



Havarikommisionen

Accident Investigation Board Denmark

Redegørelse 2023-163



Sporet imellem Roskilde og Viby Sjælland hævede sig over de tilladte grænseværdier i forbindelse med en styret underboring d. 28-02-2023

OFFENTLIGGJORT FEBRUAR 2024

FORORD

Havarikommissionen for Civil Luftfart og Jernbane (Havarikommissionen) er en uafhængig statslig organisation, der har til formål at undersøge havarier, ulykker og hændelser inden for luftfart og jernbane.

Havarikommissionen undersøger ulykker og hændelser på jernbaneområdet med henblik på at forbedre jernbanesikkerheden og forebygge ulykker.

I overensstemmelse med jernbaneloven afspejler denne redegørelse Havarikommissionens undersøgelser og sikkerhedsmæssige vurderinger af omstændighederne ved ulykken eller hændelsen samt dens årsager og konsekvenser.

Undersøgelserne har alene et jernbanesikkerhedsmæssigt formål og tager ikke sigte på at placere skyld eller erstatningsansvar. Derfor kan enhver brug af denne redegørelse til andre formål end at forbedre jernbanesikkerheden eller forebygge jernbaneulykker og -hændelser, føre til fejlagtige eller misvisende fortolkninger.

Eftertryk - også i uddrag - er tilladt med tydelig kildeangivelse.

INDHOLDSFORTEGNELSE

GENERELT	5
1 RESUMÉ	6
2 FAKTA	8
2.1 Beskrivelse af hændelsen.....	8
2.2 Omstændigheder	8
2.3 Omkomne, kvæstede og skader i øvrigt.....	8
2.4 Ydre forhold.....	8
3 UNDERSØGELSER	9
3.1 Interview af involverede	9
3.1.1 Sporsagkyndig /SR2 arbejdsleder (Sporsagkyndig)	9
3.1.2 Søgemand	10
3.1.3 Lokomotivfører (Lkf)	10
3.2 Kommunikation	10
3.3 Sikkerhedsledelsessystemet	11
3.3.1 Risikohåndtering.....	11
3.3.2 Tilladelse til ledningsanlæg på Banedanmarks areal.....	14
3.3.3 Jernbanesikkerhedsplan	14
3.4 Sikkerhedsbestemmelser.....	15
3.5 Uddannelse.....	17
3.6 Styret underboring	17
3.7 Infrastrukturforhold.....	20
3.7.1 Måling af sporets beliggenhed efter hændelsen.....	20
3.7.1.1 Grænseværdier for sporets højdebeliggenhed i henhold til BN1-38-6, EN14363 og EN13848-5	21
3.7.2 Banedanmarks foreløbige vurdering af hændelsen.....	22
3.8 Materieltekniske undersøgelser.....	23
3.9 Trafiksikkerhedsforhold.....	23
3.10 Menneskelige faktorer	24
3.11 Tidligere hændelser af lignende art.....	25
4 ANALYSE	26
5 KONKLUSION	30
6 ALLEREDE TRUFNE FORANSTALTNINGER	31
7 ANBEFALINGER	32

8 BILAG	33
8.1 Tværsnit som viser banegrav og boretracé	33
8.2 Sporets relative beliggenhed	34
8.3 BN1-38-6, afsnit 11.3.2	35

GENERELT

Sagsnummer: 2023-163
Dato: 28-02-2023
Tidspunkt: 09:37
Sted: Roskilde-Viby Sj. (Sjælland) højre spor km 39,817
Uheldstype: Hændelse
Uheldskategori: Andet
Kørselskategori: Togkørsel
Infrastrukturforvalter: Banedanmark
Jernbanevirksomhed: DSB

PersonskadeOmkomneAlvorligt kvæstedeLettere kvæstede

Passagerer:
Personale:
Personer i overkørsel:
Uautoriseret:
Andre:

Underretning

Havarikommissionen fik d. 28-02-2023 kl. 10:20 meddelelse fra DSB, at lokomotivføreren på regionaltog 2233 (bestående af forrest et EB-lokomotiv med efterfølgende fem dobbeltdækkervogne, Litra B, Bk og ABs) havde oplevet et kraftigt bump, samt følt at lokomotivets bogier havde løftet sig fra skinnerne på strækningen mellem Roskilde og Viby Sj.

Ca. en time senere oplyste Banedanmark, at sporet, i forbindelse med en styret underboring i km 39,817, havde hævet sig så meget, at sporet ikke længere måtte befares.

På baggrund af de informationer Havarikommissionen modtog på ulykkesdagen, og at hændelsen under lidt andre omstændigheder kunne have medført en alvorlig ulykke, besluttede

Havarikommissionen at gennemføre en undersøgelse jf. Jernbaneloven (Lov nr. 686 af 27/07/2015) §81.

1 RESUMÉ

Da regionaltoget 2233 passerede km 39,817 på banen imellem Roskilde og Viby Sj. havde sporet hævet sig så meget, at der var risiko for afsporing. Sporbeliggenhedsfejlen var opstået som følge af et blow-up [optrængning af boremudder fra boretracéet til overfladen] fra en styret underboring. Blow-uppet skete sandsynligvis, fordi bore-tracéet passede forbi et, for boreprojektet ubekendt, område med nyetableret dræn og tidligere opgravet jord.

En sporsagkyndig, der deltog ved den styrede underboring, skulle overvåge jernbanen imens borearbejdet foregik. Han skulle gribe ind, hvis der opstod fare for jernbanesikkerheden ifm. gennemboringen, men han bemærkede først, at sporet havde hævet sig, efter toget 2233 havde passeret.

Den sporsagkyndiges uddannelse havde ikke indeholdt forhold om styret underboring. Erfaring fra tidligere lignende opgaver førte til, at den sporsagkyndige ikke anså den sidste del af borearbejdet med reamning og itrækning af rør de sidste meter som værende til fare for jernbanesikkerheden.



Foto 1. Højre spor Roskilde - Viby Sj. Her set i retning mod Roskilde. Kilde: Banedanmark.

Havarikommissionen har givet en anbefaling:

Banedanmarks godkendelse af den pågældende styrede underboring blev givet på baggrund af den risikostyring af den styrede underboring, der var beskrevet i dokumentet ”Sikkerhedspakke LED version 3.0”. Banedanmark har ikke i risikostyringen – og dermed ikke i godkendelsen - af den styrede underboring

- taget grænsefladen til sporprojektet Roskilde - Ringsted i betragtning som forudsætning til risikovurderingen.
- angivet faren ved sporbeliggenhedsfejl, som følge af blow-up, som en målbar størrelse (kvantificering), der kunne jævnføres direkte med grænseværdierne i BN1-38-6, afsnit 11.3.2, hvormed tilstrækkelige trafikale restriktioner kunne indføres.

- erkendt, at visuel overvågning af underboringen i praksis ikke sikrede, at sporbeliggenhedsfejl blev identificeret og indmeldt i tide til, at trafikale restriktioner kunne foretages, så risikoen ved sporbeliggenhedsfejlen blev mitigeret.

DK-2024 R1

Havarikommissionen anbefaler, at Trafikstyrelsen sikrer, at Banedanmark gennem risikostyring af aktiviteten styrede underboringer, under hensyntagen til menneskelige faktorer, indfører tilstrækkelige og effektive proaktive og/eller reaktive barrierer til, at risikoen ved sporbeliggenhedsfejl som følge af sådanne aktiviteter reduceres til et acceptabelt niveau.

2 FAKTA

2.1 Beskrivelse af hændelsen

Da regionaltog 2233 d. 28-02-2023 kl. 09:37 passerede km 39,817 i højre spor på strækningen mellem Roskilde og Viby Sj. gav det et højt bump og lokomotivføreren følte, at lokomotivets bogier havde løftet sig fra skinnerne. Toget, der bestod af et lokomotiv med 4 dobbeltdækkervogne kørte på dette tidspunkt omkring 155 km/t.

Lokomotivføreren indmeldte straks hændelsen til stationsbestyreren i Banedanmarks fjernstyringscentral (FC) i Roskilde, der iværksatte spærring af det pågældende spor.

Toget fortsatte de ca. 2,7 km ind på Viby Sj. Station, hvor det blev tømt for passagerer og inspiceret for eventuelle skader.

2.2 Omstændigheder

Der var udstedt tilladelse til at gennemføre en styret underboring under sporene på strækning 1 i km 39,817. Dokumentationen, som tilladelsen var givet på baggrund af, havde godtgjort, at arbejdet kunne foregå imens sporene var i drift og uden hastighedsrestriktioner. Boringsarbejdet var på hændelsestidspunktet i sin afsluttende fase. Tab af boremudder (blow-up) førte til en jordforskydning, som påvirkede sporets beliggenhed til en grad, der udgjorde en fare for togdriften. Sporbeliggenhedsfejlen blev ikke opdaget, og dette førte til hændelsen, hvor tog 2233 i høj fart passerede et bump i sporet.

Involverede virksomheder:

- DSB, jernbanevirksomhed, operatør.
- Banedanmark, infrastrukturforvalter.
- Cowi, rådgivende ingeniør, udarbejdelse af sikkerhedsdokumentation.
- Aarsleff Rail, entreprenørvirksomhed, levering af sikkerhedsmæssige ydelser.
- Østergård A/S, entreprenørvirksomhed, levering af styret underboring.

2.3 Omkomne, kvæstede og skader i øvrigt

Ingen kom til skade ved hændelsen, og der er ikke registreret skader på materiellet i tog 2233.

Banedanmarks samlede omkostninger for skaderne på infrastrukturen ifm. hændelsen beløb sig til kr. 279.414,14.

2.4 Ydre forhold

På hændelsestidspunktet var det lyst, skyfrit og temperaturen var omkring frysepunktet.

3 UNDERSØGELSER

3.1 Interview af involverede

3.1.1 Sporsagkyndig /SR2 arbejdsleder (Sporsagkyndig)

Sporsagkyndig var tilsagt opgaven dels som SR2 arbejdsleder og dels som sporsagkyndig og havde dermed begge roller. Dette havde Sporsagkyndig været ved 20-25 andre underføringer. Sporsagkyndig mødte ind natten mellem d. 26-02-2023 og d. 27-02-2023 for at lave Krab- måling af sporet inden boringen skulle gå i gang.

Som SR2 arbejdsleder skulle Sporsagkyndig bl.a. sikre, at personalet fra boremaskinen kunne arbejde i sikkerhed, når arbejdet skulle foregå ved og på de trafikerede spor. Dette personale bestod af en boremaskineoperatør og en søgemand. Søgemanden skulle med et håndbåret apparat måle borehovedets placering og derved guide boringen, så den fulgte det planlagte tracé under fremboringen d. 27-02-2023. Imens boringen krydsede under sporene, fungerede Sporsagkyndig altså både som sporsagkyndig og SR2 arbejdsleder. Søgemanden og boremaskineoperatøren havde radiokontakt indbyrdes. Sporsagkyndig havde sin mobiltelefon, som han kunne bruge til at kommunikere med FC.

D. 28-02-2023 blev 3 stk. 160mm rør trukket med tilbage af boremaskinen. Ved dette arbejde var Sporsagkyndiges opgave alene, som sporsagkyndig, at holde øje med at sporene ikke blev påvirket af bore-/trækkearbejdet.

Sporsagkyndig kunne høre, når hhv. borehovedet og reameren arbejdede under sporene.

Sporsagkyndig var under arbejdet bekendt med, at risikovurderingen beskrev, at sporet kunne sætte sig med op til 0,26 mm som følge af underboringen, og at grænsen for gennemførelse uden hastighedsnedsættelse var 3 mm.

Sporsagkyndig bemærkede under fremboringen d. 27-02-2023, at der kom lidt boremudder op i vandløbet på østsiden af jernbanestrækningen, og derfor var det også her Sporsagkyndig opholdt sig ifm. gennemtrækningen af rørene d. 28-02-2023. Han anså dette sted som mest udsat for risiko for "blow-up", når der allerede var kommet lidt boremudder op under fremboringen. Sporsagkyndig forklarede, at blow-up kunne være problematisk, hvis det kom op i skærverne, fordi man herefter så var nødt til at udskifte skærverne under sporet.

Sporsagkyndig har oplyst, at han ikke kunne holde øje med sporet hele tiden, fordi der kørte tog med op til 180 km/t. Efter togpassager gik Sporsagkyndig ud i sporet og tilså de fire skinnestrengene, og af og til gik han op til modtagehullet på østsiden for at se, om der stadig var flow i boremudderet. Manglende flow kunne indikere, at boremudderet kom op et andet sted. Når Sporsagkyndig tilså skinnestrengene var der tale om visuelle kontroller. Det var ikke meningen, at der skulle måles undervejs ved boringen. Når boringen var udført, og der var kørt 75.000 tons over stedet, skulle der laves en kontrolmåling, så det kunne sikres, at sporet ikke var sunket over boretracéet. Dette var beregnet til 1,4 døgn efter afslutningen.

På et tidspunkt fik Sporsagkyndig at vide, at nu manglede der 3 borestænger [9 meter (m)] før rørene var trukket helt igennem. Dvs. at reameren arbejdede ca. 20 m fra skinnerne. Den største risiko var, når borehovedet eller reameren arbejdede lige under sporet. Normalt var der aldrig problemer, når de var helt oppe omkring boremaskinen. Sporsagkyndig forlod herefter sporet, og gik op til boremaskinen, som holdt ca. 30 m fra nærmeste skinne. Oppe ved boremaskinen så Sporsagkyndig at søgemanden var i færd med at spule

reameren, samt de fremtrukne rør med en højtryksrenser, og save rørene fri fra reameren med en bajonetsav.

Boremaskineoperatøren spurgte nu Sporsagkyndig om oprængningen af boremudder i vandløbet var stoppet, og Sporsagkyndig gik tilbage til sporene for at se efter dette. Da Sporsagkyndig kom ned til sporene bemærkede han straks, at begge spor havde hævet sig, og at der lå boremudder i grøften på vestsiden. Sporsagkyndig kontaktede straks herefter FC for at få nedsat hastigheden i begge spor til maksimum 40 km/t, indtil han havde fundet ud af, hvor galt det stod til. FC fortalte Sporsagkyndig, at de allerede havde spærret det ene spor for trafik, fordi et tog var kørt forbi og havde været tæt på at afspore.

3.1.2 Søgemand

Søgemanden havde til opgave at måle og guide boringen frem, så den ville komme til at ligge det planlagte sted, både hvad angik sideretning og dybde. Til kommunikation med boreoperatøren anvendtes en radio. Endvidere var det søgemands opgave at blande boremudder. Under fremboringen d. 27-02-2023 skulle der ikke bruges ret meget boremudder, og søgemanden kunne derfor både guide/måle og en gang imellem gå op til lastbilen ved siden af boremaskinen for at blande boremudder. Ved gennemtrækningen af rør d. 28-02-2023 skulle der bruges mere boremudder, og søgemanden var derfor det meste af tiden ved lastbilen. Af og til gik søgemanden ned til banen og talte med Sporsagkyndig, som ikke havde en radio.

3.1.3 Lokomotivfører (Lkf)

Lkf kørte tog 2233 fra København H. Kort før Viby Sj. gav toget et hop. Lkf blev meget forvirret, for toget havde ikke ramt noget. Førerstolens dæmpning slog imod begge yderstillinger. Lkf tog traktionen fra for at se, om toget rullede som det skulle eller om noget var afsporet. Toget rullede fint, så Lkf aftalte med FC at lade toget rulle til perron i Viby Sj., for her at gå ud og efterse toget. I Viby Sj. fandt Lkf ingen tegn på fejl, påkørsel eller andet.

3.2 Kommunikation

Kommunikationen imellem FC og Sporsagkyndig foregik via mobiltelefon.

Kommunikationen imellem FC og tog 2233 foregik via GSM-R radio.

Kommunikationen imellem søgemand og boreoperatør foregik via eget radiosystem.

Kommunikationen imellem Sporsagkyndig og søgemand/boreoperatør foregik mundtligt.

Samtaler til og fra FC blev logget:

Tidspunkt	Samtaleparter	Indhold
Kl. 09:37	Tog 2233 til FC	Tog 2233 havde ramt et eller andet voldsomt, et sted imellem Roskilde og Viby Sj. Lkf var chokeret.
Kl. 09:48	Tog 2233 til FC	Lkf spurgte om der var nogen, som ville efterse strækningen for at finde ud af, hvad der var sket. Lkf sagde, at stedet var ca. 0,5 km fra Viby Sj.
Kl. 10:23	Sporsagkyndig til FC	Sporsagkyndig bad om at få hastigheden sat ned i km 39,8 imellem Roskilde og Viby Sj. Der var lavet noget underføring, og det så ud til, at sporet havde hævet sig. FC fortalte, at højre spor mellem Roskilde-Viby Sj.,

		allerede var spærret på baggrund af en melding fra et tog, som havde passeret stedet.
Kl. 10:30	Sporsagkyndig til FC	Sporsagkyndig bad om at få hastigheden sat ned i det andet spor også. Sporsagkyndig og FC blev enige om at sætte hastigheden ned til maksimum 40 km/t.

Tabel 1. Oversigt over kommunikation med FC vedr. sporbeliggenhedsfejlen i km 39,817. Kilde: Banedanmark.

3.3 Sikkerhedsledelsessystemet

Af Banedanmarks sikkerhedsledelsessystem (SLS) dokument ”AF-1.4 Behandling af henvendelser vedr. LedningsX og ledningsanlæg” fremgik processen fra ansøgning om tilladelse til etablering af ledninger, som krydser banen, og frem til arkivering af dokumentationen for det færdige projekt.

Her kunne det bl.a. ses, at ledningsejer skulle udarbejde dokumentation til dels på baggrund af bidrag fra Banedanmark, og at dokumentationen efterfølgende skulle granskes og godkendes af Banedanmark, inden en tilladelse blev udstedt.

3.3.1 Risikohåndtering

Til grund for Banedanmarks udstedelse af tilladelse til ledningsanlæg på Banedanmarks areal, lå dokumentet ”Sikkerhedspakke LED version 3.0”, hvori risikostyringsprocessen ved den styrede underboring var beskrevet. Til grundlag for risikovurderingen blev det defineret, hvilke grænseflader projektet havde til andre dele af infrastrukturen, herunder:

- spor
- kørestrøm
- vandløb
- eksisterende ledninger
- andre projekter/aktiviteter.

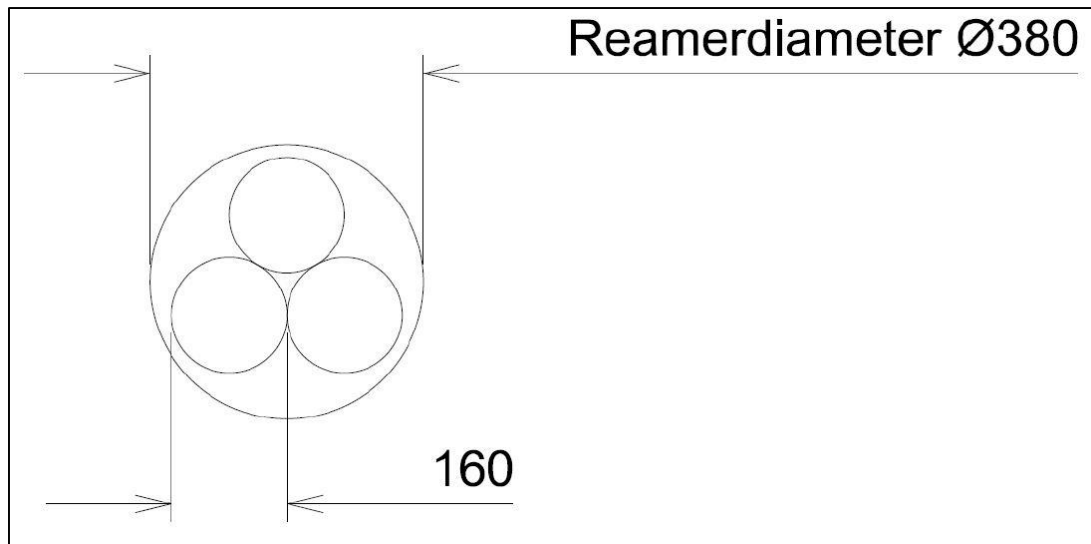
Oplysningerne om ovenstående dele blev leveret af Banedanmark.

Det fremgik af ”Sikkerhedspakke LED version 3.0”, at ledningsprojektet var bekendt med Banedanmarks sporfornyelsesprojekt og havde været i dialog hermed. Det var blevet oplyst, at der var stilstand i sporfornyelsesprojektet, og at der ud fra sporfornyelsesprojektets daværende viden ikke var sammenfald tidsmæssigt og geografisk, hvis ledningsprojektet gennemførtes inden d. 01-07-2023.

Der blev foretaget en sætningsberegning bl.a. på baggrund af geotekniske rapporter og grundvandsmålinger fra området.

Den styrede underboring, der ville få en længde på ca. 89 m, skulle foretages 4,0 m under skinneoverkant (SO) og reames op til 380 mm samtidig med, at de 3 x 160 mm rør blev trukket igennem. Se bilag 8.1.

Hulrummet mellem rør og reamerhul skulle efterinjiceres med Dämmer eller lignende, der havde mindst samme styrke, som den omkringliggende jord iht. BN1-13-3, afsnit 12.1.



Figur 1. Reamerdiameter og placering af rør. Kilde: Banedanmark, Sikkerhedspakke LED version 3.0.

Beregningerne viste; at de 3x160 mm rør svarede til et samlet rør på 277 mm (ækvivalent rør) og; at der var risiko for en sætning i sporet på op til 0,26 mm.

En sætning af denne størrelse ville ikke kræve hastighedsnedsættelse under arbejdet.

Faren er beskrevet i "Sikkerhedspakke LED version 3.0" som:

Fejl i sporets højde retning

Årsag: Sætning i sporet

Bagvedliggende årsager:

- Sammenbrud af ledning/beskyttelsesrør som følge af forkert dimensionering
- Hindring i fremboring eller itrækning efterlader boring uafsluttet

Eksisterende sikkerhedsbarrierer:

- Banedanmarks linjesyn
- Banedanmarks sporbeliggenhedskontrol
- Fremføringspersonalets udkig med banestrækningens tilstand og togets kørsel

Til håndtering af denne fare nævnes:

- BN1-13-3 opstiller generiske sikkerhedskrav til projekteringen herunder for dimensionering af beskyttelsesrør på trykledninger.
- Forudsætningerne for valg af eksplicit dimensionering i BN1-13-3 tjekkes opfyldt, idet Banedanmark kontrollerer dette ved ansøgningen v/Teknisk Projektejer – Ledningsanlæg, Banedanmark.
- Banedanmark fører tilsyn (stikprøve) med udførelsen i henhold til instruks: "Tilsyn med eksterne arbejder ift. gravetilladelser (137-sager)15" i proces I-1.2.3.1.1. I forbindelse med tilsynet kontrolleres at anlægget (rør/ledninger) svarer til det projekterede, at lokaliteten (herunder placering af gruber etc.) svarer til det projekterede og at det anvendte materiel svarer til det, der er givet tilladelse til at anvende i den konkrete sag.

Endvidere identificeredes en anden årsag til faren ”Fejl i sporets højde retning”:

Årsag: Hævning af sporet

Bagvedliggende årsag:

- Trykket i boremudder presser jordlag op imod sporet

Eksisterende sikkerhedsbarrierer:

- Banedanmarks linjesyn
- Banedanmarks sporbeliggenhedskontrol
- Fremføringspersonalets udkig med banestrækningens tilstand og togets kørsel

Til håndtering af denne fare nævnes:

- Anlægsarbejdet overvåges af sporsagkyndigt personale. Den sporsagkyndige observerer sporet under hele gennempressningen og kan agere, hvis der observeres forhold, der giver/kan give en forringelse af jernbanesikkerheden. Vedkommende kan således stoppe arbejdet eller stoppe trafikken, hvis han vurderer det nødvendigt.
- Banedanmark foretager periodiske sporbeliggenhedskontroller, som afdækker eventuelle fejl i højderetning og klassificerer disse alt efter alvor i henhold til BN1-38-6. Der forefindes tolerancer, som hver især har procedurer til at imødegå en eventuel uønsket udvikling.
- Jernbanevirksomhedernes overvågning af jernbaneinfrastrukturen, når disse befarer sporene. Lokomotivførere informerer fjernstyringscentralen om ”uro i sporet”, hvorefter der er procedurer for opfølgning i form af visuel kontrol mm.
- Banedanmark gennemfører periodisk linjesyn, hvor banens tilstand vurderes i henhold til BN1-177-3, afsnit 10.2.

Banedanmark vurderer på baggrund af ovenstående, at der er stor sikkerhed for, at eventuelle fejl ved anlægget opdages og om nødvendigt udbedres i tide, inden en eventuel ulykke indtræffer.

Signifikansvurdering:

Med baggrund i de identificerede farer og usikkerheden omkring farerne er de aktiviteter, som ændringen omfatter indsat i matricen herunder.

Usikkerhed	KONSEKVENSBETINGET RISK				Usikkerhed	Konsekvens
	1	2	3	4		
4					1 = meget lav	1 = let tilskadekommen
3					2 = lav	2 = alvorlig tilskadekommen
2					3 = middel	3 = én dræbt
1				X	4 = høj	4 = flere dræbte
	1	2	3	4		

Figur 2. Risikomatrix. Kilde: Banedanmarks signifikansvurdering.

Usikkerhed:

I den aktuelle ændring vurderes usikkerheden som værende meget lav (kategori 1). Den anvendte krydsningsmetode er ”opgravningsfri ledningsetablering ved styret boring”, som er en kendt og afprøvet metode. Således vurderes projektet ikke at være nyskabende eller komplekst og derfor med en meget lav grad af usikkerhed.

Konsekvens:

Der er identificeret en enkelt fare, som følge af aktiviteten: Fejl i højderetning, som i værst tænkelige tilfælde kan føre til afsporing. Faren er kendt ved denne type af aktiviteter, hvorfor der allerede er defineret en række overvågningskriterier for at imødegå denne fare.

I relation til jernbanesikkerhed anses ændringen for at have ”flere dræbte” som værst tænkelige konsekvens (kategori 4). Dette niveau er valgt, idet ændringen finder sted på en bane trafikeret med passagertog.

Signifikans:

Ovennævnte vurdering af usikkerhed og konsekvens placerer umiddelbart ændringen i det gule område af vurderingsmatricen, hvorfor overvågningskriterierne medtages i signifikansvurderingen.

Overvågningskriterier i projektering, udførelse og driftsfasen for disse årsager er beskrevet i afsnittet for overvågning. Konsekvensen er som anført sat til ’flere dræbte’.

Vedrørende konsekvensen så er sandsynligheden for en afsporing meget lav ved denne ledningsetablering, idet der er tale om el-kabler, 3 stk. Ø160 mm af PE (reamer på ø380 mm), som bores i en dybde på minimum 4,0 m under sporet. Det vurderes, at evt. fejl under udførelsen vil manifesteres straks, og at de derfor vil blive observeret af den sporsagkyndige og hans gennemgang af sporbeliggenhedskontroller.

Med baggrund i aktivitetens mulighed for overvågning vurderes det, at risikoen ved ændringen reduceres ved de beskrevne overvågningskriterier, og derfor er ikke-signifikant. Det er derfor Banedanmarks vurdering, at der ikke skal søges om ibrugtagningstilladelse, jævnfør bekendtgørelse nr. 711 af 20/05/2020.

3.3.2 Tilladelse til ledningsanlæg på Banedanmarks areal

Tilladelsen indeholdt bl.a. en betingelse om, at arbejdet ikke måtte begynde, før Banedanmark (v/ Teknisk Projektejer, Spor) havde modtaget og meddelt accept af CV og uddannelsespapirer for de personer, der ønskedes anvendt som sporsagkyndige.

3.3.3 Jernbanesikkerhedsplan

Af jernbanesikkerhedsplan nr.104240 fremgår bl.a. af:

- punkt 6a. Arbejde som foregår med vagtpost.
Arbejdet med måling og sporing af boringen foregår manuelt med en person og et måleinstrument.
Sporsagkyndig skal under arbejdet overvåge sporet og lave nødvendige målinger.
Dette foregår som vagtpost arbejde.
- punkt 7. Arbejde som foregår i spærret spor
Krabbe måling samt manuelle spormål.
- punkt 11. Sikring mod overskridelse af sikkerhedsafstanden til trafikeret spor for personer.
Sikkerhedsafstanden for personer på 2,25 m skal overholdes med mindre der er etableret sporspærring eller der arbejdes med vagtpost.
- punkt 16. Sportekniske forhold

Under den styrede underboring skal der overvåges for udstrømning/gennempresning og sporsætning. Før og efter arbejdet skal der foretages krabbemåling.

3.4 Sikkerhedsbestemmelser

Relevant for denne hændelse er banenormerne (BN), som beskriver forhold omkring styret underboring samt afvigelser i sporets beliggenhed.

BN1-13-3

Kapitel 10 Sikkerhedsmæssige krav

Afsnit 10.1 Opgravningsfri ledningsetablering:

Der skal altid være en sporsagkyndig person (eftersyn) til stede under hele udførelsen af ledningsetableringen. Denne person skal i tilfælde af uregelmæssigheder i sporearealet som følge af presarbejdet (f.eks. sænkninger/hævninger i spor eller ballastlaget, revner i banketter og skred i dæmningsskråninger) straks standse arbejdet og underrette den geografisk fagansvarlige for spor i Banedanmark. Personen skal også vurdere, om toggangen skal stoppes, eller om hastigheden skal sættes ned.

Kapitel 12 BN2 Supplerende krav til ledningstyper og udførelsesmetoder

Afsnit 12.1 Opgravningsfri ledningsetablering (uddrag):

- Ved opgravningsfri ledningsetablering, som udføres ved styret boring, skal afstanden til drænledninger mindst være 2 m
- Det cirkulære hulrum (kaldet ”overcut” i DS/EN 12889) omkring en installeret ledning skal efterinjiceres med fast materiale, hvis overcuttet er større end:
 - 25 mm for ledninger med diameter mindre end 400 mm
 - 10 mm for ledninger med diameter $400 \text{ mm} < d < 800 \text{ mm}$
 - 0 mm for ledninger med diameter større end 800 mm

Efterinjiceringen tillades ved styret boring udført i samme proces, hvor det ydre rør trækkes gennem borehullet, hvis efterinjiceringen udfylder hulrummet og mindst opnår styrke og stivhed som den omgivne naturlige aflejring.

Note 12.1-1 Det cirkulære hulrum (”overcut”) omkring en installeret ledning dannes overvejende ved at bruge borehoved eller reamer med en større diameter end den ydre diameter af den installerede ledning.

Ved styret boring kan materialet, som udfylder hulrummet, mindst opnå en styrke og stivhed som den omgivne naturlige aflejring ved f.eks. at injicere med cement eller andet materiale i rette forhold gennem en eller flere separate slanger.

Afsnit 12.1.2 Udførelse (uddrag):

Hvis der ved opgravningsfri ledningsetablering bruges boremudder, skal boremuddertrykket løbende kontrolleres i enhver af de delprocesser, hvor der anvendes boremudder under tryk. Forholdsregler skal tages for at undgå terrænhævninger eller opskydninger på grund af højt boremuddertryk. Det skal også løbende vurderes, om der er tegn på overforbrug af boremudder. Hvis der er det, skal trykket på boremudderet nedsættes.

BN1-28-6 Sporbeliggenhedskontrol og sporkvalitetsnormer

Kapitel 10 Sporbeliggenhedskontrol, afsnit 10.4 Målehyppighed (uddrag)

Hvor der skal udføres arbejder omkring spor i drift, der kan påvirke sporets beliggenhed som f.eks. spunsning, ramning, underskydning, underboring, gennempresning, gravearbejde, grundvandssænkning m.v., skal der træffes forholdsregler med hensyn til overvågning af sporets beliggenhed og eventuelle hastighedsnedsættelser/driftsindskrænkninger, således at sporets beliggenhed overholder kravene i afsnit 11.3.

For arbejder, der kan påvirke sporets højdebeliggenhed for bølgelængder i intervallet $\lambda=3-25$ m på 3 mm eller mere, gælder endvidere følgende:

Efter passage af 75.000 bruttotons togvægt skal der foretages dokumentation af sporets relative beliggenhed svarende til dokumentationskravene i afsnit 12.3. Når eventuelle afvigelser i fejlklasse 3 eller større er fjernet, tillades hastigheden efterfølgende øget til TIB-hastigheden.

Kapitel 11 BN1, Sporkvalitetsnormer, afsnit 11.3.2 Normer for punktfejl ved anvendelse af målevogn/-dræsine

Afsnittet indeholder to tabeller (11.3.2-1 og 11.3.2-2) til omsætning af målte punktfejl til fejlklasser. Afsnittet med de to tabeller er indsat som bilag 8.3.

Kapitel 13 BN2 Udførelse af arbejder omkring spor i drift, der kan påvirke sporets beliggenhed, afsnit 13.2 Største hastighed under arbejdets udførelse:

I forbindelse med planlægningen af arbejdet, skal det vurderes i hvilken grad arbejdet giver anledning til ændringer af sporets højdebeliggenhed. Hvis arbejdet kan give anledning til ændringer af sporets højdebeliggenhed for bølgelængder i intervallet $\lambda=3-25$ m på 3 mm eller mere, gælder, at største tilladelige hastighed i forbindelse med udførelsen af arbejdet skal planlægges ud fra kravene i tabel 13.2-1.

Tabel 13.2-1 Største hastighed under arbejdets udførelse	
Ændringer af sporets højdebeliggenhed for bølgelængder i intervallet $\lambda=3-25$ m [mm]	Hastighed [km/t]
3 – 6	80
7 – 12	40
> 12	0 (sporspærring)

Tabel 2. Tabel 13.2-1 fra BN1-38-6.

Afsnit 13.3 Overvågning af sporets beliggenhed, generelt

I forbindelse med udførelse af arbejder omkring spor i drift, der vurderes at påvirke sporets beliggenhed, skal arbejdet overvåges af en sportekniker, der er bemyndiget hertil. Ved overvågningen skal der foretages kontinuerlig kontrol af sporets beliggenhed under arbejdets udførelse og efter udførelsen indtil passage af første tog med udgangspunkt i kravene til sporets beliggenhed i afsnit 11. Såfremt sporteknikeren vurderer, at der ved togpassage forekommer afvigelser i fejlklasse Max, skal disse betragtes som afvigelser i fejlklasse Max, og der skal ageres i henhold til afsnit 11.1.2.

Endvidere skal den geografisk fagansvarlige for Spor kontaktes (aften og weekend dog sporvagten via Kommandopost/Fjernstyringscentral) med henblik på en vurdering af eventuelle yderligere tiltag.

3.5 Uddannelse

Sporsagkyndig gennemførte uddannelserne Sporteknik del 1 og 2 i hhv. juni og november 2017. Uddannelsen indeholdte bl.a. forhold om sporbeliggenhedsfejl herunder målemetoder og grænseværdier for afvigelser i klasse 1, 2, 3, 4 og max.

Banedanmark har oplyst, at uddannelserne sporteknik del 1 og del 2 før 2021 ikke vedrørte overvågning af spor i drift ifm. styret underboring. I 2021 blev uddannelserne revideret og herefter delt op i tre dele. Hvorved overvågning af spor i drift nu indgik. Siden 2021 har det været muligt at supplere kurserne Sporteknik del 1 og 2 fra før 2021 med et todages kursus i overvågning af spor i drift. Kurset hedder: ”Sporteknik – Sporsagkyndig”.

3.6 Styret underboring

Den styrede underboring foregik ved, at en boremaskine, placeret ved en gravet grube ca. 30 m vest for banen (afsenderhul), lavede en pilotboring jf. det planlagte boretracé. Under boringen pumpede boremaskinen boremudder frem til borehovedet, dette boremudder løb tilbage langs boretracéet og transportererede derved den overskydende jord/sand tilbage til afsenderhullet.

I forbindelse med udførelsen af den styrede underboring blev teoretiske og målte dybder for boringen noteret i ”Rapport for styret underboring”. Dette blev brugt til at guide boringen frem langs det planlagte boretracé. Heraf fremgik, at boringen havde en dybde på 4,8 m, hvor den passerede skinnerne. De teoretiske dybder blev anvendt, hvor måling fra jordoverfladen ikke var muligt. Dette var f.eks. tilfældet i starten af boringen, hvor tracéet passerede under køreplader af metal, og da boringen nærmede sig vestsiden af banen, hvor rapporten nævner ”forstyrrelser på skinnerne”, som årsag til angivelse af teoretiske dybder. Den teoretiske dybde var umiddelbart ved banens vestside 4,47 m.

Pilotboringen blev afsluttet d. 27-02-2023, da den nåede frem til en gravet grube ca. 45 m øst for banen (modtagehul).

D. 28-02-2023 startede reamningen og itrækningen af 3x 160 mm PE rør. Dette foregik ved, at en reamer på 380mm blev sat på borestangen i modtagehullet og efter reameren blev de 3 rør sat fast med en spindel, som tillod reameren at dreje rundt uden at rørene drejede med. Reameren udvidede boringen til 380 mm, imens borestangen blev trukket tilbage imod boremaskinen sammen med de 3 rør. Imens blev boremudderet pumpet frem til reameren. Dette boremudder løb tilbage langs de 3x 160 mm PE rør og transportererede derved den overskydende jord/sand tilbage til modtagehullet (øst for banen).

Efter hændelsen har entreprenørvirksomheden, som udførte den styrede underboring, indsendt en afvigelsesrapport, hvor følgende ses:

Pilotboringen blev planlagt og boret ud fra den boreprofil, som fremgår i tilladelsen fra Banedanmark. Det vil sige, at pilotboringen blev udført en smule dybere end strengen/dybden på profilen i tilladelsen fra Banedanmark for at sikre, at overkanten/toppen af det kommende/senere opreamede borehul, ville overholde minimumsafstanden fra SO til borehullet.

Da der i tilladelsen fra Banedanmark var givet tilladelse til at anvende en 380 mm reamer under itrækningen af rørene i boringen, skulle pilotboringen udføres mindst 19 cm dybere for at sikre minimumsafstanden mellem SO og top rør / top af opreamet borehul.

Tirsdag morgen d. 28-02-2023 påbegyndtes reamning og itrækning af de 3 Ø160 mm PE-rør i boringen. Under hele boreprocessen blev sporene overvåget af den tilstedeværende SR-Leder [Sporsagkyndig].

Klokken 10:00 var rørene trukket igennem borehullet – det vil sige, at reamer og rør var synlige i starthullet foran boreriggen.

Efter at have besigtiget sporarealet gik SR-lederen op til borepersonalet på vestsiden af jernbanen, som på det tidspunkt var i gang med at afmontere reameren på boreriggen.

I forbindelse med afrigningen af boreudstyret ca. kl. 10:25 skulle en boremand og SR-lederen krydse jernbanen. Her kunne begge konstatere, at der lå borevæske/boreslam på den vestlige side af jernbanespor, samt at det vestlige spor havde hævet sig fra den oprindelige position.

SR-lederen iværksatte umiddelbart en spærring af det vestlige spor, samt indrapporterede skaden/observationerne til rette instans.

I samme forbindelse blev der konstateret mindre skader på det østlige jernbanespor (mindre end dem der blev konstateret i det vestlige jernbanespor).

Som svar på opfølgende spørgsmål fra Banedanmark til afvigelsesrapporten angående boremuddertryk, anvendt trækraft, længde på efterinjiceringslanger, Dämmer, samt evt. andre relevante oplysninger, har entreprenøren uddybet:

Boremudder trykket:

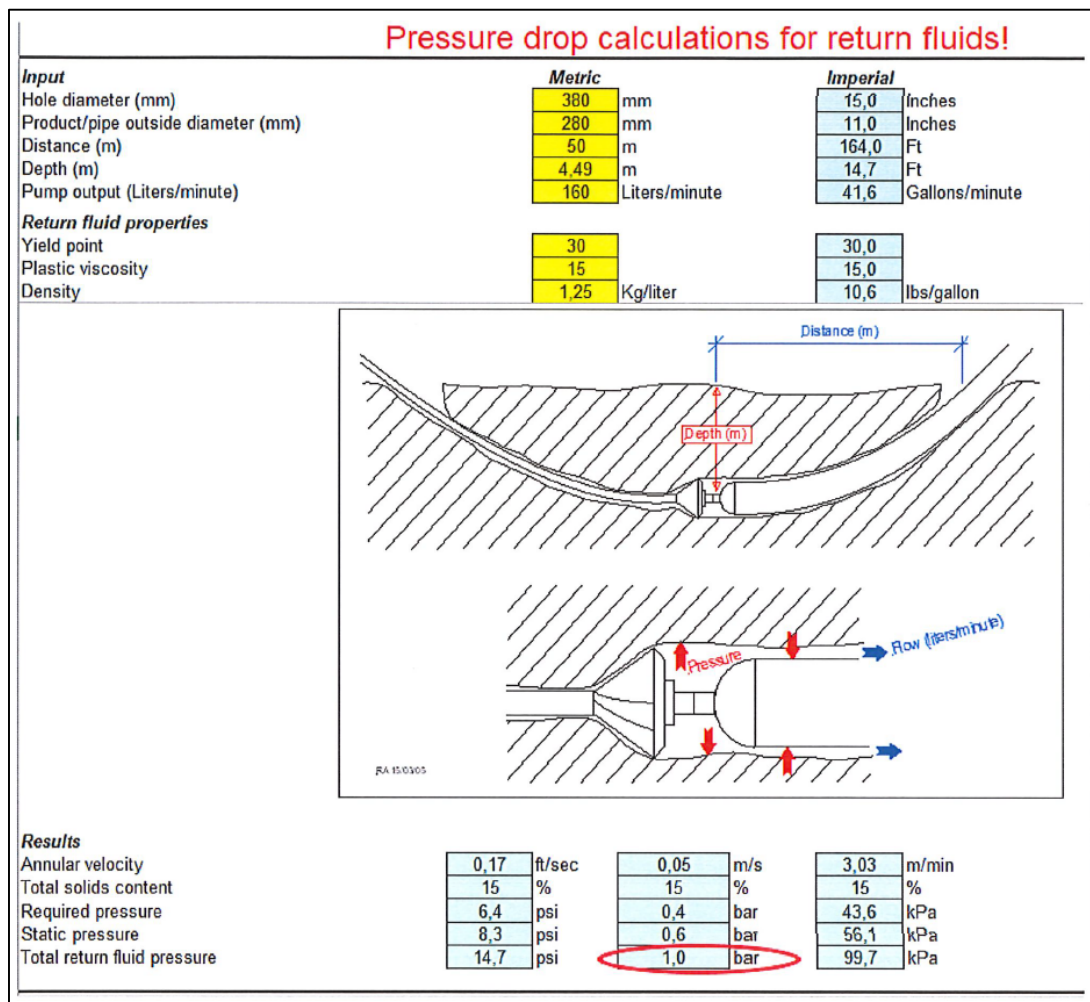
Under reamning og itrækning af de 3 x Ø160 SDR 11 kabelrør er det umiddelbart ikke muligt at registrere trykket i borehullets/boringens overcut.

Det er heller ikke et krav fra Banedanmarks side, at trykket i borehullet registreres – hverken i forbindelse med udførelsen af pilotboring eller under reamning og itrækning af et produktør.

Boremuddertrykket i borehullets/boringens overcut, kan kun beregnes ud fra nogle teoretiske værdier, såsom den anvendte borevæskes yeld point og Plastic Viscosity – boreslammets vægtfylde – højdeforskel mellem borehullet og et aflastningshul, samt afstanden mellem reameren og aflastningshullet. Indsat er en trykberegning med indsatte parametre fra banekrydsningen ved Kirke Syv [Strækning 1, km. 39,817]. Se figur 3.

Bemærk at produktørrets diameter er sat til 280 mm – hvilket svaret til samme volumen som de 3x Ø160 PE 100 SDR 11 rør, som blev trukket under jernbanen ved Kirke Syv.

Beregningen viser, at trykket i boringens/borehullets overcut, ikke burde være højere end 1,0 bar, når reamer og rør lå i 4,5 m dybde midt imellem de to jernbanespor.



Figur 3. Beregning af boremuddetryk i borehullet. Kilde: Østergård A/S.

Beregningen tager afsæt i, at boreslammet har en vægtfylde på 1.250 kg pr. m³ (Density 1,25 kg/liter) og, at boreslammet skal transporteres/skubbes 50 m ud og 4,49 m op til boringens modtagehul på østsiden af jernbanen.

Det eneste tryk, som vi kan registrere under udførelsen af en styret boring, er trykket på borevæsken inde i borestrengen/borerøret/reameren.

Trykket inde i borestrengen/borerøret/reameren ligger typisk på ca. 250 Psi / 17,24 bar under reamning og itrækning af et produktør. Dette tryk er udelukkende opbygget grundet modtrykket, der skabes inde i borestrengen/borerøret, samt de 12 – 24 små dysser, der sidder monteret i reameren.

Når borevæsken presses igennem dysserne på reameren, falder trykket i samme sekund, og gennemstrømningen, der skabes af den kontinuerlige tilførsel af ny borevæske i boringens overcut, omdannes til et flow, hvis tryk styres af modstanden i borehullet (modstanden som opstår i boringens overcut på ydersiden af PE-røret).

Trækraft:

Den anvendte trækraft for at trække de 3 x Ø160 PE 100 SDR 11 rør igennem borehullet, udgjorde 1 ton.

Injeceringsslanger:

Der har ikke været monteret injeceringsslanger på denne boring, da det ikke fremgår af tilladelsen fra Banedanmark, at der skulle trækkes injeceringsslanger med igennem boringen, med henblik på senere injecering af Dämmer.

Dämmer:

Der er ikke på denne boring injeceret med Dämmer, da det ikke fremgår af tilladelsen fra Banedanmark.

3.7 Infrastrukturforhold

3.7.1 Måling af sporets beliggenhed efter hændelsen

Umiddelbart efter hændelsen iværksatte Banedanmark; dels en måling af sporets absolutte beliggenhed i højderetningen ved anvendelse af traditionel landmåling, og dels en måling af sporets relative beliggenhed ved anvendelse af måletrolje Krab.

Ved måling af sporets relative beliggenhed sås, at de væsentligste afvigelser var i sporets højderetning. Graferne for målingen er indsat som bilag 8.1.

Afvigelserne var ca. 19 mm og ca. 16 mm i hhv. højre og venstre skinnestreg i højderetningen for bølgelængder $\lambda=3-25$ m.

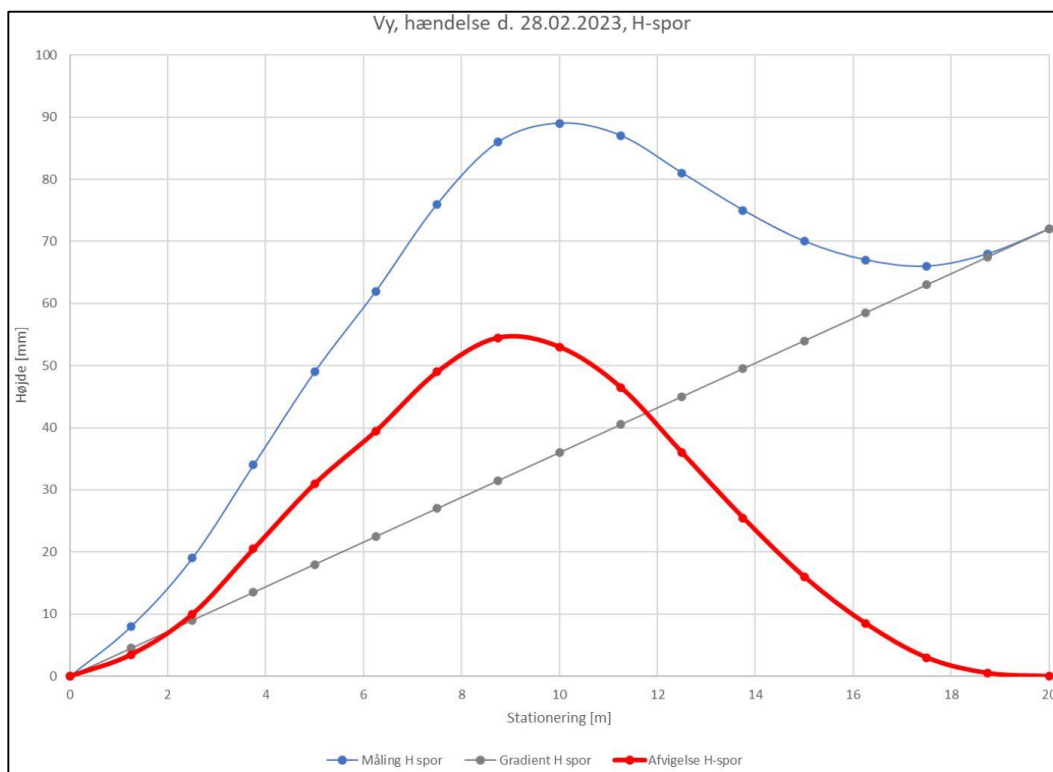
Ud fra bilag 8.1 ses endvidere, at afvigelserne vedr. "vridning 3 m" var ca. $6,3 \text{ mm}/3 \text{ m} = 2,1 \text{ mm}/\text{m}$, overhøjdens ujævnhed var ca. 4,5 mm og sideretningen for bølgelængder $\lambda=3-25$ m var ca. 6 mm for begge skinner.

Banedanmark har oplyst, at disse afvigelser ikke var sikkerhedskritiske for en hastighed på op til 180 km/t, idet der alene var tale om afvigelser på- eller under fejlklasse 3 iht. BN1-38-6, afsnit 11.3.2 (bilag 8.3), hvorfor der alene er tale om, at afvigelserne i sideretningen skulle tages i betragtning ved planlægningen af sporets regelmæssige vedligehold.

I højderetningen kunne måletrolje Krab alene måle afvigelser i højderetningen med bølgelængder i intervallet på $\lambda=3-25$ m, men ikke afvigelser i højderetningen med bølgelængder i intervallet $\lambda=25-70$ m.

Ud fra målingen af sporets absolutte beliggenhed (figur 4) kan det dog ses, at afvigelsen havde en udstrækning på ca. 18-20 m, svarende til en bølgelængde på ca. $\lambda=36-40$ m. På den baggrund ville en målevogn have registreret en afvigelse i højderetningen på ca. 55 mm for bølgelængder $\lambda=25-70$ m.

En afvigelse på 55 mm i højderetningen for bølgelængder $\lambda=25-70$ m ved en tilladelig hastighed på 180 km/h er en ekstrem afvigelse fra sikkerhedsgrænsen på 24 mm jf. BN1-38-6/EN13848-5, hvorfor afvigelsen har været yderst kritisk sikkerhedsmæssigt for den tilladelige hastighed på 180 km/t.



Figur 4. Højre spor, km 39,8, data vedr. sporets absolute beliggenhed i højderetningen. Afvigelsen i sporets højderetning er ca. 55 mm. Kilde Banedanmark.

3.7.1.1 Grænseværdier for sporets højdebeliggenhed i henhold til BN1-38-6, EN14363 og EN13848-5

Nedenfor er i tabel 3. vist tilladelige afvigelser i højderetningen for $\lambda=3-25$ m og $\lambda=25-70$ m for fejlklasse Max i BN1-38-6, fejlklasse QN3 [Quality Level 3] i EN14363 og fejlklasse IAL [Immediate Action Limit] i EN13848-5 tillige med de målte afvigelser i højderetningen efter hændelsen.

Hastighed	Måleparameter	BN1-38-6, fejlklasse Max	EN14363, fejlklasse QN3	EN13848-5, Fejlklasse IAL	Afvigelse ved hændelse
Km/t	m	mm	mm	mm	mm
160<V≤200	Højde $\lambda=3-25$	12	12	20	19
160<V≤200	Højde $\lambda=25-70$	24 ¹	Ingen krav	24	55
120<V≤160	Højde $\lambda=3-25$	13	13	23	19
120<V≤160	Højde $\lambda=25-70$	Ingen krav ²	Ingen krav ²	Ingen krav ²	55

Tabel 3. Sammenstilling af tilladelige og aktuelle afvigelser i højderetningen. Kilde: Banedanmark.

¹ Generelt tillades 18 mm, men der kan gives tilladelse til 24 mm, som angivet i afsnit 8 i BN1-38-6.

² For 120<V≤160 km/t betragtes normalt forekommende afvigelser i højderetningen $\lambda=25-70$ m ikke at være relateret til sikkerhed.

3.7.2 Banedanmarks foreløbige vurdering af hændelsen

Ved besigtigelse af området efter hændelsen konstaterede Banedanmark, at der var etableret dræn med tilhørende sandfangsbrønde langs banens vestlige side. Boremudder havde fundet vej til overfladen i området over drænledningen, tæt på en sandfangsbrønd. Se foto 2.



Foto 2. Boremudder ses oven over drænledning omkring sandfangsbrønd på banens vestlige side. Kilde: Banedanmark.

Uddrag af Banedanmarks notat ”Bemærkninger til hændelse vedr. udførsel af styret underboring ved Viby, km 39,817” af d. 09-03-2023:

Brønde og nedgravet dræn- og transportledning var blevet etableret i forbindelse med sporprojektet Roskilde – Ringsted, udført sommeren 2022.

Brønde og ledninger blev ikke medtaget, som grænseflade (afvanding), i Sikkerhedspakke LED version 3 (se afsnit 3.3.1), og var heller ikke erkendt i faglig ledelse hos Banedanmark. Dette kunne bl.a. skyldes at de ikke har været registreret i BaneGIS, ProArc eller andre tilgængelige steder. Banedanmark har oplyst, at tegningsmateriale over ændringer som udgangspunkt først ville blive registreret i disse systemer ifm. projekternes afslutning. [Sporprojektet Roskilde – Ringsted forventedes færdigt i slutningen af 2023]

Tegningsmateriale blev indhentet fra sporprojektet, heraf fremgik placering og dybde af brønde og ledningsanlæg (dræn og transportledning) langs banens vestlige side.

I projekteringen af den styrede underboring, er der vest for banen beskrevet leret/sandet moræne og øst for banen smeltevandsler. Der er ikke taget højde for udgravning til og etablering af brønde samt ledninger langs banens vestlige side.

Ved etablering af drænet ville sandfangsbrøndene typisk blive sat på en bund af friktionsmaterialer som sand og grus. For sandfangsbrønden nærmest blow-uppet er det sandsynligt, at der er gravet ned til kote 30,5 – 30,7.

Boringen er på dette sted angivet, udført i kote 29,7, hvorfor intakt jordlag ved boringens passage ved bund af brønd er reduceret til vurderet 1-1,5m.

Grus / sand er væsentlig mere permeabelt (porøs) end moræne ler/sand (tæthed), men udgør normalt ikke et problem når boremudder danner filterkage(tæthed) i borehullet under boringen. Det særlige her er at banen er placeret i afgravning hvorfor der ved afgravningsfoden ved sandfangbrønden tillige er størst boremuddertryk og størst trækraft påvirkning af jorden omkring under borearbejdet.

Forudsætninger for et blow-up har været til stede netop omkring brønde langs banens vestlige side, både pga. reduceret intakte jordlag men sandsynligvis også fordi det permeable grus / sand har medført et tab i boremuddertryk (fordi boremudder ved det øgede tryk kan presses ind i grus/sand i modsætning til den ”tætte” moræneler – filterkage som dannes og normalt beskytter boreprocessen, brydes), hvilket kan have medført en modreaktion fra boreoperatøren med øget boremuddertryk.

3.8 Materieltekniske undersøgelser

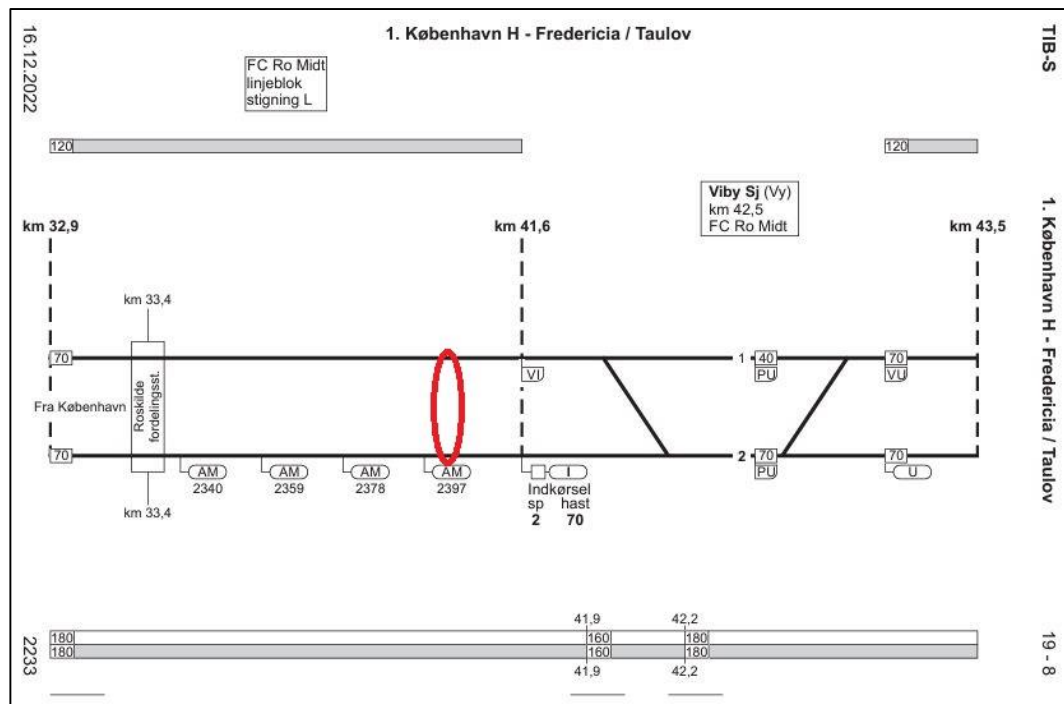
DSB har til undersøgelsen oplyst, at det involverede materiel, bestående af et EB lokomotiv med tilkoblede dobbeltdækker vogne var blevet testet i henhold til EN 14363/UIC518 op til en afvigelse på 12 mm i sporets højderetningen. Vognene var godkendt til maksimum 160 km/t i Danmark.

Øvrigt materiel, som kunne beføre strækningen mellem Roskilde og Viby Sj., ville typisk også være blevet testet i henhold til EN 14363/UIC518 og dermed til en afvigelse i sporets højderetning på 12 mm.

Der forligger ingen oplysninger om, eller testresultater af, hvorvidt den aktuelle højdeafvigelse på 19 mm ville føre til en afsporing. Beregning af dette afhænger bl.a. af flere forskellige parametre såsom hastighed, kurveforhold, materielsammensætning og hjul/skinneforhold.

3.9 Trafiksikkerhedsforhold

Strækning 1 mellem Roskilde og Viby Sj. var dobbeltsporet og udstyret med automatisk linjeblokanlæg, ATC-togkontrolanlæg og 25 kilovolt kørestrøm.



Figur 5. Uddrag af Banedanmarks strækningsoversigt TIB-S 1, køreretning Roskilde - Viby Sj. med angivelse af omtrentligt hændelsessted.

3.10 Menneskelige faktorer

Sporsagkyndig havde til opgave at overvåge sporet, imens arbejdet med styret underboring var i gang. Samtidig skulle han fungere som SR arbejdsleder og vagtpost for søgemanden, når denne færdedes på eller i nærheden af sporet.

Sporsagkyndig skulle opholde sig mindst 2,25 m fra de trafikerede spor, imens han overvågede dem. Af tabel 2 i afsnit 3.4 fremgår det, at Sporsagkyndig skulle gribe ind og bede om at få nedsat hastigheden, hvis sporhøjden ændrede sig 3 mm eller mere.

Havarikommissionen vurderer, at det ved kontinuerlig visuel overvågning ville være svært at registrere sporbeliggenhedsfejl på ned til 3 mm, når observationen skulle foregå fra et sted uden for sikkerhedsafstanden.

Sporsagkyndig havde erfaring fra 20-25 andre underboringer / gennempresninger, heriblandt hændelsen beskrevet i afsnit 3.11. Dermed havde Sporsagkyndig erfaring for, at det var vigtigt at vide, hvor hhv. borehovedet eller reameren arbejdede ift. jernbanen, da dette var afgørende for, hvor han skulle placere sig og hvorhen han skulle rette sin opmærksomhed. At hhv. borehovedet eller reameren kunne høres på overfladen, når det arbejdede under banen, kan have været med til at forstærke opfattelsen af, at det var på dette tidspunkt, der var størst risiko for jernbanesikkerheden. Omvendt kunne det også give opfattelsen af, at der var mindre risiko, når hhv. borehovedet eller reameren ikke var i nærheden af sporene.

3.11 Tidligere hændelser af lignende art

I forbindelse med en gennempresning af et 711 mm stålrør under jernbanen ved Trekroner d. 19-06-2013, hævede sporet sig 42 mm, imens sporene var i drift. Metoden gennempresning, er i forhold til sætninger, ikke sammenlignelig med reamning, som blev anvendt ved hændelsen d. 28-02-2023, men barrieren (kontinuerlig overvågning af sporet) var den samme.

Af Banedanmarks hændelsesrapport fra hændelsen d. 19-06-2013, fremgår bl.a.:

- Der er sået tvivl om den sporsagkyndige havde den fornødne kompetence til at føre tilsyn med arbejdet. Han havde erfaring fra tidligere arbejder af denne karakter, men havde ikke gennemgået kurserne sporteknik 1 og 2.
- Ifølge jernbanesikkerhedsplanen, nr. 90149, skulle en sporsagkyndig holde øje med sporets tilstand under arbejdets udførelse.
- Ved forskydning i spor eller ballast, skulle den sporsagkyndige standse arbejdet, straks underrette stationsbestyreren og tilkalde den teknisk driftsansvarlige.
- Det var ikke i jernbanesikkerhedsplanen nærmere præciseret, hvor den sporsagkyndige skulle opholde sig for at holde opsyn. Heller ikke, hvorledes kontakten mellem boremændene og opsynet skulle foregå og hvilke meldinger, der skulle gives. Havde den sporsagkyndige været bekendt med, hvor langt boringen var kommet, burde han på hændelsestidspunktet have observeret sporene fra kabelrenden til 1. hovedspor og ikke ved 4. hovedspor. Den sporsagkyndige havde, efter eget udsagn, opholdt sig ved kabelrenden ved 4. hovedspor, hvor der er lang afstand til 2. hovedspor, og havde ikke opdaget, at der var noget galt.
- der ved arbejde med spor i drift, som kunne påvirke sporets tilstand, ikke fandtes vejledning/ BN2-krav til håndtering af dette

Ved udgivelsen af undersøgelsesrapporten havde banenorm BN1-38-5a været til høring, og var på det tidspunkt ved at blive ajourført efter høringsrunden og dermed klargjort til næste fase i normudviklingsprocessen. Der var udarbejdet forslag vedr. ”Udførelse af arbejder omkring spor i drift, der kan påvirke sporets beliggenhed”. Høringsrunden havde givet anledning til, at der i afsnit 13 blev indbygget BN2-krav til håndtering af situationer såsom spunsning, underpresninger, underboringer med videre.

4 ANALYSE

Ledningsejer havde søgt tilladelse til styret underboring for etablering af et tracé, hvor 3x Ø160mm beskyttelsesrør skulle føres under Banedanmarks strækning 1 i km 39,817 mellem Roskilde og Viby Sj.

Tilladelsen til den styrede underboring var givet på baggrund af en udarbejdet rapport (Sikkerhedspakke LED version 3.0), som beskrev projektet, metoden og risikostyringen. Jf. denne kunne den styrede underboring gennemføres uden hastighedsnedsættelse på strækningen, hvor den tilladte hastighed var op til 180 km/t.

I afsnittet omkring risikohåndtering var der beskrevet en fare for fejl i sporets højde retning. Denne fare kunne manifestere sig enten som; en sætning i sporet eller en hævning af sporet. Førstnævnte kunne ske som følge af kollaps af boringen, og blev via sætningsberegninger kvantificeret til maksimalt at kunne udgøre 0,26 mm. Dette var således under grænsen på 3 mm, hvorfra hastighedsnedsættelser på jernbanen skulle anvendes til håndtering af risiko. Den sidstnævnte årsag ville kunne ske ved ”blow-up”, hvor trykket på boremudderet, som skulle anvendes ved denne boremetode, kunne presse jordlag op mod sporet. Faren, ved hævning af sporet, blev ikke angivet som en målbar størrelse.

Jf. risikovurderingsmatrixen i Sikkerhedspakken LED version 3.0 befandt risikoen sig i det gule område. Dette var et produkt af konsekvensens alvorlighed, som i yderste konsekvens kunne medføre ”flere dræbte”. Med baggrund i aktivitetens mulighed for overvågning, blev det vurderet, at risikoen var reduceret til et acceptabelt niveau.

Ved denne hændelse viste det sig, at blow-uppet gav en højdebeliggenhedsfejl for bølgelængder i intervallet $\lambda=3-25$ m på 19 mm. Hvis et tal af denne størrelse var blevet taget i betragtning ved risikovurderingen, skulle den styrede underboring have været foretaget i en sporspærring jf. BN1-38-6.

Jf. risikovurderingen og BN1-38-6 skulle sporet overvåges af en sporsagkyndig person under hele boreprocessen.

Den sporsagkyndige person skulle reagere, hvis der blev observeret forhold, som kunne give en forringelse af jernbanesikkerheden. Hvis sådanne forhold blev observeret, skulle den sporsagkyndige ringe til FC og enten få standset toggangen eller nedsat hastigheden, jf. tabel i BN1-38-6.

Sporsagkyndig havde ikke mulighed for at måle sporbeliggenheden imens underboringen foregik; dels fordi han selv var tilknyttet projektet som SR arbejdsleder/vagtpost, og således ikke kunne arbejde alene inden for sikkerhedsafstanden; og dels fordi eneste målemetode som var til rådighed, var Krab mål, som krævede sporspærring. Der var ikke bestilt sporspærring til dette formål.

I praksis ville den sporsagkyndige skulle gribe ind, hvis en højdebeliggenhedsfejl på mere end 3 mm manifesterede sig. Reaktionstiden, fra observation af fare for jernbanesikkerheden til at et tog ville have nedsat hastigheden eller standset, vurderes ikke at give sikkerhed for at fjerne faren for tog, der allerede var undervejs og evt. havde passeret sidste signal inden km 39,817. Havarikommissionen vurderer, at det ved kontinuerlig visuel overvågning, ville være svært at registrere sporbeliggenhedsfejl på ned til 3 mm, når observationen skulle foregå fra et sted uden for sikkerhedsafstanden.

Den sporsagkyndige skulle godkendes til projektet af Banedanmark. Her var det et krav, at han havde gennemgået kurserne Sporteknik del 1 og del 2, samt at han havde relevant arbejds erfaring.

Sporsagkyndig, som blev godkendt til projektet, havde gennemgået kurserne sporteknik del 1 og del 2 i hhv. juni og november 2017, samt havde erfaring fra 20-25 tidligere projekter med styret underboring og lignende opgaver. Blandt disse tidligere erfaringer, var et projekt i 2013, hvor en gennempresning af et rør under fire spor førte til en hævnning i sporet.

I undersøgelsesrapporten fra hændelsen i 2013 bemærkes det, at Sporsagkyndig, hvis han havde været bekendt med, hvor langt boringen var kommet, burde have opholdt sig tættere på det sted, hvor borehovedet arbejdede. Det må antages at være blevet en del af Sporsagkyndigs erfaringsgrundlag, at faren er der, hvor borehovedet arbejder. Dermed kunne Sporsagkyndig have betragtet de perioder, hvor først borehovedet og senere reameren ikke arbejdede direkte under sporene, som mindre risikofyldte.

Sporsagkyndig har til Havarikommissionen udtalt, at han ved den styrede underboring d. 28-02-2023 kunne følge med i hvor langt reamningen/gennemtrækningen var kommet; dels fordi han kunne høre, når reameren arbejdede under sporene; og dels fordi han fik besked om, hvor mange borestænger (å tre meter), der manglede. Han opholdt sig under boringen på østsiden af sporet ved et sted, hvor der dagen forinden var kommet lidt boremudder op i et vandløb. Derfor anså han dette sted, som mest udsat for risikoen for blow-up.

Han forlod lejlighedsvist sporet for at kontrollere, om der var flow i boremudderet i modtage hullet på østsiden af banen. Da gennemtrækningen var næsten færdig, og reameren arbejdede ca. 20 m fra nærmeste skinne, gik han op til afsenderhullet og boremaskinen på vestsiden.

Uddannelsen Sporteknik del 1 og del 2, som Sporsagkyndig modtog i 2017, indeholdt ikke forhold om overvågning af spor i drift ifm. styret underboring. Sporsagkyndigs risikoforståelse var således alene præget af de erfaringer, han havde gjort sig ifm. lignende opgaver igennem tiden.

Banedanmark ændrede, bl.a. på baggrund af anbefalinger fra hændelsen i 2013, uddannelsen Sporteknik i 2021, så den nu indeholdt elementer om overvågning af spor i drift. Samtidig etablerede Banedanmark et kursus kaldet ”Sporteknik – Sporsagkyndig”, hvor det var muligt at supplere sin Sporteknik del 1 og 2 fra før 2021 med et todages kursus i overvågning af spor i drift.

Der blev ikke stillet krav om gennemførelsen af dette kursus for sporsagkyndige med den gamle uddannelse.

Blow-up var en kendt risiko ved metoden styret underboring, men sandsynligheden for at det kunne ske blev forstærket af, at underboringen passerede nært forbi jordlag, som var blevet opgravet/forstyrret og suppleret med sand/grus ifm. etablering af dræn og sandfangsbrønd ved sporfornyelsesprojektet i løbet af sommeren 2022. Denne risiko var ikke blevet vurderet, fordi information om drænledningen ikke var til rådighed for projektet, og som sådan heller ikke blev taget i betragtning ved Banedanmarks granskning af dokumentationen for projektet. Information om drænledningen ville først blive indført i systemerne BaneGIS og ProArc, når sporfornyelsesprojektet var færdigt.

Uden information om det geografiske sammenfald imellem de to projekter kunne risikostyringen ikke gennemføres fyldestgørende.

Undersøgelsen indikerer, at boremudder under tryk forlod boringen og fandt vej til et område eller jordlag under sporene, hvor trykket kunne fordele sig over et større areal, hvorved sporet hævede sig. Dette kan skyldes, at boringen passerede et område, hvor jorden havde været opgravet og udskiftet med sand/grus. Boringen passerede sandsynligvis bunden af en sandfangsbrønd med en afstand på 1 – 1,5 m. Dette var mindre end de krævede 2 m jf. BN1-13-3, Afsnit 12.1

Sporsagkyndig bemærkede ikke, at sporet hævede sig, sandsynligvis fordi han på dette tidspunkt havde forladt sporet, for at gå op til boremaskinen i forventning om at reamningen og itrækningen enten var færdig, eller i hvert fald ikke længere udgjorde en fare for jernbanesikkerheden.

Entreprenøren, der udførte den styrede underboring, har oplyst, at der ved denne boremetode ikke var mulighed for at overvåge boremuddertrykket i overcutteret efter reameren. Jf. BN1-13-3 afsnit 12.1.2 var overvågning af boremuddertryk et krav for at undgå terrænhævninger eller opskydninger på grund af højt boremuddertryk. Overvågning af boremuddertryk er tillige nævnt i Sikkerhedspakke LED version 3.0.

Tog 2233 passerede højdebeliggenhedsfejlen i km 39,817 med ca. 155 km/t. Materiellet, som toget bestod af, var godkendt til en maksimum hastighed på 160 km/t. Hastighedsgrænsen for andre materieltyper var, på det pågældende sted, op til 180 km/t.

En afvigelse i sporets højderetning påvirker de lodrette kræfter på det rullende materiel. De lodrette kræfter Q er jf. EN14363 ikke relateret til sikkerhed, men påvirker Y/Q -forholdet, som er relateret til sikkerhed (Y er relateret til laterale (sideværts) kræfter).

En afvigelse i sporets højderetning vil ved/efter denne, give anledning til en hjulaflastning, hvorfor Q -værdien reduceres, mens Y/Q -forholdet for en given Y -værdi øges. Dette kan være sikkerhedskritisk og give anledning til en afsporing, som følge af, at hjulet ”klatrer” op og over skinnen.

For tog, der er testet 100 % jf. kravene i EN14363, er en afvigelse på 19 mm i højderetningen for bølgelængder $\lambda=3-25$ m ved en tilladelig hastighed på 180 km/h en væsentlig overskridelse af grænseværdien på 12 mm, som toget skal kunne klare ved en test uden at overskride de tilladelige sporkræfter jf. EN14363. Afvigelsen på 19 mm er tæt på sikkerhedsgrænsen på 20 mm jf. EN13848-5.

En afvigelse på 55 mm i højderetningen for bølgelængder $\lambda=25-70$ m ved en tilladelig hastighed på 180 km/h er en ekstrem afvigelse fra sikkerhedsgrænsen på 24 mm jf. BN1-38-6/EN13848-5, hvorfor afvigelsen har været yderst kritisk sikkerhedsmæssigt for den tilladelige hastighed på 180 km/t.

Toget, der passerede sporet ved hændelsen, er imidlertid ikke godkendt til kørsel med 180 km/t, men alene en hastighed på 160 km/t. Ved en hastighed på indtil 160 km/t betragtes normalt forekommende afvigelser i højderetningen $\lambda=25-70$ m ikke at være relateret til sikkerhed. I det konkrete tilfælde, hvor afvigelsen ikke kan betragtes som en normalt forekommende afvigelse i sporet, er det derfor ikke usandsynligt, at afvigelsen har haft betydning sikkerhedsmæssigt ved passage af det pågældende tog.

Jf. BN1-13-3, afsnit 12.1 skulle hulrummet imellem boringens diameter og de gennemtrukne rør (overcut) efterinjiceres med et fast materiale, hvis det var større end 25 mm. Ved denne ledningsgennemføring var overcutteret 103 mm (Reamer diameter 380 mm minus diameter på det ækvivalente rør, 277 mm. Se figur 1.). Det fremgik også af

Sikkerhedspakke LED version 3.0, at der skulle efterinjiceres med Dämmer e.lign., der havde mindst samme styrke som den omkringliggende jord iht. BN1-13-3, afsnit 12.1. Entreprenøren har oplyst, at der ikke blev efterinjiceret med fast materiale ved denne ledningsgennemføring.

Dette havde sandsynligvis ingen indflydelse på hændelsen, men det er en afvigelse ift. BN-13-3.

5 KONKLUSION

Da tog 2233 passerede stedet for den styrede underboring på strækning 1, km 39,817 imellem Roskilde og Viby Sj., havde sporet kort tid forinden hævet sig 55 mm i højderetningen for bølgelængder $\lambda=25-70$ m og 19 mm i højderetningen for bølgelængder $\lambda=3-25$ m.

Togets hastighed var ved passagen ca. 155 km/t og dette resulterede i en mulig fare for afsporing.

Faren var opstået, som følge af et blow-up, hvor boremudder havde presset sig ud af boretracéet og op i et jordlag under sporene. Dette skete sandsynligvis via et sted, hvor boringen passerede nært forbi et område, hvor jordlagene havde været opgravet ifm. etablering af dræn langs banens vest-side i 2022. Drænetableringen var ikke medtaget i vurderingen af rørgennemføringsprojektet, fordi det var en del af et samlet sporprojekt, som endnu ikke var afsluttet, hvorfor det geografiske sammenfald imellem projekterne ikke blev identificeret. Dermed kunne en fyldestgørende risikostyring ikke gennemføres.

Rørgennemføringsprojektet havde identificeret en fare for fejl i sporets højderetning, hvor årsagen var hævnning af sporet, som følge af at boremuddertryk kunne presse jordlag op imod sporene. Faren blev ikke kvantificeret (angivet som en målbar størrelse, der kunne jævnføres direkte med grænseværdierne i BN1-38-6, afsnit 11.3.2), og indgik derfor ikke i vurderingen af, om projektet skulle gennemføres med spor i drift, med eller uden hastighedsbegrænsning for de passerende tog eller i sporspærring.

Da det var muligt at gennemføre projektet med spor i drift, skulle der iflg. BN1-13-3 og BN1-38-6 være en uddannet og bemyndiget sporsagkyndig/sportekniker til stede for at overvåge sporene under arbejdets udførelse. Denne skulle standse arbejdet og evt. også toggangen, hvis der forekom afvigelser, som kunne påvirke jernbanesikkerheden. Dermed ansås faren for håndteret og risikoen som acceptabel.

Den sporsagkyndige, som var tilknyttet projektet, havde gennemgået uddannelsen Sporteknik del 1 og del 2 i 2017. Den daværende uddannelse indeholdt ikke forhold omkring overvågning af spor i drift ifm. styret underboring. Sporsagkyndiges risikoforståelse var derfor alene baseret på egne erfaringer.

Havarikommissionen vurderer, at Sporsagkyndig havde opfattelsen af, at der ikke længere var fare for jernbanesikkerheden, da reameren ikke arbejdede under sporet, men derimod ca. 20-30 m fra nærmeste skinne, og gennemtrækningen var næsten gennemført. Derfor inspicerede han sporene visuelt en sidste gang og gik herefter op til boremaskinen.

Ved visuel overvågning af spor i drift ifm. en opgravningsfri ledningsetablering under sporene, ville en sporsagkyndig, dels skulle opholde sig et sted uden for sporets sikkerhedsafstand, og dels kunne reagere, hvis en sporbeliggenhedsfejl på ned til 3 mm i højden opstod. Havarikommissionen vurderer, at der ikke er sikkerhed for, at et menneske kan registrere små sporbeliggenhedsfejl på en sådan afstand. Større sporbeliggenhedsfejl, som ville kræve en standsning af trafikken, ville nok kunne observeres, men der er ingen sikkerhed for at den sporsagkyndige ville kunne nå at standse tog, som allerede var på vej.

6 ALLEREDE TRUFNE FORANSTALTNINGER

Havarikommissionen modtog Banedanmarks egen undersøgelsesrapport d. 17-01-2024. Af denne fremgik seks besluttede tiltag. (Uddrag af rapport ”Hændelse ifm. en styret underboring ml. Roskilde og Viby Sjælland d. 28. februar 2023”):

- Tiltag 1: Infrastruktur undersøger muligheden for at indkøbe og benytte teknisk udstyr med f.eks. en alarm-funktion, som kan detektere jordforskydninger ifm. underboringer af banen.
 - Udstyret skal vurderes ift. bl.a. pris, krav til uddannelse, tilgængelighed osv.
 - Kun hvis dette repræsenterer en positiv business case, skal Banedanmark indkøbe og benytte udstyret.
- Tiltag 2: Infrastruktur undersøger, hvordan det kan indskræpes, at sporteknikerens rolle i forbindelse med bl.a. styrede underboringer fremgår af afsnit 13.3 i BN1-38-6.
- Tiltag 3: Infrastruktur opretter i samarbejde med HR et kort og obligatorisk kursus for sporsagkyndige for udførelse af en styret underboring.
- Tiltag 4: Infrastruktur sikrer, i samarbejde med Kvalitet & Sikkerhed, at det forankres i en proces, at der ved underboringer af banen skal være et øget fokus på afvanding, dvs. beliggenhed af dræn, brønde, ledninger m.m.
 - Hvis et ledningskrydsningsprojekt ikke har medtaget afvanding som grænseflade, skal faglig ledelse derfor have særligt fokus på at afklare lokationen ifm. projektering eller tilsyn på strækningen. Dermed kan det afklares, om de faktuelle forhold svarer til det, der projekteres med. Dette er særligt relevant, hvor banen ligger i afgravning, ved broer og hvor der er nyanlæg.
 - Der kan stilles krav om, at lokationen skal være besigtiget ifm. projektering, fordi der udføres mange projekter på strækningerne. Det kan et strækningskendskab alene -muligvis - ikke tage højde for.
 - Der skal også fra Banedanmarks Anlægsdivision være fokus på en bedre overlevering af dokumentation fra divisionen til Infrastrukturdivisionen om udførte ændringer i infrastrukturen – via f.eks. TekDok, BaneGIS eller i centrale BIM-modeller.
- Tiltag 5: Kvalitet & Sikkerhed skal, i samarbejde med Infrastruktur og Trafik, undersøge, om der kan skabes mere sikre forhold for styrede underboringer. I den forbindelse skal der tages stilling til:
 - Om hastigheden maksimalt må være 80 km/t, imens en underboring foregår.
 - Eller om der kan indføres en anden form for hastighedsrestriktion på baggrund af benchmarking med styrede underboringer i lande, som vi i Danmark normalt sammenligner os med.
 - Om styrede underboringer kun må foretages om natten, hvor passagertrafikken er minimal (og en hastighedsnedsættelse derfor har mindst mulige konsekvenser for trafikken).
 - Om styrede underboringer kun må foretages i en sporspærring.
- Tiltag 6: CSM-skabelonen til risikovurdering af styrede underboringer skal opdateres af Anlæg, så risiko for ”blow up” altid fremgår som noget, man skal forholde sig til. Det skal vurderes, om det bedst gøres ved at tilføje risikoen til det centrale fareregister.

7 ANBEFALINGER

Havarikommissionen har givet en anbefaling:

Banedanmarks godkendelse af den pågældende styrede underboring blev givet på baggrund af den risikostyring af den styrede underboring, der var beskrevet i dokumentet ”Sikkerhedspakke LED version 3.0”. Banedanmark har ikke i risikostyringen – og dermed ikke i godkendelsen - af den styrede underboring

- taget grænsefladen til sporprojektet Roskilde - Ringsted i betragtning som forudsætning til risikovurderingen.
- angivet faren ved sporbeliggenhedsfejl, som følge af blow-up, som en målbar størrelse (kvantificering), der kunne jævnføres direkte med grænseværdierne i BN1-38-6, afsnit 11.3.2, hvormed tilstrækkelige trafikale restriktioner kunne indføres.
- erkendt, at visuel overvågning af underboringen i praksis ikke sikrede, at sporbeliggenhedsfejl blev identificeret og indmeldt i tide til, at trafikale restriktioner kunne foretages, så risikoen ved sporbeliggenhedsfejlen blev mitigeret.

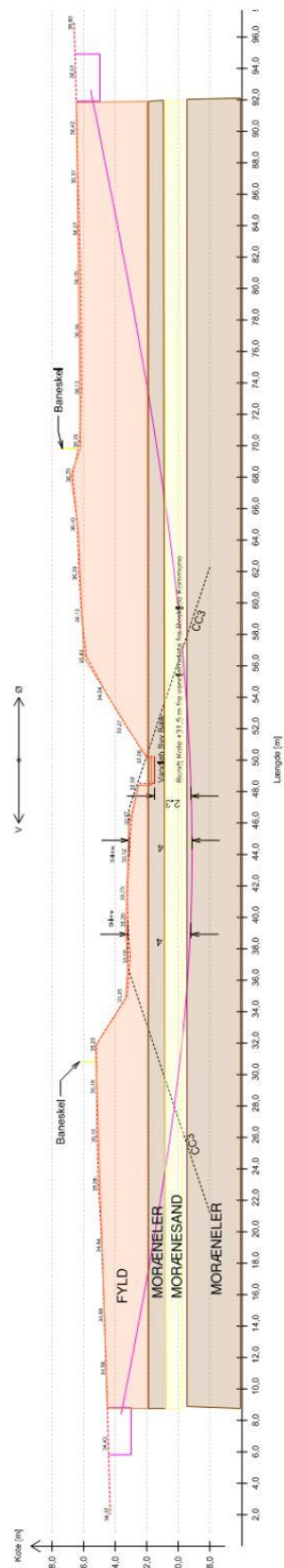
DK-2024 R1

Havarikommissionen anbefaler, at Trafikstyrelsen sikrer, at Banedanmark gennem risikostyring af aktiviteten styrede underboringer, under hensyntagen til menneskelige faktorer, indfører tilstrækkelige og effektive proaktive og/eller reaktive barrierer til, at risikoen ved sporbeliggenhedsfejl som følge af sådanne aktiviteter reduceres til et acceptabelt niveau.

8 BILAG

8.1 Tværsnit som viser banegrav og boretracé

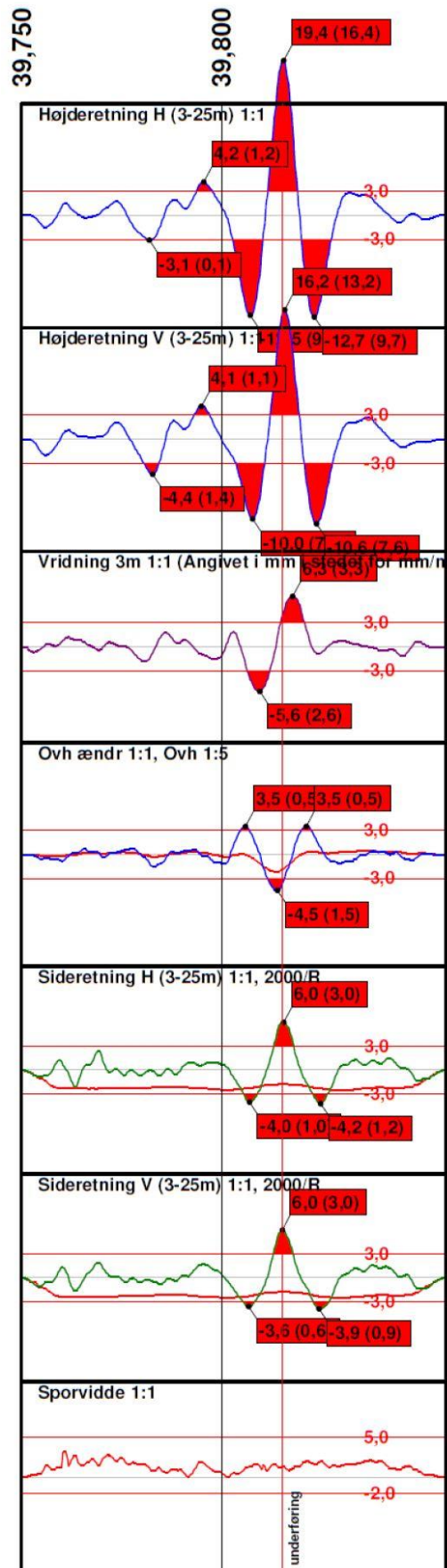
Kilde: Banedanmark, Sikkerhedspakke LED version 3.0.



8.2 Sporets relative beliggenhed

Højre spor, km 39,8, data vedr. sporets relative beliggenhed målt med måletrolje Krab efter hændelsen.

Kilde: Banedanmark.



8.3 BN1-38-6, afsnit 11.3.2



11.3.2 Normer for punktfejl ved anvendelse af målevogn/-dræsine

Tabel 11.3.2-1. Normer for punktfejl vedr. overhøjde og vridning, ved anvendelse af målevogn/-dræsine

Kvalitetsklasse	Hastighed [Km/h]	Overhøjdens afvigelse ⁰⁾		Absolut overhøjde		Vridning målebæse																
		Projekteret til spids ⁰⁾ [mm]		0-linje til spids [mm]		1,5 m / 2 m		2,5 m / 3 m		6 m		9 m		12 m		15 m						
		0-linje til spids ⁰⁾ [mm]		0-linje til spids [mm]		Fejlklasser		Fejlklasser		Fejlklasser		Fejlklasser		Fejlklasser		Fejlklasser						
		0	1	3 ⁰⁾	4 ⁰⁾	4	Max	4	Max	0 ²⁾	1 ²⁾	3	4	Max	4	Max	4	Max	4	Max	4	Max
A1	200<V≤250	2	3	6	8	1)	1)	4,5	7,0	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0	3,0	5,0	2,8	4,8	2,8	4,4	2,8	4,0
A	160<V≤200	2	3	6	8	177/	180/	4,5	3)	1,0	1,0	3,0	4,0	3)	3)	3)	3)	3)	3)	3)	3)	3)
B	120<V≤160	3	4	6	9	187	190	4,5	6,0/	1,0	1,5	3,0	4,0	6,0/	3,0	4,0/	2,8	3,3/	2,8	3,0/	2,8	3,0/
C	80<V≤120	3	4	8	11			4,5	7,0	1,0	1,5	3,0	4,0	7,0		5,5		4,8		4,4		4,0
D	40<V≤80	3	5	10	13			4,5		1,5	1,5	3,0	4,0									
E	V≤40	3	5	10	15			4,5		1,5	1,5	3,0	4,0									
S		3	5	10	15			4,5		1,5	1,5	3,0	4,0									

- 0: For fejlklasser 3 og 4 er der tale om overhøjdens ujævnhed, hvor grænseværdien er gældende fra middellinje til spids.
- 1: Førstnævnte værdi gælder for godsbaner og baner med blandet trafik, mens sidstnævnte gælder for baner reserveret for passagertrafik.
- 2: For fejlklasser 0 og 1 er grænseværdien gældende fra middellinje til spids. For fejlklasser 0 og 1 er værdien dog 2,0 mm/m ved sporskifters krydsning.
- 3: Førstnævnte værdi gælder for kurver, hvor $h > (R-100)/2$, mens sidstnævnte gælder i øvrige tilfælde. For yderligere vejledning henvises til afsnit 17.

Tabel 11.3.2-2. Normer for punktfejl vedr. højde-, sideretning og sporvidde, ved anvendelse af målevogn/-dræsine

Kvalitetsklasse	Hastighed [Km/h]	Højderetning ⁷⁾ λ=3-25 m					Sideretning ⁷⁾ λ=3-25 m					Højderetning & Sideretning λ=25-70m					Sporvidde Punktfejl ¹¹⁾					Sporvidde midt over 100 m	
		Middellinje til spids [mm]					Middellinje til spids [mm]					Middellinje til spids [mm]					1435 ^{5,10)} til spids [mm]					1435 til spids [mm]	
		Fejlklasser					Fejlklasser					Fejlklasser					Fejlklasser					Fejlklasser	
		0	1	3	4	Max	0 ⁴⁾	1 ⁴⁾	3 ⁴⁾	4 ⁴⁾	Max ⁴⁾	3	4	Max	0	1	3	4	Max/Min	3	Min		
A1	200<V≤250	2,0x	3,0x	6x	7x	10x	2,0y	3,0y	4y	6y	8y	10	12	14	±2	+4/-2	+10/-3	+15/-3	+28/-5	-2 ⁶⁾	-2 ⁶⁾		
A	160<V≤200	2,0x	3,0x	6x	8x	12x	2,0y	3,0y	5y	7y	9y	11	16	18	±2	+5/-2 ⁹⁾	+12/-5	+20/-5	+28/-7	-5	-5		
B	120<V≤160	3,0x	3,5x	7x	9x	13x	2,0y	3,5y	6y	8y	10y	11			±2	+5/-2 ⁹⁾	+15/-6	+25/-6	+35/-8	-5	-5		
C	80<V≤120	3,0x	3,5x	8x	10x	16x	2,0y	3,5y	7y	9y	13y	12			±3	+5/-3	+15/-7	+25/-7	+35/-9	-5	-5		
D	40<V≤80	4,0x	5,0x	10x	12x	21x	3,5y	5,0y	13y	13y	18y	15			±3	+7/-3	+20/-7	+30/-7	+35/-9	-5	-5		
E	V≤40	4,0x	5,0x	10x	15x	31x	3,5y	5,0y	17y	17y	25y ⁵⁾				±3	+7/-3	+20/-7	+30/-7	+35/-9				
S		4,0x	5,0x	10x	15x	31x	3,5y	5,0y	17y	17y	25y ⁵⁾				±3	+7/-3	+25/-7	+30/-7	+35/-9				

- 4: I FAKOP-sporskifter gælder, at værdien er 6,5y i fejlkl. 0 og 1, mens værdien er 8y, 8y og 9y i hhv. fejlkl. 3, 4 og Max for hastighedsintervallet 160<V≤250 km/h.
- 5: I kurver med radius R < 190 m skal plus-tolerancerne i fejlklasse 0 og 1 samt minus-tolerancerne i alle fejlklasser ses i forhold til en sporvidde på 1435 mm plus tillæg som følge af sporudvidelse i henhold til Sporregler 1987 [9]. Plus-tolerancerne i fejlklasse 3, 4 og Max skal dog altid ses i forhold til 1435 mm.
- 6: Værdien er gældende for hastighedsintervallet 230 < V ≤ 250 km/h. For hastighedsintervallet 200 < V ≤ 230 km/h er værdien - 3.
- 7: Med hensyn til størrelsen af korrektionsfaktorerne x og y henvises til afsnit 11.2.
- 8: Værdien er alene gældende for spor, hvor elementlængden af ret spor/curve er λ > 25 m.
- 9: For to-blok betonsveller af typen Rs og Sl (men ikke S75) er værdien - 3 mm.
- 10: På ret spor og i kurver med radius R ≥ 190 m gælder for en projekteret sporvidde på 1437 mm, at værdierne i fejlklasse 0 og 1 skal ses i forhold til 1437 mm.
- 11: For sporviddevariation målt fra spids til spids over 10 meter gælder, at indgrebsgrænsen i fejlklasse 3 er 12 mm uanset kvalitetsklasse.