


INTERN

RAPPORT

Undersøkelse av uønsket hendelse

Stengning av Follobanen 19.12.2022

Denne undersøkelsesrapporten er utarbeidet i den hensikt å skape organisatorisk læring for Bane NOR. Rapporten er ikke ment for å fordele skyld og ansvar, men søker å avdekke hva som har skjedd og årsakene som ligger bak. Formålet med denne rapporten er utelukkende læring. Rapporten er et organinternt dokument, og skal ikke sendes ut av Bane NOR. (Unntatt offentligheten i henhold til Offentleglova §14).

00	Ferdigstilt rapport	27.04.2023	Øyvind Teige Heidenstrøm, UA-enheten
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarbeidet av (fullt navn)
Sted / prosjekt: Follobanen/Follobaneprosjektet Type hendelse: Ulykke Faktisk konsekvenskategori: 1 Potensiell konsekvenskategori: 1 Synergirnr.: 679911		Ant. sider	
			Rev. 00

Sammendrag

Den 19. desember 2022 oppstår en kortslutning og termisk varmgang i en autotransformatorkabel i Blixtunnelen på Follobanen. Tekniske undersøkelser konkluderer med at det var flere faktorer som bidro til varmgang i kabelskjermene til strømforsyningskablene mellom Blixtunnelen og koblingshuset nord for Ski stasjon. Dette skjedde ved to tilfeller; i drift den 19. og ved testing den 23. desember. Feilen førte til at Follobanen måtte stenge, og måtte gjennom et omfattende feilsøking- og feilrettingsarbeid.

Sannsynligvis har fukt i skjøten mellom to av de innvendige betongelementene ført til vanddrypp fra tunneltaket ned på en isolator i anlegget for togenes kjørestrom. Det var en reaksjon mellom vann og tilbakefyllingsmassen som ble sprøytet inn for å fylle hulrommet mellom betongelementene, som gjorde vannet alkalisk, og når vanddråpene tørker blir salt liggende igjen på isolatoren. Fordi salt leder strøm, har dette ført til overslag og lysbue over isolatoren. Vernet vil i slike tilfeller koble ut strømmen og deretter automatisk forsøke å koble strømmen inn igjen. Ved slik gjeninnkobling reduseres nedetiden ved mange forbigående kortslutninger, for eksempel overslag.

Dryppene har trolig utviklet seg over tid og gjentatt seg flere ganger. Hverken dryppene eller kortslutningene har vært fanget opp i perioden banen var i drift. Den 19. desember, har anlegget ikke lenger tålt påkjeningene fra disse kortslutningene.

Påkjeningene fra kortslutningene har så langt en kan se vært innenfor det anlegget skulle være dimensjonert for og det som anlegget ville tålt dersom det var utført hensiktsmessig. Påkjeningene har likevel vært større enn nødvendig på grunn av svakheter ved feilklareringen (kortslutningsvernene):

- Manglende aktivering av momentant overstrømsvern for autotransformatorsystemet har ført til noe lenger utkoblingstid enn forventet.
- Manglende normal utkobling av effektbryter har ved ett tilfelle aktivert backupløsninger som har lenger utkoblingstid.
- Manglende deteksjon av kortslutningene før innkobling av effektbryter har ført til unødvendige direkte innkoblinger.
- Manglende eller feil overføring av driftsinformasjon til leder for kobling har ført til unødvendig mange gjeninnkoblinger i forbindelse med feilsøking.

Når det likevel oppstod brann i anleggene skyldes det elektrisk varmgang i skjermen til strømforsyningskablene. Den metalliske kabelskjermen har til oppgave å beskytte kabelisolasjonen mekanisk, elektrisk og kjemisk. Strømmen til togene i selve kablederen setter opp et magnetfelt, og siden skjermen er metallisk påvirkes denne etter Faradays induksjonslov. Det gir en strøm i skjermen dersom den er koblet til jord i begge ender. Jording i begge ender er tillatt i henhold til Teknisk Regelverk.

Det er undersøkelsesgruppens vurdering at den direkte årsaken til den stoppende feilen på Follobanen anses som elektrisk varmgang i kabelskjøter som ble gjort synlig ved overslaget på isolatoren. Det er usikkert om en lengre testperiode før åpning ville ha avdekket svakheten i skjøtene. Hvis det ikke oppstod en vannlekkasje som førte til overslag mener undersøkelsesgruppen at banen kunne vært i drift lenge, om ikke år, før svakheten i skjøtene ville skapt utfordringer. Undersøkelsen anser mangler i utførelse av skjøter og endeavslutninger, samt drypp over isolator de utløsende årsakene, med videre årsaker innen kvalitetskontroll og kompetanse.

Undersøkelsen har også sett på andre funn som ikke nødvendigvis kan knyttes til de direkte årsakene, men kan bidra til læring for fremtidige prosjektgjennomføringer. Herunder kontraktsform, ferdigstillelse av prosjekt, samhandling mellom prosjekt og drift, og viktigheten av et godt testregime. Undersøkelsen viser også hvor viktig det er å ha tilstrekkelig tid til en systematisk overtagelse fra prosjekt til drift, og hvor driftsorganisasjonen involveres så tidlig som mulig i prosjektløpet og får opplæring og dokumentasjon slik at nye eller oppgraderte anlegg kan implementeres så sømløst som mulig med eksisterende infrastruktur.

Innhold

1. Om undersøkelsen og dokumentasjon	6
1.1. Mandat og formål	6
1.2. Organisering av undersøkelsen	6
1.3. Oppbygning av denne undersøkelsesrapporten	6
1.4. Avgrensninger	6
2. Hendelse og bakgrunn	7
2.1. Oversikt over hendelsene	7
3. Konsekvenser	8
3.1. Faktisk konsekvens	8
3.2. Potensiell konsekvens	9
4. Follobaneprosjektet	10
4.1. Prosjektorganisering og banestrekningen	10
5. Tidslinje for Follobaneprosjektet opp til åpning og etter	11
5.1. Overordnet tidslinje for Follobaneprosjektet tunnel opp til åpning av banen	11
5.2. Tidslinje etter åpning av Follobanen frem til gjenåpning	13
6. Overordnede tekniske konklusjoner fra feilsøking og feilretting	14
6.1. Beskrivelse av sannsynlig hendelsesforløp	15
6.1.1. Kraftkablene	15
6.2. Kabler, skjøting og endeavslutninger	15
6.2.1. Kortslutningen i tunnelen	17
6.3. Drypp fra tak og overslag på isolator	17
6.3.1. Kortslutningsvern og kontrollanlegg	19
6.4. Vern og elkraftsentralens håndtering av vernutkobling og alarmer	20
6.4.1. Linjetest før automatisk innkobling	20
6.4.2. Forsinket utkobling av vern	21
7. Gjennomførte undersøkelser vedrørende de tekniske årsakene	22
7.1. Ulike oppfatninger av hva som er ønsket eller tilfredsstillende jernbaneteknisk anlegg	22
7.1.1. Kontaktledningsanlegg	22
7.1.2. Delprosjektets oppfølging av mulige utfordringer med valgt jordingsløsning og «Norconsult-rapporten»	22
7.2. Teknisk Regelverk og kabler	24
7.2.1. Vurdering	25
7.3. Vannlekkasjer i tunnel	26
7.3.1. Vurdering	27
7.4. Feilsøking og gjentatte innkoblinger	27

7.5. Delkonklusjon på direkte årsaker _____	29
8. Andre funn til generell læring ved prosjektgjennomføringer _____	30
9. Kontraktform og forhold til entreprenør _____	30
9.1. Totalentreprise og kontraktstrategi for Follobanen-prosjektet _____	30
9.2. Utdringer med jernbaneteknikk hos totalentreprenør _____	30
9.3. Samarbeid og samhandling med totalentreprenør _____	31
9.4. Follobanens usikkerhet- og risikostyring _____	32
9.5. Konklusjon delkapittel kontrakt _____	32
10. Ferdigstillelse _____	32
10.1. Åpningsdato _____	33
10.2. Prioritering av omdømme og tid _____	33
10.3. Testperiode – utførelse, vurderinger og krav _____	34
11. Rolle og grensnitt, Utbygging og Drift og Teknologi _____	36
11.1. Banesjefens organisasjon (Drift og Teknologi) _____	36
11.2. Bane NORs krav til idriftsetting- og overleveringsfase _____	37
11.2.1. Oppstart _____	38
11.2.2. Planlegge _____	38
11.2.3. Gjennomføre _____	39
12. Idriftsetting og overlevering av Blixtunnelen til Driftsorganisasjonen _____	39
12.1. Initiativer i planleggingsfasen _____	40
12.2. Gjennomføringsfasen av delprosjekt TBM (STY-604954) _____	41
12.2.1. Driftsorganisasjonen og Spordrifts bekymringer _____	42
12.2.2. Driftskritisk dokumentasjon _____	42
12.2.3. Opplæring _____	43
12.2.4. Overvåkning og samhandling _____	43
12.3. Driftsorganisasjonens kapasitet _____	46
12.4. Overleveringsstrategi _____	46
12.5. Undersøkelsesgruppens vurdering av idriftsettings og overleveringsfasen _____	46
13. Konklusjon _____	47
13.1. Tekniske årsaker og direkte årsaker til at Follobanen måtte stenge _____	47
13.2. Andre funn i rapporten for forbedring ved fremtidige prosjektgjennomføringer _____	48
14. Anbefalte tiltak _____	50
14.1. Funn knyttet til utløsende årsak _____	50
14.1.1. Kabelskjøter og endeavslutninger som egne punkt i kvalitetsoppfølgingen _____	50
14.1.2. Formalisering av pålegg fra Driftsleder _____	51
14.1.3. Krav til testing av jernbaneinfrastruktur _____	51
14.1.4. Automatisk gjeninnkobling av strøm i tunnel _____	51
14.1.5. Sortering og håndtering av alarmer _____	52

14.2. Andre funn _____	52
14.2.1. Spesifisering av krav til overføring av anlegg til drift, STY-604954 _____	52
14.2.2. Bruk av Teknisk regelverk inn mot totalentrepriser og valg av løsninger _____	53
14.2.3. Overføring av kompetanse fra drift og vedlikeholdsorganisasjonen til prosjekt, og tilbake til drift og vedlikeholdsorganisasjon _____	53
14.3. Videre undersøkelser _____	54
14.3.1. Videre undersøkelser tilknyttet kontrakt og økonomiske vurderinger _____	54
14.3.2. Videre undersøkelser tilknyttet beredskap og mediehandtering _____	54
15. Vedlegg _____	55
15.1. Kortfattet grafisk årsaksanalyse _____	55
15.2. Beskrivelse av tekniske systemer _____	56
15.3. Gjennomførte intervjuer _____	59
15.4. Deltagere på sluttmøte _____	60
15.5. Oversikt over endringer i usikkerhetsanalysen (Risk) _____	62
15.5.1. Risk ID 9/42 og 0048 _____	62
15.5.2. Risk ID 301 _____	63
15.5.3. Risk ID 313 _____	64
15.5.4. Risk ID 341 _____	65
15.5.5. Risk ID 644 _____	65
15.5.6. Risk ID 596 _____	66
15.5.7. Risk ID 485 _____	66
15.5.8. Risk ID 701 _____	67
15.5.9. Risk ID 570 _____	67
15.5.10. Risk ID 876 _____	69

1. Om undersøkelsen og dokumentasjon

1.1. Mandat og formål

Hendelsen undersøkes i henhold til oppfølgingsmatrise i STY-604636. Undersøkelsen skal redegjøre for hendelsesforløp, direkte og bakenforliggende årsaker, og fremsette anbefalte tiltak basert på undersøkelsen.

Hensikten med undersøkelsen er å finne læringspunkter og anbefalte tiltak for Bane NOR, som skal bidra til å hindre at lignende hendelser skal kunne skje igjen. Undersøkelsesarbeidet skal ene og alene bidra til læring og forbedring, og en åpen og god sikkerhetskultur. Arbeidet og sluttrapport er ikke ment for å fordele skyld og ansvar. Fokus i rapporten og alle funn og tiltak skal være rettet mot organisasjon og systemer – ikke personer.

1.2. Organisering av undersøkelsen

Denne undersøkelsen legger til grunn de tekniske undersøkelsene gjennomført av Follobanens gruppe for feilsøking og feilretting dokumentert i «Follobaneprosjektet, Teknisk årsaksresonnement etter stoppende feil i strømforsyningen 19. og 23. desember» (Dok.nr: UOS-00-A-91196, Rev.: 01E, Dato: 27.02.2023), heretter referert til som Teknisk Årsaksresonnement. Undersøkelsesgruppen har gjennomgått rapportens vurderinger og konklusjoner sammen med involverte fagpersoner og benytter rapporten som utgangspunkt for den videre organisatoriske undersøkelsen.

Undersøkelsen er gjennomført av Bane NORs Undersøkelse og Analyseenheter, og baserer seg i hovedsak på intervju og dokumentgjennomgang.

1.3. Oppbygning av denne undersøkelsesrapporten

Denne undersøkelsesrapporten vil gi kort informasjon om Follobaneprosjektet, relevante tidslinjer og faktiske- og potensielle konsekvenser. Rapporten oppsummerer deretter de tekniske hovedtemaene som Teknisk årsaksresonnement for å gi en grunnleggende forståelse for videre undersøkelser. Et årsakstre er lagt ved i vedlegg som en oppsummert grafisk oversikt, men er ikke uttømmende (se vedlegg 15.1). Det anbefales å lese Teknisk årsaksresonnement før denne rapporten.

1.4. Avgrensninger

Denne undersøkelsesarbeidet gjennomføres på 30 dager, og medfører at undersøkelsen må prioritere hvilke deler av hendelsen som skal undersøkes. Undersøkelsesgruppen tar derfor utgangspunkt hovedårsakene til den stoppende feilen som presenteres i Teknisk årsaksresonnement og undersøker videre fra disse. Det er ikke innhentet egen fagekspertise for å gjennomgå funn og vurderinger i Teknisk årsaksresonnement eller gjennomført egne undersøkelser og målinger av komponenter som er presentert i rapporten. Undersøkelsesgruppen går grunnet tid heller ikke i detalj på beredskapshåndteringen av hendelsen etter at Follobanen måtte stenge 19. desember, eller Bane NORs håndtering av mediaoppmerksomheten det resulterte i. De økonomiske vurderingene og tilleggsavtalene som har forekommet i løpet av prosjektgjennomføringen blir heller ikke gjennomgått i denne rapporten. Det ligger tiltak i slutten av rapporten som anbefaler videre undersøkelser innen disse temaene.

2. Hendelse og bakgrunn

Follobanen består av to enkeltsporede jernbanetunneler (Blixtunnelen) mellom Oslo og Ski. Den ble åpnet for ordinær trafikk 11. desember 2022. 19. desember 2022 brøt det ut brann i strømforsyningsanlegget og banen ble deretter stengt. Anlegget ble utbedret, men under testkjøring 23. desember brøt det ut ny brann. Banen ble igjen åpnet for ordinær trafikk 05.03.2023.

2.1. Oversikt over hendelsene

Tabell 1 Oversikt over hendelser som medførte stoppende feil i Blixtunnelen

Dato	Hendelse	Beskrivelse
15 – 23.12.2022 (Observasjoner gjort i etterkant, med uvisst tidspunkt)	Kortslutning(er)	<ul style="list-style-type: none">Lysbumerker på hengemast, isolator og tak i tunnelen spor Ski-OsloDelvis splintret bæreline i kontaktledning i tunnelen spor Ski-OsloAvskalling og nedfall av betongbiter (opptil 1 kg) fra tunneltaket spor Ski-OsloBrent endeavslutning i Ski koblingshus på kraftkabel til sporet Ski-Oslo
19.12.2022	Brann	<ul style="list-style-type: none">Brent endeavslutning i Ski koblingshus på kraftkabel til sporet Ski-OsloBrent kabelskjøt på kraftkabel mellom Ski koblingshus og sporet Ski-OsloBrente endeavslutninger i teknisk rom 53 på kraftkabler fra Ski koblingshusSmeltede utjevningforbindelse til manøvermaskin for kabelendebrytere i teknisk rom 53
23.12.2022	Brann	<ul style="list-style-type: none">Brent ny-montert kabelskjøt i Ski koblingshus på kraftkabel til sporet Ski-Oslo



Figur 1: Bilde fra Teknisk Årsaksresonnement

3. Konsekvenser

Konsekvensene er kategorisert etter STY-604636 «Håndtering av avvik og uønskede hendelser – konsernprosedyre». Konsekvensene er vurdert på forholdene rundt og stenging av Follobanen, og ikke begrenset til skader etter brannen 19.12.2022.

3.1. Faktisk konsekvens

Tabell 2: Oversikt over faktiske konsekvenser

Person	Miljø	Materiell skade/ kostnad/ tap	Stans i togtrafikken	Omdømme
Egne ansatte, innleide, entreprenører, passasjerer, 3. person	Forurensning, naturverdier, kulturminner, dyrepåkjørsler, støy	Rullende materiell, infrastruktur, bygninger, normalisering		Media, reisende, myndigheter, togselskaper
Ingen skader	Ingen skader	1. Svært alvorlig > 20 mill NOK	1. Svært alvorlig > 30 dager	1. Svært alvorlig Massiv omdømmeskade og uopprettelig tillitssvikt rammer Bane NORs ledelse og/eller styre

Person

Det er ikke rapportert om personskader som følge av hendelsene 19.-23. desember. En ansatt fra delprosjektet var på vei inn i koblingshuset på Ski da det var røykutvikling i rommet, men har ikke rapportert om skader i ettertid.

Miljø

Det er ikke registrert skade på miljøet som følge av hendelsen

Materiell skade/ kostnad/ tap

Teknisk Årsaksresonnement gir en detaljert oversikt over de materielle skadene i Blix tunnelen og tilliggende infrastruktur. Oppsummert var det større skader på jernbaneteknisk infrastruktur, primært strømforsyningsanlegg. Herunder brente endeavslutninger og kabelskjøter, samt smeltede utjevningforbindelser i Ski koblingshus, kabelføringer og teknisk rom 53. I tillegg ble det observert lysbumerket og delvis splintret bæreline ved kontaktleddningsanlegg, og litt avskalling av betong fra tunneltak.

Det er foreløpig beregning at feilsøkingen og feilrettingen har kostet rundt 80 millioner kroner. Denne summen inkluderer ikke samfunnsmessige kostnader.

Stans i togtrafikken

Follobanen var stengt i 76 dager fra 19.desember 2022 til 05.mars 2023. Trafikken kunne fortsatt gå på Østfoldbanen.

Omdømme

Stengningen av Follobanen og de påfølgende forsinkelsene og ulempene for passasjerene har ført til en massiv omdømmeskade for Bane NOR. Hendelsen har utfordret selskapets omdømme som pålitelig og effektiv infrastrukturleverandør og har ført til en tillitssvikt fra samfunnet mot både Bane NOR og ledelsen.

3.2. Potensiell konsekvens

Tabell 3: Oversikt over potensielle konsekvenser

Person	Miljø	Materiell skade/ kostnad/ tap	Stans i togtrafikken	Omdømme
Egne ansatte, innleide, entreprenører, passasjerer, 3. person	Forurensning, naturverdier, kulturminner, dyrepåkjørsler, støy	Rullende materiell, infrastruktur, bygninger, normalisering		Media, reisende, myndigheter, togselskaper
4. Lav <i>Mindre alvorlig personskade Fravær i dager Medisinsk behandling eller tilrettelagt arbeid</i>	5. Ubetydelig <i>Forurensning eller skade på miljøverdier har skjedd, men er ikke/minimalt synlig. Kan ikke påvises i resipient</i>	1. Svært alvorlig <i>> 20 mill NOK</i>	1. Svært alvorlig <i>> 30 dager</i>	1. Svært alvorlig <i>Massiv omdømmeskade og uopprettelig tillitssvikt rammer Bane NORs ledelse og/eller styre</i>

Det er undersøkelsesgruppens vurdering at skadepotensialet i stor grad har inntruffet. Skadepotensialet for person er vurdert som lav, men ikke ubetydelig, da det ved røykutvikling og brann kan være fare for inhalering av røyk og sot. Det vurderes også at skadepotensialet for miljø er ubetydelig, men ikke fraværende, da sot og røyk fra koblingshuset kunne ha spredd seg til omgivelsene. Koblingshuset inneholder SF₆-gass som kunne blitt sluppet ut i atmosfæren. Skadepotensialet for økonomi, stans i togtrafikken, samt omdømme har allerede nådd sin maksimale klassifisering. De økonomiske konsekvensene og stansen i togtrafikken kunne likevel blitt større og lengre hvis feilsøkingen og feilrettingsarbeidet tok lengre tid.

4. Follobaneprosjektet

4.1. Prosjektorganisering og banestrekningen

Follobaneprosjektet (FB) hadde som hensikt å bygge nytt dobbeltspor mellom Oslo S og Ski stasjon i to separate tunnellop. Den nye tunnelen muliggjør hastigheter opp til 250 km/t og halverer reisetiden mellom Ski og Oslo; fra 22 minutter til 11 minutter. Mesteparten av den nye banestrekningen går gjennom den nye Blix-tunnelen, som er ca. 20 km lang. I tillegg til Blix omfattet Follobaneprosjektet også ombygging og utbedring på Oslo S og Ski stasjon, samt grensesnittet mellom den nye tunnelen og de to endestasjonene. Prosjektet var organisert i fire ulike delprosjekter med ansvar for hver sin totalkontrakt:

Delprosjekt - Innføring Oslo S (IOS): en pakke bestående av utførelsesentrepriser og totalentrepriser med hensikt tilkoble ny Follobane og ombygd Østfoldbanen til sporområdet på Oslo S.

Delprosjekt– Blix-tunnelen (TBM):

- **Totalentreprise på Drill & Blast (D&B):** Opprinnelig eget delprosjekt med ansvaret for Follobanens tunneler innerst mot Oslo S. Tunneldriving utført med konvensjonell boring og sprengning. Etter fullført tunneldriving og underbygning ble område og personell overført til delprosjekt TBM hvor totalentreprenør Acciona Ghella Joint Venture (AGJV) hadde ansvaret for tunneldriving, underbygning og jernbaneteknikk (ikke inkl. signal). Med unntak av Kongshavntunnelen som ble overført til IOS for jernbaneteknikk.
- **Totalentreprise på tunnelborremaskin (TBM):** Delprosjekt omfattet tunneldriving utført av fire tunnelborremaskiner med riggområde på Åsland. Jernbaneteknikk er også inkludert i samme totalentreprise med AGJV som totalentreprenør. Delprosjektet omfattet bygging av om lag 18,5 km av Blix-tunnelen og en betydelig andel av den totale kostnaden for prosjektet.

Delprosjekt – Ski: Delprosjekt omfattet ombygging av eksisterende Østfoldbanen med nye tunnelportaler og forbindelsesspor. Ski stasjon ble også utvidet til seks spor og bygget om.

Delprosjekt – signal: Signalarbeider for hele den nye Follobanen-strekningen ble utført i et eget delprosjekt. Dette omfattet blant annet nytt elektronisk signalanlegg i Blix-tunnelen og arbeider med releanlegget i grensesnittet mellom Oslo S og Østfoldbanen/Blix. Delprosjektet ble utført gjennom 6 forskjellige utførelsesentrepriser og totalentreprise.

Tabell 4: Oversikt over kontrakter og delprosjekter

Totalkontrakt	Beskrivelse
Innføring Oslo S (IOS)	Innføring Oslo S ble opprinnelig lagt opp som egen totalkontrakt, men ble i stedet delt opp i fire pakker fordelt på både totalentrepriser og utførerentrepriser. Delprosjektet omfattet blant annet: <ul style="list-style-type: none"> - Grunn- og betongarbeider - Jernbaneteknikk og nye jernbanetekniske anlegg - Kabelkulvert i Haven
Drill & Blast (D&B)	Totalkontrakt for konvensjonell driving av tunneler i Ekebergåsen (D&B). <ul style="list-style-type: none"> - Tunnel for inngående Østfoldbanen, Follobane tunnelene og sportunnel. - JBT for delprosjektet ligger hos IOS. - Delprosjekt har grensesnitt mot IOS og Blixtunnelen
Tunnelboremaskin (TBM)	Totalkontrakt tunnelarbeider / tunnelborremaskin (TBM) <ul style="list-style-type: none"> - Den mest tids- og kostnadmessig krevende totalkontrakten - Kontrakten inkluderer underbygging og JBT, ekskludert signal
Ski-Langhus	Totalkontrakt Ski <ul style="list-style-type: none"> - Underbygging og omlegging av eksisterende Østfoldbane og nye godsspor. - Ny Ski stasjon - Jernbaneteknikk eks. signal
Signalkontrakter	Delprosjekt signal har omfattet 6 kontrakter fordelt på Ski, Blixtunnelen og IOS. Ski/tunnel: <ol style="list-style-type: none"> 1) Rådgiver – Rambøll (medgått tid) 2) Signalanlegg fra Thales (avrop på rammeavtale – fastpris/EPC) 3) Endringer på grensesnitt mot Østre linje – Bombardier/Alstom (medgått tid) IOS: <ol style="list-style-type: none"> 1) Rådgiver – Atkins (medgått tid) 2) Utførelse innvendig – Spordrift (medgått tid) 3) Utførelse utvendig – Infranord (medgått tid)

5. Tidslinje for Follobaneprosjektet opp til åpning og etter

5.1. Overordnet tidslinje for Follobaneprosjektet tunnel opp til åpning av banen

Tabell 5: Tidslinje for Follobaneprosjektet frem mot åpning

Hendelse dato	Beskrivelse
23. Mars 2015	Bane NOR og AGJV signerer kontrakt. AGJV skal utføre prosjektering, anskaffelse og bygging av EPC TBM for Follobaneprosjektet. Anlegget skal overleveres april 2021.
August 2017	Risiko for lekkasje i tunnelen grunnet dårlig utført tetting dukker opp i usikkerhetsregisteret til delprosjekt TBM. Prosjektet bestiller to eksterne studier for vurdering.
November 2017	Det blir besluttet å avholde møte med AGJV for å gjennomgå valg av metode for tetting

03. Mai 2019	Settlement Agreement 1 (SA1) avtalen signeres. AGJV får fristutsettelse for overlevering av anlegget. Ny frist er 06. juli 2021.
15. Januar 2021	Settlement Agreement 2 (SA2) avtalen signeres. AGJV får fristutsettelse for overlevering av anlegget. Ny frist er 01. september 2021.
Februar 2022	<p>Delprosjekt TBM kartlegger lekkasjer i tunnelanlegget. I flere områder blir omfanget av gjenværende lekkasjer vurdert til å være håndterbart med tanke på tetting fremover mot åpning av anlegget. I andre områder er omfanget av lekkasjer vesentlig mer omfattende.</p> <p>Delprosjektet instruerer AGJV om å tette de ca. 3500 lekkasjepunktene som ble identifisert. AGJV starter døgkontinuerlig arbeid med tetting av gjenværende lekkasjer.</p>
31. Mars 2022	AGJV får innvilget fristforlengelse fra 01.09.2021 til 25.11.2021. Dette var en retroaktiv endring for å justere kompensasjon.
13. April 2022	AGJV var forsinket som medførte at Thales Signal ikke fikk tilgang til tunnelen 01.09.2021. Bane NOR instruerte AGJV i <i>Variation Order (VO) 224 – Access and coordination for Thales</i> om å gi tilstrekkelig tilgang til tunnelen og kompenserte AGJV med å innvilge fristforlengelse. AGJV får innvilget fristforlengelse fra 25.11.2021 til 24.01.2022. Dette var en retroaktiv endring for å justere kompensasjon.
Mai 2022	Delprosjekt TBM identifiserer at ca. 2/3 av lekkasjepunktene i tunnelanlegget er tettet. Delprosjektet vurderer på dette tidspunktet at tilfredsstillende tetthet kan oppnås dersom AGJV fortsetter å tette anlegget til samme kvalitet.
02. September 2022	Amendement 8 avtalen signeres. Avtalen presenterer del-leveranse av tunnelanlegget 30. oktober 2022. AGJV får frem til 28. februar 2023 til å fullføre gjenstående arbeid som ikke er kritisk for togfremføring. AGJV får også fristforlengelse fra 24.01.2022 til 09.05.2022. Dette var en retroaktiv endring for å justere kompensasjon.
30. Oktober 2022	Del-leveranse: AGJV overleverer anlegget med gjenstående B-punkter (vurderes som Ikke driftskritiske av Follobaneprojektet)
27. November – 09. desember 2022	Testkjøring i Blixtunnelen
11. Desember 2022	<p>Follobanen åpner.</p> <p>Blixtunnelen overtas av Drift & Teknologi.</p>

5.2. Tidslinje etter åpning av Follobanen frem til gjenåpning

Tabell 6: Tidslinje for Follobanen frem mot gjenåpning

Hendelse dato	Beskrivelse
15. desember – 19 desember 2022	Tre utløsninger av kortslutningsvern for kontaktledningsanlegget i tunneløpet til spor Ski-Oslo som automatisk gjeninnkobles Dette ble ikke fanget opp eller håndtert av Elkraftsentralen.
19. desember 2022	Ny permanent utløsning av kortslutningsvern samme sted. Brann i endeavslutning for kabel Ski koblingshus, kabelskjøt i kabelkanal og endeavslutninger for kraftkabler i teknisk rom 53. Feilsøking foretatt av leder for kobling indikerer kortslutning nær Ski. Togdrift på Follobanen stanser.
19. desember – 22. desember	Identifisering og bytting av ødelagte skjøter og endeavslutninger. Tunnelen inspiseres og anlegget spenningssettes den 22. desember.
23. desember 2022	Foreløpig feilretting fullført, testkjøring begynner. Det oppstår en ny feil med påfølgende brann i kabelskjøt i Ski koblingshus. Anlegget frakobles. Teknisk Årsaksresonnement er åpen for to alternative hendelsesforløp, enten at kortslutningen i tunnelen oppstår på nytt eller at det er andre feil som slår inn. D&T ber om å overføre ansvaret for feilsøking og feilretting til Utbygging. Follobaneprosjektet overtar.
28. desember 2022	Det gjennomføres visuell kontroll av returkretsen mellom teknisk rom 53 og autotransformatorene i Ski koblingshus.
30. desember 2022	Kortslutningsstedet i negativ fase i tunnelen Ski-Oslo identifiseres.
02. januar 2023	Det blir avdekket kabelskjøter med varmgang på kraftkabel mellom Ski koblingshus og spor Oslo – Ski.
04. januar 2023	Det oppdages skadet endeavslutning på positivleder tilkoblet SKI-30-U1.
04. februar – 04 mars 2023	Blixtunnelen spenningssettes og testkjøring starter. Det gjennomføres i denne perioden også en omfattende korslutningstest.
05. mars 2023	Follobanen åpner.

6. Overordnede tekniske konklusjoner fra feilsøking og feilretting

Det gjengis her deler av teknisk årsaksresonnement for å gi en kortfattet rød tråd fra de tekniske årsakene og ut til de organisatoriske. Det anbefales å lese Teknisk Årsaksresonnement for en bedre og dypere forståelse av undersøkelsene og vurderingene som ble gjort under feilsøking- og feilrettingsarbeidet.

Rapporten fremmet at det sannsynligvis ikke er en enkelt hendelse som er årsak til brannene, men kombinasjonen av flere forhold. Blant annet faktorer som feilmontasje av skjøter, drypp av alkalisk vann og forsinket utkobling og gjentatte innkoblingen av kortslutningsvern. Rapporten presenterer følgende konklusjoner:

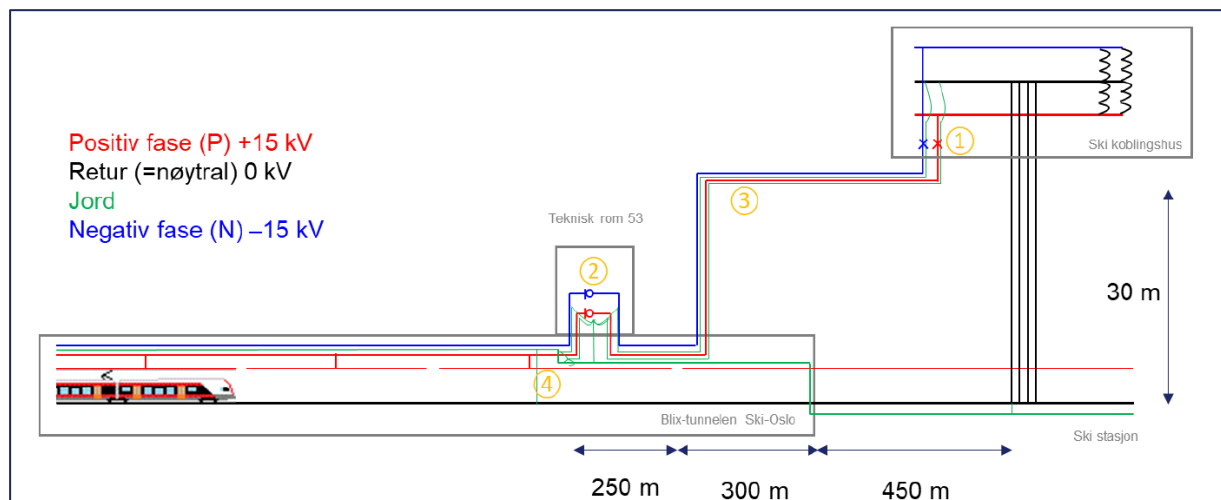
- **Kabelskjerm:** Valgt utjevning av kraftkablens skjerm i begge ender, valg av type utforming (lite kobbertrådtverrsnitt og halvledende lag mellom skjermtråder og vanninntrengningslaminat) og feilmontasje i skjøter (feil metode og utstyr) og endeavslutninger har gjort at kabelen er sårbar for elektrisk varmgang gjennom dårlig kontakt. Stram innfesting av kabelen kan ha forverret forholdene.
- **Kortslutninger:** Drypp av alkalisk vann fra tunneltaket har sannsynligvis direkte eller indirekte redusert holdfastheten til negativlederens isolator gjennom saltavsetning og ført til flere overslag med forbigående kortslutninger. Kortslutninger i elektriske anlegg er påregnelige påkjenninger.
- **Kortslutningsvern:** Kortslutningsvernene har gitt direkte innkobling, forsinket utkobling og gjentatte innkoblinger som kan ha ført til økt kortslutningsbelastning, spesielt for negativfasen. Belastningen har likevel ikke overskredet dimensjonerende belastning.

Det kan være at anlegget, til tross for utjevnet redusert kabelskjerm i begge ender og feilmontasje av skjøter og endemuffer tilsynelatende har tålt en eller flere kortslutninger, men anlegget har ikke tålt den lange utkoblingstiden for første gjeninnkobling 23. desember.

Kombinasjonen av kabelskjermens sårbare utførelse og kortslutningene på grunn av overslag over isolatoren har dermed ført til skade på kabelen og til slutt varig kortslutning. Feilklareringen og søkingen kan ha gitt ekstra påkjønning, men fremdeles innenfor det anlegget skal være dimensjonert for å tåle. Varmgang i kabelskjermen skyldes sannsynligvis dårlig elektrisk kontakt i skjøter og endeavslutninger.

Figur 2 nedenfor er hentet fra Bane NORs Teknisk Årsaksresonnement og viser oversikten over anlegget og hvor interessepunkter er nummerert.

1. Ski koblingshus; brent endeavslutning på kraftkabel til sporet Ski-Oslo
2. Teknisk rom 53; brente endeavslutninger på kraftkabler fra Ski koblingshus og smeltede utjevningforbindelser til manøvermaskin for kabelendebrytere
3. Brent kabelskjøt på kraftkabel mellom Ski koblingshus og sporet Ski-Oslo
4. Ute i tunnel hvor overslag oppstod over isolator



Figur 2: Oversikt over anlegget og interessepunkter

6.1. Beskrivelse av sannsynlig hendelsesforløp

6.1.1. Kraftkablene

Anlegget i Blix-tunnelen ble prosjektert og bygget med tosidig skjermutjevning. Det er kjent for Bane NOR at en slik utjevning resulterer i induisert strøm i kabelskjermen ved last- og kortslutningsstrøm i kabelens leder. Kabelen som benyttes har et halvledende/halvisolerende lag mellom skjermtråder og vanninntrengningslaminat. Denne kabelen er montert med tilfeldig skjermforbindelse over skjøtene og uten systematisk forbindelse av laminatet i skjøter og endeavslutninger. Under montering ble det benyttet feil montasjemetode og -utstyr, som reduserte skjermkapasitet og gjorde kabelen sårbar for elektrisk varmgang ved overføring av induisert strøm mellom aluminiumslaminat og kobbertråder.

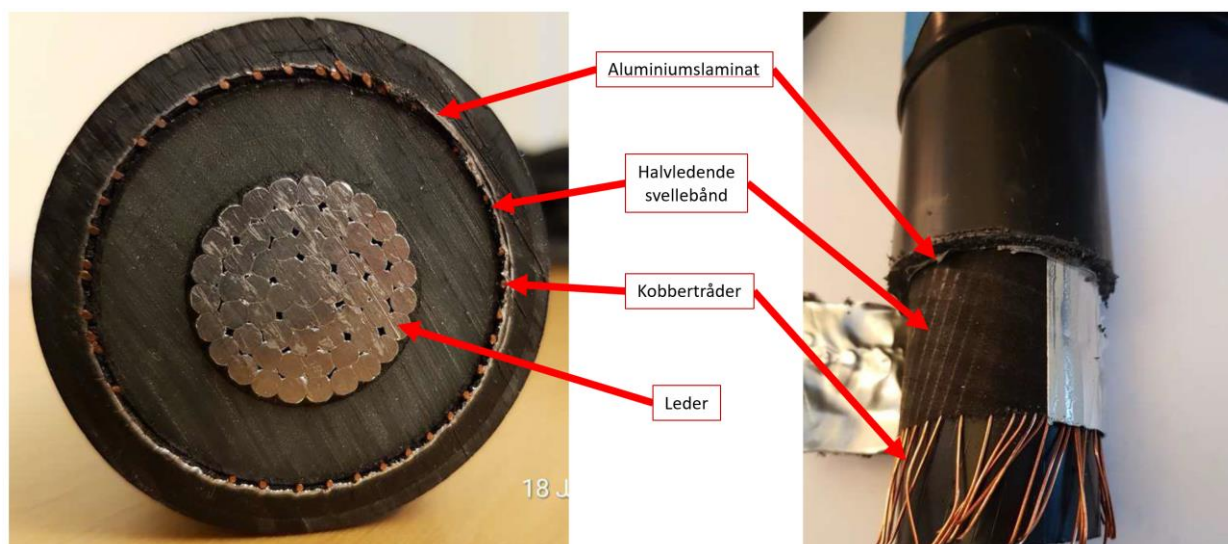
6.2. Kabler, skjøting og endeavslutninger

Det ble prosjektert med jording av skjerm i begge ender fordi totalentreprenøren mente det var anbefalt for lange kabler og mente det var vanskelig å estimere induisert spenning ved utisolering. Ulempen ved jordet skjerm i begge ender oppgis å være strøm i kabelskjermen bestående av en andel av returstrømmen og en mulig induisert strømkomponent som skyldes eksterne magnetfelt. Rapporten konkluderer med at temperaturstigning på grunn av laststrømmer er neglisjerbar og temperaturstigning ved kortslutning er akseptabel (Acciona Ghella Joint Venture rapport «Follobaneprosjektet – Utfordringer ved bruk av lange forsyningskabler», Follobaneprosjektet Blix-tunnelen UFB-30-A-65610). Prosjektet påpekte feil antagelser i rapporten og at anleggets termiske kapasitet ikke er tilstrekkelig dokumentert av AGJV.

Det er ikke funnet noe som skulle tilsi at prosjektert løsning med jording av skjerm i begge ender ikke ville fungere tilfredsstillende. Dimensjonering av kabler er også vurdert tilstrekkelig til å håndtere både driftsbelastning og belastning ved kortslutning lik den som anlegget erfarte mellom 16. og 19. desember 2022.

Varmgangen i kablene er attribuert til dårlig forbindelse mellom aluminiumslaminatet og kobbertrådene. Figuren ovenfor viser oversikt over kabelen. I kabelskjøtene var ikke aluminiumslaminatet tilstrekkelig håndtert, og førte til små kontaktpunkter hvor induisert strøm i aluminiumslaminatet (fra leder) gikk over kobbertrådene. Hvis dette kontaktpunktet er lite, øker det sannsynligheten for varmgang. Teknisk Årsaksresonnement konkluderer med at sammenkoblingen er gjort ved bruk av feil skjøtesett, som ikke håndterer laminatet. Det fantes heller ikke en rullefjær eller andre mekanisk sterkere klemforbindelser i

disse skjøtene som sikrer god elektrisk kontakt mellom skjermtråder og laminat. På en av kabelskjøtene har varmgangen ført til skade på selve kabelisolasjonen og senterlederen.



Figur 3: Bilder fra Teknisk årsaksresonnement, beskrivelser fra undersøkelsesgruppen. Viser plassering av komponentene i kabelen som det refereres til i tekst



Figur 4: Bildet er tatt av Sintef Energi AS og viser kabelen uten kappe, hvor det er synlige skader etter varmgang



Figur 5: Bildet er tatt av SINTEF Energi AS og viser ødelagt kabelisolasjon

I tillegg til skjøtene viste feilsøkingen at de brente endeavslutningene i teknisk rom 53 og ski koblingshus ikke var installert med god kontakt mellom skjermtråder og aluminiumslaminat. Minst en kabelinnfesting i Ski koblingshus hadde mulig for stram klamring, som kan gi et mekanisk trykk på kappen som fører til tilfeldig og udefinert elektrisk kontakt mellom kobbertråder og aluminiumslaminat gjennom svellebåndet som igjen kan gi varmgang.

6.2.1. Kortslutningen i tunnelen

Under feilsøking og feilrettingsarbeidet ble det funnet et kortslutningssted i Blixtunnelen ca. 500 meter inn løpet for sporet Ski-Oslo (ut fra Ski U1). Avstanden til teknisk rom 53 er ca. 25 m. Kortslutningsstedet er markert i Figur 2. Her ble det observert drypp av alkalisk vann fra taket ned på negativ line. Det ble ikke testet, men det ble antatt at en dråpe som faller 42 cm ned på negativlederen vil knuses og spre en sprut av mindre dråper som kan lande på isolatoren. Alternativt kan drypp ha truffet isolatoren direkte etter luftturbulens fra passerende tog.

Det alkaliske vannet er svært elektrisk ledende, og det ble observert et hvitt belegg som antas å være saltavsetning fra fordampet alkalisk vann både på isolatoren og på dryppstedet på lina. Det er sannsynlig at dette, sammen med mulig annen forurensning i tunnelen, reduserte isolasjonsholdfastheten til isolatoren. Det var ikke mulig å teste dette belegget da isolatoren var nærmest ren før den ankom testlaboratoriet.

På et tidspunkt var det nok vann og avsetning på isolatoren til at isolasjonsholdfastheten underskred spenningen over den og det slo over en lysbue. En kort lysbue kan blåse eller brenne bort det hvite belegget og gjenopprette tilstrekkelig isolasjonsholdfasthet. Kortslutningsvern skal da sende utkoblingsordre til bryter og strømmen brytes, og lysbuen slukker. Feilen blir da forbigående, og da effektbryter automatisk kobles inn igjen etter noen sekunder fungerer anlegget tilsynelatende normalt. Kortslutningsvernets indikasjon av avstand til feil stemmer med kortslutningsstedet i tunnelen.

Denne kortslutningsstrømmen fra overslaget i negativfasen induserte en strøm i kabelskjermene. Indusert strøm i skjerm med redusert kapasitet kan føre til elektrisk varmgang, som over tid kan degenerere skjermen. Beregninger gjennomført av tredjepart indikerer at selve skjermen har kapasitet nok til å overleve erfarte kortslutningsstrømmer.

Teknisk Årsaksresonnement vurderer at dette skjer flere ganger fra 16. til 19. desember. Den 19. desember kl. 06.32 eller 06.33, oppstår en varig kortslutning i negativfasen, synlig ved at automatisk gjeninnkobling av vern fører til ny vernutløsning. Siden overslaget over isolatoren er forbigående, er det sannsynlig at den varige feilen oppstod i kabelen til negativlederen på grunn av varmgang.

6.3. Drypp fra tak og overslag på isolator

Det ble funnet et kortslutningssted i Blixtunnelen ca. 500 m inn løpet for sporet Ski-Oslo (ut fra Ski U1). Kortslutning hadde vært over isolator mellom line for negativ fase og hengemast i taket. Under feilsøking og feilrettingsarbeidet i tunnelen ble det observert mange fotpunkter for lysbuer mellom den spenningsatte delen av isolatoren og masta. Ett hvitt pulver/belegg var også synlig på negativisolator og positivisolator samt sot på negativisolator på siden mot Ski. I tunneltaket var det også brennmerker/sot etter utblåsing mellom hengemasta og taket, samt avskallinger fra betongtaket mellom hengemasten og et lekkasjepunkt i skjøt mellom to betongelementer. I lekkasjepunktet mangler blant annet en bit på ca. 1 kg av elementet.

Avstand mellom mast og lekkasjepunkt langs taket var ca. 70 cm og 42 cm rett over line for negativfase. Avstand fra dryppsted på negativ line til midt på negativ isolator var 52 cm. Det ble senere målt dryppfrekvens på ca. ett drypp i minuttet.

I bærelina til kontaktledningen rett under masta var 6 av 19 kordeller røket. Det var et rent brudd uten tydelige merker av varme. Direkte avstand fra taket til bærelina er ca. 110 cm.



Figur 6: Bilde fra Teknisk årsaksresonnement viser kortslutningssted ved hengemast F-022-09. Retning Ski til venstre og retning Oslo til høyre.



Figur 7: Bilde fra Teknisk årsaksresonnement viser isolator med hvitt og sort stoff på kortslutningsstedet

Isolatoren ble undersøkt av SINTEF Energi AS og funnet i orden. Før isolatoren kom frem til undersøkelse var mesteparten av det hvite og sorte stoffet falt av eller vasket vekk. Det gjorde at isolasjonsholdfastheten til isolatoren med forurensning ikke kunne testes. Isolatoren har en nominell spenning på 25 kV og en isolasjonsholdfasthet på 95 kV ved 50 Hz og lynimpulsholdespenning på 250 kV.

Videre, påpeker Teknisk årsaksresonnement at isolatoren var forurenset på siden mot Ski. Det er mot normal kjøretning for tog og vil si at forurensning med luftstrøm gitt av lufttrykk eller -sug fra tog vil treffe isolatoren på den siden. Det ble også tatt prøver av vannet som drypte ned fra taket og viste at dette var alkalisk og svært elektrisk ledende.

Ca. 10 meter bortenfor kortslutningsstedet ble det observert et annet lekkasjested som dryppet direkte ned på line for positivleder. Der var det tilsvarende hvitt belegg/pulver og lina. Dette ble senere også identifisert flere steder i tunnelen hvor det 30-40 meter i den andre retningen ble det gjort tilsvarende observasjoner.

Det ble informert om at det ikke var noen synlige lekkasjer i taket i frostsonene ved idriftsettelse av anlegget 11. desember 2022. Tunnelventilasjonen har dog vært mye i bruk i perioden rundt overlevering, både for testing, øvelse og frisk luft. Ved kontroll av tunnelen i januar ble det blant annet bemerket at isolatorer og endeavslutninger var skitne. Delprosjektet har i prosjektfasen siden 2020 erfart at det stedvis har dryppet vann med høy pH med uheldige konsekvenser for elektriske anlegg. Dette har hatt en konsekvens for anleggets aluminiumsdelere, men vurderingene rundt mulig bytte av aluminiumsdelere til kobber vil ikke gås nærmere inn på her.

Feilsøkingarbeidet hentet ut strømmålinger fra perioden med kortslutninger og observeres tydelige «hakk» i toppen av spenningens sinuskurve før kortslutning i negativ fase på den første kortslutningen 16. desember. Kortslutningen er i negativ fase, men strømmen er unormalt høy i positiv fase rett før. Teknisk årsaksresonnement utdyper dette og stiller samtidig spørsmål ved om dette kan være begynnende tegn på overslag.

6.3.1. Kortslutningsvern og kontrollanlegg

Etter vernutkoblingen 19. desember 06.32 indikerte linjetesten ingen feil og spenningssatte anlegget igjen automatisk. Når effektbryteren (30-U1-E) i Ski koblet inn og spenningssatt negativfasen detekterte kortslutningsvernene kortslutning og koblet ut igjen. Denne utkoblingen var forsinket av to grunner, hvor den ene er at distansevernet detekterer feilen og ikke momentant overstrømsvern. Hvor momentant overstrømsvern har kortere deteksjonstid enn distansevernet. Den andre grunnen er at bryteren ikke gikk ut på kommando fra distansevernet, og strømmen ble derfor brutt av bryterfeilvernet og underspenningsvernet som løser alle de andre effektbryterne tilkoblet samsleskinna i Ski koblingshus.

Teknisk årsaksresonnement er usikker på om det er på grunn av den første kortslutningen kl. 06.32 eller den første automatiske og direkte gjeninnkoblingen med forsinket utkobling kl. 06.33 som leder til at brannalarmen går i Ski koblingshus og teknisk rom 53 den 19. desember kl. 06.33.

Leder for kobling på elkraftsentralen spenningssatte kontaktledningsanlegget for spor Ski-Oslo flere ganger for feilsøking. Linjetesten detekterte ingen feil og innkoblingen skjedde derfor direkte. Informasjon om feilen nådde ikke frem til leder for kobling. Autotransformatorene i Ski koblingshus koblet fra på grunn av bryterfeilvernet slik at feilen i negativfasen kun ble spenningssatt via positivfasen og autotransformatorene på Åsland og dermed med lavere kortslutningsstrøm fra Ski.

6.4. Vern og elkraftscentralens håndtering av vernutkobling og alarmer

Det har skjedd flere kortslutninger etter idriftsettelse av Follobanen. Kortslutningene har først vært forbigående før den har blitt varig 19. og 23. desember. Nedenfor listes registrerte kortslutninger Teknisk årsaksresonnement har identifisert i løpet av feilsøkingarbeidet.

- 16. desember 05.56: Forbigående kortslutning nær Ski i sporet Ski-Oslo
- 16. desember 09.24: Forbigående kortslutning nær Ski i sporet Ski-Oslo
- 17. desember 21.38: Forbigående kortslutning nær Ski i sporet Ski-Oslo
- 19. desember 06.32: Varig kortslutning nær Ski i sporet Ski-Oslo
- 19. desember 06.33-07.00: Flere innkoblinger mot kortslutning som følge av automatisk gjeninnkobling og leder for koblings feilsøking etter den varige kortslutningen.

Kortslutningene har vært i negativ fase for sporet Ski-Oslo som omtalt over. Teknisk årsaksresonnement fant at på flere av kortslutningstidspunktene har det vært tog i nærheten av kortslutningsstedet. Linjetesten (testspenning) før spenningssetting har flere ganger gitt ikke detektert avvik og dermed tillatt direkte innkobling mot en feil. Klareringstiden fra Ski koblingshus er lengre (men fortsatt under 1 sekund og innenfor krav), og ved direkte innkobling etter første utkobling 19. desember står høy kortslutningsstrøm på lengre enn ønskelig. Det har vært mange manuelle og automatiske innkoblinger hvor de manuelle innkoblinger er en del av feilsøkingen til Leder for kobling hvor feilstedet forsøkes identifisert. Teknisk årsaksresonnement har også funnet at kortslutningsstrømmene som ble logget har vært under den dimensjonerende kortslutningsstrømmen for anlegget.

6.4.1. Linjetest før automatisk innkobling

Både Ski og Oslo koblingshus spenningssetter kortslutning direkte etter at linjetesten ikke identifiserte feil. Linjetesten i Ski og Oslo koblingshus spenningssetter kontaktledningsanlegget via en 3,3 k Ω resistor. Det gir en maksimal teststrøm på $16,5 \text{ kV} / 3,3 \text{ k}\Omega = 5 \text{ A}$. Det er i intervjuer uklart om dette er tilstrekkelig strøm til å kunne opprette en lysbue etter overslag, med den følge at det ikke oppstår ny feil ved tilførsel av linjetesten.

I tillegg er både Ski og Oslo koblingshus bygget med tofasert koblingsanlegg og autotransformatorene tilkoblet samleskinnen. Begge har også prøving før spenningssetting kun på positiv fase. Det vil si at kontaktledningsanlegget ikke prøves for feil i negativ fase når det ikke spenningssettes en autotransformator. Siden overslaget og senere kortslutning i kabel den 19. desember skjedde på negativ leder vil ikke linjetesten detektere feilen. Dette fordi den mangler eksplisitt prøving av negativ fase når det ikke spenningssettes en autotransformator. Undersøkellesgruppen har via intervjuene fått forståelse for at dette kan løses ved å inkludere autotransformator i området som det testes i. Dette omtales også videre under feilsøkingen til Leder for kobling nedenfor. Den andre måten dette kan løses på er å bygge anlegget slik at det er en eksplisitt linjetest på negativ fase. Dette vil kreve en ombygging av anlegget i Blixtunnelen med tilhørende koblingshus, og vil øke anleggets kompleksitet (dybde).

Løsningen med automatisk innkobling av vern etter gitte tider er vanlig på jernbanen, og i andre høyspenningsanlegg. Det skjer daglig automatiske utkoblinger på jernbanen, og har oftest forbigående årsaker som fugler, kvister og greiner eller overslag over isolator. I de tilfellene hvor slike objekter kortslutter anlegget vil som regel utløsningen av kortslutning blåse bort det som kortsluttet, og den automatiske innkoblingen vil ofte gå inn igjen ved første forsøk. Kortslutningene i disse hendelsene skjedde derimot inne i en tunnel hvor det er mindre sannsynlig at det vil komme fugler og kvister som kan kortslutte. Det kan derfor stilles spørsmål ved om det er hensiktsmessig med automatisk gjeninnkobling for anlegg som er i mer skjermede omgivelser som for eksempel en tunnel.

6.4.2. Forsinket utkobling av vern

Momentant overstrømsvern i Ski viste seg å være feilkonfigurert og løste ikke ut til tross for kortslutningsstrøm. Dette vernet var konfigurert til å kun overvåke den ene fasen, og kortslutningen oppstod i den andre fasen (negativ-fase). I stedet løste distansevernet ut, og dette har lenger deteksjonstid enn momentant overstrømsvern. Momentant overstrømsvern overvåker hver topp i sinuskurven og reagerer svært raskt, mens distansevernet bruker om lag 90 millisekunder på å koble ut. Dette er fortsatt raskt og innenfor krav i forskrift. Utfordringen med vernet den 19. desember viste seg å også være at effektbryteren som distansevernet sendte kommando til ikke åpnet seg. Dette førte til at bryteren må løses på ny fra bryterfeilvernet og underspenningsvernet som igjen har lengre reaksjonstid. Bryterfeilvernet ble backuputløst etter 200 millisekunder for manglende åpning av effektbryter fra Ski koblingshus mot sporet Ski-Oslo (SKI-30-U1-E). Dette er grunnet forsinkelse hvor de to foregående verna skal få muligheten til å løse ut først, siden bryterfeilvernet kobler ut et større område. I tilfellet over der bryterfeilvernet backuputløste, løste det ikke alle effektbryterne tilkoblet samleskinnen. Det førte til at det underspenningsvernet på samleskinna løste med enda lenger utløsetid, og det er i ettertid funnet feil på bryterfeilvernet. Denne situasjonen den 19. desember genererte en stor mengde oppføringer i hendelseslista til Leder for kobling i elkraftscentralen, samtidig som kortslutningsstrømmen fikk stå på lenger enn nødvendig.

7. Gjennomførte undersøkelser vedrørende de tekniske årsakene

7.1. Ulike oppfatninger av hva som er ønsket eller tilfredsstillende jernbaneteknisk anlegg

7.1.1. Kontaktledningsanlegg

I forbindelse med bygging av kontaktledningsanlegg i Blixtunnelen benyttet Follobaneprosjektets rådgiver seg av Bane NORs systemtegninger for komponenter til kontaktledningsanlegget i sitt grunnlag for prosjektering. AGJV sin underleverandør Elecnor valgte dog å anskaffe komponenter til kontaktledningsanlegget fra en annen leverandør enn det som var prosjektert og Bane NORs rammeavtaleleverandør. Disse var også basert på entreprenørens leverandørs egne tegninger og ikke Bane NORs systemtegninger. Ved prosjektets kontroll av bygget anlegg ble det funnet avvik i dimensjonene til noen av komponentene, noe som ville få betydning for opphengspunktene geometriske utforming. Follobaneprosjektet søkte i den forbindelse assistanse hos Drift og teknologi, Teknisk, Elkraft til å vurdere hvilke implikasjoner og konsekvenser dette kan ha for kontaktledningens funksjon sett opp mot parametere som strømføringsevne, dynamisk samspill (strømvaktaker – kontaktråd) og geometrisk innvirkning. Notatet ble oversendt TBM-delprosjektet 02.09.2021.

Notatet peker på flere utfordringer med den jernbanetekniske installasjonen, hvor det ble fastslått at fem komponenttyper har forskjellig dimensjon og/eller vekt enn Bane NORs rammeavtalekomponenter. Blant annet ville dette få konsekvenser for montasjetoleranse hvor 77,5 % av toleransen ble brukt opp før installasjon.

Notatet konkluderer med at:

«D&T, Teknisk, Elkraft anbefaler at Follobaneprosjektet ikke aksepterer den løsningen AGJV/Elecnor hadde bygget. Videre presiseres det at Bane NOR ble presentert for et ferdig bygget anlegg der leverandøren ikke kunne levere en ren samsvarserklæring. Anlegget var ikke bygget slik det er prosjektert, og at dette har skjedd med fullt overlegg og med en forventning om at byggherren nå i etterkant skal godta dette og overta det anlegget som er bygget.

Vi mener det er en klar risiko for at det anlegget som nå er bygget senere kan vise seg å bli mer kostbart å vedlikeholde. Dersom det senere skulle vise seg at vi får problemer med dynamikk og geometri, vil en eventuell aksept av anlegget slik det nå er bygget legge alt ansvar på fremtidige feil på Bane NOR. Det vil være en stor omdømmemessig belastning å måtte stenge et løp i Blixtunnelen for reparasjon eller ombygging av KL-anlegget. Det fremstår også som relativt sannsynlig for oss at Bane NOR uansett ville måtte innrømme ansvar for en slik situasjon uansett hvor gode garantier leverandøren¹ eventuelt har gitt eller stilt.»

7.1.2. Delprosjektets oppfølging av mulige utfordringer med valgt jordingsløsning og «Norconsult-rapporten»

Det er flere steder i jernbaneinfrastrukturen som har en AT-utforming, men den prosjekterte og bygde løsningen med jording av kabelskjerm i begge ender var en lite brukt løsning i Bane NORs anlegg. Etter varmgang i høyspentkabel på Ski i juli 2022, hvor kabel og endeavslutning ble delvis smeltet ble det fulgt opp med spørsmål fra driftslederapparatet til delprosjekt Ski om det kunne være andre endeavslutninger som mulig var utsatt for samme problemstilling. Det ble påpekt at dersom havariet av kabelmuffe skyldes feil utførelse, burde det klarlegges om dette er en gjennomgående feil og det ble presisert at når kabler jordes i begge ender, skal det sikres at kabel ikke tar skade som følge av økt strøm i kabelskjerm. Med utførelsen mente driftsleder her at den gjennomgående jordingen var tilstrekkelig håndtert, og direkte omtalt kvaliteten på skjøter og endeavslutninger. Arbeidet på Ski ble utført av en annen entreprenør enn

¹ Korrigert fra opprinnelig notat, hvor det stod «kunde»

på delprosjekt tunnel. Den 17.08.2022 ber Driftsleder i Bane NOR om at delprosjekt Ski går gjennom sine leveranser og endrer konseptet til ensidig jording av kabelskjermer, samt en tidsplan for dette. Videre måtte dette også gjelde hele Follobanen. Dette ble gjort med bakgrunn i at driftsleder mente delprosjekt Ski ikke kunne vise til beregninger fra entreprenør som viste at den induserte strømmen i kabelskjerm ble tilstrekkelig håndtert. Driftsleder fikk bekreftet at dette var mottatt og man skulle komme tilbake med en fremdriftsplan, men anlegget ble ikke ombygget. Driftsleder var i oppfattelsen av at dette var et pålegg, men anlegget ble likevel overtatt av Driftsleder uten at dette ble endret. Informasjonen om det som ble ansett som pålegg kom ikke fram til delprosjekt tunnel.

Undersøkelingsgruppen har en forståelse av at bekymringene knyttet til løsningen med gjennomgående jording baserer seg på manglende erfaring med løsningen, da det skiller seg fra alle andre av jernbanens anlegg, men også en usikkerhet om strømmen i kabelskjerm blir tilstrekkelig håndtert med tanke på varmgang, synliggjort ved varmgangen i kabel og skader på endeavslutning på Ski.

Follobaneprosjektets Usikkerhetsanalyse fra 08.11.22 omtalte muligheten for utfordringer med høy termisk belastning som følge av for mye strøm i kabelskjerm for TPS og IPS-kabler. Risken er oppsummert nedenfor i Tabell 7: Oversikt over risk hentet fra FB-prosjektets usikkerhetsanalyse.

Tabell 7: Oversikt over risk hentet fra FB-prosjektets usikkerhetsanalyse

Risk ID 2: «For høy termisk belastning som følge av mye strøm i kabelskjerm for TPS og IPS-kabler.»			
Påvirker	Sannsynlighet	Konsekvens	Krit.
Kostnad, Sikkerhet, Omdømme, Tid	Liten 10-35 %	Stor (r)	3 (Oransje)
Beskrivelse: «Entreprenøren i tunnelen har jordet høyspentkablene i begge ender. Dette gir en god returforbindelse for returstrøm tilbake til Oslo koblingshus, ikke bare i tunnelen, men også for strømmer fra Ski og omegn. Usikkert om kablene tåler den ekstra termiske belastningen. Kan føre til kabelbrudd, varmgang i komponenter eller smelting og medfølgende togstans.			
"Entreprenøren har utarbeidet en rapport angående dette. UFB-30-A-65610. Denne rapporten er videre sendt til Norconsult for kommentering.			
08.11.22: Kommentarer på rapport mottatt fra Norconsult. Kommentarer blir lagt inn som kommentarer til dokumentet til entreprenøren.			
20.11.22: Målinger gjennomført under sammenkoblingen viser en tilsynelatende akseptabel mengde strøm i skjerm på høyspentkabel U1. Nye målinger vil bli gjennomført under testkjøring 27/11 for sammenligning.			

Som beskrevet i risken fikk prosjektet beregninger fra totalentreprenøren for tunnel som konkluderer med at skjermen vil føre i størrelsesorden 8 % av returstrømmen (tilsvarende fasestrømmen) i kabler mellom autotransformatorer og Blixtunnelen. Norconsult, som allerede var inne i prosjektet på et annet oppdrag, ble forespurt om å inkludere en vurdering av totalentreprenørens beregninger. I oktober 2022 kom rapporten som nå omtales i media og internt som «Norconsultrapporten». Den har påpekt at totalentreprenøren i sine beregninger ikke hensyntar den induserte strømmen som skyldes magnetfeltet rundt lederen og at strømmen kan være betydelig. Rapporten konkluderer med at:

«Termisk dinemsgjønning av leder i returkretsen og jordingsanlegget, og filterimpedanser, er vurdert for driftsstrømmer og kortslutningsstrømmer. Det er funnet at returleder og

filterimpedanser er overdimensjoner. Det vil derfor være i stand til å føre forventede strømmer i alle tilfeller.»

Der er vi si at kabelskjermene sannsynligvis kan håndtere slik betydelig strøm dersom anlegget er hensiktsmessig utført. Teknisk årsaksresonnement påpeker at med hensiktsmessig forlegning menes tett forlegning mellom tur og returstrøm, sammen med parallelle retur- eller jordledere i tett forlegning med høyspenningskablene. Rapporten gir også anbefaling «Anbefaling 4: Det bør verifiseres med bedre beregning og/eller måling at strøm i kabelskjermer ved jording i begge ender ikke fører til uakseptabel termisk belastning av kabelen».

Teknisk årsaksresonnement oppgir at i forbindelse med feilsøking og feilrettingsarbeidet i januar 2023 ble det beregnet (av Norconsult) at strømmen i den kabelskjermen som belastes mest vil være 24% av strømmen i senterlederen. Dersom kabelen ikke er for varm på grunn av driftsstrøm, vil den termisk tåle å føre en dimensjonerende kortslutningsstrøm om anlegget er hensiktsmessig utført. Det gjelder også dersom kobbertrådene er redusert til 21 mm² og det ikke er forbindelse gjennom laminatet.

Målinger under testkjøring 23. desember 2022 viser også at høyeste strøm i skjerm var opp til 100 A ved en laststrøm på 400 A. Det tilsvarer i størrelsesorden 25%. Når kabelen fører kortslutningsstrøm, er høyeste strøm i skjerm 900 A. Dette betyr at anlegget utsettes for lavere belastning enn beregnet kapasitet.

7.2. Teknisk Regelverk og kabler

Kontrakten med AGJV legger til grunn Teknisk Regelverk (TRV) fra 2014. AT-anlegget ble prosjektert med jording av kabelskjerm i begge ender. TRV av 2014 utelukker ikke muligheten for jording i begge ender, men tilsier en hovedregel for jording i en ende og utisolering i den andre. Denne teksten er ikke til stede i TRV av 2023.

3.1 Hovedregel for jording av kabler

a) Skjerm eller PE-leder i kabler som går til installasjoner og anleggsdeler innenfor kontaktledningens slyngfelt, skal som hovedregel jordes i kun én ende for å unngå påvirkning fra returstrøm (16⅔ Hz) og unngå å danne en parallell vei for returkretsen (skinnene).

1. For høyspenningskabler skal det sørges for påkrevd skilting og avskjerming, se §4-4 i [FEF].
2. For høyspenningskabler kan manglende direktejording være utført som en utisolering eller med en gjennomslagssikring, se [Isolasjonskoordinering og overspenningsbeskyttelse](#).
3. Høyspenningskabler som forlegges i betongkanal, bør ha elektrisk isolerende ytterkappe.
4. Når høyspenningskabler med halvledende kappe utisolerer, skal den halvledende kappen fjernes og avdekket skjerm skal isoleres.

b) Kabler i lavspenningsanlegg skal jordes i forsyningsende og isoleres i forbrukerende, se Figur 8 og Figur 11.

1. Skjerm/PE-leder skal alltid være tilkoblet hovedjordsamleskinne ved innføring i eltekniske hus, se avsnitt om [Jordingsnettverk i bygninger](#).
2. Kabler kan ha gjennomgående jord med terminering i begge ender, men da skal termineringen utover i installasjonen være isolert fra andre utsatte ledende deler i installasjonen, se [Alternativ jording av kabler for installasjoner med utisolering av gjennomgående jord i kabler](#).
3. Isolasjon/avslutning av skjerm/PE-leder skal utføres på egen isolert klemme med minimum kapsling IP2X. Isolasjonsnivået skal minimum tilsvare isolasjonsnivået på kabelen.

Krav til isolasjonsnivået på ytterkappen til høyspenningskablene tilsvarer isolasjonsnivået for returkabler.

4. Den utisolerte skjermen/PE-lederen skal være tilgjengelig for inspeksjon (ved målinger o.l.).
5. Den utisolerte skjermen/PE-lederen skal betraktes som en spenningsførende leder.

Figur 8: Teknisk Regelverk fra 2014, Kap. 3

I TRV fra 2016 inkluderes løsning med jording i begge ender. TRV:01091 er det beskrevet at ved utjevning i begge ender, skal høyspenningskabelen være dimensjonert for den økte termiske belastningen som følge av strøm som går i skjermen. Det stilles også krav til at termisk oppvarming av kabelen skal vurderes.

7 Høyspenningskabler

Høyspenningskabler omfatter kabler for kontaktledningsystem, AT-system og matekabler, kabler for fjerntledningsystemer, og 22 kV-kabler for forsyning til jernbanetekniske installasjoner. For disse kablene gjelder:

TRV:01089

a) **Høyspenningskabler som er del av jernbanens infrastruktur:** Skjerm i høyspenningskabler som er del av jernbanens infrastruktur, skal utjevnes til jernbanens [returkrets](#).

1. **Utførelse:** Utjevning til [returkrets](#) kan utføres i den ene enden eller i begge ender av høyspenningskabelen.

Utjevning bare i én ende har tidligere vært krav. Ved større kabellengder enn hva som var vanlig tidligere, spesielt for AT-system og for langsgående kabler med 22 kV og 50 Hz, blir dette problematisk på grunn av den store spenningen som induseres i kablene ved kortslutning. For:

- AT-system, og for
- BT-system med returledere

blir det lite returstrøm i kabelskjermene – selv ved utjevning i begge ender, og på strekninger med disse systemene er det i noen tilfeller mulig å utjevne høyspenningskabler til [returkrets](#) i begge ender.

TRV:01090

b) **Høyspenningskabler som utjevnes i en ende:** Ved utjevning i en ende, skal spenningen mellom kabelskjermen og [returkrets](#) i den åpne enden ikke bli så høy at kabelen tar skade under kortslutning.

1. **Utførelse:** Høyspenningskabler som har én ende i friluft og én ende i tunnel, bør utjevnes i den enden som er i friluft, slik at kabelen er best beskyttet mot lynspenninger.
2. **Vurdering:** Spenningsstigning i kabelskjermen ved dimensjonerende kortslutningsstrøm skal vurderes.

Se [Felles elektro/Prosjektering og bygging/Isolasjonskoordinering og overspenningsbeskyttelse#Overspenningsvern_ved_høyspenningskabler](#) for krav til beskyttelse mot lynspenninger i åpen ende.

TRV:01091

c) **Høyspenningskabler som utjevnes i begge ender:** Ved utjevning i begge ender, skal høyspenningskabelen være dimensjonert for den økte termiske belastningen som følge av strøm som går i skjermen.

1. **Vurdering:** Termisk oppvarming av kabelen ved utjevning i begge ender skal vurderes.

Figur 9: Teknisk Regelverk av 2016, Kap. 7

7.2.1. Vurdering

Undersøkelsergruppen erfarer en skepsis i Bane NOR til løsningen med jording av kabelskjerm i begge ender, da dette er en løsning som ikke er vanlig på jernbanen i Norge. Det er også i intervjuer hevdet at den stoppende feilen på Follobanen sannsynligvis ikke hadde skjedd hvis det var valgt en løsning med jording i en ende og utisolering i den andre (slik som er normalt ellers i jernbaneinfrastrukturen). Undersøkelsergruppen anser denne påstanden som riktig, men det betyr ikke at den prosjekterte og bygde løsningen ikke var riktig prosjektert og kunne fungert. Etter samtaler med fagpersoner og involverte i prosjektet er undersøkelsergruppen i den oppfatning at anlegget skulle ha fungert som tiltenkt hvis kabelskjøter og endeavslutninger var korrekt og tilfredsstillende utført, hvor kablene skulle ha

tålt den kortslutningsstrømmen som anlegget erfarte. Teknisk regelverk tillater løsninger med jording av kabelskjerm i begge ender, men regelverket spesifiserer ikke at det er helt nødvendig at aluminiumslaminatet er håndtert riktig over skjøter og endeavslutninger. Hovedårsaken anses derfor som utilstrekkelig systematisk håndtering av aluminiumslaminatet i kabelskjøtene og endeavslutningene – som førte til elektrisk varmgang.

Det er ikke funnet at kvaliteten på skjøter og endeavslutninger har vært et kontrollpunkt for kvalitetsoppfølgingen i prosjektet. I kvalitetsoppfølgingsverktøyet PIMS er det heller ikke noen «punchpunkter» eller «mechanical completion» som tilsier at dette skulle ha blitt inspisert eller overvært av byggherre. PIMS importerer objekter fra Banedata, og kabelskjøter har ikke en egen objekttype eller ID. Det eneste kravet undersøkelsesgruppen har funnet er at lokasjonene på skjøtene skal dokumenteres, noe som ble ferdigstilt etter anlegget ble overlevert til drift. I intervjuene ble kabelskjøtene omtalt med en forventning at skjøter er noe de utførende «burde ha kompetanse til å gjøre», men ser at det kan være hensiktsmessig å innføre en mer systematisk kvalitetskontroll og dokumentasjon av skjøter på høyspenningsanlegg, inkludert endeavslutninger. Ved kontraktinngåelse gjaldt krav i Teknisk Regelverk for skjøting av kabel «Banestrømforsyning/Bygging/Mate- og returkabel - 4.2 Skjøting» fra 8.9.2012:

«Det brukes skjøtesett av annerkjent fabrikat som tilfredsstillende kravene i [HD 628 S1] og [HD 629.1 S1]. For lederskjøting benyttes det pressskjøter, der skjøten skal ha en ledningsevne som er minst like god som selve kableten. Skjøtingen utføres etter fabrikantens instruks av kvalifisert personell.»

Det var, i forkant av overtagelsen av anlegget, mye fokus på de utfordringene en løsning med jording av kabelskjerm i begge ender kan gi. Disse utfordringene ble påpekt av både prosjektet og Drift og Teknologi, og prosjektet fulgte opp utfordringene. Undersøkelsesgruppen er dog ikke kjent med at noen vurderte muligheten for at kabelskjøtene eller endeavslutningene ikke var utført tilfredsstillende og i henhold til kabelleverandørens spesifikasjoner. Det har ikke vært vanlig å håndtere aluminiumslaminatet over skjøter og endeavslutninger på høyspenningskabler tilhørende jernbaneanlegg i Norge.

7.3. Vannlekkasjer i tunnel

Selv om tunnelen ble ansett som er tett etter inspeksjon og gjennomført tetningsarbeid var det utfordringer med tetthet i løpet av prosjektet. Dette har vært en av de sentrale årsakene til at åpningen av Blixttunnelen ble utsatt. Det er heller ingen garanti for at nye lekkasjer ikke kan oppstå. Under selve tunneldrivingen av Blixttunnelen boret entreprenør sonderingshull fremfor stussen på TBM for å undersøke hvor mye vann som var i fjellet. Det var mangler under boringen og basert på lekkasjer målt i sonderborehullene ble det foretatt injeksjon foran TBM'ene for å eliminere/ redusere lekkasjer inn i tunnelen i forbindelse med boringen. I noen av områdene fant det sted mer utvasking av tilbakefyllingsmasse enn ønsket, i kombinasjon med at entreprenøren ikke gjennomførte systematisk 3.gangs etterfylling av tilbakefyllingsmasse. Ukomplett tilbakefyllingsgrad ga rom for vann i lommer og kanaler bak elementene. Dette vannet trengte gjennom elementene der hvor pakningene mellom elementene ga mulighet for det, samt gjennom utette pakninger i påfyllingspunktene i elementene. Konsekvensene av dette var at AGJV måtte bruke mer tid på å tette tunnelen enn hva fremdriftsplanen stipulerte. Dette fikk også følgekonskvenser for jernbaneteknikk og spesielt signalarbeidene som skulle inn etter tunneldrivingen var fullført. Dette førte til økte kostnader for AGJV og ble også gjenstand for økonomiske uoverensstemmelser videre i prosjektet.

I august 2017 kommer risiko for lekkasje i tunnelen grunnet dårlig utført tetting inn i usikkerhetsregisteret til delprosjekt TBM. Delprosjektet bestilte da to eksterne studier for vurdering. I november 2017 ble det besluttet å avholde møte med AGJV for å gjennomgå valg av metode for tetting. De pågående utfordringene fører til at det i mai 2019 blir avtalt en Settlement Agreement 1 (SA1) hvor AGJV fikk fristutsettelse for overlevering av anlegget med ny frist 06. juli 2021. I januar 2021 ble Settlement Agreement 2 (SA2) signert og AGJV fikk ny fristutsettelse til 1. september 2021 for ferdigstilling av

anlegget. Arbeidet blir ytterligere forsinket og det blir i februar 2022 kartlagt lekkasjer i tunnelanlegget. I flere områder blir omfanget av gjenværende lekkasjer vurdert til å være håndterbart med tanke på tetting fremover mot åpning av anlegget. I andre områder er omfanget av lekkasjer vesentlig mer omfattende. Delprosjektet instruerer da AGJV å tette de ca. 3500 lekkasjepunktene som ble identifisert. AGJV startet så døgnkontinuerlig arbeid med tetting av gjenværende lekkasjer. I mai 2022 identifiserer delprosjektet at ca. 2/3 av lekkasjepunktene i tunnelanlegget er tettet. Delprosjektet vurderer på dette tidspunktet at tilfredsstillende tetthet kan oppnås dersom AGJV fortsetter å tette anlegget til samme kvalitet.

Amendement 8 avtalen signeres august 2022 og avtalen presenterer del-leveranse av tunnelanlegget 30. oktober 2022. AGJV fikk da frem til 28. februar 2023 til å fullføre gjenstående arbeid som ikke er kritisk for togfremføring.

Delprosjektet har fulgt opp risikoer med relevant for fremdriften, og et utvalg er listet i endringstabeller i vedlegg, herunder;

- Risk ID 9/42 og 0048
 - “Risk of difficult geological conditions in the main tunnels”
 - “Risk of different geological conditions in the main tunnel compared to contract”
- Risk ID 301
 - 19.05.2017 - “Risk for unforeseen water ingress in TBM tunnel will cause delay in the project”
 - 22.06.2017 - “Risk for higher than foreseen amount of pre-grouting in TBM tunnel south will cause delay in the project”
 - 25.05.2018 - “Risk for higher than foreseen amount of pre-grouting in TBM tunnel south will cause delay in the project or extra cost”
- Risk ID 313
 - “Poor sealing of grout ports (due to insufficient sealing product and procedure) will give leakage and unacceptable quality of the tunnel lining”
- Risk ID 341
 - “Risk of installation of segments with insufficient quality”

7.3.1. Vurdering

Teknisk årsaksresonnement konkluderer med at drypp av alkalisk vann fra tunneltaket sannsynligvis har direkte eller indirekte redusert holdfastheten til negativlederens isolator gjennom saltavsetning og ført til flere overslag med forbigående kortslutninger. Dette ville under normale omstendigheter ikke ført til så store konsekvenser som det gjorde for Follobanen, siden anlegget var dimensjonert for å håndtere denne kortslutningsstrømmen. Normalt korrektivt vedlikehold ville da kunnet utbedret lekkasjen med en kortere togstans enn det som ble realiteten.

Undersøkelingsgruppen vurderer også at hvis dette overslaget ikke hadde oppstått ville det kunne tatt måneder eller år før manglene i skjøtene og endeavslutningene ville blitt oppdaget.

7.4. Feilsøking og gjentatte innkoblinger

Det har vært flere gjentatte innkoblinger som i anlegget i perioden fra 16-19. desember som følge av både automatiske og manuelle innkoblinger. Når linjen spenningssettes etter at linjetesten ikke detekterer feil, og vernet likevel detekterer kortslutning og løser bryteren, startes en ny gjeninnkoblingssekvens. Det gir ytterligere innkoblinger med fare for direkte spenningssetting av kortslutningen.

Leder for kobling har overvåket og feilsøkt i anlegget. Overvåkingen kan ha blitt vanskeliggjort gjennom begrenset eller misvisende informasjon fra anleggene til fjernkontrollsentralen. Dette ved at informasjon om avstand til feil fra Ski ikke ble sent riktig til fjernkontrollsentral og at brannalarmen ikke ble oppfattet av leder for kobling. Brannalarm 1. etasje i «substation rom» ble sendt til FJEL, men loggsystemet har i

ettertid bekreftet at kvitteringen av alarmer oppstod raskt. Logg fra FJEL viser at det er et stort signalomfang (alarmer og indikeringer) ved slike hendelser. Utløsningen av bryterfeilvernet gjorde også at anlegget var seksjonert, blant annet ved frakobling av autotransformatorene. Det kan ha gjort at leder for kobling ikke har fått de testresultatene som var forventet under feilsøkingen. Brannen/røykutviklingen ble først oppdaget da en person fra delprosjektet reiste ut til Ski koblingshus for å undersøke. Som nevnt ovenfor så er det også usikkert om teststrøm på 5 A er tilstrekkelig for å opprettholde en lysbue under linjetesten.

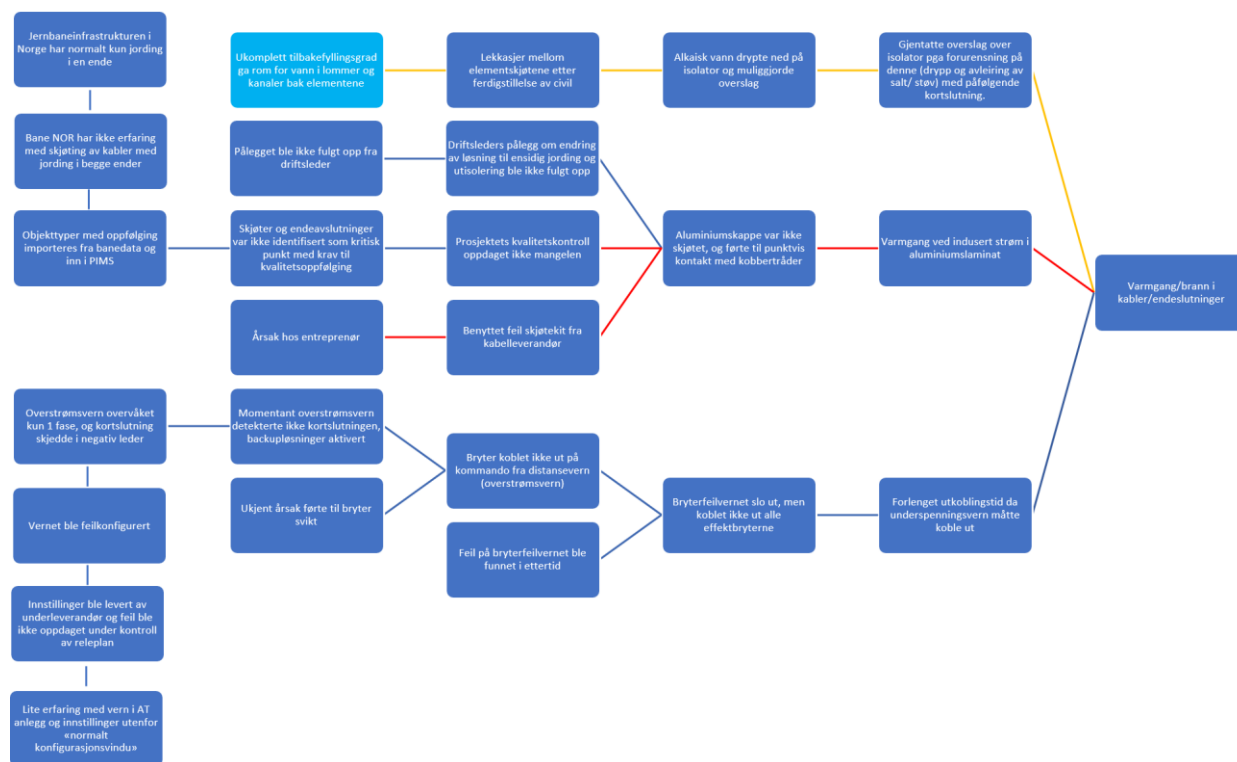
Ved feilsøking fra Leder for kobling vil det normalt søkes «innenfra og ut» i betydningen at små områder seksjoneres av for så å testes før effektbryter kobles inn. Dette gir gode muligheter til å teste seg fram til området feilen har oppstått. Som nevnt ovenfor er utfordringen med anlegg med autotransformator at hvis feilen oppstår på negativ leder vil ikke linjetesten detektere denne med mindre autotransformatoren er en del av kretsen og således spenningssetter negativ fase. Dette gjør at feilsøkingen må utføres motsatt, hvor man må teste et område som er stort nok til at autotransformatoren inkluderes. Dette vil komplisere feilsøkingsarbeidet og skape komplikasjoner dersom Leder for kobling ikke er bevisste på dette. Elkraftsentralen hadde fått særdeles begrenset erfaring i betjeningen av det nye AT-anlegget, og omtales videre under kapittel 12.2 «Idriftsetting og overlevering av Blixtunnelen til ».

7.5. Delkonklusjon på direkte årsaker

Det er undersøkelsesgruppens vurdering at den direkte årsaken til den stoppende feilen på Follobanen anses som elektrisk varmgang i kabelskjøter som ble gjort synlig ved overslaget på isolatoren. Det er usikkert om en lengre testperiode før åpning ville ha avdekket svakheten i skjøtene. Hvis det ikke oppstod en vannlekkasje som førte til overslag mener undersøkelsesgruppen at banen ville kunne vært i drift lenge, om ikke år, før svakheten i skjøtene ville skapt utfordringer.

Svakheten i kabelskjøter var ikke objekter i PIMS og gjenstand for 'Mechanical completion' eller et kontrollpunkt, noe som medførte at feil utført arbeid av entreprenør ikke ble oppdaget.

Relé-plan levert av entreprenør for vern ble gjennomgått av Energi, men manglende innstilling i vern ble ikke oppdaget (1fase/2fase) under kontrollen. Dette medførte at momentant overstrømsvern ikke registrerte kortslutning på negativ fase, og andre vern måtte koble ut. Dette førte til noe lengre utkoblingstid enn ønsket, og kan ha gitt ytterligere belastninger på anlegget. Det anses dog ikke som en sentral årsak til varmgangen. Figuren nedenfor viser en oppsummering av konklusjonen for hovedårsaker til at Follobanen måtte stenges.



Figur 10: Årsakstre for årsaker knyttet til stoppende feil, se vedlegg 14.1 for en komplett grafisk oppsummering av årsaker

8. Andre funn til generell læring ved prosjektgjennomføringer

Videre i undersøkelsesrapporten har undersøkelsen gjennomgått tematikk som var sentral i intervjuer, men som ikke hadde en direkte påvirkning på årsakene til at Follobanen måtte stoppe. Normalt i undersøkelser ser man også etter læring som ikke har direkte tilknytning til årsakene, men som kan være verdifulle innspill for fremtidige prosjektgjennomføringer, og at det er funnet rom for forbedring.

9. Kontraktform og forhold til entreprenør

9.1. Totalentreprise og kontraktstrategi for Follobanen-prosjektet

Jernbaneverkets valgte kontraktstrategi for Follobanen ble beskrevet i 2012-2013. Strategien gikk i retning av totalentrepriser tilrettelagt for internasjonal konkurranse både med hensyn til språk (engelsk) og kontraktstørrelser (store). Det ble derfor inngått samtlige kontrakter på totalentreprise (EPC-kontrakt) hvor entreprenør dekker all fysisk prosjektering og all produksjon. I Jernbaneverkets redegjørelse av kontraktstrategi Follobanen fra 2013 heter det at (Follobanen, nytt dobbeltspor Oslo-Ski, kontraktstrategi, UOS-00-A-90028):

«Da det hefter lite usikkerhet både med hensyn til teknisk løsning, grensesnitt og arbeidsomfang er totalentreprise (EPC) valgt som kontraktstype for de største kontraktene. EPC kontrakter er dominerende innen industrien både i Norge og internasjonalt, og benyttes i økende grad for infrastrukturprosjekter. Kontraktorene som vil være aktuelle for FB har EPC erfaring.»

Videre beskriver kontraktstrategien at en EPC-kontrakt på Follobanen vil gi enhetlig ansvar for fremdrift, kvalitet og garantier, redusert gjennomføringstid og investeringskostnader, få kontraktsmessige grensesnitt, tverrfaglig samarbeid og Follobanens byggherreteam vil dermed frigjøre tid til oppfølging av kvalitet og SHA. Det ble derfor inngått flere totalentrepriser underlagt egne delprosjekter innad i Follobaneprosjektet.

Jernbaneverket og NSB før den tid, har hovedsakelig hatt utførelseskontrakter på jernbaneteknikk i store infrastrukturprosjekter. I en utførelsesentreprise er det byggherre som utarbeider prosjekteringsgrunnlaget. Overgangen til og totalentreprise i forbindelse med FB-prosjektet var forholdsvis nytt for Jernbaneverket som en organisasjon. Ved en totalentreprise er det en entreprenør som er ansvarlig for utarbeidelse av prosjekteringsgrunnlaget, og prosjekteringen baseres på funksjonskrav angitt i kontrakten. Jernbaneverket hadde ved oppstarten av FB-prosjektet begrenset erfaring med EPC-kontrakter og den nye rollen som «bestiller» fremfor utfører på jernbaneteknikk. Follobaneprosjektet har i denne forstand blitt beskrevet som et «pilot-prosjekt» av samtlige informanter undersøkelsesgruppen har snakket med. Å sette av jernbaneteknikk til totalkontrakter var en voksende trend generelt i Europa på den tiden, men det var fortsatt ikke prøvd ut i større norske jernbaneprosjekter. Før oppstart av utbygging av Follobaneprosjektet ble det hentet inn personell som hadde erfaring med EPC-kontrakter fra andre bransjer. Det er undersøkelsesgruppens oppfatning at bruken av totalentrepriser til Follobaneprosjektet i seg selv ikke var problematisk, men at oppfølging av kontrakten med AGJV underveis i prosjektet kunne være utfordrende.

9.2. utfordringer med jernbaneteknikk hos totalentreprenør

Totalkontrakten til tunnelarbeider / tunnelborremaskin Oslo-Ski utgjorde den mest tids- og kostnadmessig krevende totalkontrakten i prosjektet. AGJV ble valgt som totalentreprenør for delprosjektet, med ansvar for tunnelarbeidet samt underbygning og jernbaneteknikk. Kostnadene i prosjektet lå hovedsakelig på tunneldrivingen, så entreprenørens evne til å utføre tunnelarbeidene hadde vesentlig vekt i valg av entreprenør. Dette til tross for at jernbaneteknikk var inkludert i totalkontrakten, og AGJV ikke hadde tidligere erfaring med jernbanetekniske kontrakter i Norge. Forut og i etterkant av at

AGJV signerte kontrakten på TBM, ble deres mangel på jernbaneteknisk kompetanse diskutert og vurdert av prosjektet. AGJV styrke lå først og fremst i tunnelbyggingsdelen av delprosjektet, og prosjektering og utførende arbeider på JBT ble hovedsakelig tildelt underentreprenører. Tidligst i 2014 presenterer TBM-delprosjektets usikkerhetsstyring risikoen for at jernbaneteknikk kunne bli nedprioritert da det ble utført av en underentreprenør og ikke av totalentreprenøren. Delprosjektets egen kompetanse og evne til å følge opp JBT i delprosjektet kom på agendaen i september 2015. Manglende fokus på JBT hos AGJVs ledelse ble fremhevet i usikkerhetsanalysene fra september 2016 og var gjennomgående i hele prosjektperioden. Delprosjektets usikkerhetsstyring kan slik tolkes at valget om å inkludere jernbaneteknikk i totalentreprisen på Blix tunnelen, samt valget av AGJV som totalentreprenør medførte en risiko for at jernbaneteknikk ble nedprioritert sammenlignet med tunneldrivingen, og fikk ikke det nødvendige fokuset hos AGJVs ledelse. Som et tiltak for å få grep om risikoen knyttet til AGJVs utsettelse av de jernbanetekniske arbeidene til en underentreprenør, ble det gjennomført en omfattende revisjon av Elecnor (underentreprenør til AGJV) høsten 2017. Konklusjonen fra denne revisjonen var at Elecnor var godt kvalifisert til gjennomføring av nevnte arbeider, og hadde gode rutiner for kvalitetssikring av sine leveranser.

Undersøkelsergruppens intervjuer med involverte virket bekræftende for bekymringene knyttet til JBT. Det er en felles oppfattelse blant involverte i prosjektet at da jernbaneteknikkarbeidene begynte i slutten av 2018 ble samhandlingen med AGJV utfordrende. Disse utfordringene besto blant annet av at nøkkelpersonell hos AGJV ikke viste tilstrekkelig forståelse for jernbanetekniske fag, og valg av jernbanetekniske løsninger samsvarte ikke nødvendigvis med forventningene til byggherre eller øvrig teknisk fagekspertise i Bane NOR. Disse utfordringene er allerede beskrevet i kapittel 7.1. Byggherres evne til å følge opp og kvalitetssikre entreprenørens arbeider spiller også inn i denne sammenheng. Follobaneprosjektet har i sin oppfølgingsstrategi uttrykt at den skal være «*Hands on, but fingers off*». Flere informanter har påpekt at byggherre besitter god jernbanefaglig kompetanse, men hadde ikke nødvendigvis ressursene eller arbeidskapasiteten til å kontinuerlig følge opp entreprenøren on-site gjennom kontroller eller inspeksjoner. Prosjektet har uttrykt et ønske om større tilstedeværelse fra driftsorganisasjonen for bistand til kontroll og oppfølging av arbeider og løsninger i form av «*site inspectors*».

En ytterligere dimensjon av denne utfordringen gikk på underentreprenører som utførende på jernbaneteknikk. I henhold til kontrakt skal ikke byggherre forholde seg direkte til underentreprenør som utfører jernbaneteknisk arbeid, men gå via hovedentreprenør. Dette skapte grensesnittutfordringer mellom byggherre eller Bane NORs tekniske miljøer sentralt på den ene siden og underentreprenører i tunneldelprosjektet på den andre siden, i forbindelse med jernbanetekniske disputer. I praksis betydde dette eksempelvis at korrespondanse vedrørende jernbaneteknikk fra byggherre måtte gå via TE og til UE, og via TE tilbake til byggherre igjen. Slik beskrevet av informanter til undersøkelsergruppen, måtte informasjonen gjennom flere ledd i prosjekthierarkiet, noe som gjorde det tungvint å formidle og utveksle informasjon mellom byggherre og entreprenøren som utførte det faktiske arbeidet i tunnelen.

9.3. Samarbeid og samhandling med totalentreprenør

Undersøkelsergruppen har gjennom intervjuer med involverte erfart at AGJV til tider kunne være en krevende samarbeidspartner. Ved flere anledninger underveis i prosjektet har byggherre fremhevet kvalitetsavvik på bygd anlegg, uten at AGJV har vært lydhør til bekymringene fra byggherre. Tilfeller hvor prosjektet opplever at AGJV «bagatelliserte» byggherrens bekymringer om kvalitet på utført arbeid. Erfaringene fra delprosjekt TBM er at slike uenigheter mellom byggherre og AGJV fort ble juridiske, da entreprenør hevdet at utført arbeid var tilstrekkelig og i henhold til krav i TRV.

Undersøkelsergruppen har i intervjuer fått en forståelse for at man så for seg et samarbeid med entreprenør hvor man sammen kunne finne «de gode løsningene» som ville fungere godt for Bane NOR,

men i ettertid viser erfaringen at det var nødvendig å i større grad spesifisere forventningene til anlegget man ønsket.

9.4. Follobanens usikkerhet- og risikostyring

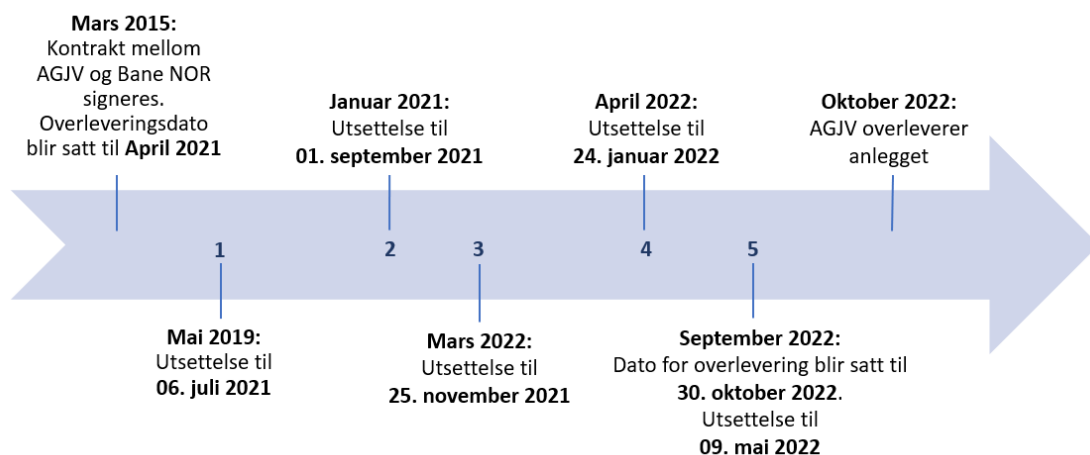
I henhold til STY-6005568 (*Usikkerhetsstyring i prosjekter*) skal usikkerhetsstyring i prosjekter være en kontinuerlig og systematisk prosess som gjennomføres i hele prosjektets levetid. Alle identifiserte usikkerheter som kan resultere i potensielle avvik skal registreres og følges opp i et felles usikkerhetsregister for Follobaneprosjektet. Follobaneprosjektet etablerte usikkerhets- og risikostyring som en ledelsesprosess i 2014 som disponeres av Prosjektdirektør og administreres av prosjektets kvalitetsleder. Prosjektet har et etablert usikkerhetsregister i systemet PIMS. Registeret viser en oversikt over usikkerheter som krever tiltak for å minimeres. Registeret aggregeres nedenfra fra de enkelte delprosjekter opp til en «Topp 10 oversikt» for hele Follobaneprosjektet. Usikkerhetsregisteret viste identifiserte risikoer og definerte tiltak, samt opplysninger om rangering av sannsynlighet og konsekvens, eier av risiko og tiltak, frister, m.m. Registeret ble oppdatert hver måned og gjennomgått i prosjektets ledermøte der endelig Topp 10 ble fastlagt. Basert på gjennomgått dokumentasjon og gjennomførte intervjuer er det undersøkelsesgruppens vurdering at prosessen for usikkerhets- og risikostyring i delprosjekt TBM og Follobaneprosjektet generelt har vært grundig og i henhold til prosedyre.

9.5. Konklusjon delkapittel kontrakt

Et relevant læringspunkt for Bane NOR er at i prosjekter hvor jernbaneteknikk inngår i totalentreprisen, burde kontrakten tydelig spesifisere de forventningene Bane NOR har til valg av løsninger og kvaliteten på arbeid utført. Flere informanter undersøkelsesgruppen har snakket med uttrykte frustrasjon over manglende detaljnivå og krav stilt til tekniske løsninger i kontrakten. Samtidig oppleves teknisk regelverk mindre egnet i sammenheng med bygging av nye anlegg. Kravene i TRV er åpne nok til at entreprenør kan velge løsninger som passer deres behov, men ikke nødvendigvis møter Bane NORs forventninger. Byggherre har instruksjonsmulighet i kontrakten, hvor spesifikke arbeider kan kreves, men erfaringsmessig så er dette arbeider som vil føre til økte kostnader og forskyving av tidsfrister. Undersøkelsesgruppen ser at dette vil kunne skape utfordringer når man da skulle ha instruert entreprenør til å endre anlegget fra noe som er i henhold til kontrakt, men ikke i henhold til forventningene eller ønskene.

10. Ferdigstillelse

Bane NOR skulle etter opprinnelig bestilling fra Jernbanedirektoratet (JDIR), *Avtale om bygging infrastruktur: K04-1 Follobanen*, ferdigstille Follobaneprosjektet for ibruktaking i desember 2021. I kontakten som ble inngått med AGJV i mars 2015 var overleveringsdato for Blix tunnelen derfor april 2021. En av entreprenørene i Follobaneprosjektet gikk under konkursbeskyttelse i løpet av utførelsen, og medførte ett års forlenget frist for de resterende kontraktene i prosjektet. Grunnet uenighet i endringskrav, rettsvister og forsinkelser i arbeid ble fristen utsatt en rekke ganger. De forsinkelsene som ble akseptert av Bane NOR ble håndtert gjennom 'variation orders' (VO'er) (Figur 11).



Figur 11: Fristutsettelse for overlevering av anlegget fra AGJV. Fristutsettelsene i mars, april og september 2022 var retroaktive endringer for å justere kompensasjon.

10.1. Åpningsdato

Gjennom intervjuer med involverte i TBM-prosjektet har det kommet frem at åpningsdatoen var opplevd som «udiskutabel» i sluttfasen av delprosjektet og at det var sterkt fokus fra deler av divisjonsledelsen om å nå ferdigstillelse innen 11.12.2022. Det ble vurdert av Bane NOR at det ville medføre et betydelig omdømmetap hos myndigheter, togselskaper og de reisene dersom planlagt effektuttak fra Follobanen ikke kunne tas i bruk ved planlagt dato. Undersøkelsesgruppen har fått tilgang til dokumentasjon som bekrefter dette. I tillegg til dette var Ruteplan 2023 (R23) bestemt og planlagt innført fra 12.12.2022, og den nye ruteendringen skapte enda en forutsetning for å åpne tunnelen 11.12. I Bane NORs kapasitetsfordelingsprosess for R23 ble det forutsatt at Follobanen skulle tas i bruk fra 11.12. 2022. R23-systemet har blitt beskrevet av personer undersøkelsesgruppen intervjuet som særdeles rigid. Undersøkelsesgruppen erfarer at det var en oppfatning blant ledelsen i Follobaneprojektet om at det ikke var fleksibilitet til å endre eller avvike fra planen om å åpne 11.12, uten å skape store forsinkelser i togtrafikken. Det var derfor også liten mulighet for å åpne banen med redusert kapasitet i første omgang. Endring av ruteplan en omfattende prosess og får store konsekvenser for jernbaneforetak, som har etablert skiftplaner og juster mengden materiell og personell. Det er også mange vurderinger og tekniske systemer som må oppdateres ved endring av ruteplan.

Undersøkelsesgruppen erfarer at det var et betydelig direkte og indirekte press på prosjektledelsen for å åpne Follobanen den 11.12.2022, og denne datoen ble opplevd av prosjekt og overtagende driftsenheter som udiskutabel.

10.2. Prioritering av omdømme og tid

Det var press rundt åpningsdatoen og usikkerhet om hvor lang tid entreprenøren faktisk kom til å bruke hvis ny avtale ikke kom på plass. Dette medførte at det i større grad var aksept for å inngå en tilleggsavtale for å sannsynliggjøre at banen åpnet 11.12.2022. Dette i tillegg til muligheten for et betydelig omdømmetap. I august 2022 var det gjenstående arbeidet betydelig forsinket og AGJV rapporterte forventet overlevering av anlegget i februar 2023. For å øke sannsynligheten for ibruktaking av Blixntunnelen 11.12, ble det forhandlet frem en tilleggsavtale, Amendement 8. Denne presenterte delleveranse av tunnelanlegget 30.10.2022. For å redusere AGJV sin forsinkelse i arbeidet og fremme fremdrift ble det i tilleggsavtalen presentert et insentivmiddel på 350M NOK for å oppnå delleveranse av anlegget 30. oktober. Tilleggsavtalen beskrev også at all påberopt dagmulkt som følge av forsinkelser ville bli annullert dersom anlegget ble overlevert til avtalt tid. Involverte i delprosjektet

undersøkellesgruppen har intervjuet opplevde entreprenør som kommersielt motivert. Incentivet og annulleringen av dagmulkt ble opplevd som et nødvendig middel for å få en positiv utvikling på fremdriften til AGJV slik at Blixunnelen kunne idriftsettes til planlagt dato. Dette økte risiko for at delprosjektet ikke ville ferdigstilles innen kostnadsrammen, men Bane NOR vurderte alternativet uten tilleggsavtale som verre. En potensiell forsinkelse ville medført et betydelig omdømmetap og usikker fremdrift. Det er undersøkelsesgruppens oppfatning at risikoen for å gå utover den planlagte kostnadsrammen ble vurdert av Bane NOR som mindre alvorlig enn risikoen for forsinket åpning.

Presset for å nå åpningsdato åpnet også for at arbeid som ikke var driftskritisk kunne ferdigstilles på et senere tidspunkt. Det alkaliske vannet i tunnelen førte til korrosjon på aluminiumsdelene i anlegget. Dette førte til problemer for levetiden til anlegget. Entreprenøren valgte da å fokusere på ytterligere tetting. TBM prosjektet anbefalte i februar 2022 å erstatte de installerte aluminiumslinene (Al) for AT-anlegget med kobberliner (Cu). Dette grunnet lekkasjer i form av drypp og fuktgjennomtrengning. På dette tidspunktet vurderte delprosjektet det som krevende å oppnå tilfredsstillende tetthet i tunnelen slik at anlegget kunne tas i bruk med de installerte Al-linene. I mai 2022 var omtrent 2/3 av lekkasjepunktene tettet og risikoen for skade på Al-linene var betydelig redusert, men imidlertid ikke eliminert. For å øke sannsynligheten av ibruktaking av tunnelanlegget til åpningsdato, besluttet Bane NOR at Al-linene for AT-anleggene måtte beholdes. Dette med forbehold om tetting av gjenværende lekkasjer i tunnelen før idriftsettelse og gradvis utskifting til Cu-liner i forbindelse med togfrie perioder på senere tidspunkter.

Delprosjektets vurdering var at det ikke var ideelt å levere anlegget med Al-liner med tanke på krav til kvalitet og levetid. Det ble likevel vurdert som det eneste alternativet hvor det ville være mulig å nå åpningsdatoen. Undersøkelsesgruppen erfarer at ved innspurten for å ferdigstille delprosjekt TBM innen åpningsdatoen ble tid og omdømme ble vektet tungt.

Undersøkelsesgruppen har ikke vurdert de økonomiske beslutningene knyttet til kostnadene rundt tilleggsavtalene. I tiltakslisten i denne rapporten fremmer undersøkelsesgruppen et forslag om å følge opp økonomiske beslutninger knyttet til prosjektet i en egen undersøkelse.

10.3. Testperiode – utførelse, vurderinger og krav

Testing og godkjenning av Blixunnelen ble ferdigstilt før åpningen av togtrafikken. Det ble gjennomført testkjøring over en periode på 10 dager og som en del av testingen, ble det kjørt flere tog med hyppigere avgang enn normalt og med ulike kombinasjoner av togveier inn og ut av Ski stasjon og inn mot Oslo S. Kjøringen ble organisert i henhold til flere kjøremodeller for å teste anlegget. Verifikasjon av hvordan anlegget fungerte med trafikk og målinger av spenninger i anlegget ble gjort underveis.

Undersøkelsesgruppen er ikke kjent med at det var etablert testplaner for testkjøringen før åpning 11. desember 2022. Det var imidlertid et omfattende testopplegg for øvrige elektrotekniske installasjoner av anlegget før overtagelse. I tillegg ble det gjennomført en vellykket testing av spenningssetting av anlegget før anlegget ble overtatt av Bane NOR. Det ble også gjennomført målinger av ulike parametere i forbindelse med testkjøringen og videre etter idriftsetting av anlegget.

Testperioden for delprosjekt TBM var opprinnelig planlagt fra august 2022, men ettersom AGJV ikke overleverte anlegget før 30. oktober ble testperioden kortet ned til 4 uker og testkjøring på 10 dager. Undersøkelsesgruppen er ikke kjent med at det er gjennomført en risikoanalyse av nedkorting, men det er funnet en risk 876 i usikkerhetsanalysene som omtaler dette (se kap. 15.5.10). Risikoen er hovedsakelig knyttet til at manglende tid til uttesting med tog i tunnelen medfører for kort til å utbedre eventuelle feil. Risikoen blir først påpekt i usikkerhetsstyringen i august 2022 og på dette tidspunktet vurdert som høy. Delprosjektet iverksatte tiltak om stående beredskap for utbedring av påviste feil i regi av Spordrift og bestilte flere tog fra VY til testing. Risikoen ble vurdert til å være lavere i november, da testkjøringen ikke hadde avdekket feil og dermed avkreftet bekymringer TBM-prosjektet hadde i forkant.

Ledelsen i delprosjektet hadde derfor på dette tidspunktet ingen funn fra testkjøringen som pekte på utsettelse av åpningen og lengre testperiode.

I etterkant av den stoppende feilen har det blitt stilt spørsmål ved om en lengre testperiode ville avdekket feilen i anlegget. Undersøkelsergruppen erfarer at det foreligger ulike oppfatninger på om en lengre testperiode hadde avdekket feilen. Det er usikkerhet knyttet til om en lengre testperiode ville avdekket feilen, da det er uvisst om det er noen målinger som kunne gi en indikasjon på utfordringer eller feil.

I etterkant av den stoppende feilen ble det gjennomført en sammenligning av belastning på kontaktledningsanlegget under testperioden og den «normale» driften av Follobanen. Dette gjøres ved at data fra testingen sammenlignes med belastningen fra normal drift ved tilsvarende tidspunkt. Det er ikke slik at testingen nødvendigvis skal gjenskape den normale belastningen, men heller vurdere om testingen har ført til en termisk belastning som er sammenlignbare med normal drift. Sammenligningen så på øyeblikksverdier og verdier som er regnet ut over et lengre tidsrom. Eksempelvis, kan et 1-sekunds-verdi si noe om hvor mye varme som ble utviklet under en kortvarig laststopp, mens en 30-minutts-verdi kan si noe om varmeutvikling over en lengre periode. Sammenligningen viste at testingen generelt sett dekket de kortvarige verdiene i litt større grad enn de langvarige verdiene. Det vil si at testingen på kortvarig effekt ble vurdert til å være tilstrekkelig og at anlegget var testet til å tåle de kortvarige belastningene. Belastninger med lengre varighet ble ikke testet i like stor grad og flere av avgangene nådde ikke opp til de verdiene som ble målt under drift.

Undersøkelsergruppen erfarer at det er mangel på krav til testing av anlegg i TRV, både når det gjelder lengde på testperiode og valgt belastning av anlegget. Det virker også som at det er mangel på en etablert praksis eller standard for utførelse av testing i Bane NOR. Testing er dermed svært betinget av faglig ekspertise i prosjektene. I intervjuer undersøkelsergruppen har gjennomført blir det presentert at det dermed er lite å støtte seg på når testperioden blir nedkortet. Undersøkelsergruppen opplever at det er behov for å etablere en robust standard og krav til testing.

11. Rolle og grensnitt, Utbygging og Drift og Teknologi

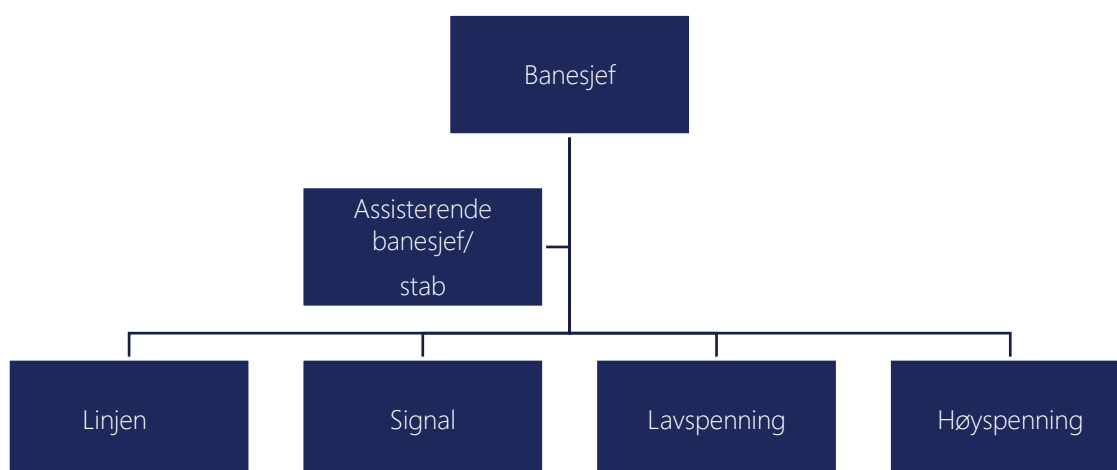
Bane NOR, Drift og Teknologi, (Driftsorganisasjon) er bruker og eier av Follobanen, og har det overordnede ansvaret for drift- og vedlikehold. Driftsorganisasjonen får overlevert ny og fornyet infrastruktur fra Utbygging, og driftsorganisasjonen og prosjektet har ulike roller og grensesnitt i en idriftsettelse og overleveringsfase. For å oppnå en sømløs overgang er det kritisk at begge parter opprettholder ansvarsområdene, og har en god samhandling gjennom hele prosjektet. Eksempelvis skal levetidskostnader og hensyn til fremtidig drift og vedlikehold stå sentralt ved valg av løsninger i prosjektet. Prosjektet skal også levere kvalitetssikret sluttokumentasjon til FDV-arkivet i ProARC, Banedata og evt. andre plansystemer før overlevering til drift av prosjektet (jfr. STY-60457)

11.1. Banesjefens organisasjon (Drift og Teknologi)

Banesjef Øst har overordnet ansvar for sikkerheten, døgnskuttet beredskap og drift på sin strekning. Dette innebærer at Banesjefen har ansvar for å åpne og stenge hele eller deler av sin strekning for trafikk. Banesjefens enhet er også ansvarlig for vedlikehold av infrastruktur og teknisk utstyr. Banesjefens organisasjon er en liten organisasjon og består av syv ansatte pr. april 2023. Figur 12 viser organisasjonskartet til Banesjefens enheter. Banesjefens organisasjon samarbeider tett og mottar støtte fra andre enheter i Drift og Teknologi. Organisasjonen har også tett samarbeid med Spordrift som leverer vedlikeholdstjenester. Energi er tillagt ansvar for elsikkerheten, jfr. STY-605227, avsnitt 4.1.4.

Banesjefens organisasjon spiller derfor en viktig rolle i å sikre at Follobanen blir driftet og vedlikeholdt på en sikker og effektiv måte. Kompleksiteten Follobanen medfører til drift og vedlikehold, krever at Banesjefen får tilgang til de ressurser som nødvendig for å drifte anlegget, og gjøre seg kjent med anlegget før overtagelse og videre drift av anlegget. Det er også viktig at Banesjefen spiller en rolle når premisser og funksjonskrav for anlegget skal besluttes

Delprosjekt TBM hadde i en tidlig fase, frem til ca 2013 en egen ressurs fra Banesjefen som inngikk i prosjektorganisasjonen og som tok del i viktige beslutninger knyttet til utforming av prosjektet bl.a med tanke på fremtidig drift og vedlikehold. Ressursen ble tatt ut av prosjektet, uten å bli erstattet av noen ny representant fra driftsenheten.



Figur 12: figuren illustrerer banesjefens organisasjon

11.2. Bane NORs krav til idriftsetting- og overleveringsfase

STY-604954, *Konsernprosedyre Idriftsetting og overlevering av ny og fornyet infrastruktur* er forankret i *Eksisterende jernbaneinfrastruktur – konsernstandard*, omhandler hvordan man oppnår effektiv involvering av driftsorganisasjonen, enhetlig og sikker idriftsetting og overlevering av ny og fornyet infrastruktur, samt etterlevelse av krav i lov og forskrifter. Hensikten med prosedyren er å beskrive kravene som gjelder for idriftsetting og overlevering samt å beskrive hvordan driftsorganisasjonen i Bane NOR skal involveres på en effektiv måte for å oppfylle disse kravene.

Ved overlevering av ny og fornyet infrastruktur forekommer et ansvarsområde for de ulike divisjonene som er presisert i prosedyren. Divisjonens ansvar og myndighet ved overlevering av ny og fornyet infrastruktur er følgende:

Tabell 8: Oversikt over divisjonenes ansvarsområde ved overlevering av fornyet infrastruktur

Divisjon	Ansvar
Utbygging	<ul style="list-style-type: none"> • Er ansvarlig for etterlevelse av konsernprosedyre (STY-604954) og medfølgende krav
Drift og Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> • Er ansvarlig for sikkerhet og elsikkerhet på eksisterende infrastruktur • Er ansvarlig for å kravstille, idriftsettelse og tilgjengeliggjøre infrastruktur som divisjonen eier • Er ansvarlig for å utarbeide og godkjenne trafikale funksjonskrav til infrastrukturen • Er ansvarlig for S-sirkulære prosessen (informasjon til brukere av jernbanen), og stiller • krav til kvalitet og leveringstider til aktivitetene i denne prosessen
Kunde og Marked	<ul style="list-style-type: none"> • Er ansvarlig for å beskrive funksjonskrav til ny og fornyet jernbaneinfrastruktur som støtter en optimal utnyttelse av jernbaneinfrastrukturkapasitet • Er ansvarlig for å verifisere om prosjekterte sporplaner har tilstrekkelig kapasitet til å oppnå forventet tilbudsforbedring (effekt mål) • Er ansvarlig for å kvalitetssikre infrastrukturdata og oppdatere plansystemene som • skal brukes i kapasitetsfordelingsprosessen
Eiendom	<ul style="list-style-type: none"> • Er ansvarlig for å kravstille, idriftsette og tilgjengeliggjøre infrastruktur som divisjonen eier

Krav og føringer i prosedyren gjelder for all idriftsetting og overlevering av ny og fornyet jernbaneinfrastruktur i Bane NOR, inkl. tidlig og effektiv involvering av driftsorganisasjonen for å sikre driftsinteresser.

Gjennomføring av involvering, idriftsetting og overlevering av ny og fornyet infrastruktur er fordelt på fire faser i Bane NORs prosjektmodell, samt påfølgende drift:

- *Oppstart*
- *Planlegge*
- *Gjennomføre*
- *Avslutte*
- *Drift*

Prosjektet skal hensynta kostnadseffektivitet i et livsløpsperspektiv ved planlegging og utbygging av jernbaneinfrastruktur. Krav og aktiviteter knyttet til involvering av driftsorganisasjon med fokus på forvaltning, drift og vedlikehold finnes i alle de overnevnte faser, med hovedvekt på tidlig involvering i oppstarts- og planleggingsfasen. Krav og aktiviteter knyttet til idriftsetting og overlevering er mest relevant i gjennomførings- og avslutningsfasen, samt ved overgang til drift. Det er i planleggingsfasen at de viktige beslutningene relatert til fremtidig drift og vedlikehold av banen tas. Her legges også føringene/ funksjonskravene for gjennomføringsfasen, uavhengig av kontraktsformat.

11.2.1. Oppstart

I oppstartsfasen skal prosjektet identifisere fremtidige eier av ny eller fornyet infrastruktur og andre parter som skal involveres eller som skal være kravstiller i prosjektet

- *Det skal defineres krav og/eller insentiver som skal følge opp at prosjektet gjør investeringsvalg som er kostnadseffektive i et livsløpsperspektiv. Fremtidig eier skal være involvert i definisjonen av krav og eventuelle insentiver, samt hvordan dette skal følges opp gjennom prosjektet og etter at overlevering er foretatt*

Det skal etableres en styringsmodell hvor fremtidig eier er involvert og har en rolle i de relevante beslutningspunktene i alle fasene av prosjektet

11.2.2. Planlegge

I planleggingsfasen skal fremtidig eier og brukere (Kunde og marked, Trafikk) involveres slik at aktuelle alternativer er identifisert, vurdert og valgt med tanke på framtidig forvaltning, drift og vedlikehold. I planleggingsfasen skal prosjektet begynne å planlegge overlevering fra prosjekt til Bane NORs driftsorganisasjon, og beskrive dette i en overordnet overleveringsstrategi.

Overleveringsstrategien skal være et levende dokument som prosjektet utvikler og kompletterer i gjennomføringsfasen etter hvert som prosjektet materialiseres. Overleveringsstrategien skal blant annet beskrive involvering og samhandling mellom prosjekt og fremtidig eier, tydeliggjøre ansvarsforhold og hvordan prosjektet ivaretar funksjonskrav i prosjektperioden og ved overlevering til eier.

11.2.3. Gjennomføre

I gjennomføringsfasen skal det gjennomføres aktiviteter som legger til rette for en god og effektiv overlevering av prosjektet til fremtidig eier.

Overleveringsstrategien skal kompletteres med plan for de aktiviteter som skal gjennomføres før idriftsettelse og overlevering, inkl. befaringer.

Prosjektet er ansvarlig for å levere og dokumentere avtalt kvalitet (herunder ivaretagelse av Bane NORs styringssystem, teknisk regelverk, lover og forskrifter), og må innarbeide egne kontrollrutiner og krav til FDV-dokumentasjon deretter. Tilstrekkelige kontroller og befaringer med fremtidig eier og overlevering av FDV-dokumentasjon i forbindelse med midlertidig driftsfase eller ferdigstillelse, skal utføres fortløpende som beskrevet i overleveringsstrategien.

Innen prosjektet går over i avslutningsfasen stilles følgende krav (STY-604954):

- *Aktiviteter, prosesser og avklaringer i overleveringsstrategi/overleveringsavtale skal være gjennomført*
- *Nødvendige elsikkerhetskrav skal ivaretas i produksjons-/byggefase og ved spenningssetting av ny og fornyet elektrisk infrastruktur*
- *Tilstrekkelig underlag slik at Bane NOR kan lage eller oppdatere beredskapsplanen*
- *All nødvendig FDV-dokumentasjon skal være ferdigstilt og tilgjengeliggjort. BaneData og ProArc skal være oppdatert. Alle nye og endrede objekter med tilhørende vedlikeholdsrutiner skal være lagt inn og eksisterende objekter som er fjernet av prosjektet skal også settes utgått i BaneData/ProArc*
- *Nødvendig opplæring skal være gjennomført*
- *Opsjoner for relevante serviceavtaler skal være klare og reservedeler skal være tilgjengelig*
- *Overleveringsprotokoll skal være godkjent av fremtidig eier*
- *Tilgjengelighet av ressurser fra prosjektet til stabil drift er oppnådd skal være avklart før idriftsettelse*

Ved overlevering overtar eier ansvaret for garantier, kontrakter og eventuelle serviceavtaler.

Prosjektet skal utbedre eventuelle feil og mangler som gjenstår etter overlevering iht. planen som inngår i overleveringsprotokollen. Utbedring av feil og mangler verifiseres under overleveringsbefaring eller akseptansetest som beskrevet i overleveringsstrategi. Gjenstående farer i farelogg som gjelder drift overføres til eier.

12. Idriftsetting og overlevering av Blixunnelen til Driftsorganisasjonen

I planleggingsfasen av et prosjekt er det viktig å ta hensyn til hvordan overleveringen til driftsorganisasjonen kan gjøres på best mulig måte. I henhold til STY-604954 bør prosjektet identifisere måter å involvere driftsorganisasjonen på for å oppnå en god samhandling. Dette kan inkludere å øke driftsorganisasjonens kunnskap om prosjektet, få forankret og kjennskap til løsninger, og få med den kompetansen som enheter besitter.

I delprosjekt TBM overleveringsstrategi ble det eksplisitt fremhevet hvor viktig det er at prosjektet involverer driftsorganisasjonen for å gjøre overtakelsen enklere. Et av initiativene prosjektet iverksatte for å identifisere behovet til driftsorganisasjonen var gjennom Kantech-rapporten, som beskrives i kapittel 12.1.

12.1. Initiativer i planleggingsfasen

Februar 2019 inngikk Bane NOR (Delprosjekt TBM) og Kantech AS en avropsavtale om at Kantech AS skulle gjennomføre oppgaven «*Prosjektledelse av prosjekt «Follobanen ferdigstilling og overlevering»*». Kantech AS hadde fått i oppgave av delprosjekt TBM om å lede et prosjekt som skulle kartlegge hva driftsorganisasjonen måtte forberede seg på før overtagelse av Follobanestrekningen, med formål om å oppnå en sømløs overlevering. Rapporten presenterte i tillegg hvilke områder delprosjekt TBM måtte forberede seg på.

Prosjektet systematiserte arbeidet ut ifra fem ulike områder:

- Opplæring
- Dokumentasjon
- Drift og vedlikehold
- Beredskap
- Maskiner og utstyr

Prosjektarbeidet skulle bidra til Bane NORs nådde følgende målsetninger for Follobanestrekningen:

- «*Bane NOR skal levere en infrastruktur som er sikker, har høy oppetid og som skal være kostnadseffektiv*»
- «*Ved idriftsetting av Follobanen vil det være en forventning fra samfunnet at Follobanestrekningen er 100% operativ fra dag 1*»

Rapporten ble ferdigstilt desember 2019 og konkluderte med 42 aksjonspunkter, hvorav driftsorganisasjonen fikk total 28 aksjonspunkter og delprosjekt TBM 14 punkter. Kritikaliteten til hvert punkt ble også vurdert, der driftsorganisasjonen hadde 10 av 28 kritiske aksjonspunkter, mens delprosjekt TBM hadde 7 av 14 punkter.

Et av de kritiske aksjonspunktene for delprosjekt TBM omhandlet prosjektets ansvar som opplæringsansvarlig. Det var vurdert som kritisk at delprosjektet TBM ikke hadde etablert en opplæringsplan som skulle dekke alle usikre elementer ved opplæring og kompetanse på strekningen. Det var fremmet eksplisitt at opplæringsplanen måtte bli utarbeidet i samarbeid med Banesjef, driftsorganisasjonen og Spordrift på grunnlag av en ønsket struktur for gjennomføring av drift og vedlikehold. Det var også vurdert som kritisk at delprosjekt TBM ikke hadde kartlagt opplæringsbehovet.

Et av de kritiske aksjonspunktene for driftsorganisasjonen var spørsmålet «*Er banesjefens organisasjon med støtte fra Infrastruktur nok til å følge opp vedlikehold og drift? Har organisasjonen tilstrekkelig kompetanse til å overta FB med ny teknologi?*» Et annet punkt var at driftsorganisasjonen måtte sikre at et overordnet rammeverk for driftssentralen måtte defineres, slik man fikk sortere ut hvilke signaler som er viktig for togdriften og definere hvilke signaler man ønsker å ha.

Driftsorganisasjonens håndtering av Kantech rapporten

Rapporten ble gjennomgått hos driftsorganisasjonen, og alle aksjonspunktene ble tatt opp med ledelsen i drift. Etter den interne gjennomgangen mente driftsorganisasjonen at rapporten konkluderte med overestimerte behov, f.eks. der et av punktene var at driftsorganisasjonen skulle beslutte hvor og størrelse av en eventuell driftbase. Dette mente driftsorganisasjonen at delprosjekt TBM skulle beslutte. Driftsorganisasjonen mente også at det var et behov for å klargjøre ansvarsoppgavene mellom delprosjekt TBM og driftsorganisasjonen.

Basert på tilbakemeldingen fra Kantech rapporten iverksatte driftsorganisasjonen tiltak hvor de stilte opp med egne koordinatorene opp mot drift og Spordrift, samt eierstyring fra ledelsen i drift. I tillegg gjennomførte driftsorganisasjonen egne oppfølgingsmøter med delprosjekt TBM med hensyn på utestående aktiviteter som driftsorganisasjonen manglet og som driften ikke kan levere på, og som var forventet fra delprosjektet, eksempelvis:

- Vedlikeholdsplaner for FB
- FDV dokumentasjon
- Opplæringsprogram for FB
- Dokumentasjon for FB
- Beredskap – beredskapsanalyse

I etterkant av ferdigstilt rapport ble det også avholdt et møte den 16.01.2020 mellom driftsorganisasjonen og delprosjekt TBM. Formålet med møtet var å gi feedback på Kantech rapporten til prosjektet, samt få en avklaring på rollebeskrivelse, hvem gjør hva (delprosjekt og driftsorganisasjonen). I møtet ble det også presentert for delprosjektet hvilke krav som gjelder i styrende dokumenter og hvilke leveranser driftsorganisasjonen, som fremtidige eier, forventet fra prosjektet. Det ble også høsten 2020 avholdt et møte med ledelsen i driftsorganisasjonen med etterfølgende befaring av anleggene i Blix tunnelen. I møtet ble i prinsippet punktene fra Kantech rapporten gjennomgått. Omfanget av hva som ville bli overlevert og hva driftsorganisasjonen måtte forberede seg på å ta over for fremtidig drift og vedlikehold var det samme som beskrevet i Kantech-rapporten. Prosjektet anbefalte driftsorganisasjonen å forsterke sin organisasjon / inngå avtale med Spordrift slik at de ved tilstedeværelse kunne starte forberedelsene til å overta anlegget.

Som påpekt ovenfor, så var et av de kritiske punktene for driftsorganisasjonen at det måtte etableres et overordnet rammeverk for driftssentralen, slik at det ble mulig å sortere ut hvilke signaler som var viktig for togdrift og hvilke signaler man ønsker å overvåke. I undersøkelsen har det fremkommet at denne problemstillingen ikke ble håndtert, da problematikken med sortering og håndtering av alarmer medførte problemer ved idriftsettelse og i etterkant av overleveringen. Aktuell problemstilling presenteres i kapittel 11.2.4

12.2. Gjennomføringsfasen av delprosjekt TBM (STY-604954)

Undersøkelsesgruppen har erfart at delprosjekt TBM og Driftsorganisasjonen har hatt samarbeidsutfordringer i prosjekt. Driftsorganisasjonen har opplevd at valg og løsninger som prosjektet besluttet underveis ikke ivaretok levetidskostnader og hensyn til fremtidig drift og vedlikehold. Drift opplevde også at delprosjekt TBM ikke involverte Driftsorganisasjonen i faser der relevante beslutninger skulle tas. I STY-604954 (*Konsernprosedyre Idriftsetting og overlevering*) fremmes det at en styringsmodell skal etableres hvor fremtidig eier er involvert og har en rolle i de relevante beslutningspunktene i alle fasene av prosjektet. I undersøkelsen har det kommet frem at Banesjef Øst har vært en del av styringsmodellen, og skal iht. delprosjekt involveres. I Delprosjekt Ski har denne praksisen fungert godt, der Driftsorganisasjonen ble involvert og fikk innblikk i hva som skjedde underveis gjennom ukentlige statusmøter, og opplevde at deres meninger ble hørt. Dette har derimot

ikke vært tilfelle på delprosjekt TBM. Driftsorganisasjonen har opplevd at dette ikke har vært eksisterende i Blix-tunnelen. I fasene hvor Driftsorganisasjonen ble involvert, opplevde Driftsorganisasjonen vanskeligheter ved å påvirke valg som ble besluttet. Driftsorganisasjonen opplevde at det var entreprenøren som hadde styringen i prosjektet, og prosjektorganisasjonen fra BN hadde lite påvirkning. STY-604965 (jfr. kap. 11.2.2) er tydelig på involvering av driftsorganisasjonen, men undersøkelsesgruppe har identifisert at samhandlingen prosjekt/drift ikke har fungert som ønsket og iht. til STY-604965.

Delprosjekt TBM har også på et tidspunkt i 2021 beskrevet at problemene innenfor vedlikeholdsforberedelse for Blix som «heftige», og mente tiltak måtte iverksettes for å oppnå en akseptert overleveringsfase til Driftsorganisasjonen. Internt i prosjektet ble det anbefalt at det måtte inngås en avropsavtale mellom delprosjekt TBM og Spordrift, slik at Spordrift kunne bistå prosjektet med vedlikeholdsforberedelser. Prosjektet anså det også som positivt at Spordrift som senere ville være sentrale i vedlikeholdsarbeidet etter idriftsettelse av Follobanen ville tilegne seg inngående kjennskap til tunnelanleggene. Avtalen ble inngått i 2021 med varighet fra 01.01.2022 til 31.12.2022, og prosjektet fikk ressurser på 100% ble fra 01.01.2022 til 31.12.2022.

Siden 2021 har det også vært ukentlige møter mellom Driftsorganisasjonen og delprosjekt TBM, der Drift har ledet møtene. Driftsorganisasjonen har i flere av møtene vært bekymret over fremdriften i prosjektet, og anså det som en risiko at ting ble forskjøvet flere ganger. Driftsorganisasjonen var også på et tidspunkt usikker om prosjektet egentlig hadde oversikt til å varsle Drift om potensielle farer

12.2.1. Driftsorganisasjonen og Spordrifts bekymringer

I tidligere faser og helt oppimot overleveringen har Driftsorganisasjonen fremmet frustrasjon og bekymring grunnet mangel på avklaringer, arbeid, dokumentasjon og opplæring før åpningen av Follobanen 11. desember 2022. Spordrift, som vedlikeholdsleverandør, delte tilsvarende bekymring og gjorde prosjektet, Driftsorganisasjonen og ledelsen i Bane NOR forstått med bekymringene. Testperioden for Blix-tunnelen hadde blitt nedkortet fra fire måneder til 4 uker, og dette medførte bekymringer for hvordan dette påvirket Driftsorganisasjonen og Spordrift muligheter til å bli kjent og trygge på hvordan man driftet anlegget.

Oktober 2022, 3 måneder før åpning, mottok Spordrift SHA-planen (sikkerhet-, helse- og arbeidsmiljøplan) fra delprosjekt TBM som innholdet bare generelle planer, som understøttet den pågående bekymringen om mangelfull dokumentasjon. I og med at Blix-tunnelen er Norge lengste tog-tunnel, manglet det eksempelvis fortsatt en beredskapsplan med spesifikke oversikter over nødstasjoner, sikkerhetsutstyr, rømningsveier, nødutganger og alle installasjoner som var kritiske for sikkerheten. I oktober 2022 manglet det også driftskritisk dokumentasjon som var helt nødvendig for overtagelse.

12.2.2. Driftskritisk dokumentasjon

Et av kriteriene for at Follobanen skulle åpnes 11. desember 2022 var at driftskritisk dokumentasjon skulle foreligge på norsk. Mangelen på dokumentasjon var et alvorlig problem som måtte løses raskt. I oktober 2022 var fortsatt over 500 driftskritisk dokumentasjon på engelsk, og Driftsorganisasjonen var urolige for fremdriften.

En akseptabel drift av Follobanen var ikke akseptert uten dokumentasjonen, da Driftsorganisasjonen og Spordrift ikke kunne utøve sine arbeidsoppgaver uten å vite at det er sikkert. Undersøkelsesgruppen har blitt kjent med at i oktober 2022 igangsatte delprosjekt TBM en prosess med å oversette driftskritisk dokumentasjon fra engelsk til norsk. Delprosjektet fikk assistanse fra Tekniskavdeling fra BN til å utpeke

hvilke dokumenter som var driftskritiske og som dermed måtte oversettes. Det ble til sammen oversatt ca. 537 dokumenter og ble tilgjengeliggjort før åpning. Å ferdigstille driftskritisk dokumentasjon var også essensielt til å få gjennomført nødvendig opplæring før åpning.

12.2.3. Opplæring

Et av kravene i STY-604954 er at nødvendig opplæring skal være gjennomført før overtagelse. Opplæringen skal være rettet mot ulike deler av Driftsorganisasjonen (Baneområdet, Elkraftsentralen, Togledere m.m), Spordrift og aktører som har roller ifb. drift og vedlikehold. Oktober 2022, noen måneder før overtagelse, varslet Driftsorganisasjonen og Spordrift mangler i opplæringen som va gitt ifb. Blixtunnelen og var bekymret.

Siden høsten 2022 har delprosjekt TBM gjennomført en opplæringsserie for Driftsorganisasjonen og Spordrift gjennom ulike fagmoduler. For hver definert fagmodul ble ansvarlige personer innenfor både prosjektet, Driftsorganisasjonen og Spordrift anmodet om å nominere inn deltagere til de ulike modulene, og komme med innspill til forventet innhold og omfang. Arbeidet med modulene ble påbegynt høsten 2021 og tok utgangspunkt i god læring fra tilsvarende gjennomføringer for IOS Fase 35/40 i forkant av åpningen av Kongshavntunnelen i august 2021. Det ble gjennomgått 15 fagmoduler på høsten 2022, og hver fagmodul ble gjennomført to ganger.

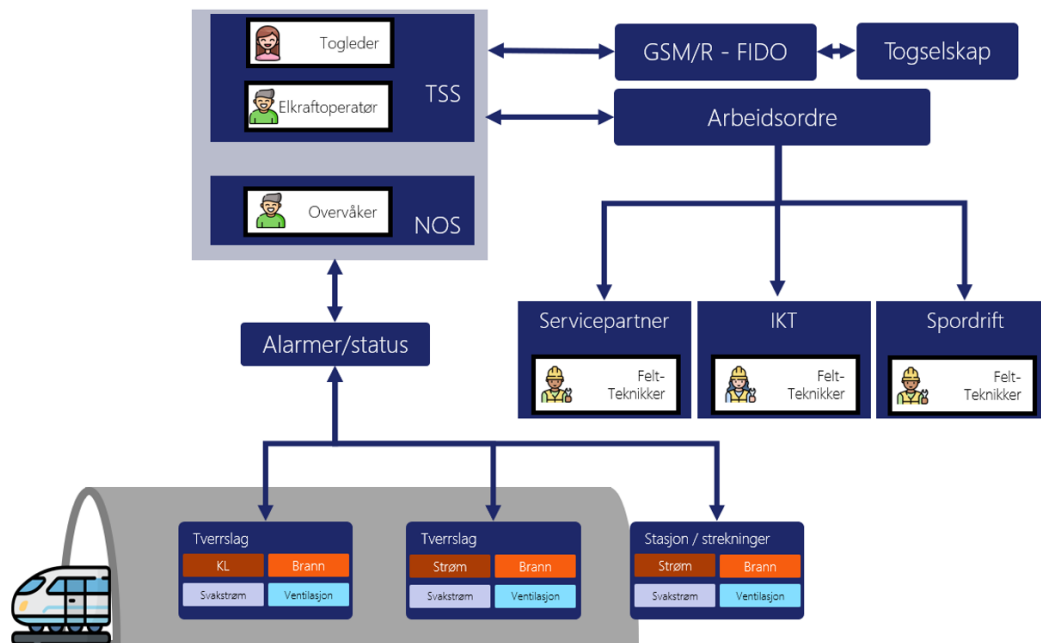
Undersøkelsesgruppen har blitt kjent med en hendelse som oppstod under opplæringskursene, der Elkraft og Spordrift valgte å avslutte en av opplæringsseriene de fikk. Opplæringen ble gjennomført ved bruk av tolk til simultanoversetting til norsk, noe som medførte stor frustrasjon blant kursdeltakerne. Prosjektet iverksatte nødvendige tiltak i etterkant, og det virker for undersøkelsesgruppen at tiltakene hadde effekt.

En av årsakene til den manglende opplæringen og drift-forberedelsene var at AGJV sine leveranser hadde blitt betydelig forsinket. Opprinnelig skulle AGJV være ferdig med sine leveranser før mai 2022, og prosjektet hadde planlagt et opplæringsprogram som skulle være ferdigstilt innen sommer 2022. Konsekvensen av forsinkelsene medførte forsinket levering av driftskritisk dokumentasjon, ref. kapittel 8.2.2, som igjen hadde konsekvenser for kursforberedelser. Prosjektet har påpekt for undersøkelsesgruppen at de stadige forsinkelsene fra AGJV påførte prosjektet tilleggsbelastning som var krevende ifb. sikre ibruktakelse av Follobanen 11.12.2022, samtidig som prosjektet har prøvd å imøtekomme kritiske opplæringsbehov.

12.2.4. Overvåkning og samhandling

Undersøkelsesgruppen har gjennom samtaler erfart at ved Idriftsetting og overlevering av Blixtunnelen til Driftsorganisasjonen, oppstod det problemstillinger ift. sortering og håndtering av alarmer. Problemer ved idriftsetting og overlevering medførte blant annet at alarmer «falt mellom to stoler» og ikke ble overvåket, samt oppstod det flere falske alarmer. Kapittelet introduserer hvordan overvåkning og samhandling fungerer, og hvordan håndtering av alarmer har fungert ved Idriftsetting og overlevering av Blixtunnelen

Figur 13 illustrerer hvordan overvåkning og samhandling fungerer hos Bane NOR, gjennom et SRO-anlegg (Styring, regulering og overvåkning). Overvåkning Nasjonalt operasjonssenter (NOS) og FJEL mottar alarmer og statuser fra komponenter i Blixtunnelen. Formålet er å kunne oppdage, varsle om og utbedre feil for gjenoppretting av normal togfremføring. Alarmene som går til NOS skal ut ifra tiltenkt funksjon bli oversatt direkte til arbeidsordre, men Follobanen har per nå ikke et system som sikrer dette. Alarmene som NOS mottar beskriver lokasjon, Objekt ID, med en alarmtekst og med kode for kritikalitet som avspeiler anbefaling av prioritet for utbedring.



Figur 13: Overvåkning og samhandling i Blixtunnelen (Figur laget av Follobaneprojektet.) Systemet som foreligger, kan avvike fra denne fremstillingen

SRO-anlegget i form av fjernstyring og overvåkning er fullt ut operativ mot FJEL. Hovedoppgaven til FJEL er å overvåke og styre kraft tilførsel til anlegget (30kV, 22 kV, 400V og UPS). FJEL har i tillegg overvåkning og styring av tunnelventilasjonen i Blixtunnelen samt overvåker de brannsentraler, HVAC og dører m.m. Alarmene fra FJEL varsles videre driftspersonale (Spordrift) via hendelseslogg. FJEL anses som kontrollrommet for Follobanen, der operatør (Elkraftoperatør) har fått opplæring og har kjennskap til anlegget.

SRO-anlegget er, som illustrert i Figur 13, også tilknyttet NOS for overvåkning av mindre kritiske alarmer, men pr dags. dato er ikke NOS fullt ut operativt. Fra Follobanen overføres alarmer til OPC servere (OPC er grensesnittet mellom Follobanen og NOS). NOS har et alarmhåndteringssystem som er beregnet for overvåkning av telenettverk, men har for enkelte anlegg også blitt tilknyttet SRO-alarmer for overvåkingen. Formålet er at alarmer til NOS skal videreføres inn i Maximo som igjen kan benyttes av de som skal drifte vedlikeholdsanlegget.

I 2021 ble det gjennomført en mulighetsstudie av en arbeidsgruppe fra Follobaneprojektet. Hensikten med studiet var å identifisere muligheter for tilstandsbasert overvåking av utstyr som er lokalisert på en måte som medfører utfordringer for tilkomst og spordisponeringsbehov. Generiske vedlikeholdsrutiner som utføres på faste intervaller, f.eks. månedlige kontroller av tunnelventilasjonen må som regel utføres under «hvite tider» da det ikke er trafikk i tunnelen. I Blixtunnelen er dette ca. 4 timer hver natt. Ved å bedre utnytte det eksisterende SRO-anlegget og utbedrete rutiner på tilstandsbasert vedlikehold, kan behovet for generisk vedlikehold i hvite tider potensielt reduseres. Et tilstandsbasert vedlikeholdsregime innebærer å samle inn og logge data fra målinger på ulike installasjoner i anlegget og dermed kunne bedre avlede og tilspisse behovet og for vedlikehold. Mulighetsstudiet estimerer en potensiell nedgang fra 22782 arbeidstimer pr. år til 10895 timer pr. år ved å implementere en tilstandsbasert vedlikeholdsrutine. Undersøkelsergruppen har ikke gjort en selvstendig vurdering av estimat på redusert arbeidstimer pr. år mulighetsstudie presenterer.

Undersøkelsergruppen har blitt kjent med at anlegget er funksjonelt i god stand, og driftspersonell har blitt kjent og spesialkompetanse er tilgjengelig via etablerte serviceavtaler. Undersøkelsergruppen har

likevel erfart at grensesnittet mellom SRO-miljøet og prosjektet har vært uavklart gjennom prosjektet, og eksempelvis kom ikke OPC-serveren (som sikrer grensesnittet mellom Follobanen og NOS) på plass før i 2021. I samme tidspunkt var det også usikkerheten om NOS egentlig skulle overvåke Follobanen. Dette medførte usikkerhet i hvordan overvåkingen skulle foregå, og bidro videre til et tidspress og mangel på avklaringer før åpning 11.12.2022. Natten før åpning opplevde Driftsorganisasjonen også mange falske alarmer, og det pågikk en større jobb for å kategorisere hvilke alarmer som var kritiske for togfremføring. Det ble i denne prosessen sendt personer fysisk ut for å kontrollere de alarmene de var usikre på, og resulterte i at man fikk kontroll på de alarmene som kunne påvirke sikkerheten.

I tillegg ble det identifisert noen uker etter gjenåpning at flere alarmer av lav kritikalitet ikke ble overvåket. Det viste seg at NOS ikke hadde overvåking av Blix operativt, da de mente det var for mange falske alarmer (eksempelvis overtrykksalarmer ved dører til tverrslag). Dette var en misforståelse som ikke hadde blitt fanget opp ved overlevering og Bane NOR måtte derfor iverksette tiltak, og har pr. dags. dato ressurser som daglig overvåker serveren med alarmer.

Undersøkellesgruppen har blitt gjort kjent med at det pågikk en diskusjon mellom delprosjekt TBM og driftsorganisasjonen angående delprosjektets SRO-signalleveranser til Drift (Togledere, FJEL og NOS). Delprosjektet etterlyste beslutningen om hvor alarmer av lav kritikalitet skulle mottas og håndteres, mens driftsorganisasjonen ikke ønsket at så mange signal skulle gå til togleder som prosjektet opprinnelig ønsket. Dette kan sannsynligvis være en medvirkende årsak at alarmer av lav kritikalitet «falt mellom to stoler», da det ikke ble mottatt eller håndtert strategisk.

Samhandling mellom SRO-miljøet i delprosjekt TBM og AGJV

Undersøkellesgruppen har erfart at prosjektet og de ansvarlige for SRO møtte utfordringer ved at SRO-anlegget var levert i 3.delprosjekt i 3 forskjellige total entrepriser. SRO-miljøet fremmet problemstillingen vedr. samhandlingen mellom AGJV og deres UE på elektro (Elecnor). System leverandøren på SRO-systemene var en UE til Elecnor, noe som medførte at SRO-miljøet måtte opprettholde dialog med system leverandøren gjennom brevskrivning som måtte gå gjennom alle ledd. SRO-miljøet opplevde også at AGJV var vanskelig å påvirke, der ønskede endringer ble møtt med kostnad, økt leveringstid og ansvarsfraskrivelse. Regimet resulterte i at leverandørens løsninger ble gjennomført i stor grad. SRO-prosjektet opplevde også at den korte testperioden gjorde at det ble for lite test-tid av anlegget.

Håndtering av alarmer

Undersøkellesgruppen anser det som alvorlig at det pågår sortering av alarmer og falske alarmer timer før åpning av Follobanen 11.12.2022. Det virker for undersøkellesgruppen at uklare ansvarsforhold mellom delprosjekt TBM, drift og NOS/FJEL medfører at flere alarmer havner mellom «to stoler» og ikke blir overvåket ved idriftsettelse. Dette underbygger en sårbar implementering, og viser til Bane NORs manglende strategi og evne til å sortere alarmer. Hvor skal alarmene som «ingen vil ha»? En mulig løsning vil være at alle ikke kritiske alarmene som går til NOS kan bli oversatt direkte til arbeidsordre automatisk, og ikke med overvåking. Dette kan pr. dags. dato ikke implementeres da Follobanen mangler systemet (SmartOPS) som automatisk genererer arbeidsordre. Dette kan bedre tilgjengeligheten til anlegget og redusere og forenkle behov for vedlikehold i driftsfasen.

Undersøkellesgruppen konkluderer også med at den korte testperioden av Blix-tunnelen var en medvirkende årsak til kvalitetsavvikene som ble avdekket ved håndtering av alarmer. Ved en lengre testperiode, ville man hatt bedre forutsetninger og muligheter til å teste anlegget grundigere og avdekke eventuelle avvik før det var i full drift.

12.3. Driftsorganisasjonens kapasitet

Et av de kritiske funnene i Kantech rapporten i 2019 var usikkerheten om Banesjef Øst sin organisasjon med støtte fra Drift og Teknologi hadde kapasitet og ressurser til å følge opp vedlikehold og drift, og om organisasjonen hadde tilstrekkelig kompetanse til å overta Follobanen.

Undersøkellesgruppen har erfart, som påpekt kapittel 7.5.2, at funn fra rapporten ble formidlet til ledelsen i Driftsorganisasjonen, men det knyttes usikkerhet til hvorvidt ressurs- og kapasitetsproblematikken ble håndtert tilstrekkelig. Det virker for undersøkelsesgruppen at dagens banesjefsorganisasjon fremdeles har tilsvarende problem med at organisasjonen ikke er rigget til å håndtere kompleksiteten Blixunnelen medfører i et drifts og vedlikeholdsperspektiv.

12.4. Overleveringsstrategi

Follobaneprosjektet har i tidligere faser gjennomført overleveringer til Driftsorganisasjonen på både Delprosjekt Ski og Innføring Oslo S (IOS). Overleveringsstrategien for Blixunnelen ble speilet/ivarettatt gjennom overleveringsavtale og prosesser knyttet til utarbeidelse av overleveringsstrategien fra Ski Fase 30.

Under arbeid med overlevering av fase 35/40 på IOS, ble det besluttet av prosjektet og driftsorganisasjonen at det ikke var nødvendig å utarbeide nye strategier for fremtidige overleveringer, men heller bruke strategi-malen fra Ski Fase 30 som utgangspunkt, og heller gjøre nødvendige tilpasninger deretter.

Ved overlevering av Blixunnelen til Driftsorganisasjonen høsten 2022 ble ovennevnte forhold ivarettatt, og endelig avtale ble utarbeidet med involvering av begge parter med påfølgende signatur.

12.5. Undersøkelsesgruppens vurdering av idriftsettings og overleveringsfasen

Undersøkelsesgruppen har identifisert utfordringer i rolleforståelsen mellom Utbygging og Drift og Teknologi (Driftsorganisasjon). En «ikke-sømløs» idriftsettelse- og overleveringsfase mellom prosjekt og drift er ikke ekstraordinær med Follobanen, men et generelt problem i Bane NOR. Det er derimot viktig å påpeke at Follobaneprosjektet var og er et veldig utfordrende og komplekst prosjekt, og undersøkelsesgruppen har erfart at samarbeidsutfordringen mellom Driftsorganisasjonen og delprosjekt TBM hadde større samarbeidsutfordringer enn normalt.

Forventingene fra Driftsorganisasjonen til prosjektet er at anlegget skal bli overlevert nøkkelferdig. Det vil si at anlegget har blitt ferdig testet, kvalitetssikret og med fullstendig dokumentasjon som gir Drift muligheten til å sette seg inn i drift av anlegget. Årsaken til at Drift forventer et nøkkelferdig anlegg er fordi Driftsorganisasjonen ikke er bygd til å kvalitetssikre leveransen fra entreprenørene, og mener prosjektet må ivareta denne rollen. Likevel forventer drift at det blir involvert i faser der valg og beslutninger vil kunne påvirke fremtidig drift og vedlikehold.

Utbygging forventer på sin side en mye større tilstedeværelse og involvering av Driftsorganisasjonen. delprosjekt TBM iverksatte flere incentiver underveis i prosjektet med formålet om å flagge ovenfor Drift nødvendigheten av å integrere personer på full tid inn i prosjektet, slik at det kunne bidra til at Drifts- og vedlikeholdsforberedelser ble ivarettatt på en tidsmessig og faglig forsvarlig måte. Delprosjekt TBM mente det var kritisk grunnet Blixunnelens kompleksitet og hvordan det kunne påvirke drift og vedlikehold.

Prosjektet har derimot erfart at ressursmangel innenfor ulike deler av Driftsorganisasjonen har medført mangelfull involvering, og anser Driftsorganisasjonens kapasitet som en begrensende faktor for en «sømløs» idriftsettelse- og overleveringsfase.

Avslutning og overlevering av prosjekt er det kritisk at tilstrekkelig kompetanse om- og erfaring med anlegget blir tilstrekkelig overført til de som skal drifte og vedlikeholde anlegget. I Follobaneprosjektet ble

det liten tid til å overføre denne kunnskapen, og drift og vedlikeholdsorganisasjonen måtte i stor grad gjøre seg kjent selv, både med dokumentasjon og befaring. Undersøkelsesgruppen anbefaler derfor å gi tilstrekkelige ressurser til drift og vedlikeholdsorganisasjonen til at de kan ha representanter inne i prosjektet og delta i prosjektgjennomføringen. Hvorpå disse ressursene kan tilbakeføres til drift- og vedlikeholdsorganisasjonen med den erfaringen og kompetansen prosjektgjennomføringen har tilført.

13. Konklusjon

13.1. Tekniske årsaker og direkte årsaker til at Follobanen måtte stenge

Sannsynligvis har fukt i skjøten mellom to av de innvendige betongelementene ført til vanddrypp fra tunneltaket ned på en isolator i anlegget for togenes kjørestrøm. Det var en reaksjon mellom vann og tilbakefyllingsmassen som ble sprøytet inn for å fylle hulrommet mellom betongelementene, som gjorde vannet alkalisk, og når vanddråpene tørker blir salt liggende igjen på isolatoren. Fordi salt leder strøm, har dette ført til overslag og lysbue over isolatoren. Vernet vil i slike tilfeller koble ut strømmen og deretter automatisk forsøke å koble strømmen inn igjen. Ved slik gjeninnkobling reduseres nedetiden ved mange forbigående kortslutninger, for eksempel overslag.

Dryppene har trolig utviklet seg over tid og gjentatt seg flere ganger. Hverken dryppene eller kortslutningene har vært fanget opp i perioden banen var i drift. Den 19. desember, har anlegget ikke lenger tålt påkjenningene fra disse kortslutningene.

Påkjenningene fra kortslutningene har så langt en kan se vært innenfor det anlegget skulle være dimensjonert for og det som anlegget ville tålt dersom det var utført hensiktsmessig. Påkjenningene har likevel vært større enn nødvendig på grunn av svakheter ved feilklareringen (kortslutningsvernene):

- Manglende aktivering av momentant overstrømsvern for autotransformatorsystemet har ført til noe lenger utkoblingstid enn forventet.
- Manglende normal utkobling av effektbryter har ved ett tilfelle aktivert backupløsninger som har lenger utkoblingstid.
- Manglende deteksjon av kortslutningene før innkobling av effektbryter har ført til unødvendige direkte innkoblinger.
- Manglende eller feil overføring av driftsinformasjon til leder for kobling har ført til unødvendig mange gjeninnkoblinger i forbindelse med feilsøking.

Når det likevel oppstod brann i anleggene skyldes det elektrisk varmgang i skjermen til strømforsyningskablene. Den metalliske kabelskjermen har til oppgave å beskytte kabelisolasjonen mekanisk, elektrisk og kjemisk. Strømmen til togene i selve kablederen setter opp et magnetfelt etter Ampères lov. Siden skjermen er metallisk, påvirkes denne etter Faradays induksjonslov. Det gir en strøm i skjermen dersom den er koblet til jord i begge ender eller en spenning mellom skjermen og jord dersom den er jordet i den ene enden og ikke i den andre. Begge deler er tillatt iht. Teknisk Regelverk. Kabelskjermene var her koblet til jord og returkretsen i begge ender.

Det er undersøkelsesgruppens vurdering at den direkte årsaken til den stoppende feilen på Follobanen anses som elektrisk varmgang i kabelskjøter som ble gjort synlig ved overslaget på isolatoren. Det er usikkert om en lengre testperiode før åpning ville ha avdekket svakheten i skjøtene. Hvis det ikke oppstod en vannlekkasje som førte til overslag mener undersøkelsesgruppen at banen ville kunne vært i drift lenge, om ikke år, før svakheten i skjøtene ville skapt utfordringer.

Svakheten i kabelskjøter var ikke objekter i PIMS og gjenstand for 'Mechanical completion' eller et kontrollpunkt, noe som medførte at feil utført arbeid av entreprenør ikke ble oppdaget.

Relé-plan levert av entreprenør, for vern ble gjennomgått av Energi, men manglende innstilling i vern ble ikke oppdaget (1fase/2fase) under kontrollen. Dette medførte at momentant overstrømsvern ikke registrerte kortslutning på negativ fase, og andre vern måtte koble ut. Dette førte til noe lengre utkoblingstid enn ønsket, og kan ha gitt ytterligere belastninger på anlegget. Det anses dog ikke som en sentral årsak til varmgangen. Utover dette har undersøkelsen gjennomgått tematikk som var sentral i intervjuer, men som ikke nødvendig hadde en direkte påvirkning på årsakene til at Follobanen måtte stoppe. Se vedlegg 15.1 for en grafisk oppsummering av årsaker.

13.2. Andre funn i rapporten for forbedring ved fremtidige prosjektgjennomføringer

Drift og teknologi følte seg ikke klare til å overta anlegget 11.12.2022. Elkraftsentralen feilsøkte kortslutningen den 19. desember uten å legge merke til brannalarmen som gikk. Natten før åpning pågikk det sortering av alarmer og falske alarmer, og uavklarte forhold mellom prosjektet, DT og NOS/FJEL medførte at flere alarmer havnet mellom «to stoler» og ikke ble overvåket ved idriftsettelse. Bane NOR mangler en klar strategi til å sortere alarmer, hvor de skal og de hvem, som medfører at alarm-implementeringen er sårbar. Den korte testperioden av Blix tunnelen anses som en medvirkende årsak til kvalitetsavvikene som ble avdekket ved håndtering av alarmer.

I oktober 2022 varslet Driftsorganisasjonen og Spordrift mangler i opplæringen som var gitt i forbindelse med Blix tunnelen og var bekymret. Prosjektet påpekte for undersøkelsesgruppen at de stadige forsinkelsene fra AGJV påførte prosjektet tilleggsbelastning som var krevende for å sikre ibruktakelse av Follobanen 11.12.2022. Konsekvensen av forsinkelsene medførte forsinket levering av driftskritisk dokumentasjon som igjen hadde konsekvenser for kursforberedelser. Prosjektet satte i gang en prosess med å oversette driftskritisk dokumentasjon fra engelsk til norsk, som også var essensielt til å få gjennomført nødvendig opplæring før åpning. Siden testperioden for Blix tunnelen hadde blitt kortet ned førte det til bekymringer for hvordan dette påvirket driftsorganisasjonen og Spordrifts muligheter til å bli kjent og trygge på hvordan man driftet anlegget.

Undersøkelsesgruppen har også blitt kjent med utfordringer i samspill mellom prosjekt og drift. Forventingene fra driftsorganisasjonen til prosjektet er at anlegget skal bli overlevert ferdig testet, kvalitetssikret og med fullstendig dokumentasjon og med muligheten til å sette seg inn i drift av anlegget. Driftsorganisasjonen er ikke bemannet til å kvalitetssikre leveransen fra entreprenørene, og mener prosjektet må ivareta denne rollen. Drift forventer også at de blir involvert i faser der valg og beslutninger vil kunne påvirke fremtidig drift og vedlikehold. Prosjektet forventer på sin side en mye større tilstedeværelse og involvering av driftsorganisasjonen. FB Tunnel Blix iverksatte flere insentiver underveis i prosjektet med formålet om å flagge ovenfor drift nødvendigheten av å integrere personer på full tid inn i prosjektet. Prosjektet har erfart at ressursmangel innenfor ulike deler av driftsorganisasjonen har medført mangelfull involvering, og anser driftsorganisasjonens kapasitet som en begrensende faktor for en «sømløs» idriftsettelse- og overleveringsfase. En «ikke-sømløs» idriftsettelse- og overleveringsfase mellom prosjekt og drift er ikke ekstraordinær med Follobanen.

Tidspresset for åpning av Follobanen har også ført til at det ble kort tid for å få anlegget i den stand drift var komfortable med å overta. I kontrakten med AGJV fra mars 2015 var overleveringsdato for Blix tunnelen 01.04.2021. Forsinkelser i arbeidet medførte at fristen blir utsatt en rekke ganger. Involverte i TBM-prosjektet opplevde åpningsdatoen som «udiskutabel» i slutfasen av prosjektet og at det var sterkt press fra deler av divisjonsledelsen om å nå ferdigstilling innen 11.12.2022. Det ble vurdert av Bane NOR at det ville medføre et betydelig omdømmetap hos myndigheter, togselskaper og de reisende dersom planlagt effektuttak fra Follobanen ikke kunne tas i bruk ved planlagt dato. Ruteplan for 2023 ble opplevd som lite fleksibel med tanke på å endre eller avvike fra planen om å åpne uten å skape store forsinkelser da R23 er rigid. Presset rundt åpningsdato medførte større aksept for å bevilge ytterligere midler for å sannsynliggjøre at banen åpnet 11.12.2022. Det ble forhandlet frem en tilleggsavtale

(Amendement 8) for å fremme fremdrift. Prosjektet opplevde AGJV som kommersielt motivert og dermed at denne avtalen var et nødvendig middel for å få en positiv utvikling på fremdriften. Dette økte risiko for at prosjektet ikke ville ferdigstilles innen kostnadsrammen, men Bane NOR vurderte alternativet uten tilleggsavtale som verre, da en potensiell forsinkelse ville medført et betydelig omdømmetap og usikker fremdrift.

En gjentagende tematikk har også vært Jernbaneverkets/Bane NORs erfaring med totalentrepriser. Follobaneprosjektet ble beskrevet som et «pilotprosjekt» for totalentrepriser i JBV, da det hadde vært lite erfaring med EPC-kontrakter i Jernbaneverket. NSB og Jernbaneverket har alltid vært utførende på jernbaneteknikk og det var første gang med et større prosjekt hvor JBT ble inkludert i totalentreprise. JBT hadde også mindre fokus i TBM kontrakten og forventningene var en «smidig prosess» med entreprenør på å finne «gode løsninger». Totalentreprisen i seg selv oppleves ikke som problematisk, men det lå en utfordring i oppfølging av kontrakt under produksjon. Det lå en utfordring i at totalentreprenør i TBM-delprosjektet var ansvarlig for jernbaneteknikk, men hadde begrenset erfaring med bygging av jernbanetekniske anlegg i tunnel og i Norge. Dette er blant de risikoene prosjektet har fulgt opp, og undersøkelsesgruppen opplever at Follobaneprosjektet har hatt en grundig usikkerhet- og risikostyringsprosess under hele prosjektfasen. Det er ikke funnet utfordringer i løpet av undersøkelsen som ikke har vært identifisert i denne prosessen, med unntak av kabelskjøter og endeavslutninger.

Med bakgrunn i den gjennomførte undersøkelsen fremsetter undersøkelsesgruppen læringspunkter i form av anbefalte tiltak nedenfor.

14. Anbefalte tiltak

Nedenfor presenteres læring fra undersøkelsen i form av anbefalte tiltak. Tiltakene er delt inn i tre kategorier;

- «Funn knyttet til utløsende årsak» er tiltak som er ment å bidra til at hindre at en lignende hendelse skal skje igjen, eller redusere konsekvensene av en slik hendelse
- «Andre funn» er tiltak basert på funn i løpet av undersøkelsen som ikke nødvendigvis ville bidra til å hindre at en lignende hendelse skal skje igjen, men er likevel læring Bane NOR og fremtidige prosjekter vurderer
- «Videre undersøkelser» er anbefalinger om tematikk som bør undersøkes videre, som ikke har blitt omtalt i denne rapporten grunnet avgrensninger i tid

Tiltakene nedenfor er anbefalinger fra undersøkelsesgruppen til linjeledelsen i Bane NOR, og kreves ikke gjennomført slik beskrevet. I etterkant av avgitt rapport vil det besluttes en tiltaksplan hvor disse tiltakene vurderes, sammen med eventuelle andre tiltak fra andre kilder. Linjeledelsen er ansvarlig for å beslutte og følge opp tiltaksplan.

14.1. Funn knyttet til utløsende årsak

14.1.1. Kabelskjøter og endeavslutninger som egne punkt i kvalitetsoppfølgingen

Kategori: Funn knyttet til utløsende årsak

Bakgrunn

Det er ikke funnet at kvaliteten på utførte kabelskjøter og endeavslutninger i høyspenningsanlegg har blitt vurdert som et kritisk punkt eller et punkt som bør kvalitetssikres. PIMS importerer objekttyper fra Banedata, og disse er ikke egne objekter i dette systemet. Banedata er dog tilrettelagt for dette, men har foreløpig kabelskjøter og endeavslutninger som samme objekt. Det er dog fra prosjektet påpekt ønske om mer kapasitet for tilstedeværelse ute i arbeidet under prosjektgjennomføringen.

Anbefalte tiltak

- A. Det anbefales å vurdere hvordan man best kan sikre at kabelskjøter og endeavslutninger i høyspenningsanlegg er utført på en tilfredsstillende måte. Det bør vurderes om de bør inn som egne objekter i banedata og om det bør håndteres på en lignende måte som skinnerveising, med dokumentasjon på
 - hvordan arbeidet er utført, av hvem og hvilke utstyr/løsning som er benyttet
 - lokasjon, type, evt. annen informasjon relevant for feilsøking og feilretting
- B. Det anbefales å vurdere om det er andre objekttyper som også bør tilknyttes en oppfølging eller kvalitetskontroll
- C. Det anbefales å vurdere hvordan man kan sikre seg at det utføres fagmessig godt nok arbeid på disse objektene, og vurdere tilstrekkelig kapasitet i prosjektorganisasjonen til å overvære nødvendige arbeider

14.1.2. Formalisering av pålegg fra Driftsleder

Kategori: Funn knyttet til utløsende årsak

Bakgrunn

Etter varmgang i høyspentkabel på Ski i juli 2022, hvor kabel og endeavslutning ble delvis smeltet ble det fulgt opp med spørsmål om det er andre endeavslutninger som kan være utsatt for samme problemstilling. Det ble påpekt at dersom havariet av kabelmuffe skyldes feil utførelse, burde det klarlegges om dette er en gjennomgående feil og det ble presisert at når kabler jordes i begge ender, skal det sikres at kabel ikke tar skade som følge av økt strøm i kabelskjerm. Dette arbeidet ble utført av en annen entreprenør og delprosjekt. Driftsleder gav i etterkant av dette et pålegg om ombygging til jordingsløsning til ensidig jording og utisolering. Dette pålegget ble ikke ytterligere fulgt opp av Driftsleder og kom ikke frem til delprosjekt tunnel, og anlegget ble overtatt med bygd løsning (jording i begge ender).

Anbefalte tiltak

- D. Det anbefales å i større grad formalisere pålegg fra driftsleder med tilhørende oppfølging, da anlegget ble overtatt uten endring og prosjektet valgte å løse det ved å ytterligere dokumentere at håndteringen av indusert strøm i kabelskjerm var tilstrekkelig.

14.1.3. Krav til testing av jernbaneinfrastruktur

Kategori: Funn knyttet til utløsende årsak

Bakgrunn

Undersøkelsergruppen har ikke funnet noen formelle krav til hva som skal inngå i et testregime. Oppfattelsen er at dette er i stor grad opp til den enkeltes jernbanekompetanse. Undersøkelsergruppen finner det hensiktsmessig å teste anlegget mot bygd kapasiteten (stresstest opp mot øverste toleranser).

Anbefalte tiltak

- E. Det anbefales Drift og teknologi å formalisere krav til testing av jernbanetekniske anlegg, og hvilke av disse testene som er nødvendige før overtagelse av anlegget
- F. Det anbefales å vurdere behovet for å øke/etablere egen fagkompetanse for testing av anlegg

14.1.4. Automatisk gjeninnkobling av strøm i tunnel

Kategori: Funn knyttet til utløsende årsak

Bakgrunn

Automatisk gjeninnkobling er et tiltak for å øke tilgjengeligheten for jernbanen, lette arbeidet for Leder for kobling og redusere overkjøring av spenning inn på spenningsløs seksjon. Selv om det er mer skjermet i en tunnel kan forbigående kortslutninger skje. Eksempelvis på grunn av forurensning, fugler i tunnelmunnninger.

Anbefalte tiltak

- G. Det anbefales å vurdere om det er hensiktsmessig med automatisk gjeninnkobling av brytere i tunnelanlegg eller andre mer «skjermede» strekninger.
- H. Det anbefales om det er særskilte rutiner eller varslinger som bør følges ved vernutkoblinger i tunneler

14.1.5. Sortering og håndtering av alarmer

Kategori: Funn knyttet til utløsende årsak

Bakgrunn

I forbindelse med håndtering og sortering av alarmer (Døralarmer, ventilasjon, branndør, m.m) har flere alarmer falt mellom to stoler. Bane NOR mangler en strategi for hvordan alarmer skal håndteres og sorteres (Hvem skal motta de og hvordan skal de bli håndtert?). Dagens håndtering av alarmer skaper en sårbar implementering og medfører usikkerheter blant prosjekt og drift.

Anbefalte tiltak

- I. Det anbefales å utarbeide tydeligere krav som gir føringer for hvilke alarmer Bane NOR trenger for å drifte anlegget og hvordan alarmene skal håndteres. Strategien bør også inkludere rolle og grensnitt mellom Driftsorganisasjonen, NOS og FJEL
- J. Det anbefales å forankre behov og ønsker om alarmer og signaler med driftsorganisasjonen i planleggingsfasen av prosjekt

14.2. Andre funn

14.2.1. Spesifisering av krav til overføring av anlegg til drift, STY-604954

Kategori: Andre funn

Bakgrunn

I planleggingsfasen skal prosjektet begynne å planlegge overlevering fra prosjekt til Bane NORs driftsorganisasjon, og beskrive dette i en overordnet overleveringsstrategi. Under overtagelsen av Follobanen opplevdes det å ikke være klare eller komfortable med å overta anlegget. Anlegget må bli kvalitetssikret og testet tilstrekkelig til at driftsorganisasjonen er komfortable med overtagelsen, og samtidig ha opplæring, befaring og utstyr til å håndtere anlegget.

Anbefalt tiltak

- K. Det anbefales å vurdere om styringsdokumenter, eksempelvis STY-604954, bør utvides med ytterligere sjekkpunkter eller kriterier som må være på plass før overtagelse. Dette for å gi en beslutningsstøtte for når anlegget ikke møter de kriterier som er tilstrekkelig for overtagelse, og hvem som skal varsles ved utfordringer med tilstand ved overtagelse.

14.2.2. Bruk av Teknisk regelverk inn mot totalentrepriser og valg av løsninger

Kategori: Andre funn

Bakgrunn

Et relevant læringspunkt for Bane NOR i denne sammenheng er at i prosjekter hvor jernbaneteknikk inngår i totalentreprisen, burde kontrakten tydelig spesifisere de forventningene Bane NOR har til valg av løsninger og kvaliteten på arbeid utført. Flere informanter undersøkelsesgruppen har snakket med uttrykte frustrasjon over manglende detaljnivå og krav stilt til tekniske løsninger i kontrakten. Samtidig oppleves teknisk regelverk mindre relevant i sammenheng med bygging av nye anlegg. Kravene i TRV er åpne nok til at entreprenør kan velge løsninger som passer deres behov, men ikke nødvendigvis møter Bane NORs behov og forventinger.

Anbefalt tiltak

- L. Det anbefales at fremtidige totalentreprise prosjekter detaljerer og spesifiserer jernbaneteknikken tilstrekkelig, for å sikre samsvar mellom bygget anlegg og Bane NORs forventninger og behov. Teknisk Regelverk er ment som et minimumskrav, og åpner opp for løsninger som ikke nødvendigvis Bane NOR forventer.

Produktgruppestrategien bør også legges til grunn for å i størst mulig grad sikre standardiserte løsninger med de fordelene det gir med på opplæringsbehov, lager/reservedeler kompatibilitet med eksisterende systemer.

14.2.3. Overføring av kompetanse fra drift og vedlikeholdsorganisasjonen til prosjekt, og tilbake til drift og vedlikeholdsorganisasjon

Kategori: Andre funn

Bakgrunn

Ved oppstart av prosjekt vil det være gunstig for fremtidig drift og vedlikehold at erfaring fra driftsorganisasjonen med håndtering og vedlikehold av infrastrukturen. Dette vil øke sannsynligheten for at drift til slutt sitter med et anlegg som er i henhold til deres behov og er enkelt å drifte og vedlikeholde.

Ved avslutning av prosjekt er det kritisk at tilstrekkelig kompetanse om og erfaring med anlegget blir tilstrekkelig overført til de som skal drifte og vedlikeholde anlegget. I Follobaneprosjektet ble det liten tid til å overføre denne kunnskapen, og drift og vedlikeholdsorganisasjonen måtte i stor grad gjøre seg kjent selv, både med dokumentasjon og befaring.

Anbefalt tiltak

- M. Det anbefales å gi tilstrekkelige ressurser til prosjekt eller drift og vedlikeholdsorganisasjonen til at de kan ha representanter inne i prosjektet og delta i prosjektgjennomføringen. Hvorpå disse ressursene kan tilbakeføres til drift- og vedlikeholdsorganisasjonen med den erfaringen og kompetansen prosjektgjennomføringen har tilført.

14.3. Videre undersøkelser

14.3.1. Videre undersøkelser tilknyttet kontrakt og økonomiske vurderinger

Kategori: Videre undersøkelser

Bakgrunn

Undersøkelsens frist for ferdigstillelse 4. april 2023 gav ikke tilstrekkelig tid til å kvalitetssikre undersøkelser rundt kontrakt og tilleggsavtaler med tilhørende vurderinger. Dette er likevel et område som bør undersøkes videre med tanke på ytterligere organisatorisk læring.

Anbefalt tiltak

- N. Det anbefales fortsette undersøkelsene rundt kontrakt med tilhørende vurderinger. Herunder:
1. Konkurransesgrunnlaget og krav og kriterier til jernbaneteknisk kompetanse og erfaring
 2. Oppfølgingen av kontrakten
 3. Tilleggsavtalene

14.3.2. Videre undersøkelser tilknyttet beredskap og mediehandtering

Kategori: Videre undersøkelser

Bakgrunn

Undersøkelsens frist for ferdigstillelse 4. april 2023 gav ikke tilstrekkelig tid til å kvalitetssikre undersøkelser rundt beredskap og mediehandtering. Dette er likevel et område som bør undersøkes videre med tanke på ytterligere organisatorisk læring.

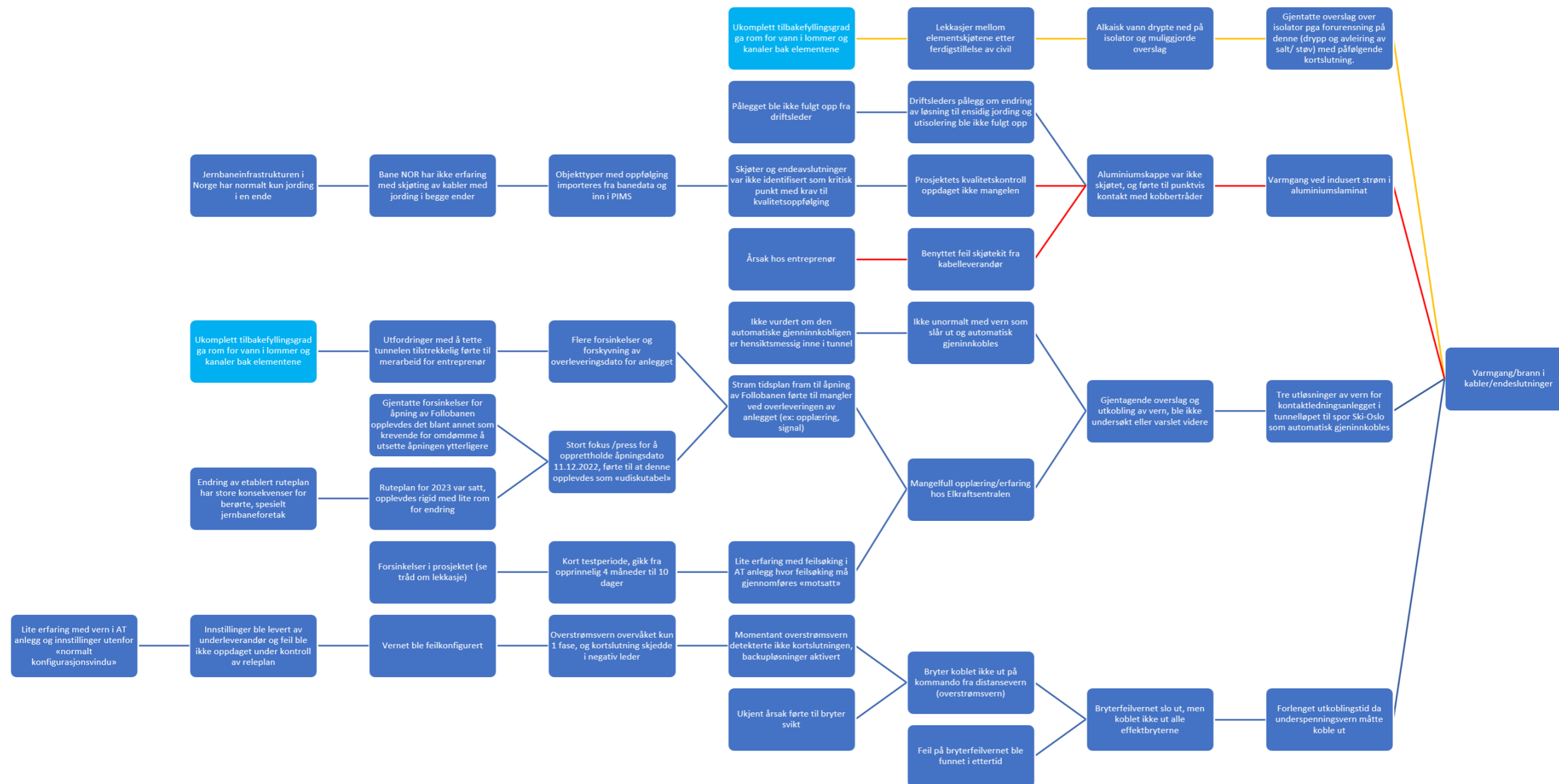
Anbefalt tiltak

- O. Det anbefales fortsette undersøkelsene rundt kontrakt med tilhørende vurderinger. Herunder:
1. Beredskapshåndteringen av hendelsen, varslinger og organiseringen av arbeidet
 2. Håndtering av mediaoppmærksomheten

15. Vedlegg

15.1. Kortfattet grafisk årsaksanalyse

Årsakstreet er ikke uttømmende for de funn undersøkelsesgruppen har identifisert. Den direkte årsaken til den stoppende feilen på Follobanen anses som elektrisk varmgang i kabelskjøter som ble gjort synlig ved overslaget på isolatoren. Gjentakende overslag over isolator og forlenget utkoblingstid for vern grunnet feilinnstilling og bryter feil vurderes som medvirkende – men ikke avgjørende for hendelsesforløpet. Rød linje anses som hovedårsak, utløst av oransje linje.



Figur 14: Kortfattet grafisk årsaksanalyse

15.2. Beskrivelse av tekniske systemer

Kraftkabel

En kraftkabel er en teknisk løsning for en kraftledning og som brukes der det ikke er hensiktsmessig med kraftline (wire) i luft. Kabelen har egen isolasjon som beskytter omgivelsene mot ledningens strøm og spenning. Isolasjonen beskyttes igjen av en metallisk skjerm mot mekaniske påkjenninger og i noen tilfeller også kjemiske påkjenninger, for eksempel vann. Den metalliske skjermen fordeler også det elektriske feltet jevnt og gir en sikker strømvei for rask verndeteksjon ved kortslutning.

Den metalliske skjermen er også elektrisk ledende og må utjevnes (koples til) omgivelsene for å unngå overspenninger og kortslutningsstrømvei. Det kan gjøres på to prinsipielle måter som begge er tillatt:

- **Jorde kabelskjermen i begge ender:** Da kan det oppstå en sluttet strømkrets gjennom skjermen og omgivelsene. Kabelskjermen og utjevningene må dimensjoneres for strømmen som kan gå i denne strømkretsen.
- **Jorde kabelskjermen i en ende og utisolere den i den andre:** Da forhindres en eventuell strømkrets gjennom skjermen. Kabelen må dimensjoneres for å håndtere spenningsoppbygging under normal drift og ved feilsituasjoner, samt overspenninger i anlegget som følge av koblinger eller atmosfæriske utladninger.

En strøm i kabelens leder vil omslutes av et magnetfelt (Ampères lov) som igjen inducerer (fremkaller) en elektromotorisk spenning i andre elektrisk ledende komponenter (Faradays induksjonslov). Påvirkningen er sterkest på komponenter nær kabellederen og som går parallelt med denne over lang avstand, for eksempel kabelskjerm (i egen eller parallelle kabler). Det vil si jo mindre avstand og jo lenger parallelføring, jo større påvirkning.

Fra: Dok.nr: UOS-00-A-91196, Rev. 01E, Dato 27.02.2023

Induksjon

Induksjon til nærliggende parallelle ledere er en sterk kraft og kan gi opphav til strøm i skjerm når den er utjevnet i begge ender. Den induserte strømmen kan bli opp til 10-25 % av lederstrømmen i vanlig kraftforsyning. Se referanse [6]. Strømmen kan gi varmeutvikling som kan redusere kabelens kapasitet eller i verste fall skade kabelen. Skjermen består av koppertråder og ofte et vanninntregningslaminat av aluminium. I noen tilfeller er disse adskilt fra hverandre med et halvledende svellelag som medfører fare for dårlig forbindelse mellom dem. Spesielt viktig er god forbindelse i trådene og laminatet gjennom skjøter og endeavslutninger av kabelen. Dårlig forbindelse kan danne punkter med redusert strømføringsevne og dermed høy varmeutvikling. Det finnes metoder for å sikre god forbindelse. Klem eller skarp bøy på kabelen kan også gi tilfeldige koblinger mellom disse lederne. Strømfordelingen er typisk 2/3 i trådene og 1/3 i laminatet ([6],[7]).

Indusert spenning og strøm vil også være avhengig av ledertverrsnitt. Jo større tverrsnitt, jo større indusert spenning og strøm. Det vil si at ulikt tverrsnitt på skjermtråder og laminat kan gi ulik indusert spenning og strøm.

Den sluttede strømkretsen for en kraftkabel på jernbanen kan være gjennom jordingen til de elektriske anleggene, eller den dedikerte returstrømveien som slutter forsyningskretsen spenningskilde (generator/transformator)-kontaktledning-tog-kjøreskinner. På den måten kan den induserte strømmen i skjermen redusere strømmen i returkretsen og derfor oppfattes skjermstrømmen ofte som en returstrøm. I tillegg til den induserte strømmen i skjermen kan det flyte returstrøm gitt av strømdeling mellom skjermens motstand og den dedikerte returveiens motstand samt potensialstigning i returkretsen.

Fra: Dok.nr: UOS-00-A-91196, Rev. 01E, Dato 27.02.2023

Isolator

En elektrisk isolator skal hindre at det flyter strøm mellom to steder med ulik spenning, for eksempel en spenningsatt anleggsdel og omgivelsene. Dersom det ikke er god nok isolasjon kan det oppstå kortslutning. Luft er eksempel på en isolator. Ren luft isolerer bedre enn forurenset luft.

Hvor stor elektrisk spenning en isolator kan holde uten å kortslutte beskrives av holdfastheten. Den oppgis både for kontinuerlig driftsspenning og impuls spenning (for eksempel lynoverspenning).

Den mekaniske innfestingen en spenningsatt delen må være en isolator. Forurensning på overflaten av isolatoren reduserer holdfastheten dens. Isolatoroverflaten er derfor ofte laget med skjørt/folder for at forurensning ikke skal redusere isolatorens holdfasthet i forhold til luften rundt.

Kortslutninger i kontaktledningsanlegget oppstår jevnlig. I Bane NOR skjer det i gjennomsnitt 0,5 kortslutninger per kilometer kontaktledning per år (se referanse [33]). De aller fleste kortslutninger er sannsynligvis forbigående, for eksempel trær som blåser inntil, fugler som reduserer isolasjonsavstand, overslag på fuktige eller skitne isolatorer, eller andre dynamiske hendelser.

Dimensjonerende kortslutningsnivå på Ski er 25 kA med termisk kortslutningstrøm etter 0,1 s på 30,0 kA og 18,6 kA etter 0,3 s.

Fra: Dok.nr: UOS-00-A-91196, Rev. 01E, Dato 27.02.2023

Kortslutningsvern

For å beskytte mot materielle skader (og personskader) ved kortslutning benyttes vern som detekterer kortslutninger og gir utløsesignal til effektbryter som er dimensjonert for å bryte kortslutningsstrømmer. Vernene er plassert i koblingsanleggene og har en reaktiv funksjon.

Følgende kortslutningsvern benyttes normalt:

- Overstrømsvern ($I>$) reagerer dersom målt strøm overstiger en forhåndsbestemt verdi for å beskytte anleggsdelen mot kortslutningsstrømmer/høye feilstrømmer.
- Hurtig overstrømsvern ($I>>$) reagerer hurtig dersom målt strøm overstiger en forhåndsbestemt verdi for å beskytte anleggsdelene mot høye kortslutningsstrømmer.
- Momentant overstrømsvern ($I>>>$) reagerer momentant dersom målt strøm overstiger en forhåndsbestemt verdi for å beskytte anleggsdelene mot svært høye kortslutningsstrømmer. Vernet brukes i Oslo-området.
- Underspenningsvern ($U<$) reagerer dersom målt spenning underskrider en forhåndsbestemt verdi for en lengre tid, typisk 0,5 s.
- Distansevern/underimpedansvern ($Z<$) reagerer uten tidsforsinkelse dersom kombinasjonen av målt strøm og spenning (dvs. impedans) tilsier kortslutning nærmere enn 80 % av distansen til neste vern ($Z1<$) og med tidsforsinkelse på 0,2 s dersom kortslutningen er mellom 80 og 120+ % av distansen til neste vern ($Z2<$).

Tid for klarering av en kortslutning er summen av:

- Vernets deteksjonstid som er kort for momentant overstrømsvern og noe lenger for andre kortslutningsvern (spesielt distansevernet): typisk en halvperiode, dvs. 30 ms
- Eventuell tidsforsinkelse for selektivitet (dvs. ikke løse raskt for feil som bedre kan klareres av andre vern nærmere feilen)
- Bryterens tid for å åpne og bryte strømmen: typisk en til to halvperioder, dvs. 30 til 60 ms.

Vernene overvåker kontinuerlig strøm og spenning. Dersom noen måleverdier er over grenseverdiene lagres måleverdiene og vernets vurdering av dem fortløpende. Disse feilskriverfilene kan brukes til å undersøke feilforløp.

I tillegg brukes følgende vernfunksjoner og automatikk:

- Automatisk gjeninnkobling av effektbryter for videre drift ved forbigående feil etter 5 s og eventuelt igjen etter ytterligere 30 s (for automatisk seksjonering ved sonegrensebryter)
- Linjetest (prøveinnkobling) før spenningssetting for å redusere gjentatte strømstøt med full kortslutningsstrøm på anleggene ved gjentatte innkoblinger.
- Fasevern for ikke å sammenkoble kontaktledningsseksjoner som ikke er i fase.
- Bryterfeilvern (BFV) for å sikre utkobling dersom en effektbryter ikke kobler ut på utløsesignal fra vern gjennom en gjenutløsning av bryteren og dernest backuputløsning av alle andre effektbrytere tilkoplede samme samleskinne.

Ved kortslutning i kontaktledningen skal kontaktledningsseksjonen med feil raskest mulig identifiseres og frakobles for å opprettholde kraftforsyningen og togtrafikken for øvrig. Vernene rapporterer utløsning og ca. avstand til feilen til leder for kobling som fjernstyrer kontaktledningsbryterne. Leder for kobling feilsøker ved å seksjonere ledningsanlegget med bryterne og koble inn igjen effektbryter. Leder for kobling får også beskjed om brannalarmer i anlegget.

Fra: Dok.nr: UOS-00-A-91196, Rev. 01E, Dato 27.02.2023

15.3. Gjennomførte intervjuer

Det er i løpet av undersøkelsen gjennomført 43 intervjuer med personer fra prosjektet, drift, teknisk ekspertise.

Stilling	Ansatt i	Dato
Prosjektleder Follobanen	Bane NOR	10.01.2023 27.03.2023
Prosjektleder TBM	Bane NOR	07.03.2023 27.03.2023
Prosjekteringsleder	Bane NOR	09.03.2023
Avdelingsleder Samfunnssikkerhet	Bane NOR	09.03.2023
Prosjektleder	Innleid	10.03.2023
Prosjektleder	Bane NOR	10.03.2023
Kontaktledningsingeniør	Bane NOR	14.03.2023
Leder kontaktledning	Bane NOR	14.03.2023
Planlegger Energi	Bane NOR	20.03.2023
Adm. Sjef Follobanen	Bane NOR	20.03.2023
SRO manager	Bane NOR	20.03.2023 28.03.2023
Teknisk leder Follobanen	Bane NOR	20.03.2023
Kvalitets og sikkerhetsleder Follobanen	Bane NOR	21.03.2023
Kvalitetsleder Follobanen	Bane Nor	21.03.2023
Prosjektleder Signal	Innleid	22.03.2023
Sjefsingeniør elkraft	Bane NOR	22.03.2023 29.03.2023
Koordinator systematisk ferdigstillelse	Innleid	23.03.2023
Assisterende Direktør Bane	Bane NOR	23.03.2023
Prosjektstyring Follobanen	Bane NOR	23.03.2023
Spesialist Energi	Bane NOR	23.03.2023
Anskaffelsesleder	Bane NOR	24.03.2023 31.03.2023
Elkraftingeniør	Bane NOR	24.03.2023
Leder eierstyring	Bane NOR	24.03.2023
Konserndirektør	Bane NOR	27.03.2023
Kontaktledningsingeniør	Bane NOR	27.03.2023
Kommunikasjonsrådgiver	Bane NOR	28.03.2023
Byggeleder Follobaneprosjektet	Bane NOR	28.03.2023

Stilling	Ansatt i	Dato
RAMS-rådgiver	Bane NOR	28.03.2023
Prosjektleder jernbaneteknikk	Innleid	29.03.2023
Assisterende driftsleder	Bane NOR	29.03.2023
Konserndirektør	Bane NOR	30.03.2023
Konserndirektør (fungerende)	Bane NOR	30.03.2023
Leder operativt rutekontor	Bane NOR	31.03.2023
Leder driftsstøtte	Bane NOR	31.03.2023
Faggruppeleder	Bane NOR	31.03.2023
Fagansvarlig elkraft	Bane NOR	31.03.2023
Assisterende banesjef	Bane NOR	31.03.2023
Konsernsjef	Bane NOR	03.04.2023

15.4. Deltagere på sluttmøte

Dato for sluttmøte:	12.04.2023
Navn	Stilling
Henning Bråtebæk	Konsernsjef (fungerende)
Torild Urribarri	Konserndirektør kommunikasjon og samfunnskontakt
Karsten Boe	Konserndirektør sikkerhet og kvalitet
Beate Hamre Deck	Konserndirektør HR & organisasjon
Sverre Kjenne	Konserndirektør drift og & teknologi
Bettina Sandvin	Konserndirektør utbygging (fungerende)
Anne Kathrine Kalager	Prosjektsjef Follobanen TBM
Per David Borenstein	Prosjektdirektør Follobanen
John Brede Djukan	Assisterende direktør utbygging
Kirsten Helgesen	SK-leder utbygging
Trine Kristin Bratlie Evensen	Kommunikasjonssjef Utbygging
Olav Ingstad	Fagansvarlig HMS og kvalitet
Lars Berge	Områdedirektør Øst
Jørn Wisløff	Senior kommunikasjonsrådgiver
Siri Stabell Daling	Avdelingsleder, Anskaffelses- og Entreprise/Kontraktsrett
Andreas Unger Solheim	Leder transformasjon

Lars Jorde	Program direktør ERTMS
Johanna Maria Öster	Sikkerhet- og kvalitetssjef drift & teknologi
Arild Nybrodahl	Direktør IKT
Eivind Bjurstrøm	Direktør bane
Knut Dissen	Teknisk direktør
Øyvind Teige Heidenstrøm	Leder Undersøkelse og analyseenheten
Elias Bergquist-Langlo	Rådgiver Undersøkelse og analyseenheten
Markus Isaksen	Rådgiver Undersøkelse og analyseenheten
Helin Rasul	Rådgiver Undersøkelse og analyseenheten

15.5. Oversikt over endringer i usikkerhetsanalysen (Risk)

Tabellene nedenfor er en endringslogg hentet ut fra Follobaneprosjektet delprosjekt TBM/Tunnel fra 2016 og opp til åpning av Follobanen. Alle endringer i vurdering av sannsynlighet, konsekvens eller tiltak er logget med endringen merket i rødt.

15.5.1. Risk ID 9/42 og 0048

“Risk of difficult geological conditions in the main tunnels” og

“Risk of different geological conditions in the main tunnel compared to contract”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
22.09.2016	Medium	Medium	2) Cont. follow-up and agreement with EPC geologists on ground conditions 5) Geological mapping in escape tunnel
25.11.2016	Medium	Medium	2) Cont. follow-up and agreement with EPC geologists on ground conditions
20.01.2017	Medium 20%-60%	Høy	2) Cont. follow-up and agreement on ground conditions with relation to Bruland model
17.03.2017	Medium 20%-60%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Document ground conditions Analyse the information and assess ks-tot value Deadline 16.04.2017
21.04.2017	Medium 20%-60%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Document ground conditions Analyse the information and assess ks-tot value Workshop with AGJV scheduled 26.04.2017
19.05.2017	Lav 0%-20%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Document ground conditions Analyse the information and assess ks-tot value
19.05.2017	Lav 0%-20%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Analyse the information and assess ks-tot value Forberedelser til mekling – ref. risk 301
Ny klassifiseringsmatrise innført (5x5)			
21.09.2017	P2 10%-35%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Analyse the information and assess ks-tot value Forberedelser til mekling – ref. risk 301
16.11.2018	P1 0%-10%	Medium	Analyse the information and assess ks-tot value
11.11.2019	P4 65%-90%	Medium	Analyse the information and assess ks-tot value
11.11.2019	P4 65%-90%	Høy	Analyse the information and assess ks-tot value
17.02.2020	P3 35%-65%	Høy	Analyse the information and assess ks-tot value
19.08.2020	P3 35%-65%	Høy	Forhandlinger med AGJV gjennomføres om en avtale

18.11.2020	P3 35%-65%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Forhandlinger med AGJV gjennomføres om en avtale • Oppdatere posisjonsdokument
20.01.2021	Risk ute av rapportering		

15.5.2. Risk ID 301

19.05.2017 - "Risk for unforeseen water ingress in TBM tunnel will cause delay in the project"

22.06.2017 - "Risk for higher than foreseen amount of pre-grouting in TBM tunnel south will cause delay in the project"

25.05.2018 - "Risk for higher than foreseen amount of pre-grouting in TBM tunnel south will cause delay in the project or extra cost"

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
19.05.2017	Medium 20%-60%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Sammen med AGJV revidere prosedyrer for rasjonell driving av tunnelen sydover • Supplerende grunnundersøkelser sørover fra AGJV • Vurdere injeksjon fra overflaten
22.06.2017	Medium 20%-60%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Supplerende grunnundersøkelser sørover fra AGJV • Vurdere injeksjon fra overflaten
29.08.2017	Medium 20%-60%	Høy	Supplerende grunnundersøkelser sørover fra AGJV
20.10.2017	Høy 60%-95%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Supplerende grunnundersøkelser sørover fra AGJV • Avklare forseringstiltak i boreperioden
20.11.2017	Høy 60%-95%	Høy	Avklare forseringstiltak i boreperioden
19.01.2018	Høy 95%-100%	Høy	Avklare forseringstiltak i boreperioden
25.05.2018	Høy 95%-100%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Avklare forseringstiltak i boreperioden • Gjennomgå den mottatte rapport fra AGJV som underbygger deres krav
25.05.2018	Høy 95%-100%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Gjennomgå den mottatte rapport fra AGJV som underbygger deres krav • Forberedelser til mekling
Ny klassifiseringsmatrise innført (5x5)			
21.09.2018	P5 90%-100%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Gjennomgå den mottatte rapport fra AGJV som underbygger deres krav • Forberedelser til mekling • Daglig kartlegging av geologi og daglig gjennomgang av data relatert til produksjon

16.11.2018	P5 90%-100%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Forberedelser til mekling og gjennomføring • Daglig kartlegging av geologi og daglig gjennomgang av data relatert til produksjon, samt systematisering av data
11.01.2019	P5 90%-100%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Daglig kartlegging av geologi og daglig gjennomgang av data relatert til produksjon, samt systematisering av data • Foreta en endelig oppsummering over hva AGJV har krav på
18.02.2019	P5 90%-100%	Veldig høy	<ul style="list-style-type: none"> • Daglig kartlegging av geologi og daglig gjennomgang av data relatert til produksjon, samt systematisering av data • Foreta en endelig oppsummering over hva AGJV har krav på
20.05.2019	Risk ute av rapportering		

15.5.3. Risk ID 313

“Poor sealing of grout ports (due to insufficient sealing product and procedure) will give leakage and unacceptable quality of the tunnel lining”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
29.08.2017	Høy 60%-95%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Third party study by Vigl • Third party study by Grøv
29.08.2017	Høy 60%-95%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Third party study by Vigl • Third party study by Grøv • AGJV slutfører tester av ulike metoder (inkl. pakker) – følg opp
29.08.2017	Høy 60%-95%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> • Third party study by Vigl • Third party study by Grøv • Avholde møte med AGJV og ta en full gjennomgang og valg av metode
20.11.2017	Høy 60%-95%	Høy	Avholde møte med AGJV og ta en full gjennomgang og valg av metode
19.01.2018	Medium 20%-60%	Høy	Avholde møte med AGJV og ta en full gjennomgang og valg av metode
16.03.2018	Lav 0%-20%	Høy	-
16.03.2018	Lav 0%-20%	Høy	Gjennomgang av installasjon av pakkere og kvalitet etter montasje
25.05.2018	Risk ute av rapportering		

15.5.4. Risk ID 341

"Risk of installation of segments with insufficient quality"

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
21.09.2018	P4 65%-90%	Høy	Må få flere egne ressurser for økt kontroll for å sikre kvalitet
21.09.2018	P3 35%-65%	Høy	-
21.09.2018	P3 35%-65%	Høy	Gjennomføre en totalvurdering av situasjonen
20.01.2020	P3 35%-65%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre en totalvurdering av situasjonen ut i fra resultatene av ekkotestingen Følge opp AGJV's egen plan for håndtering av lekkasjer
23.04.2020	P3 35%-65%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre en totalvurdering av situasjonen ut i fra resultatene av ekkotestingen Følge opp AGJV's egen plan for håndtering av lekkasjer Sammenstille oversikt over alle skadede/kvalitetsavvik for segmenter
17.06.2020	P3 35%-65%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Følge opp AGJV's egen plan for håndtering av lekkasjer Oppfølging av reparasjoner på segmenter fra brann er tilstrekkelig
20.01.2021	Risk ute av rapportering		

15.5.5. Risk ID 644

"Risk for at leveranser for ferdigstillelse er ufullstendig ved overlevering"

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
10.10.2020	P3 35%-60%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige RFC countdown møter med AGJV Prosjekt for overordnet styring for planlegging av ferdigstillelse Innhente ressurser for å arbeide med Banedata Overordnet plan for RAMS leveranse fra AGJV
18.11.2020	P3 35%-60%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige RFC countdown møter med AGJV Prosjekt for overordnet styring for planlegging av ferdigstillelse Innhente overordnet plan for RAMS leveranse og vedlikeholdsplan fra AGJV Be AGJV redegjøre for gjennomføringen av RAMS leveransen og grensesnitt
17.02.2021	P2 10%-35%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige RFC countdown møter med AGJV Prosjekt for overordnet styring for planlegging av ferdigstillelse Innhente overordnet plan for vedlikeholdsplan fra AGJV BN assisterer aktivt gjennomføringen av RAMS leveransen og grensesnitt

17.03.2021	Risk ute av rapportering		
19.09.2022	P2 10%-35%	Høy	Følge opp identifiserte mangler av reservedelslister og service avtaler
19.10.2022	P1 0%-10%	Høy	Følge opp identifiserte mangler av reservedelslister og service avtaler
21.11.2022	Risk ute av rapportering		

15.5.6. Risk ID 596

“Risiko for at manglende commissioning plan / schedule kan medføre at vi ikke får mobilisert nødvendige Bane NOR ressurser samt forberedende arbeid v. FJEL og NOS i tide”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
27.09.2021	P4 65%-90%	Høy	Iverksette koordinering opp mot FJEL mht. ressurskapasitet og aktiviteter hvor AGJV involveres
20.10.2021	Risk ute av rapportering		

15.5.7. Risk ID 485

“Risiko for at dårlig kvalitet på signallister fra AGJV kan medføre forsinkelser”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
27.09.2021	P2 10%-35%	Høy	BN har nå dialog med Laugstol/underleverandør i workshop, og BN har gjort innspill i interface listen med ruting av signal (for 2. gang), denne gangen også med Smart Vedlikehold. Listen skal i frys 01.09.2021
20.10.2021	Risk ute av rapportering		

15.5.8. Risk ID 701

“Risiko for forsinket overlevering til Drift dersom det ikke gjennomføres nødvendig opplæring av drifts- og vedlikeholdspersonell i tide”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
22.11.2021	P2 10%-35%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Kartlegge opplæringsprogram/-behov i lag med Spordrift og AGJV som koordineres med «rektor» Utnevning av «rektor» med ansvar for å koordinere undervisningsopplegg for hele Follobanen
19.01.2022	P2 10%-35%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Kartlegge opplæringsprogram/-behov i lag med Spordrift og AGJV som koordineres av ressurser fra Metier Avtale for ressurs fra Metier må på plass Engasjere Jernbaneskolen for å utvikle generell del (e-læring) for Blixtunnelen
23.02.2022	P1 0%-10%	Høy	Kartlegge opplæringsprogram/-behov i lag med Spordrift/Drift/Teknologi, og gjennomføring av opplæringsopplegget med AGJV. Koordineres av ressurs fra Metier
18.03.2022	P1 0%-10%	Høy	<ul style="list-style-type: none"> Koordinere utarbeidelse av opplæringsmaterieell fra AI Kartlegge opplæringsbehov for Elkraftsentralen Koordinere tidsplan og deltakerliste for opplæring
30.05.2022	Risk ute av rapportering		

15.5.9. Risk ID 570

“Risiko for at driftskritisk FDV dokumentasjon og banedata er ufullstendig som kan medføre forsinket overlevering til drift”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
22.11.2021	P2 10%-35%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Iverksette workshop med Spordrift/AGJV/leverandører for å avklare innhold i driftskritiske FDV håndbøker
19.01.2022	P2 10%-35%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Iverksette workshop med Spordrift/AGJV/leverandører for å avklare innhold i driftskritiske FDV håndbøker Forhandle med AGJV vedrørende fremskynde leveransen av driftskritisk FDV (inkludert banedata) Lage en oversikt over driftskritisk dokumentasjon (FDV og banedata) Avklare hva som er korrekt å ansé som korrekt og tilstrekkelig utfylling av informasjonsfelter i banedata

			<ul style="list-style-type: none"> Innhente erfaringer fra Ski og IOS for banedata leveranser for Ski fase 30 og IOS fase 35/40
23.02.2022	P2 10%-35%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Iverksette workshop med Spordrift/AGJV/leverandører for å avklare innhold i driftskritiske FDV håndbøker Forhandle med AGJV vedrørende fremskynde leveransen av driftskritisk FDV (inkludert banedata) Lage en oversikt over driftskritisk dokumentasjon (FDV og banedata) Undersøke i første omgang med AGJV's leverandør (Møretrafo) hva årsaken til at dokumentasjon ikke kan leveres
20.04.2022	P4 65%-90%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Iverksette workshop med Spordrift/AGJV/leverandører for å avklare innhold i driftskritiske FDV håndbøker Bane NOR har tilstedeværelse hos AI for oppfølging av FDV
30.05.2022	P4 65%-90%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Bane NOR har tilstedeværelse hos AI for oppfølging av FDV
24.06.2022	P4 65%-90%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Bane NOR har tilstedeværelse hos AI for oppfølging av FDV Sikre at BN har ressurser til å gjennomgå dokumentasjon (i 2022 og 2023)
17.08.2022	P3 35%-65%	Medium	<ul style="list-style-type: none"> Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV Bane NOR har tilstedeværelse hos AI for oppfølging av FDV Sikre at BN har ressurser til å gjennomgå dokumentasjon (i 2022 og 2023)
19.10.2022	P1 0%-10%	Veldig høy	Gjennomføre ukentlige møter med AGJV/AI for oppfølging av banedata og FDV
21.11.2022	P1 0%-10%	Høy	Levere over driftskritisk informasjon til Drift 25.11

15.5.10. Risk ID 876

“Risiko for at den manglende tid til uttesting med tog i tunnelen (trekke strøm, trykk/sug krefter) gir for liten tid til å utbedre eventuelle feil. Kun 10-11 dager til dette etter 30.11.”

Dato	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
17.08.2022	P2 10%-35%	Veldig høy	Stående beredskap for utbedring av påviste feil (Spordrift). (og involvere [NAVN])
19.09.2022	P2 10%-35%	Veldig høy	<ul style="list-style-type: none">• Stående beredskap for utbedring av påviste feil (Spordrift). (og involvere [NAVN])• Sikret flere Flirt tog for testing (4-tog) – sikre optimal bruk av disse
19.10.2022	P1 0%-10%	Veldig høy	<ul style="list-style-type: none">• Stående beredskap for utbedring av påviste feil (Spordrift). (og involvere [NAVN])• Sikret flere Flirt tog for testing (4-tog) – sikre optimal bruk av disse
21.11.2022	P1 0%-10%	Veldig høy	Sikret flere Flirt tog for testing (4-tog) – sikre optimal bruk av disse