värden.

Historik visade att tjuvbroms inträffat i januari 2016 varefter hjulaxeln skickats till Duroc Rail AB för kontroll och åtgärd. LKAB Malmtrafik AB föreskrev att hjulskivor skulle bytas ut efter konstaterad tjuvbroms vilket inte gjordes i detta fall. Åtgärden blev svarvning, varefter

¹³ En skåra, "Notch", kan orsaka en spänningskoncentration i materialet och leda till initiering och tillväxt av utmattningsprickor.

hjulen rullade ytterligare 294 586 km innan brottet uppstod. Hjulpåret hade sammanlagt ackumulerat 595 559 km.

Lucchini RS undersökte det skadade hjulet, se figur 31. Resultatet visade att det fanns en utmattningsspricka i större delen av flänsen, utan inneslutningar eller föroreningar i sprickområdet. Materialet uppfyllde gällande specifikationer. Det fanns inga bevis för hög temperatur eller lokal uppvärmning nära initieringsområdet för flänsen. Yttre påverkan och plastisk deformation av flänstoppen bedömdes ha initierat sprickan i flänsen.



Figur 31 visar det spruckna hjulet från Narvik 2019 med sprickan i flänsen i detalj. Källa: LKAB Malmtrafik AB och Lucchini RS.

3.20.2 Referenser till andra hjulskador med spricka i fläns

SHK har under utredningsarbetet inte funnit någon annan specifik händelse med utmattningsspricka i flänsen och brott in till navet än händelsen i Narvik 2019. Ett fåtal referenser till sprickor i fläns har identifierats i andra dokument.

En amerikansk rapport, *Wheel Failure Investigation Program*, från 2021 berör ”Thermal cracking in flange” som ett av sex problem beträffande hjulskador. Skadan beskrivs som mycket ovanlig efter att ringhårdning infördes som krav 1989. I en sammanställning av data 1995–2015 med 250 till 350 hjulhaverier årligen finns inget registrerat fall.

Det brittiska dokumentet RIS-2766-RST *Rail Industry Standard for Wheelsets* illustrerar avsnittet om hjulskador med en bild och texten ”Crack on flange” utan vidare fördjupning.

3.21 Vidtagna åtgärder

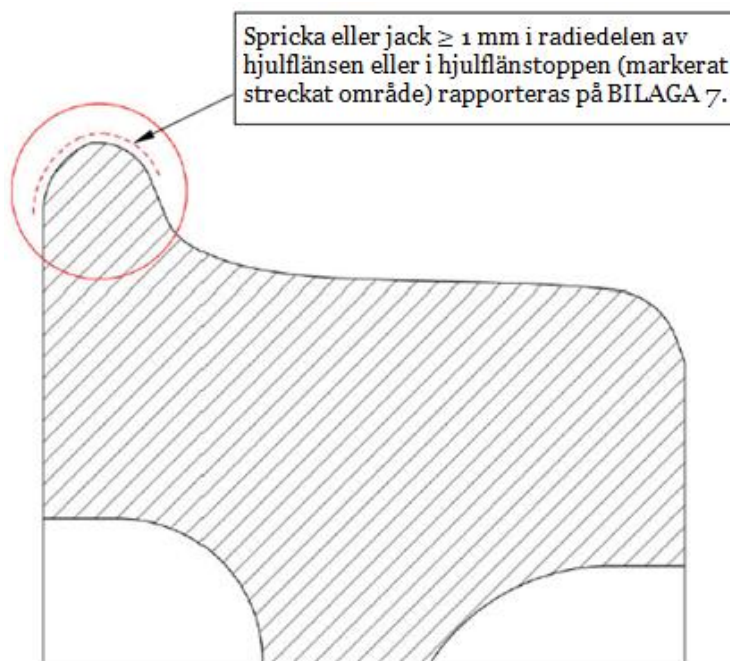
3.21.1 LKAB Malmtrafik AB

LKAB Malmtrafik AB har redogjort för de åtgärder man har vidtagit respektive avser att vidta till följd av olyckan.

Vidtagna åtgärder:

- Ökat samarbete med Trafikverket och Bane NOR avseende delning av befintliga detektordata samt för utveckling och nyanskaffning av detektorer.
- Arbetsorder på hjuldefekter ska genereras i tidigt skede för byte av hjulaxel.
- Bilder på hjulskador i syningsinstruktioner som syftar till att underlätta för avsyningspersonal att identifiera allvarliga hjulskador.

- Förbättrade rutiner för hantering och underhåll av hjulaxlar i syfte att undvika initiering av hjulskador och förbättra uppföljning av bl.a. hjulsprickor, se exempel i figur 32.



Figur 32 visar en ny skiss i MTF 1 *Hjulpar vagnar – Underhållsanvisningar* som förtydligar sprickbildning i fläns och även förtydligar vilka åtgärder som ska vidtas om en spricka upptäcks. Källa: LKAB Malmtrafik AB.

Planerade och framtida åtgärder:

- Aktivt deltagande i forskning och utveckling i syfte att möjliggöra tekniska lösningar
- Kombinera data och använda maskininlärning (AI) i syfte att tidigare identifiera fel och avvikelser.
- Ökad användning av oförstörande provning i syfte att tidigare upptäcka fel och reducera antalet hjulskador i trafik.

3.21.2 Chalmers tekniska högskola

Kunskap om hjulskadan har tagits upp i kursen Järnvägsteknik och kommer från hösten 2025 även att tas upp i kursen Brottmekanik och utmattning.

Händelsen har överskådligt presenterats i ett internt seminarium och haveriutredningen presenterades i ett publikt seminarium i samband med Charmecs styrelsemöte i slutet av april 2025.

Gällande forskning kommer metoder, resultat och slutsatser från haveriutredningen att inarbetas i flera projekt inom bland annat materialteknik, simulering, materialutmattning och riskanalys. Chalmers arbetar även på vetenskapliga artiklar om haverianalysen för att kvalitetssäkra och sprida kunskapen.

4. Analys

Detta avsnitt innehåller en samlad analys av roller och ansvarsområden, rullande materiel och tekniska anläggningar, mänskliga faktorer och återkopplings- och kontrollmetoder, inklusive risk- och säkerhetsstyrning samt övervakningsprocesser.¹⁴

Tåg 9914 avgick från Kiruna utan kända trafiksäkerhetsavvikelser på den berörda vagnen eller hjulaxeln som först spårade ur. Det fanns inga kända avvikelser för spåravsnittet där urspårningen inträffade. Förarens framförande av tåget påverkade inte urspårningen eller det efterföljande förloppet.

Hjulet och hjulaxeln hade tillverkats enligt en gällande standard och dimensionering för järnvägshjul med 32,5 tons last. Inga materialfel eller avvikelser under tillverkningen har framkommit i utredningen.

4.1 Hur spårade tåget ur?

Första tecknet på fel var när tåget nödbromsades till stopp i Vassijaure till följd av brott på huvudledningen. Signalställverket indikerade samtidigt att växeln från spår 1 och 2 mot Riksgränsen inte längre var i ett kontrollerat läge. Tåget hade då rullat nästan 15 km urspårat.

De första skadorna som härrör från urspårningen hittades innanför höger räl i tågets färdriktning vid km 1520+650. Utredningen visar att det var höger hjul på tågets 200:e axel som spårade ur först. Urspårningen kunde ske efter att hjulet spruckit, förlorat sin presspassning mot axeln och förflyttat sig i sidled. Vänster hjul fortsatte att rulla på rälen. Boggiramen styrdes även av den främre axeln i färdriktningen.

Den metallurgiska undersökningen visar att hjulet brustit från en utmattningsspricka i flänsen i ett direkt sprödbrott in till navet. Det har inte gått att fastställa när brottet till navet inträffade. Det bedöms dock som osannolikt att hjulet kunnat framföras en längre tid och sträcka med en genomgående spricka och utan presspassning mot axeln.

Trots att ett hjul spårat ur fortsatte boggins tre övriga hjul att följa rälerarna. Bromsutrustning i boggin förhindrade det lösa hjulet från att förflytta sig mer än några decimeter åt vänster. Hjulet och hjulaxeln passerade växlarna i Kopparåsen utan att orsaka skador som förvärrade urspårningen eller indikerade något fel. Hjulet passerade även tre av Trafikverkets urspårningsslingor utan att kablarna skadades i tillräcklig omfattning innanför höger räl. Tåget kunde därmed fortsätta en längre sträcka med ett urspårat hjul och orsaka omfattande skador på infrastrukturen.

Närmare Vassijaure spårade även det vänstra hjulet på samma axel ur innanför rälerarna. In i den första växeln rullade båda hjulen med en spårvidd av 1 meter innanför respektive växelunga och pressades samman när rälerarna gick ihop fram till korsningspartiet. Det högra hjulet trycktes mot höger räl tills den brast. Sannolikt resulterade sidokrafterna i ytterligare

¹⁴ Dessa punkter ingår i den rapporteringsstruktur som följer av Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2020/572 av den 24 april 2020 om den rapporteringsstruktur som ska följas vid utredning av järnvägsolyckor och järnvägstillbud. Rubriksättningen har här anpassats efter olyckans typ och omfattning.

skador på det högra hjulet och sekundära brott till de delar som återfanns på spår 1 och under de urspårade vagnarna.

Mellan hjulen på den urspårade axeln satt vagnens ramverk mot kopplet. När hjulen pressades samman in i första växeln till Vassijaure måste vagnens ramverk mot kopplet och hela vagnskorgen ha lyfts upp. Krafter och rörelser i boggin och vagnskorgen ledde till att urspårningen förvärrades efter växeln. Flera hjulaxlar började rulla till höger i spåret. I något läge förflyttade sig boggin med den skadade hjulaxeln bakåt från vagn 47 till det läge den slutligen hade under den permanenta dragstången till vagn 48. Vidare lossnade båda boggierna och lossningsluckan från vagn 48 vilket påverkade de bakomvarande vagnarna till den avslutande urspårningen i snögalleri 13A. Eftersom den havererade hjulaxeln hittades under vagn 49 måste den i något läge ha släppt ur sin boggi och passerat under vagn 48.

4.2 Varför gick hjulet sönder?

Typen av hjulskada med utmattningsspricka i fläns och restbrott till navet är mycket ovanlig och inte ett generellt problem i järnvägssystemet. Utredningen känner bara till en tidigare skada i Narvik 2019 och enstaka referenser i dokument till sprickor i fläns.

Den ovanliga skadan har sannolikt orsakats av en kombination av ogynnsamma och samverkande faktorer. Dessa faktorer och deras samverkan har inte tidigare bedömts i relation till riskerna för utmattningssprickor i flänsen och sprödbrott.

Malmtåg har höga axellaster vilket medför höga vertikal- och lateralkrafter på hjulen.

Norra Sverige har särskilda driftsförhållanden vintertid med låga temperaturer som kan påverka hållfastheten i stål.

Lång drifttid medför liten hjuldiameter efter flera omsvarvningar och slutligen tunn fläns efter slitage medför sammantaget en mindre area i hjulringens profil som därigenom tål lägre laster.

Majoriteten av LKAB Malmtrafik AB:s hjulaxlar klarar dock hög axellast, låga temperaturer och minskad lastbärande area i hjulringen utan hjulskada varför de faktorerna inte enskilt förklarar utmattningssprickor i flänsen och sprödbrott.

Uppvärmning av hjulringen kan orsaka förhöjd dragspänning när hjulet svalnat. Det finns ingen registrering eller skaderapport om tjuvbroms på hjulaxel HP10380. Den blå värmeoxiden i radien under hjulringen visar att hjulet ändå vid något tillfälle varit utsatt för hög temperatur. Även det andra hjulet på axeln hade tecken på värmeskador. Bedömningen är att hjulen inte värmts upp av friktion till motsvarande värmepåverkan efter att urspårningen inträffat och under förloppet fram till Vassijaure. Det mest sannolika är därför en tidigare uppvärmning av hjulen genom tjuvbroms och friktion från bromsblocken.

Utredningen pekar på att bromsblocket på det aktuella hjulet verkat nära och mot flänsen. Mer friktion mot flänsen vid tjuvbroms leder till ökad temperatur och efterföljande högre dragspänning i samma område. LKAB Malmtrafik AB har i utredningen visat att bromsrörelsens konstruktion medger en varierad anliggning av bromsblocken mot hjulet. Även andra vagnar har bromsblock som ligger an mot flänsen.

Hjulskador och repor med skåreffekt på insidan av hjulet kan uppkomma i kontakt med infrastrukturen. Utredningen har inte identifierat någon specifik påverkan som kan kopplas till det aktuella hjulet, hjulskadan eller urspårningen.

Utredningen kan inte, genom exempelvis detektordata, påvisa att den aktuella hjulaxeln varit utsatt för ovanligt höga laterala krafter som kunnat förstärka dragspänningar i flänsen och därmed ökat risken för en utmattningsspricka.

De utredningsaktiviteter som SHK har genomfört kan inte förklara varför vissa detektorer har ökande vertikala krafter för det aktuella hjulet. Det kan ha funnits någon form av växande ojämnheter i löpbanan. Variationerna i avvikelser mellan olika detektorer kan ha berott på var på löpbanan skadan var placerad och att den därför träffat rälen olika i detektorer som ligger på rakspår eller i kurva. Ett brott över hela löpbanan borde ha registrerats i alla detektorer och sannolikt även orsakat större krafter.

Under olycksförloppet tillkom sekundära skador på hjulets delar och brottytor. Detta har medfört att den primära utmattningssprickan inte har kunnat undersökas avseende exempelvis antalet lastcykler som drivit sprickans tillväxt.

Sammanfattningsvis går det inte att med säkerhet bevisa eller utesluta laster och faktorer som orsakat utmattningssprickan och hjulskadan. SHK har valt att avgränsa utredningen och publicera rapporten. Mer detaljerade undersökningar behövs för att med ökad säkerhet beräkna lastfall och påverkan på järnväghjul med höga axellaster i syfte att begränsa risken för utmattningssprickor och brott. Detta är snarast en uppgift för framtida forskning inom området.

4.3 Hade hjulskadan kunnat identifieras innan urspårningen?

Det har inte gått att fastställa hur länge utmattningssprickan funnits och växt i omfattning i hjulflänsen. Chalmers uppskattning är att antalet lastcykler med höga laterala krafter varit relativt lågt i drift och att sprickan därför kunnat växa under flera månader. Det är vidare oklart om och under vilka förutsättningar sprickan hade kunnat upptäckas visuellt.

Dragspänning i hjulringen går inte att se visuellt utan kräver provning. En indikation på möjlig dragspänning kan vara en tidigare uppvärmning av hjulet, sannolikt till följd av tjuvbroms. I det aktuella fallet hade hjulaxeln inte rapporterats för tjuvbroms eller synlig värmepåverkan av hjulringen.

Den operativa personalen som utför ankomstkontroll eller säkerhetssyning före tågs avgång har inte förutsättningar att upptäcka mindre sprickor på baksidan av ett hjul. Lokförare har därefter inga eller mycket begränsade förutsättningar att upptäcka hjulskador under färd. Personer utmed spåret eller på mötande tåg kan under rätt förutsättningar höra eller iaktta felaktigheter.

LKAB Malmtrafik AB:s malmvagnar har inte fordonsbundna detektorer som varnar om hjulskador eller urspårning.

Fasta detektorsystem utmed järnvägen har som huvuduppgift att identifiera fordon med höga temperaturer eller krafter och reducera risken att infrastrukturen skadas.

I det aktuella fallet var alla detektorvärden från den berörda hjulaxeln och hjulet, även inkluderat de stigande värdena från den 12 december, väl under uppsatta larmnivåer.

LKAB Malmtrafik AB använde systemet Predge Rolling stock med bland annat Trafikverkets detektordata i syfte att identifiera behov av underhåll. Den aktuella hjulaxeln hade bedömda brister och mer långsiktigt planerade underhållsåtgärder men inga indikationer om ett akut fel.

Sammantaget kunde operativa rutiner, hjulskadedetektorer och analyser av detektordata inte förutse hjulskadan.

När urspårningen väl inträffat var Trafikverkets urspårningsslingor och kablage inte utformade för att skadas av ett enskilt hjul som rullade nära rälen och över rälsbefästningarna. En helt urspårad hjulaxel med normal spårvidd hade sannolikt skadat och påverkat urspårningsslingorna. SHK har inte vidare granskat urspårningsslingornas funktion.

När rutiner och förhållanden i drift inte hade förutsättningar att förhindra urspårningen kvarstår frågan om underhållsprocessen hade kunnat identifiera utmattningssprickan.

Rutinerna och kontrollerna vid översyn har inte varit inriktade på att upptäcka sprickbildning i flänsen. Avseende sprickor omnämns kontroll av löpbanan och hjulstommen. Sannolikt hade någon form av teknik och hjälpmedel krävts, exempelvis ultraljud eller penetrant, för att identifiera en spricka eftersom flänsen även kan ha andra ytskador och märken. Teknisk kontroll är tidskrävande och komplicerad att utföra, särskilt med hjulaxeln monterad i en boggi på spåret. Sammantaget är det oklart om en spricka i flänsen hade kunnat observeras vid översyn.

Vid översyn ska hjulen kontrolleras avseende tecken på tjuvbroms. Regler om färgbortbränning och oxidation på hjulskivan gör det mindre sannolikt att det aktuella hjulet har haft tydliga tecken på uppvärmning när det kontrollerats vid översyn.

Den aktuella hjulaxeln svarvades vid två tillfällen, i februari 2021 och mars 2022. I samband med svarvningarna utfördes olika former av okulärbesiktning, både före underhållet och i samband med själva arbetet att svarva. Det finns inga noteringar om avvikelser.

Det har framkommit att ett fåtal sprickor i fläns iakttagits i samband med svarvning hos Duroc Rail AB. Sprickorna hanterades då som andra normala ytfel i hjulet och svarvades bort eller omstommades med nya hjul i syfte att återställa hjulaxlarna till drift. Instruktionen i LKAB Malmtrafik AB:s dokument MTF 1 om rapportering av allvarigare hjulskador tillämpades inte.

MTF 1 hade många olika hänvisningar till sprickor, både precisa som "sprickor i löpbanan" och allmänna som "måste vara sprickfria" samt "övriga sprickor i hjulet". Den uppdaterade versionen av MTF 1 efter urspårningen är både illustrerad och har tydligare beskrivningar avseende sprickor samt har en särskild blankett för rapportering av allvarigare hjul- och axelskada. Förutsättningarna att notera och rapportera sprickor i fläns bör därför ha förbättrats.

4.4 Hur kan en liknande händelse undvikas i framtiden?

Enligt ECM-förordningen har den underhållsansvariga enheten ett ansvar och ska säkerställa att hjul uppfyller säkerhetskrav och är i gott skick. Denna del av analysen fokuserar därför på hur en underhållsansvarig enhet kan sätta upp rutiner för att upptäcka ett unikt fel i ett hjul, särskilt sådana fel som kan vara svåra att identifiera.

En underhållsprocess enligt ECM-förordningen består av olika delar där varje funktion ansvarar för att löpande hantera underhållet på ett systematiskt vis. En väl fungerande underhållsprocess som ständigt förbättrar sina metoder kan minimera risken för att unika fel leder till allvarliga olyckor.

Utredningen visar att utmattningssprickor i flänsen inte har varit ett känt problem hos LKAB Malmtrafik AB varför riskerna för att ett sådant fel uppstår heller inte direkt övervakats eller kontrollerats.

Ett ovanligt fel kräver en kombination av olika underhållsprocesser för att upptäckas. Avancerade inspektionsmetoder kan införas kombinerat med proaktivt underhåll, erfarenhetsåterföring, utbildning och medvetandehöjning.

Efter olyckan har LKAB Malmtrafik AB uppdaterat delar av underhållsprocessen i syfte att upptäcka och förebygga liknande fel.

Ett liknande fel och brott till navet inträffade i Narvik 2019. I den utredning som LKAB Malmtrafik AB genomförde tillsammans med hjultillverkaren Luccini RS konstaterades att det fanns en utmattningsspricka i flänsen. Utredningen och analysen hittade inga fel i materialet eller kopplingar till brott genom överhettning av hjulskivan. Yttre påverkan och plastisk deformation av flänstoppen bedömdes vara orsaken. Utredningen eller efterföljande arbete ställde inga förslag eller rekommendationer på arbetssätt eller processer för att proaktivt upptäcka liknande fel.

Att ständigt förbättra sina metoder för att upptäcka fel i underhållsprocessen men även brister som kan leda till olyckor är en viktig del i det systematiska arbetet. Utredningen visar på vikten av att samla in data för att analysera tidigare händelser, brister som upptäcks i samband med underhåll och data från Trafikverkets detektorer. Detta underlag kan sedan ligga till grund till utveckling av underhållsprocessen. Det kan även vara lämpligt att utbyta erfarenheter med andra järnvägsföretag och underhållsansvariga enheter med liknande förutsättningar.

Data från drift och underhåll kan användas för att upptäcka fel, höja säkerheten och minska risken för olyckor. Fortsatt forskning och utveckling kan leda till ökad kunskap och revidering av dimensionerings- och underhållskriterier för järnvägshjul.

LKAB Malmtrafik AB har vidtagit och planerar ett antal åtgärder, bland annat inom analys av detektordata, uppdaterade underhållsrutiner och forskning. Samarbete sker även med Trafikverket och Bane NOR om utveckling och nyanskaffning av detektorer i syfte att bättre upptäcka hjulskador.

Chalmers har redan infört kunskap från hjulskadan i undervisning och planerar ytterligare åtgärder för att utveckla, kvalitetssäkra och sprida kunskapen.

Sammantaget gör alla åtgärder av LKAB Malmtrafik AB och Chalmers tekniska högskola att SHK inte ser behov av att ställa några säkerhetsrekommendationer.

5. Slutsatser

5.1 Utredningsresultat

- a) Tåg 9914 avgick från Kiruna utan kända trafiksäkerhetsavvikelser.
- b) Det fanns inga relevanta spårfel vid urspårningsplatsen vid km 1520+650.
- c) Höger hjul på tågets 200:e axel spårade ur innanför höger räl i färdriktningen.
- d) Hjulet hade en utmattningsspricka i flänsen och ett restbrott in till navet vilket föranledde att det kunde förflytta sig i sidled på axeln.
- e) Trafikverkets detektorer hade inte registrerat varmgångslarm, tjuvbroms eller allvarlig hjulskada på den aktuella hjulaxeln.
- f) Inga brister har hittats i hjulets tillverkning eller i materialets sammansättning.
- g) Hjulaxeln hade genomgått föreskrivna kontroller och underhåll.
- h) Typen av hjulskada är mycket ovanlig.
- i) Framtida studier och mer detaljerade analyser behövs för att bättre förklara och reducera risken för utmattningssprickor i hjulflänsen.

5.2 Orsaker

Den direkta orsaken till urspårningen var att ett hjul flyttade sig på sin axel.

Orsaken till att hjulet förflyttade sig var ett brott från en utmattningsspricka i flänsen till navet vilket medförde att hjulet förlorade sin presspassning mot axeln.

Lastfall och faktorer som skapade utmattningssprickan och orsakade brottet bör ha samverkat negativt och varit nära hållfasthetsnivåer.

Lastfall och faktorer som initierar och driver utmattningssprickor i flänsen har inte varit del i normal dimensionering eller underhållskriterier för järnväghjul.

6. Säkerhetsrekommendationer

Mot bakgrund av de åtgärder som vidtagits eller som kommer att vidtas av LKAB Malmtrafik AB och Chalmers tekniska högskola avstår SHK från att lämna några säkerhetsrekommendationer.

För Statens haverikommission

Jonas Bäckstrand

Mikael Hillbo

Bilagor

Bilaga 1 – Undersökning av hjul, TEK2024-0032-1, Element Material Technology.

Bilaga 2 – Analys av utmattning initierad i hjulfläns, Chalmers tekniska högskola.



TEKNISK RAPPORT

Undersökning av hjul, J-18/23

ELEMENT MATERIALS TECHNOLOGY AB

För

Statens haverikommission

TEK24-0032

Utgåva 1

2025-05-14

Vår handläggare:

David Hjertsén

Godkänd av:

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Rapporten bör ej återges eller refereras annat än i sin helhet. Utgåva 1 är den första utgåvan av en rapport. En rapport med högre utgåvenummer ersätter tidigare utgåvor.

Sammanfattning

En teknisk undersökning har utförts på ett sprucket hjul och andra delar tillhörande godståg 9914 som spårade ur den 17 december 2023 i Vassijaure.

Hjulet har havererat till följd av en utmattningsspricka som initierats i flänsens insida nära flänsens topp. När sprickan har nått kritisk storlek så har hjulet spruckit in till navet och tappat greppet om axeln och förflyttat sig inåt längs axeln. Detta har skett under ett par kilometer till den slutliga urspårningen.

Skadetyper är väldigt ovanlig och bara ett tidigare fall fanns dokumenterat hos LKAB, i detta fall så framkom inte någon rotorsak till sprickan. Inga av de övriga inblandade (Element, SHK, Chalmers eller Lucchini) hade sett skadetyper tidigare.

Den materialtekniska provningen visar inte på några avvikelser från kravbilden.

Det spruckna hjulet är i slutet av sin drifttid och endast omkring 5-6 mm gods kvarstår till minsta tillåtna hjulradie.

Flänsbredden är liten (cirka 26 mm mätt på skadad profil) dock över kravet på minst 24 mm.

Beräkningar utförda av Chalmers visar att det inte är orimligt att spänningsnivåer kan uppkomma som kan orsaka detta förlopp men att det krävs samverkan mellan minst ett par och sannolikt alla av ett flertal faktorer:

- Liten hjuldiameter/hög bearbetningsgrad, så att restspänningar från ringhårdningen i flänsen är bortbearbetade, detta ger också ett vekare hjul.
- Bromsblock som legat mot flänsen och via bromsvärme skapat ett dragrestspänningsfält i flänsen.
- Tunn fläns.
- Grov yta/skador på insida fläns där utmattning kan initieras.

Att det är många faktorer som behöver samverka förklarar att skadetyper är väldigt ovanlig och att det lastfall som driver den inte har varit en del av normal dimensionering av hjul.

Beställningsdata

Kund: Statens haverikommission
PO Box 6014
102 31 Stockholm

Beställningsnr: Avrop, A-122/21
Datum: 2024-01-30
Inköpare: Mikael Hillbo
Teknisk referens: Mikael Hillbo

Intern data

Handläggare: David Hjertsén

Aonr: A16009-1
Id.nr:
Filnamn: TEK2024-0032-1.DOCX

Innehållsförteckning

	Sida
Sammanfattning	2
Innehållsförteckning	3
1 Inledning	4
2 Provföremål	4
3 Historik	4
4 Undersökning	4
5 Utrustning	5
6 Resultat	5
6.1 Inledande visuell undersökning	5
6.2 Fraktografi	11
6.3 Mekanisk provning	17
6.3.1 Sammansättningsanalys	18
6.4 Hårdhet och mikrostruktur	19
6.5 Oförstörande provning	20
7 Tidigare händelse	21
8 Diskussion	23
9 Kommentar	25
10 Slutsatser	25
Rapportfördelning	26

1 Inledning

På uppdrag av Statens Haverikommission (SHK) har en teknisk undersökning utförts på ett sprucket hjul och andra delar tillhörande godståg 9914 som spårade ur den 17 december 2023 i Vassijaure. Syftet med undersökningen var att klargöra skadeförloppet och om möjligt fastställa grundorsakerna till haveriet.

2 Provföremål

Beskrivning:	Sprucket hjul
Fordonsätt:	Godståg 9914
Hjulaxel	HP10380 (LKAB beteckning)
Serienr. hjulaxel:	5063
Batchnr. sprucken hjulskiva A	E1800069-59
Batchnr. hjulskiva B	E1800068-3
Materialspecifikation:	AAR M 107-UIC 812.3-LG510

3 Historik

Hjulet driftsatt: 2018-10-31

Hjulet har gått i provtåg med axellaster upp till 32,5 ton (medellast 31,0 ton beroende på begränsningar i lastningssystemet) från oktober 2018 till oktober 2020.

Hjulet installerades på vagn 4152 sedan 2022-06-29.

Hjulets driftsträcka i tjänst: 528 081 km.

Omsvarvningar:

Färdigvarvad	Diam före [mm]	Diam efter [mm]	Anledning	A-mått [mm]
2021-03-01	906,12	900	Löpbaneslitage (urgröpning löpbana)	1359,21
2022-02-02	899,11	866	Tunn fläns	1359,22

A-måtten som uppmätts vid svarvning visar att hjulen inte rört sig i sidled på axeln mellan tillfällena.

4 Undersökning

Följande undersökningar har genomförts:

- Visuell undersökning
- Fraktografisk undersökning
- Svepelektronmikroskopundersökning inklusive EDS-analyser
- Kemisk sammansättningsanalys
- Mikrostrukturundersökning
- Penetrantundersökning

5 Utrustning

Stereomikroskop:	Zeiss Stereo Discovery V12	UN-2913
Ljusoptiskt mikroskop:	Leica DM4000 M	UN-2671
Hårdhetsmätare:	Qness Q10A+	UN-2732
Svepelektronmikroskop (SEM):	Hitachi S-3700N	UN-2670
EDS-detektor:	Oxford Instruments Ultim Max 65	UN-2670

Kemisk analys utförd av D-LAB, Degerfors Laboratorium med provmetoder enligt nedan:

Tabell 1. Analysmetoder använda av D-LAB.

Ämne:	Metod:
Si, Mn Cr Cu Mo Ni V	ASTM E 572-21
C, S	ASTM E 1019-18
P	ASTM E 1086-22

6 Resultat

6.1 Inledande visuell undersökning

Figur 1 och Figur 2 visar det spruckna hjulet fortfarande kvar på hjulaxeln. Det spruckna hjulet har flyttats från sin ursprungsposition där det suttit presspassat till att sitta bredvid det andra hjulet i paret. Denna förflyttning har skett under tågets färd. En spricka löper mellan inre radie och hjulets liv, där delar av hjulbanan har separerats från hjulet.

I Figur 3 ses samtliga tillgängliga delar av hjulet i sin ungefärliga ursprungsposition. Gula pilar visar brottens riktning.

Den utmattningsspricka som ses i position 2 bedöms vara sekundär utifrån sprickpropageringsriktningar och hur sprickor ansluter till varandra.

I radien mellan hjulringen och livet noteras blå färgskiftning från värmeoxider, markerad med röd pil i Figur 3, detta är tydligt på båda sidor av hjulet.

Det andra hjulet på axeln har också tecken på värmeskador i motsvarande position, se Figur 4.

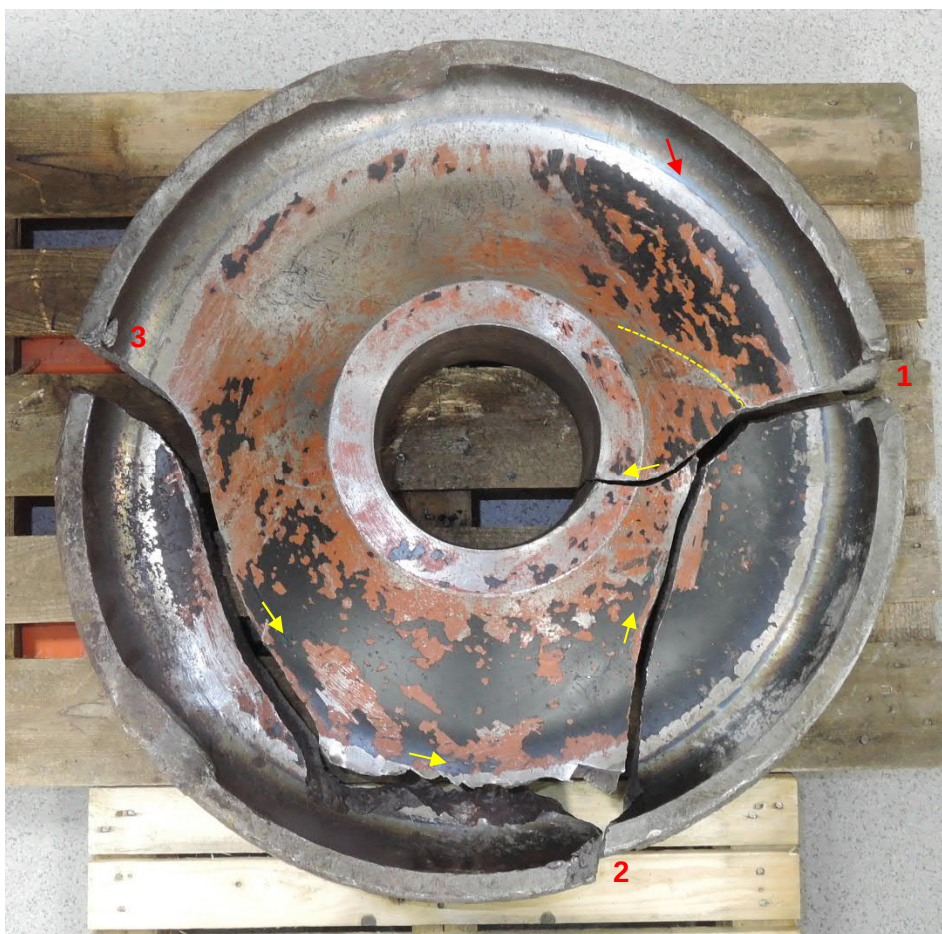
I Figur 5 till Figur 7 visas passningen mellan de separerade bitarna av hjulringen. Endast mindre delar saknas.



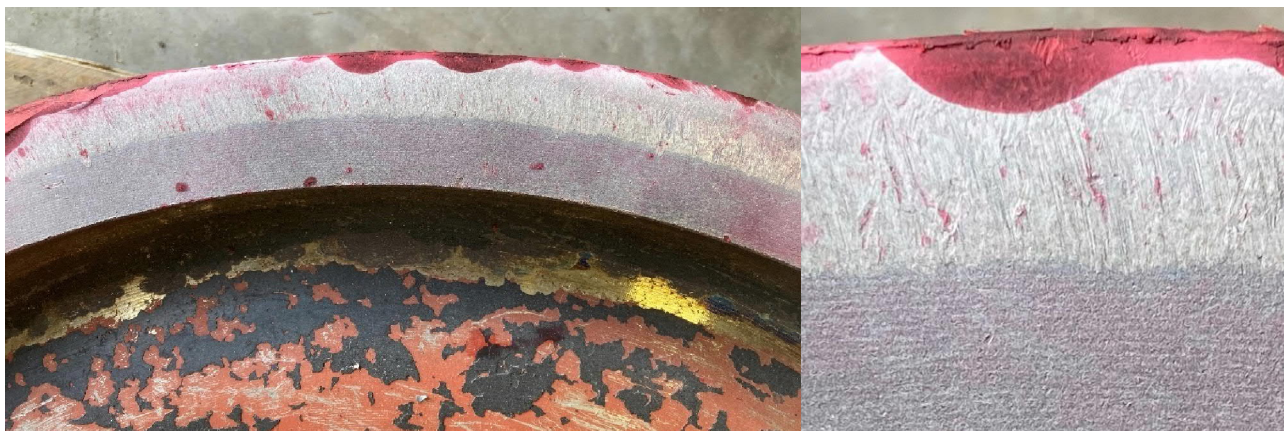
Figur 1. Det spruckna hjulet innan nedmontering från axeln, med det andra hjulet i hjulparet till vänster i bild.



Figur 2. Det spruckna hjulet före nedmontering från axeln.



Figur 3. Det spruckna hjulet, fäldsida. Gula pilar visar riktning för brott på de synliga brottytorna. Gul streckad linje markerar en sekundär spricka. I radien mellan hjulringen och livet noteras blå färgskiftning från värmeoxid.



Figur 4. Det andra hjulet på axeln med färgsläpp och antydning till blånering i övergång mellan hjulring och hjultallrik. Detalj på radiellt repmönster på insida fläns. (bild tagen vid provning med rödpenetrant).



Figur 5 . Brott genom löpbana, position 3 i Figur 3. En mindre bit saknas på insidan (flänssidan) av hjulringen.



Figur 6. Brott genom löpbana, position 2 i Figur 3. En mindre utmattningsspricka noteras, se röd pil i höger bild, den bedöms vara sekundär.

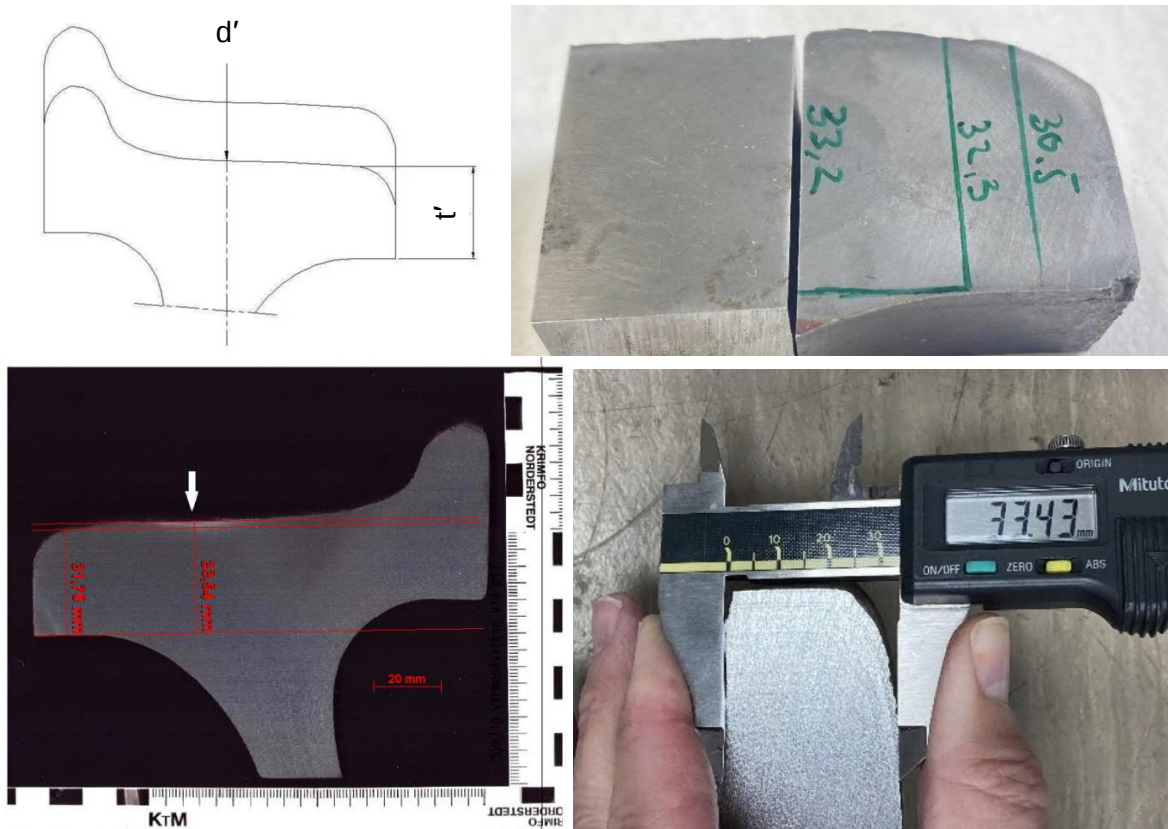


Figur 7. Brott genom löpbana, position 1 i Figur 3. En mindre bit saknas på utsidan av hjulringen.

Kvarvarande ringtjocklek uppmättes med skjutmått på de kapade delarna i en bild från hållfasthetsprovningens rapporten, se Figur 8.

Det kan konstateras att måttet inte är helt väldefinierat i underhållsanvisningen, det uppskattas till mellan 33,0 och 33,5 mm efter haveriet. Detta ger en marginal till minimidiameter efter sista svarvning på mindre än 5 mm, jämför Tabell 2. Minimimåttet för hjuldiameter i drift är enligt uppgift 857 mm, så till det måttet så var det 8–9 mm till godo.

Slitaget på upp till 1 mm sedan sista omsvarvning är inte helt konsekvent med slitaget mellan de två föregående svarvningarna, 0,9 mm på 11 månader, och sedan senaste svarvning max 1 mm på 21 månader. Detta tolkas framför allt som att mätmetoden att mäta ringtjockleken inte är lika tillförlitlig som diamettermätning.

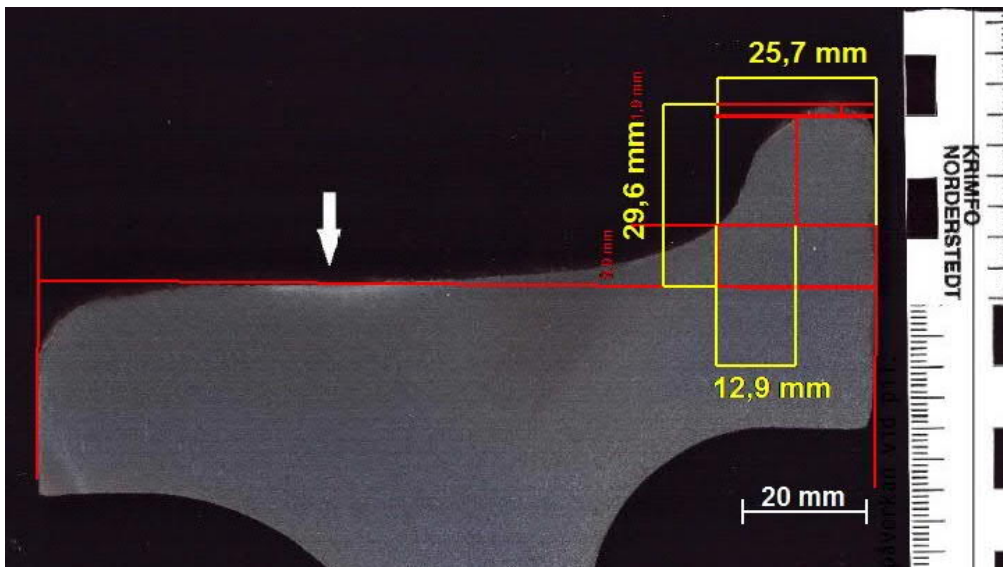


Figur 8. Överst till vänster ringtjocklek (mått t') enligt "MTF 1 Hjulpar-vagnar Underhållsanvisningar", övriga bilder resultat med olika mätmetodik.

Tabell 2. Minsta ringtjocklek t' - diameter d' efter svarvning enligt MTF 1 för havererade hjulet och vid haveri.

Hjulstomme	t' -min [mm]	d' -min [mm]	d' efter sista svarv	Uppmätt t'	d' vid haveri (beräknad)	Slitage d' sedan sista svarv
Blue Light Super 32.5	31,5	862	866	33,0–33,5	865–866	0,0–1,0mm

Flänstjocklek, höjd och q_R på det havererade hjulet uppmättes i ett tvärsnitt, Figur 9. Flänshöjd och framförallt q_R är beroende av sekundära skador på toppen som har varit väldigt utsatt. Det kan konstateras att flänstjockleken är liten men över minimimåttet 24 mm (enligt information från LKAB).



Figur 9. Uppmätning av flänstjocklek, höjd och q_F på det spruckna hjulet.

De två bromsblock som hittats i samband med haveriplatsen undersöktes visuellt. Ett bromsblock är märkt "väst Tornehamn stolpe 129", detta bromsblock hittades vid den slutliga urspårningen. Det andra utan märkning hittades vid stolpe 115, där skador på spåret börjar uppträda, se Figur 10.

Det märkta bromsblocket är kraftigt men relativt jämnt slitet. Det omärkta bromsblocket uppvisar tecken på att ha legat mot hjulflänsen vid inbromsning och har även ett ojämnt slitage i längsled, se Figur 11.



Figur 10. Bromsblock återfunna i samband med haveriet, någon gång under hanteringen har sannolikt märkningen/tejp (115) på det omärkta blocket lossnat och satts lite löst på det andra blocket.

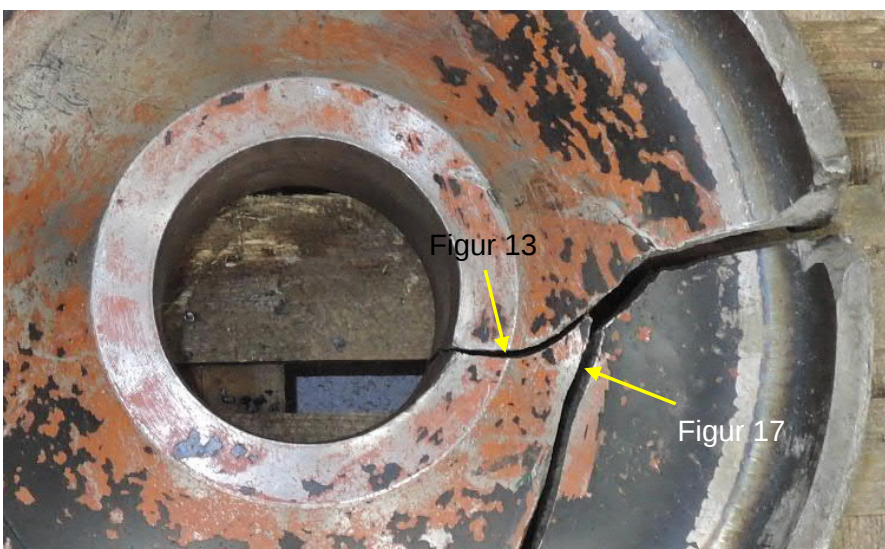


Figur 11. Omärkt bromsblock, upplagt på det hela hjulet i hjulparet.

Penetrantprovning med utfördes på flänsen på det hela hjulet i paret för att se om det fanns sprickbildning i flänsen på detta hjul men inga indikationer noterades.

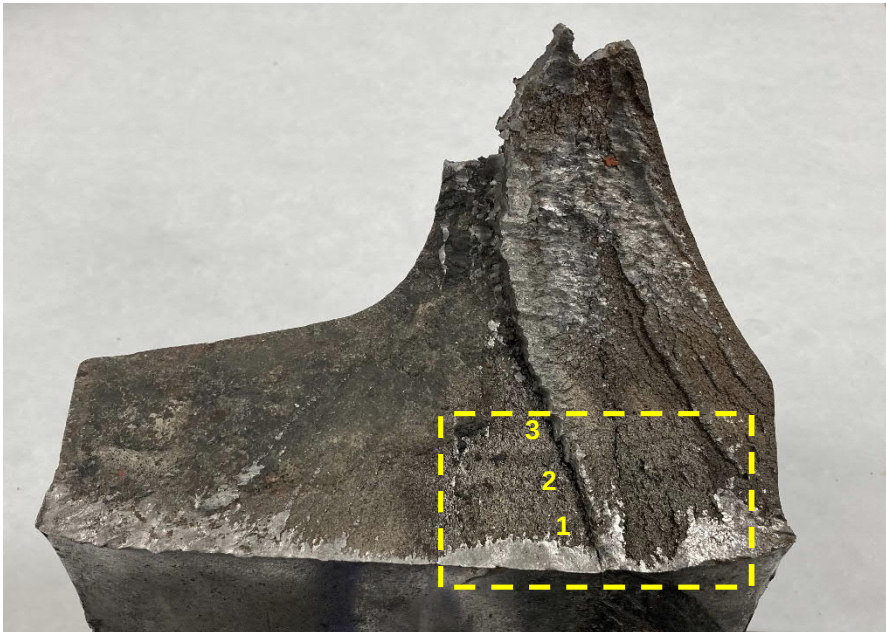
6.2 Fraktografi

Avgjutning med replika (Struers Repliset) användes för att kunna undersöka intressanta delar av brottytan utan omfattande uppkapning, se Figur 12. Först på området närmast axeln då det är först när det spricker här som hjulets grepp på axeln minskar.

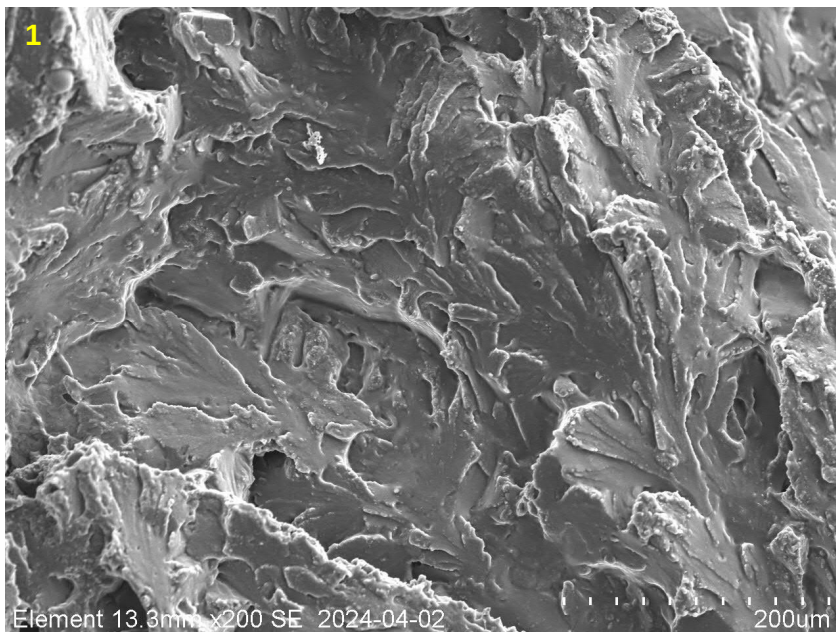


Figur 12. Översikt över områden för replika-undersökning.

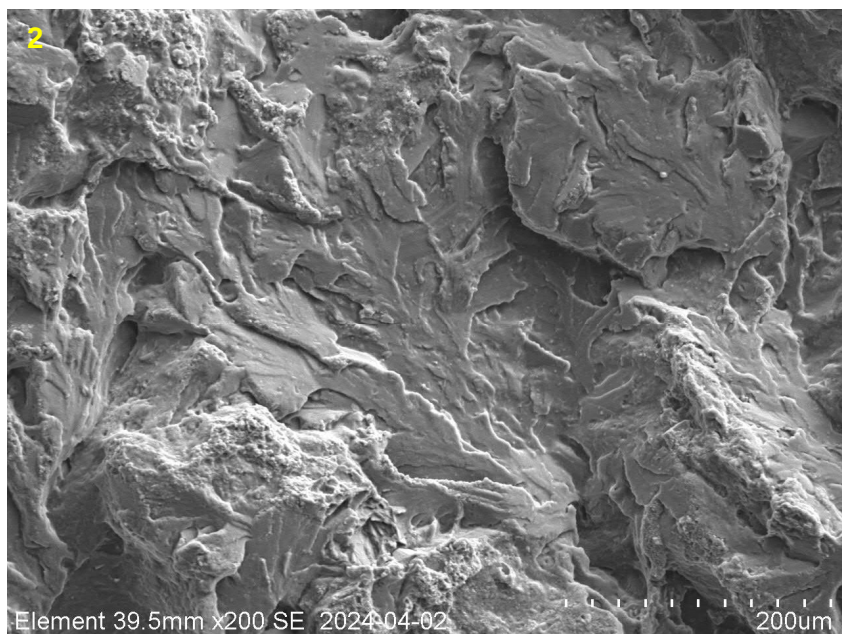
Övergripande så bedöms sprickan ha utbrett sig in mot navet och inte haft sitt ursprung inne vid navet, se Figur 13. I SEM så kan noteras att sprickan domineras av transkristallint klyvbrott och riktningen kan bekräftas, se Figur 14 till Figur 16. Transkristallint klyvbrott visar att det är fråga om ett sprött överbelastningsbrott.



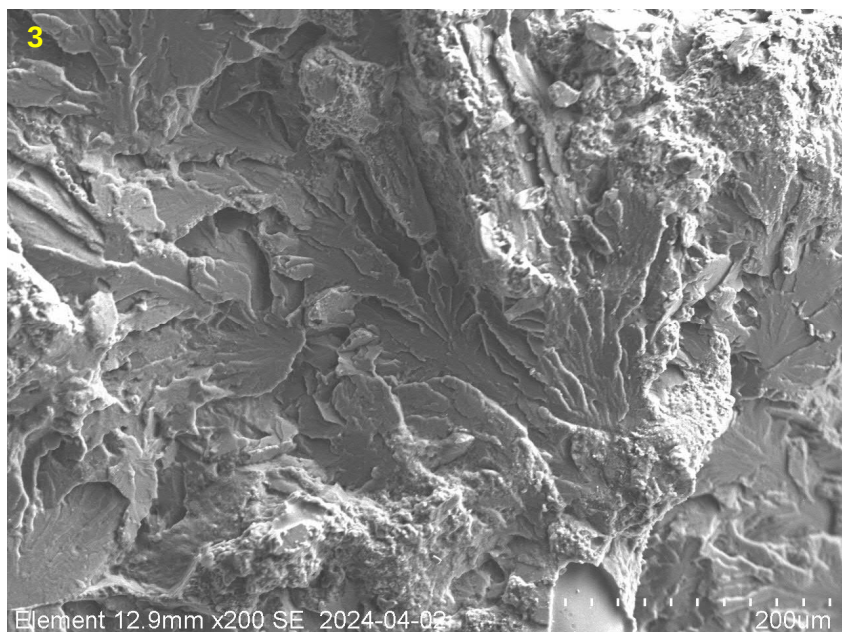
Figur 13. Brottyta nära axel, område avgjutet med replika, positioner för SEM-bilder markerat.



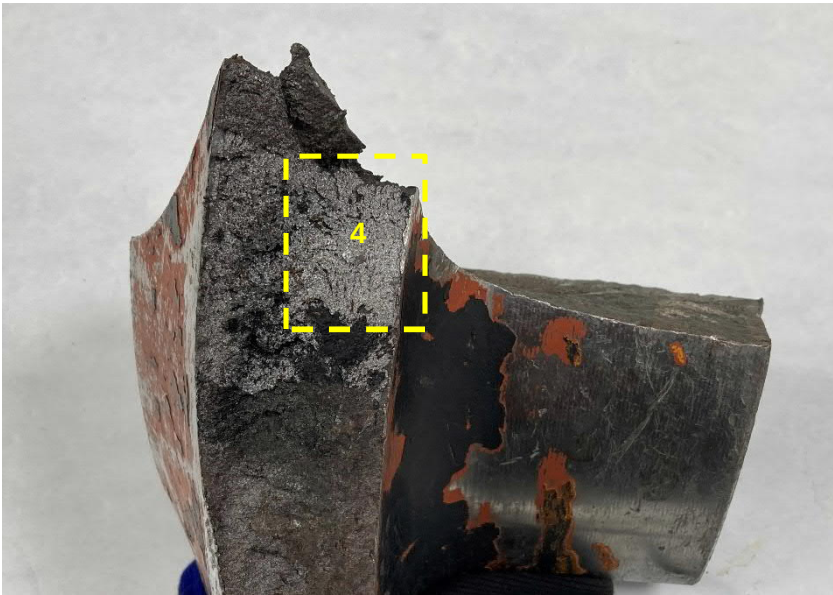
Figur 14. Sprickyta nära navet/nötningen, navet uppåt i bild.



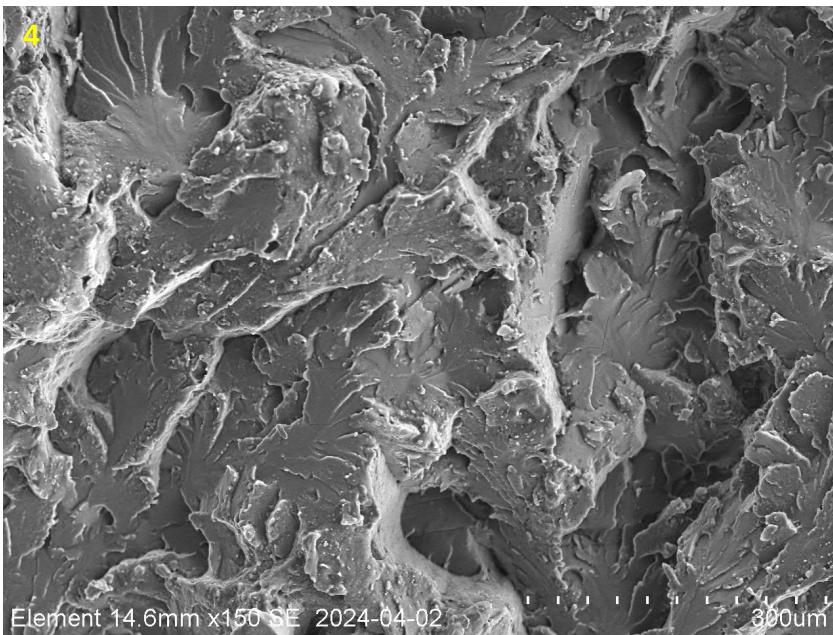
Figur 15. Sprickyta lite bit från navet/nötningen, navet uppåt i bild.



Figur 16. Sprickyta en bit från navet/nötningen, navet uppåt i bild.



Figur 17. Brottyta sekundär spricka, område avgjutet med replika markerat.



Figur 18. Sprickyta hos sekundärsprickan, uppåt i SEM-bilden uppåt i Figur 17.

Vid brottytan i position 2 finns en tydlig utmattningsspricka, se Figur 19, som undersökts i SEM både på replika och på brottytan efter utkapning av den delen. Denna undersökning bidrog inte med något ytterligare angående till exempel tillväxthastighet eller liknande på grund av avsaknad av finare fraktografiska kännetecken. Området utanför utmattningssprickan domineras av klyvbrott.

Brottytan i position 1 (som bedöms vara den spricka som orsakar slutbrott) har en liknande men större utmattningsspricka i flänsen som den i position 2, se Figur 20. De sekundära skadorna på denna spricka gjorde att inget ytterligare kunde noteras vid undersökning i SEM.



Figur 19. Brottyta vid position 2 enligt Figur 3



Figur 20. Brottyta vid position 1 (primärspricka) enligt Figur 3, färgvariationen är till följd av att det tagits replikor från de mörkare delarna.

6.3 Mekanisk provning

Sammanställning från den mekaniska provningen kan ses i Tabell 3 och Tabell 4. Som jämförelse redovisas kravbilden enligt EN 13262:2020-ER9 som har något fler egenskaper specificerade än det använda stålet. Detta stål är den högsta hållfasthetsklassen enligt EN standard och har liknande sammansättning, dock något lägre kolhalt.

Brottgräns för det använda stålet är högre än krav för EN 13262:2020-ER9.

Sträckgräns i löpbanan är lägre än specifikation enligt EN 13262:2020-ER9 vid provningen på skadat hjul, detta är förväntat då den ringhårdade zonen är svarvad så provpositionen inte är på samma djup från ursprunglig yta. Sträckgränsen förväntas vara lägre längre under ursprungsytan än vad den är i provpositionen på nytillverkat hjul.

Sammanfattningsvis när det gäller hållfastheten så är det inte några avvikelser som inte är förväntade med tanke på att provläget i förhållande till ursprunglig löpbana är förskjutet.

Slagsegheten är endast informativt vid Lucchinis provning så den avviker inte från specifikation. Som jämförelse har EN standard använts för att få någon uppfattning om resultatets rimlighet.

Det konstateras att slagsegheten i Lucchinis provning är något låg jämfört med EN-standarderna vid rumstemperatur.

Slagseghetsprovning har genomförts i provposition 15 mm under ytan på sprucket hjul, detta motsvarar att provet är taget omkring 25 mm närmare centrum av hjulet än vad som föreskrivs vid provning på nytt hjul. I denna provning så uppvisar materialet låg slagseghet redan vid rumstemperatur. Resultaten bör av på grund av skillnaden i provposition inte jämföras med tidigare provning eller EN-normen utan beskriver snarare en skillnad beroende på provposition och att slagsegheten varierar med avstånd från ursprungsytan.

Tabell 3. Resultat från dragprov, vid provningen är provstavsläget under löpbanan förskjutet inåt omkring 25 mm jämfört med provning på nytillverkat hjul.

	EN 13262:2020 ER9	Data från hjulcertifikat: E1800069	Provningresultat: K 401258
Brottgräns (löpbanan) [MPa]	900/1050	1053	979
Brottgräns (stomme) [MPa]	NS	827	845
Sträckgräns (Löpbanan) [MPa]	≥580	691	548
Sträckgräns (Stomme) [MPa]	≥355 och min 130 MPa lägre än löpbana)	421	438
Brottförlängning (löpbanan) [%]	≥12	13,0	15,5
Brottförlängning (stomme) [%]	≥14	15,5 ¹	16,5

Tabell 4. Resultat från slagprov, vid provningen är provstavsläget under löpbanan förskjutet inåt omkring 25 mm jämfört med provning på nytillverkat hjul.

	EN 13262:2020 ER9	Data från hjulcertifikat: E1800069	Provningresultat: K 401258
Slagseghet RT KU medelvärde [J]	≥13	12,3	7,2
Slagseghet RT KU minvärde [J]	≥9	8	5,4
Slagseghet -20°C KV medel [J]	≥8	-	4,5
Slagseghet -20°C KV minvärde [J]	≥5	-	4,2
Slagseghet -40°C KV medel [J]	-	5,3	3,5
Slagseghet -40°C KV minvärde [J]	-	4	2,5

6.3.1 Sammansättningsanalys

Sammansättningsanalysen visar att stålet inte avviker från angiven specifikation det vill säga order 40066/LG-510. Det noteras att Lucchini har valt att styra vanadinhalten till något över den amerikanska standarden, "AARM-107/M-208 (Class B)". Högre vanadinhalt ökar nötningsbeständigheten på bekostnad av seghetsegenskaper.

Avvikelsen i kolhalt mellan certifikaten och den utförda provningen har inte kunnat förklaras men bedöms rimlig och sannolikt kopplad till provuttag, provmetodik och påverkan av drift. Kolhalt är en separat provmetod från de övriga bestämningarna och de övriga halterna överensstämmer så pass väl att det inte finns någon anledning att tro att certifikaten inte tillhör de aktuella hjulen.

Tabell 5. Sammansättning hos stålet, provningsresultat och jämförbara normer (*kursivt*) [vikt-%].

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo +Ni
Order 40066 spec. LG-510	0,57– 0,67		0,57– 0,67	0,025	0,020					0,040– 0,080	
Lucchini Cert. Gränser	0,57– 0,67	0,20– 0,40	0,57– 0,67	0,025	0,020	0,30	0,30	0,08	0,30	0,040– 0,080	
Lucchini Certifikat: E1800068	0,66	0,34	0,81	0,012	0,003	0,13	0,21	0,03	0,23	0,042	0,39
Lucchini Certifikat: E1800069	0,65	0,35	0,81	0,009	0,002	0,11	0,19	0,02	0,12	0,041	0,25
Provnings- resultat: K 401258	0,60	0,35	0,84	0,007	0,001	0,10	0,18	0,03	0,11	0,043	0,24
AAR M-107/M-208 (Class B)	0,57– 0,67	0,15– 1,00	0,60– 0,90	0,030	0,005– 0,040	0,25	0,35	0,10	0,25	0,040	
EN 13262 ER9	0,60	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
UIC 812-3 R9	0,60	0,40	0,80	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50

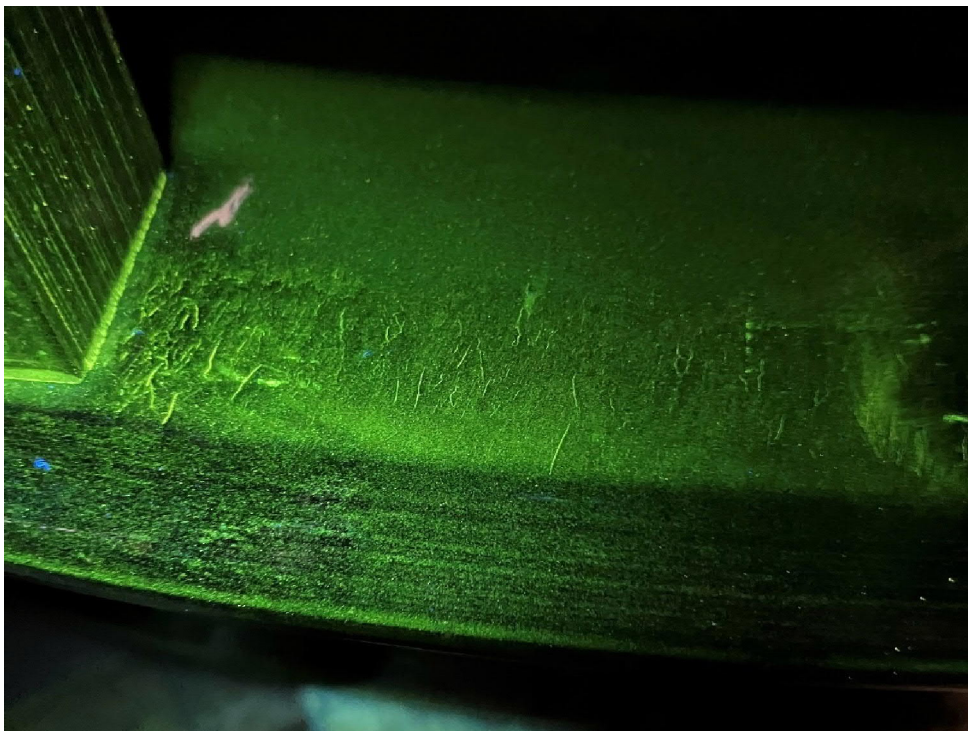
När det gäller mikrostrukturen så noteras inget som avviker från den förväntade ferrit/perlitiska mikrostrukturen med en deformationszon under löpbanan. Ingen omfattande martensitisk struktur under hjulbanan kvarstår efter omsvarvningarna.

6.5 Oförstörande provning

Tio hjul som sorterats ut vid omsvarvning undersöktes med magnetpulverprovning för att se om det förekom sprickbildning i området på insidan av flänsen på dessa. Ingen större spricka fanns i dessa hjul, se sammanställning i Tabell 6. Det noterades att mindre (mikrosprickor) i radiell led finns i olika omfattning på hjulen, se exempel i Figur 23.

Tabell 6. Oförstörande provning av BLS 32,5-hjul hos Duroc 21 oktober 2024 utförd av Element Material Technology AB

Typ	Hjultallrik	Montage	HP-nr	Km totalt	Svarvning Datum	Diameter efter svarv	Km efter svarv	Anmärkning
BLS 32,5	E1802150-31	1218	HP9520	512954	2023-08-02	868,0	78502	OK
BLS 32,5	E1802150-69	1218	HP9520	512954	2023-08-02	868,0	78502	Stora mikrosprickor
BLS 32,5	E1803632-22	0719	HP9562	418171	2023-10-11	877,0	78778	OK
BLS 32,5	E1803632-45	0719	HP9562	418171	2023-10-11	877,0	78778	Mikrosprickor varvet runt
BLS 32,5	E1800068-17	0918	HP9976	503933	2023-03-02	875,0	94866	Två mikrosprickor
BLS 32,5	E1800068-37	0318	HP9976	503933	2023-03-02	875,0	94866	Mikrosprickor
BLS 32,5	E1603526-48	0118	HP7804	611863	2022-09-06	871,9	195983	OK
BLS 32,5	E1603526-42	0118	HP7804	611863	2022-09-06	871,9	195983	OK
BLS 32,5	E1802150-27	1218	HP9635	543146	2021-04-26	881,0	352817	OK
BLS 32,5	E1800440-59	1218	HP9635	543146	2021-04-26	881,0	352817	OK



Figur 23. Indikationer på insidan av flänsen på ett av hjulen.

7 Tidigare händelse

Vid ett möte tekniskt möte med SHK, LKAB och Lucchini där arbetets status presenterades så kunde LKABs representant dra sig till minnes att han hade sett ett tidigare liknande fall.

Detta rörde ett hjul som sprack 2019-01-14 i Narvik i samband med säkerhetssyning av tåg innan avgång. I detta fall hörde avsyningspersonalen när hjulet sprack och kunde hitta rätt hjul. Hjultypen var i detta fall Lucchini BLS-31. Hjulparet hade gått i trafik med dessa hjulskivor sedan 2012-10-16 och rullat totalt 595 559 km. Sista svarvningen var till diameter 879 mm i januari 2016 och hjulet har därefter rullat 294 586 km innan det sprack.

Det spruckna hjulet hade en radiell spricka från hjulbanan till navet, se Figur 24.



Figur 24. Hjulet som sprack 2019, bilder från LKABs rapport.

Diametern på detta hjul uppmättes till 869,1 mm (jämfört med 866 mm för det aktuella hjulet).

I LKABs rapport anges minsta tillåtna hjuldiametern i drift till 857 mm så det är cirka 6 mm gods till godo till minsta hjuldiameter.

I LKABs rapport utesluts profilfel, överhettad hjulskiva och materialfel som rotorsak till sprickan efter att också Lucchini utfört en undersökning av det spruckna hjulet.

Utifrån de bilder som tillhandahållits och de som finns i rapporterna om denna incident så verkar färgen vara intakt på hjultallriken och ingen blånering syns på bilderna i motsvarande position som i det aktuella fallet. Det finns dock inte några bilder från rätt vy på området, men då det inte finns några kommentarer om blånering eller färgsläpp i rapporterna eller att Lucchini noterat värmeskador på hjulet i sin undersökning så är det osannolikt att det varit värmepåverkan i någon stor omfattning sedan senaste omsvarvning. Senaste omsvarvningen utfördes dock till följd av tjuvbroms så hjulet har varit överhettat under drifttiden.

I Lucchinis rapport så konstateras att hjulet uppfyller materialspecifikationen och att hjulet har spruckit till följd av en utmattningsspricka som initierats i flänsen. Inga lokala materialdefekter som orsakat sprickiniteringen kunde identifieras.

Det som kan konstateras är att detta fall är fraktografiskt mycket likt det aktuella fallet, se Figur 25, och att ingen tydlig rotororsak kunde identifieras. Utmattningssprickan är dock mycket större innan restbrott i detta fall där hela flänsen är utmattad och ytterligare ett litet stycke ner i hjulet.



Figur 25. Brottyta från hjulet som sprack 2019, bilder från Lucchinis rapport MET 049_19 03/06/2019.

8 Diskussion

De genomförda undersökningarna tillsammans med att det finns ett tidigare liknande fall stärker hypotesen att haveriet startar med en utmattningsspricka som tillväxer i flänsen till att den når kritisk spricklängd. Då spricker hjulet in till navet och tappar greppet. Därefter så följer hjulets förflyttning längs axeln och därigenom uppkomna sekundärskador.

Denna typ av hjulskada/skademekanism är sannolikt mycket ovanlig då av de som deltagit i de tekniska diskussionerna från SHK, LKAB, Element eller Chalmers har sett den tidigare förutom fallet i Narvik som LKAB representanten kunde dra sig till minnes. Inte heller de representanter från Lucchini som deltagit hade sett det tidigare.

De lastfall som kan driva den här typen av sprickbildning/skadeförlopp är inte en del av dimensionering av hjul enligt europeisk norm. Det kan konstateras att detta är rimligt för hjul i allmänhet då denna skadetyper inte förefaller uppträda alls i den generella hjulpopulationen. I malmtrafiken så är det endast två fall som har identifierats så även här verkar det vara extremt ovanligt.

I ett senare skede av denna utredning så har beskrivning av ett mycket liknande skadefall hittats i artikeln "Wheel Failure Investigation Program: Phase I", DOT/FRA/ORD-21/04, U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2021. Skadan klassificeras som "Thermal Cracking in Flange – AAR WM74", se Figur 26. Skadan bedöms som mycket ovanlig i den amerikanska vagnparken efter att ringhårdning hade införts som krav 1989. I sammanställning av orsaker till hjulhaverier i Amerika mellan 1995 och 2015 så finns inget fall som klassificerats som denna typ av skada av 250 till 350 hjulhaverier årligen. Driftsförhållanden, dimensionering och hjul typer skiljer sig dock väsentligt på den amerikanska marknaden så om denna skadetyper är relevant eller har samma grundorsak som de två fallen på Malmbanan är oklart. Det är dock ett exempel på att hjul kan spricka på detta sätt med sprickinitering i fläns med brott till nav och att det inte är helt unikt för de två fallen på Malmbanan.

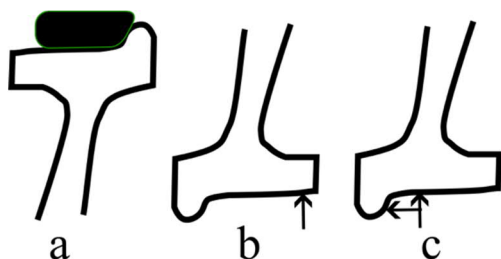


Figur 26. Skärmavbild från "Wheel Failure Investigation Program: Phase I".

På uppdrag av SHK så har Chalmers genomfört utökade beräkningar ("Analys av utmattning initierad i hjulfläns", A Ekberg, T Vernersson, CHARMEC). I Chalmers rapport så har lastfallet att ett bromsblock ligger mot och värmer flänsen och ytterligare två belastningsfall analyserats. Slitagebilden på ett av de återfunna bromsblocken indikerar att detta kan ha varit fallet. De utförda simuleringarna är baserade på osäkra indata (laster och hållfasthetsvärden) och ska därför ses som en utredning om det är möjligt att haveriet orsakats av de studerade lasterna eller om ytterligare faktorer behövs för att förklara haveriet.

De belastningsfall som analyserats av Chalmers som bedöms kunna ge en dynamisk last för att driva denna typ av spricka är:

- Cyklisk termisk last – Spänningar i flänsen till följd av värmen vid långvarigare bromsning. Bedöms vara relativt få cykler under livslängden, framför allt mellan Riksgränsen och Narvik som ger en cykel per tur, uppskattningsvis ett par hundra cykler under livslängden.
- Böjning på grund av vertikal last långt ut mot fältsidan. Många cykler – i princip en per hjulrotation i relativt skarpa kurvor eller då spårvidden är bred.
- Böjning av lateral last som verkar på fläns. Relativt många cykler – i princip en per hjulrotation vid hård kurvtagning.



Figur 27. De tre lastfall analyserats av Chalmers som på förhand bedömdes kunna driva spricktillväxt i flänsen.

Simuleringar av uppkomsten av restspänningsfält i flänsen till följd av enstaka längre inbromsningar med hög värmeutveckling som kan uppkomma vid till exempel tjuvbromsning har genomförts.

Simuleringarna visar att det kan uppkomma spänningsnivåer som skulle kunna initiera och driva en spricka, utmattningssprickans storlek vid restbrott är också rimlig. Det framkommer också vid simuleringen att en överhettning av hjulringen påverkar restspänningsnivåerna i området negativt.

Det är också en förutsättning för sprickinitiering och tillväxt att tryckspänningarna från ringhårdningen är bortbearbetade på grund av omsvarvning av hjulen och/eller har relaxerats till följd av bromsvärme.

För ytterligare detaljer se Chalmers rapport.

Andra iakttagelser som gjorts är att det noteras en blånering på hjultallriken som styrker att hjulet har varit överhettat någon gång. Det är inte helt säkert om detta är en sekundär skada (uppvärmning efter att hjulet släppt från axeln) eller om det skett tidigare under driften. Det är dock svårt att se vad som ligger mot tillräckligt för att skapa denna värme efter att hjulet tappat sitt grepp. Denna typ av värmeskada är dock inte noterat på det liknande fallet i Narvik.

Den grova yta med radiella repor från driften som noterats på insida fläns på det andra hjulet på axeln visar att ytfinheten inte är en begränsning för sprickinitiering utan att man kan anta att ytfinheten i drift kan bli tillräckligt grov för att sprickinitiering ska kunna uppstå.

Mikrosprickorna som noteras på hjul tagna ur drift ger inga tydliga samband mellan totala driftkilometrar, kilometrar sedan senaste omsvarvning eller hjuldiameter men uppkomsten av dessa visar på att det kan uppstå en cyklisk spänning i omkretsled i insidan av flänsen.

9 Kommentar

Det kom sent i utredningen in ytterligare mätdata från Damill. Datan är från en mätstation byggd för att automatiskt mäta krafter från passerande tåg/axlar. Mätstationen belägen cirka 1 km väster (bortom) den plats där urspårningen bedöms ha startat det vill säga där de första skadorna ses i spåret. Dessa data bekräftar att den havererade axeln har passerat mätstationen med ett hjul på rälsen och att det andra hjulet har gått invändigt rälsen på grund att hjulet har börjat flytta sig inåt på axeln.

Historiska data för aktuell axel vid tidigare passager har också stickprovskontrollerat och det noterades inte någon avvikelse mellan denna axel och andra axlar som använts som jämförelse.

Resultaten finns sammanställda i "Data från Tornehamn efter urspårning 231217", D. Larsson, Damill 2025-02-24.

10 Slutsatser

Hjulet har havererat till följd av en utmattningspricka som initierats i flänsens insida nära flänsens topp. När sprickan har nått kritisk storlek så har hjulet spruckit in till navet och tappat greppet om axeln och förflyttat sig inåt längs axeln. Detta har skett under ett par kilometer till den slutliga urspårningen.

Skadetyper är väldigt ovanlig och bara ett tidigare fall fanns dokumenterat hos LKAB, i detta fall så framkom inte någon rotorsak till sprickan. Inga av de övriga inblandade (Element, SHK, Chalmers eller Lucchini) hade sett skadetyper tidigare.

Den materialtekniska provningen visar inte på några avvikelser från kravbilden.

Det spruckna hjulet är i slutet av sin driftstid och endast omkring 5-6 mm gods kvarstår till minsta tillåtna hjulradie.

Flänsbredden är liten (cirka 26 mm mätt på skadad profil) dock över kravet på minst 24 mm.

Beräkningar utförda av Chalmers visar att det inte är orimligt att spänningsnivåer kan uppkomma som kan orsaka detta förlopp men att det krävs samverkan mellan minst ett par och sannolikt alla av ett flertal faktorer:

- Liten hjuldiameter/hög bearbetningsgrad, så att restspänningar från ringhårdningen i flänsen är bortbearbetade, detta ger också ett vekare hjul.
- Bromsblock som legat mot flänsen och via bromsvärme skapat ett dragrestspänningsfält i flänsen.
- Tunn fläns.
- Grov yta/skador på insida fläns där utmattning kan initieras.

Att det är många faktorer som behöver samverka förklarar att skadetyper är väldigt ovanlig och att det lastfall som driver den inte har varit en del av normal dimensionering av hjul.

Element Materials Technology AB

MMS, Metalliska material

David Hjertsén

Rapportfördelning

<u>Företag</u>	<u>Namnreferens</u>	<u>Antal ex.</u>
SHK	Mikael Hillbo	1

Vi är Element

Element är en av världens främsta och mest ansedda partners inom oberoende materialtekniska och mättekniska tjänster. Vi erbjuder kvalificerade tjänster inom materialprovning, produktprovning, kalibrering och certifiering till industri och myndigheter med högt ställda miljö- och kvalitetskrav, inom bl.a. flygindustri, olja/gas, fordons- och verkstadsindustri samt inom byggindustri och infrastruktur.

www.element.com/se

Analys av utmattning initierad i hjulfläns

CHARMEC, Chalmers tekniska högskola

ANDERS EKBERG & TORE VERNERSSON

anders.ekberg@chalmers.se tore.vernersson@chalmers.se

2025-05-12 efter intern och extern remiss

1 Inledning

Rapporten sammanfattar en analys av tänkbar orsak till hjulhaveri baserad på undersökningen i [4]. Notera att laster och hållfasthetsvärden är osäkra. Rapporten ska därför ses som en utredning om det är möjligt att haveriet orsakats av de studerade lasterna eller om ytterligare faktorer behövs för att förklara haveriet.

2 Belastning

Finita element (FE) modeller för analys av bromsning (termisk last) och mekanisk hjul/rälkontakt har etablerats för ett hjul med diameter 865 mm och med en flänstjocklek av 25,7 mm.

2.1 Lastfall

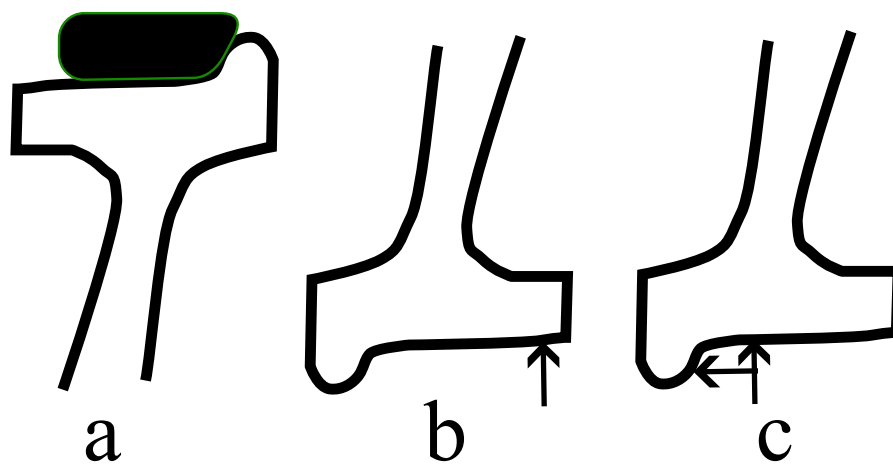
De tre lastfall som studerats framgår av figur 1.

2.2 Termisk belastning

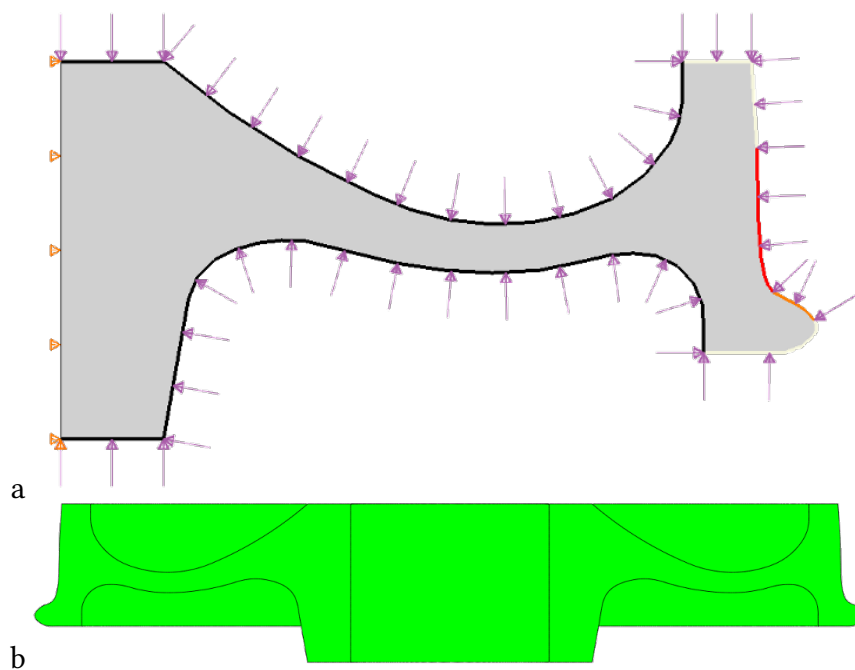
2.2.1 Beräkningsmodell

För termomekanisk analys (lastfallet i figur 1a) används en axisymmetrisk modell vilket tidigare studier visat vara en rimlig förenkling. Modellen visas i figur 2a. Randvillkoren är indikerade som

Svart kylning via konvektion och strålning



Figur 1: Lastfall. a) Termisk last p.g.a. lateralförskjutet bromsblock. b) Last vid fältsidan vid brett spår och/eller på inre rälen vid kurvtagning. c) Last vid flänssidan på yttre rälen i kurva.



Figur 2: FE-modeller. a) Termomekanisk. b) Mekanisk.

Vit kylning via konvektion och reducerad strålning (blank yta)

Röd värmeförlust samt reducerad konvektion och strålning (del av yta täcks av block)

Beräkningsmodellen etablerades i ABAQUS och använder elementtyp DC3D20 för termiska analyser. Navet är låst radiellt och navets flänssida är låst axiellt.

Beräkningsmodellen tar hänsyn till kylning baserat på fältförhållanden, med konvektionskylningsparametrar kalibrerade utifrån temperaturer uppmätta på godsvagnar.

2.2.2 Materialmodell

Den viskoplastiska materialmodell som används har utvecklats och kalibrerats inom CHARMEC-projektet SD11 för att efterlikna materialbeteende vid blockbromsning av hjulmaterialet ER7. Parametrar för sträckgräns och hårdnande har i denna studie anpassats till det aktuella materialet AAR Class B utifrån information om skillnader mellan uppmätt sträckgränser, där Class B har 20% högre sträckgräns.

Initial sträckgräns (300 MPa) och hårdnande reduceras linjärt från löpbana in till ett djup av 100 mm under löpbanan, varefter ingen ytterligare förändring sker. Reduktion är 20% vid detta djup.

2.2.3 Termiska laster

Nedfarten mot Narvik ger en ungefärlig bromseffekt av $Q_{\text{brake}} = 30 \text{ kW}$ under ca 30 minuter.

Fyra termiska lastfall har studerats: bromsning under 30 min med $Q_{\text{brake}} = 30 \text{ kW}$, 40 kW, 50 kW och 60 kW.

Värmeeffekten har modellerats som jämnt utbredd ytvärme $q_{\text{brake}} [\text{W}/\text{m}^2]$ över de aktuella ytorna på löpbana och fläns. Detta motsvarar ett antagande att det finns en lateral kraft vilken pressar bromsblocket mot flänsen så att samma yttryck uppstår som mellan bromsblock och löpbana (applicerat via bromsaktuator).

2.3 Mekanisk belastning

2.3.1 Beräkningsmodell

För mekanisk analys (lastfall i figur 1b och c) används en tredimensionell modell av halva hjulet. Modellen visas i figur 2b. Randvillkoren är att navet är låst och symmetrivillkor applicerade på aktuella tvärsnitt. Beräkningsmodellen använder elementtyp C3D20 för mekaniska analyser.

2.3.2 Materialmodell

För den mekaniska analysen används en elastisk materialmodell med $E = 200 \text{ GPa}$.

2.3.3 Mekaniska laster

Angivna laster är baserade på EN13979-1 och axellasten 31 ton.

Belastning på fältsidan (lastfall i figur 1b) är en vertikal kraft $F = 1,25P = 191$ kN där P är den statiska hjullasten. Lasten är applicerad 15 mm från hjulringens fältsida.

Belastningen på flänssidan (lastfall i figur 1c) är en vertikal kraft $F = 1,25P = 191$ kN applicerad 27 mm från flänssidan, samt en lateral kraft $F = 0,6P = 91,2$ kN applicerad 14 mm ovanför löpcirkeln mot flänsen.

Krafterna fördelas ut över noder inom en yta med radie 1 cm från lastens centrumpunkt för att undvika de lokalt extrema spänningar som uppstår om krafterna appliceras i en punkt.

3 Påkänning på hjulring

3.1 Påkänning av blockbromsning

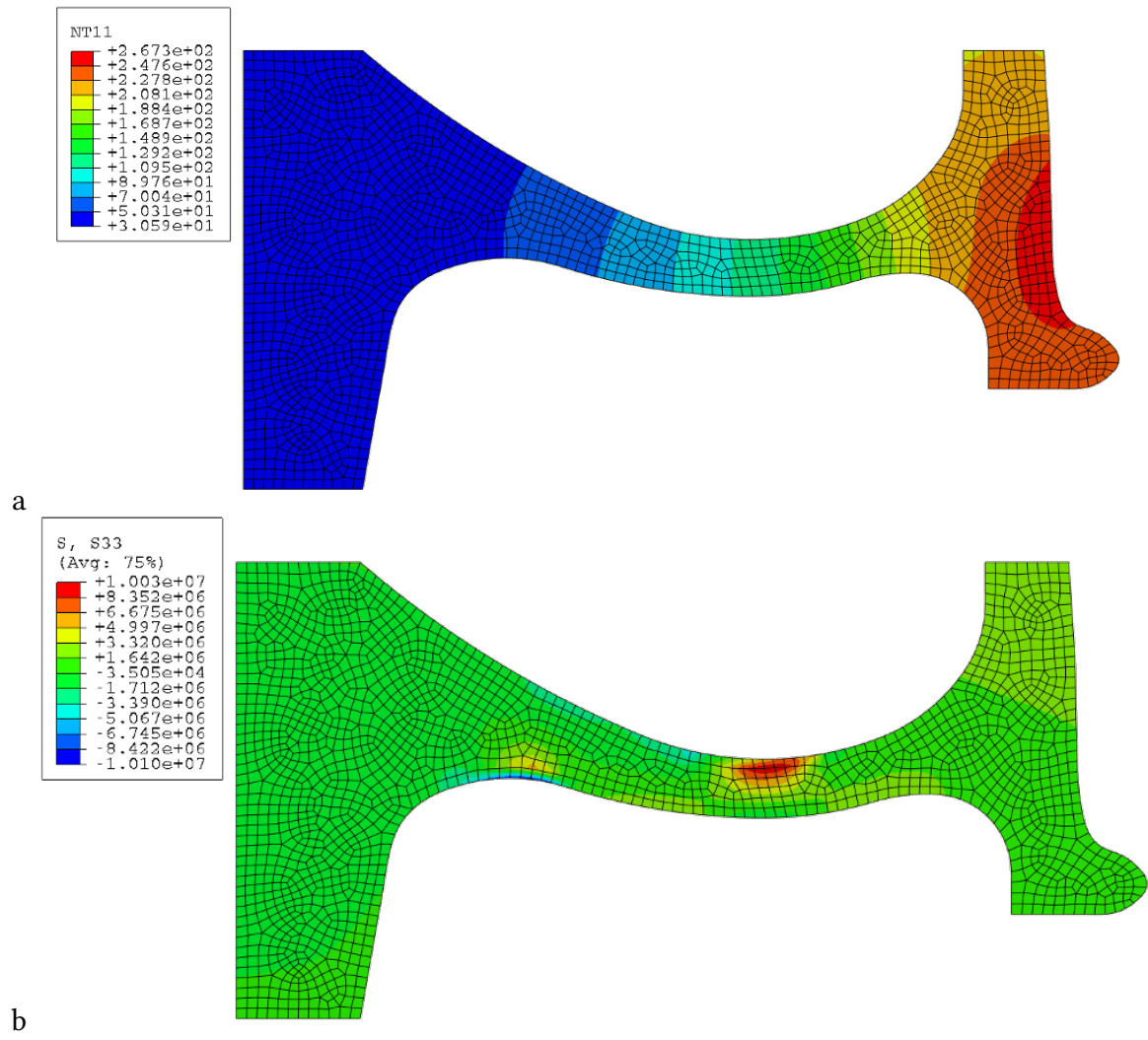
Temperatur och restspänning i omkretsled efter 30 minuters bromsning med $Q_{\text{brake}} = 30, 40, 50$ och 60 kW visas i figur 3–6. Simuleringsresultat för termisk last sammanfattas i tabell 1.

Bromslastfallet 30 kW som ungefär motsvarar normal bromsning av vagn ner mot Narvik ger försumbara dragspänningar i området på insida fläns. Dock är det rimligt att anta att materialavverkning vid svarvning tagit bort det mesta av den kompressiva restspänning som uppkommer vid banhårdning. Utöver detta bör uppvärmning av flänsen relaxera eventuella kompressiva restspänningar ytterligare. Detta genom förhöjning av de beräknade termiskt inducerade tryckspänningarna under bromsning vilket ger tidigare plasticering som resulterar i tillskott i form av dragspänningar efter bromsning. Exakt hur stor denna effekt är vid olika värmeeffekter har inte studerats här då det antagits att hjulet initialt är spänningsfritt (främst på grund av materialavverkningen).

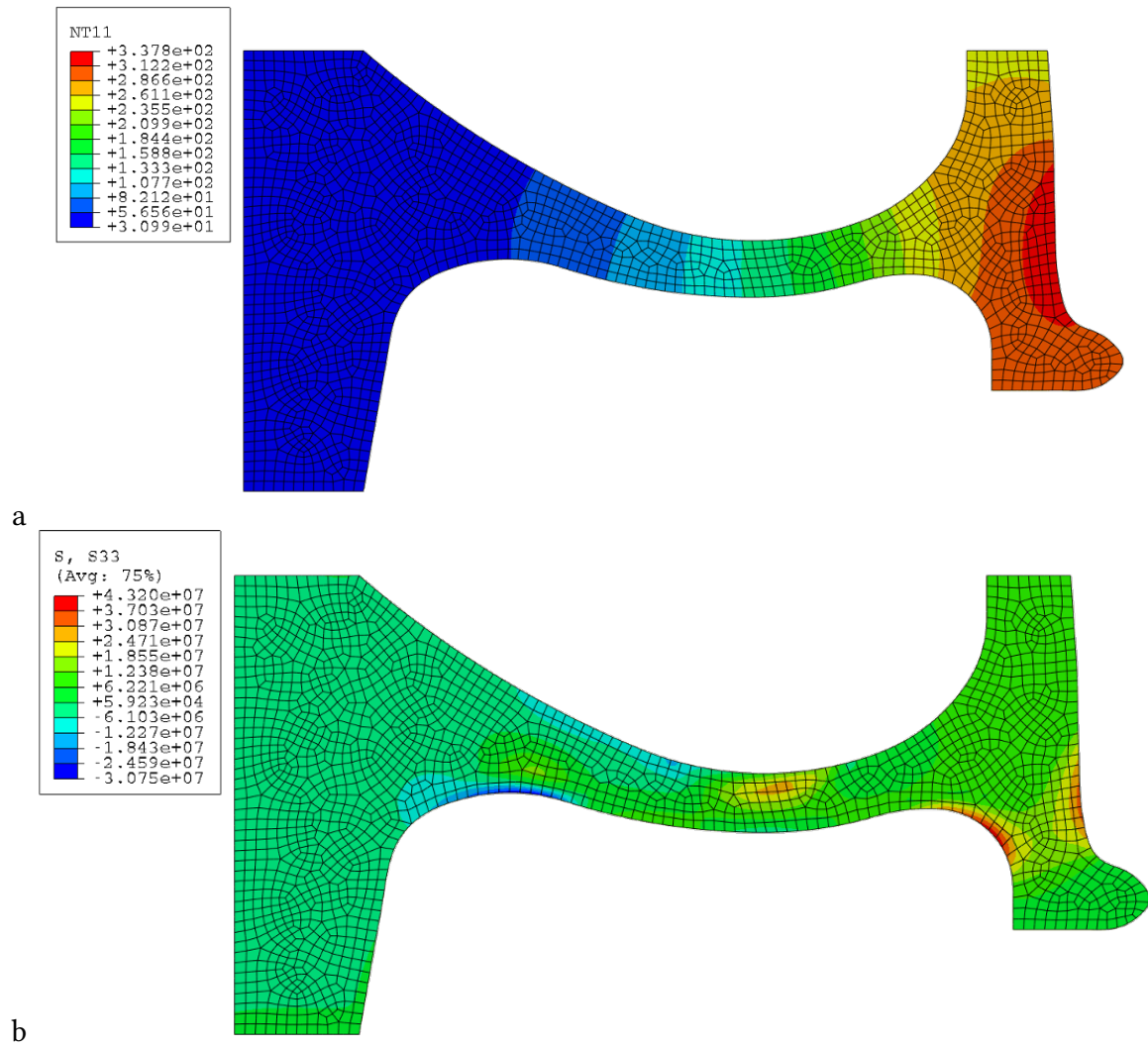
Först vid bromsning med 50 kW erhålls signifikanta restspänningar. Detta är en hög värmeeffekt, men man ska notera att restspänningen vid haveri i princip motsvarar den högsta bromseffekten under hjulets livslängd sedan sista omsvarvning. Detta då ytterligare bromsningar vid samma eller lägre effekt har liten inverkan på restspänningsfältet samt att rullkontakten inte (signifikant) påverkar restspänningstillståndet på insida fläns.

Analysen baseras på ett antagande om jämnt utbredd värmeeffekt på löpbana och fläns. En annan fördelning som t.ex. ger mer värme på flänsen kommer att ge andra utfall. En sådan fördelning skulle kunna uppskattas från en metallografisk studie av tvärsnittets värmepåverkade områden.

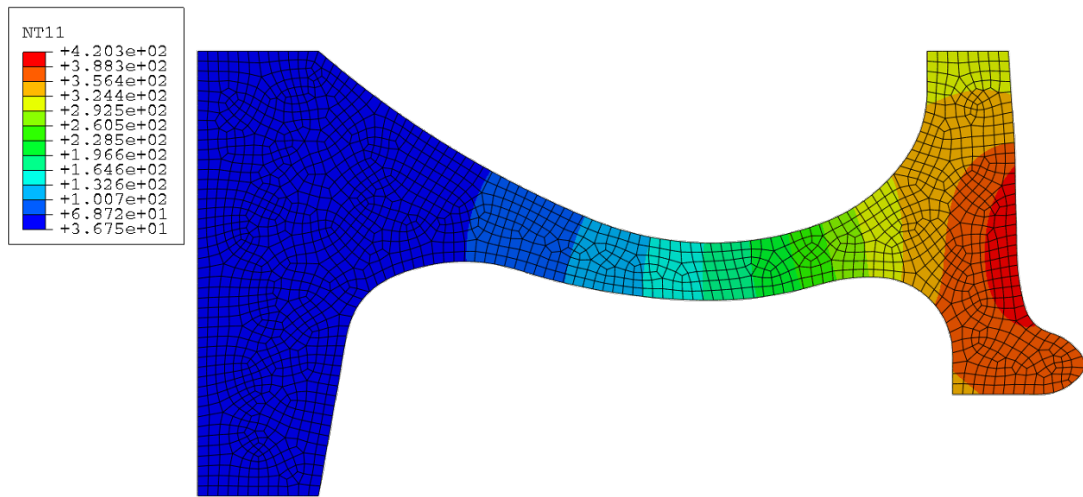
Notera att den antagna sträckgränsen kan vara för hög vid flänsen då endast en radiell variation antagits. Annan variation kan föras in men detta kräver detaljerad information om hårdhet över tvärsnitt. Detta skulle kunna mätas på skadade hjulet eller tas från liknande hjul.



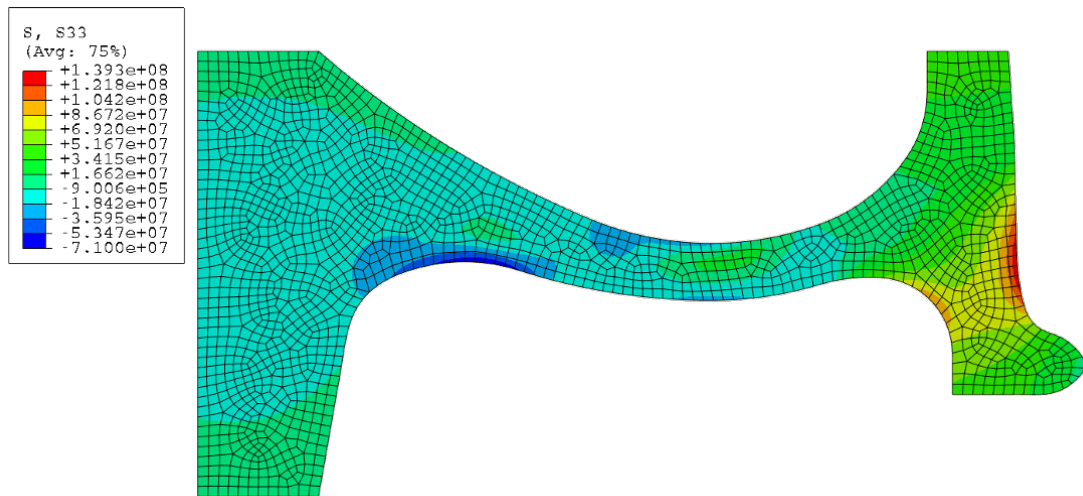
Figur 3: Resultat för $Q = 30$ [kW]. a) Temperatur. b) Restspänning.



Figur 4: Resultat för $Q_{\text{brake}} = 40 \text{ [kW]}$. a) Temperatur. b) Restspänning.

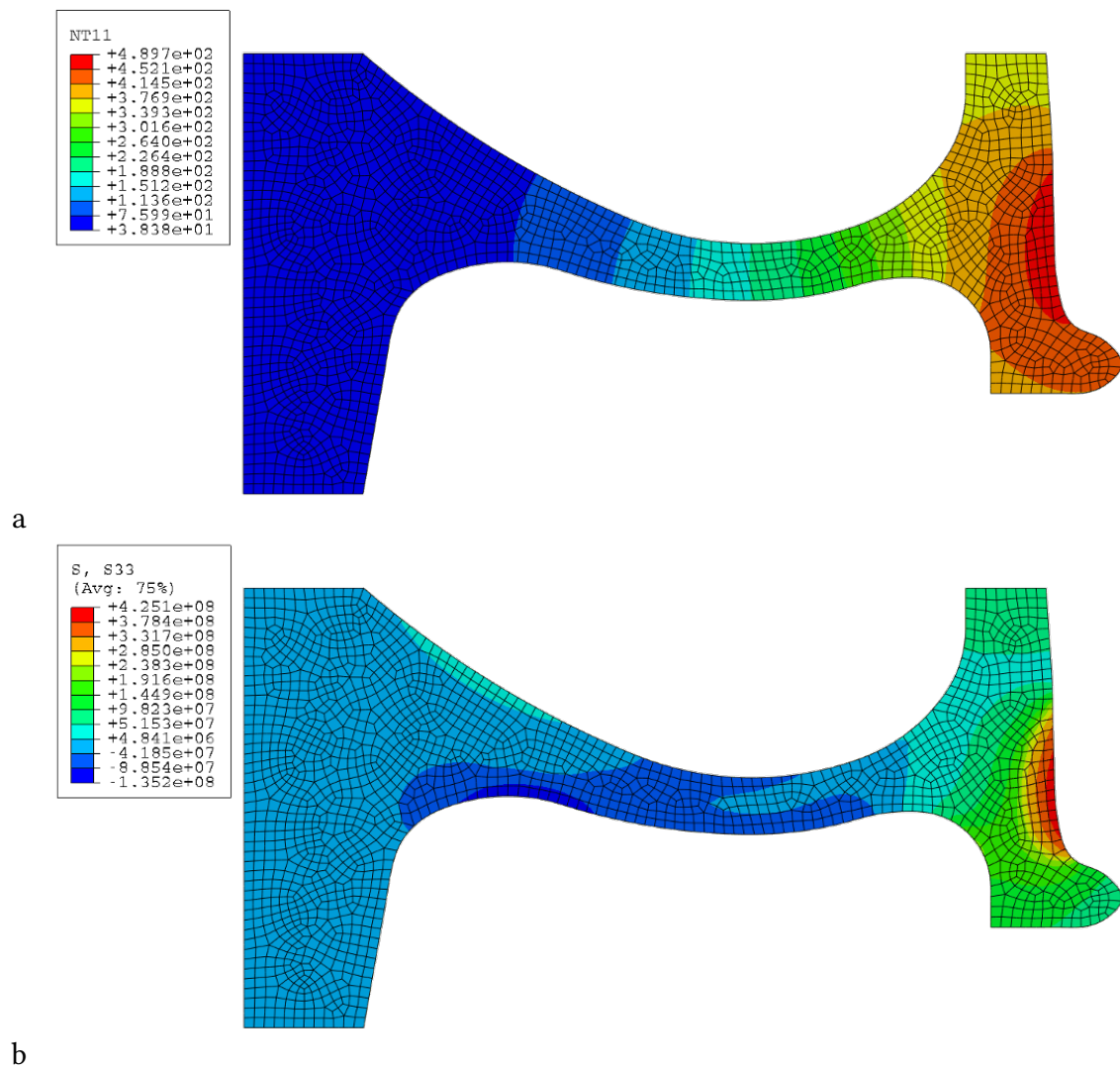


a



b

Figur 5: Resultat för $Q_{\text{brake}} = 50 \text{ [kW]}$. a) Temperatur. b) Restspänning.

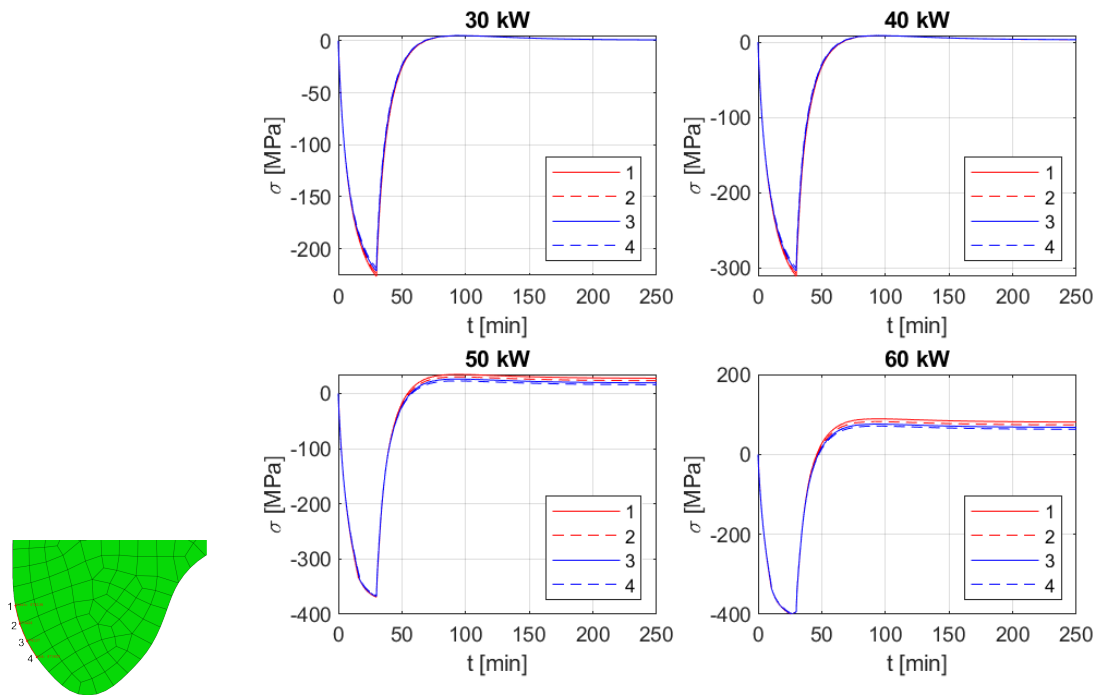


Figur 6: Resultat för $Q_{\text{brake}} = 60 \text{ [kW]}$. a) Temperatur. b) Restspänning.

En sammanställning av hur spänningen i omkretsled utvecklas under bromsning och nedkylningsförloppet för de olika värmeeffekterna visas i figur 7.

Lastfall	Maximal temperatur på löpbana [°C]	Högsta dragspänning på insida fläns [MPa]
Broms 30 kW	267	1.0
Broms 40 kW	338	3.0
Broms 50 kW	420	28 (nod 1), 16 (nod 4)
Broms 60 kW	490	81 (nod 1), 63 (nod 4)

Tabell 1: Maximala hjul-temperaturer och restspänningsnivåer i omkretsled vid insida fläns för noder enligt figur 7.



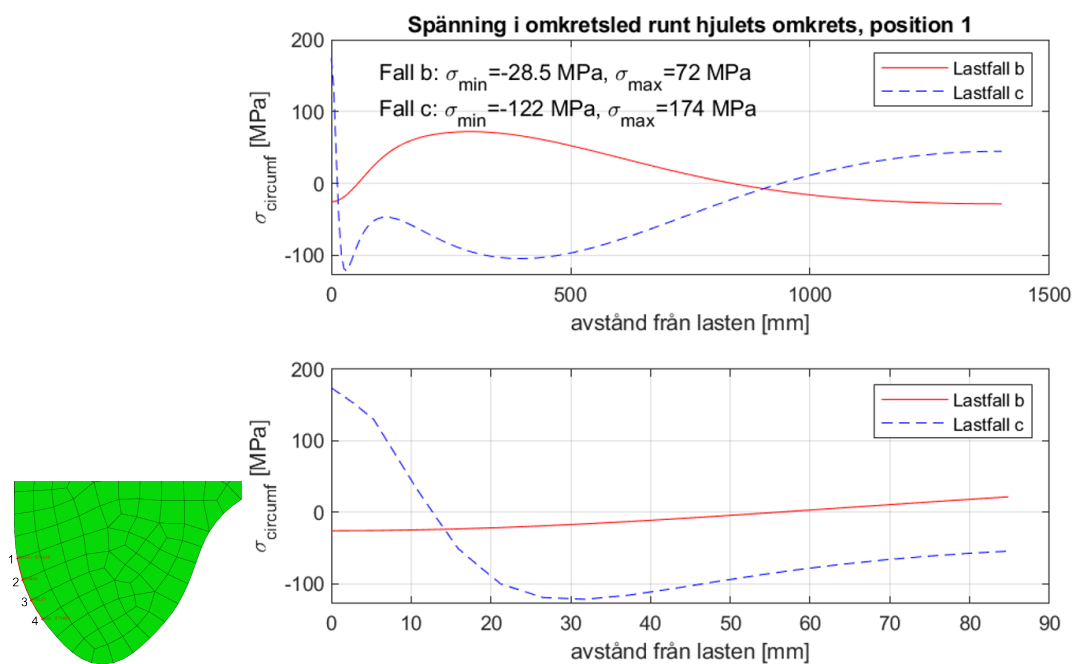
Figur 7: Spänning i omkretsled över tid för markerade noder på insida fläns.

3.2 Påkänning av mekaniska last

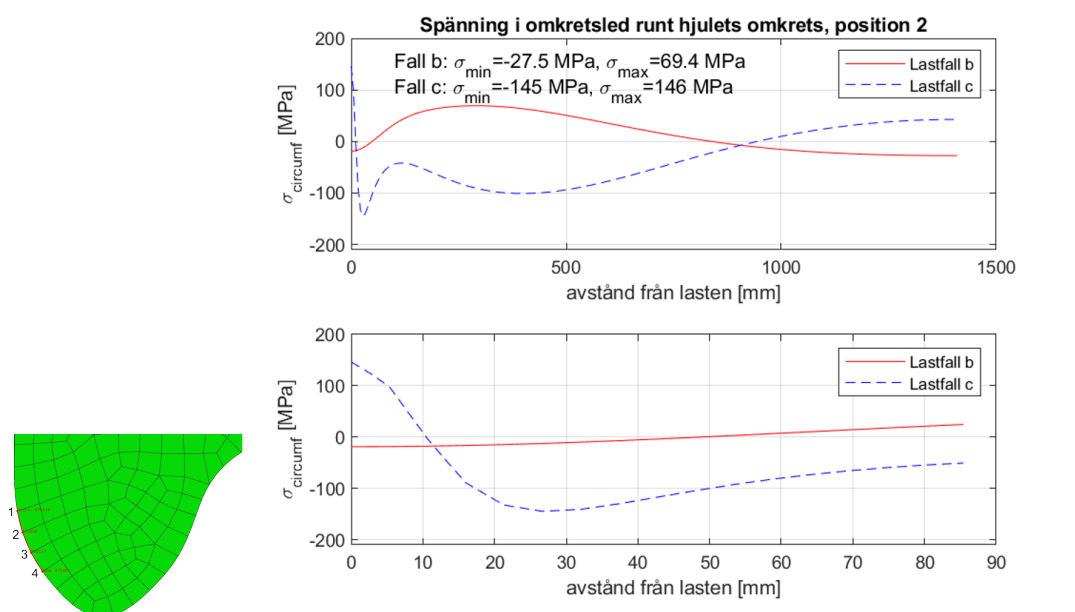
Spänning i omkretsled för lastfallen i figur 1b och c visas i figurerna 8–11.

I den sektion i omkretsled där den mekaniska lasten verkar ger lastfallet i figur 1b tryckspänningar på insida fläns medan lasten för lastfall i figur 1c ger dragspänningar. Någon decimeter från denna sektion i omkretsled är förhållandena omvända. Maximal och minimal spänning runt hjulet (motsvarande ”i tiden” för ett rullande hjul) ges i figurerna 8–11.

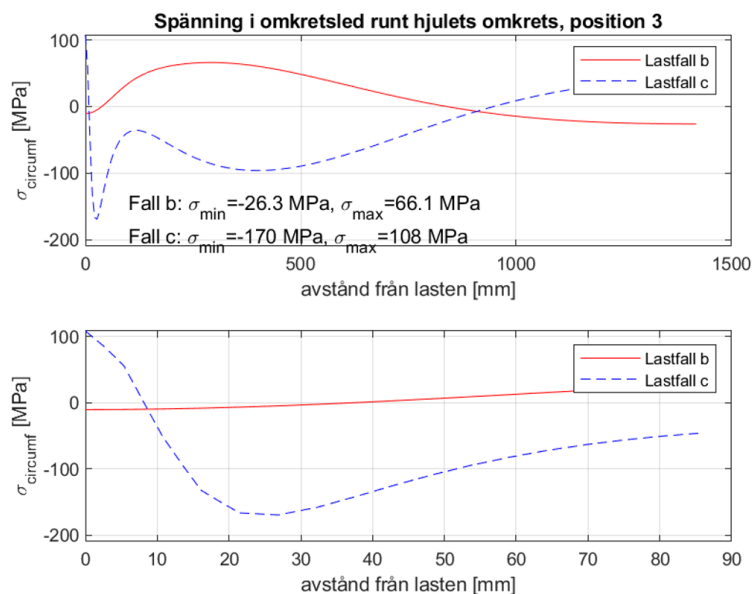
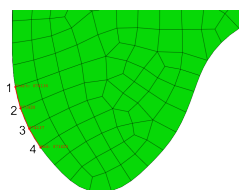
Mekaniska lasten verkar här på ett ”kallt hjul”. Inverkan på spänningar kan även studeras vid valda tidpunkter under bromsningen. Större skillnader i resultat förmodas dock först vid så höga temperaturer att sträckgränsen sjunker (över ca 400°C), vilket sker för bromseffekterna 50 kW och 60 kW, se tabell 1.



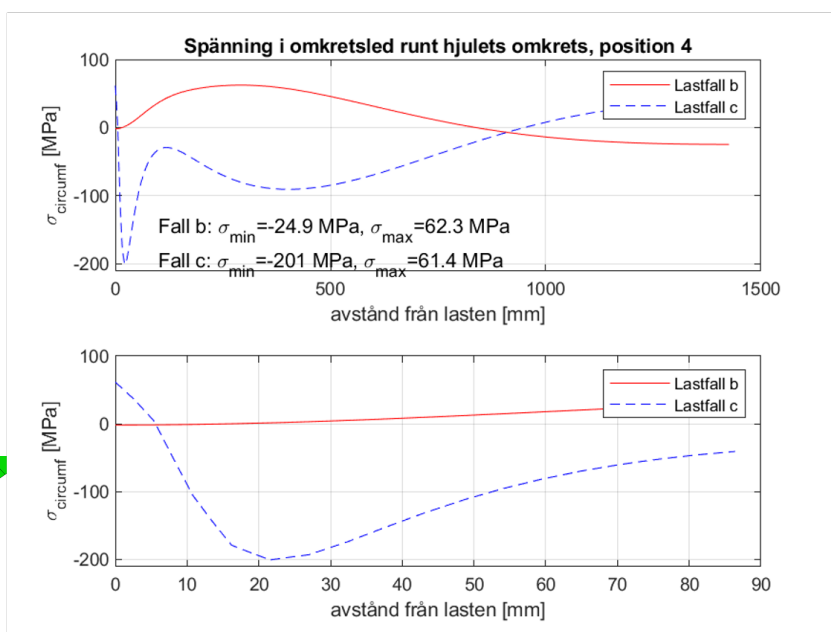
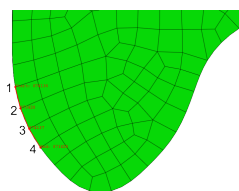
Figur 8: Spänningar i omkretsled för lastfall i figur 1b (last på fältsida) och c (last på flänssida) över tid för nod 1.



Figur 9: Spänningar i omkretsled för lastfall i figur 1b (last på fältsida) och c (last på flänssida) över tid för nod 2.



Figur 10: Spänningar i omkretsled för lastfall i figur 1b (last på fältsida) och c (last på fläns-sida) över tid för nod 3.



Figur 11: Spänningar i omkretsled för lastfall i figur 1b (last på fältsida) och c (last på fläns-sida) över tid för nod 4.

spänning \ nod	1	2	3	4
$\sigma_{b,max}$	72	69	66	62
$\sigma_{b,min}$	-28	-28	-26	-25
$\sigma_{c,max}$	174	146	108	61
$\sigma_{c,min}$	-122	-145	-170	-201

Tabell 2: Spänningsvariationer insida fläns i MPa.

4 Initiering av utmattning på insida fläns

4.1 Utmattningspåkänning

Spänningsvariationer på insida fläns framgår av tabell 2. Notera att lastfall b och c aldrig kommer att interagera. Däremot skulle bägge var för sig kunna driva spricktillväxt om de ger tillräckligt höga spänningar.

Med värden i tabell 2 kan spänningsamplituden beräknas som

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (1)$$

Spänningens mittvärde beräknas som

$$\sigma_{\text{mid}} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (2)$$

Effektivspänning som tar hänsyn till inverkan av mittspänning enligt Smith–Watson–Topper, se t.ex. [1], beräknas som

$$\sigma_{\text{SWT}} = \sqrt{\sigma_{\max} \cdot \sigma_a} \quad (3)$$

Under de gjorda antagandet att den termiska belastningen relaxerat restspänningen, d.v.s $\sigma_{\text{res}} = 0$ fås spänningsmagnituder enligt tabell 3.

4.2 Utmattningshållfasthet

Brottgräns för materialet i löpbana är ungefär $\sigma_u \approx 1\,000$ MPa och i stomme $\sigma_u \approx 835$ MPa. Detta ger en ungefärlig reducerad utmattningsgräns på $\sigma_e \approx 0.5\sigma_u \approx 450$ MPa, se t ex [1].

För att utmattning ska kunna ske vid de beräknade spänningarna krävs en reducerad utmattningsgräns, σ_{er} , sådan att $\sigma_{\text{SWT}} > \sigma_{\text{er}} = m\sigma_e$ där m är en reduktionsfaktor. För de två lastfallen i figur 1b och c behöver reduktionsfaktorn vara $m_b = 60/450 = 0.13$ respektive

nod spänning	1	2	3	4
$\sigma_{b,a}$	50	48	46	44
$\sigma_{b,mid}$	22	20	20	18
$\sigma_{b,SWT}$	60	58	55	52
$\sigma_{c,a}$	148	146	139	131
$\sigma_{c,mid}$	26	0	-31	-70
$\sigma_{c,SWT}$	160	146	123	89

Tabell 3: Utmattningsspänningar insida fläns, i MPa.

$m_c = 160/450 = 0.36$ för att utmattningssprickor ska kunna initieras. Med den höga brottspänningen och höga ytråheten är $m \approx 0.3$ inte orimligt.¹ Det innebär att utmattning kan ha initierats av lastfall c om ytskador funnits, men sannolikt inte av lastfall b.

Notera att positionen för initiering i figur 12 är närmare flänstoppen än positionen för maximal spänning. Detta kan bero på större ytskador högre upp och/eller annan angreppspunkt för lasten än antaget. Man kan här notera att omsvarvning inte tar bort material i det område där sprickan initierats. Sprickinitiering och begynnande tillväxt kan alltså skett även innan den senaste omsvarvningen då initieringspunkten låg mer i nivå med löpbanan.

5 Slutbrott

5.1 Spänningsintensitet

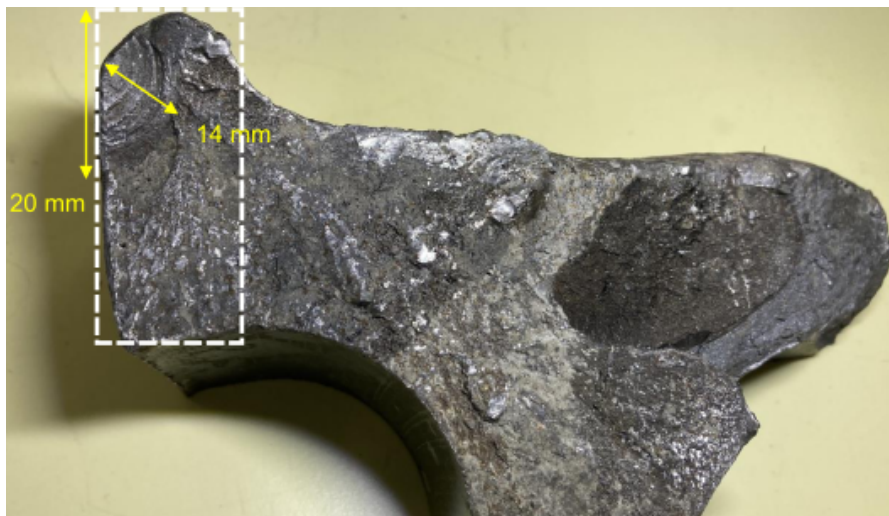
Med elementarfallet i figur 13 kan spänningsintensiteten för en kvartscirkulär hörnspricka uppskattas [5] som

$$K_I = \frac{M}{\Phi} \sigma_0 \sqrt{\pi a} \quad (4)$$

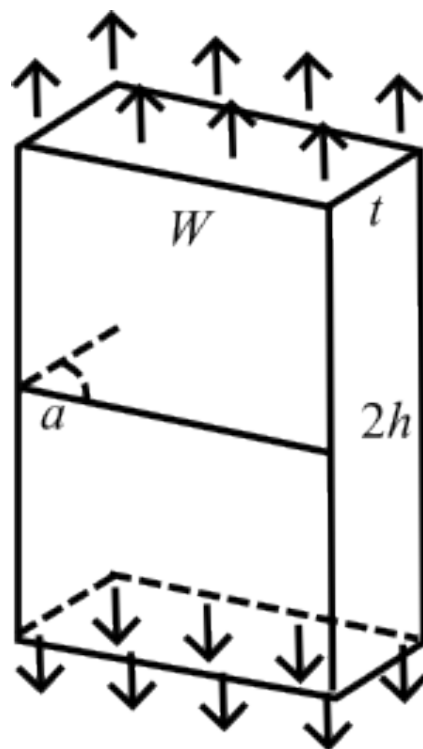
Här är $\Phi = E(0) \approx 1.57$ där E är den fullständiga elliptiska integralen av andra slaget och M en viktfaktor.

Sprickan i hörnet av flänsen i figur 12 studeras. Användning av elementarfallet i figur 13 motsvarar i princip att man studerar det område i figur 12 som är begränsat av en streckad vit linje. Inverkan av resterande hjulring, hjulskiva m.m. försummas. Dessutom antas en jämt utbredd nominell spänning. Dessa antaganden gör att resultaten enbart ska tas som en indikation på om spricktillväxt och brott är rimligt under de studerade lasterna. Mer exakta beräkningar av spänningsintensiteter kan göras med finita elementsimuleringar. Då laster

¹Motsvarar yta utsatt för korrosion eller ”obehandlad smidd yta” för material med brottspänning 1000 MPa [1].



Figur 12: Spricka som orsakade brott.



Figur 13: Kvarts-cirkulär ytspricka.

klass värde	R7T	Class B	Class B+	Class C	Class C+
$K_Q^{RT} [\text{MPa}\sqrt{\text{m}}]$	90	60	51	50	45
$K_V^{-20^\circ} [\text{J}]$	14	8	6	6	5
$K_Q^{RT} / K_V^{-20^\circ}$	6,4	7,5	8,5	8,3	9

Tabell 4: Medelvärde av brottseghet och slagseghet hos ett antal materialklasser för godshjul

och materialparametrar är osäkra bedöms detta dock inte tillföra speciellt mycket i detta skede.

Uppskattade dimensioner av parametrarna i figur 13 baserade på figur 12 är $a = 14 \text{ mm}$, $t = 24 \text{ mm}$ och $W = 50 \text{ mm}$. Dessa motsvarar bredd och höjd av den vita streckade rektangeln. Med $a/t = 0.6$ ger elementarfall 9.59 i [5] $M \approx 1.37$ vilket med jämt utbredd nominell spänning $\sigma_0 = 100 \text{ MPa}$ (tagen lägre än maximal spänning för lastfall c i tabell 2 för att grovt kompensera för spänningsgradienten) ger spänningsintensiteten

$$K_I = \frac{1.37}{1.57} 100 \sqrt{\pi \cdot 0.014} = 18 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (5)$$

Denna spänningsintensiteten skalar linjärt med (antaget jämt utbredd) nominell spänning.

5.2 Brothållfasthet

Brottsegheten hos ett antal materialklasser för godshjul listas i [2]. Värden på K_Q^{RT} (dimensionsberoende brottseghet i rumstemperatur när ASTM-kriterier för testdimensioner ej är uppfyllda) och $K_V^{-20^\circ}$ (slagseghet vid -20°C) från tabell 24 i [2] är sammanställda i tabell 4. Man ser att för dessa material (och enheter) $K_Q^{RT} / K_V^{-20^\circ} \approx 8$.

I rapporten [4] ges slagseghet (K_V) vid -20°C samt vid -40°C . Dessa återges i tabell 5. Antaget att $K_Q^{RT} / K_V^{-20^\circ} = 8$ även för det havererade hjulet kan minimivärdet av K_Q^{RT} uppskattas som $K_{Q,\min}^{RT} \approx 8 \cdot 4,2 = 34 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Minimivärdet är här mest intressant då brott oftast sker i svagare material.

Man ser även att $K_V^{-40^\circ} / K_V^{-20^\circ} \approx 0.6$ för minimivärden. Om det antas att sänkning i brottseghet mellan rumstemperatur och temperatur vid brott-tillfället (ca 0°C) motsvarar sänkningen i slagseghet mellan -20°C och -40°C fås $K_Q^{0^\circ} \approx 0.6 \cdot 34 = 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Detta antagande kan diskuteras då sänkningen inte är en linjär funktion av temperaturen.

Med reservation för alla antaganden och approximationer kan man ändå notera att påkänningen $K_I \approx 18 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ (se ekvation 5) är i samma storleksordning som hållfastheten $K_Q^{0^\circ} \approx 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

	$K_V^{-40^\circ}$	$K_V^{-20^\circ}$	$K_V^{-40^\circ} / K_V^{-20^\circ}$
medelvärde	3,5	4,5	0,8
minvärde	2,5	4,2	0,6

Tabell 5: Slagseghet för det aktuella hjulet vid olika temperaturer. Från [4] test K401258.

6 Spricktillväxt

Det är notoriskt svårt att uppskatta tröskelvärde för spänningsintensitetsfaktorn vad gäller spricktillväxt. En grov uppskattning [1] är

$$\Delta K_{th} \approx 7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (6)$$

För de belastningsfall vi har med $\sigma_{\min} < 0$ och de studerade materialen är ett rimligt antagande $\Delta K = K_{\max} - 0$.²

För sprickradie $a = 2,4 \text{ mm}$ fås $a/t = 0.1$ och $M \approx 1.13$ vilket med nominell jämt fördelad spänning $\sigma_0 \approx 100 \text{ MPa}$ ger spänningsintensiteten

$$K_I = \frac{1.13}{1.57} 100 \sqrt{\pi \cdot 0.0024} = 6 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (7)$$

En första uppskattning är därför att sprickor (och sprickliknande defekter) djupare än omkring 2–3 mm kommer växa till under den studerade belastningen enligt lastfall c.

En uppskattning av spricktillväxten fås genom att integrera Paris lag

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^n \quad (8)$$

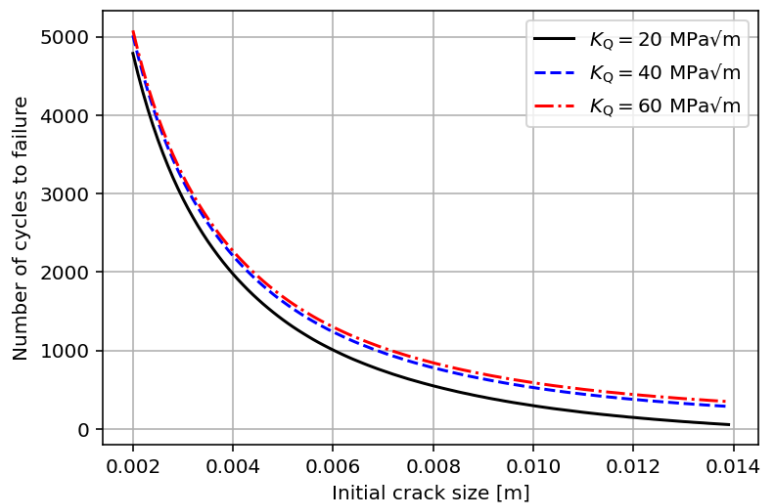
med $C = 5.8 \cdot 10^{-7}$ and $n = 3.7$ för ΔK i MPa och da/dN i meter per cykel, [3].³

Med sprickgeometri och belastning enligt figur 13 med jämt fördelad cyklisk nominell spänning med $\sigma_{\max} = 100 \text{ MPa}$ och $\sigma_{\min} = 0 \text{ MPa}$ ⁴ fås antal cykler till brott som funktion av initiell spricklängd enligt figur 14. För en initiell spricklängd på 2 mm fås en livslängd på ungefär 5 000 cykler och för initiell spricklängd av 3 mm en livslängd på omkring 3 000 cykler. Detta är relativt oberoende av K_Q , d.v.s. brottvärdet. Notera att eftersom kompressiva spänningar inte bedöms bidra till spricktillväxt så kommer en residualspänning i drag t.ex. från överhettning av flänsen att få fullt genomslag på ΔK så länge den mekaniska lasten är så hög att $\sigma_{\min} \leq 0$.

²Kompressiva spänningar bedöms här inte bidra till spricktillväxt.

³Tagna för Class B hjulstål upphettat till 750 °C och testat vid rumstemperatur vilket innebär att detta är en approximation.

⁴Då kompressiva spänningar inte bedöms bidra till spricktillväxt och därför inte beaktas i beräkningen av ΔK .



Figur 14: Livslängd för kvarts-cirkulär ytspricka som funktion av initieell spricklängd för olika brottsegheter K_Q med $\sigma_{0,\max} = 100$ MPa.

Den studerade belastningen för lastfall c innebär hård flänskontakt. Detta bör endast förekomma i skarpa kurvor under ogynnsamma förhållanden när flänskontakt uppkommer på en position i omkretsled som motsvarar sprickans position. Dock kan det uppkomma flera lastcykler i en sådan kurva.

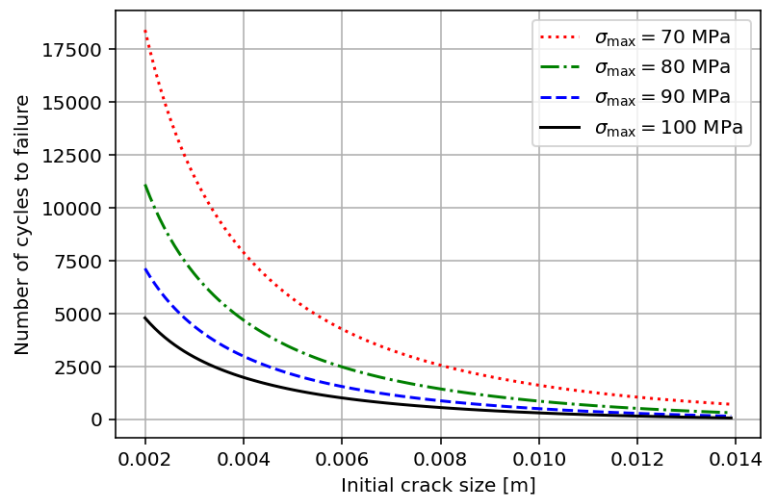
Spänningsnivåerna motsvarar även en sliten hjulprofil och lär vara lägre för nominell profil. En uppfattning om den stora påverkan spänningsnivån har på livslängden ges i figur 15.

Sammanfattningsvis är det inte möjligt att med större precision beräkna livslängden för en 2–3 mm initieell spricka med den begränsade indata som finns. En första uppskattning kan dock vara att en så hög nominell spänningsnivå som $\sigma_{0,\max} = 100$ MPa uppkommer maximalt tio gånger per lastad tur i genomsnitt över hjulets livslängd för en vagn med relativt dålig gång.⁵ Fler lastcykler av denna typ bör ge kraftigt flänsslitage och därmed tidig omsvarvning. Det skulle då handla om i storleksordningen ett antal hundra turer till haveri vilket motsvarar månader av drift. Men detta är som sagt en grov uppskattning som bör förfinas med mer detaljerade simuleringar och mätningar.

7 Slutsatser

Syftet med studien var att undersöka om det är rimligt med sprickinitiering, tillväxt och slutbrott med de antagna lasterna. Analyserna visar att under förutsättning att svarvning och den termiska belastningen av flänsen eliminerat resttryckspänningar i hjulringen från tillverkningen så gäller att:

⁵I praktiken har vi ett lastspektrum som verkar på hjulflänsen, så spänningen bör ses som en ekvivalentspänning.



Figur 15: Livslängd för kvarts-cirkulär ytspricka som funktion av initieell spricklängd för olika nominella spänningar $\sigma_{0,\max}$ med $K_Q = 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

- Vid de spänningsnivåer som uppkommer ($\sigma_{\text{SWT}} \approx 160 \text{ MPa}$) vid flänskontakt är utmattningsinitiering inte orimlig om flänsytan blivit repad eller liknande.
- Sprickor bör för de studerade lastfallen kunna växa vidare om de är djupare än några millimeter.
- Sprickan som orsakar slutbrott genererar för den studerade mekaniska lasten en spänningsintensitet i storleksordningen $K_I = 18 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Denna ska jämföras med en brottseghet i storleksordningen $K_Q^{0^\circ} = 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Det är alltså inte orimligt med brott vid antagna laster.
- Uppvärmning av fläns vid bromsning med lateralförskjutet bromsblock ger en restspänning i drag. I princip motsvarar storleken på denna den restspänning som orsakats av den högsta temperaturen som uppkommit i flänsen sedan sista omsvarvningen av hjulet.
- Restspänningar och överlaster har en stor inverkan på slutbrott, men mindre inverkan på utmattningsinitiering. Restspänningar har stor inverkan på spricktillväxt medan inverkan av överlaster på spricktillväxt är liten.
- Det är därför troligt att slutbrott påskyndats av dragspänning i flänsen på grund av en termisk överlast sedan sista omsvarvningen och/eller av en mekanisk överlast mot insida fläns då haveriet inträffade.
- Tiden för en liten (såg 2–3 mm) spricka att växa till slutbrott är troligen i storleksordningen månader.

Påkänningsnivåerna ligger (även om ytterligare restspänningar och överlaster beaktas) nära hållfasthetsnivåerna vilket antyder att flera (eller troligen alla) de negativt påverkande faktorerna – sliten profil, låg brottseghet, skadad baksida fläns, hög belastning, dragspänningar

i fläns — måste samverka för att orsaka ett utmattningsbrott. Detta är rimligt då denna typ av brott är mycket ovanlig.

Antagandet att flänsen utsatts för hög termisk belastning stöds av förekomsten av blånad som påvisas i [4]. Antagandet om hög ytråhet på baksida stöds av förekomsten av repor på baksida fläns på motstående hjul vilket visas i [4]. Slutsatsen från analysen att påkänningen ligger nära utmattningsgränsen stöds av förekomsten av mikrosprickor på baksida fläns på vissa hjul med nedsliten profil vilket diskuteras i [4].

Notera att studien enbart har beaktat om brott ($K_I > K_{Ic}$) uppkommer i flänsen, inte om detta innebär brott ända in till navet. För en sådan studie krävs mer detaljerad kännedom om restspänningar, materialhållfasthet m.m.

8 Framtida studier

Som nämnts är analyserna i denna rapport relativt grova och fokuserar enbart på att besvara frågan om det är rimligt med sprickinitiering, tillväxt och slutbrott med de antagna lasterna. För mer omfattande slutsatser som kan leda till reviderade dimensionerings- och underhållskriterier m.m. behövs mer detaljerade analyser. Exempel på områden som bör inkluderas i en sådan undersökning är

- Mer exakta K_I -värden från FE-beräkningar
- Jämförelse med påkänningsvärden för nominell profil
- Mätning av restspänningsfördelning för hjul med slitna profiler
- Numerisk simulering av hur denna restspänning relaxeras vid svarvning och uppvärmning av fläns.
- Mätning av spänningsnivåer under drift med slitna hjul
- Simulering av spänningsnivåer och utmattningstidslängd vid olika operativa scenarier
- Bättre materialdata speciellt vad gäller brottseghet i kall temperatur
- Mer detaljerade analyser av utmattningsinitiering
- Mer detaljerad analys av spricktillväxthastigheter under olika operativa scenarier

Referenser

- [1] Norman Dowling, Stephen Kampe, and Milo Kral. *Mechanical Behavior of Materials*. Pearson, 5 edition, 2019.
- [2] A Ghidini, M Diener, and Schneider J. *Wheels for freight cars – Development and applications for heavy haul service*. Lucchini RS, 2010.

- [3] Lorenzo Ghidini, Angelo Mazzù, Michela Faccoli, L Ghidini, A Mazzu, and M Faccoli. Assessing the impact of thermal loading from brake shoes on microstructure and mechanical properties in various railway wheel steels: A comparative study. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance*. J. Pombo, 2024.
- [4] David Hjertsén. Undersökning av tåghjul, j-18/23. Technical Report TEK24-0032, Element materials technology AB, 2024.
- [5] Y Murakami, editor. *Stress intensity factors handbook*, volume 3. Pergamon press, 1992.