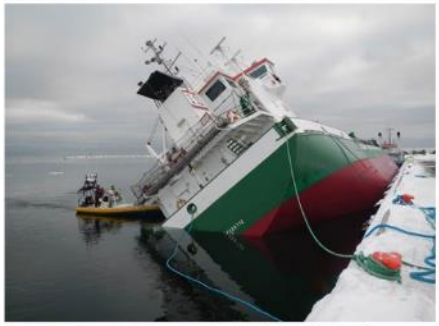
Statens haverikommission
Swedish Accident Investigation Authority



Slutrapport SHK 2024:08

Urspårning med resandetåg (Arlanda Express) på Blackvretens driftplatsdel

Diarienr J-7/23

2024-06-17

SHK utreder olyckor och tillbud från säkerhetssynpunkt. Syftet med utredningarna är att liknande händelser ska undvikas i framtiden. SHK:s utredningar syftar däremot inte till att fördela skuld eller ansvar, vare sig straffrättsligt, civilrättsligt eller förvaltningsrättsligt.

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

ISSN 1400-5743

Illustrationer i SHK:s rapporter skyddas av upphovsrätt. I den mån inte annat anges är SHK upphovsrättsinnehavare.

Med undantag för SHK:s logotyp, samt figurer, bilder eller kartor till vilka någon annan än SHK äger upphovsrätten, tillhandahålls rapporten under licensen Creative Commons Erkännande 2.5 Sverige. Det innebär att den får kopieras, spridas och bearbetas under förutsättning att det anges att SHK är upphovsrättsinnehavare. Det kan t.ex. ske genom att vid användning av materialet ange ”Källa: Statens haverikommission”.

I den mån det i anslutning till figurer, bilder, kartor eller annat material i rapporten anges att någon annan är upphovsrättsinnehavare, krävs dennes tillstånd för återanvändning av materialet.

Omslagets bild tre – Foto: Anders Sjödén/Försvarsmakten.

Postadress/Postal address
P.O. Box 6014
SE-102 31 Stockholm
Sweden

Besöksadress/Visitors
Sveavägen 151
Stockholm

Telefon/Phone
+46 8 508 862 00

Fax/Facsimile
+46 8 508 862 90

E-post/E-mail
info@shk.se

Internet
www.shk.se

Innehåll

1. SAMMANFATTNING....4
SUMMARY IN ENGLISH....5
2. UTREDNINGEN OCH DESS SAMMANHANG....7
3. BESKRIVNING AV HÄNDELSEN....9
a) Händelsen och bakgrundsinformation....9
Händelseförloppet....10
Personskador, materiella skador och skador på miljön....13
Räddningsinsatsen....13
b) Faktabeskrivning....14
Berörd personal, entreprenörer samt andra parter....14
Arbetsmiljö och hälsa....15
Fordonsuppgifter....15
Infrastruktur....15
Kommunikationsmedel....16
Olycksplatsundersökning....17
Registrerade data och loggar....23
Fakta om växlarna 106 och 103 i Blackvreten....26
Fordon som trafikerar Arlandabanan....30
Föreskrifter, regler och tillsyn....30
Tillverkning och kontroll av drivanslutningsplattan till växel 106....31
Besiktning och underhåll av växel 106....32
Växlar med rörlig korsningsspets i Köpenhamns metro....36
Trafikverkets växlar med rörlig korsningsspets....36
Liknande händelser....38
Vidtagna åtgärder....38
c) Utökad teknisk undersökning av växel 106....39
4. ANALYS AV HÄNDELSEN....45
a) Hur spårade tåg 7900 ur?....45
b) Varför gick drivanslutningsplattan i växel 106 sönder?....46
c) Hur mycket påverkade stumsvetsarnas bindfel?....46
d) Hur har korsningspartiet i växel 106 påverkats?....47
e) Hur utfördes säkerhetsbesiktning och underhåll?....48
f) Kan andra växlar med rörlig korsningsspets påverkas?....49
g) Hur fungerade larmning och räddningsinsats?....50
5. SLUTSATSER....51
a) Slutsatser avseende orsakerna till händelsen....51
b) Åtgärder som vidtagits efter händelsen....51
c) Övriga iakttagelser....51
d) Utredningsresultat....51
6. SÄKERHETSREKOMMENDATIONER....52
Bilaga 1 - Element Material Technology AB:s rapport....53

1. SAMMANFATTNING

Morgonen den 27 maj 2023 framfördes Arlanda Express tåg 7900 från Stockholm C mot Arlanda flygplats med 67 passagerare ombord. När tåget i 178 km/tim passerade växel 106 på Blackvretens driftplatsdel brast ett svetsförband till växelns rörliga korsningsspets. Korsningsspetsen flyttade sig ur läge under tåget och den andra till fjärde vagnen spårade ur. De urspårade vagnarna följde spåret och studsade över några efterföljande växlar innan det stannade efter cirka 900 meter. En passagerare fick allvarliga skador samtidigt som skadorna på infrastruktur och fordon blev omfattande.

Undersökningar visar att svetsförbanden i den drivanslutningsplatta som överförde kraft från växeldrivet till korsningsspetsen hade bindfel[1] och utmattningssprickor.

Den direkta orsaken till urspårningen var att den rörliga korsningsspetsen i växel 106 flyttades ur läge när svetsförbandet i drivanslutningsplattan brast till följd av restbrott.

Dynamiska lastfall från passerande hjulaxlar har orsakat utmattningssprickor i drivanslutningsplattans svetsförband, med början i stumsvetsarnas[2] bindfel.

På systemnivå var drivanslutningsplattan inte konstruerad för de lastfall och förutsättningar som förelåg i växel 106, samtidigt som regler och rutiner för säkerhetsbesiktning och underhåll inte var utformade att identifiera och åtgärda brister i drivanslutningsplattans svetsförband.

Säkerhetsrekommendationer

A-Train AB rekommenderas att:

- Med anledning av tidigare högt slitage, underhåll och skadeutfall i växel 106, följa slitage, underhållsbehov och andra relevanta indikationer för att proaktivt identifiera eventuella brister i syfte att säkerställa trafiksäker funktion i den nya växeln. Vid eventuella oklarheter avseende besiktning och underhåll bör A-Train kontakta tillverkaren för bedömning om och i så fall hur instruktioner och rutiner kan förbättras. *(SHK 2024:08 R1)*

Vossloh Switch Systems AB rekommenderas att:

- Undersöka om svetsförband i nytillverkade drivanslutningsplattor ska dimensioneras för dynamiska lastfall i syfte att minimera risken för utmattningssprickor och brott. *(SHK 2024:08 R2)*

- Följa upp regler och rutiner för att säkerställa att svetsarbeten uppfyller krav och standarder. *(SHK 2024:08 R3)*

[1] Bindfel innebär ofullständig bindning i smältgränsen mellan svetsfog och omgivande material.
[2] En stumsvets är när två parallella arbetsstycken sammanfogas, orienterade i samma plan.

Trafikverket rekommenderas att:

- Undersöka drivanslutningsplattor med volymetrisk provning i syfte att säkerställa att svetsförbanden uppfyller ställda krav och detektera eventuella dolda fel i lastbärande svetsar. *(SHK 2024:08 R4)*

- Se över styrande dokument i syfte att säkerställa att svetsförband i drivanslutningsplattor till rörliga korsningsspetsar i Trafikverkets infrastruktur kontrolleras i erforderlig omfattning för att minimera riskerna för utmattningssprickor och brott. *(SHK 2024:08 R5)*

- I samråd med SOS Alarm Sverige AB arbeta fram ett sätt att snabbt kunna positionera en järnvägsolycka. Arbetet bör inriktas på att Trafikverket, i samband med den första informationen om olyckan, ska kunna ta fram och förmedla en position som SOS Alarm och räddningsresurser kan relatera till. *(SHK 2024:08 R6)*

SUMMARY IN ENGLISH

On the morning of 27 May, 2023, Arlanda Express train 7900 was on route from Stockholm C to Arlanda Airport with 67 passengers on board. When the train passed Blackvreten station at 178 km/h, a welding joint in the movable crossing of switch number 106 ruptured. The switch rail in the crossing moved out of position under the train and the second to fourth wagons derailed. The derailed wagons followed the track and bounced over two following switches before coming to a stop after about 900 metres. One passenger was seriously injured and the damage to infrastructure and vehicles was extensive.

The investigations show that the welding joints in the drive connection plate that transmits power from the switch drive to the movable crossing had lack of fusion and fatigue cracks.

The direct cause of the derailment was that the movable crossing in switch 106 was moved out of position when the welding joint in the drive connection plate broke due to residual fracture.

Dynamic load from passing wheel axles had caused fatigue cracks in the drive connection plate welding joints, originating in lack of fusion in the butt welds.

At the system level, the drive connection plate was not designed for the load cases and conditions that existed in switch 106, furthermore the rules and routines for safety inspection and maintenance were not designed to identify and remedy cracking in the drive connection plate's weld joints.

Measures taken since the accident

A-Train AB

A-Train has replaced the damaged switches 106 and 103 in Blackvreten. The new switches have the same dimensions and movable crossing, but slipper-integrated Easyswitch type drives with a different type of attachment and

position indication for the movable crossing. Following the change of switches and drive type, A-Train no longer has any drive connection plates in its infrastructure.

A-Train has decided to double the number of safety inspections of switch 106 from six to twelve per year.

A-Train, aided by an external expert, has carried out an examination and welding quality measurement of the damaged drive connection plate for switch 106. The result of the examination was, among other things, that the welds did not meet the requirements of EN ISO 5817, acceptance class B.

A-Train's investigation also included a finite element simulation with varying boundary conditions. The simulations show that movements in the movable crossing can lead to high stresses in the butt welds of the drive connection plate. The calculated load cases in combination with the dimensioning and execution of the welds could lead to fatigue and failure.

The Swedish Transport Administration

After the accident in Blackvreten, the Swedish Transport Administration has checked switches with the affected type of drive connection plate in its infrastructure. The check was carried out with the drive connection plates mounted under the crossing section. The welding joints were cleaned and treated with dye penetrant testing, see example in figure 25. None of the checked drive connection plates showed visible cracks in the welding joints. However, the inspection was not volumetric and could not detect any hidden cracks from the root side of the welds.

The Swedish Transport Administration's dispatch center in Stockholm has identified that it was the choice to use a prefix before dialing 112 that delayed the alarm call and has then informed the train dispatchers.

Safety recommendations

A-Train AB is recommended to:

- Due to previous high wear, maintenance and damage outcome in switch 106, follow up on wear, maintenance and other relevant indications to proactively identify any deficiencies in order to ensure safe operation of the new switch. In the event of any ambiguities regarding inspection and maintenance, A-Train should contact the manufacturer for an assessment of whether and, if so, how instructions and routines can be improved. *(SHK 2024:08 R1)*

Vossloh Switch Systems AB is recommended to:

- Investigate whether welding joints in newly manufactured drive connection plates should be dimensioned for dynamic loads in order to minimize the risk of fatigue cracks and breakage. *(SHK 2024:08 R2)*
- Follow up on rules and procedures to ensure that welding works meet requirements and standards. *(SHK 2024:08 R3)*

The Swedish Transport Administration is recommended to:

- Examine drive connection plates with volumetric testing in order to ensure that the welding joints meet set requirements and to detect any hidden defects in load-bearing weldings. *(SHK 2024:08 R4)*
- Review governing documents in order to ensure that welding joints in drive connection plates at movable crossings in the Swedish Transport Administration's infrastructure are inspected to the required extent to minimize the risks of fatigue cracks and breakage. *(SHK 2024:08 R5)*
- In consultation with SOS Alarm Sverige AB, work out a way to quickly position a railway accident. The work should focus on the ability of the Swedish Transport Administration to, in connection with the first information about the accident, develop and convey a position to which SOS Alarm and rescue resources can relate. *(SHK 2024:08 R6)*

2. UTREDNINGEN OCH DESS SAMMANHANG

Utredningens omfattning och avgränsningar

Statens haverikommission (SHK) är en statlig myndighet som har till uppgift att utreda olyckor och tillbud till olyckor i syfte att förbättra säkerheten. SHK:s olycksutredningar syftar till att så långt som möjligt klarlägga såväl händelseförlopp och orsak till händelsen som skador och effekter i övrigt. En utredning ska ge underlag för beslut som har som mål att förebygga att en liknande händelse inträffar i framtiden eller att begränsa effekten av en sådan händelse. Samtidigt ska utredningen ge underlag för en bedömning av de insatser som samhällets räddningstjänst har gjort i samband med händelsen och, om det finns skäl för det, för förbättringar av räddningstjänsten.

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?*

SHK har inga tillsynsuppgifter och har inte heller någon uppgift när det gäller att fördela skuld eller ansvar, eller rörande frågor om skadestånd. Det medför att ansvars- och skuldfrågorna varken undersöks eller beskrivs i samband med en utredning. Frågor om skuld, ansvar och skadestånd handläggs inom rättsväsendet eller av t.ex. försäkringsbolag.

I SHK:s uppdrag ingår inte heller att vid sidan av den del av utredningen som behandlar räddningsinsatsen undersöka hur personer förda till sjukhus blivit behandlade där. Inte heller utreds samhällets aktiviteter i form av socialt omhändertagande eller krishantering efter händelsen.

Beslutet att inleda en utredning

SHK underrättades den 27 maj 2023 om att en urspårning inträffat med resandetåg 7900 samma morgon på Blackvretens driftplatsdel, Stockholms län. SHK påbörjade samma dag en olycksplatsundersökning.

Den 29 maj 2023 beslutade SHK att utreda händelsen med motiveringen att olyckan var en allvarlig urspårning med ett resandetåg med omfattande skador på fordon och infrastruktur som följd. SHK gjorde även iakttagelser på olycksplatsen som visade på allvarliga brister i säkerhetshänseende.

Förordningen om undersökning av olyckor 17 § anger att SHK ska informera den myndighet vars ansvarsområde olyckan eller tillbudet berör i syfte att undvika liknande händelser som den undersökningen avser innan undersökningen avslutas och rapporten är färdig. Med ledning av iakttagelser av skador i växel 106 informerade SHK Transportstyrelsens beredskap för händelser i spårtrafik på lördag eftermiddag den 27 maj. Beslut togs att hålla ett videomöte med Transportstyrelsen måndag morgon den 29 maj. På mötet redovisade SHK den initiala fakta som fanns tillgänglig från olycksplatsen.

Utredningsgruppen

SHK har företrätts av generaldirektören John Ahlberk, ordförande, Mikael Hillbo, utredningsledare och Gideon Singer, teknisk utredare.

SHK har biträtts av Element Materials Technology AB som expert på materialanalys av metalliska material.

Utredningen har följts av Transportstyrelsen genom Katarina Bjurman.

Utredningsmaterialet

SHK har undersökt olycksplatsen, spår, växlar och järnvägsfordon.

SHK har intervjuat:

- Föraren.
- Tågvärden.
- Säkerhetschefen på A-Train AB.

SHK har genomfört ett flertal möten med representanter för A-Train AB (A-Train), Vossloh Switch Systems AB (Vossloh), Trafikverket och Transportstyrelsen.

Underlag från intervjuer och möten har arbetats in i rapporten.

SHK har även tagit del av dokumentation och registreringar från ovan nämnda aktörer samt från SOS Alarm Sverige AB och Brandkåren Attunda.

Ett haverisammanträde hölls den 4 december 2023. Vid haverisammanträdet presenterades det faktaunderlag som fanns vid den tidpunkten.

3. BESKRIVNING AV HÄNDELSEN

a) Händelsen och bakgrundsinformation

Typ av händelse:	Urspårning av ett resandetåg
Tidpunkt:	Den 27 maj 2023, kl. 04.35
Väderuppgifter:	Arlanda flygplats registrerade kl. 04.00 7 °C, uppehåll och svag vind
Plats:	Blackvretens driftplatsdel inom Arlanda driftplats
Infrastrukturförvaltare:	A-Train AB
Trafikledning:	Trafikverket
Linjetyp:	Huvudspår
Typ av trafikverksamhet:	Tågfärd
Järnvägsföretag:	A-Train AB
Tågnummer:	7900
Fordon:	X3, tågsätt 4 Vagnar i tågets färdriktning: 93 740 003 004-8 93 740 003 104-6 93 740 003 204-2 93 740 003 304-2
Hastighet:	178 km/tim
Personskador:	1 allvarligt skadad passagerare
Skador på infrastruktur:	Omfattande skador
Skador på fordon:	Omfattande skador
Andra skador:	Begränsade läckage av olja från fordon

Händelseförloppet

Morgonen den 27 maj 2023 kl. 04.20 avgick tåg 7900 från Stockholm C som dagens första Arlanda Express[3] till Arlanda flygplats.

Ombord på tåget fanns 67 passagerare, föraren och en tågvärd.

Tåget framfördes i 178 km/tim när det kl. 04.34 närmade sig Blackvreten, några kilometer, söder om Arlanda flygplats, se figur 1. Infartssignal 122 visade ”kör” vilket medgav föraren att köra i upp till 200 km/tim genom Blackvretens driftplatsdel.

Figur 1 visar platsen för urspårningen, Blackvreten, norr om Stockholm. I den infällda kartvyn visas tågets färdväg med röd linje. Den avslutande streckade röda linjen visar översiktligt var tåget gick urspårat. Bild från Eniro, https://kartor.eniro.se/?c=59.475430,18.085556&z=11&fs=true, © Lantmäteriet/Infotrader i Ronneby AB

[3] Arlanda Express är produktnamn för de tåg som A-Train kör mellan Stockholm och Arlanda flygplats.

Föraren har beskrivit att den första indikationen på att något inträffat var att lampan ”putsbroms”[4] tändes. Strax efter startade en serie med olika larm och felindikeringar i förarhytten och nödbromsen aktiverades. Föraren misstänkte då i första hand någon form av tekniskt fel på tåget.

Den andra vagnens bakre boggi samt hela tredje och fjärde vagnen spårade ur, rullade vid sidan av rälerna och studsade slutligen över flera växlar innan tåget stannade parallellt med A-Trains depåbyggnad i Blackvreten, se figur 2.

Figur 2 visar norra delen av Blackvretens driftplatsdel, med det urspårade tåget och depåanläggningen i bakgrunden. Tågets färdväg visas med streckade röda linjer. Tågets sista vagn förflyttade sig i slutskedet av urspårningen delvis ut i spåret till höger.

Tågvärden befann sig sittande vid serviceplatsen i den tredje vagnen och kände när tåget spårade ur. Tågvärden uppfattade först en kraftig smäll i fronten av vagnen följt av att vagnskorgen ”reste på sig” för att sedan sjunka ner och rulla bredvid spåret.

Trafikverkets tågklarerare observerade samtidigt onormala indikeringar i manöversystemet för signalställverket där växlar gick ur kontroll både i tågets färdväg och på det intilliggande spår 10. Tågklareraren ringde därför upp föraren och frågade om tåget hade spårat ur. Föraren svarade att det kommit en mängd felindikeringar i förarhytten och att hen behövde kontrollera om tåget spårat ur.

Tågvärden skyndade fram till förarhytten och informerade föraren om urspårningen. Föraren öppnade förarhyttens sidodörrar, tittade bakåt och såg att tåget spårat ur samt att den sista vagnen stod förskjuten ut i det intilliggande spår 10, se figur 3.

[4] Putsbroms kan ansättas för att minska risken för isbildning på fordonets bromsskivor.

Figur 3 visar fronten av tåget och hur den sista vagnen står förskjuten över det intilliggande spåret.

Urspårningen och hjulaxlarnas förflyttning över slipers och makadam hade orsakat rökutveckling. Föraren tog ner strömavtagaren och slog ifrån batterispänningen för att minska risken för brand eller andra skador orsakade av elektricitet. Föraren sände kl. 04.37 ett järnvägsnödanrop från förarhyttens MobiSIR[5]: ”Stopp för alla tåg mellan Arlanda och Blackvreten. Möjlig urspårning”. Meddelandet gick ut till trafikcentralen samt till alla tåg i närområdet. Tågklareraren bekräftade meddelandet och svarade att larmning skulle ske. Trafikverket beslutade även att bryta spänningen i kontaktledningsanläggningen. Parallellt ringde tågvärden till Trafikverkets larmnummer från sin mobiltelefon och förtydligade behovet av räddningstjänst. Tågvärden fick även bekräftat att trafiken hade stoppats på det intilliggande spåret.

Tågvärden inledde arbetet med att kontrollera tåget och passagerarna. Det luktade bränt av elutrustning i de bakre vagnarna. Tågvärden uppmanade passagerarna att flytta till de två främre vagnarna eftersom dörrarna mellan vagnarna hade skyddat mot rök och värme. Det uppstod dock ingen brand eller fortsatt rökutveckling i tåget.

En man i fjärde vagnen hade fått skador i ryggen och låg ner. Han fick via tågvärdens telefon, kontakt med SOS Alarm för att bättre förklara sina skador. Tågvärden bad två passagerare, kabinpersonal på väg till Arlanda, att stanna med mannen tills räddningstjänsten anlände.

Tågvärden observerade att en person nödöppnat en dörr och att några passagerare gått av i spårområdet. Tågvärden informerade om riskerna att lämna tåget och befinna sig i spårområdet, varvid alla utom en passagerare gick ombord igen. Totalt var därför 66 av 67 passagerare kvar på tåget vid evakueringen.

[5] MobiSIR är Trafikverkets namn på GSM-R systemet, den europeiska järnvägens tågradiosystem.

Enligt vad som framkommit hade tågpersonalen tillfredsställande rutiner och vidtog de åtgärder som behövdes för att säkerställa att olyckan hanterades på ett säkert sätt.

Efter att fordonen bärgats och skadorna på spår 10 åtgärdats kunde trafiken återupptas på ett spår. I början av oktober 2023 var båda spåren återställda för normal trafik.

Personskador, materiella skador och skador på miljön

En passagerare skadades allvarligt i ryggen. Polisen har lämnat uppgift om att ett spädbarn och en förälder fördes till sjukhus för kontroll (spädbarn undersöks rutinmässigt efter olyckor).

De tre vagnar som spårade ur fick omfattande skador.

Spår och växlar fick omfattande skador, se vidare under olycksplatsundersökning.

Räddningsinsatsen

Efter järnvägsnödanropet påbörjade tågklareraren larmning till SOS Alarm. Snabbvalet för larmning i telefonsystemet MATS[6] användes inte utan numret slogs direkt med ett prefix ”*” före siffrorna 112. Trafikcentralen använder prefix före tågnummer vid samtal till tåg och förare men inte före vanliga telefonnummer eller till 112. Till följd av prefixet kopplades larmsamtalet fel med upptagetton. Tågklareraren försökte då i stället ringa till räddningstjänstens räddningscentral i Stockholm. Operatören där meddelade att larmning bör ske direkt till SOS Alarm och föreslog tågklareraren att ringa ett larmsamtal med en mobiltelefon i stället. Larmsamtalet från mobiltelefonen på Trafikverkets ledningscentral kom in till SOS Alarm kl. 04.39. Räddningstjänst samt ambulans larmades ut kl. 04.42 och polisen informerades. Resurser begärdes vidare från flera olika brandstationer.

Larmsamtal från tågpersonal till Trafikverkets trafikcentral eller från trafikcentralen till SOS Alarm ger inte några uppgifter om tågets GPS-position eller motsvarande. Vid urspårningen i Blackvreten förmedlade Trafikverkets trafikcentral positionen till SOS Alarm med nummer på två kontaktledningsstolpar. Räddningstjänsten hade ingen kännedom om nummer på kontaktledningsstolpar men valde att åka mot A-Trains depå i Blackvreten.

På väg mot olycksplatsen fick räddningstjänsten kl. 04.46 kompletterande information om att två vagnar spårat ur men inte vält, att det inte var någon brand och att passagerarna klarat sig bra förutom en person som hade allvarligare skador med smärtor i ryggen.

Första enhet var framme vid grinden till A-Trains depå kl. 04.53. Grinden var fjärrmanövrerad och det dröjde till kl. 05.05 innan rätt kontakt hade upprättats med A-Train och grinden kunde öppnas. Räddningstjänsten valde att inte bryta upp grinden eftersom de bedömde att det inte förelåg något behov av en akut

[6] Mer Avancerat Telefoni System.

insats för deras del.

Framme på olycksplatsen etablerade räddningstjänsten kontakt med tågpersonalen, identifierade skadeläget och gjorde bedömningen att passagerarna satt säkert i vagnarna. Ambulanspersonal tog hand om den skadade passageraren som fördes till sjukhus med ambulanshelikopter. Efter att det konstaterats att inga av de övriga passagerarna behövde vård påbörjades evakueringen av tåget.

Alla passagerare hade evakuerats kl. 05.39 och räddningsinsatsen avslutades kl. 06.26.

Figur 4 visar slutet av det urspårade tåget och räddningstjänstens arbete under evakueringen cirka en timme efter olyckan. Foto: Brandkåren Attunda.

b) Faktabeskrivning

Berörd personal, entreprenörer samt andra parter

A-Train AB

A-Train AB är infrastrukturförvaltare för Arlandabanan och järnvägsföretag för Arlanda Express.

Lokföraren och tågvärden på tåg 7900 var anställda av A-Train.

Trafikverket

Trafikverket ansvarar genom ett avtal med A-Train för trafikledning på Arlandabanan. Trafikledningen sker från Trafikverkets trafikcentral i Stockholm.

Strukton Rail AB

Strukton Rail AB utför på uppdrag av A-Train underhåll av Arlandabanan. Underhållskontraktet startade den 1 maj 2023. Föregående underhållskontrakt och uppdrag innehades av Omexom AB, tidigare under namnet Infratek Sverige AB.

Strukton Rail AB och Omexom AB utför liknande uppdrag och underhåll även inom Trafikverkets infrastruktur.

Vossloh Switch Systems AB

Vossloh Switch Systems AB tillverkar spårväxlar. Företaget bildades 2005. Två år tidigare hade det tyska företaget Vossloh AG köpt franska Cogifer S.A. och Cogifer Nordic AB. Det senare med historisk koppling till bland annat Statens Järnvägar och svensk växeltillverkning från 1914. Vossloh har svensk tillverkning i Örebro och Ystad. Komponenter till växlarna tillverkas även i andra länder av Vossloh eller av underleverantörer till Vossloh.

Arbetsmiljö och hälsa

Behörighet

SHK har tagit del av underlag som visar att lokföraren och tågvärden var behöriga att utföra sina arbetsuppgifter.

Tågvärden hade tidigare tjänstgjort som lokförare och hade därför goda kunskaper i regler och rutiner även avseende lokförarens arbetsuppgifter.

Fordonsuppgifter

Tåg 7900 bestod av en av A-Trains sju motorvagnar av typen X3. Varje motorvagn består av fyra permanent kopplade vagnar. Vagnarna benämns som norra- och södra motorvagnen, strömavtagarvagnen och hjälpkraftvagnen. I hjälpkraftvagnen finns toalett och en servicedisk för tågvärden.

En X3 motorvagn är 93,4 meter lång och väger 201 ton. Maximalt antal passagerare är 361 varav 237 sittande. Fordonets högsta tillåtna hastighet på sträckan Stockholm C–Arlanda är 200 km/tim.

Infrastruktur

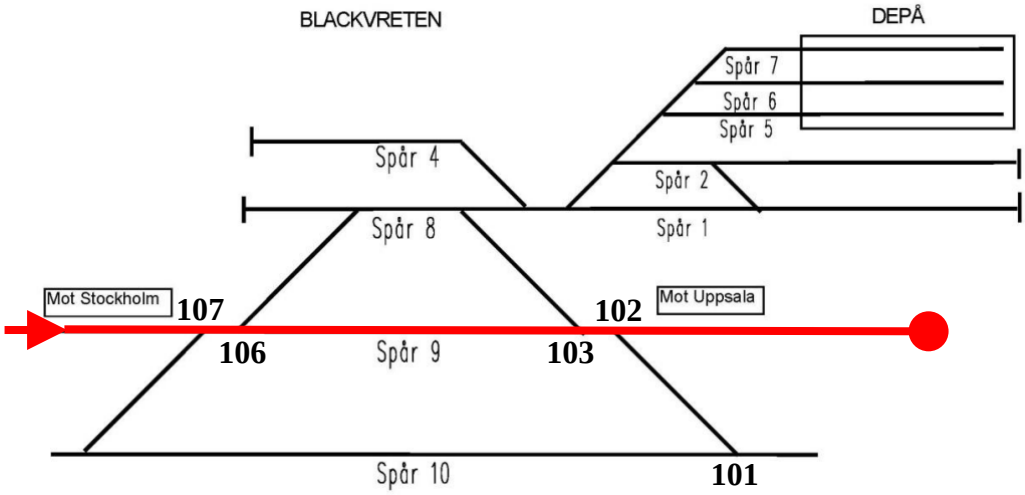
Spårtekniska anläggningar

Arlandabanan går ut i en båge öster om Ostkustbanan mellan Stockholm och Uppsala, via Arlanda flygplats. Banan började byggas 1995 av bland annat NCC Construction Sverige AB med privat finansiering. När Arlandabanan stod klar hösten 1999 överlämnades anläggningen till staten. A-Train leasar därefter tillbaka järnvägen med en exklusiv koncession, dvs. rätten att köra tågtrafiken fram till år 2050 (även andra järnvägsföretag framför tåg på Arlandabanan mot en avgift).

Driftplatsdelen Blackvreten, som ingår i Arlanda driftplats, har tre huvudspår. Spår 9 och 10 är de två huvudspåren från och till Stockholm. Spår 8 är förbindelsen till A-Trains depå.

På spår 9 och 10 är största tillåtna hastighet 200 km/tim. För tåg till och från spår 8 är hastigheten 50 km/tim.

En schematisk spårplan över Blackvretens driftplatsdel framgår av figur 5. Tåg 7900 framfördes genom växel 107 och 106 till spår 9 och vidare genom växlarna 103 och 102 i riktning mot Arlanda/Uppsala.



Figur 5 visar en skiss över Blackvretens driftplatsdel med av urspårningen berörda växlar samt färdvägen för tåg 7900 markerade av SHK. Källa: A-Train AB.

Växel 106 trafikeras i huvudsak som motväxel[7] rakt fram till spår 9. I den andra änden av spår 8 och 9, trafikeras växel 103 i huvudsak som medväxel[8] i sitt raka läge från spår 9.

Signalsystem

Arlandabanan trafikeras enligt system H i betydelsen hinderfrihetskontroll. Det finns fullständiga signalställverk på driftplatserna och linjeblockering på linjen mellan driftplatserna. Blackvretens driftplatsdel har ett datorbaserat signalställverk modell 85.

Kommunikationsmedel

I förarhytten kan föraren och tågklareraren kommunicera med varandra via Trafikverkets radiosystem MobiSIR och GSM-R[9] . Förutom telefonsamtal har systemet möjlighet till larmsamtal, gruppanrop och nödmeddelanden, till alla tåg i närområdet.

Trafikverkets trafikcentraler använder telefonsystemet MATS för MobiSIR och övriga telefonsamtal. Systemet har snabbval för larmsamtal och möjlighet till

[7] En motväxel delar sig till två spår.
[8] En medväxel förenar två spår till ett.
[9] GSM-R, Global System for Mobile Communications – Railway (egen frekvens för järnväg).

medlyssning för exempelvis eldriftledaren som hanterar nödfrånkoppling av kontaktledningsanläggningen.

MobiSIR eller andra former av samtal till trafikcentralen ger inte automatiskt tågklareraren uppgift om tågets position.

Olycksplatsundersökning

Inledningsvis undersöktes fordonen, därefter spårområdet bakåt i tågets färdriktning, med fokus på spår 9 och tågets färdväg.

Fordonen

Alla fordonsskador kunde härledas till urspårningen. Hjul, axlar, lagerboxar och fjädring visade inga tecken på föregående skador.

Den första vagnen och axlarna 1–4 hade inte spårat ur. På bakomvarande tre vagnar stod axlarna 7, 9–10 och 13–16 urspårade. Axlarna 8 och 11–12 stod på rälerna men hade skador som visade att de hade rullat urspårade.

De urspårade vagnarna hade flera spruckna eller krossade fönsterrutor samt invändiga skador såsom lossade takluckor, se bilder i figur 6.

Figur 6 visar en lossad taklucka i kupé samt i den obemannade förarhytten i sista vagnen.

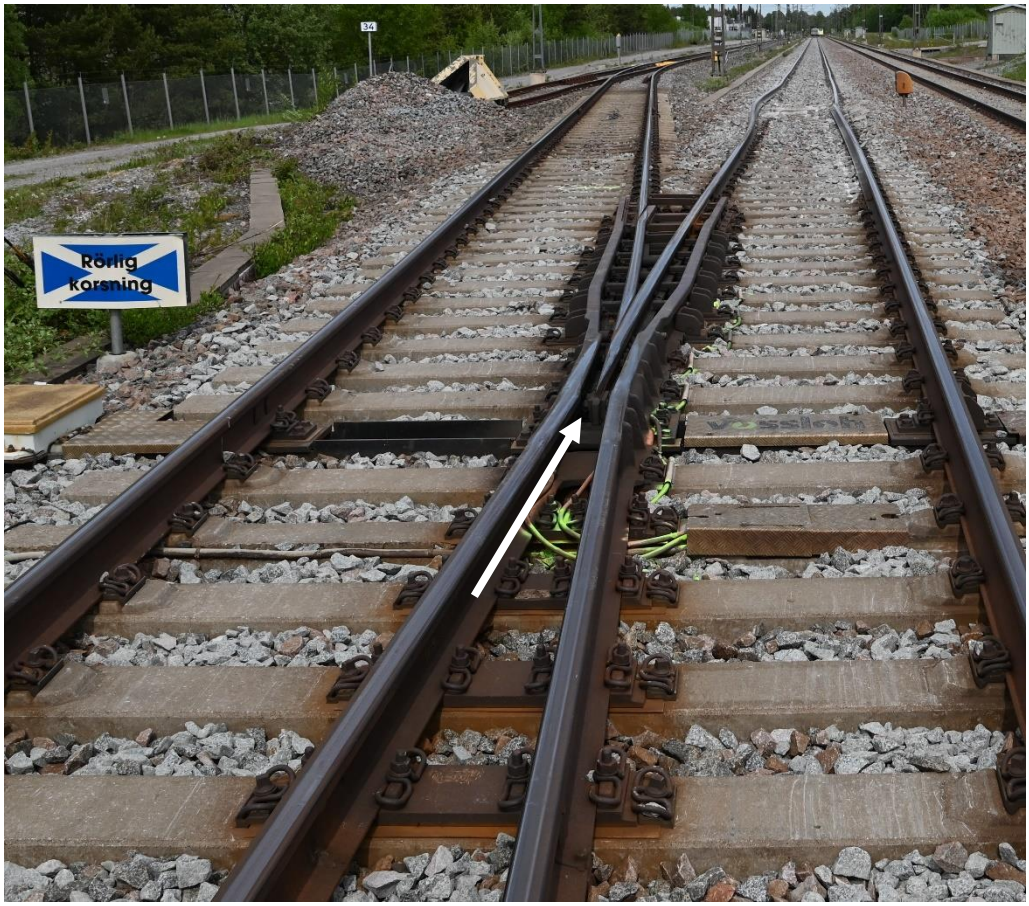
Infrastrukturen

Spårområdet hade stora skador som bedöms ha orsakats i samband med att urspårade hjulaxlar passerade, se figur 7.

Figur 7 visar skadorna i växel 102 mot det urspårade tåget.

Olika rälsbrott bedöms ha orsakats av krafter från redan urspårade vagnar.

I södra änden av Blackvreten kunde utredarna iaktta att växel 106 hade ett avvikande läge för den rörliga korsningen. Korsningsspetsen befann sig i ett mittläge, se figur 8. För tåg mot spår 9 skulle spetsen ha legat an till vänster i korsningspartiet.



Figur 8 visar korsningspartiet i växel 106. Den vita pilen pekar på korsningsspetsen i ett okontrollerat mittläge. Det urspårade tåget befinner sig i bakgrunden.

Skador kunde iakttas på vänster sida av den rörliga korsningsspetsen, se figur 9.

Figur 9 där den vita pilen pekar på skador på vänster sida av själva korsningsspetsen.

Parallellt med korsningspartiet i växel 106 observerades diagonala märken på höger räl. Märkena motsvarade att löpytor på hjulaxlarnas högra hjul förflyttat sig åt vänster, se figur 10.

Figur 10 visar höger räl, parallellt med korsningspartiet i växel 106. På den högra bilden framgår märkena som visar var hjulens löpytor förflyttade sig diagonalt över rälhuvudet.

Före korsningspartiet i växel 106 och vidare bakåt i tågets färdväg fanns inga tecken på urspårade hjulaxlar eller andra relevanta skador. Växeltungorna i början av växel 106 var i sina rätta lägen.

Efter korsningspartiet syntes de första märkena av urspårade hjul till vänster om respektive räl, se figur 11.

Figur 11 visar urspårningsmärken på vänster sida om respektive räl vidare till spår 9.

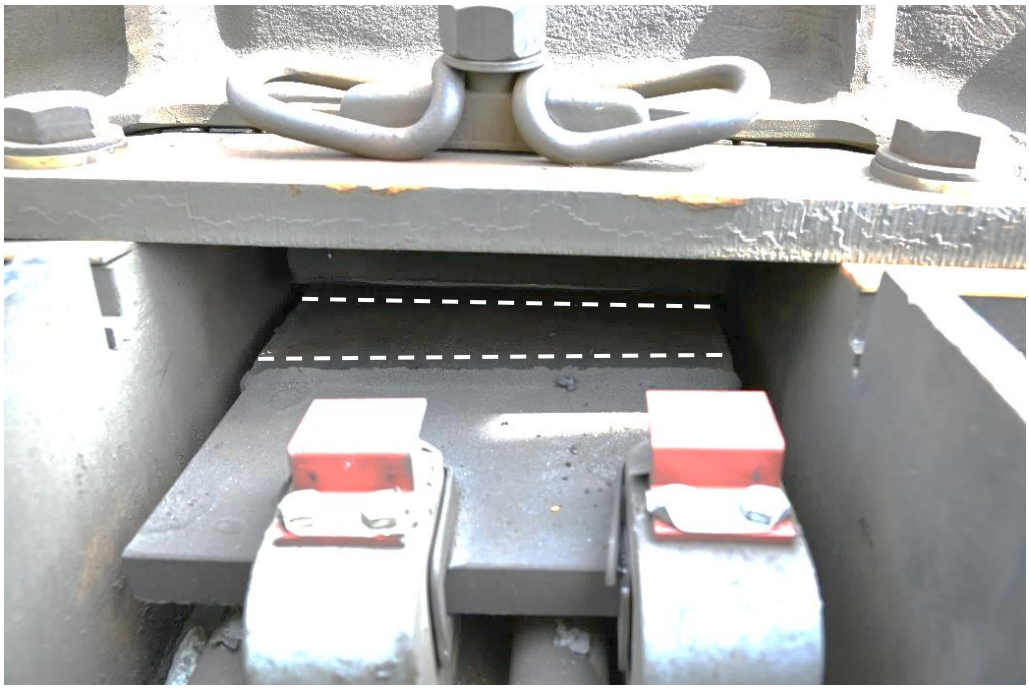
Sammantaget visade avsaknaden av skador före växel 106, korsningsspetsens mittläge, skadorna på spetsens vänstra sida samt de diagonala märkena på höger räl att hjulflänsar gått till vänster om korsningsspetsen och att hjulaxlar därefter spårat ur till vänster i färdriktningen.

Växeldrivet till den rörliga korsningen i växel 106 kontrollerades. Den mekaniska låsningen och de elektriska kontakterna intog alla lägen som om korsningsspetsen hade legat rätt i rakläge[10], se figur 12.

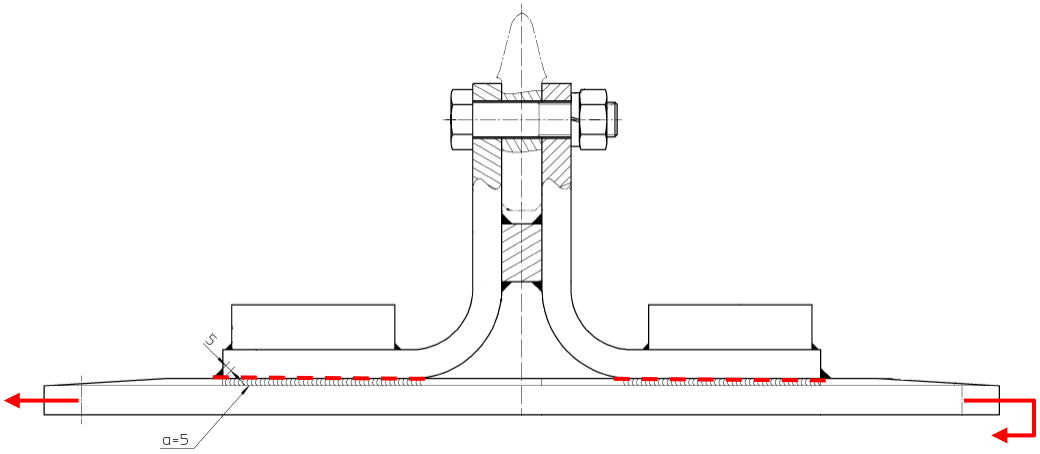
[10] Växel 106 indikerade rätt och i kontroll även i signalställverket.

Figur 12 visar att växeldrivet av typen JEA73 intog rätta lägen för färd till spår 9.

Vid kontroll av dragstängerna från växeldrivet till den rörliga korsningen observerades att den så kallade drivanslutningsplattan med infästning i korsningsspetsen hade gått sönder. Svetsarna mellan drivanslutningsplattans nedre och övre del hade brustit. Bottenplattan med dragstängerna låg lös medan de två vinklarna var bultade i korsningsspetsen, se figur 13.



Figur 13 visar bottenplåten i drivanslutningsplattan som lossnat från vinklarna upp till korsningsspetsen. En av de brustna svetsfogarna framgår där den övre och nedre delen är markerade med vita streckade linjer. Drag- och kontrollstängerna från växeldrivet är synliga i bildens nederkant.



Figur 14 visar drivanslutningsplattans konstruktion. Den övre och nedre delen hade delat sig i svetsarna vid de röda streckande linjerna. Drag- och kontrollstängerna till växeldrivet var fästa i den nedre delen, motsvarande de röda pilarna och korsningsspetsen var monterad överst i mitten. Ritning: Vossloh Switch System AB.

För att verifiera att korsningsspetsen inte var förbunden med dragstängerna och växeldrivet flyttades spetsen med hjälp av ett spett, se figur 15.

Figur 15 visar när korsningsspetsen flyttades med ett spett. Den brustna drivanslutningsplattan sitter under korsningsspetsen.

Beslut att omhänderta material

SHK beslutade att omhänderta de båda delarna av drivanslutningsplattan från växel 106 för vidare undersökning. Det beslutades även att begära hela drivanslutningsplattan från växel 103 som referens för kompletterande undersökning och provning.

De båda drivanslutningsplattorna skickades till Element Material Technology AB (Element) i Linköping för metallurgisk analys, se vidare under avsnitt 3 c.

Växel 106 beslutades kunna ligga kvar med korsningsspetsen låst i vänsterläge för att möjliggöra fordonstransporter till och från spår 8 och depåanläggningen.

Inför byte av växel 106 gjorde SHK den 26 september 2023 ett kompletterande platsbesök för att kontrollera olika egenskaper i växeln. Med ledning av gjorda iakttagelser beslutades att korsningspartiet skulle omhändertas och undersökas ytterligare, se vidare under avsnitt 3 c.

Kompletterande fordonsundersökning

SHK utförde den 9 juni 2023 en kompletterande fordonsundersökning när fordonet hade flyttats in i Blackvretens depåbyggnad.

SHK kontrollerade samtliga lagerboxar och fjädringen utan att se tecken på skador som skulle ha kunnat påverka fordonets gång i spåret. Det fanns heller inga tecken på att tåget kört på ett främmande föremål. Först sjunde och åttonde hjulaxlarna uppvisade skador från att ha rullat urspårade. Under vagn tre och fyra ökade skadorna i omfattning. Bromsskivor, växellådor och delar av underredet hade slagits sönder eller deformerats.

Sammantaget gav den fördjupade fordonsundersökningen inga indikationer på skador eller fordonsfel som kan ha förorsakat urspårningen.

En iakttagelse var att den vänstra rälen efter urspårningen hade styrts mellan insidan av de vänstra urspårade hjulen och den närliggande bromsskivan eller växellådan mellan motor och axel. Styrningen kan ha förhindrat hjulaxlarna från att förflytta sig ytterligare i sidled och därmed även begränsat vagnarna från att förlora stabilitet och exempelvis träffa kontaktledningsstolpar i hög hastighet.

Registrerade data och loggar

Övervakningskamera

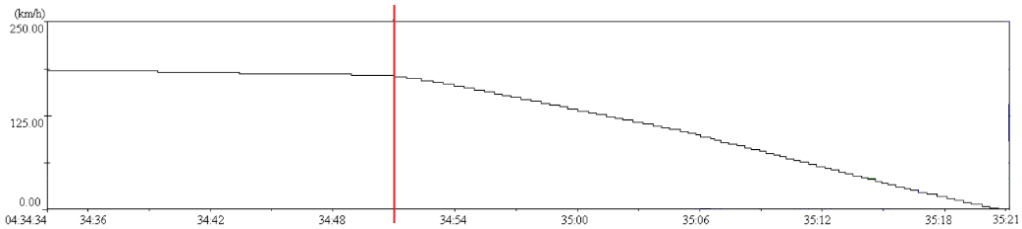
A-Train hade en övervakningskamera för depåområdet som dokumenterade när tåg 7900 passerade. Kameran var riktad mot Arlanda och visade därför inte platsen för själva urspårningen. Filmen startar kl. 04.34.50 och tåget blir synligt till höger i bilden efter cirka fem sekunder.

På filmen framgår att den första vagnen passerade utan urspårning. Bakre delen av den andra vagnen var förskjuten åt vänster följt av motsvarande förskjutning av den tredje och fjärde vagnen. Det uppstod mycket rök när de urspårade hjulaxlarna krossade makadam och betongslipers. Innan röken skymde sikten framgick att de urspårade vagnarna studsade kraftigt vid passage över rälerna i växlarna 103 och 102, se figur 16.

Figur 16 visar fyra klipp från övervakningskameran när tåg 7900 passerar på spår 9. De vita pilarna pekar på platsen för växel 103. Den gula pilen pekar på den fjärde vagnen, när den studsar över rälerna i växel 103. Källa: A-Train AB.

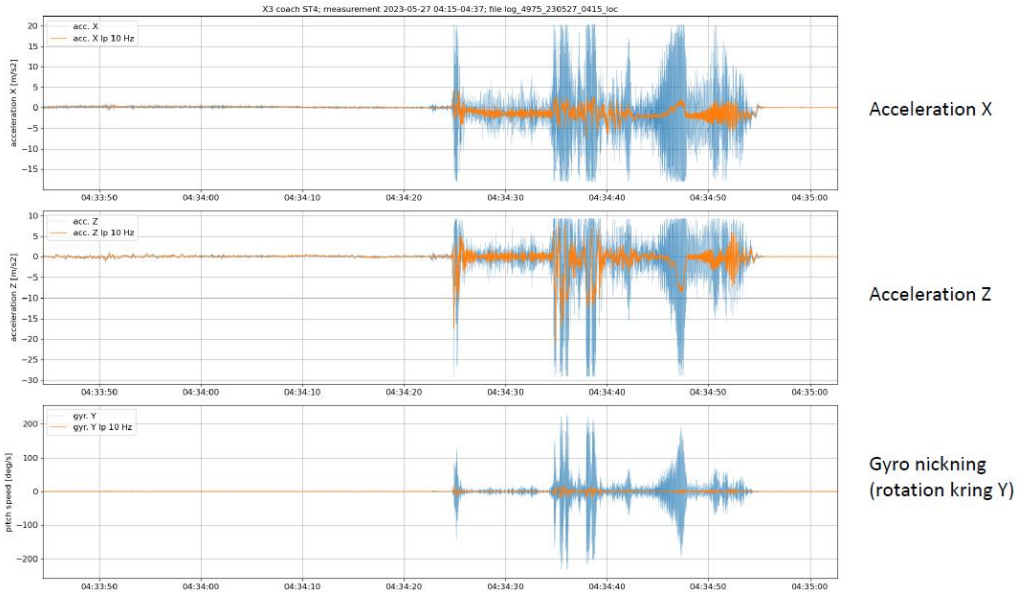
Fordonsloggar

Motorvagnens registreringsutrustning har loggat hastighet och status för ett antal funktioner. Data visar att tåget framfördes i cirka 180 km/tim innan urspårningen inträffade, se figur 17. Från klockan 04.34.51 reducerades hastigheten ner till stillastående kl. 04.35.21. Klockan 04.34.49 registrerades den första av många slirningsindikeringar, ”Wheelslide”. Det sitter varvtalsgivare i anslutning till hjulaxlarna. Sannolikt har skador uppstått till följd av urspårningen och orsakat fellarm.



Figur 17 visar ett diagram över hastigheten för tåg 7900 fram till kl. 04.35.21. Det röda strecket markerar kl. 04.34.51, när hastigheten började att reduceras från 178 km/tim till stillastående. Källa: A-Train AB.

Motorvagnen hade även en separat ”komfortlogger” i syfte att registrera fordonets rörelser i spåret. Utrustningen var placerad i den tredje vagnen och mätte acceleration och gyrosignaler. Accelerationerna hade mätområde +/- 2 g vilket överskreds vid urspårningen. Data visar en mer kraftig inledande rörelse och cirka 10 sekunder mer begränsade värden. Avslutningsvis visas en serie med kraftiga rörelser till stillastående. Förloppet noteras under 30 sekunder vilket motsvarar tiden för inbromsningen i registreringsutrustningen, se figur 17.



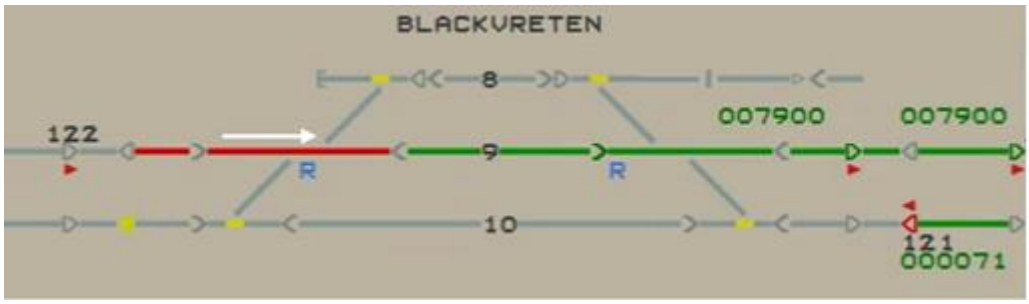
Figur 18 visar ett utdrag ur komfortloggerns data. Källa: A-Train AB.

En tolkning av data är att den inledande kraftiga rörelsen uppkommit vid passage av växel 106, där de vänstra hjulen och hjulaxlarna lyfte över korsningspartiet. Den avslutande serien med kraftiga rörelser motsvarar passagen över växlarna 103 och 102 innan tåget stannar.

Manöverlogg signalställverk

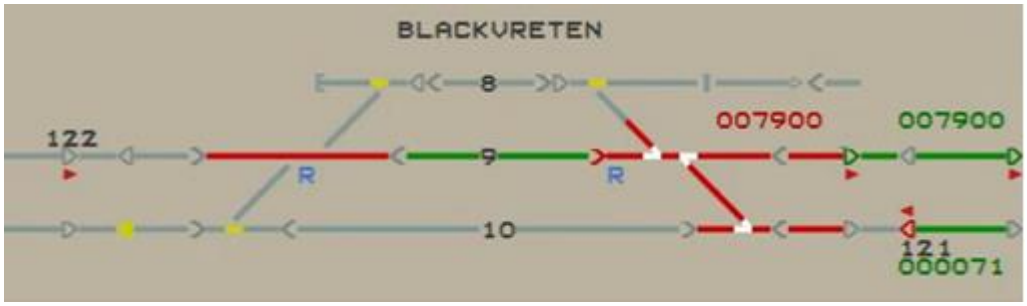
Närmast föregående tåg som passerat spår 9 innan olyckan var Arlanda Express tåg 7880 kl. 00.49, i riktning mot Arlanda. Före det passerade ett MTR pendeltåg mot Uppsala kl. 00.42.

Trafikverket loggar signalsystemets manöversystem. Data visar att tåg 7900 hade en låst tågväg norrut över spår 9 och vidare mot Arlanda. Klockan 04.34.50 befann sig tåget över växel 106, se figur 19.



Figur 19. Det röda strecket visar tåg 7900 vid färd över växel 106, markerad med ett blått R. Den vita pilen är tillförd av SHK för att visa tågets färdriktning. Källa: Trafikverket

Trettio sekunder senare, kl. 04.35.20 hade tåget passerat spår 9 och påverkat växlarna 103, 102 och 101 så att de gått ur kontroll i signalställverket, se figur 20.



Figur 20 visar när tåg 7900 passerat förbi spår 9 och stannat under de röda siffrorna 007900, till höger om växlarna 103, 102 och 101 i vitt. Den vita färgen indikerar till tågklareraren att växlarna är ur kontroll. Nere till höger i bilden visar det gröna strecket och siffrorna 000071 att tåg 71 har en tågväg lagd fram till signal 121 i ”stopp” (den röda triangeln). Källa: Trafikverket

Den elektriska indikeringen för läget på den rörliga korsningsspetsen var placerad i växelmotorn, vid sidan av spåret. Den påverkades därför inte av urspårningen. Växel 106 indikerade rätt läge i signalställverket, till spår 9, även efter att tåg 7900 spårat ur i korsningspartiet.

I figur 19 och 20 framgår även att det fanns en tågväg ställd söderut, fram till signal 121, norr om Blackvretens driftplatsdel. Tågvägen gällde tåg 71, ett SJ AB nattåg, som vid tidpunkten för urspårningen befann sig norr om och före uppehållet vid Arlanda central.

Tågklareraren spärrade av sträckan söder om Arlanda C klockan 04.37.30. Signalen från Arlanda C gick då till ”stopp” för tåg 71. De uppkomna skadorna på spåret och i växlarna 101–103 hade även förhindrat signalställverket att ge ”kör” i signalerna till något annat tåg förbi olycksplatsen på spår 10.

Tiden för urspårningen

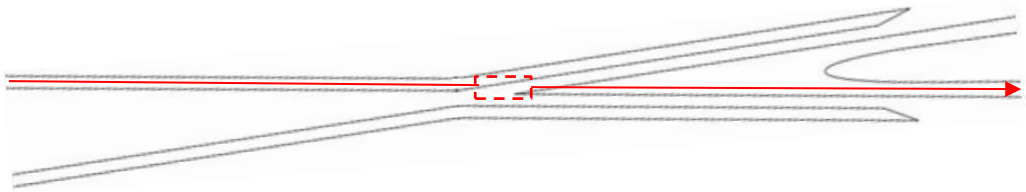
De olika loggarna visar urspårningens förlopp i tid. Trafikverkets manöversystem överensstämmer med fordonets registreringsutrustning och övervakningskamerans tider. Urspårningen bör ha inträffat strax innan den första felindikeringen i fordonet noterades kl. 04.34.49. Komfortloggerns klocka gick cirka 30 sekunder efter men överensstämmer i övriga med de andra loggningsuppgifterna.

Fakta om växlarna 106 och 103 i Blackvreten

Slitage i växlarna 106 och 103 med fasta korsningspartier

När Arlandabanan projekterades valdes växlarna 106 och 103 i Blackvreten att utföras av typen EV-UIC60-300-1:9[11], med fasta korsningspartier. Växeltypen är kort, 33 meter och har 300 meters radie i kurvspåret. Korta växlar får större vinkel i korsningspartiet jämfört med längre växlar med större kurvradie. En stor vinkel ökar storleken på mellanrummet i korsningspartiet som det ena hjulet behöver passera, se figur 21.

[11] Enkelväxel (med fast korsning), rälvikt av 60 kilo per meter, kurvradie i sidoläge på 300 meter och en vinkel ur växeln mellan de två spåren med förhållandet 1:9.



Figur 21 illustrerar det mellanrum som ett järnvägshjul behöver passera i ett fast korsningsparti.

Mellanrummet i korsningspartiet orsakade i kombination med hög hastighet kraftiga slag av hjulpassagerna vilket påverkade banunderbyggnaden, medförde dåligt spårläge och orsakade ett högt slitage.

Utredning av Banverket Produktion 2003

På uppdrag av NCC Construction Sverige AB och A-Train utförde Banverket Produktion år 2003 en utredning om växlarna 106 och 103.

I dokumentets inledning framgår att A-Train noterat problem med dåligt spårläge och att växlarna inte låg still i ballasten. Trots olika åtgärder kvarstod problemen och kostnaderna för spårunderhåll ökade. A-Train valde att reducera hastigheten till 70 km/tim till följd av de påfrestningar som korsningarna utsattes för.

Huvudsyftet med utredningen var att se om det var möjlig att byta till längre växlar med lägre vinkel och mindre slag i korsningspartiet. Längre växlar hade förkortat spår 8 eller krävt mer omfattande förändringar av andra växlar och i signalanläggningen. Sammantaget bedömde A-Train att det var olämpligt att göra förändringar i spårgeometrin och signalanläggningen.

Markförhållanden under växel 106 och 103

Banverket Produktions utredning redovisade en undersökning av mark och banunderbyggnad:

”Växel 103 är anlagd på torrskorpelera till ca 2 meters djup följt av lerigt, siltigt sandmaterial på 4–5 meters djup. Urgrävning har utförts till 1,8 meters djup. Terrassen är normalt uppbyggd och väl dränerad. Växel 106 är anlagd på lerigt, siltigt sandmaterial till 4–5 meters djup. Urgrävning har utförts till 1,8 meters djup. Terrassen är normalt uppbyggd med sprängstensfyllning och väl dränerad. De geotekniska förhållandena bedöms som normala och det finns inget som tyder på att det är brister i underbyggnaden som orsakar rörelsen i växlarna.”

Beslut att byta ut växlarna 106 och 103

Problem med slitage och krävande underhåll i växlarna 106 och 103 fortsatte. Efter samråd med tillverkaren Vossloh valde A-Train år 2007 att beställa två helt nya växlar av typen EVR-UIC60/60E-300-1:9[12] med rörlig korsningsspets.

Projektet beskrivs i dokumentet ”Växeluppgradering Blackvreten Arlanda-banan” från februari 2008. Syftet med bytet uppgavs vara att ”åtgärda det garantiåtagande som berör spårväxlarna 103 och 106 i Blackvreten och som

[12] Växel motsvarande EV-UIC60-300-1:9 med tillägget R för rörlig korsning.

baseras på ett orimligt stort behov av underhållsinsatser för att bibehålla en god spårstandard.”

I växlar med rörlig korsningsspets rullar hjulen över korsningen utan mellanrum. Lägre krafter från passerande hjul minskar påverkan i spåret och medger högre hastighet. Figur 22 visar skillnaden i konstruktion mellan fast och rörlig korsningsspets.

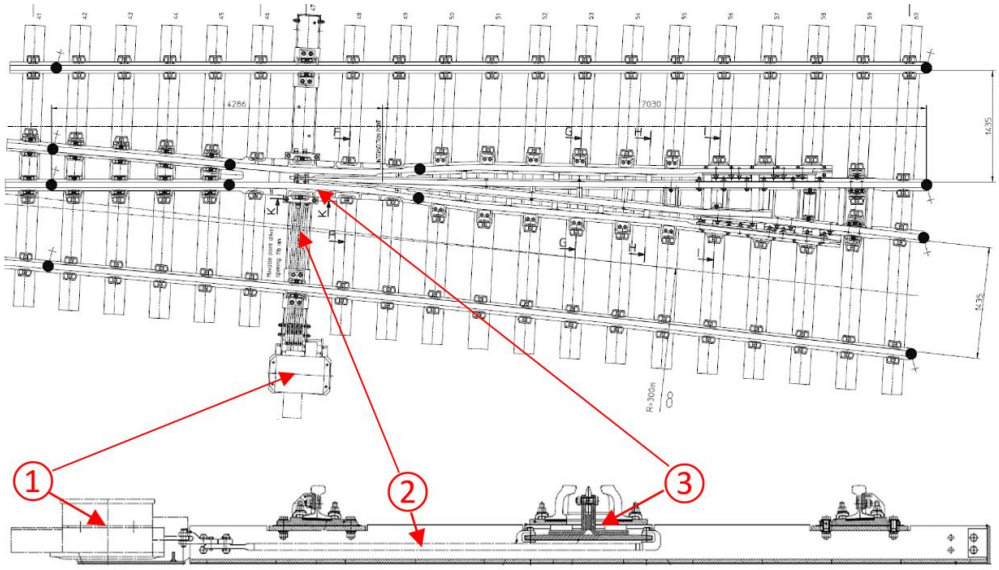
Figur 22 visar till vänster en växel med fast korsningsspets och till höger växel 103 i Blackvreten med rörlig korsningsspets, markerade i röda ramar. Foto: Vossloh Switch System AB.

Den rörliga korsningsspetsen är cirka 5 meter lång och sammanfogad av två räler. Korsningsspetsen sitter infäst i den bakre änden och flyttas i sidled över ett antal glidplattor av den främre infästningen för drivningen.

Vossloh levererade de båda växlarna som byttes in i Blackvreten i september 2008.

Konstruktion med sidoplacerade växeldriv

Under konstruktionsarbetet av de nya EVR-UIC60/60E-300-1:9-växlarna planerades för en typ av sliper med integrerad drivning och kontroll av växeltungorna. Den typen av växeldriv blev sedan inte tillgänglig att använda. Vossloh valde då att montera ett växeldriv av typen JEA73 vid sidan av växeln i en ny U-formad sliper av stål med dragstänger till drivanslutningsplattan och den rörliga korsningsspetsen, se figur 23.



Figur 23. 1: Växeldrivet JEA73 2: Drag- och kontrollstängerna som överför rörelsen till drivanslutningsplattan 3: Den rörliga korsningsspetsen. Ritning: Vossloh Switch System AB.

Från drivanslutningsplattan gick även två kontrollstänger tillbaka till växeldrivet för att manövrera elektriska kontakter som indirekt indikering och bekräftelse på korsningsspetsens läge till signalställverket. Indikeringen och säkerheten i signalställverket bygger på att alla komponenter i den mekaniska kedjan är hela samt att växeldrivet och dragstängerna är kontrollerade och justerade enligt instruktion.

Växeldrivet, drag- och kontrollstängerna och drivanslutningsplattan var i sig beprövade komponenter som kombinerades i den nya slipern av stål.

Drag- och kontrollstängerna satt monterade i växeldrivet respektive drivanslutningsplattan med bultar. Bultarna i drivanslutningsplattan hade plasthylsor som isolerade och förhindrade elektrisk påverkan av signalsystemet. Bultarna och plasthylsorna kan bytas om de blir slitna.

Åtgärder på drivanslutningsplattan i växel 106

Även efter byte till en växel med rörlig korsningsspets år 2008 har växel 106 haft högt slitage, besiktningsanmärkningar, underhållsbehov och driftstörningar.

Till följd av slitage beställde A-Trains underhållsentreprenör Infratek i december 2014 en ny drivanslutningsplatta av Vossloh vilken levererades i mars 2015 och monterades in i växel 106 i juni 2015.

Enligt A-Train har samma drivanslutningsplatta varit monterad i växeln från bytet i juni 2015 fram till urspårningen.

År 2017 var hålen för dragstängerna i drivanslutningsplattan slitna och växeln kunde inte justeras enligt underhållsinstruktionerna. Drivanslutningsplattan försågs då med bussningar för att återställa diametern i hålen till drag- och kontrollstängerna. En motsvarande åtgärd med nya bussningar i hålen utfördes i februari 2020.

Vossloh har redovisat underlag för beställning och leverans av ytterligare en drivanslutningsplatta till Infratek, benämnd ”Drivplatta Blackvreten 300-1:9”, i februari 2018. A-Train har på SHK:s förfrågan följt upp historiken för underhållet av växel 103 och 106 samt även kontaktat tidigare anställda på Infratek. Det finns inga uppgifter eller underlag som tyder på att en ny drivanslutningsplatta monterats i växel 103 eller att ett ytterligare byte genomförts i växel 106 efter år 2015.

Vossloh har beskrivit att drivanslutningsplattorna är konstruerade för att fungera hela växelns livslängd, 35–40 år. Montage av bussningar i drivanslutningsplattans hål för dragstängerna är inte något som Vossloh beskriver i sina underhållsinstruktioner.

A-Train har beskrivit att beslutet att montera bussningar i drivanslutningsplattan byggde på beprövad praxis för att återställa slitage i hålbilder. A-Train har uppgivit att metoden att montera bussningar i infästningar till drag- och kontrollstänger har tillämpats vid underhåll i såväl A-Trains som Trafikverkets infrastrukturer.

SHK har frågat Trafikverket om erfarenheter av underhåll och montage av bussningar i andra växlar. Trafikverket har svarat att det förekommer slitage i dragstängernas infästningar i växeltungor. Ritningsunderlag och rutiner finns för montage av bussningar i växeltungor eftersom att de är komplicerade att byta. Trafikverket gör bedömningen att bussningar kan monteras även i drivanslutningsplattor men att alternativet kan vara att byta hela drivanslutningsplattan.

Fordon som trafikerar Arlandabanan

Arlandabanan trafikeras av resandetåg (godståg framförs på sträckan via Märsta). Utöver Arlanda Express fordon X3, framförs frekvent pendeltåg av typen X60, regionaltåg av typerna X40 och ER1 samt fjärrtåg av typen X55 och Rc-lok med varierande typer av personvagnar.

SHK har inte undersökt om eller hur variationer i gångdynamik mellan olika fordonstyper särskilt påverkat växel 106 i Blackvreten. Ingen fordonstyp trafikerar enbart Arlandabanan utan framförs även på Trafikverkets infrastruktur.

Föreskrifter, regler och tillsyn

Tillämpliga föreskrifter och regler på EU-nivå och nationell nivå

EU

EU har förordningar och direktiv som berör järnvägen. Olika TSD, Tekniska specifikationer för driftskompatibilitet, anger krav för godkännande av delsystem som fordon och infrastruktur. Ett syfte med driftskompatibilitet är att förenkla och säkerställa gemensamma funktioner och krav i järnvägssystemet. Godkännandeprocessen av delsystem och komponenter ska även säkerställas genom tredjepartsgranskning av så kallade anmälda organ.

År 2008 utfärdade Vossloh en försäkran om överenstämmelse för driftkompatibilitetskomponenten spårväxel EVR-60E1-300-1:9[13] enligt då gällande direktiv och förordningar. Försäkran kontrollerades och intygades av ett anmält organ.

SHK har inte vidare undersökt den historiska processen och försäkran om växelns driftskompatibilitet eller hur försäkran intygades av det anmälda organet.

Transportstyrelsen

Transportstyrelsen är tillsynsmyndighet för svensk järnväg och den myndighet som godkänner delsystem för järnväg enligt svenska föreskrifter.

I samband med bytet av växlarna 106 och 103 i Blackvreten, godkände dåvarande Järnvägsstyrelsen användningen av växeldrivet JEA73 med ny slaglängd och infästning i stålsliper samt förändringarna i signalställverket.

[13] A-Trains motsvarande benämning är EVR-UIC60/60E-300-1:9

Alla fordonstyper som trafikerar Arlandabanan har godkännande enligt europeiska TSD samt Transportstyrelsens nationella regler.

Trafikverket

Trafikverket ger ut och förvaltar styrande dokument och regelverk för sin infrastruktur.

Trafikverket förvaltar även "Trafikbestämmelser för järnväg", TTJ. Reglerna är indelade i olika ämnesmoduler, exempelvis Tågfärd, Broms och Trafikledning.

A-Train

A-Train har beslutat att tillämpa vissa av Trafikverkets styrande dokument för säkerhetsbesiktning och underhåll av sin infrastruktur. Innan ett dokument implementeras kontrolleras det med hänsyn till lämplighet, risker, utbildningsbehov etc.

A-Train tillämpar även instruktioner tillhandahållna av Vossloh för olika växelkomponenter.

Tillverkning och kontroll av drivanslutningsplattan till växel 106

Vossloh har tillverkat den berörda typen av drivanslutningsplatta sedan år 1995.

Beräkning av laster i drivanslutningsplattan

SHK har efterfrågat underlag och provresultat avseende dimensionerande laster för drivanslutningsplattan. Vossloh har svarat att företaget inte har tillgång till beräkningar eller provresultat för dimensionerande laster för konstruktionen av drivanslutningsplattan.

Vossloh har beskrivit att drivanslutningsplattans svetsförband är konstruerade för statiska laster. Enligt Vossloh ska den rörliga korsningsspetsen, under normala driftsförhållanden, överföra alla laster nedåt och i sidled till det omkringliggande korsningspartiet. Drivanslutningsplattan ska förbli opåverkad. Rörelser till följd av tillåtna toleranser ska enligt Vossloh heller inte medföra några dynamiska laster i drivanslutningsplattan.

Vossloh har efter olyckan gjort en beräkning som visar statiska laster i drivanslutningsplattans svetsförband. Växeldrivet ska med hjälp av dragstängerna hålla drivanslutningsplattan och den rörliga korsningsspetsen i rätt position med en maximal last av 8 kN. Säkerhetsmarginalen mot brott i svetsförbanden anges i beräkningen till 81 gånger den statiska lasten.

Krav och kontroll på svetsförband

SHK har efterfrågat underlag från Vossloh avseende krav på svetsnoggrannhet, tillåtna avvikelser samt hur kontroller utförts på färdiga komponenter. Vossloh har redovisat krav för utförande och kontroll av svetsförband som gällde när drivanslutningsplattan till växel 106 tillverkades år 2015.

Svetsning i anslutning till tillverkning av spårväxlar reglerades i dåvarande Banverkets föreskrift BVF523.1 *Tillverkning Spårväxlar Allmänt* med hänvisning till BVF 524.2 och kravet att tillämpa ISO 9000.

Vossloh var certifierade enligt standarden SS-EN ISO 9001 och använde den interna tekniska specifikationen STA 7 379 3505 *Les assemblages en acier par soudage à l'arc électricue*[14] för att definiera metoder och tillämpning av europeisk standard för svetsning. Vossloh har även redovisat certifikat enligt EN 287–1 för den person som svetsade den berörda drivanslutningsplattan till växel 106.

Svetsade fästen skulle inspekteras visuellt enligt standardmetoden EN 970. För bedömning av diskontinuiteter och formavvikelser i svetsförband gällde EN ISO 5817 och acceptansklass B. EN ISO 3452–1 angav att 20 % av de svetsade konsolerna skulle kontrolleras med penetrantprovning.

Materialval

Drivanslutningsplattan är tillverkad av S355J2-stål enligt EN 10025-2.

Standard för dimensionering av svetsförband

EN 1993-1-8 *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-8: Dimensionering av knutpunkter och förband* ger rekommendationer och dimensioneringsmetoder för konstruktion av statiskt belastade förband vid användning av bland annat S355-stål. Standarden anger att a-mått[15] för en kälsvets[16] bör vara 0,5–0,7 gånger godstjockleken i en konstruktion.

Den aktuella drivanslutningsplattan hade a-måttet 5 mm och konstruktionen en tjocklek av 20–25 mm, vilket motsvarar 0,2–0,25 gånger godstjockleken.

Vossloh har inte hänvisat till ovan nämnda standard för dimensionering av drivanslutningsplattans svetsförband. Svetsar kan dimensioneras med ledning av beräknade eller kända laster.

Besiktning och underhåll av växel 106

Infrastrukturens säkerhet och funktion är beroende av anpassade regler för besiktning och underhåll. Krav och kontroller påverkas bland annat av hur trafikerad järnvägen är och med vilken hastighet tågen framförs.

Säkerhetsbesiktning

Syftet med säkerhetsbesiktning är att utgöra en kontrollfunktion av järnvägsanläggningen för att förhindra att säkerheten försämras.

Kraven på säkerhetsbesiktning regleras i TDOK 2014:0240 *Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar*.

[14] Stålmontage genom elektrisk bågsvetsning.
[15] A-mått är det minsta lastbärande tvärsnittet i en kälsvets.
[16] En kälsvets är när två detaljers vinkelräta ytor sammanfogas.

Antalet säkerhetsbesiktningar regleras i TDOK 2019:0174 *Säkerhetsbesiktning – periodicitet*. Arlandabanans huvudspår har den högsta besiktningsklassen, B5, vilket medför att banan och växlarna ska kontrolleras sex gånger per år.

Generellt för växelkorsning gäller:
- att bultar och muttrar inte saknas och är väl åtdragna
- att inga synliga sprickor eller skador förekommer
- att slipersskruvar är utan anmärkning
- att flänsrännor är fria från föroreningar.

För rörlig korsning tillkommer ytterligare kontroller:
- att plattan, där drag- och kontrollstänger är fästade, är väl fastskruvad och att skruvarna är låsta
- att plattan, där drag- och kontrollstänger finns, har rörelseutrymme i spårets längdriktning
- att dilatationsanordningen[17], där sådan finns, har rörelseutrymme i spårets längdriktning
- att korsningsspetsen ligger an mot vingrälen i såväl höger- som vänsterläge
- att slitage på korsningsspets och vingräler vid korsningsspets samt inne på korsningen är inom tillåtna gränser
- att glappet är max 2 mm mellan korsningsspets och vingräl då ett bryttag tas med brytjärn mellan anliggande korsningsspets och vingräl
- att rörelseutrymmet på glidplattorna för tungspetsen är fria från föroreningar.

Dokumentet anger inga specifika krav för kontroll av svetsförbanden i drivanslutningsplattan.

Drivanslutningsplattans långsidor och stumsvetsar var inte synliga vid montage i stålslipern och under korsningspartiet i växel 106, se figur 13 och 15.

Besiktningsanmärkningar i växel 106

A-Train har redovisat att sex säkerhetsbesiktningar genomförts varje år 2015–2022. Under den tiden har 33 anmärkningar och åtgärder noterats med koppling till den rörliga korsningen: slitage, lösa bultar och stödknapar[18], sprickbildning eller ballastbrist och stoppning av korsningspartiet.

Den senaste säkerhetsbesiktningen före olyckan utfördes den 3 mars 2023 med en anmärkning på en spricka i en räl vid sidan av den rörliga korsningsspetsen. Felet åtgärdades och verifierades med efterföljande ultraljudsprovning.

Inför bytet av underhållskontrakt genomfördes även en särskild status- och kvalitetskontroll under april månad 2023. På den rörliga korsningen noterades ett fel, en defekt stödknap.

I samband med underhållsåtgärder natten mot den 9 maj 2023 identifierades sprickor i växel 106. Trafikverket noterade växeln som farbar i vänsterläge, till

[17] Dilatationsanordningen medger att en räl kan förskjutas i längdled när korsningsspetsen byter position.
[18] Stödknapar fungerar som stöd för växeltungor i sidled.

spår 8. Felet åtgärdades efterföljande natt. A-Train har på SHK:s fråga förklarat att felet inte var placerat i den rörliga korsningen.

Underhåll

Kravdokumentet TRV Infra 00017 *Banöverbyggnad Spårväxel* anger instruktioner för skötsel och underhåll av växlar och korsningar med rörlig spets.

Exempel på instruktioner för drift och underhåll är:

- Flödesdiagram för felsökning och åtgärder.
- Korsningsspetsens anliggning mot korsningspartiet.
- Justering av rörlig korsning.
- Slitage på korsningsspetsen.
- Svetsning av korsningsspets/korsningsparti.
- Kontroll av spårvidd.
- Byte av drivanslutningsplatta.
- Byte/shimsning av stödknap.
- Åtgärder vid uppkörning.

A-Train tillämpar även dokumentet Banverkets handbok BVH521.112 *Växeldriv JEA 72 och JEA72 Montage, skötsel och underhåll* som en underhållsinstruktion från leverantören Vossloh. Exempel på uppgifter och instruktioner är:

- Justering av omläggningskraft och slaglängd.
- Villkor för att växeln ska gå i kontroll.
- Besiktning efter uppkörning av växel.

<u>Två exempel på underhåll och åtgärd efter felsökning</u>

Beskrivningar hämtade ur Trafikverkets system för felanmälan, Ofelia:

2022-04-27: *”Vi bytte bult i långa draget, justerade slaglängden i höger och vänsterläge samt kontrollerade motorströmmen i rörliga korsningen.”*

2023-01-31: *”Bytt bultar till långa och korta kontrollen och långa och korta draget samt justerat motorströmmen i rörliga korsningen.”*

Beställning av korsningspartier och specialplattor för rakspår

A-Train hade hösten 2022 en dialog med Vossloh om reservdelar till växlarna 103 och 106 vilket resulterade i en beställning av två nya korsningspartier. Till följd av långa leveranstider beställde A-Train även en typ av specialplattor för att möjliggöra montage av en sammanhängande rak räl i stället för ett korsningsparti (i praktiken ta bort funktionen som växel).

A-Train har beskrivit att beställningarna av reservdelar till växlarna var i proaktivt syfte, till följd av långa leveranstider och för att reducera risken för längre trafikpåverkan vid fel i växlarna.

Spårläge

Dåligt spårläge kan medföra risk för urspårning samt stora spårbelastningar som accelererar nedbrytningen av spåret och hjulen. Trafikverkets krav för spårläge framgår av TRVINFRA-00013 *Banöverbyggnad Spårläge*. Kraven på spårläge genom växlar är samma som för övriga spår i samma hastighetsklass. Arlandabanans besiktningsklass B5 medför att spårläget kontrolleras sex gånger per år.

Kontrollen sker genom att en mätvagn framförs på sträckan och registrerar olika parametrar, exempelvis rälernas höjd- och sidoläge samt spårvidd. Det är samma mätvagnar och typer av kontroller för A-Train som för Trafikverkets infrastruktur. Mätning sker med belastade hjulaxlar. Avvikelser som överstiger toleranserna ställer krav på underhållsåtgärder eller akut felavhjälpning.

SHK har tagit del av uppgifter för spårläget i Blackvreten och växel 106 från år 2018.

Spårets höjdläge i växel 106

A-Train har redovisat att växel 106 spårriktades i förebyggande syfte år 2018 och 2020, utan att några spårlägesparametrar hade överskridits med direkta krav på åtgärd.

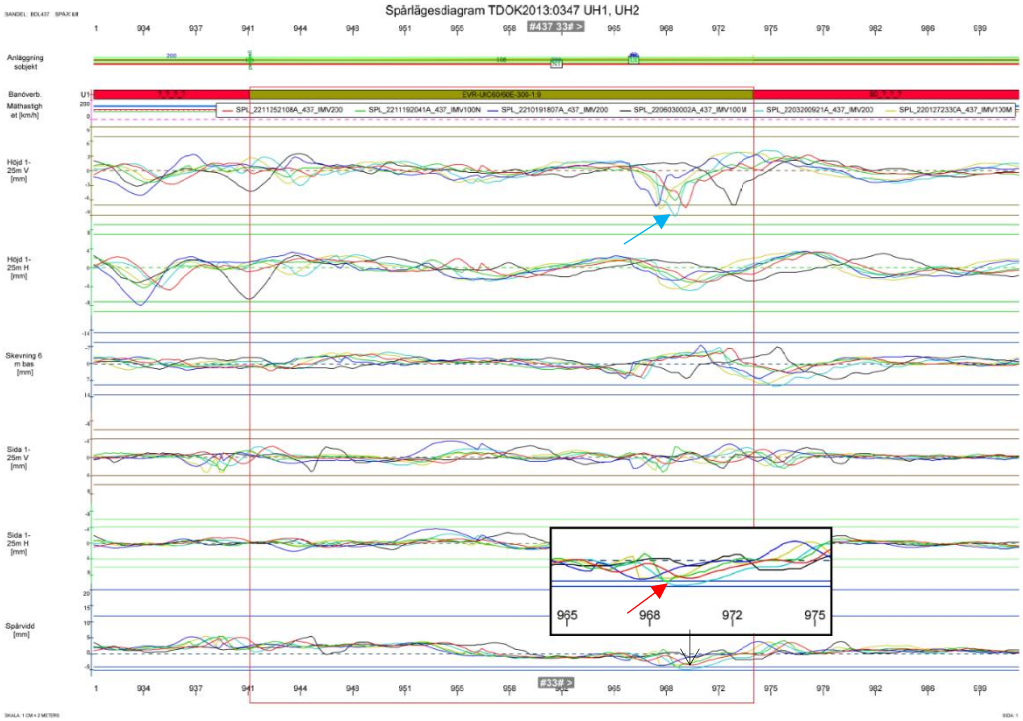
I mars 2022 uppmättes spårets höjdläge till -9 mm, vilket är gränsen för UH2 (Underhåll 2) med krav på spårriktning. Efter genomförd spårriktning var rälernas höjdläge genom växel 106 godkända mot kraven i TRVINFRA-00013.

Växel 106 justerades även i mars 2023 till följd av att den intilliggande växel 107 spårriktades för ett UH2-höjdfel.

Utöver spårriktning har A-Train redovisat att korsningspartiets höjdläge justerats tre gånger sedan år 2015 efter noteringar vid säkerhetsbesiktning.

Spårvidd i växel 106

Mätning av spårvidd sker framför en belastad hjulaxel med laser mot rälens insida. Noterbart är att spårvidden minskar bågformigt i området för korsningspartiet på en sträcka av flera meter, under mätvagnens förflyttning framåt. I två fall, i mars 2022 och maj 2023, var spårvidden ner till 6 mm under det nominella värdet 1435 mm. Mätvagnens startposition anges manuellt vilket förklarar varför mätkurvorna har en viss inbördes förskjutning. Mätprotokollet för de sex mätningarna under 2022, med en förstoring av mätkurvorna för spårvidd i korsningspartiet framgår av figur 24.



Figur 24 visar spårlägesdiagrammet med sex mätningar år 2022. Växel 106 är inom den tunna röda ramen, med korsningspartiet placerat till höger. Den blå pilen pekar på höjdfelet -9 mm i mars 2022. Förstoringen i svart ram visar spårvidden i växelns korsningsparti. Den röda pilen pekar där mätkurvan reduceras i en båge ner till 6 mm under den nominella spårvidden. Siffrorna 968 och 972 är meter i banans längdriktning. Källa: A-Train AB.

Punktvis trång spårvidd medför bara en registrering i spårlägesdiagrammet, utan vidare felanmälan och krav på åtgärd.

Växlar med rörlig korsningsspets i Köpenhamns metro

Vossloh har levererat växlar med 300 meters radie, vinkel 1:9 och rörlig korsning, JEA73-växeldriv och drivanslutningsplatta till Köpenhamns metro sedan slutet av 1990-talet. Metrosystemet trafikeras av tunnelbanevagnar med en största tillåtna hastighet av 90 km/tim. Vossloh känner inte till några problem med växlarnas rörliga korsningar.

Trafikverkets växlar med rörlig korsningsspets

Trafikverket har 135 växlar med rörlig korsningsspets, sidoplacerade växeldriv och drivanslutningsplattor i sin infrastruktur. En majoritet av växlarna är betydligt längre än EVR-60E-300-1:9 med minst två växeldriv och drivanslutningsplattor för att manövrera den längre rörliga korsningen. Den första drivanslutningsplattan, vid korsningsspetsen, har liknande konstruktion som växlarna i 103 och 106 i Blackvreten.

Växlar av typen EVR-60E-300-1:9

Trafikverket har nio växlar av typen EVR-60E-300-1:9 med sidoplacerat JEA73 växeldriv och drivanslutningsplatta i sin infrastruktur, motsvarande växel 103 och 106 i Blackvreten. Sju av växlarna finns i Gällivare, en i Kiruna och en i Murjek. I växlarna i Gällivare och Kiruna är största tillåtna hastighet rakt fram 80 km/tim och i Murjek 120 km/tim. Hastigheterna begränsas av andra orsaker än växelkonstruktionen. Vidare skiljer sig mängden trafik samt typen av tåg och fordon som trafikerar dessa växlar i förhållande till Blackvreten.

Trafikverket har ytterligare tre växlar av typen EVR-60E-300-1:9, dock med slipersintegrerade växeldriv och en annan typ av infästning och kontroll av korsningsspetsen.

Växlar i Skavstaby

Driftplatsen Skavstaby, strax söder om Blackvreten, har åtta växlar av typen EVR-UIC60-2500-1:27,5 med rörlig korsningsspets. De har två växeldriv och drivanslutningsplattor till den rörliga korsningen. Flera av växlarna trafikeras i rakläget till och från Arlandabanan i upp till 200 km/tim. De är därför mest jämförbara med växlarna i Blackvreten avseende passerande fordonstyper och hastighet. Växlarna läggs om mer frekvent, ungefär 300 gånger per dygn och trafikeras i kurvläget av tåg till eller från Märsta i upp till 130 km/tim.

År 2022 trafikerades banan mot Arlanda av 16,6 miljoner bruttoton. En fjärdedel av trafiken (4,2 miljoner bruttoton) var Arlanda Express-tåg av typen X3.

Data från Trafikverkets säkerhetsbesiktningar visar att de åtta växlarna i Skavstaby hade 61 anmärkningar för perioden 2015–2022, avgränsat till enbart de rörliga korsningarna. Anmärkningarna berörde i huvudsak ”korsningsspetsen ligger ej an”, ”glapp mellan spets och vingräl”, ”lös skruv och mutter” och ”slitage”. Två av växlarna, en normalt trafikerad som motväxel och en som medväxel stod för 17 respektive 21 anmärkningar medan de övriga växlarna bara hade 3–5 anmärkningar vardera. SHK har inte undersökt växlarna, orsaker till anmärkningar om exempelvis glapp och lösa detaljer eller till variationer i antalet anmärkningar.

Skillnad vid färd i mot- eller medväxel med rörlig korsningsspets

Trafikverket har beskrivit en skillnad i hur ett korsningsparti med rörlig korsningsspets belastas vid färd genom mot- eller medväxel. Vid färd i en medväxel, som i normalfallet genom växel 103 i Blackvreten, belastar och trycker hjulen gradvis ner den rörliga korsningsspetsen som genom glidplattorna ökar belastningen till korsningspartiet. I motväxelriktningen, som i normalfallet genom växel 106, belastar och trycker hjulen först ner korsningspartiet innan tyngden flyttar över till den tidigare obelastade, rörliga korsningsspetsen.

Liknande händelser

SHK har inte kännedom om någon liknande händelse där en drivanslutningsplatta brustit eller orsakat urspårning.

Vidtagna åtgärder

A-Train

A-Train har ersatt de skadade växlarna 106 och 103 i Blackvreten. De nya växlarna har motsvarande dimensioner och rörlig korsning men slipersintegrerade växeldriv av typen Easyswitch med en annan typ av infästning och lägesindikering för den rörliga korsningsspetsen. Efter bytet av växlar och typ av växeldriv har A-Train inte längre några drivanslutningsplattor i sin infrastruktur.

A-Train har beslutat att dubblera antalet säkerhetsbesiktningar av växel 106 från sex till tolv per år.

A-Train har genom en extern expert utfört en undersökning och svetskvalitetsmätning av den havererade drivanslutningsplattan till växel 106. Resultatet av undersökningen var bland annat att svetsarna inte uppfyllde kraven i EN ISO 5817, acceptansklass B.

A-Trains undersökning omfattade även en finitelementsimulering[19] med olika randvillkor. Simuleringarna visar att rörelser i korsningsspetsen kan medföra höga spänningar i drivanslutningsplattans stumsvetsar. De beräknade lastfallen i kombination med dimensionering och utförande av svetsarna kunde leda till utmattning och brott.

Trafikverket

Trafikverket har efter olyckan i Blackvreten kontrollerat växlar med den berörda typen av drivanslutningsplatta i sin infrastruktur. Kontrollen utfördes med drivanslutningsplattorna monterade under korsningspartiet. Svetsfogarna rengjordes och behandlades med penetrant och framkallare[20], se exempel i figur 25. Ingen av de kontrollerade drivanslutningsplattorna påvisade synliga sprickor i svetsfogarna. Kontrollen var dock inte volymetrisk[21] och kunde inte detektera eventuella dolda sprickor från svetsarnas rotsida.

[19] Finita Elementmetoden (FEM) är en numerisk metod för att lösa fysikaliska problem som beskrivs med partiella differentialekvationer med hjälp av datorer.
[20] En färgad vätska (penetrant) appliceras på objektets yta. Efter en tid torkas ytan av och framkallare appliceras. Framkallaren får färg som trängt ner i eventuella sprickor att synas, det vill säga indikerar sprickan.
[21] Volymetrisk provning har möjlighet att påvisa defekter invändigt i material.

Figur 25 visar sprickkontroll med penetrant på en drivanslutningsplatta i växel Skavstaby 111.
Källa: Trafikverket.

Trafikverkets trafikcentral i Stockholm har identifierat att det var valet att använda prefix före larmnumret 112 som fördröjde larmningen till SOS Alarm och har därefter informerat tågklarerarna.

c) Utökad teknisk undersökning av växel 106

Avsnitt 3 c är en summering av undersökningarna av växel 106 och den rapport Element Material Technology AB skrivit på uppdrag av SHK (TEK23-0062). Hela rapporten bifogas som bilaga 1.

Uppdrag

Element har undersökt den brustna drivanslutningsplattan från växel 106 på Blackvretens driftplatsdel, se figur 26.

Figur 26. De två delarna av den brustna drivanslutningsplattan från växel 106. Den övre delen har vinklats 90° bakåt från sin position på bottenplattan. Siffrorna på bottenplattan visar en referens till svetspositionerna. Växeldrivet var monterat på vänster sida.

Som referens undersöktes även den hela drivanslutningsplattan av samma typ från växel 103.

Syftet med undersökningarna var primärt att dokumentera och klarlägga brottmekanismer i svetsarna.

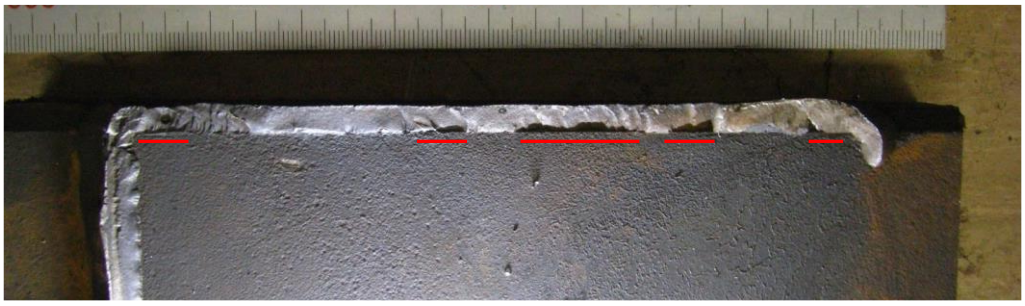
Element har även undersökt korsningspartiet och den rörliga korsningsspetsen till växel 106 i syfte kontrollera skador på glidplattorna och mäta korsningsspetsens rörelse och spel till glidplattorna och stödknapar.

Undersökning av drivanslutningsplattornas svetsar

Brottet i drivanslutningsplattan har skett i svetsgodset mellan bottenplattan och vinklarna som fäster i korsningsspetsen. Huvuddelen av brottytorna bedöms vara utmattningsbrott som startat inifrån rotsidan av stumsvetsarna 2, 3, 5 och 6.

Kälsvets 1 hade slutligen brustit genom restbrott i ungefär halva svetsgodset. Den andra halvan av svetsen hade redan brustit till följd av utmattning. Brottytorna i den motstående kälsvetsen 4 var kraftigt nötta och därför svåra att undersöka.

Stumsvetsarna utmed långsidorna av bottenplattan hade relativt omfattande bindfel. Fogarnas djup och inträngning skulle enligt ritning vara 5 mm och ingen del av den ursprungliga fogytan skulle vara osmält. Figur 27 visar svets 2 med de mest uppenbara bindfelen markerade med röda streck.



Figur 27. Stumsvets 2 med bindfel markerade i rött.

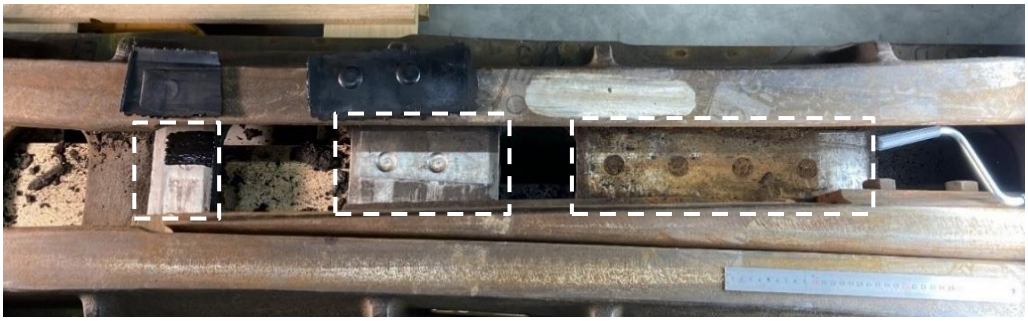
Svetsarna på drivanslutningsplattan från växel 103 undersöktes som referens först med ultraljudsprovning. Stumsvetsarna uppvisade tecken på liknande bindfel i svetsroten. En del av en stumsvets kapades därför, kyldes och bröts upp för noggrannare kontroll. Brottytorna hade mindre omfattande bindfel i roten av svetsarna men inga tecken på utmattning och sprickor.

De två övre svetsarna till klossen som separerar de två bockade delarna av drivanslutningsplattorna, under korsningsspetsen, saknades jämfört med ritningen.

Kompletterande undersökning av korsningspartiet i växel 106

Växeln undersöktes på plats i Blackvreten den 26 september 2023, före det planerade bytet av växeln. Där noterades att det fanns ett glapp på över 2 mm mellan det rörliga korsningspartiet och några av glidplattorna. Korsningsspetsen låg an mot den första glidplattan.

Det åtta meter långa korsningspartiet flyttades till SHK:s undersökningslokal och placerades på ett plant betonggolv med tre justerbara stödpunkter. Korsningsspetsen och de tre första glidplattorna ses i figur 28.



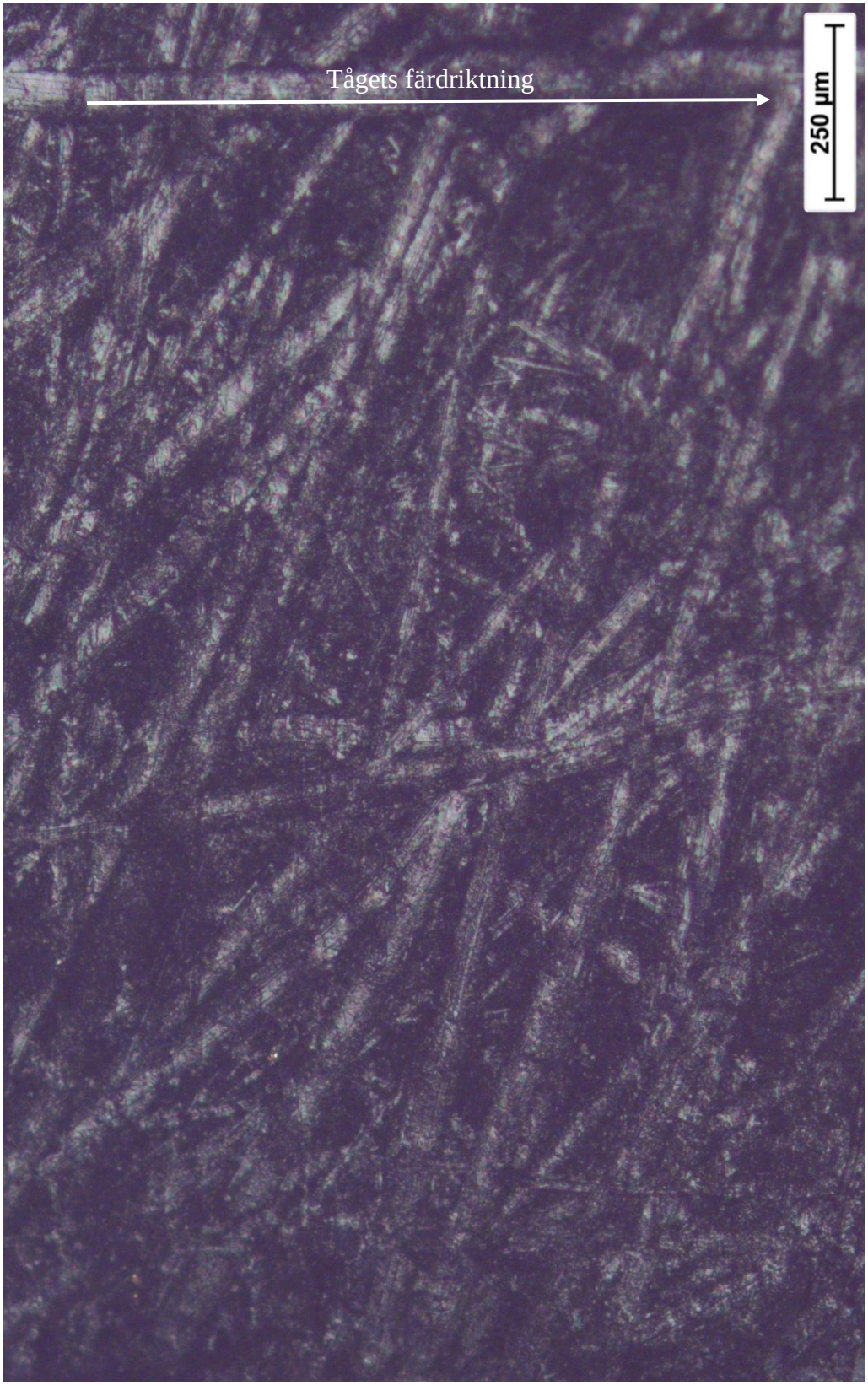
Figur 28. Den rörliga korsningsspetsen i kurvläge och de tre första glidplattorna markerade med vita rutor (den första glidplattan är delvis täckt av avgjutningssilikon).

Glidplattan under korsningsspetsen uppvisade kraftig nötning i positionen där växeln ligger i rakläge. I framkant fanns även material som stack upp över ursprungsytan vilket visar att det inte bara varit nötning utan även materialförflyttning genom smidning[22]. Där korsningsspetsen låg i rakläge noterades en annan slitageriktning än de raka slitagelinjerna över till kurvläget. I kanten av ändläget för spetsen i rakläge noterades en 2–3 mm bred zon med ett avvikande mönster, se figur 29.

[22] Smidning är en process då metall bearbetas och deformeras plastiskt.

Figur 29 visar glidplattan under korsningsspetsen med kraftig nötning där spetsen ligger i rakläget. De streckade pilarna visar synliga slitageriktningar.

Flera förstoringar från avgjutningen av den första glidplattan visar att nötningen från korsningsspetsen i rakläge har skett i olika riktningar och med olika längd, se figur 30.



Figur 30. Förstoringen visar en yta av 1,25 x 2 mm på den första glidplattan. Nötningen visar att korsnings-spetsen har rört sig i olika diagonala riktningar.

Avstånd mellan korsningsspets och glidplattorna

Korsningsspetsen låg an mot de tre första glidplattorna oavsett hur de tre stödpunkterna under korsningspartiet justerades i höjdled. Till de övriga glidplattorna hade korsningsspetsen gradvis ökande och minskande spel på 1–3 mm beroende på hur stödpunkterna justerades. Det är viktigt att påpeka att korsningspartiet har påverkats av urspårningen samt av kapning och förflyttning till SHK:s undersökningslokal.

Korsningsspetsens rörlighet i sidled

I samband med undersökningen spändes korsningsspetsen fast mot korsningen i ett läge motsvarande rakläge. Det gick därefter relativt enkelt att mot mitten av den sammansatta korsningsspetsen flytta rälerna i sidled genom bryttag med ett spett. Två bultade distanser mellan rälerna i korsningsspetsen var lösa. Noterbart är att korsningsspetsen och konstruktionen har påverkats av krafter till följd av urspårningen.

Lastfall i drivanslutningsplattan

Lasterna i drivanslutningsplattan och svetsförbanden är konstanta när växeln ligger i läge och inget fordon passerar. Antalet omläggningar av växeln är lågt varför de sammantaget inte bedöms vara tillräckliga för att initiera och driva utmattning i svetsförbanden. För att driva utmattningssprickor har krävts ett mer frekvent lastfall i drivanslutningsplattan.

Resonanssvängning

Beräkningar visar att resonanssvängning[23] sannolikt inte har varit ett betydande lastfall i drivanslutningsplattan.

Materialval

Stål av typen S355J2 bedöms vara lämpat för tillverkning av drivanslutningsplattor.

Sammanfattning av Elements slutsatser

Brottet i den havererade drivanslutningsplattan har uppkommit till följd av utmattning som startat från insidan av stumsvetsarna som fäster bottenplattan mot infästningen av den rörliga korsningsspetsen.

De brustna stumsvetsarna hade bindfel i roten där utmattningen har initierats. Bindfelen var inte acceptabla enligt EN ISO 5817, acceptansklass B.

Det går utifrån Elements undersökning inte att fastställa om svetsdefekterna enskilt orsakat utmattningen eller om de endast verkat påskyndande.

[23] Resonanssvängning kan uppkomma om ett system driver ett annat system att oscillera eller vibrera mera vid specifika frekvenser.

Den lilla andelen restbrott tyder på att lasten som drivit utmattningen har varit relativt låg och frekvent. Det indikerar att lastfallet inte var omläggning av växeln.

Den övergripande slitagebilden visar att korsningsspetsen inte var en särskilt stum komponent vid tågpassage utan att den kan ha rört sig i både längd- och sidled. Detta har skapat ett komplext dynamiskt lastfall som drivit utmattningen i drivanslutningsplattan.

4. ANALYS AV HÄNDELSEN

Detta avsnitt är en samlad analys av roller och ansvarsområden, rullande materiel och tekniska anläggningar, mänskliga faktorer och återkopplings- och kontrollmetoder, inklusive risk- och säkerhetsstyrning samt övervakningsprocesser.[24]

Att persontåg spårar ur i hög hastighet är mycket ovanligt. I det aktuella fallet begränsades skadorna av att de urspårade vagnarna följde spåret utan att välta eller kollidera med andra föremål.

Övergripande konstaterar SHK att den inblandande personalen var behörig för sina arbetsuppgifter och att operativa åtgärder inte var orsak till urspårningen. Samarbetet mellan förare och tågvärd underlättade sannolikt handhavande av tåget, ansvar för passagerarna och kommunikation med andra parter.

Det fanns inga rapporterade fel i infrastrukturen, inga relevanta fel på fordonen och signalsystemet fungerade i enlighet med konstruktionsvillkoren.

a) Hur spårade tåg 7900 ur?

Den första vagnen i tåg 7900 följde rälerna till spår 9 samtidigt som föraren inte uppfattade några missljud från första vagnens passage genom växel 106 i Blackvreten. Sannolikt hade drivanslutningsplattan i växel 106 inte brustit helt när tåget körde in över växeln. Till följd av krafter från passerande hjulaxlar uppstod sedan restbrott i växelns drivanslutningsplatta och den sista sammanhållande kälsvetsen. När den mekaniska förbindelsen mellan växeldrivets låsning och den rörliga korsningsspetsen upphörde, flyttade sig spetsen med en viss fjädrande verkan mot mittläget i korsningspartiet. Från den sjunde hjulaxeln i färdriktningen styrde korsningsspetsen de vänstra hjulens flänsar av spåret till vänster vilket medförde att även de högra hjulen spårade av sin räl. Direkt efter urspårningen studsade de vänstra hjulen över den återstående delen av korsningspartiet. Komfortloggern i den tredje vagnen i färdriktningen registrerade kortvarigt kraftiga vertikala rörelser.

[24] 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.

Övervakningsfilmen visar att tåget förflyttade sig utmed spår 9 med tio urspårade hjulaxlar. Komfortloggerns data visar ökade vertikala rörelser under cirka tio sekunder.

Under förflyttning utmed spår 9 började tåget att nödbromsa, sannolikt till följd av skador och elektriska fel i boggierna. Hastigheten var dock fortsatt hög när det urspårade hjulaxlarna lyftes över rälerna i växlarna 103 och 102, i slutet av spår 9. Övervakningsfilmen visar att vagnarna studsade kraftigt från den andra boggin på den andra vagnen. Komfortloggerns data visar en motsvarande serie av kraftiga vertikala rörelser.

Under passagen av växlarna spårade några av hjulaxlarna åter på rälerna. När den sista boggin i tåget passerade över växel 102 följde hjulaxlarna rälerna åt höger så att sista vagnen stannade delvis ut i det intilliggande spåret.

Boggikonstruktionen styrde den vänstra rälen nära insidan av de vänstra hjulen samtidigt som vagnarna var förbundna till varandra med kraftiga, fasta koppel. Dessa två faktorer bidrog sannolikt till att tåget fortsatte följa spår 9 nära rälerna. Urspårade vagnar som förskjuts i sidled eller lossnar från varandra riskerar att välta eller kollidera med föremål vid sidan av spåret med stora skador som följd.

b) Varför gick drivanslutningsplattan i växel 106 sönder?

Elements granskning visar att drivanslutningsplattans svetsförband hade omfattande utmattningssprickor. Restbrott uppstod i halva den återstående svetsen, av totalt sex svetsar, som under passage av första vagnen höll samman drivanslutningsplattan mot korsningsspetsen. Svetsarna hade påverkats av relativt låga men frekventa laster. Enskilda händelser med stora laster på svetsförbanden hade orsakat större brottytor och inte utmattningssprickor genom hela stumsvetsarna.

Tillverkaren har beskrivit att drivanslutningsplattornas svetsförband dimensionerats för statisk last. Elements undersökning visar att frekvent och dynamisk belastning orsakat utmattningen av svetsförbanden, med start från rotsidan av stumsvetsarna, inte statisk last från växeldrivet och relativt få omläggningar av växeln.

c) Hur mycket påverkade stumsvetsarnas bindfel?

Stumsvetsarna i drivanslutningsplattan till växel 106 hade relativt omfattande bindfel, vilket försvagade svetsförbandens styrka och fungerade som utgångspunkter för sprickor att bildas. Bindfelen var inte godkända i den acceptansklass som tillämpades vid tillverkningen. Regler, instruktioner och certifieringar avseende svetsning och svetsarbete fanns hos tillverkaren. Svetsarna utfördes ändå med bindfel och befintliga kvalitetskontroller identifierade inte bristerna före leverans till Infratek och A-Trains infrastruktur.

Undersökningen av drivanslutningsplattan till växel 103 visar att den också hade bindfel i stumsvetsarna, i något mindre omfattning. Drivanslutningsplattan till växel 103 tillverkades minst sju år före drivanslutningsplattan till växel 106. Det tyder på att brister i svetsutförandet inte var en enskild händelse.

Drivanslutningsplattan i växel 103 hade varit monterad sedan 2008, mer än dubbelt så länge som drivanslutningsplattan i växel 106 som monterades 2015. Trots liknande bindfel och dubbel drifttid för drivanslutningsplattan i växel 103 noterades inga tecken på utmattning i dessa stumsvetsar.

Bindfelen har påverkat stumsvetsarnas hållfasthet men är inte med säkerhet den enda förklaringen till skadorna på drivanslutningsplattan i växel 106.

Trafikverket har beskrivit en skillnad i hur korsningsspetsen påverkas i med- och motväxlar. Det kan ha medfört en skillnad i hur drivanslutningsplattorna och svetsförbanden påverkades i växel 103 och 106.

d) Hur har korsningspartiet i växel 106 påverkats?

Dynamiska laster bedöms ha varit drivande för de omfattande utmattningssprickorna i svetsförbanden. Rörelser har mest troligt förekommit i korsningsspetsen och påverkat drivanslutningsplattan och svetsförbanden till bottenplattan.

Elements undersökning av den första glidplattan, under korsningsspetsen, visar på flera typer av påverkan och rörelser.

En smal yta, parallell med korsningsspetsens position i rakläget, uppvisar ett eget mönster. Ytans bredd av 2–3 mm sammanfaller med den tolerans som medges när växeltungan säkerhetsbesiktigas och bryttag tas mot den intilliggande rälen. Korsningsspetsen kan ha rört sig 2–3 mm i sidled vid tågpassager men sannolikt inte mera. Då hade ytan med slitage varit bredare. Mätvagnens registreringar av upp till 6 mm mindre spårvidd var därför sannolikt inte vid själva korsningsspetsen.

Ytan under korsningsspetsen uppvisade nötning och ett mönster av rörelser i olika riktningar. Diagonala rörelser kan förklaras med att växeltungan böjt sig. Böjning av växeltungan sammanfaller med de bågformade mätningar och reduceringar av spårvidd som mätvagnen registrerat på en sträcka av flera meter i korsningspartiet av växel 106. Den andra änden av den rörliga korsningen var fast förbunden med rälen till spår 9 och kunde inte röra sig i längdled. Om växeltungan böjde sig bör korsningsspetsen ha flyttat sig i växelns längdriktning. Samtidigt med böjningen bör det ha uppstått en vridning i korsningsspetsen och drivanslutningsplattan.

Den första glidplattans material hade smidits och format en upphöjning bakom korsningsspetsens ände. Det tyder på en nedåtriktad kraft från korsningsspetsen mot glidplattan.

Markförhållandena och banunderbyggnaden undersöktes av Banverket när de ursprungliga växlarna uppvisade problem med spårläget och onormalt slitage. Bedömningen var då att spårlägesfelen inte orsakades av brister i mark- och banunderbyggnad.

Spårläget i korsningspartiet har justerats i huvudsak genom förebyggande spårriktning eller till följd av besiktningsanmärkningar. Mätvagnen har sedan år 2018 noterat en största avvikelse för spårets höjdläge på 9 mm vid belastad

mätning. Vid övriga mätningar, sex gånger per år, har rörelserna i höjdled varit under 9 mm och inom kravställda toleranser. Även begränsade rörelser i korsningspartiets höjdled har sannolikt medfört liknande rörelser i drivanslutningsplattan.

Drivanslutningsplattan i växel 106 byttes ut till följd av slitage i hålen till drag- och kontrollstängerna. Åtgärden att montera bussningar i hålen utfördes också till följd av slitage. Bultarna till drag- och kontrollstängerna behövde bytas regelbundet. Detta tyder på att upprepade rörelser i drivanslutningsplattan orsakat slitage i hålen och på bultarna till drag- och kontrollstängerna.

Alla rörelser och påverkan av korsningsspetsen, nedåt, i sidled och i längdled, kombinerat med vridande rörelser, har sannolikt påverkat drivanslutningsplattan och svetsförbanden mot bottenplattan. Adderat med faktorer som hög hastighet på passerande tåg och hög trafikintensitet har rörelserna medfört dynamiska laster som överstigit hållfastheten i drivanslutningsplattans svetsförband vilket över tid utmattat svetsarna och resulterat i restbrott vid olyckstillfället.

e) Hur utfördes säkerhetsbesiktning och underhåll?

Växeltypen var försäkrad att fungera som driftkompatibilitetskomponent och integreringen i signalställverket var godkänd. Det fanns inga tidigare erfarenheter av utmattningssprickor i drivanslutningsplattor. Den specifika risken för urspårning till följd av utmattningssprickor och restbrott i drivanslutningsplattor har vad SHK erfar inte bedömts eller hanterats tidigare.

A-Train bedömde och beslutade att Trafikverkets styrande dokument och Vosslohs instruktioner skulle tillämpas för säkerhetsbesiktning och underhåll av växlarna med rörlig korsningsspets i Blackvreten. Utförandet av besiktning och underhåll var placerat i den högsta utförandeklassen, för den mest omfattande trafiken.

A-Train har utfört säkerhetsbesiktningar och underhåll där avvikelser mot valda krav och toleranser har identifierats och åtgärdats.

Styrande dokument angav krav på besiktning av synliga sprickor och skador i växlar. Konstruktionen och montaget av drivanslutningsplattan i stålslipern gjorde att långsidornas stumsvetsar inte var synliga för kontroll.

Inga styrande dokument eller instruktioner har beskrivit behovet att kontrollera drivanslutningsplattors svetsförband med volymetrisk provning i syfte att identifiera dolda brister eller sprickor.

Valet att montera bussningar i drivanslutningsplattan grundades i behovet att korrigera glapp i infästningen till drag- och kontrollstängerna från växeldrivet. Montage av bussningar är en vedertagen metod för att byta eller återställa ytor i en konstruktion som utsätts för slitage. Metoden att montera bussningar i växeltungor tillämpas av Trafikverket på grund av slitage i hål för dragstänger.

SHK har inte tagit del av något ritningsunderlag eller instruktioner som beskriver villkor för montage av bussningar i drivanslutningsplattor. SHK:s bedömning är

samtidigt att montaget av bussningar inte har påverkat rotorsaken med dynamiska laster och tillväxten av utmattningssprickor i drivanslutningsplattan.

Formellt borde A-Train ha tagit fram ett tekniskt underlag för montage av bussningar i drivanslutningsplattan, vid behov i samverkan med tillverkaren Vossloh. Dialog mellan infrastrukturförvaltare och tillverkare kan förbättra konstruktioner och underhåll med ökad säkerhets som följd.

f) Kan andra växlar med rörlig korsningsspets påverkas?

Det finns inga kända problem med utmattningssprickor i andra drivanslutningsplattor. Trafikverkets kontroll av svetsförbanden med penetrant har inte påvisat några synliga sprickor.

Vid Trafikverkets kontroller var drivanslutningsplattorna och särskilt stumsvetsarna placerade rakt under korsningspartierna vilket kan ha försvårat arbetet och bedömningen av stumsvetsarna. Provning med penetrant identifierar heller inte dolda sprickor från svetsarnas rotsida. Det kan därför vara lämpligt att kontrollera ett valt antal drivanslutningsplattor mer utförligt med volymetrisk provning av svetsförbanden.

Majoriteten av Trafikverkets växlar med rörlig korsning har flera växeldriv och drivanslutningsplattor till korsningsspetsen. Det kan medföra andra lastfall i den rörliga korsningen och en mer gynnsam påverkan i respektive drivanslutningsplatta. Vissa växlar har dock många besiktningsanmärkningar om exempelvis glapp och lösa bultar, liknande växel 106 i Blackvreten. Det kan tyda på förekomsten av dynamiska laster även i Trafikverkets växlar med rörliga korsningspartier och drivanslutningsplattor.

Andra växlar av samma typ som växel 106, i Trafikverkets infrastruktur och Köpenhamns metro, trafikeras i lägre hastigheter än 200 km/tim. Dynamiska krafter från passerande hjulaxlar kan därför vara annorlunda. Växlarna har också trafikerats av andra fordonstyper och axellaster, med olika antal fordonsrörelser och under olika lång tid, faktorer som på olika sätt kan påverka risken att utveckla utmattningssprickor.

Signalsystemet har i grunden ingen betydelse för händelseförloppet. Indikeringarna för korsningsspetsens läge är bara indirekt placerade i växeldrivet, på andra sidan av brottet i drivanslutningsplattans svetsförband. Restbrott och urspårning kan även uppstå under tågets passage. Risken för urspårning måste därför hanteras genom att säkerställa den mekaniska förbindelsen från korsningsspets till indikering.

Efter bytet av växlarna 103 och 106 i Blackvreten har A-Train inga drivanslutningsplattor kvar i sin infrastruktur. De nya slipersintegrerade växeldriven, av typen Easyswitch, har en annan typ av drivning, infästning och direkt kontroll av korsningsspetsens läge. Erfarenheterna och historiken från växel 106 visar samtidigt på särskilda förutsättningar och problematiskt högt slitage. Även den nya typen av växeldriv kan komma att påverkas negativt av icke beaktade dynamiska laster. Besiktning och underhåll av växel 106 bör därför följas upp proaktivt i syfte att identifiera eventuella okända brister och därmed säkerställa en trafiksäker funktion. Vid eventuella oklarheter avseende besiktning och

underhåll bör A-Train kontakta tillverkaren för bedömning om och i så fall hur instruktioner och rutiner kan förbättras.

Erfarenheten från andra växlar visar att risken för utmattningssprickor i drivanslutningsplattor är låg men kan samtidigt inte uteslutas. Det saknas tydliga regler och rutiner för att identifiera brister i svetsförband på drivanslutningsplattor. En drivanslutningsplatta som till följd av brister i svetsutförande eller annan orsak utsätts för dynamiska laster i tillräcklig omfattning riskerar därför att utveckla utmattningssprickor fram till restbrott och urspårning. Både tillverkare och infrastrukturförvaltare bör därför vidta åtgärder för att säkerställa drivanslutningsplattornas hållfasthet och funktion.

g) Hur fungerade larmning och räddningsinsats?

Det var främst två faktorer som försenade räddningstjänstens insats; en fördröjd larmning från trafikledningscentralen till SOS Alarm och en otydlig position för olyckan. I det aktuella fallet uppstod inte några omfattande konsekvenser på grund av fördröjningarna. I en annan situation kan liknande fördröjningar vara livsavgörande.

Larmningen från trafikledningscentralen till SOS Alarm fördröjdes genom att ett prefix användes före larmnumret 112. Prefixet används för att koppla telefonsamtal till tåg och när det användes före 112 blev det ett okänt nummer i telefonsystemet. Telefonsamtalet kunde därför inte kopplas fram. Eftersom tågklarerareren inte förstod varför 112-samtalet inte kunde kopplas fram användes istället en mobiltelefon. Efter att felet identifierats och tågklarerarna informerats om att prefix inte kan användas före larmnumret 112 ser SHK att rutinerna för larmning har förbättrats.

När larmsamtalet kopplades fram förmedlades tågets position med nummer på kontaktledningsstolpar som räddningstjänsten inte kunde referera till. Att snabbt kunna larma räddningsresurser och förmedla en position kan vara avgörande för att rädda liv. Trafikverket rekommenderas därför att ta fram en teknisk eller organisatorisk lösning för att tågklarerare ska kunna larma SOS Alarm utan fördröjning. Trafikverket rekommenderas också att i samråd med SOS Alarm arbeta fram ett sätt att snabbt kunna positionera en järnvägsolycka. Trafikverket och SOS Alarm har flera olika ledningscentraler varför tekniken och organisationen behöver fungera ur ett gemensamt och nationellt perspektiv. Arbetet bör inriktas på att Trafikverket, i samband med den första informationen om olyckan, ska kunna ta fram och förmedla en position som SOS Alarm och räddningsresurser kan relatera till.

5. SLUTSATSER

a) Slutsatser avseende orsakerna till händelsen

Den direkta orsaken till urspårningen var att den rörliga korsningsspetsen i växel 106 flyttades ur läge när svetsförbandet i drivanslutningsplattan brast till följd av restbrott.

Dynamiska lastfall från passerande hjulaxlar har orsakat utmattningssprickor i drivanslutningsplattans svetsförband, med början i stumsvetsarnas bindfel.

På systemnivå var drivanslutningsplattan inte konstruerad för de lastfall och förutsättningar som förelåg i växel 106, samtidigt som regler och rutiner för säkerhetsbesiktning och underhåll inte var utformade att identifiera och åtgärda brister i drivanslutningsplattans svetsförband.

b) Åtgärder som vidtagits efter händelsen

Se avsnitt 3b, sidan 38.

c) Övriga iakttagelser

Inga

d) Utredningsresultat

a) Växel 106 på Blackvretens driftplatsdel byttes år 2008 till följd av högt slitage och stort underhållsbehov.
b) Den nya växeln fick rörlig korsning med sidoplacerat växeldriv, dragstänger och en drivanslutningsplatta till den rörliga korsningsspetsen.
c) A-Train säkerhetsbesiktigade och underhöll växeln med ledning av valda styrande dokument och tillverkarens instruktioner.
d) Drivanslutningsplattan byttes år 2015 till följd av slitage i hålen för drag- och kontrollstängerna.
e) Bussningar monterades respektive byttes i hålen för drivanslutnings-plattans drag- och kontrollstänger år 2017 respektive 2020.
f) Morgonen den 27 maj 2023 var resandetåg 7900 på väg från Stockholm C till Arlanda med 67 passarerare och två anställda ombord.
g) Tåget närmade sig Blackvretens driftplatsdel i 178 km/tim.
h) Signalsystemet bekräftade säkrad rörelse genom växel 106 till spår 9.
i) Drivanslutningsplattan i växel 106 gick sönder när tågets första hjulaxlar hade passerat växeln.
j) Den rörliga korsningsspetsen lämnade sitt rätta läge.
k) Tågets tio sista hjulaxlar spårade ur i korsningspartiet.
l) Tåget färdades, i hög hastighet, urspårat utmed spår 9 och studsade över flera efterföljande växlar.
m) Tåget stannade parallellt med Blackvretendepån med den sista vagnen förskjuten i sidled över i det intilliggande spåret.
n) En resande blev allvarligt skadad.

o) Räddningsinsatsen fördröjdes några minuter till följd av problem med larmning till SOS Alarm och oklarheter om tågets position.
p) Drivanslutningsplattan i växel 106 hade utmattningssprickor i alla svetsar mellan bottenplattan och vinklarna som fäster i korsningsspetsen.
q) Restbrott i den återstående halvan av en svets tyder på att relativt låga men högfrekventa laster drivit utmattningssprickorna.
r) Drivanslutningsplattan var dimensionerad för statisk last.
s) Drivanslutningsplattans stumsvetsar uppfyllde inte kraven i ISO 5817 utförandeklass B.
t) Drivanslutningsplattans svetsförband var inte en av de delar som kontrollerades vid säkerhetsbesiktningar eller underhåll av växeln.

6. SÄKERHETSREKOMMENDATIONER

A-Train AB rekommenderas att:

- Med anledning av tidigare högt slitage, underhåll och skadeutfall i växel 106, följa slitage, underhållsbehov och andra relevanta indikationer för att proaktivt identifiera eventuella brister i syfte att säkerställa trafiksäker funktion i den nya växeln. Vid eventuella oklarheter avseende besiktning och underhåll bör A-Train kontakta tillverkaren för bedömning om och i så fall hur instruktioner och rutiner kan förbättras. *(SHK 2024:08 R1)*

Vossloh Switch Systems AB rekommenderas att:

- Undersöka om svetsförband i nytillverkade drivanslutningsplattor ska dimensioneras för dynamiska lastfall i syfte att minimera risken för utmattningssprickor och brott. *(SHK 2024:08 R2)*

- Följa upp regler och rutiner för att säkerställa att svetsarbeten uppfyller krav och standarder. *(SHK 2024:08 R3)*

Trafikverket rekommenderas att:

- Undersöka drivanslutningsplattor med volymetrisk provning i syfte att säkerställa att svetsförbanden uppfyller ställda krav och detektera eventuella dolda fel i lastbärande svetsar. *(SHK 2024:08 R4)*

- Se över styrande dokument i syfte att säkerställa att svetsförband i drivanslutningsplattor till rörliga korsningsspetsar i Trafikverkets infrastruktur kontrolleras i erforderlig omfattning för att minimera riskerna för utmattningssprickor och brott. *(SHK 2024:08 R5)*

- I samråd med SOS Alarm Sverige AB arbeta fram ett sätt att snabbt kunna positionera en järnvägsolycka. Arbetet bör inriktas på att Trafikverket, i samband med den första informationen om olyckan, ska kunna ta fram och förmedla en position som SOS Alarm och räddningsresurser kan relatera till. *(SHK 2024:08 R6)*

Statens haverikommission emotser besked **senast den 17 september 2024** om vilka åtgärder som har vidtagits med anledning av de rekommendationer som har lämnats i rapporten.

På haverikommissionens vägnar

John Ahlberk Mikael Hillbo

Bilaga 1 - Element Material Technology AB:s rapport

TEKNISK RAPPORT

Undersökning av havererad drivanslutningsplatta

ELEMENT MATERIALS TECHNOLOGY AB

För

Statens Haverikommission

TEK23-0062

Utgåva 2

2024-06-12

Vår handläggare: David Hjertsén

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.

Element Materials Technology AB
Box 1340
581 13 Linköping

Org. nr 556097-0187
+46 (0)10 279 47 00
info.se@element.com
www.element.com/se

Sammanfattning

På uppdrag av Statens Haverikommission (SHK) har en infästning till en rörlig korsningsspets tillhörande den växel belägen där en urspårning på Arlandabanan (SHK ärende J-7) undersökts. Den undersökta drivanslutningsplattan är brusten i svetsarna mellan bottenplatta och överdel. Syftet med undersökningen är primärt att klarlägga brottmekanism och dokumentera drivanslutningsplattorna.

Undersökningen har kompletterats med genomgång av dokument och diskussion kring olika delar som kan ha påverkan på haveriet.

Brottet i den havererade drivanslutningsplattan har uppkommit till följd av utmattning som startat från insidan av stumsvetsarna som fäster bottenplattan mot infästningen av den rörliga korsningsspetsen.

Den lilla andelen restbrott tyder på att lasten som driver utmattningen är relativt låg och utmattningen är högcyklig. Detta indikerar att det lastfall som driver utmattningen inte är omläggning av växeln då detta är relativt lågfrekvent, utan laster som uppkommer vid hjulpassager. Vossloh har presenterat en enkel beräkning som visar att lasterna vid växelomläggning är mycket låga.

De brustna stumsvetsarna har bristande inträngning/bindfel i roten där utmattningen har initierats. Dessa bindfel är inte acceptabla ur den acceptansklass som har uppgetts gälla (ISO 5817 utförandeklass B)

I referensdrivanslutningsplattan noteras också mindre omfattande bindfel, både vid ultraljudsprovning och vid lokal uppbrytning av svetsen vid ultraljudsindikationerna. I referensen noteras dock ingen utmattning i dessa positioner. Att koppla förekomst av avvikelser i svetsutförandet till sprickbildningen då det inte uppstått i referensdrivanslutningsplattan är inte möjligt då driftförhållandena inte bedöms som jämförbara.

Det går utifrån denna undersökning inte att fastställa om svetsdefekterna enskilt orsakat utmattningen eller om de endast verkat påskyndande.

Laster som uppstår vid omläggning av växel är inte tillräckliga för att initiera och driva utmattningssprickan. Detta visar att det finns något i driften som ger en större dynamisk belastning än drivanslutningsplattan kan klara.

Den övergripande slitagebilden (djup nednötning i glidplanen med relativrörelse i både längd och sidled, kraftig nötning i och kring hålen för manöverstängernas infästning i båda ändar) visar att den fasta korsningsspetsen och drivanslutningsplattan inte är en särskilt stum komponent vid tågpassage utan att den rör sig i både längs och sidled. Detta skapar ett komplext dynamiskt lastfall som drivit utmattningen.

Beställningsdata

Kund:	Statens Haverikommission Box 6014 102 31 Stockholm
Beställningsnr:	A-122/21; J-7/23
Datum:	2023-05-25
Inköpare:	
Teknisk referens:	M. Hillbo

Intern data

Handläggare:	David Hjertsén
Granskare:	Annika Bengtsson
Aonr:	A15709-1
Id.nr:	
Filnamn:	TEK2023-0062-2.DOCX

Innehållsförteckning

		Sida
Sammanfattning		**2**
Innehållsförteckning		**3**
1	**Inledning**	**4**
2	**Provföremål**	**4**
3	**Undersökning**	**7**
4	**Resultat**	**7**
4.1	Visuell undersökning	7
4.2	Jämförande visuell undersökning mot referens	9
4.3	Oförstörande provning	13
4.4	Svetsuppbrytning fraktografi	13
4.5	Mikrostruktur och hårdhetsprovning växel 103	14
5	**Visuell undersökning av växel 106 på plats**	**16**
6	**Kompletterande undersökning av växel 106 i Strängnäs**	**17**
7	**Diskussion**	**25**
8	**Slutsatser**	**30**
Rapportfördelning		**31**

I utgåva två har en kommentar om att det saknas en svets i en position jämfört med ritning tillagts och en kommentar om inträngning i roten tagits bort (ändringarna gäller sista stycket s 7.

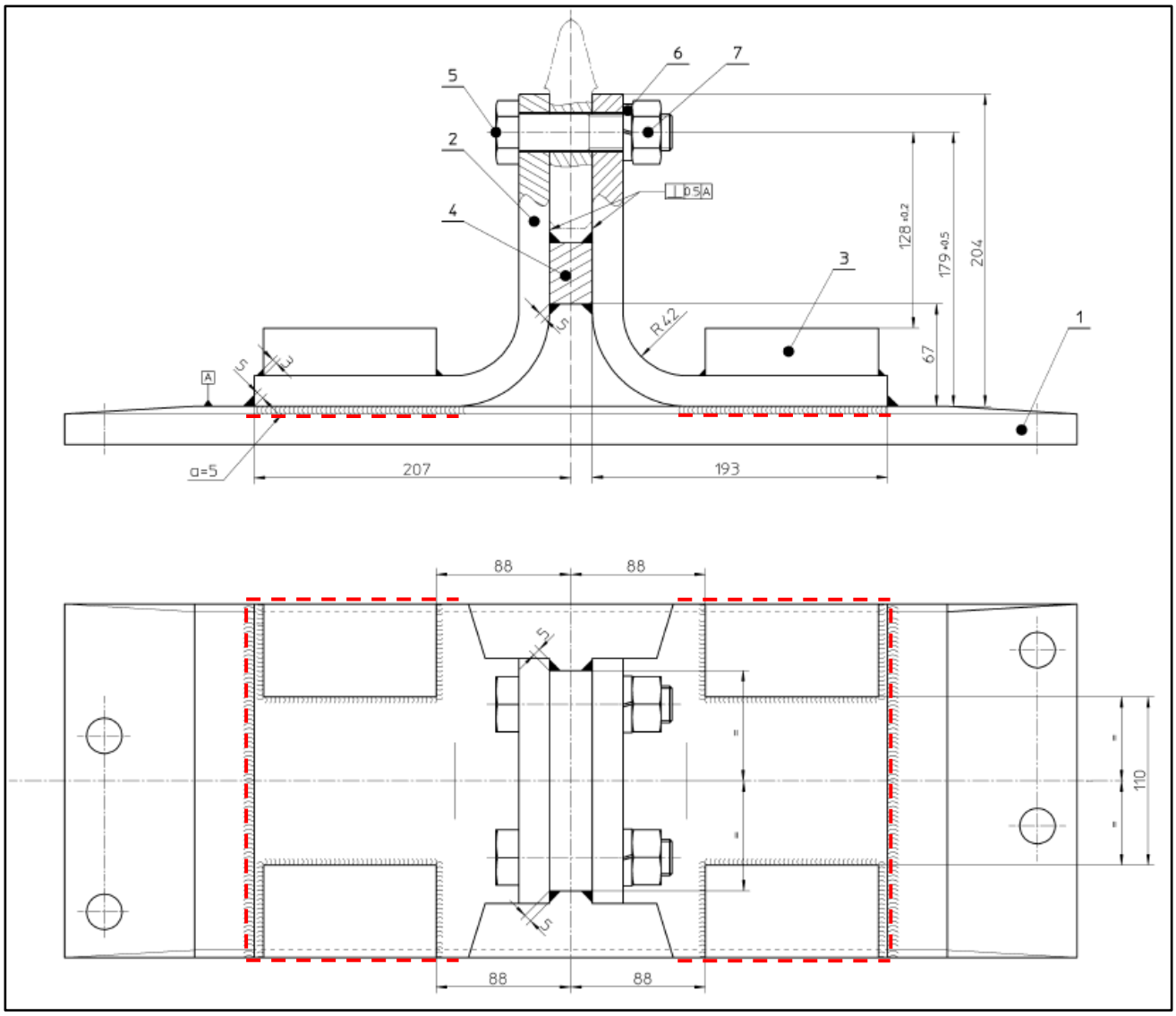
1 Inledning

På uppdrag av Statens Haverikommission (SHK) har en infästning till en rörlig korsningsspets tillhörande den växel belägen där en urspårning på Arlandabanan (SHK ärende J-7) undersökts. Den undersökta drivanslutningsplattan är brusten i svetsarna mellan bottenplatta och överdel. Syftet med undersökningen är primärt att klarlägga brottmekanism och dokumentera drivanslutningsplattorna.

Undersökningen har kompletterats med genomgång av dokument och diskussion kring olika delar som kan ha påverkan på haveriet.

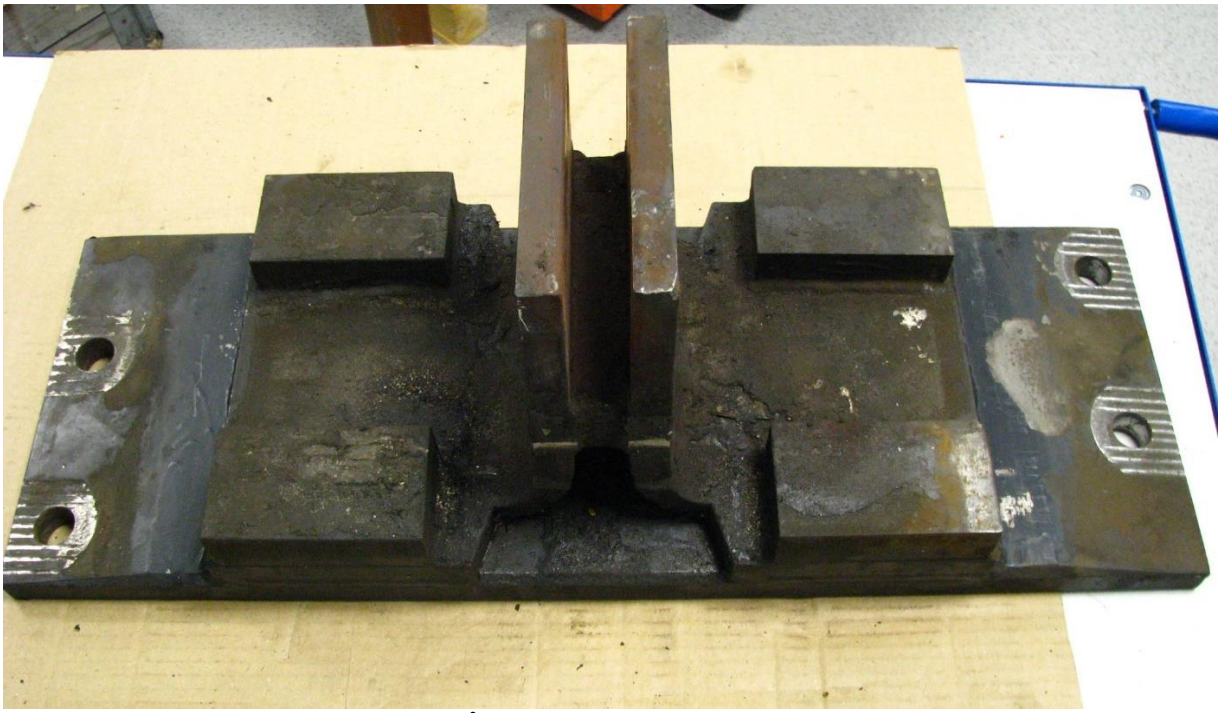
2 Provföremål

Beskrivning:	SNC Drive Bracket 60PA330 från växel 106, se Figur 1 och Figur 2. Motsvarande detalj från växel 103, se Figur 3.
Ankomstdatum:	2023-06-01
Dokument:	Ritning nr: 9-804 556 rev. 3, 6 362 3725 rev. 2 Krav med rådstexter TRVINFRA-00017 Sparvaexel v4_0



Figur 1. Ritning över den brustna drivanslutningsplattan med brottets läge markerat urklipp ur ritning 6 362 3725.

Figur 2. Drivanslutningsplattan i ankomstskick med numrering av svetsarna i denna rapport.



Figur 3. Referensdrivanslutningsplatta från växel 103.

3 Undersökning

Brottytorna har undersökts visuellt med lågförstorande mikroskop före och efter rengöring.

Drivanslutningsplattan från växel 103 har undersökts visuellt och svetsfogen som motsvarar den brustna har undersökts oförstörande med ultraljud. En del av svetsen på referensen har brutits upp från rotsidan efter nedkylning med flytande kväve för att förenkla uppbrytningen.

Ett besök på haveriplatsen genomfördes den 26 september 2023 för visuell undersökning av övriga delar innan demontering av växeln och för att bestämma vilka delar som skulle bevaras.

Ytterligare en undersökning utfördes den 9 november 2023 i Strängnäs, dit växeln flyttats efter demontering.

4 Resultat

4.1 Visuell undersökning

Det noteras att av brottet har skett i svetsgodset mellan plattan och delen som fäster in mot rälsen. Huvuddelen av brottytorna bedöms vara utmattningsbrott som startat från rotsidan på svetsen och den lokala tillväxten har varit utåt.

Restbrott har skett i svets 1 när omkring halva svetsgodset har varit penetrerat av utmattning, se Figur 4 och Figur 5. I stumsvetsarna (svetsar 2, 3, 5 och 6) så noteras inget restbrott och det bedöms som att dessa har varit helt penetrerade av utmattningssprickor när restbrottet sker.

Brottytan på kälsvetsen på motstående sida (svets 4) är kraftigt nött. Det noteras utmattningsbrottstarter och utmattningsbrottytor men det går inte att utesluta att det skulle kunna finnas en mindre andel restbrott i denna brottyta.

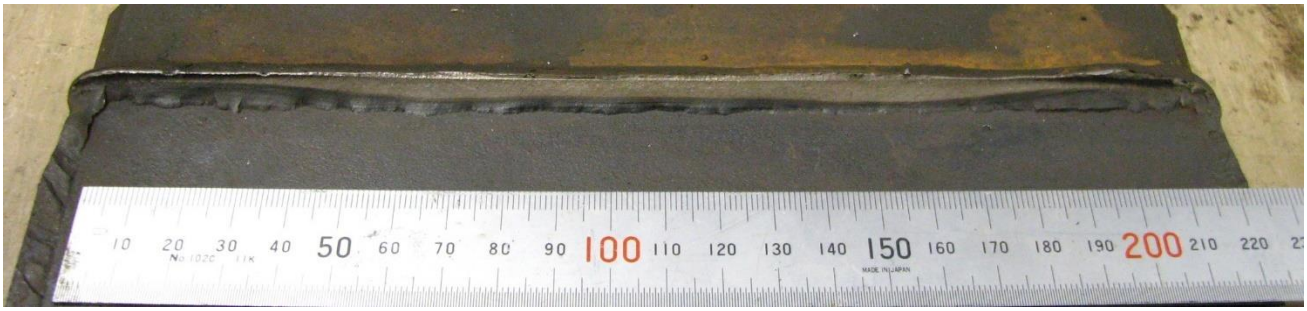
Att utmattningen helt penetrerar stumsvetsarna och att utmattningen har tillväxt snabbast närmare hörnen i svets 1 kan indikera att det drivande lastfallet är alternerande i rälsens längdriktning. I svetsade konstruktioner som denna så är det dock osäkert att överföra globalt lastfall till lokal spricktillväxtriktning då de lokala restspänningarna efter svetsningen är omfattande och inverkar på spricktillväxtens riktning och omfattning i olika delar av konstruktionen.

När det gäller svetsutförandet så noteras det att det i stumsvetsarna på långsidan på plattan finns relativt omfattande brister i inträngning. I ritning 6 362 3725 är fogberedningsdjupet angivet till 5 mm och inträngningen också angiven till 5 mm så ingen del av ursprunglig fogyta ska vara osmält. I Figur 6, Figur 7, Figur 9 och Figur 10 är de mest uppenbara bindfelen markerade.

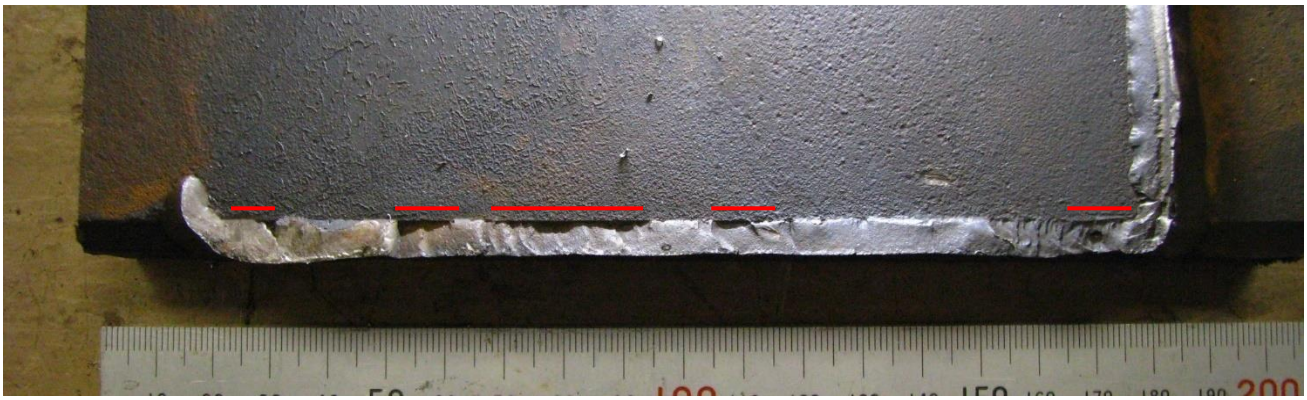
När det gäller kälsvetsarna (svets 1 och 4) så bedöms dessa uppfylla a-måttet (min 5mm enligt ritning).

Det konstateras att den övre svetsen i klossen som separerar de två bockade delarna av drivanslutningsplattan saknas jämfört med ritningen.

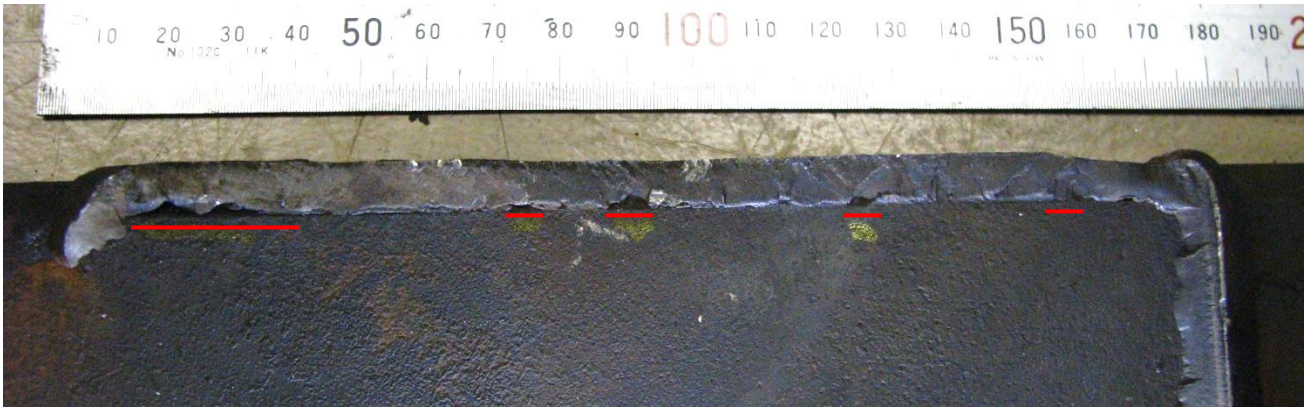
Figur 4. Svets 1 i ankomststkick, ljusgrå andel av sprickytan bedöms som restbrott.



Figur 5. Svets 1 efter kapning och rengöring av plattan.

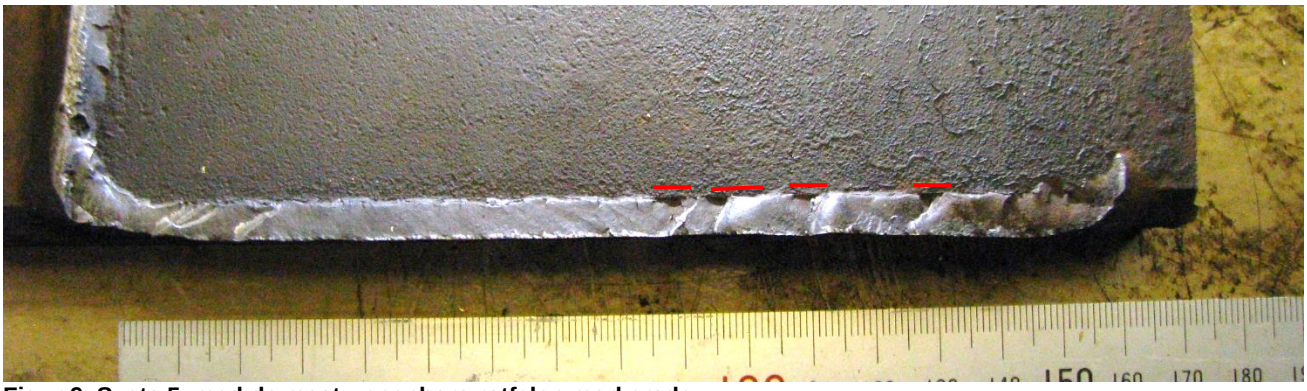


Figur 6. Svets 2, med de mest uppenbara rotfelen markerade.

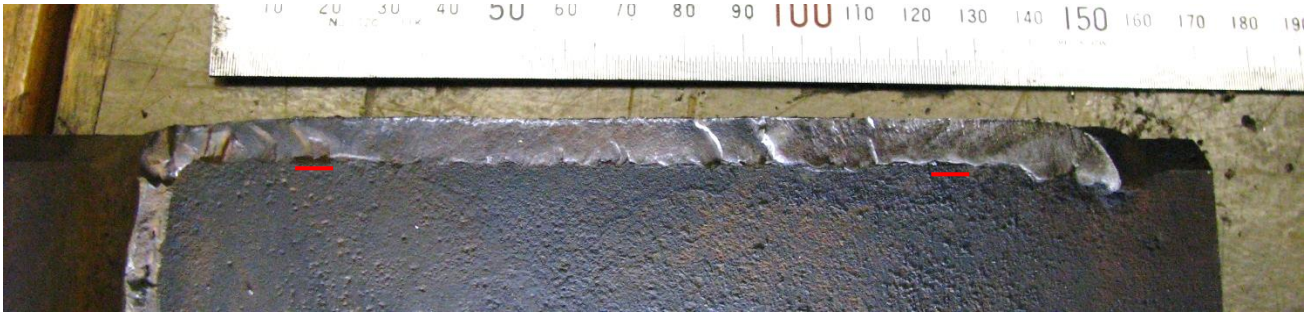


Figur 7. Svets 3, med de mest uppenbara rotfelen markerade.

Figur 8. Svets 4



Figur 9. Svets 5, med de mest uppenbara rotfelen markerade.

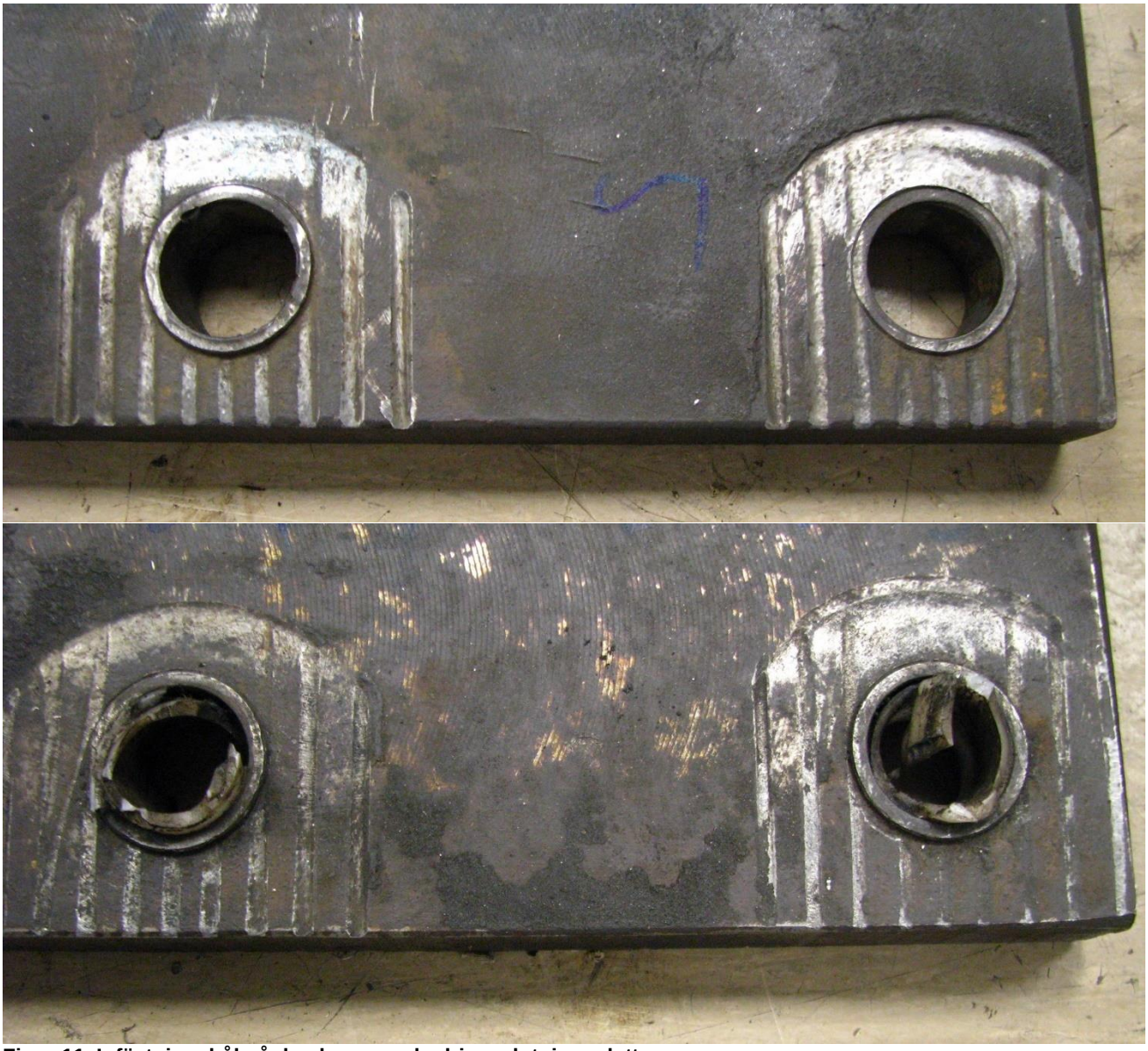


Figur 10. Svets 6, med de mest uppenbara rotfelen markerade.

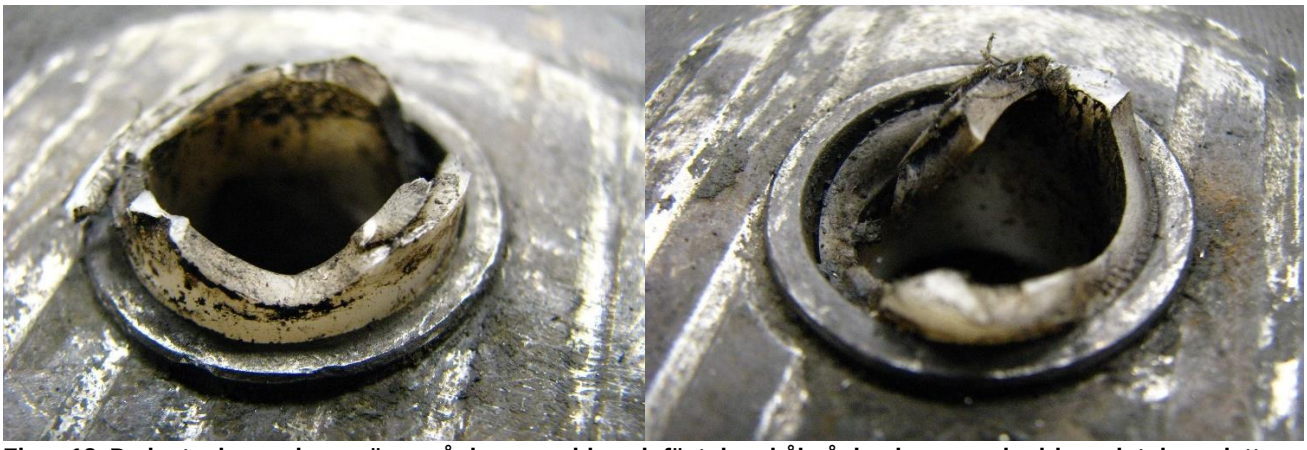
4.2 Jämförande visuell undersökning mot referens

Det finns skillnader som noteras mellan drivanslutningsplattan från växel 103 och den havererade när det gäller utformning. I hålen på den plana delen så sitter det ett infällt metallrör i hålen och på den ena sidan även ett rör av polymer (någon typ av plast) infällt, jämför Figur 11 och Figur 12 med Figur 13. Området kring hålen bedöms som kraftigare nött på den havererade.

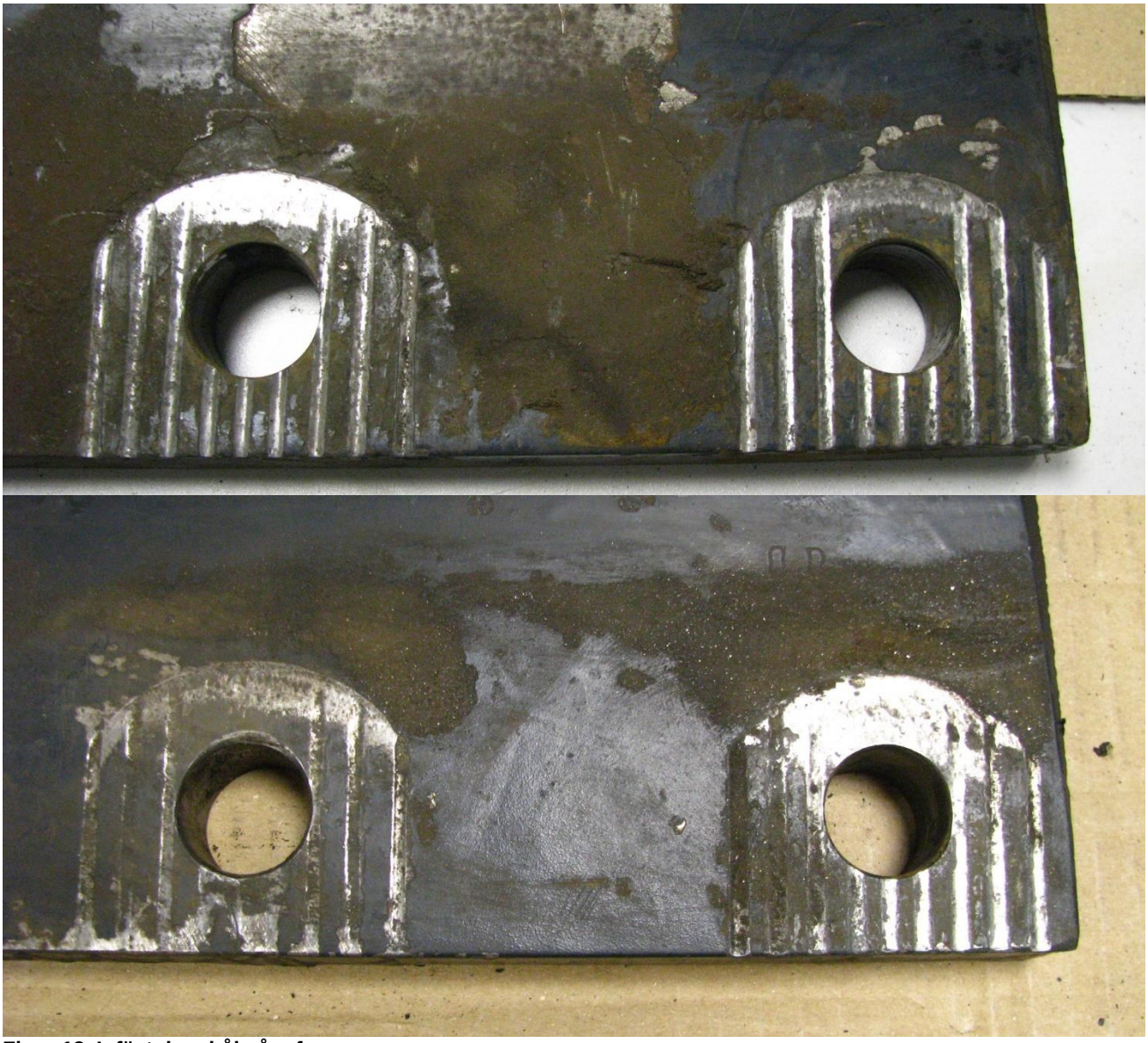
På drivanslutningsplattan från växel 103 så noteras att det finns brister i svetsutförandet i form av smältdiken i den svets som motsvarar svets 1 och 4 på den havererade, se Figur 14. Om motsvarande avvikelse finns på den havererade har inte avgjorts då det är svårare att se efter brottet.



Figur 11. Infästningshål på den havererade drivanslutningsplattan.



Figur 12. De instuckna polymerrören på den ena sidans infästningshål på den havererade drivanslutningsplattan.

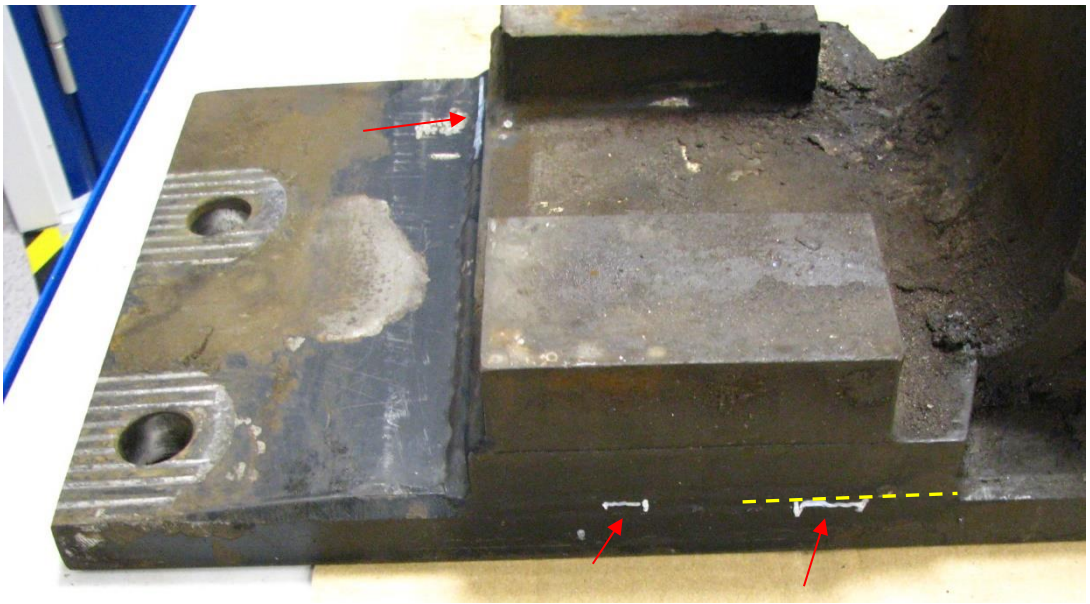


Figur 13. Infästningshål på referensen.

Figur 14. Exempel på smältdiken i ovankanten på drivanslutningsplatta från växel 103 (motsvarande svets 1 och 4 på den brustna).

4.3 Oförstörande provning

Svetsarna på drivanslutningsplattan från växel 103 undersöktes med ultraljudsprovning (UT) för att om möjligt detektera motsvarande svetsdefekter som noterades på den havererade drivanslutningsplattan. De mest uppenbara indikationerna noterades på de markerade positionerna i Figur 15.

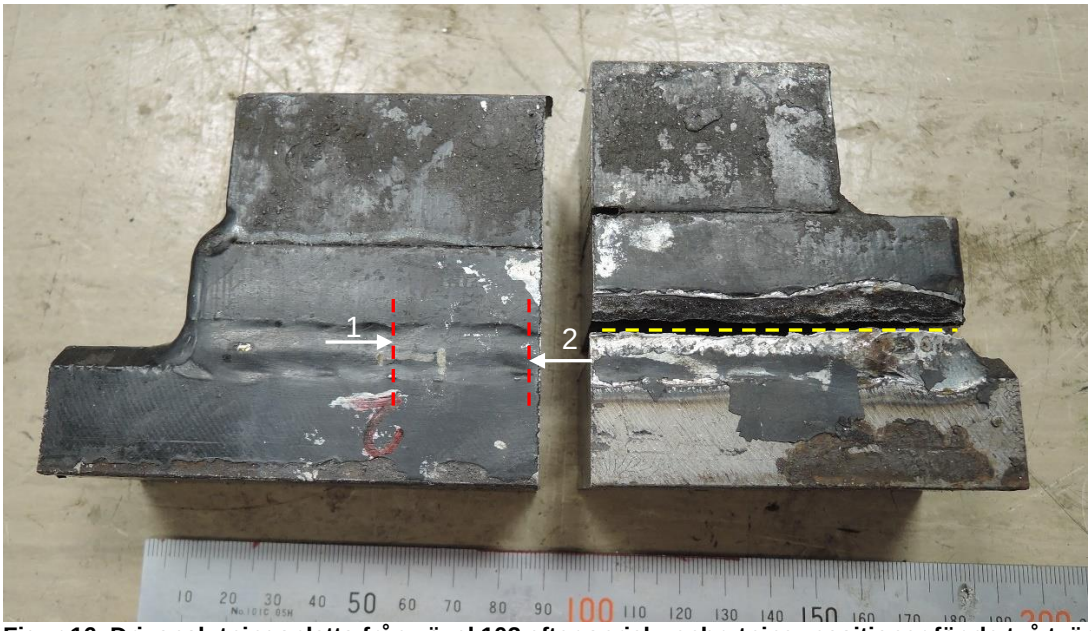


Figur 15. Drivanslutningsplatta från växel 103 med de mest uppenbara indikationerna på svetsdefekter i roten markerade med vit penna. Den uppbrutna delen av svetsen markerad med gulstreckad linje

4.4 Svetsuppbrytning fraktografi

Drivanslutningsplattan från växel 103 kapades upp för att kunna se om det startat utmattning från roten på denna svets. Positionen valdes där den oförstörande provningen gett indikation, se Figur 15 och Figur 16.

I området finns mindre bindfel i roten se markering i Figur 17. Det konstateras ingen utmattning från roten i detta område utan hela brottytan har uppstått vid uppbrytningen.



Figur 16. Drivanslutningsplatta från växel 103 efter sprickuppbrytning, positioner för de två tvärsnitten markerade med betraktningsriktning.

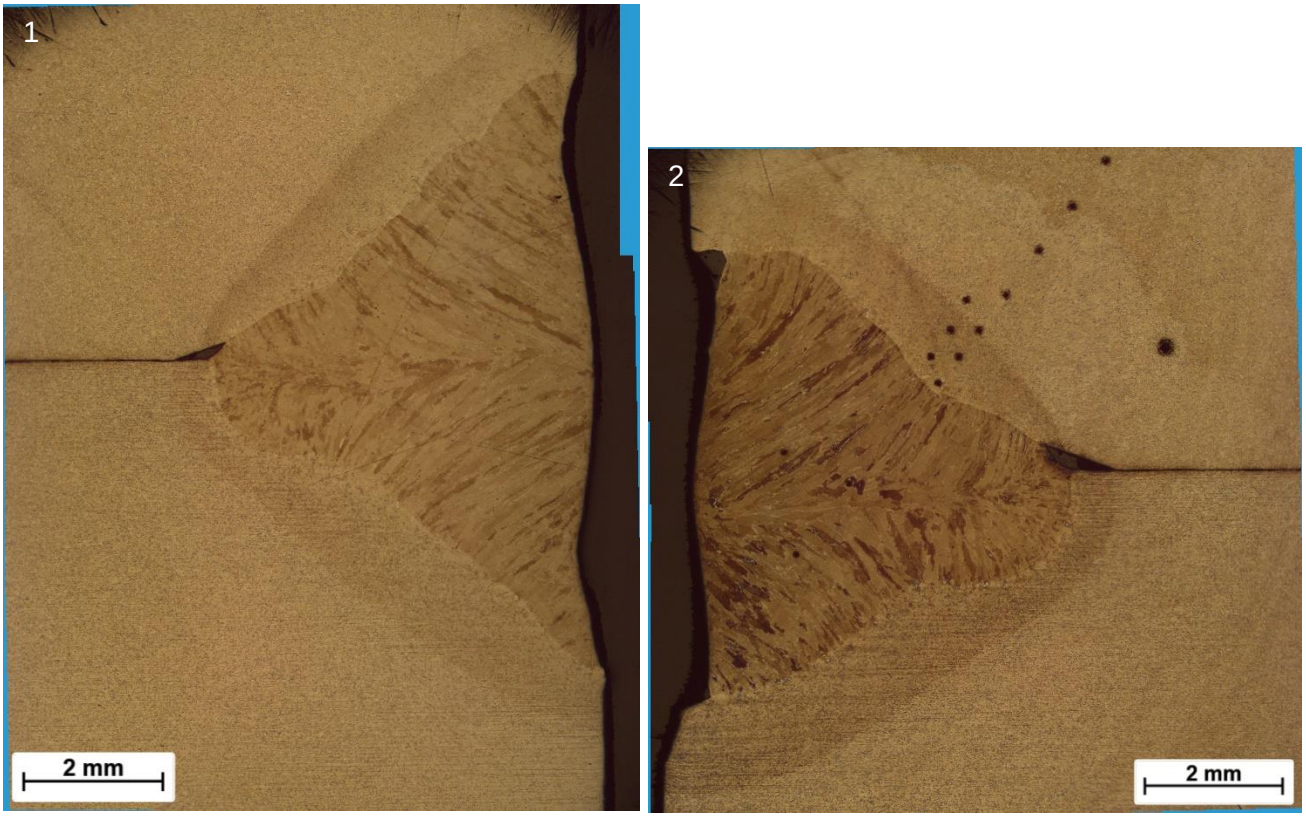
Figur 17. Resulterande brottytor efter uppbrytning av svets, sträckor där ursprunglig fogyta ses markerade (bindfel).

4.5 Mikrostruktur och hårdhetsprovning växel 103

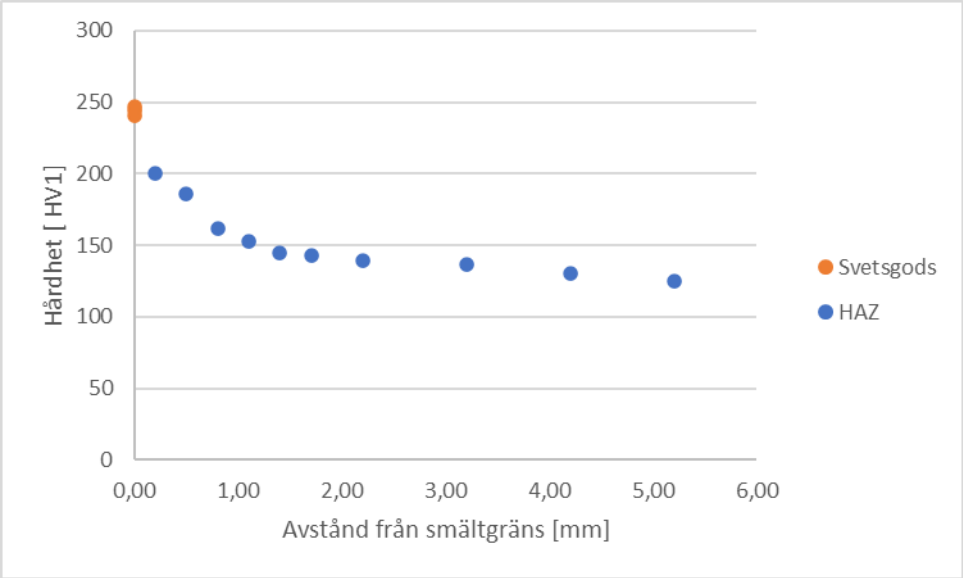
Två tvärsnitt preparerade i anslutning enligt markering i Figur 16. Snitten placerades där det fanns indikationer vid ultraljudsprovningen.

Det konstateras att svetsen har en god inträngning i de båda snitten, det finns dock en lite osmält fogyta i roten. Ingen begynnande sprickbildning från roten noteras i något av snitten, se Figur 18.

Hårdhet i svetsgods och i den värmepåverkade zonen (HAZ) visar inte på någon överdriven hårdhet i HAZ, se Figur 19. Hårdheten är som förväntat i det använda stålet.



Figur 18. Tvärsnitt 1 och 2 enligt markering i Figur 16, i snitt 2 ses intrycken från hårdhetsmätningen.

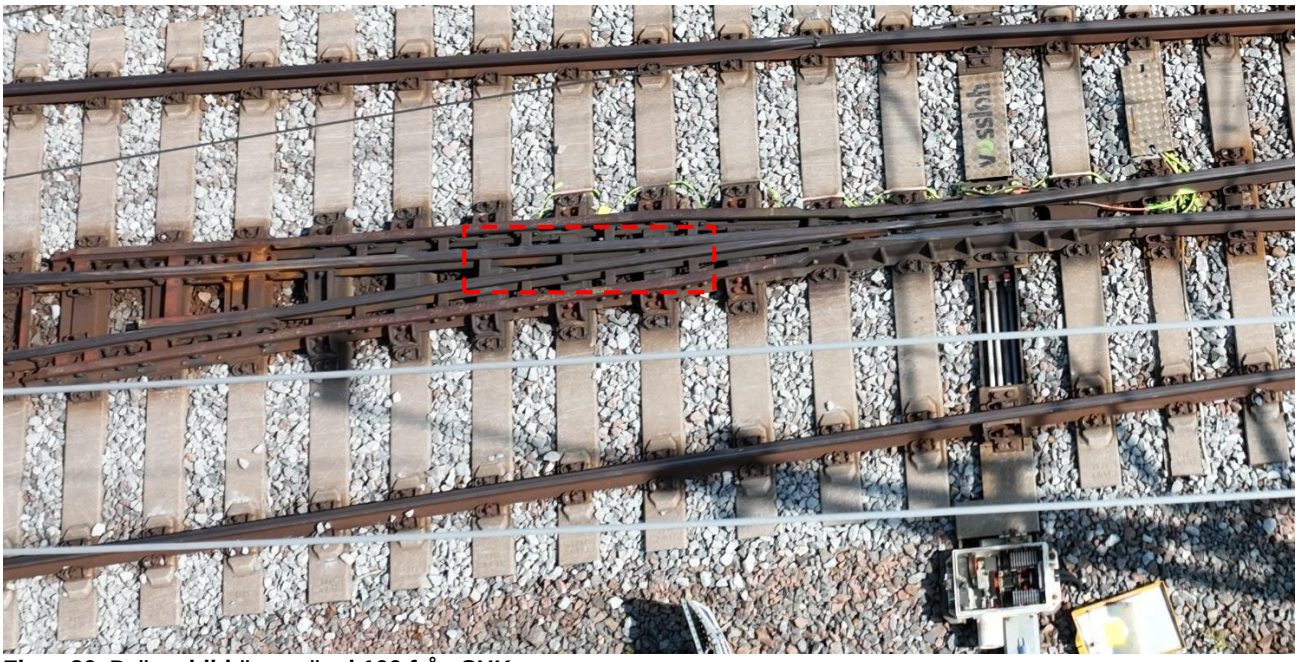


Figur 19. Hårdheten i svetsgods och värmepåverkad zon (HAZ) i snitt 2.

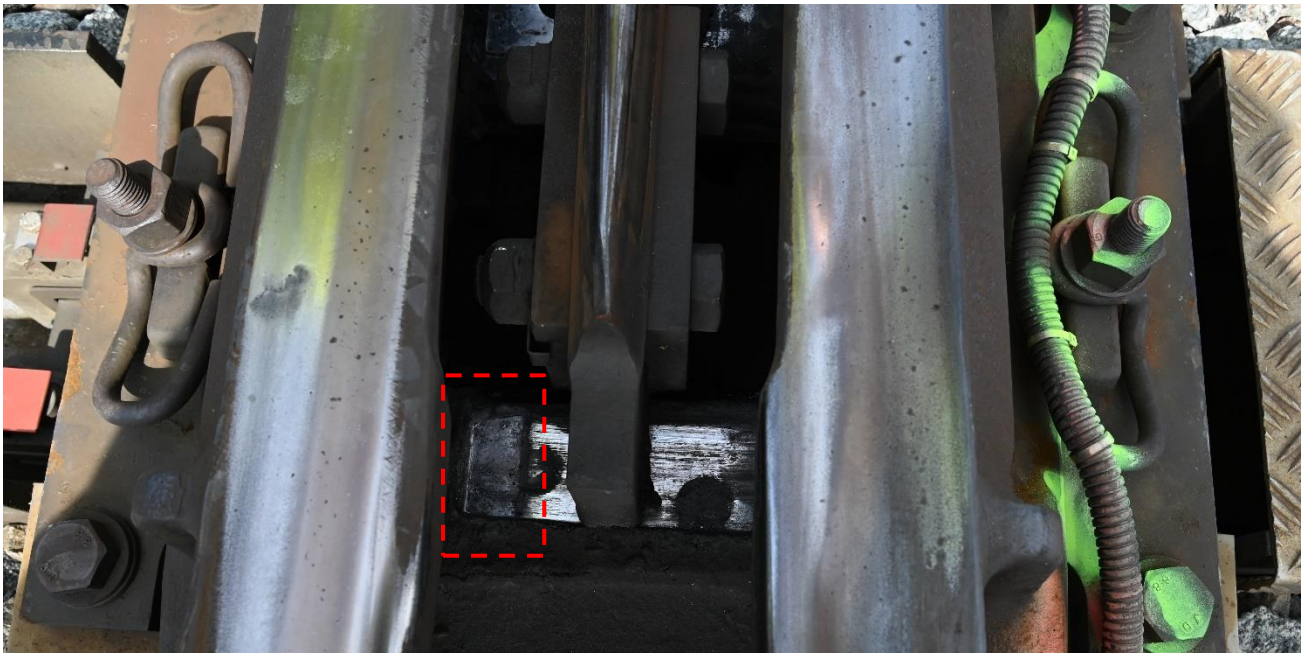
5 Visuell undersökning av växel 106 på plats

Den 26 september 2023 besöktes Blackvreten för att undersöka växel 106 på plats innan demontering. Vid besöket undersöktes den rörliga korsningsspetsen och rälen med avseende på nötning och slagmärken. Det noterades att det fanns ett glapp på minst 2 mm (tjockaste bladmåttet som var tillgängligt) mellan undersida på den rörliga korsningsspetsen och glidytan på en sträcka efter spetsen (spetsen låg i kontakt med glidplanet), i område markerat i Figur 20.

Gällande nötning och slagmärken på korsningsspetsen eller rälen så noterades inte något anmärkningsvärt vid denna visuella besiktning. Det fanns en relativt kraftig sättning i glidplanet där korsningsspetsen vilar när växeln ligger i rakt läge, se Figur 21. Det kunde inte vid denna undersökning avgöras om det var en lokal nötning av glidplanet eller om glidplanet blivit nedhamrat av korsningsspetsen. Skadan visar på att spetsen rör sig lite i sidled (nöter) eller upp och ner (slår) mot glidplanet vid tågpassager.



Figur 20. Drönarbild över växel 106 från SHK



Figur 21. Sättning i spetsens glidplan markerat, läget är där spetsen ligger när växeln ligger i rakt läge.

6 Kompletterande undersökning av växel 106 i Strängnäs

Vid detta tillfälle så utfördes en undersökning av framför allt skadorna på glidplanen, mätning av spel till glidplan och stödknapar och en noggrannare kontroll av eventuella andra slag eller nötningsskador som eventuellt missades vid besiktning av växeln på plats i Blackvreten.

Växeln var upplagd på tre stödpunkter vid undersökningen.

I Figur 22 kan de tre första glidplanen för den rörliga korsningsspetsen när växeln ligger i rakläge ses.

Figur 22. De tre första glidplanen för den rörliga korsningsspetsen (det första täckt av avgjutningssilikon).

Det noteras att glidplanen förefaller ha haft en ytbehandling som nötts bort under användning.

Glidplan ett uppvisar mycket kraftig nötning i positionen där växeln ligger i rakläge, i framkant så finns det även material som sticker upp över ursprungsytan som visar att det

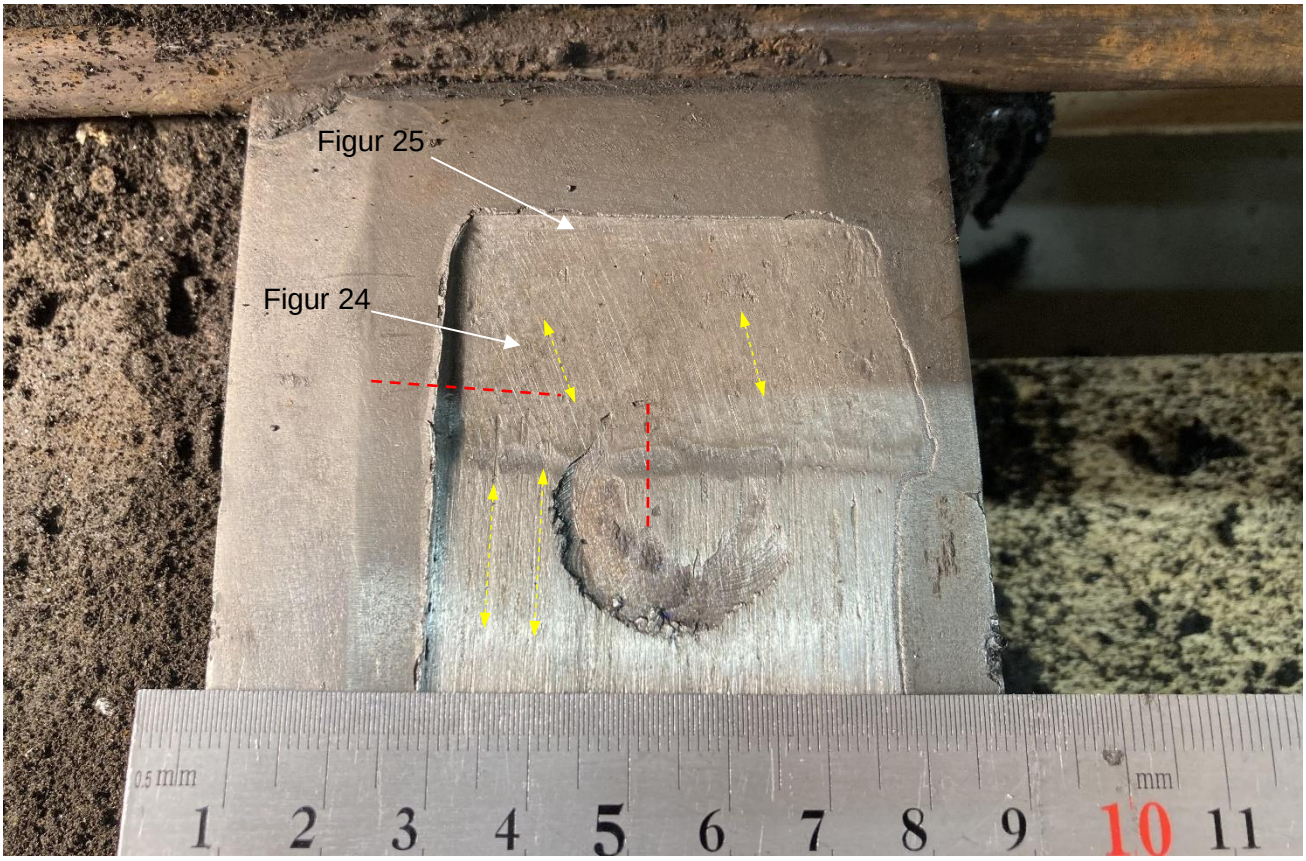
inte är endast nötning av ytan utan att det även bildats ett skägg till följd av en materialförflyttning genom smidning/smetning, se Figur 23.

På ytan där spetsen ligger i rakläget så noteras en annan riktning i slitagemönstret än på ytan där spetsen endast glider över vid omläggning, se gula pilar i Figur 23.

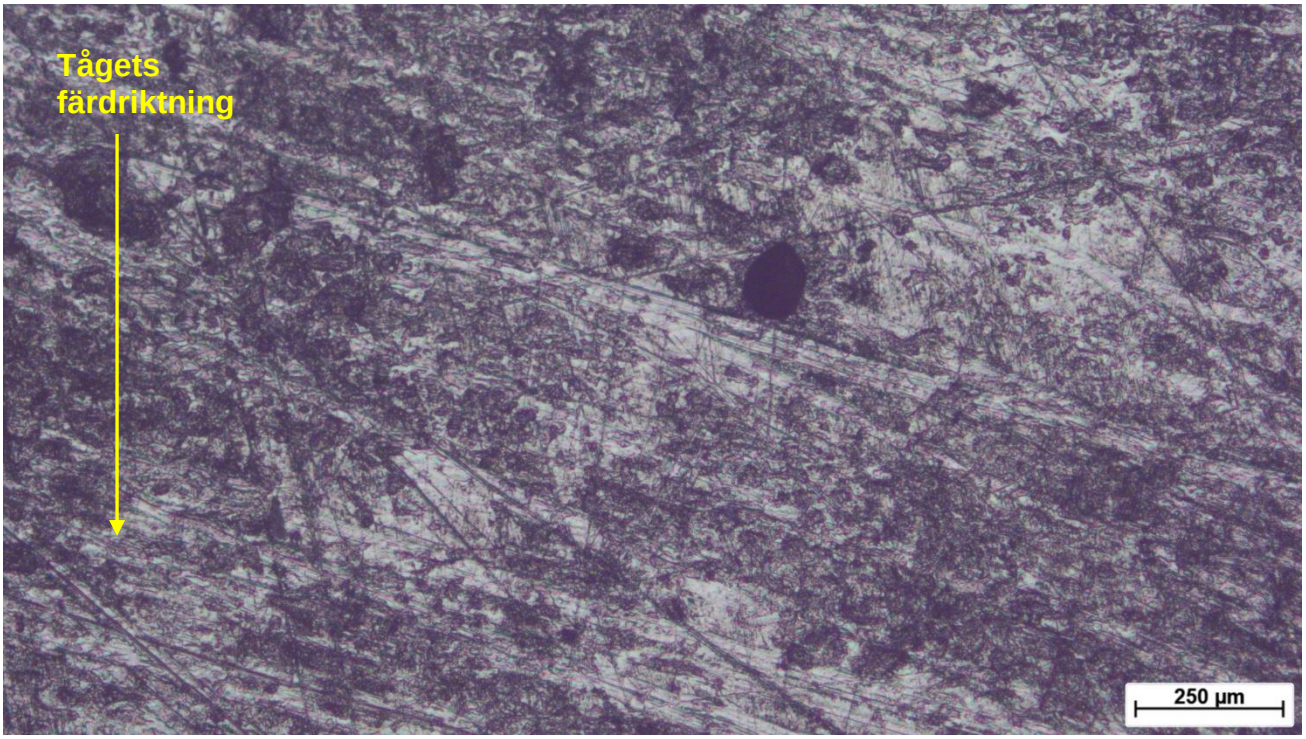
På avgjutningarna kan det finare slitagemönstret studeras och det visar sig att relativrörelserna som skapar detta mönster vid nötningen sker i alla riktningar, se Figur 24 och Figur 25, även i spårets längdriktning.

Nötningen är djupare i framkant än bakkant. I ett snitt genom avgjutningen uppmäts i denna position slitagedjupet till omkring 1 mm i framkant av spetsen och höjden på skägget till omkring 0,3 mm, se Figur 26.

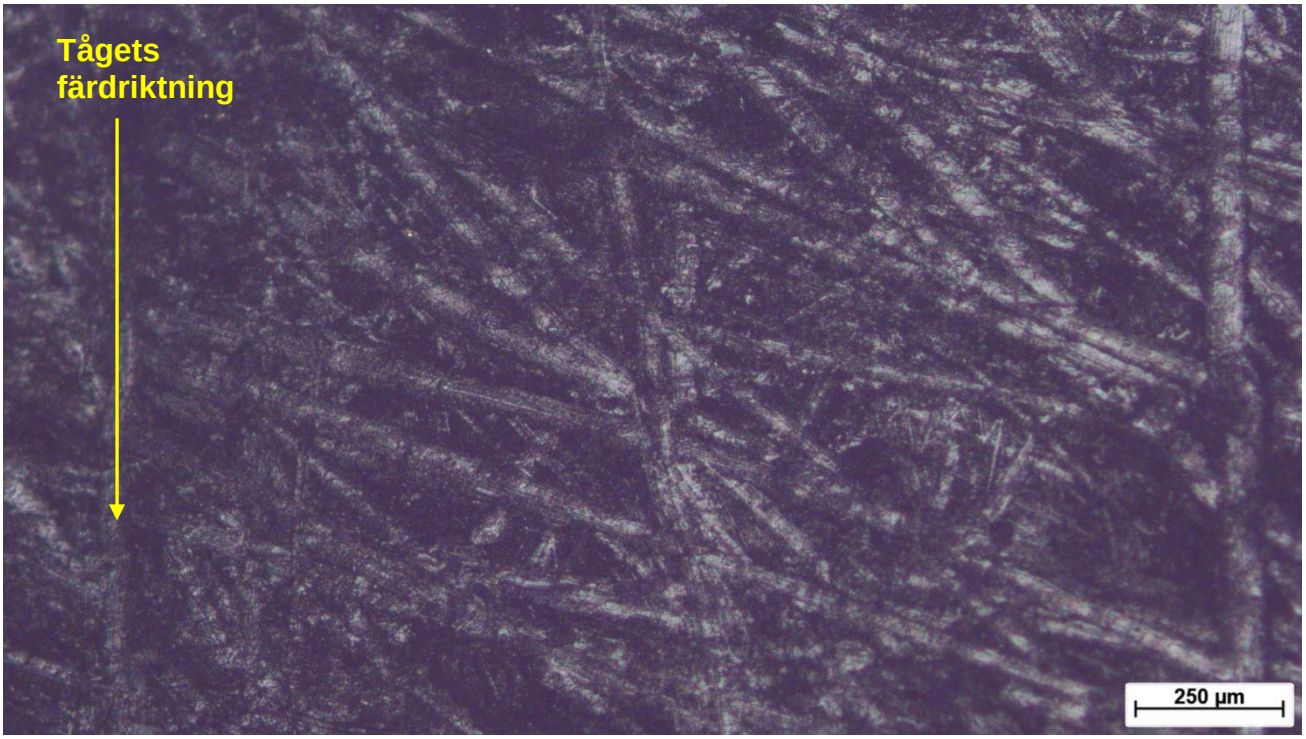
I nederkanten av ändläget för spetsen noteras en 2 till 3 mm bred zon, se Figur 28, som avviker i utseende från glidytan mellan växellägena och ändpositionen. Detta skulle kunna vara till följd av att det ändläget får justeras upp till 2 mm för att växeln ska gå i kontroll och därigenom får ett förskjutet ändläge.



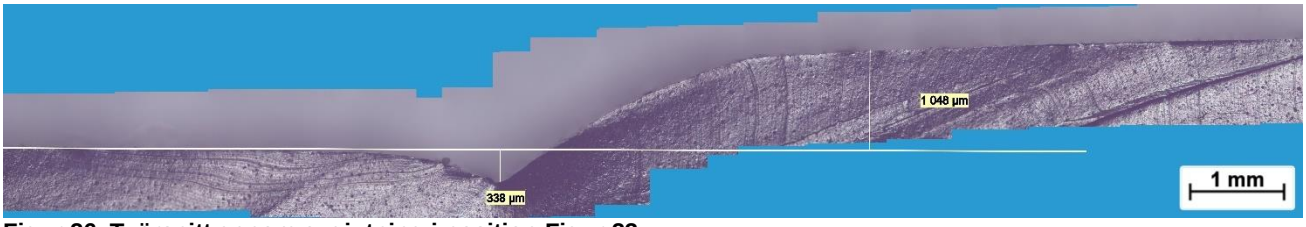
Figur 23. Glidplan 1 efter rengöring, position för tvärsnitt i avgjutning i Figur 26 och Figur 27 rödstreckade, gula pilar anger övergripande nötningsriktning, vita pilar anger ungefärligt läge för områden i Figur 24 och Figur 25.



Figur 24. Slitagemönster i den djupa delen av spetsens ändläge.



Figur 25. Slitagemönster i bortre kanten av spetsens ändläge.



Figur 26. Tvärsnitt genom avgjutning i position Figur 23

Figur 27. Tvärsnitt genom avgjutning i position Figur 23.

Figur 28. Glidplan ett, växeln i rakläget.

Även det andra glidplanet är kraftigt nött om än i mindre omfattning är det första. På detta glidplan så är det än mer tydligt att det verkar finnas en ytbehandling som nötts bort. I denna position har relativrörelserna varit mindre omfattande och det är en mer distinkt kant mellan nött och icke nött område, se Figur 29.

Figur 29. Glidplan två när växeln ligger i rakläge.

Det tredje glidplanet har inte så omfattande nötning, huvudsakligen omkring 40 mm i bakkant av planet, se Figur 30. Det finns en fördjupning i nötningsbilden i ändläget, se Figur 31, och detta är sannolikt kontaktytan när växeln ligger i rakt läge och övrig nötning är från växelomläggning.

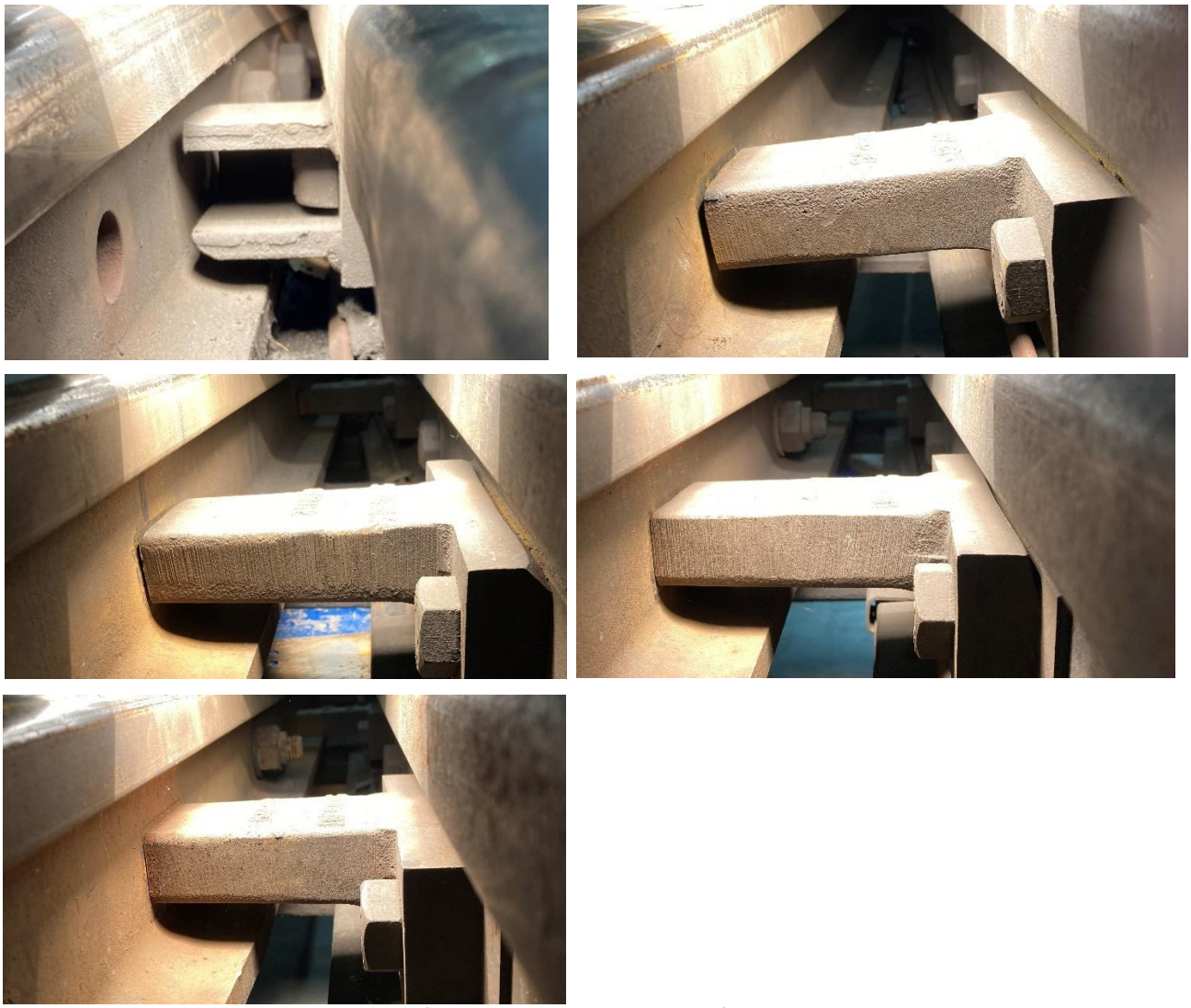
Figur 30. Spetsens tredje glidplan.

Figur 31. Detalj från bakkant av glidplan tre, fördjupningen i nötningsbilden markerad.

Undersökning av stödknaparna och motstående ytor visar att avståndet mellan stödknapar och korsningsspetsen ökar mot spetsen, det finns ingen högre stödknap som kan fungera som pivotpunkt, se Figur 32. Det finns inte heller någon omfattande nötning eller skador där en stödknap skulle legat an och fungerat som pivotpunkt.

Spelet under korsningsspetsen vid växeln i rakt läge mättes med bladmått. När växeln låg på plats i Blackvreten så kunde ett 2 mm bladmått föras in under korsningsspetsen i flera positioner.

Det som främst kunde konstateras vid undersökningen i Strängnäs var de tre främsta glidplanen ligger i kontakt oavsett hur stöttningen under växeln är. De övriga ligger inte i kontakt men avståndet under växeln är beroende på underliggande stöd. När det främre stödet sänktes så kunde ett 3 mm bladmått med lätthet få plats i glipan i några positioner. När tyngden på de tre stöden försöktes vägas av så att det blev så plant som möjligt så blev spelet under, efter de tre första som låg i kontakt, < 1mm , 1-2mm, ≈2 mm, 1-2mm, 1-2mm, < 1mm. Att koppla detta till avstånden på plats i Blackvreten är inte möjligt då avståndet under korsningsspetsen vid upplägget så lätt kunde påverkas genom att justera stöden. Undersökningen visar att avståndet är beroende av ett jämt underlag.



Figur 32. De fem första stödknaparna, från närmast spetsen och bakåt.

Vid undersökningen så konstaterades också att två av distansblocken mellan rälsdelarna i korsningsspetsen var lösa, se Figur 33.

Figur 33. De två lösa distansblocken mellan korsningspetsens räler markerade

Andra noteringar som gjordes vid undersökningen var att korsningsspetsen inte är speciellt fast inspänd i ändläget utan kan med relativt liten kraft röras i sid- och höjdled.

I infästningarna till manöverstängerna noterades ett spel till följd av nötning på omkring 3 mm i längdled.

7 Diskussion

Svetsutförande:

Bindfel i den omfattning som noteras på den havererade drivanslutningsplattan är inte acceptabla i de allra flesta regelverk, det finns ingen acceptansklass angiven på ritning att bedöma mot. Vossloh har i efterhand informerat om att acceptansklass B enligt EN ISO 5817 gäller för svetsarna, bindfelen är inte acceptabla enligt dessa krav. Bindfelen påverkar utmattningsegenskaperna negativt hos konstruktionen, både genom ett minskat lastbärande tvärsnitt och genom den geometriska anvisning som de utgör.

Det går inte utifrån denna undersökning bedöma om svetsarnas utförande varit kritiskt för att haveriet uppstår eller om det möjligtvis bara haft en påskyndande effekt. Liknande bindfel, lite mindre omfattande, noteras också i drivanslutningsplattan från växel 103 och i denna har ingen sprickbildning noterats. Detta skulle kunna indikera att storleken på bindfelen har varit kritisk för spricktillväxten. Detta är mycket osäkert då nötningsbilden och underhållshistoriken indikerar att lastfallet för den havererade växeln har varit värre, driftshistoriken hos drivanslutningsplattorna bedöms inte vara jämförbar. Vid diskussion med representanter med expertis inom tågväxlar från trafikverket vid besiktningen på plats bekräftades att lastfallen för växel 106 (motväxel) och växel 103 (frånväxel) inte är jämförbara.

De smältdiken som noteras i kälsvetsen (exempel i Figur 14) bedöms inte som godkända enligt acceptansklass B, där kravet är mindre djup än 0,5mm. Smältdikena bedöms inte ha påverkat initieringen av utmattningen.

En kommentar angående konstruktionen/svetsarna är att de föreskrivna svetsmåtten är små (a-mått 5 mm för den brustna svetsen). En tumregel som brukar användas vid konstruktion är att a-måttet ska vara omkring 0,5–0,7xGodtjockleken. Detta för att svetsen ska ge ett lastbärande tvärsnitt som gör att den inte är statiskt dimensionerande. Det skulle i detta fall ge ett a-mått på omkring 11–15 mm för kälsvetsen. Denna tumregel bedöms i detta fall också kunna tillämpas på inträngningen för svetsarna på långsidorna. De laster som använts vid dimensionering kan dock ha varit så låga att det inte bedömts nödvändigt med dessa större svetsar och då är det rimligt att anpassa storleken efter dimensioneringslasterna.

Laster:

De statiska laster som överförs igenom svetsförbandet är momentet/skjuvlasten som uppkommer till följd av att hålla den rörliga korsningsspetsen i kontakt med rälen. Denna last är sammansatt av kontakttryck mot räl och den återfjädringskraft som flyttar spetsen till mittläget efter brottet. Den här lasten är konstant när växeln ligger i läge och inget tåg passerar.

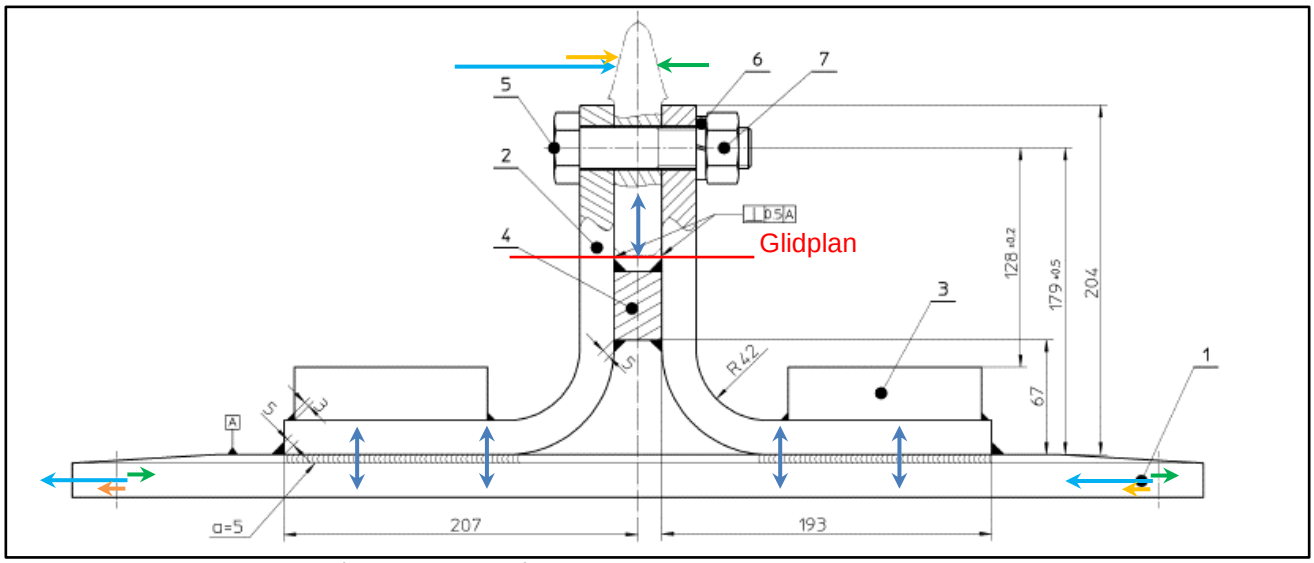
De dynamiska lasterna som kan uppkomma är till följd av belastningar som ger upphov till rörelse i spetsen. Det första fallet är dynamiska laster i sidled som ökar eller minskar kontakttrycket mot rälen (orangea pilar i Figur 34). I fallet att kontakttrycket ökar så minskar spänningen som ska överföras genom positionen för brottet, detta blir en avlastning vid de brustna svetsarna.

Fallet att kontakttrycket minskar är ofördelaktigare då det ger en ökning av lasten som ska överföras (gröna pilar i Figur 34). Detta lastfall kan uppstå vid belastning av den rörliga korsningsspetsen från insidan längre fram i färdriktningen om det finns en pivotpunkt mellan spetsen och belastningen i sidled. Att laster av någon större omfattning ska uppstå från utsidan av spetsen är inte så troligt då flänsen på hjulet ligger på insidan och det inte finns något i kontakten mellan hjul och spets som kan greppa från detta håll.

När det gäller laster i vertikalled så kan sådana uppkomma som tröghetslaster (mörkblå pilar i Figur 34). Detta då spetsen är fritt upplagd på en glidyta och inte har någon låsning i vertikalled uppåt förrän klackarna (3 i figuren) tar i undersidan. De krafter som kan uppstå i svetsarna uppkommer till följd av acceleration av spetsen uppåt och skapas av egenvikten hos platta (1) och manöverstängerna till växeln. Högre krafter än dessa kan uppstå när spetsen träffar glidplanet/viloläget vid återgången, detta då accelerationen kan vara väsentligt högre vid denna inbromsning än vid acceleration uppåt. Undersökningen som utfördes i Strängnäs visade att det är ett högt kontakttryck och kraftig nötning mellan spetsen och det främsta glidplanet. Utifrån detta så antas rörelser laster i vertikalled inte ha något väsentligt inflytande på lastbilden/spricktillväxten.

Ett annat lastfall som kan ha betydelse är vridning av drivanslutningsplattan till följd av att drivanslutningen drar i en sida av plattan eller till följd av externa laster som vrider plattan.

Den nötning som noteras i glidplanet där spetsen ligger vid rakt läge indikerar att det förekommer rörelse i både sidled och längdled vid tågpassage.



Figur 34. Laster som verkar på växeln: Ljusblå pilar avser konstanta laster till följd av att växeln ligger i läge, Gröna pilar är ett lastpar som uppstår vid tryck på spetsen mot rälen (denna avlastar svetsarna/dragstängerna), de Orangea pilarna är ett lastpar vid tryck på spetsen från rälen (denna ökar belastningen i svetsarna/dragstängerna). Mörkblå pilar representerar rörelse i vertikalled och de laster som uppkommer vid acceleration uppåt och inbromsning mot glidplanet nedåt.

Gällande resonanssvängning i den rörliga korsningsspetsen så har omfattningen av detta lastfall inte bedömts. I obelastat läge så ligger spetsen i kontakt med glidplanet och trycks mot rälen i sidled och genom detta är spetsen låst för fri svängning.
Om krafter vid passage av ett hjul orsakar att spetsen blir fri från kontakt i sid och höjdled så blir det omkring 0,15–0,10 sekunder (100-160 km/h för en uppskattad sträcka på fyra meter). Under denna korta tid så verkar fortfarande lasten från manöverstängerna som sannolikt kommer att dämpa egensvängningen.
Med hjälp av en kalkylator på nätet så har ett försök att uppskatta egenfrekvensen hos en förenklad modell av systemet (helt fri balkände 2 m lång med antingen en kontinuerligt fördelad last eller en punktlast i änden). Spetsens geometri förenklades till en stående sektion med tjocklek 28 mm och höjd 140 mm. Kalkylatorn kunde inte kombinera fördelad last och punktlast i änden. Olika indata provades och ett spann från cirka 20 Hz upp till 200 Hz kunde uppnås med denna förenklade modell.
Det bedöms inte som troligt att detta lastfall uppkommer men om det gör det så skulle det kunna bidra med ytterligare lastcykler. Det bedöms utifrån ovanstående att det här lastfallet inte är av någon omfattande betydelse.

Vossloh har i efterhand gjort en enkel statisk beräkning av de laster som överförs genom dragstängerna till den rörliga korsningsspetsen. Denna beräkning visar att vid dimensionering mot de laster som maximalt kan överföras av drivmotorn så är det trots de små svetsarna en mycket betryggande säkerhetsmarginal. Belastningen vid maxkraft från motorn är omkring 1/80 del av angiven tillåten last.

Beräkningen av Vossloh visar att växelomläggning inte är det kritiska lastfallet som orsakat brottet. Förutom att det är få belastningar under livslängden så är spänningsnivån så låg att den sannolikt inte kan driva en utmattningsspricka. Detta ger ytterligare stöd till att det är laster som uppkommer vid tåg/hjulpassager som driver sprickbildningen.

Kvalitetsstyrning, tillverkning och kontroll:

Gällande kvalitetsstyrning så har Vossloh visat ett certifikat enligt ISO 9001:2000 giltigt till och med 2007-02-01 som gäller verksamheten i Ystad
(TÜF Nord certifikat no 07 100 0261).

Inget giltigt certifikat har hittats vid kontroll på Vosslohs hemsida eller på siter på nätet med register över certifierade verksamheter som gäller verksamheten i Ystad. Det finns ett giltigt ISO 9001:2015 certifikat utfärdat av Lloyd's Register för verksamheten Vossloh Cogifer i Reichsoffen, Frankrike.

Innehållsförteckning till Vosslohs (Cogifier) interna specifikation STA 7 379 3505 ind.00 som har som syfte att styra tillämpningen av europeisk standard inom svetsning hos Vossloh Cogifier har presenterats. Baserat på rubrikerna så verkar de mest relevanta delarna av kvalitetsstyrning täckas in, exempelvis kvalificering av leverantörer/tillverkningssiter, svetsprocesser och personal (svetsare och personal för oförstörande provning).

För tillverkningen så finns ett svetscertifikat EN 287-1:2004 utfärdat 28/6 2007 och giltigt till 29/6 2009 som enligt uppgift från Vossloh ska tillhöra svetsaren som svetsat komponenten. Standarden är relevant för tillverkningen och täckningsområdet innefattar den utförda svetsningen. Certifikatet är lagt enligt en WPS (Vossloh1), detta tyder på att Vossloh använder kvalificerade svetsprocedurer.

När det gäller underlag för svetsprocesser för drivanslutningsplattan så har inte något sådant presenterats exempelvis svetsspecifikationer (WPS) eller kvalificering av svetsprocedurer (WPQR).

Materialvalet för drivanslutningsplattan (S355J2) är ett rimligt val med tanke på tillämpningen. Stålet har en garanterad sträckgräns på 355 MPa och omslagstemperatur på -20˚C.

Kontrollen av svetsarbetet är visuell syning på alla detaljer och penetrantprovning på 20 av 100 tillverkade enligt uppgift. Omfattningen av provningen bedöms som rimlig för drivanslutningsplattan. Provningen kommer dock inte att detektera inre defekter eller defekter i svetsroten hos svetsarna. Grunden för att denna typ av defekter ska undvikas är användandet och upprepande av kvalificerade svetsprocedurer (WPS/WPQR) där man genom svetsning av och kontroll på provstycken med efterföljande förstörande provning säkerställer inträngning, hållfasthetsegenskaper och metallurgisk påverkan. Den här typen av dokument har inte redovisats men övrig dokumentation tyder på att metodiken används.

När det gäller volymetrisk provning som skulle kunnat upptäcka rotfelen (röntgen- eller ultraljudsprovning) så är detta i många tillämpningar ovanligt som produktionsprovning.

I exempelvis EN 15085-3:2022 "Railway applications - Welding of railway vehicles and components - Part 3: Design requirements" så föreskrivs volymetrisk provning i de högsta utförandeklasserna, CP A (100%), CP B1 och CP B2 (10%). Dessa utförandeklasser används vid högt belastade svetsar där konsekvenserna är allvarliga vid brusten svets, eller i kombinationerna hög belastning/medelsvåra konsekvenser eller medelhög belastning/allvarliga konsekvenser. Om dessa eller liknande anvisningar skulle tillämpats vid tillverkningen av drivanslutningsplattan med dimensionering mot de låga laster som uppkommer vid växelomläggning så skulle inte volymetrisk provning varit aktuell.

Driftshistorik:

Excelfilen Ofelia_2015-2023_bdl437_vxl106.xls som beskriver signalfel (växeln ur kontroll) från och med januari 2015 till haveriet innehåller 29 poster där växeln inte har fungerat.

Filen ARLANDA 106 ANMÄRKNINGAR - 20150101-20230825.xls innehåller 36 stycken underhålls/kontrollanmärkningar. Fjorton av dessa är kopplade till behov av påsvetsning på grund av slitage. Anmärkningar som direkt eller indirekt förefaller bero på vibrationer är åtta stycken gällande lösa bultar eller saknade detaljer och åtta stycken gäller pumpning/stoppgropar/ballast. Övriga sex anmärkningar är slipning på grund av utvalsning och riktning/justering av växeln.

Om ovanstående är ett normalutfall hos en växel är inte känt, inget referensmaterial har varit tillgängligt.

8 Slutsatser

Brottet i den havererade drivanslutningsplattan har uppkommit till följd av utmattning som startat från insidan av stumsvetsarna som fäster bottenplattan mot infästningen av den rörliga korsningsspetsen.

Den lilla andelen restbrott tyder på att lasten som driver utmattningen är relativt låg och utmattningen är högcyklig. Detta indikerar att det lastfall som driver utmattningen inte är omläggning av växeln då detta är relativt lågfrekvent, utan laster som uppkommer vid hjulpassager. Vossloh har presenterat en enkel beräkning som visar att lasterna vid växelomläggning är mycket låga.

De brustna stumsvetsarna har bristande inträngning/bindfel i roten där utmattningen har initierats. Dessa bindfel är inte acceptabla ur den acceptansklass som har uppgetts gälla (ISO 5817 utförandeklass B)

I referensdrivanslutningsplattan noteras också mindre omfattande bindfel, både vid ultraljudsprovning och vid lokal uppbrytning av svetsen vid ultraljudsindikationerna. I referensen noteras dock ingen utmattning i dessa positioner. Att koppla förekomst av avvikelser i svetsutförandet till sprickbildningen då det inte uppstått i referensdrivanslutningsplattan är inte möjligt då driftförhållandena inte bedöms som jämförbara.

Det går utifrån denna undersökning inte att fastställa om svetsdefekterna enskilt orsakat utmattningen eller om de endast verkat påskyndande.

Laster som uppstår vid omläggning av växel är inte tillräckliga för att initiera och driva utmattningssprickan. Detta visar att det finns något i driften som ger en större dynamisk belastning än drivanslutningsplattan kan klara.

Den övergripande slitagebilden (djup nednötning i glidplanen med relativrörelse i både längd och sidled, kraftig nötning i och kring hålen för manöverstängernas infästning i båda ändar) visar att den fasta korsningsspetsen och drivanslutningsplattan inte är en särskilt stum komponent vid tågpassage utan att den rör sig i både längs och sidled. Detta skapar ett komplext dynamiskt lastfall som drivit utmattningen.

Element Materials Technology AB
MMS, Metalliska material

David Hjertsén

Rapportfördelning

Företag	Namnreferens	Antal ex.
SHK	investigations@shk.se	1
SHK	M. Hillbo	1
SHK	G. Singer	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.

Tillsammans är vi över 6 700 experter på 200 laboratorier runt om i världen. I Sverige finns vi på tio orter och är omkring 300 medarbetare.

www.element.com/se