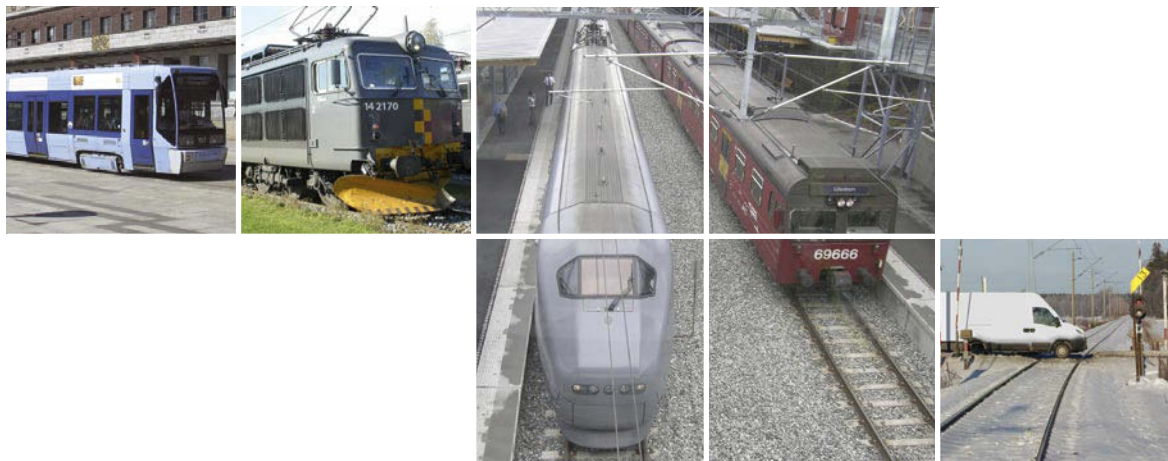



# RAPPORT

JB 2018/09



## RAPPORT OM ALVORLIG JERNBANEHENDELSE VED FINNEID BRU PÅ NORDLANDSBANEN 23. NOVEMBER 2017

 English summary included

Statens havarikommisjon for transport (SHT) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre jernbanesikkerheten. Formålet med undersøkelsene er å identifisere feil og mangler som kan svekke jernbanesikkerheten, enten de er årsaksfaktorer eller ikke, og fremme tilrådinger. Det er ikke Havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar. Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sikkerhetsarbeid skal unngås.

ISSN 1894-5910 (digital utgave)

Statens havarikommisjon for transports virksomhet er hjemlet i lov 3. juni 2005 nr. 34 om varsling, rapportering og undersøkelse av jernbaneulykker og jernbanehendelser m.m. § 3 jf. forskrift 31. mars 2006 nr. 378 om offentlige undersøkelser av jernbaneulykker og alvorlige jernbanehendelser m.m . § 2

Foto: SHT og Ruter As

**INNHOLDSFORTEGNELSE**

SAMMENDRAG.....	3
ENGLISH SUMMARY .....	3
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER .....	5
1.1 Melding om havariet .....	5
1.2 Undersøkelsen og organisering .....	5
1.3 Hendelsesdata .....	5
1.4 Hendelsesforløp .....	5
1.5 Personskader .....	10
1.6 Skader på involvert materiell .....	10
1.7 Skadebeskrivelse av infrastruktur og kjørevei .....	10
1.8 Andre skader .....	10
1.9 Været.....	10
2. GJENNOMFØRTE UNDERSØKELSER.....	11
2.1 Fokus og avgrensninger .....	11
2.2 Involverte aktører.....	11
2.3 Undersøkelser av involvert materiell .....	11
2.4 Undersøkelser av infrastruktur.....	19
2.5 Kommunikasjonskanaler.....	19
2.6 Sikkerhetsstyring.....	20
2.7 Undersøkelse av operative gjøremål .....	24
2.8 Registerende hastighetsmålerutstyr og datalogger .....	24
2.9 Modellering av vindforholdene.....	24
2.10 Lignende undersøkelser .....	26
3. ANALYSE.....	28
3.1 Innledning .....	28
3.2 Hendelse- og konsekvensanalyse.....	28
3.3 Involverte vekselholdere .....	28
3.4 Vogntype og sikring av vekselholdere og containere .....	29
3.5 Vindstyrke og vindretning .....	30
3.6 Værberedskap .....	31
4. KONKLUSJON .....	32
5. GJENNOMFØRTE TILTAK .....	32
6. SIKKERHETSTILRÅDINGER .....	33
VEDLEGG.....	34

## SAMMENDRAG

Torsdag 23. november 2017 falt en 25 fots vekselseholder av godstog 5790 ved Finneid bru syd for Fauske stasjon på Nordlandsbanen. Toget var på vei sydovert fra Bodø til Trondheim. Nordlandsbanen og E6 går parallelt på stedet, og vekselseholderen ble liggende mellom jernbanelinjen og veien.

Containere og vekselseholdere holdes på plass og sikres på vogner ved hjelp av containerpigger. Prinsippet er at de har en utforming som gjør det enkelt å laste containere og vekselseholdere på og av godsvogner og lastebiler, samtidig som de skal stoppe disse fra å falle av. CargoNet AS benytter ikke tilleggslås ved sine transporter. Det er heller ikke kjent at andre jernbaneforetak i Norge eller Europa gjør det.

Under lossing av toget etter ankomst Trondheim ble det avdekket at en vekselseholder med hevbart tak (soft-top) i toget hadde skader på det hevbare taket. Visitasjon viste at rammene i Stokkalia snøoverbygg var skadet, og rester av bjelker i vogna sammen med skadene på det hevbare taket viste at denne vekselseholderen var årsaken til skadene. Taket på en vekselseholder med soft-top åpnes og lukkes ved hjelp av en manuell hydraulikkpumpe. På eldre modeller, som denne vekselseholderen, er det trykket i hydraulikksystemet som låser taket i lukket stilling. Hydraulikksystemet var revet av festene, og undersøkelser indikerer at taket på vekselseholderen ikke kan ha blitt helt lukket etter lasting i Bodø.

Vindberegningene som er utført i forbindelse med undersøkelsen, viser at et vindkast må være på over 33 m/s for å tippe en tom 25 ft vekselseholder med Lagab-ben av en to-akslet containervogn. Verdiene som er benyttet i beregningen er konservative, da togets hastighet ikke er regnet inn i analysen. Havarikommisjonen mener Bane NOR SF må gjennomgå værberedskapen, og vurdere å etablere et system som varsler jernbaneforetakene når vær-situasjonen gjør at det kan forventes sterk vind. Samtidig mener Havarikommisjonen at jernbaneforetakene må vurdere å etablere prosedyrer som beskriver nødvendige tiltak for sikker togframføring ved varsel fra Bane NOR om kraftig vind.

Havarikommisjonen fremmer to sikkerhetstilrådinger ved denne undersøkelsen. Den ene retter seg mot å utvide Bane NORs værberedskap til også å omfatte varsel til jernbaneforetakene om sterk vind. Den andre retter seg mot at jernbaneforetakene må ha rutiner for vurdering av lastsikring ved varsel fra infrastrukturforvalter om kraftig vind og ekstremvær.

## ENGLISH SUMMARY

On Thursday 23 November 2017, a 25-foot swap body container fell off freight train 5790 near Finneid bridge, south of Fauske station on the Nordlandsbanen line. The train was southbound from Bodø to Trondheim. The Nordlandsbanen line runs parallel to the E6 road where the incident occurred, and the swap body came to rest between the railway line and the road.

Containers and swap bodies on freight wagons are held in place and secured by means of spigots. Their design is based on the principle that it should be easy to load and unload containers and swap bodies onto/off freight wagons and heavy goods vehicles, while they should also prevent the containers from falling off. CargoNet AS does not use additional locks during their transports. Nor are other railway undertakings in Norway or Europe known to do so.

When the train was unloaded after arriving in Trondheim, the soft top of a swap body was found to be damaged. An inspection showed damage to the structural members of the Stokkalia snow shed. Pieces of beams found in the container combined with the damage to the soft top showed that the

damage had been caused by the swap body. The top of a swap body container is opened and closed using a manual hydraulic pump. On older models such as the one in question, the pressure in the hydraulic system locks the roof in the closed position. The hydraulic system had been torn from its fastenings, and the investigation suggests that the swap body's top cannot have been completely closed after loading in Bodø.

Wind calculations carried out in connection with the investigation show that a gust of wind must exceed 33 m/s to tip an empty 25-foot swap body with Lagab legs off a two-axle container freight wagon. The values used in the calculation are conservative, as the analysis did not take the speed of the train into account. The Accident Investigation Board Norway (AIBN) is of the opinion that Bane NOR SF must review its weather preparedness and consider establishing a system to notify railway undertakings of weather situations when strong winds can be expected. At the same time the AIBN propose that railway undertakings establish procedures that describe necessary measures for safe train operations when receiving notification from the infrastructure manager of strong wind.

The AIBN proposes two safety recommendations based on this investigation. The first concerns expanding Bane NOR's weather preparedness to include notifying railway undertakings of strong winds. The second recommends that railway undertakings should have procedures in place to assess cargo securing when receiving notifications of strong winds and extreme weather conditions from the infrastructure manager.

# 1. FAKTISKE OPPLYSNINGER

## 1.1 Melding om havariet

Statens havarikommisjon for transport (SHT) mottok torsdag 23. november 2017 kl. 1130 varsel fra Bane NOR SF om at en vekselsbeholder hadde falt av tog 5790 ved Finneid bru, Nordlandsbanen. 2 havariinspektører reiste til Finneid den 17. januar 2018 for å gjennomføre en befaringsundersøkelse og undersøke vekselsbeholderen. Informasjon om at SHT hadde igangsatt undersøkelse ble meddelt involverte parter den 6. desember 2017, og European Union Agency for Railways (ERA) ble informert den 19. desember 2017.

## 1.2 Undersøkelsen og organisering

Beslutning om å gjennomføre sikkerhetsundersøkelse er gjort på bakgrunn av hendelsens alvorlighetsgrad og betydning for jernbanesystemet som helhet. Organisering og mandat for undersøkelsen ble besluttet i oppstartmøtet. Undersøkelsen er gjennomført som et prosjektarbeid, ledet av undersøkelsesleder. Undersøkelsesleder er avdelingsdirektør, Jernbaneavdelingen i Statens havarikommisjon for transport.

## 1.3 Hendelsesdata

Tabell 1: Om hendelsen

<b>Alvorlig jernbanehendelse ved Finneid bru</b>	
<b>Hendelsestidspunkt:</b>	23. november 2017 ca. kl. 1100
<b>Hendelsessted:</b>	Finneid bru ved Fauske, Nordlandsbanen (Km 670,8)
<b>Tognummer:</b>	5790
<b>Togtype:</b>	Godstog
<b>Involvert materiell:</b>	-2-akslet vogn for containere/vekselsbeholdere -25 ft vekselsbeholder med Lagab-ben -25 ft vekselsbeholder med hevbart tak (Soft-top)
<b>Registrering vogn:</b>	Lgns 427644320900
<b>Registrering vekselsbeholder:</b>	SCNA0078765
<b>Togdata:</b>	Toglengde 499 meter, togvekt inkl. lokomotiv 996 tonn
<b>Eier vogn:</b>	CargoNet AS
<b>Eier vekselsbeholder:</b>	DB Schenker AS
<b>Ansvar for vedlikehold vogn:</b>	CargoNet AS
<b>Ansvar for vedlikehold vekselsbeholder:</b>	DB Schenker AS
<b>Besetning:</b>	Fører

## 1.4 Hendelsesforløp

Torsdag 23. november falt en 25 fot vekselsbeholder av godstog 5790 ved Finneid bru syd for Fauske stasjon på Nordlandsbanen. Toget var på vei sydover fra Bodø til Trondheim. Nordlandsbanen og E6 går parallelt på stedet, og vekselsbeholderen ble liggende mellom jernbanelinjen og veien.

På grunn av stormen Ylva blåste det kraftig vind fra øst denne dagen, opp til orkan i kastene. Selv om vekselsbeholderen var tom, veide den 3,3 tonn. Til alt hell ble den liggende mellom jernbanelinjen og E6 uten å gjøre vesentlig skade. Føreren ble varslet av togleder like etter hendelsen med beskjed om at han skulle stoppe toget umiddelbart.

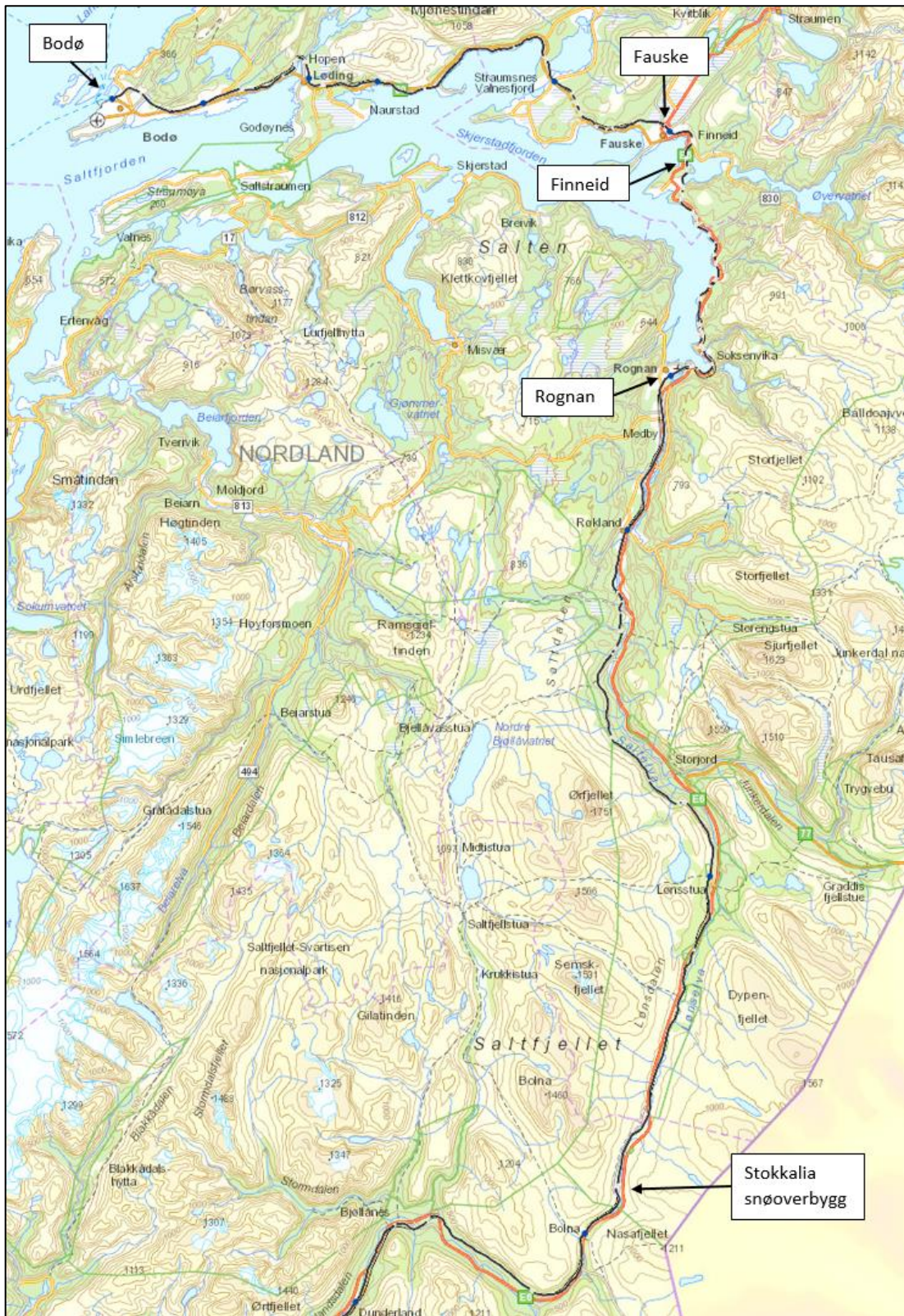
Toget ble stoppet, og det ble kontrollert at ingen av vognene hadde sporet av. Toget ble deretter fremført til Rognan stasjon med redusert hastighet. Her ble toget kontrollert på nytt. Det ble avklart hvilken vogn vekselsbeholderen hadde falt av, og at vognene ikke var skadet. Toget fortsatte deretter mot Trondheim. Etter hendelsen ble Nordlandsbanen stengt mellom Rognan og Fauske en periode, men ble så åpnet igjen med redusert framføringshastighet.



Figur 1: Vekselsbeholderen sett fra nord. Foto: Tom Melby



Figur 2: Vekselsbeholderen sett fra syd. Foto: Tom Melby



Figur 3: Oversiktskart. Kart: Bane NOR SF



Fra Bodø var vognen lastet med to vekselbeholdere. Vognen ble kontrollert på nytt da toget ankom Mo i Rana. Det ble ikke funnet feil på vognen, og den ble derfor lastet med en ny vekselbeholder.



Figur 4: Kart over Fauske og Finneidstraumen. Kart: Bane NOR SF

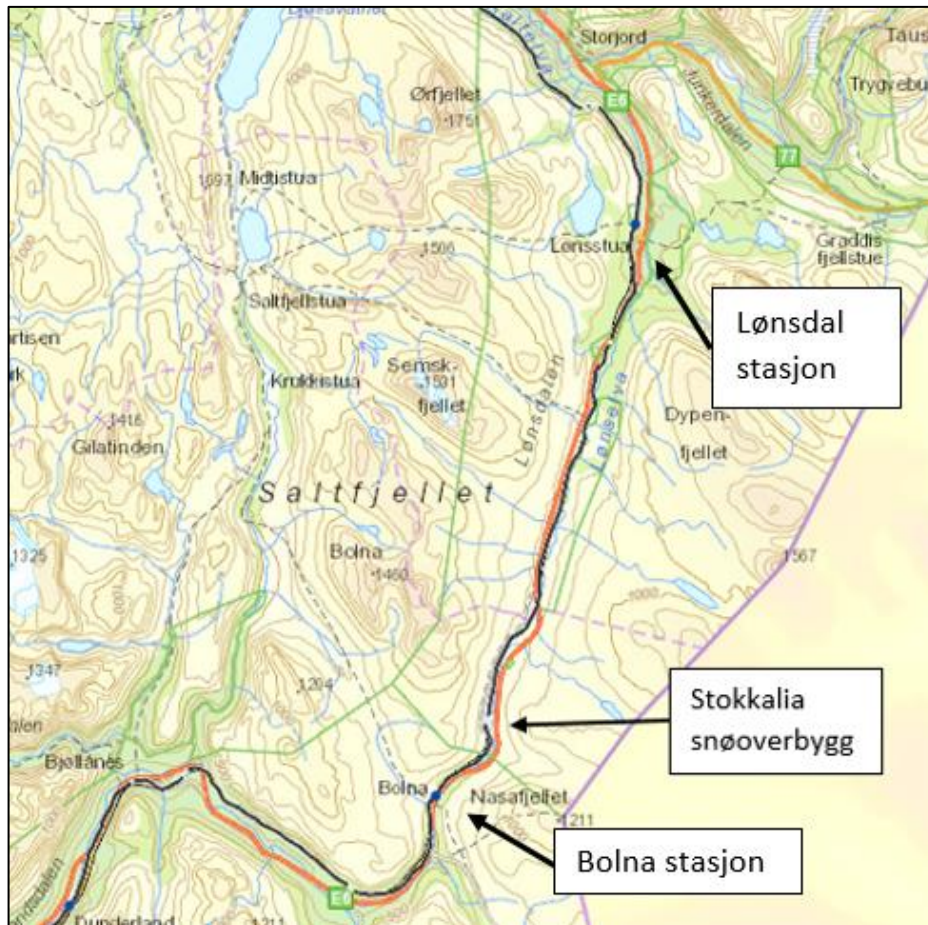
Ved lossing av toget i Trondheim ble det funnet rester av bjelker i bunnen av en 6-akslet vogn. Den hadde vært lastet med en vekselbeholder med hevbart tak. Ved omlasting av vekselbeholderen så en at det hevbare taket var skadet. Den ble sendt til lossing, og deretter fraktet tilbake til Brattøra containerterminal for ytterligere kontroll.

Bane NOR SFs (Bane NOR) visitasjon i forbindelse med uværet viste at rammene i Stokkalia snøoverbygg var skadet. Det var alt fra små hakk i en bjelke til at hele rammeverket var flyttet ut av posisjon og slått inn til sideveggen. Stokkalia snøoverbygg ligger på Saltfjellet nord for Bolna stasjon. Skadene tydet på at lasten på et sydgående tog hadde skadet bjelkelaget i snøoverbygget. Rester av bjelkene i den ene vognen i tog 5790 knyttet toget til hendelsen, og skadene på det hevbare taket til vekselbeholderen viste at

denne var årsaken til skadene. Siste snøoverbygg før Stokkalia snøoverbygg på vei sørover er ved Semska, ca. 2 mil lenger nord. Dette snøoverbygget hadde ingen skader.



Figur 5: Skader containertak. Foto: SHT



Figur 6: Stokkalia snøoverbygg. Kart: Bane NOR

## 1.5 Personskader

Ingen personer ble skadet i hendelsene.

## 1.6 Skader på involvert materiell

DB Schenkers vekselbeholder SCNA0078765 fikk skader på en sidevegg, samt at det bakre venstre benet/labben i kjøreretningen ble revet av. Det er ikke mulig å si om dette ble revet av da vekselbeholderen veltet av vognen eller om det falt av da den landet på bakken. Vekselbeholderen ble kondemnert etter hendelsen.

Posten Norges vekselbeholder PNLA3000340 fikk skader på selve taket, takets opplagring og hengsler samt løftehydraulikken. Vekselbeholderen ble bygget om til fast tak etter hendelsen og er satt tilbake i drift.

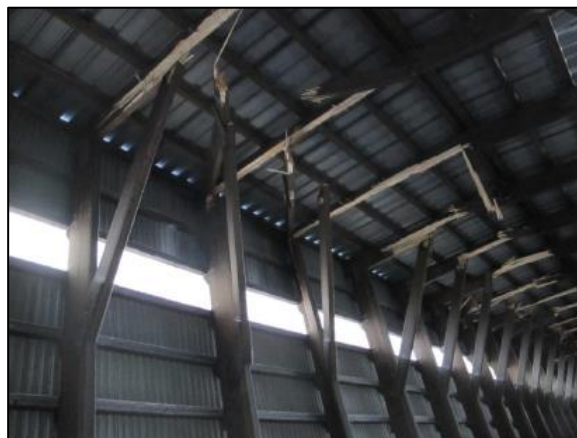
## 1.7 Skadebeskrivelse av infrastruktur og kjørevei

Det ble skader på gjerdet mellom E6 og jernbanelinjen ved Finneid bru (figur 2).

I Stokkalia snøoverbygg ble samtlige av rammene i varierende grad skadet. Dette varierte i alt fra hakk i bjelkene til at rammer ble slått helt ut av posisjon.



Figur 7: Ramme slått ut av posisjon.  
Foto: Bane NOR



Figur 8: Skadet ramme til snøoverbygg. Foto:  
Bane NOR

## 1.8 Andre skader

Havarikommisjonen kjenner ikke til andre skader i forbindelse med hendelsene.

## 1.9 Været

Den 23. november herjet stormen Ylva i Nord-Norge. Det var storm med sludd og snø. Temperaturen ved Finneid kl. 1000 var  $-2,0$  °C, det ble målt 0,3 mm nedbør, og luftfuktigheten var 70 %. Vinden i området beskrives i kapittel 2.9. Værdata er hentet fra [www.yr.no](http://www.yr.no).

## **2. GJENNOMFØRTE UNDERSØKELSER**

### **2.1 Fokus og avgrensninger**

Havarikommisjonen avgjør selv omfanget av undersøkelsen og hvordan den skal gjennomføres. Ved avgjørelsen tas det hensyn til hvilken lærdom undersøkelsen forventes å gi med tanke på å forbedre sikkerheten, ulykken eller hendelsens alvorlighetsgrad, dens innvirkning på jernbanesikkerheten generelt og om den inngår i en serie av ulykker eller hendelser.

Havarikommisjonens sikkerhetsundersøkelse har hatt fokus på barrierer og regelverk som er etablert for å ivareta sikkerheten ved containertransport på tog. Det er utarbeidet en vindmodell for å beregne og beskrive vinden som var ved Finneid og Stokkalia torsdag 23. november i tidsrommet da tog 5790 passerte stedene. Det er også diskutert om tiltak kan etableres for bedre lastsikring og togframføring ved ekstremvær med kraftig vind.

### **2.2 Involverte aktører**

#### **2.2.1 Bane NOR SF**

Bane NOR har ansvaret for jernbaneinfrastrukturen med tilhørende anlegg og innretninger, drift av kjørevei og trafikkstyring og er direkte underlagt Samferdselsdepartementet. De har et systemansvar for samfunnstrygghet og beredskap ved jernbanen i Norge, og regulerer tilgangen til sporene gjennom sportilgangsavtaler med de enkelte jernbanevirksomhetene.

Bane NOR har gyldig sikkerhetsgodkjenning.

#### **2.2.2 CargoNet AS**

CargoNet AS (CargoNet) er Norges største transportør av gods på jernbane, og tilbyr transport i Norge og til og fra Sverige. Selskapet tilbyr kombitransport og systemtransport.

CargoNet har gyldig lisens og sikkerhets sertifikat.

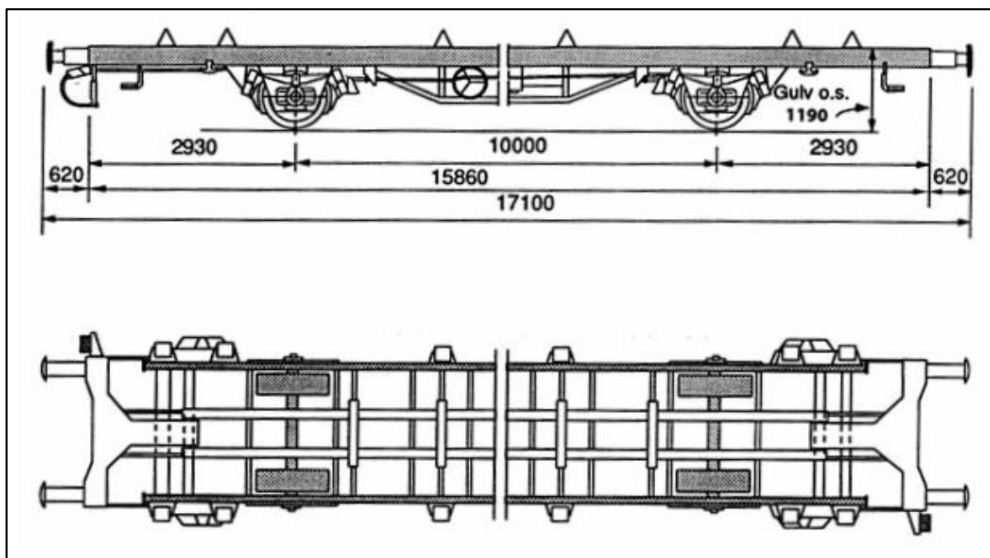
Fører i tog 5790 er ansatt i CargoNet.

### **2.3 Undersøkelser av involvert materiell**

#### **2.3.1 Vogner for kombitransporter**

For kombinerte transporter benyttes tilpassede spesialvogner. Hos CargoNet er de to vanligste vogntypene 6-aklede spesialvogner for kombinerte transporter som laster både semitrailere, containere og vekselbeholdere, og 2-aklede vogner tilpasset for transport av containere og vekselbeholdere.

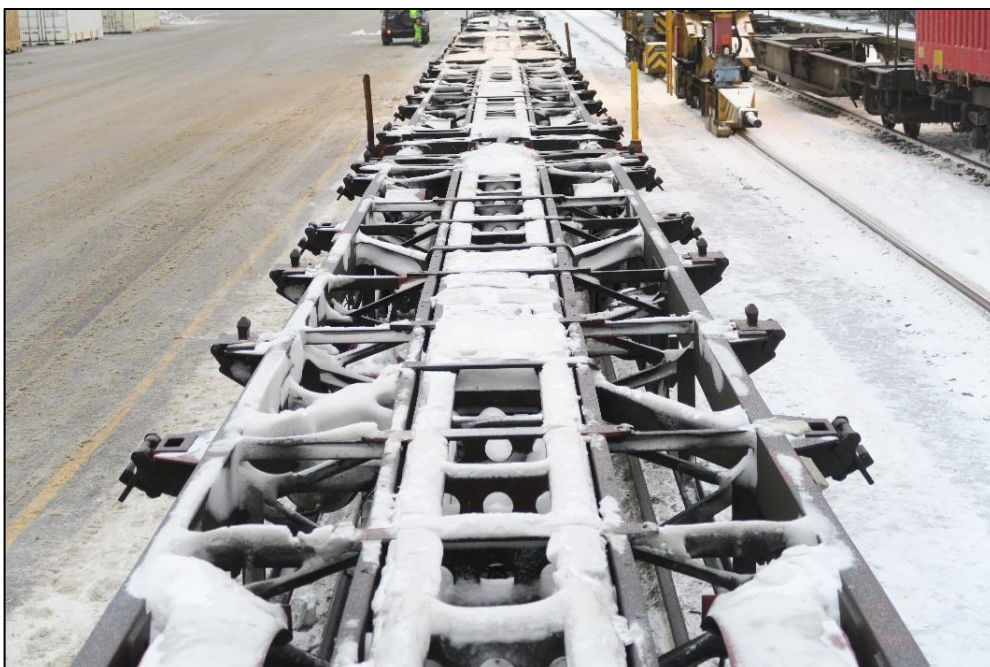
Vekselbeholderen som falt av tog 5790 var lastet på en 2-akslet vogn. Vognen er 15,86 meter over endebjelkene og har en maksimal aksellast på 22,5 tonn. Vogntypens største tillatte hastighet er 100 km/t.



Figur 9: Skisse av vogn for container/vekselbeholdere Lgns 4432. Illustrasjon: CargoNet AS



Figur 10: 2-akslet containervogn Lgns 4432. Foto: SHT



Figur 11: Vognramme 2-akslet containervogn Lgns 4432 sett ovenfra. Foto: SHT

Alle CargoNets vogner er standardiserte for kombitrafikk. CargoNets 2-akslede vogner tilfredsstiller krav til vogntype c, med unntak av høydekrav. Vogntypen er 20 mm for høy, men containerpiggene er av standard type.

Ifølge CargoNet er deres kriterier for vedlikehold av containerpigger at pigger og plater med innfesting skal være skadet eller ha funksjonsavvik. De informerer om at anbefalingene fra VPI-regelverket for privatvogner ikke angir særlige slitasjegrenser eller måltoleranser for slike pigger ut over at de ikke skal være skadet. I følge CargoNet har vognutleieren AAE definert slitasjekriterier, og det er kriterier for piggens innbyrdes plassering i forhold til hverandre. CargoNet brukte noen av disse kriteriene i sin gjennomgang av hendelsen.

CargoNets tekniske avdeling målte tverrmålene mellom containerpiggene på den involverte vognen. Ett av tverrmålene er 2 mm større enn byggekravet. Dette avviket gir ikke redusert virkning med tanke på sikring av vekselbeholdere. De gjorde også kontrollmålinger på piggene som kan ha vært i inngrep med vekselbeholderen. Det ble ikke funnet slitasje på containerpiggens hals utover kriteriene, og heller ikke avvik på containerpiggens breddemål. Det ble funnet noe avvik på vinkelen mellom hals og hode på enkelte pigger, men for de piggene som kan ha vært i inngrep med den aktuelle vekselbeholderen gjelder dette bare 1 av de 4 piggene.

Resultatene fra CargoNets undersøkelser samsvarer med Havarikommisjonens observasjoner ved undersøkelse av vognen.

### 2.3.2 Containere, vekselbeholdere og semihengere

Enhetene som transporteres på vogntypene er i hovedsak tre typer. Det er semihengere, containere og vekselbeholdere. Containere brukes til mange typer transporter, og finnes i forskjellige utgaver. De finnes som lukkede, åpne og som tankcontainere, og leveres i forskjellige størrelser.

Containere finnes i to standarder. ISO containerne og CEN containerne. CEN containerne ble utviklet fordi bredden på ISO containerne sammenfalt dårlig med bredden på pallene og lastebilene i Europa. Et mer brukt navn på CEN containere er vekselbeholdere, og de har stor utbredelse innenfor landtransport. Et eksempel på en bruker er Posten, som benytter disse vekselbeholderne både på tog og vogntog. Vekselbeholdere kan transporteres vekselvis både på bil, båt og bane.

### 2.3.3 DB Schenker AS

Vekselbeholderen som falt av vognen ved Finneid bru var 25 ft og tilhører DB Schenker. Den er 7,82 meter lang, 2,95 meter høy og har en egenvekt på 3300 kg.



Figur 12: 25 fots vekselseholderen som falt av toget. Foto: CargoNet AS

Vekselseholderen er utstyrt med innfellbare ben av en type som er designet av Lagab, derav navnet «Lagab-ben». Benene kan trekkes ut og felles ned, og funksjon benyttes når vekselseholderen transporteres på lastebil. Ved hjelp av benene kan den lastes på og av en lastebil uten hjelp av truck, og parkeres ved lasterampe eller andre steder for lasting, lossing og lagring. Benene svinges opp og sikres i transportposisjon ved hjelp av låsepinner og låseklaffer. Hullene til containerpiggene, som sikrer vekselseholderen når den er lastet på en godsvogn, er i disse benene. Dette er ikke standard containerhjørner, men prinsippet for funksjonen er lik.



Figur 13: Containerhjørne på vekselseholder med Lagab-ben. Foto: SHT



Figur 14: Containerhjørne på vekselbeholder med Lagab-ben sett fra siden. Foto: SHT

Det er et låssystem med klaffer som sikrer benene i innfelt transportposisjon. Dette systemet tillater at benene har en viss sideveis vandring. En kontrollmåling av sideveis vandring til benene på involvert vekselbeholder viste at labb 3 kunne vandre 22 mm, labb 2 17 mm og labb 4 28 mm (labb 1 manglet). I følge produsent BNS vil en sideveis vandring opp mot 30–40 mm være akseptabelt med tanke på fortsatt sikring av vekselbeholderen.

#### 2.3.4 PostNord

Vekselbeholderen som ødela taket til Stokkalia snøoverbygg kalles soft-top container og har hevbart tak. Taket er hengslet på en side, og åpnes og lukkes ved hjelp av en manuell hydraulikkpumpe som pumper taket opp og ned. På eldre modeller, som denne vekselbeholderen, er det kun trykket i hydraulikksystemet som låser taket i lukket og åpen stilling. Det er derfor viktig at det ikke ligger snø og is eller gjenstander mellom pakningen til selve taket og vekselbeholderrammen når taket lukkes. Det er ingen indikering som viser om taket fysisk ligger mot vekselbeholderrammen. Dette må kontrolleres visuelt. Om det oppstår en feil på hydraulikksystemet slik at trykket forsvinner, vil dette gjøre at taket mister låsingen.

Ved undersøkelse av den involverte vekselbeholderen var hydraulikksystemet revet løs og ødelagt. Vekselbeholderen var lastet på vognen slik at hengslingen av taket var mot vest. Vinden var fra øst. Det var i ettertid ikke mulig å fastslå om det hadde oppstått en feil i hydraulikksystemet i forkant av hendelsen, og om taket hadde vært helt lukket da vekselbeholderen ble lastet på toget i Bodø.





Figur 15: Ny type låsing av hevbart tak på soft-top containere. Foto: PostNord

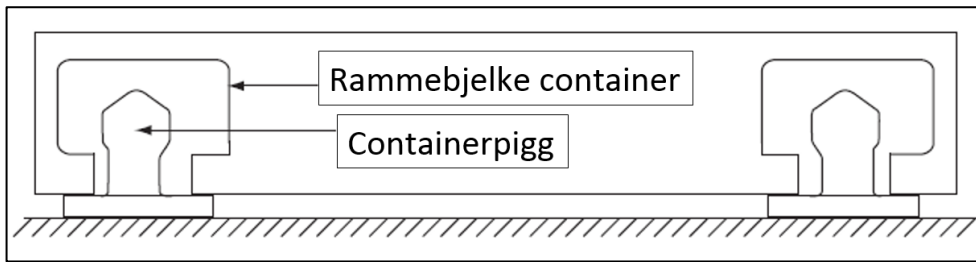
### 2.3.5 Prinsipp for lasting og sikring av vekselbeholdere på vogner

Containerhjørner er standardisert og gjør at containere og noen typer vekselbeholdere kan stables, lastes og sikres sammen og uavhengig av hverandre. Vekselbeholderen som falt av ved Finneid hadde en annen type containerhjørne, se figur 13 og figur 14.



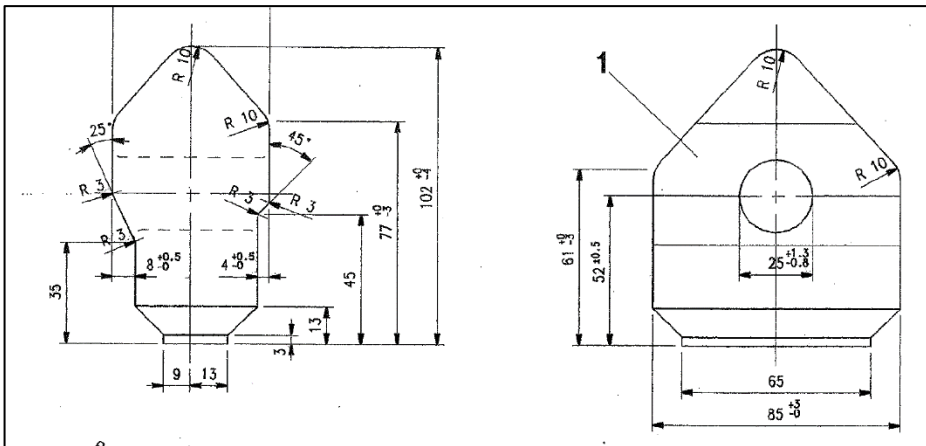
Figur 16: Standard containerhjørne for stabling og låsing av vekselbeholdere. Kilde: ISO

Når vekselbeholderne er lastet på vogner, sikres de ved hjelp av containerpigger. CargoNets vogner er utstyrt med containerpigger som er i henhold til standard UIC 571-4.



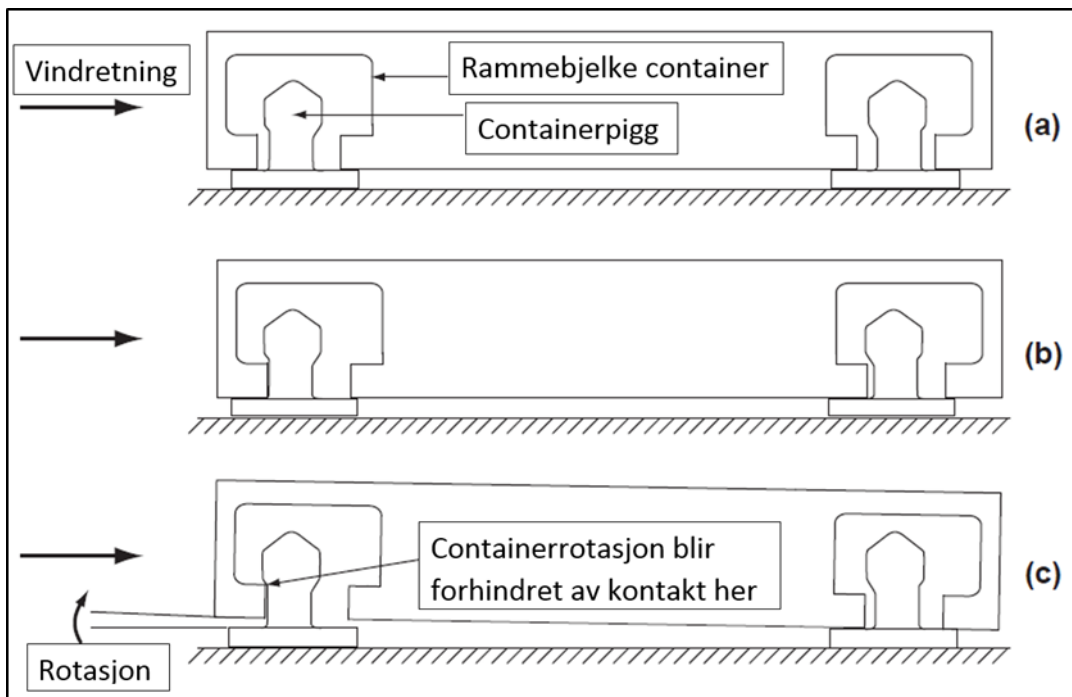
Figur 17: Containerramme og containerpigger. Kilde: Rail Accident Investigation Branch UK

Prinsippet for containerpigger er at de har en utforming som gjør det enkelt å laste containere og vekselbeholdere på og av godsvogner og lastebiler, samtidig som de hindrer containere og vekselbeholdere å falle av containervogner. CargoNet låser ingen enheter ved transporter i Norge. Det er heller ikke kjent at andre jernbaneforetak i Norge eller Europa gjør dette.



Figur 18: Standardmål for UIC containerpigger. Kilde: UIC 571-4 6th edition, January 2014.

Funksjonsprinsippet til UIC-containerpigger for å hindre at vekselbeholdere faller av er vist i figur 19. Fra en sentrert posisjon i forhold til containerpiggene må vekselbeholderen først gli sideveis på vognrammen til rammebjelken kommer i kontakt med containerpiggenes hals. Hvis vindstyrken er sterk nok til å få vindsiden av beholderen til å løfte seg, vil rammen rundt hullet til containerpiggen ta tak i kraven på containerpiggen og stoppe rotasjonen. Jo sterke vinden er, jo kraftigere vil sidepresset mot containerpiggen bli, og jo sterkere vil motholdet i kraven bli. Det er viktig at tverrmålene mellom containerpiggene og mellom containerhjørnene er innenfor toleransegrensene. Tomme containere og vekselbeholdere har større risiko for å rotere enn lastede beholdere, med mindre de er låst til containerpiggene.



Figur 19: Prinsipp for sikring av containere og vekslebeholdere på jernbanevogner. Kilde: Rail Accident Investigation Branch UK

For låsing og sikring av containere benyttes låsesystemet twistlock eller låsepinner. Twistlock er et låssystem som ble oppfunnet i USA i 1950-årene. Festemåten gjør at containere kan lagres eller transporteres over lange avstander uten kontroll eller vedlikehold, og fortsatt fungerer effektivt. Twistlock benyttes i hovedsak på bil og båt.

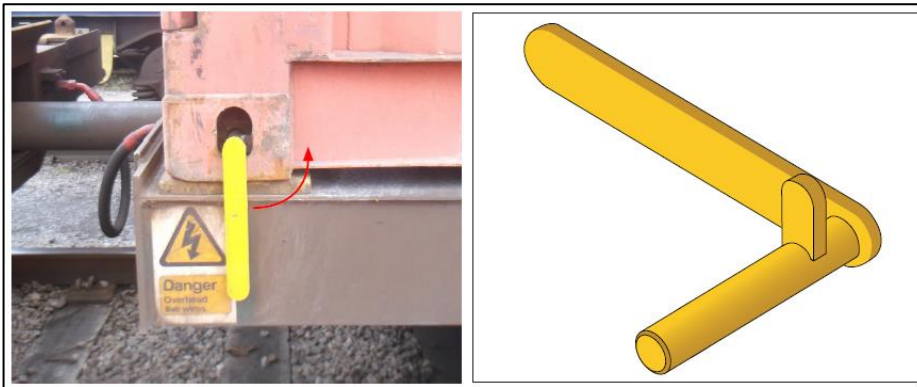


Figur 20: Twistlock-systemet. Foto: Statens jernbanetilsyn



Figur 21: Twistlock-systemet. Foto: Statens jernbanetilsyn

Ved bruk av låsepinner må disse settes inn manuelt etter at containeren er lastet på en vogn, og fjernes manuelt før containeren lastes av. Om dette glemmes kan det skade kranen og vognen kan spore av.



Figur 22: Prinsippet for bruk av låsepinner. Foto/illustrasjon: Rail Accident Investigation Branch UK

### 2.3.6 Vedlikehold av containere

Både PostNord og DB Schenker har lagt opp til at deres containere kontrolleres en gang i året. Det europeiske kravet er kontroll hver 30 mnd.

Vekselholderen som falt av ved Finneid ble sist kontrollert 7. september 2016. Den var siste gang på verksted 14. august 2015. I følge DB Schenker er kontrollen av hullet til containerpiggen i rammebjelken et viktig punkt som sjekkes årlig. Det samme er låseklaffene som holder Lagab-benene i innfelt posisjon. I følge produsenten BNS vil en sideveis vandring på 30–40 mm på det enkelte benet være akseptabelt for fortsatt sikring av vekselholderen. Leverandør av vedlikehold og årskontroller for DB Schenker AS er containerreparatør Guddal.

PostNord har avtaler med flere leverandører om service og vedlikehold av sine containere og vekselholdere. Involvert vekselholder var inne til service siste gang 29. august 2017.

## 2.4 **Undersøkelser av infrastruktur**

Nordlandsbanen går fra Trondheim til Bodø og er 729 km lang. Det er fjernstyrt strekning fra Trondheim til Eiterstrøm, og er strekning uten fjernstyring fra Eiterstrøm til Bodø. Den har delvis utrustet ATC (DATC) på strekningen Trondheim–Agle og fullt utrustet ATC (FATC) på strekningen Agle–Eiterstraum. Nordlandsbanen er enkeltsporet og er ikke elektrifisert. Sporet har Pandrol Fastclip sviller i pukballast og S49-E1 skinner med Fastclip befestning. Strekningshastigheten ved Finneid er 90+10 km/t, men ligger i retning sydover i en bremsesone hvor hastigheten går ned til 70 km/t. Sporet har en kort rettstrekning på stedet hvor containeren falt av, før det er en venstrekurve inn på Finneid bru. Det er ikke stigning eller fall på stedet.

De siste togene som passerte stedet før tog 5790 var godstog 5791 fra Trondheim til Bodø ca. kl. 0625, og persontog 473 fra Mosjøen til Bodø ca. kl. 1012. Havarikommisjonen kjenner ikke til at disse toget rapporterte om værproblemer.

## 2.5 **Kommunikasjonskanaler**

Kommunikasjonen mellom fører og togleder/txp foregikk på togradio.

## 2.6 Sikkerhetsstyring

Kravene til togframføringen og til utforming og sikkerhet av godsvogner og containere reguleres av lov om anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (jernbaneloven), containerloven med forskrift, forskrift om togframføring på det nasjonale jernbanenettet (togframføringsforskriften) og selskapenes interne regelverk. Nedenfor henvises det til de lover og forskrifter som har vært relevante ved denne hendelsen.

### 2.6.1 Lover og forskrifter

FOR-2008-02-29-240 Togframføringsforskriften. Kapittel 4, klargjøring av tog. 1. Krav til jernbaneforetak.

#### *§ 4-1. Lasting av vogner*

*Jernbaneforetaket skal ha bestemmelser om lasting av vogner som ivaretar krav til:*

- a) avsporingssikkerhet,*
- b) profilbegrensninger,*
- c) aksellast og*
- d) lastsikring.*

#### *§ 4-5. Funksjonstesting og kontroll*

*Jernbaneforetaket skal ha bestemmelser om funksjonstesting og kontroll av kjøretøys og togs funksjoner som angår kjøring og stansing av tog, og av øvrige tekniske systemer på kjøretøyene som kreves utført for å sikre at de fungerer i overensstemmelse med de krav som stilles.*

*0 Endret ved forskrift 5 des 2011 nr. 1186 (i kraft 9 des 2012).*

LOV-1982-12-17-84 Lov om sikre containere [containerloven].

#### *§ 4. Andre lands godkjenning og merking.*

*Dersom en container er godkjent i et annet land og utstyrt med et sikkerhetsskilt i henhold til containerkonvensjonen, gjelder godkjenningen også i Norge.*

#### *§ 5. Eierens kontroll.*

*Eier av container skal holde denne i sikker forfatning og kontrollere den i henhold til den til enhver tid gjeldende forskrift (egenkontroll). Denne plikt gjelder også når containeren anvendes i transport utenfor Norge mellom andre stater hvor minst én av statene er tilsluttet containerkonvensjonen, når eieren har bosted eller hovedkontor i Norge eller det forretningssted som har nærmest tilknytning til bruken av containeren, ligger her i landet.*

*Eieren kan ved skriftlig avtale med den som i eierens sted har rett til å forføye over containeren, overlate sitt ansvar til denne.*

#### *§ 7. Tilsyn.*

*Tilsyn med at lovens bestemmelser overholdes tilligger departementet, som også gir nærmere forskrift om tilsynet. Departementet kan utøve tilsyn ved hjelp av:*

- a) skipsinspektører*
- b) offentlige institusjoner*

- c) konsuler
- d) anerkjente klassifikasjonsselskaper
- e) andre private institusjoner eller personer
- f) fremmede lands myndigheter.

*Tilsynsmyndigheten har rett til av produsent, eier eller bruker å kreve de opplysninger om foretatte prøver som anses nødvendig for gjennomføringen av tilsynet.*

*Eier eller bruker kan ikke kreve erstatning for container som tas ut for prøver.*

FOR-1984-04-02-827 Forskrift om prøving, kontroll, godkjenning og vedlikehold m.v. av containere.

#### *§ 5. Vedlikehold og egenkontroll*

*(1) Eier av container skal sørge for at den holdes i sikkerhetsmessig god stand.*

*(2) Eier av godkjent container skal kontrollere den eller la den kontrolleres i henhold til fremgangsmåte foreskrevet eller godkjent av Sjøfartsdirektoratet, eller den det bemyndiger, med passende mellomrom, under hensyntagen til brukerforholdene. Enhver kontroll skal være slik at det fastslås hvorvidt containeren har feil eller mangler som kan medføre personfare.*

*(3) For nye godkjente containere skal første egenkontroll skje senest innen 5 år fra fabrikkasjonsdato og dernest med høyst 30 måneders mellomrom. Dato for første egenkontroll etter godkjennelse skal angis på sikkerhetsgodkjenningsskiltet.*

*(4) For eksisterende containere godkjent etter § 9 i denne forskrift skal første egenkontroll skje senest innen 30 måneder fra godkjenningsdato.*

*(5) Dato for påfølgende egenkontroller etter annet og tredje ledd skal angis på sikkerhetsgodkjenningsskiltet eller så nær dette som mulig.*

*(6) Det skal føres protokoll over utført egenkontroll. Denne protokoll skal angi tid og sted for kontrollen, hvem som har forestått kontrollen og eventuelle feil og mangler som er funnet. Protokollen skal av eieren oppbevares i fem år.*

### 2.6.2 Prosedyrer for CargoNet

Kontrollsystem av CargoNet tog.

#### **6.1 Kontroller**

*Totalt skal det gjennomføres to sikkerhetskontroller og tre kontroller.*

*Kontroll ved opplasting kombitrafikk*

*Sikkerhetskontroll etter opplasting kombitrafikk*

*Sikkerhetskontroll etter opplasting konvensjonell trafikk*

*Kontroll av togstamme mot beleggsliste / vognopptak*

*Sikkerhetskontroll og funksjonstesting av bremses*

*Kontroll av togopplysninger for togoperatør*

#### **6.2 Kontroll ved opplasting kombitrafikk - *Kontroll ved opplasting kombitrafikk***

*Kontroll som foretas av den eller de som laster, eller ledsager opplastingen.*

*Kontrollen har til hensikt å sikre at vogn er klargjort for den type lastbærer som*

*skal lastes på vogn, samt at vekt er korrekt angitt, og at enhet er lastet riktig på rett vogntype.*

### **6.3 Sikkerhetskontroll etter opplasting** *Sikkerhetskontroll etter opplasting kombitrafikk og Sikkerhetskontroll etter opplasting konvensjonell trafikk*

*Sikkerhetskontroller som skal tas for å sikre at vogn er lastet i henhold til bestemmelser i [Lasteanvisninger](#). Ved både kombitrafikk og konvensjonell trafikk i samme tog skal begge sjekklister benyttes.*

*Sjekkliste [Sikkerhetskontroll etter opplasting kombitrafikk](#) foretas på hele tog etter at all last er plassert på vogn.*

## Lasteanvisning Kombinert trafikk (601-9)

### **9.6.1 Lastkontroll av container og vekselbeholdere**



*Ved opplasting skal hjørnebeslag gå i inngrep på alle fire hjørnebeslag. Enhet kan ikke transporteres dersom ett hjørnebeslag er skadet eller mangler. Etter opplasting skal det være mulig å kunne inspisere om enhet står på pigg. Hull i pigg skal være synlig gjennom inspeksjonshull i hjørnebeslag. Dette er særlig viktig å kontrollere når det er snø på vogn og for Lagab beholdere*

*Bilde 14*

*Lasting skal foretas i henhold til brukerbestemmelser for den enkelte vogn oppgitt i 720 samt føringer gitt i dette dokument. Punkter som skal sjekkes er.*

- *Containerpigg er i inngrep på alle fire hjørnebeslag*
- *Kingpinplate er i endeposisjon*
- *Sveiv for kingpinplate er sikret i holder*
- *At vekselbeholder med bredde større enn 2500 er utstyrt med skilt ref merke 12 som viser den er godkjent for opplasting på brønnvogn (gjelder ikke vogn type C).*

### 2.6.3 Beredskap for ugunstig vær

Bane NOR har etablert beredskap for ugunstig vær og beredskap for konsekvenser av ugunstig vær.

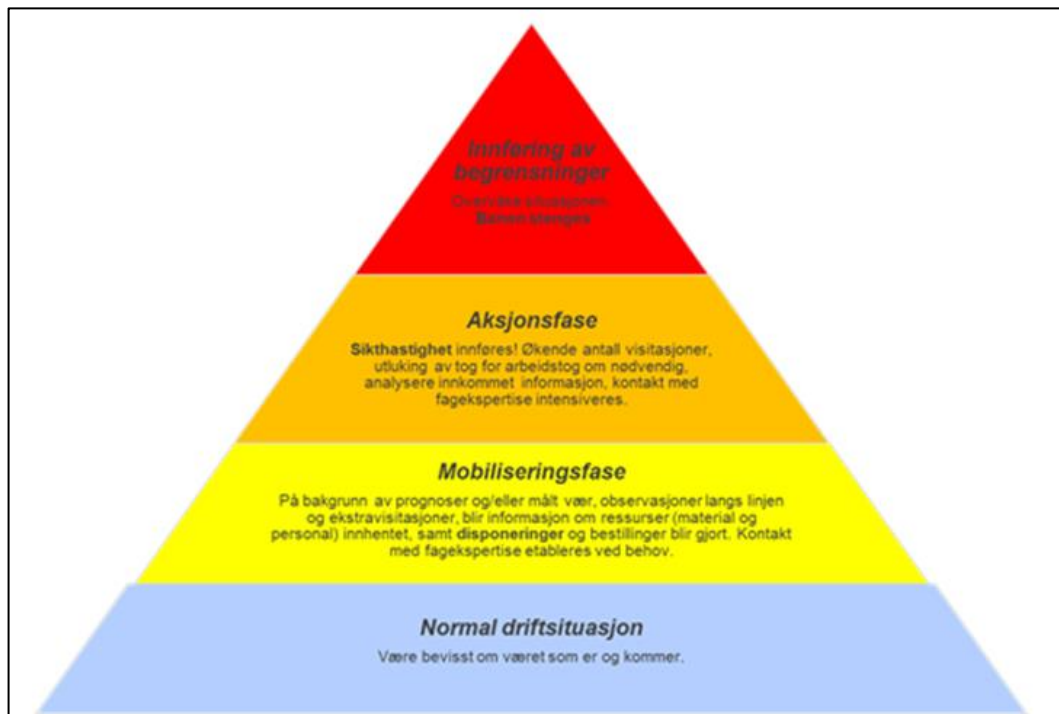
#### 2.6.3.1 *Styrende dokumenter for uvær og beredskap*

Bane NOR har beredskapsplaner for banestrekninger og stasjoner. Grunnlaget til beredskapsplanene er utarbeidet gjennom utført beredskapsanalyse og strekningsanalyser. Bane NORs beredskapspolitikk skal bidra til å ivareta mennesker, miljø og materielle verdier ved at nødsituasjoner ikke eskalerer, konsekvenser begrenses og normalisering foretas. I denne undersøkelsen har Havarikommisjonen vurdert følgende dokument som omhandler beredskap: STY-601614 Instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner, revisjon 007, 28.06.2017.

#### 2.6.3.2 *Instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner*

Bane NOR har etablert instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner. Hensikten med instruksjonen er å forhindre at kritiske tilstander (i underbygning og sideterreng) som følge av ugunstige vær-situasjoner får sikkerhetsmessige konsekvenser. Ved hjelp av fastsatte verdier og værparametere for regn og eventuelt bidrag for snøsmelting er det fastsatt hvilke tiltak og handlinger som skal utføres. Ved andre typer ugunstige vær-situasjoner som kan føre til skred, solslyng, kraftig vind og stormflo må skjønn utøves. Instruksjonen beskriver ikke på hvilke områder kraftig vind kan påvirke infrastrukturen og togframføringen, eller mulige tiltak som kan iverksettes.

Beredskapen er delt i fire nivåer, se figur 23.



Figur 23: Modell av beredskapssystemet fra Instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner. Illustrasjon: Bane NOR SF



Banesjef er ansvarlig for å delegere rollen til «Værvakta», som skal ha gjennomført kurs i instruksen. Ut fra prognoser, værmeldinger, visitasjon og informasjon fra togledere og lokførere skal værvakta vurdere og fastsette beredskapsnivå. Lokfører har en sentral rolle for en sikker fremføring av tog, og det er viktig at de ved forhøyet beredskap rapporterer inn observasjoner langs sporet.

## 2.7 Undersøkelse av operative gjøremål

Havarikommisjonen kjenner ikke til at togleder eller togekspeditører fikk informasjon som tilsa at det skulle legges restriksjoner på togfremføringen ved Finneid eller Stokkalia på det tidspunktet tog 5790 passerte stedene. Bane NORs hendelseslogg beskriver at det var innført oransje beredskap på strekningen Bjerka–Bodø med sikthastighet fra km 660 til km 666 mellom Rognan og Fauske fra onsdag 22. september kl. 2300 på grunn av sterk vind. Strekningen med sikthastighet var syd for Finneid.

Fører mottok ordre fra togleder kl. 1238 om at tog 5790 skulle fremføres med sikthastighet fra km 602 til km 598, for øvrig gjaldt strekningshastighet.

Tog 5790 mottok betinget kjøreordre for strekningen Lønsdal–Ørtfjell, noe som medførte at toget ble fremført med 10 km/t over alle sporveksler på denne strekningen. For øvrig gjaldt strekningshastighet.

Det ble sendt ut kunngjøring TT-4470-2017 om varsel om oppmerksomhet på strekningen Rognan–Fauske. Det ble innført sikthastighet på denne strekningen på grunn av ekstreme værforhold, gjeldende fra torsdag 23.11.2017 kl. 1239 til fredag 24.11.2017 kl. 0925. Dette var etter at tog 5790 hadde passert strekningen.

Bane NORs hendelseslogg beskriver også at strekningen Fauske–Rognan ble sperret på grunn av ekstreme værforhold den 23.11.2017 fra kl. 1307 til 23.11.2017 kl. 1800, og åpnet med redusert hastighet etter dette.

## 2.8 Registrerende hastighetsmålerutstyr og datalogger

Tog 5790 hadde avgang fra Bodø i henhold til ruten kl. 0920, og ankom Fauske kl. 1011, 8 minutter forsinket. I Fauske ble det skiftet inn 9 vogner, og toget hadde avgang kl. 1054, 19 minutter forsinket. Toget passerte Finneid kl. 1059, med en hastighet på ca. 60 km/t. Fører ble varslet av togleder og stoppet for å sjekke toget kl. 1104. Toget fortsatte mot Rognan kl. 1135 hvor det ankom kl. 1206, 69 minutter forsinket etter ruten.

## 2.9 Modellering av vindforholdene

### 2.9.1 Stormen Ylva og vindforholdene på Finneid bru

Ekstremværet Ylva rammet Nordland torsdag 23. og fredag 24. november 2017. Spesielle værforhold vest for Stadt i Vest-Norge og et høytrykk over Kola-halvøya skapte sterke, sør-østlige luftstrømmer over fjellene i Nord-Norge.

Havarikommisjonen har engasjert Kjeller Vindteknikk AS til å gjøre beregninger av vindforholdene som oppstod ved Finneid bru ved Fauske og ved Stokkalia snøoverbygg nord for Bolna på Saltfjellet den 23. november 2017. Det ble utarbeidet to sett med simuleringer. En modell beskriver vindforholdene i hele regionen, og en modell beskriver vindforholdene lokalt ved Finneid bru. Funnene er oppsummert i en rapport som i sin

helhet ligger vedlagt som vedlegg B. Det etterfølgende er et kort sammendrag fra rapporten.

For Finneid er det benyttet værdata fra Leirfjorden og Bodø. I Leirfjorden ble 10 minutters vindhastighet og 3 sekunders kastevinder målt til henholdsvis 23,4 og 36,7 m/s 48 m over bakkenivå. Respektive verdier for 20 m og 35 m over bakkenivå var marginalt lavere. Tidligere analyser indikerer at Ylva var på størrelse med en 25-års østlig storm i Leirfjorden og Nordland-regionen. Variablene er relativt små for målingene ved Bodø, men veldig store i områder på steder med dype, trange fjorder som Leirfjorden og Finneid. For modelleringspunktet nærmest Finneid overstiger den simulerte middelvinden 32 m/s, med maksimalt 33 m/s i tidsrommet kl. 0940–1130 torsdag 23. november. Dette dekker tidsrommet da toget passerte området. Vindstyrken tilsvarer orkan styrke i henhold til Beaufort-skalaen. Den simulerte vindstyrken på samme sted oversteg 30 m/s, sterk storm på Beaufort-skalaen, i minst 9 timer denne dagen.

Med bakgrunn i de gjennomførte analysene i undersøkelsen, anslås det at 10-minutters vinden på tidspunktet for hendelsen (kl. 1100 lokal tid) var mellom 30 og 32 m/s. Samtidig har 3-sekunders kastevinden sannsynligvis overskredet minimum 45 m/s.

### 2.9.2 Vindklimaet ved Finneid

Ved Finneid forekommer østlig til sørøstlig vind hyppigst i mer enn halvparten av tiden. Vestlig vind forekommer ca. en tredjedel av tiden. De 10-minutters 50-års og 100-års vindene er henholdsvis 30,9 og 32,2 m/s. Dette indikerer at stormen Ylva den 23. november 2017 var nær å være en 100-års storm.

Norsk vindstandard er brukt for å estimere hyppigheten av ekstreme vinder i området. 10-minutters 50-års vinden er målt å være 26,2 m/s, og 3-sekunders kastevinden er 39,9 m/s. Disse verdiene er typiske, og representative for en større region og ligner de som finnes her for mindre utsatte steder.

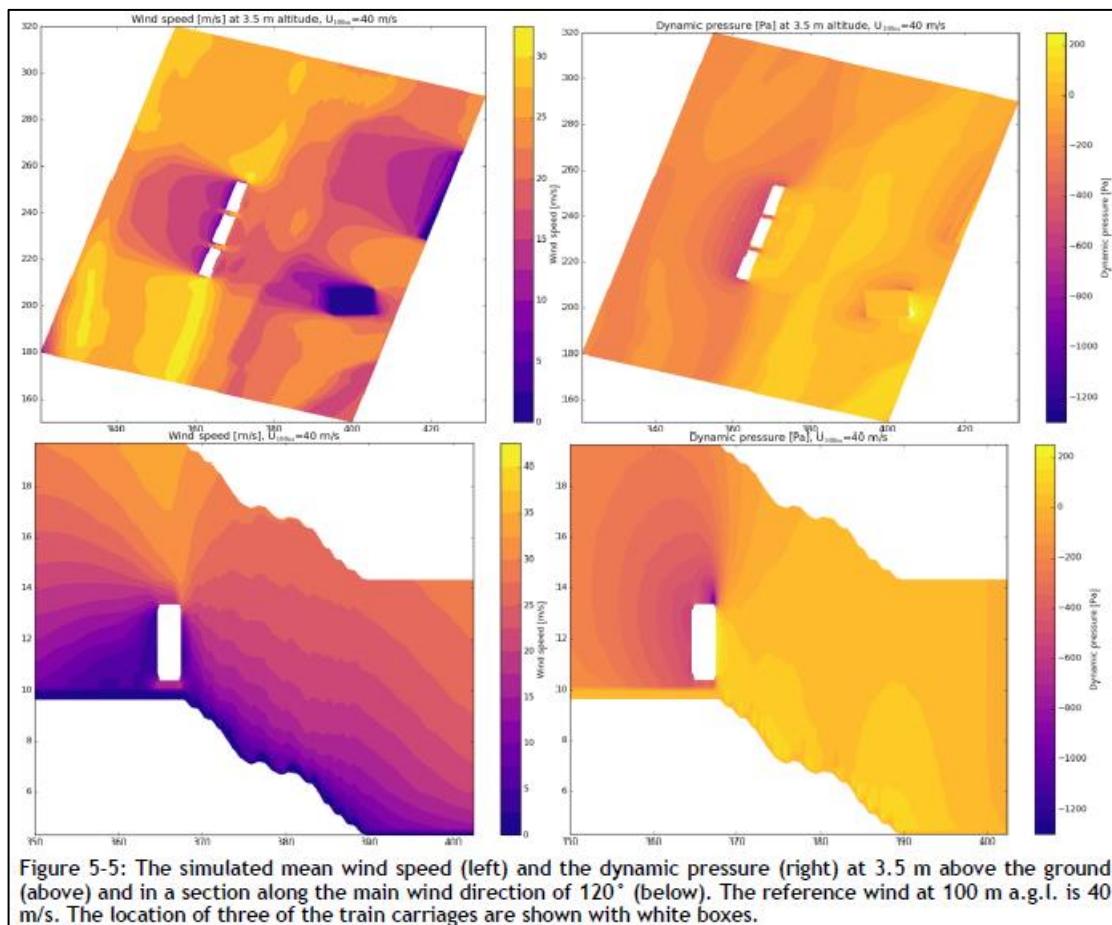
### 2.9.3 Vindklimaet ved Stokkalia

De sterkeste vindene i området langs jernbanetraseen ved Stokkalia var fra øst-sørøst, og 10-minutters 50-års vindene var 23,9 m/s. Maksimum av den simulerte vinden under Ylva var 22-23 m/s fra øst-sørøst, noe som indikerer at stormen var en 20-års storm på stedet. Vindkastene antas ikke å ha vært spesielt sterke i forhold til den gjennomsnittlige vinden. Forutsatt en vindfaktor på 1,4, noe som er typisk for sterk vind i et dalføre uten bratte skråninger, resulterer det i vindkast på 39 m/s.

### 2.9.4 Simulering av hendelsen på Finneid

Luftstrømmen på og rundt vognen og vekselholderen er simulert med CFD-modellen UrbaWind. Maksimal vind målt 3,5 m over bakkenivå, like under toppen av vekselholderen, er også målt i skinnehøyde og overstiger 30 m/s. Det var et sterkt undertrykk på baksiden av, og over og under vognene, mens trykket på vindsiden var jevnt. Vekselholderen var liten, og med tanke på det relative vindfanget, indikerer dette at vinden har påvirket hele vekselholderen samtidig. Beregningene som ble utført, indikerer at et vindkast må være på over 33 m/s for å tippe en tom 25 ft vekselholder med Lagab-ben av en to-akslet containervogn. Verdiene som er benyttet i beregningen er konservative, da togets hastighet ikke er regnet inn i analysen. Effekten av hastigheten

regnes uansett å være minimal. Figur 24 viser hvordan vindkreftene påvirket vogna og containeren.



Figur 24: Simulering av vindkrefter mot container. Illustrasjon: Kjeller Vindteknikk AS

## 2.10 Lignende undersøkelser

Den engelske havarikommisjonen Rail Accident Investigation Branch (RAIB) har gjennomført 2 sikkerhetsundersøkelser som omhandler hendelser der containere har falt av vogner på grunn av kraftig vind. Dette gjelder en hendelse 1. mars 2008 og en hendelse 31. mars 2015. Rapportene er tilgjengelig på:

<https://www.gov.uk/government/collections/catalogue-of-investigation-reports-and-bulletins>

Sikkerhetstilrådingene i de nevnte rapportene retter seg mot å innføre kompenserende tiltak ved sterk vind. Network Rail, infrastrukturforvalter i England, sender nå ut sterk vind varsel ved vindstyrke over 55 mph / 89 km/t / 24,7 m/s. Operatørene har ut fra resultatene fra disse undersøkelsene iverksatt kompenserende tiltak for transport av tomme containere. Dette dreier seg om redusert kjørehastighet, valg av vogntype, bruk av låsmekanismer og å ikke sende tomme containere ved varsel om sterk vind.

14. mars 2014 falt flere containere og vekselsbeholdere av et tog ved Bergfors mellom Abisko og Kiruna på Malmbanen. Toget var på vei fra Narvik til Oslo, og hendelsen inntraff samtidig som stormen «Kyrre» herjet på høyfjellet.

I følge en rapport fra det svenske Trafikverket skyldes hendelsen at en container ikke var skikkelig festet til vognen. Bare ett av i alt fire fester var i bruk. Dette i kombinasjon med stormens kraftige kastevinder på mellom 30 og 32 m/s, gjorde at containeren gled så langt ut av stilling at den slo inn i en kontaktledningsstolpe. Dette resulterte i at mange containere falt av toget, og at flere vogner sporet av.

### **3. ANALYSE**

#### **3.1 Innledning**

Dette kapitlet har som hensikt å gi en fremstilling av de to hendelsene slik Havarikommisjonen har vurdert disse, samt å peke på områder der man kan oppnå en sikkerhetsmessig gevinst gjennom forbedringer. Analysen omfatter drøftinger av hendelsene, de aktuelle vekselbeholderne, vogntyper og låsing, vindstyrke og -retning, samt værberedskap.

#### **3.2 Hendelses- og konsekvensanalyse**

Torsdag 23. november 2017 blåste en tom vekselbeholder av tog 5790 ved Finneid sør for Fauske på Nordlandsbanen. Vinden var så kraftig at den løftet vekselbeholderen av vognen uten at denne veltet eller sporet av. Etter hendelsen ble den liggende på siden, mellom E6 og jernbanelinjen. Avstanden er ikke stor mellom jernbanelinjen og E6 på stedet, og vekselbeholderen kunne ha havnet slik at den kom i konflikt med trafikken på E6.

Vekselbeholderen ble liggende mellom to lyktestolper til E6, uten at disse ble skadet. Dette tyder på at hendelsen inntraff ganske momentant. Venstre bakre ben ble revet av vekselbeholderen i hendelsen. I følge personene fra Railcombi som kom til stedet og sikret containeren, hadde benet falt av i forbindelse med at vekselbeholderen falt av vognen. Labben tilhørte venstre, bakre side av vekselbeholderen.

Da toget kjørte gjennom Stokkalia snøoverbygg, ødela det hevbare taket på en vekselbeholder mye av rammeverket i snøoverbygget. Havarikommisjonen mener at taket ikke var ordentlig lukket ved avreise fra Bodø. Den sterke vinden har på et tidspunkt fått tak og revet opp taket og ødelagt hydraulikksystemet, noe som førte til at taket ble helt uten låsing. Inne i snøoverbygget har undertrykk åpnet taket, før vinden blåste taket helt opp slik at det slo inn i og rev løs deler av rammeverket til snøoverbygget. Skadene krevde omfattende reparasjoner på hele snøoverbygget.

#### **3.3 Involverte vekselbeholdere**

##### **3.3.1 Hendelsen ved Finneid**

Vekselbeholderen som falt av vognen ved Finneid bru var 25 fot, tom og hadde en egenvekt på 3300 kg. Vekselbeholdertypen er utstyrt med innfellbare ben, kalt Lagab, som gjør at den kan parkeres ved f.eks. lasteramper. Benene sikres i enten transport- eller utfelt posisjon ved hjelp av låseklafter og låsepinner. Hullene til containerpiggene er i benene og passer når benene er felt inn i transportposisjon. Låssystemet tillater en viss sideveis vandring, og en kontrollmåling på involvert vekselbeholder viste at labb 3 kunne vandre 22 mm, labb 2 17 mm og labb 4 28 mm (labb 1 manglet). I følge produsent BNS vil en sideveis vandring opp mot 30–40 mm være akseptabel med tanke på fortsatt sikring av vekselbeholderen.

I hendelsen har vinden løftet og rotert vekselbeholderen av vognen uten at denne veltet eller sporet av. Vindsimuleringene utført av kjeller Vindteknikk AS viste at det var et sterkt undertrykk på baksiden av, over og under vognene. Vekselbeholderen er forholdsvis liten, og med tanke på det relative vindfanget, indikerer dette at vinden har påvirket hele vekselbeholderen samtidig. Beregningene som ble utført, indikerer at et

vindkast må være på over 33 m/s for å tippe en tom 25 fot vekselbeholder med Lagab-ben av en to-akslet vogn. Simuleringen indikerer også at vekselbeholderen har blitt løftet opp samtidig som undertrykket over og på lesiden har tippet den til siden. Havarikommisjonen mener dette bidro til at vognen ikke sporet av.

Det er veldig sjelden at vekselbeholdere blåser av vogner. Havarikommisjonen er gjort kjent med ett tilfelle der en tilsvarende tom vekselbeholder med Lagab-ben falt av en vogn på grunn av vind. Dette skjedde på Dovrefjell på slutten av 1970-tallet, men Havarikommisjonen har ikke klart å finne dokumentasjon på denne hendelsen.

Det er flere tilfeller hvor vekselbeholdere har falt av en vogn i forbindelse med at tog sporer av og vogner velter. Havarikommisjonen kjenner ikke til hvorfor ingen jernbaneforetak låser vekselbeholdere til vognene. Det kan skyldes at vekselbeholderne har en relativt stor egenvekt, og at det i et tog aldri er brå bevegelser, harde akselerasjoner eller oppbremsinger.

### 3.3.2 Hendelsen ved Stokkalia snøoverbygg

Vekselbeholderen som ødela Stokkalia snøoverbygg var en vekselbeholder med hevbart tak. Det hevbare taket åpnes og lukkes ved hjelp av en manuell hydraulikkpumpe. Den involverte vekselbeholderen var av eldre modell, der trykket i hydraulikksystemet var eneste låsing av taket. Om hydraulikksystemet feiler slik at dette mister trykket, mister taket låsing. Havarikommisjonen mener at taket ikke var helt lukket da vekselbeholderen ble lastet i Bodø. Dette kan skyldes at is og snø, eller en gjenstand, lå mellom tak og pakning da taket ble lukket. Skifte i været kan senere ha gjort at eventuell is og snø smeltet. Taket ville da fortsatt stå i samme stilling og gitt en glippe mellom taket og rammen til vekselbeholderen.

Ved undersøkelse av vekselbeholderen var hydraulikksystemet revet løs og ødelagt. Dette antas å ha skjedd ved at kraftig vind har presset taket opp. Vekselbeholderen var plassert slik at åpningen av taket var mot øst og vindretningen ved kjøring sørover. Da taket ble revet opp mistet det all låsing. Undertrykket som oppstod da toget kjørte inn i snøoverbygget åpnet taket, og vindpresset løftet dette videre slik at det slo i stykker store deler av bjelkelaget i snøoverbygget.

Etter hendelsen monterte PostNord fortløpende låssystem på alle vekselbeholdere av denne typen når disse var inne til reparasjon eller service. Havarikommisjonen mener det er viktig at alle vekselbeholdere med hevbart tak har en låsing som er funksjonell og enkel å kontrollere ved klargjøring for transport.

## 3.4 **Vogntype og sikring av vekselbeholdere og containere**

Vekselbeholderen som falt av ved Finneid var lastet på en 2-akslet vogn bygget for transport av vekselbeholdere og containere. Vogntypen har en åpen rammekonstruksjon og er utstyrt med containerpigge av standard type. Prinsippet for containerpiggen er at det skal være enkelt å laste containere og vekselbeholdere på og av vogner, samtidig som de skal sikre disse under transport.

Prinsippet fungerer slik at vekselbeholderen eller containeren først glir sideveis slik at containerhjørnet kommer i kontakt med containerpiggens hals. Hvis vekselbeholderen eller containeren begynner å bikke, vil under-rammen ta tak i kraven på containerpiggen og stoppe rotasjonen. Jo kraftigere sidepresset er, jo kraftigere låses vekselbeholderen

eller containeren. Containerpiggens utforming skal ha tilstrekkelig styrke til å gi den låsingen som er nødvendig under fremføring.

Dersom containerpiggen har feil utforming, eller det er liten forskjell i containerpiggens breddemål på hode og stamme, vil dette kunne øke faren for at containerbeslagene ikke hekter i containerpiggen som forutsatt. Det samme vil kunne skje dersom avstanden mellom piggene er for liten når containerbeslagene går i endeposisjon, enten mot høyre eller venstre side. Kontrollen av vogna og containerpiggene viste at både utforming og avstand mellom containerpiggene var i henhold til gjeldende regelverk. Om rammeverket til hullene til containerpiggene har for stor sideveis slakk, vil også dette kunne redusere sidepresset mot containerpiggen.

Tomme vekselbeholdere og containere er forholdsvis lette, samtidig som de har en stor vindflate. Dette gjør at de har større risiko for å bli løftet og rotere enn lastede beholdere, med mindre de er låst til containerpiggene. For låsing og sikring av containere på bil og båt benyttes twistlock, mens låsepinner er utviklet for å kunne benyttes ved transport på jernbane. CargoNet bruker ikke tilleggs sikring ved transporter i Norge. Det er heller ikke kjent at andre jernbaneforetak i Norge eller Europa gjør dette, utover noe bruk av låsepinner i Storbritannia. Det er en generell bekymring for at låsepinner skal bli glemt ved lossing, noe som kan skade både vekselbeholder og vogn om det løftes mens en eller flere låsepinner sitter i.

Havarikommisjonen mener jernbaneforetakene bør gjøre en felles vurdering om det skal innføres tiltak for containere og vekselbeholdere med lav vekt under ugunstige værforhold. Dette kan for eksempel være bruk av låsepinner, redusert fremføringshastighet, eller å ikke laste lette containere og vekselbeholdere i tog som skal kjøre i ekstremvær. Dette gjelder ofte retur av tomme vekselbeholdere og containere det ikke haster å fremføre, og dager med ekstremvær er få.

Terminalpersonale Havarikommisjonen har snakket med, har uttalt at de føler at vekselbeholdere med Lagab-ben generelt er lettere å løfte av containerpiggene enn andre typer vekselbeholdere. Vekselbeholder med Lagab-ben kan alltid løftes rett opp, mens andre vekselbeholdere ofte må rugges litt før de kommer løs av containerpiggene. Dette er en faglig vurdering, og er ikke testet og verifisert ytterligere av Havarikommisjonen. Konstruksjonen på gjeldende vekselbeholder er ikke lenger i produksjon, og det er få av denne typen igjen i bruk. Havarikommisjonen har derfor valgt å ikke gjøre ytterligere undersøkelser av den gamle typen containerbeslag. Nye vekselbeholdere med Lagab-ben har nå egne standard containerhjørner med separate Lagab-ben.

### **3.5 Vindstyrke og vindretning**

Både de kvantitative og de kvalitative faktorene i Kjeller Vindteknikk's vindmodell fra hendelsen (vedlegg B) tyder på at vekselbeholderen falt av toget på grunn av ekstrem vind. Toget passerte Finneid da stormen Ylva var på sitt sterkeste, og middelvinden var mellom 30 og 32 m/s fra øst-sørøst. Kastevindene var minimum 45 m/s, sannsynligvis høyere. Den gjennomførte analysen indikerer at stormen var en 100-års storm ved Finneid, mens det var en 25-års storm andre steder i regionen. Vindretningen ved Finneid er den vanligste vindretningen under stormer på stedet.

Middelvindene like før toget kom til Stokkalia snøoverbygg var sannsynligvis ca. 22 m/s fra øst-sørøst, og opp mot 28 m/s langs jernbanetraseen. Stormen var å regne som en 20-års storm på stedet, og vindretningen var den vanlige ved stormer på stedet.

Vindretningen ved Finneid bru var nesten vinkelrett på jernbanetraseen. Dette er sannsynligvis også den verste vindretningen når en vurderer hvordan vindforhold og vindeffekt påvirker et tog. Det er ingen vindskjerming på stedet, og sporet ligger mange meter forhøyet over fjorden på neset mot Finneid bru. Terrenget på stedet akselererer luftstrømmen slik at den er maksimal når den treffer jernbanetraseen.

Vindmodelleringen viste at det er få vindretninger som kan gi sterk vind ved Finneid, samtidig som kun en kort strekning av jernbanetraseen ligger åpen for kraftig vind. Havarikommisjonen mener at en løsning isolert sett ved Finneid kan være vindskjermer eller le-skjermer som demper vindkreftene. Dette kan sikre at en unngår en lignende hendelse i fremtiden. Samtidig skyldes denne hendelsen et sjeldent værphenomen, slik at det kan være mange år til en opplever lignende vær igjen. En annen løsning kan etter Havarikommisjonens vurdering være å se dette sammen med eksisterende værberedskap (kap. 2.6.3) og vurdere et system som også gir vindvarsel til jernbaneforetakene.

### 3.6 Værberedskap

Bane NOR har etablert en instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner. Det er Værvakta som har ansvaret for å vurdere vær-situasjonen og fastsette beredskapsnivået. Beredskapsnivået bygger på prognoser, værmeldinger, visitasjon og informasjon fra togledere og førere. Hensikten med instruksjonen er å forbygge sikkerhetsmessige konsekvenser av nedbør og bidrag fra snøsmelting med tanke på ras og utglidning. Havarikommisjonen mener denne instruksjonen fungerer godt og etter hensikten den er etablert for. Prognoseverktøyet som benyttes i dag er ikke i samme grad rettet mot å registrere sterk vind på angitte steder, og hvordan vind kan påvirke infrastruktur og togframføring. Det angir ikke hvilke handlinger som skal utføres, og eventuelle tiltak som kan eller skal iverksettes ved varsel om vind over et gitt nivå.

Et tiltak for bruk i jernbaneoperasjoner kan være å utvide systemet til også å gi varsel om sterk vind i utsatte områder og regioner. Varselet kan gå til alle jernbaneforetakene slik at de kan iverksette nødvendige tiltak for sine operasjoner. Et riktig tilpasset vindprognosesystem vil kunne varsle om vindstyrken vil komme opp i nivåer som gjør det nødvendig å iverksette tiltak for togframføringen. Rapporter fra lignende hendelser i Storbritannia viser at det der nå gis varsler om ventet sterk vind til godstogsoperatørene. De skal ut fra vindprognosene iverksette nødvendige tiltak for sin operasjoner, enten ved å redusere togenes hastighet eller låse tomme vekselsbeholdere til vognene (RAIB, 2015).

Havarikommisjonen mener det bør gjøres en gjennomgang av værberedskapen og vurdere om denne kan utvides til også å varsle jernbaneforetakene når vær-situasjonen gjør at det kan forventes kraftig vind.



## 4. KONKLUSJON

Torsdag 23. november falt en 25 fot vekselbeholder av godstog 5790 ved Finneid bru syd for Fauske stasjon på Nordlandsbanen.

Det er mulig å varsle kraftig vind, slik at nødvendige tiltak kan bli gjort i forkant av togframføringen. Instruksen til Værvakta i Bane NOR beskriver ikke hvordan kraftig vind kan påvirke infrastruktur og togframføring, og hvilke tiltak som kan og bør iverksettes ved sterk vind. Havarikommisjonen mener det bør gjøres en gjennomgang av Bane NORs værberedskap og vurdere om denne skal utvides til også å varsle jernbaneforetakene når det kan forventes sterk vind.

Det er ikke krav til, eller vanlig, å benytte tilleggssikring av containere og vekselbeholdere på jernbanevogner, hverken i Norden eller Europa. Havarikommisjonen mener det er behov for å vurdere om jernbaneforetakene skal etablere prosedyrer som beskriver tiltak for sikker togframføring ved varsel fra Bane NOR om kraftig vind.

Havarikommisjonen mener at taket på vekselbeholderen med hevbart tak ikke kan ha vært helt lukket ved lasting i Bodø. Det ble konstatert at hele hydraulikksystemet som åpner, lukker og låser taket var revet av og ødelagt. Taket har derfor ligget løst og vindkreftene har åpnet taket slik at det har slått i rammeverket til snøoverbygget. Havarikommisjonen mener det er viktig at alle vekselbeholdere av denne typen får en låsing av taket som er funksjonell og som det er mulig å kontrollere ved klargjøring av vekselbeholderne for transport.

## 5. GJENNOMFØRTE TILTAK

PostNord har bygget om sine eldre vekselbeholdere med hevbart tak slik at de nå har fått utvendig låsing som er godt synlig, enkel å håndtere og samtidig enkel å kontrollere om er i låst stilling.

## 6. SIKKERHETSTILRÅDINGER

Statens havarikommisjon for transport fremmer følgende sikkerhetstilrådinger:<sup>1</sup>

### **Sikkerhetstilråding JB nr. 2018/13T**

Torsdag 23. november 2017 blåste en tom 25 fots vekselbeholder av godstog 5790 ved Finneid bru syd for Fauske stasjon. Her går Nordlandsbanen og E6 parallelt, og vekselbeholderen ble liggende mellom jernbanelinjen og veien. Vindberegninger viser at vindkastene må være over 33 m/s for å tippe en slik vekselbeholder av en to-akslet vogn. Bane NOR SFs instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner er mangelfull med hensyn til iverksetting av tiltak ved varsel av sterk vind.

Statens havarikommisjon for transport tilrår Statens jernbanetilsyn å be Bane NOR SF utvide værberedskapen til også å omfatte varsel til alle jernbaneforetakene om sterk vind.

### **Sikkerhetstilråding JB nr. 2018/14T**

Torsdag 23. november 2017 blåste en tom 25 fots vekselbeholder av godstog 5790 ved Finneid bru syd for Fauske stasjon. Her går Nordlandsbanen og E6 parallelt, og vekselbeholderen ble liggende mellom jernbanelinjen og veien. Vindberegninger viser at vindkastene på over 33 m/s kan tippe en tom 25 fots vekselbeholder av en to-akslet vogn. Det er i dag ikke vanlig med ekstra sikring av tomme eller lett lastede containere og vekselbeholdere ved varsel om sterk vind.

Statens havarikommisjon for transport tilrår Statens jernbanetilsyn å be jernbaneforetakene innføre retningslinjer for å vurdere tiltak for sikker togframføring ved varsel fra infrastrukturforvalter om sterk vind.

Statens havarikommisjon for transport

Lillestrøm, 18. oktober 2018

---

<sup>1</sup> Undersøkelserapport oversendes Samferdselsdepartementet, som treffer nødvendige tiltak for å sikre at det tas behørig hensyn til sikkerhetstilrådingene, Jf. forskrift 31. mars 2006 nr. 378 om offentlige undersøkelser av jernbaneulykker og alvorlige jernbanehendelser m.m. (jernbaneundersøkelsesforskriften) § 16.

## **VEDLEGG**

Vedlegg A – Safety Recommendations

Vedlegg B – Description of wind conditions associated with two train incidents during the storm Ylva

## VEDLEGG A – SAFETY RECOMMENDATIONS

The Accident Investigation Board Norway proposes the following safety recommendations:<sup>2</sup>

### **Safety recommendation JB No 2018/13T**

On Thursday 23 November 2017, the wind tipped an empty 25-foot swap body container off freight train 5790 near Finneid bridge south of Fauske station. The Nordlandsbanen line runs parallel with the E6 road at that point, and the swap body came to rest between the railway line and the road. Wind calculations show that a gust of wind must exceed 33 m/s to tip a swap body of this kind off a two-axle freight wagon. Bane NOR SF's instructions concerning measures to be taken in connection with adverse weather conditions are inadequate as regards the implementation of measures when strong winds are forecast.

The Accident Investigation Board Norway recommends that the Norwegian Railway Authority request Bane NOR SF to expand its weather preparedness to include notifying railway undertakings of strong winds.

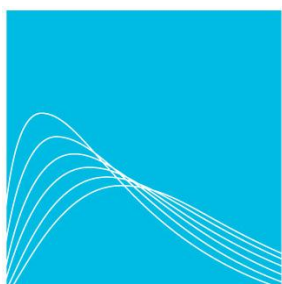
### **Safety recommendation JB No 2018/14T**

On 23 November 2017, the wind tipped an empty 25-foot swap body container off freight train 5790 near Finneid bridge, south of Fauske station. The Nordlandsbanen line runs parallel with the E6 road at that point, and the swap body came to rest between the railway line and the road. Wind calculations show that gusts of wind in excess of 33 m/s can tip an empty 25-foot swap body off a two-axle freight wagon. It is currently not common practice to employ extra securing of empty or lightly loaded containers and swap bodies when strong winds are forecast.

The Accident Investigation Board Norway recommends that the Norwegian Railway Authority request the railway undertakings to consider introducing guidelines for considering measures to ensure safe train operation when receiving notifications of strong winds from the infrastructure manager.

---

<sup>2</sup> The investigation report is submitted to the Ministry of Transport and Communications, which takes necessary action to ensure that due consideration is given to the safety recommendations, cf. the Regulation of 31 March 2006 No 378 relating to official investigations into railway accidents and serious railway incidents etc. (the Railway Investigation Regulation) Section 16.

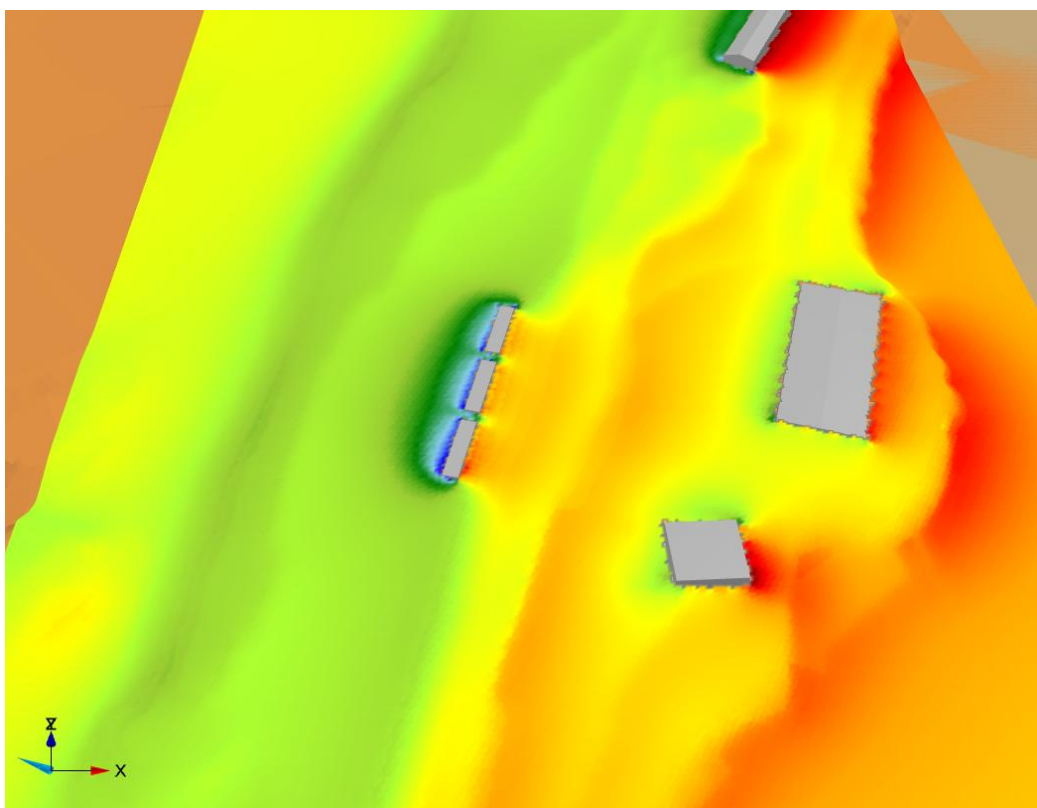


**KJELLER**  
VINDTEKNIKK

## Finneid bridge - Saltfjellet, Nordland

Description of wind conditions associated with two train incidents during the storm Ylva

Report number: KVT/HÁ/2018/R049 Rev1





KVT/HÁ/2018/R049 Rev1

Report number <b>KVT/HÁ/2018/R049 Rev1</b>	Date 16.05.2018
Report Title <b>Finneid - Saltfjellet, Nordland</b>	Availability Limited to client
Description of wind conditions associated with two train incidents during the storm Ylva	Revision number 1
Client <b>Accident investigation board Norway</b>	Number of pages 27 + appendices, figures in a zip-file
Client Reference	Status Final
Objectives  This report describes the wind conditions pertaining to two train incidents at Finneid bridge and at Saltfjellet in Nordland, during the storm Ylva on 23 November 2017 in northern Norway.  Maps showing the wind speed based on mesoscale atmospheric simulations as well as a computational fluid dynamics model are presented. An analysis of the local wind conditions during the storm is performed, including an estimate of the return period of the storm Ylva at the two sites, as well as an estimate of the resulting wind forces on a container blown of the train near Finneid bridge.  This report has been subject to comprehensive quality control according to Kjeller Vindteknikk's quality assessment system.	
Disclaimer Although this report, to the best of our knowledge, represents the state-of-the-art in wind energy assessment methods, and effort have been made to secure reliable results, Kjeller Vindteknikk AS cannot in any way be held responsible neither to the use of the findings in the report nor for any direct or indirect losses arising from such use or from errors of any kind in the contents.	

Revision history				
Rev. number	Date	Number of copies	Comment	Distribution
0	04.05.2018	Only electronic	Final	pdf
1	16.05.2018	Only electronic	Updated analysis of wind forces on container with corrected container dimensions and weight	Pdf

	Name	Digital signatur
Prepared by	Hálfðán Ágústsson Amund Søvde Haslerud	
Reviewed by	Bjørn Egil Nygaard	
Approved by	Knut Harstveit	



# Content

---

<b>1</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ATMOSPHERIC DATA .....</b>	<b>10</b>
3.1	OBSERVATIONS OF WIND .....	10
3.2	SIMULATIONS OF WIND .....	10
3.2.1	Mesoscale simulations .....	10
3.2.2	CFD simulations .....	11
<b>4</b>	<b>THE STORM YLVA AND WIND CONDITIONS AT FINNEID.....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>WIND CLIMATE .....</b>	<b>19</b>
5.1	FINNEID .....	19
5.1.1	Mean wind .....	19
5.1.2	Extreme wind.....	19
5.2	STOKKALIA .....	21
5.2.1	Mean wind .....	21
5.2.2	Extreme wind.....	21
<b>6</b>	<b>CFD SIMULATIONS .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY AND CONCLUDING REMARKS.....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCES.....</b>	<b>27</b>
	<b>APPENDICES .....</b>	<b>1</b>



# 1 Summary

---

This report describes the wind conditions associated with two weather related incidents on a freight train from Bodø to Trondheim, which occurred during the storm Ylva in Nordland on 23 November 2017.

An empty container was blown off the train at Finneid bridge. At the site of the incident the mean wind is estimated to have been 30 - 32 m/s from the east-southeast, gusting to least 45 m/s. CFD calculations show that resulting wind forces on the container were strong enough to tip it off the train wagon. Storms at the site are most common from the wind direction associated with Ylva. The results from the analysis indicate that this was an extreme wind event, possibly with a 100-year return period. There is a large uncertainty associated with the actual return period, mainly due to the complex terrain and strong spatial variations in the wind field near Finneid.

The roof of the snow shelter structure at Stokkalia was damaged by another container whose hydraulically operated roof had been partially opened. Winds at the site were likely near 22 m/s from east-southeast, and up to 28 m/s along the railtracks from the previous checkpoint where no damage had been registered. The storm was approximately a 20-year event at the site.

Observational and simulated wind data indicate that the train passed Finneid at the peak of the storm. A dedicated and correctly adapted wind forecasting system is likely to have identified the severe wind conditions at Finneid during Ylva.



## 2 Introduction

This report discusses the wind conditions pertaining to a freight train incident during the storm Ylva on 23 November 2017 in Nordland, northern Norway. The train left Bodø at 9:20 local time (UTC + 1 hour), first traveling east and then southwards on the Nordlandbanen railway towards Trondheim, as indicated by the blue line in Figure 2-1.

Shortly after leaving Fauske station and just before passing Finneid bridge (10:59), an empty 25 ft (length 7.8 m and height 2.95 m) container weighing 3300 kg was blown off one of the train wagons, landing in between road E6 and the train tracks (Figure 2-4). The train is estimated to have been traveling no faster than 60 km/hour. The proximity of the container to the train tracks and that it struck neither of the light poles in front or behind the container, suggests that the incident was sudden and due to the wind conditions at the location where the container fell. After a stop and a control of the train shortly after Finneid bridge, the train continued onwards.

At a later time, it became apparent that timber beams in the roof of the snow shelter structure at Stokkalia, near Saltfjellet, had been damaged when the train passed by. Strong winds had caused the hydraulically operated roof of a container to partially open, so that the container top struck the underside roof of the structure (Figure 2-5). No damage had been caused at the previous snow shelter structure and neither had the open roof been observed at a previous station. The timing and locations of the two incidents have previously been estimated from the time of the train at several control points as well as assumptions regarding its speed, summarized in

Table 2-1.

The terrain (Figure 2-2) at Finneid bridge is characterized by a fjord to the west and a small lake/river to the east of the bridge, which is surrounded by relatively steep mountains. A small rock outcrop is located south of the bridge while the railway immediately north of bridge is on a small peninsula and elevated approximately 10 m over the surrounding water bodies.

The terrain (Figure 2-3) at Stokkalia is generally not as steep as at Finneid and the tracks are located at ~600 m above sea level at the western side of a relatively narrow valley, with Saltfjellet (1460 m) and Bolnatjønnan (950 m) to the west.

Table 2-1: Overview of timing of train at key points along the track.

Location	Time
Bodø, starting point	09:20
Fauske station	10:11 - 10:54
Finneid bridge, container falls of train	10:59
Train stops after incident	11:13 - 11:35
Lønsdal station (Lønsstua)	13:47
Train passes last snow shelter structure before Stokkalia	14:00
Train passes and damages Stokkalia snow shelter structure	14:15 - 14:25



KVT/HÁ/2018/R049 Rev1

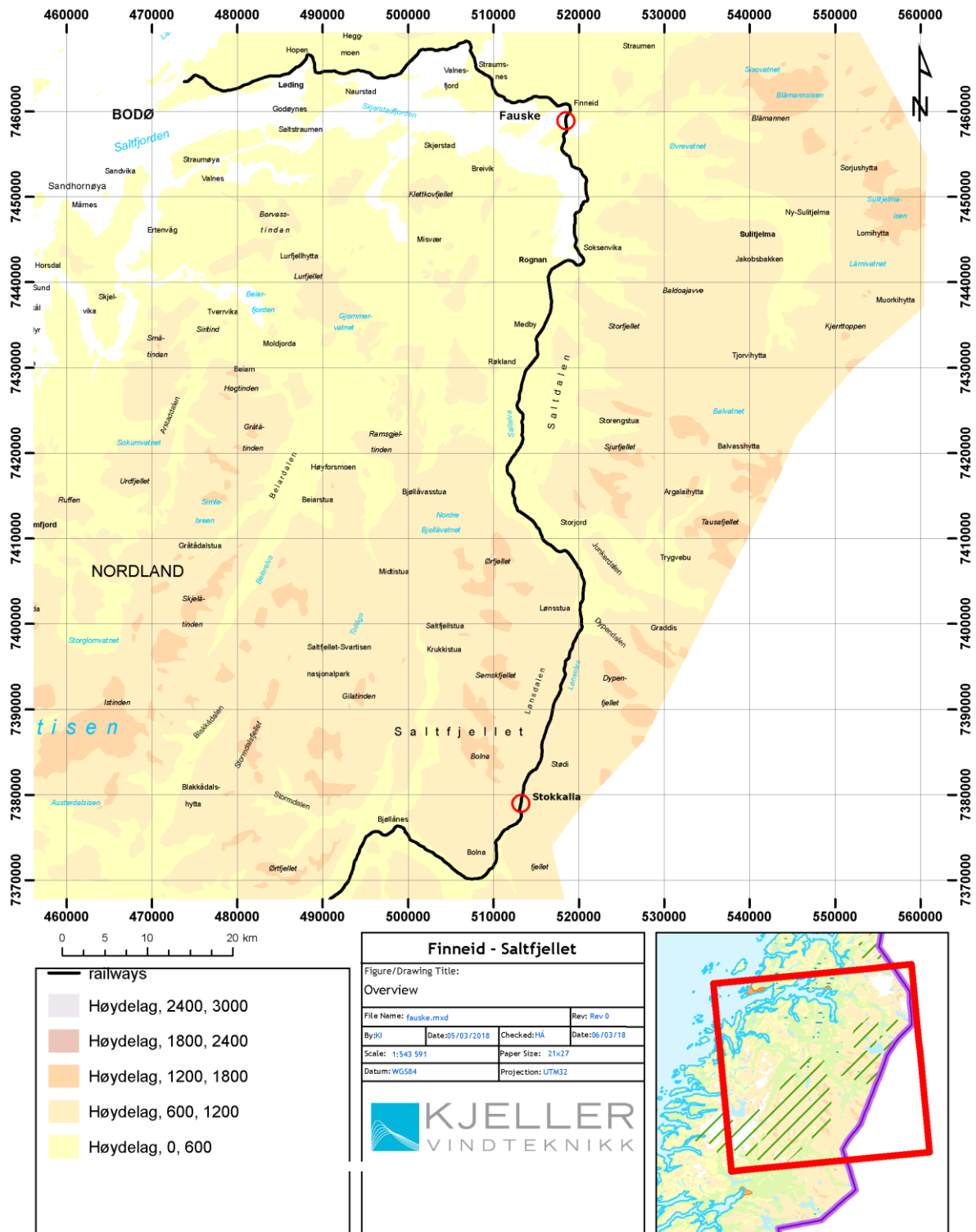


Figure 2-1: Overview of the train tracks (black thick line) from Bodø to Finneid where the empty container was blown of the train (upper red circle), and southwards to Stokkalia where the roof of the snow shelter structure was damaged (lower red circle).

KVT/HÅ/2018/R049 Rev1

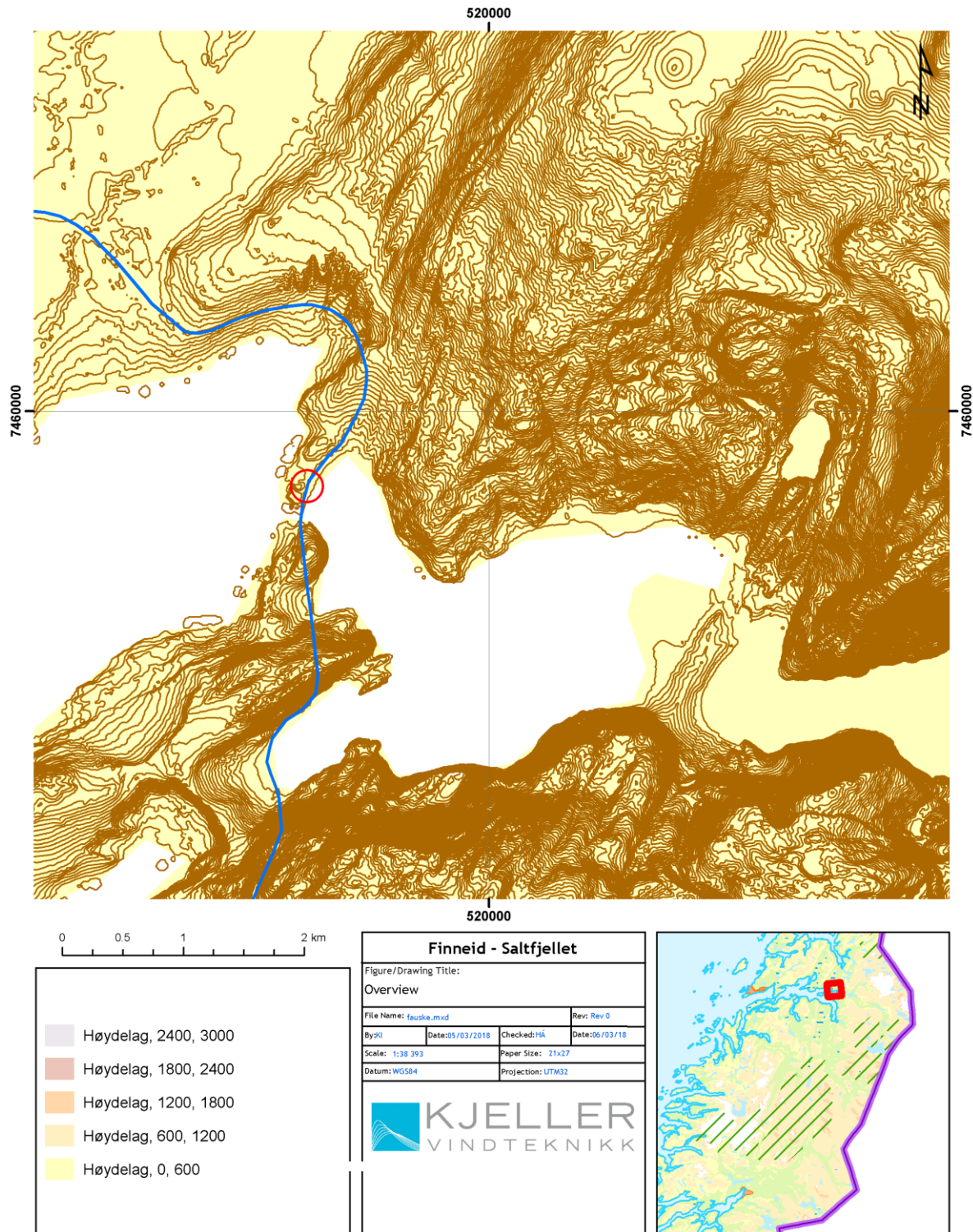


Figure 2-2: Map with 5 m terrain contours and location of train tracks (blue line) near Finneid (indicated with a red circle).

KVT/HÅ/2018/R049 Rev1

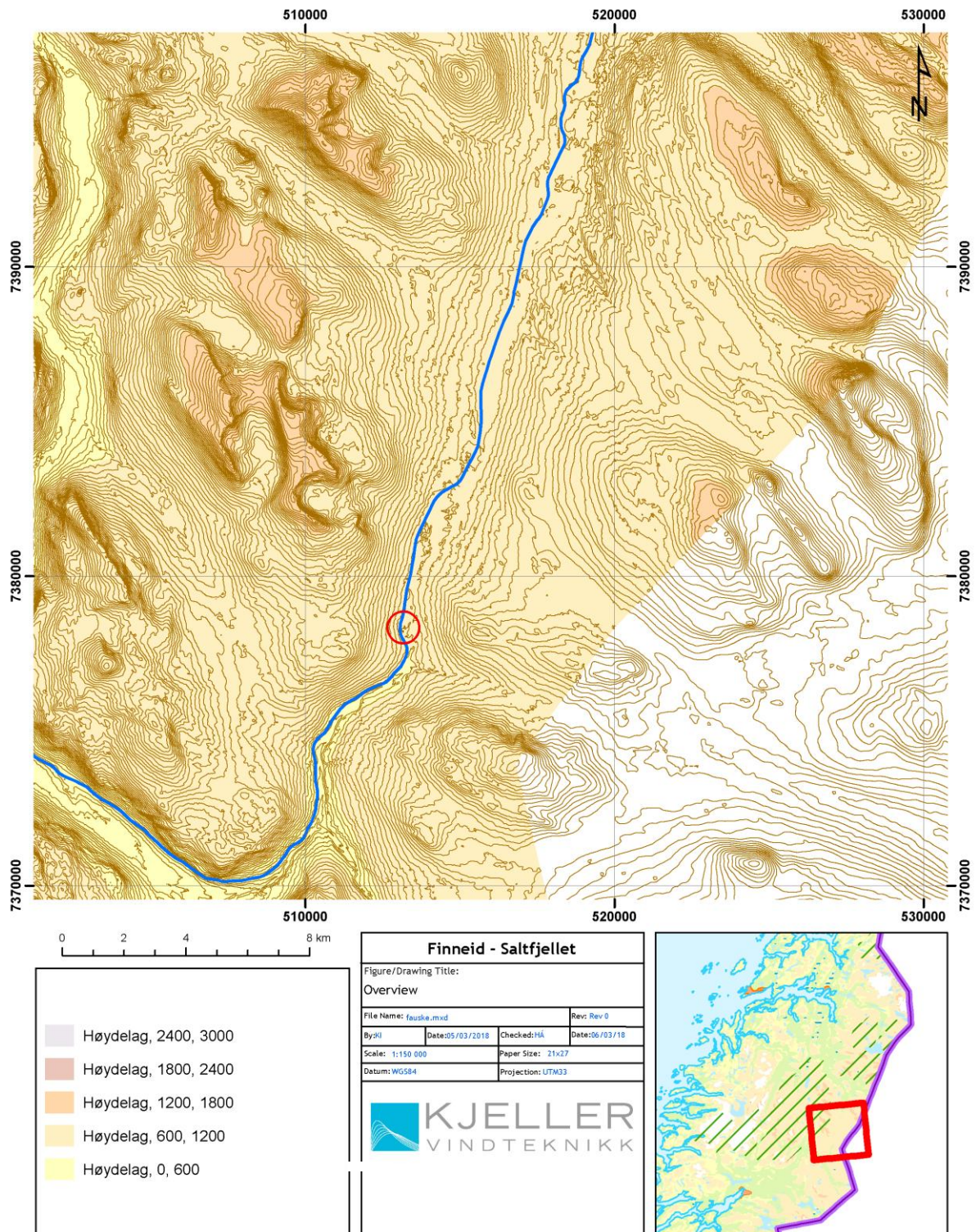


Figure 2-3: Map with 20 m terrain contours and location of train tracks (blue line) near Stokkalia (indicated with a red circle).

KVT/HÁ/2018/R049 Rev1



Figure 2-4: Photographs showing the location of the empty container beside the train tracks and road E6, taken shortly after the incident. There are roughly 45 m between the two light poles, which were not struck by the container. Above: looking south, below: looking north. Photographer Tom Melby, Avisia Nordland.



Figure 2-5: Photograph of the roof of the container which caused the damage to snow shelter structure at Stokkalia. Photograph: courtesy of Hans Bjørnseth.

The analysis discussed in the report is based on observations and numerical simulations of the storm Ylva as well as atmospheric datasets previously produced by Kjeller Vindteknikk (KVT). Two sets of new simulations are performed: A so-called mesoscale atmospheric simulation which describes the wind conditions during the storm Ylva in the whole region of interest, produced with a model similar to those used in operational weather forecasting. The model describes well temporal development of Ylva as well as the spatial structure of the wind on the order of 500 - 1000 m or but fails to describe the very local conditions at Finneid bridge at the time of the incident. The other simulation is based on a computational fluid dynamics (CFD) model and is used to describe the wind at the train and the container at the time of the container blowing of the train. The results from the simulations are analyzed using methods developed at KVT and expert knowledge of the behaviour of wind in complex terrain. The results include a description of the wind during Ylva, estimates of the return period of the storm, an estimate of the wind forces on the container, as well as general comments regarding the wind conditions and the incidents.



## 3 Atmospheric data

### 3.1 Observations of wind

There are no official observations of wind available near the locations of the two incidents. The terrain is very complex and observations from a distant site cannot be easily transferred to the site. An alternative is to base the analysis on simulated wind data and verify the quality of the simulated data by comparison with available observations from other locations.

Here we have used observations of 10-metre wind at Bodø airport (40 km west of Finneid), where the 10-minute mean wind during the storm peaked at 27.5 m/s at 11:00 on 23 November 2017. We have also used the 20-metre wind from the Leirfjorden mast (40 km north of Finneid, not shown in Figure 2-1). The Leirfjorden mast is operated by KVT and the observations are made available by the Norwegian Public Road Administration. Here the 10-minute mean wind reached nearly 24 m/s.

### 3.2 Simulations of wind

#### 3.2.1 Mesoscale simulations

The dataset WRF4km is produced with the numerical weather prediction model WRF (Weather Research and Forecasting model), in a grid with 4 km x 4 km wide meshes and with a temporal resolution of 1 hour for the period January 1979 - October 2017. Simulated atmospheric data is also available from another dataset, covering most of the region of interest and including Finneid. The dataset is referred to as WRF500m and is produced with the same model as WRF4km but in a grid with 500 m x 500 m wide meshes. The dataset has an hourly resolution and is available for 1 January 2014 - 31 January 2015. The site of the incident at Stokkalia is not included in WRF500m and hence we use the WRF1km dataset (Jan. - Dec. 2005, 1 km x 1 km wide meshes). The simulated winds from all three datasets can be considered to represent hourly means and are here scaled with a factor of 1.07 to transform them to 10-minute means for use in the analysis of the return periods of extreme winds. Similar scaling factors have previously been found from observational data.

The higher resolution of WRF500m and WRF1km allows the model to describe the wind conditions in complex terrain in more detail and more accurately than the WRF4km dataset, but better with WRF500m than with WRF1km. However, both datasets are too short to describe the wind climate at the site.

The data used in this analysis is extracted from relevant locations (model points) from the two datasets. Wind data at 10 m a.g.l. from WRF500m and WRF1km is used to correct the wind speed and direction in WRF4km with respect to the impact of local and regional orography on the wind, based on the method described in Liléo et al. (2013). This results in a long enough time series which can be used to estimate extreme winds and the return period of the storm Ylva. More details on the model and its setup (domains) are given in Appendix A.

Since the available WRF500m dataset does not include the storm Ylva, a simulation covering 22 - 24 November 2017 is performed. The setup is identical to that used in preparing WRF500m



except the temporal resolution is 10 minutes. This means that for Finneid, Ylva is reproduced with a 500 m x 500 m while the results available for Stokkalia only have a resolution of 1500 m x 1500 m (see appendix A).

### 3.2.2 CFD simulations

The wind conditions at the train and the wind pressure on the container are calculated with the UrbaWind model, which is a CFD model, developed by the company Meteodyn, (UrbaWind, 2013). The model solves the Reynolds Averaged Navier-Stokes equations (RANS). The effect of urban areas on the mean wind speed is solved through turbulence modeling, which makes it possible to calculate complex wind patterns around and over buildings and structures. Here, the resolution of the meshing (computational grid) is 25 cm. The model does not account for atmospheric stability.

The three dimensional model geometry has been carefully built and includes a high resolution description of the terrain and the upstream structures and buildings. Three train carriages are included in the model as other carriages are not influencing the flow at the container (Figure 3-1).

The model is run with a given reference wind profile (40 m/s at 100 m a.g.l.) and a wind direction representative of Ylva (120°), as indicated from the mesoscale simulations at Finneid bridge. The results of the simulations can be scaled to account for wind speeds different from the reference wind. In order to investigate the uncertainty and most likely wind forces resulting on the container, the results are interpreted and presented for several different wind speeds. As the train was traveling nearly perpendicular to the prevailing wind direction, the speed of the train is neglected in the CFD simulation and the interpretation of its results. This assumption is justified by a separate simulation where the effect of a 15 m/s wind along the rail tracks (equivalent to a train speed of 54 km/h) on the container was investigated. The effect was small and generated a slight lift on the upwind end of the container and a downwards pressure on the other end.

An obvious limitation of the simulations is that complexities in the terrain and land use effects may not be correctly resolved but this is estimated to be of limited importance for the strong winds during Ylva. Furthermore, the model does not take correctly into account the spatial and temporal variability in the actual meteorological conditions and its effect on the turbulence conditions and the flow. Input turbulence can in fact not be prescribed, but is only locally generated in the model. This effect is not particularly relevant for the analysis and setup employed here, as the model results are investigated for different wind speeds to estimate the resulting force on the container.



KVT/HÅ/2018/R049 Rev1

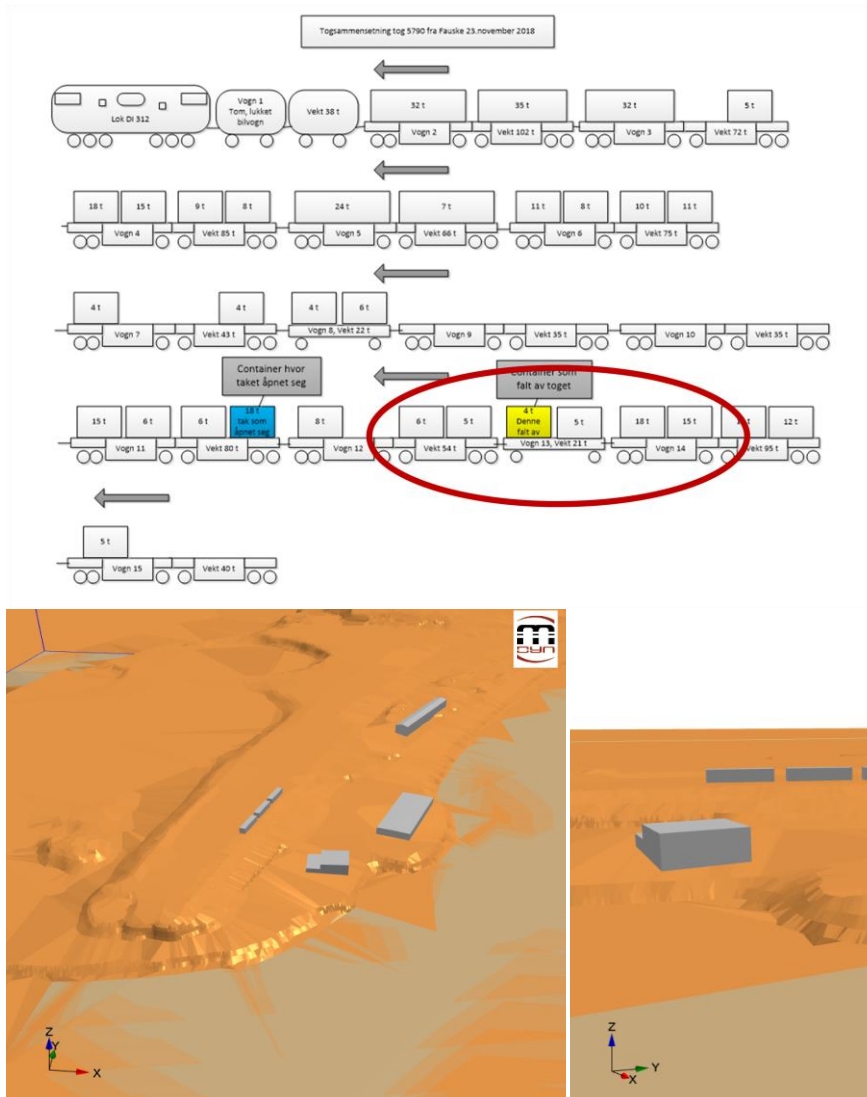


Figure 3-1: Schematic overview of the CFD model geometry, as well as train setup. Left: Overview. Right: As seen along the main wind direction. The three train carriages circled in the image above are included in the CFD model.

## 4 The storm Ylva and wind conditions at Finneid

Ylva is the name given to a windstorm that occurred in the region from northern Trøndelag to the western part of Finnmark during 23. - 24. November 2017 (Figure 4-1). A deep synoptic low west of Stad in western Norway and a high pressure ridge over the Kola peninsula caused strong southeasterly flow over the mountains, which at many locations in the coastal regions, descended as a strong and turbulent wind. The storm was strongest in Bodø around noon with 10-minute mean winds at 10 metres as great as 27.5 m/s and gusting up to 33.9 m/s.

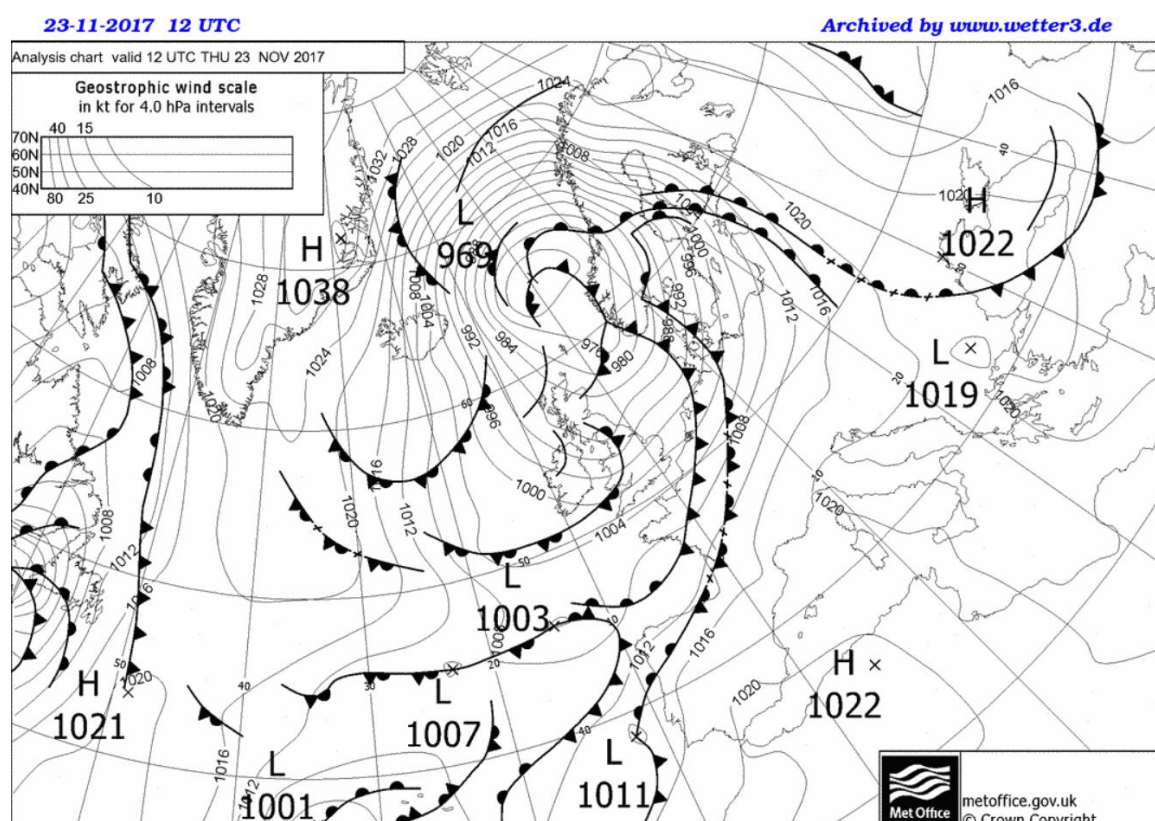


Figure 4-1: Synoptic weather map showing fronts and isobars (lines of constant pressure) at 12 UTC on 23 November 2017, with the location of Ylva given by the 969 hPa low. The wind blows along the isobars with a component to the lower pressure to the left hand side. Denser isobars signify stronger winds.

In Leirfjorden the 10-minute wind speed and 3-second gusts were observed as 23.4 and 36.7 m/s respectively, at 48 m a.g.l. The respective values at 20 and 35 m were only slightly smaller. The gust factor (wind gust / mean wind) was in excess of 1.5, as expected in turbulent easterly winds passing over the mountains.

Previous analysis indicates that the Ylva was on the order of a 25-year easterly storm in Leirfjorden as well as in the Nordland region (Lindvall, 2017).

The structure of the atmosphere during the storm Ylva has been simulated in a grid with horizontal resolution of 500 m x 500 m. This gives an overall good description of the wind conditions during the storm, as indicated in Figure 4-2. The simulated and observed wind at Bodø and Leirfjorden, as well as the simulated wind near Finneid bridge are shown in Figure 4-2.

KVT/HÅ/2018/R049 Rev1

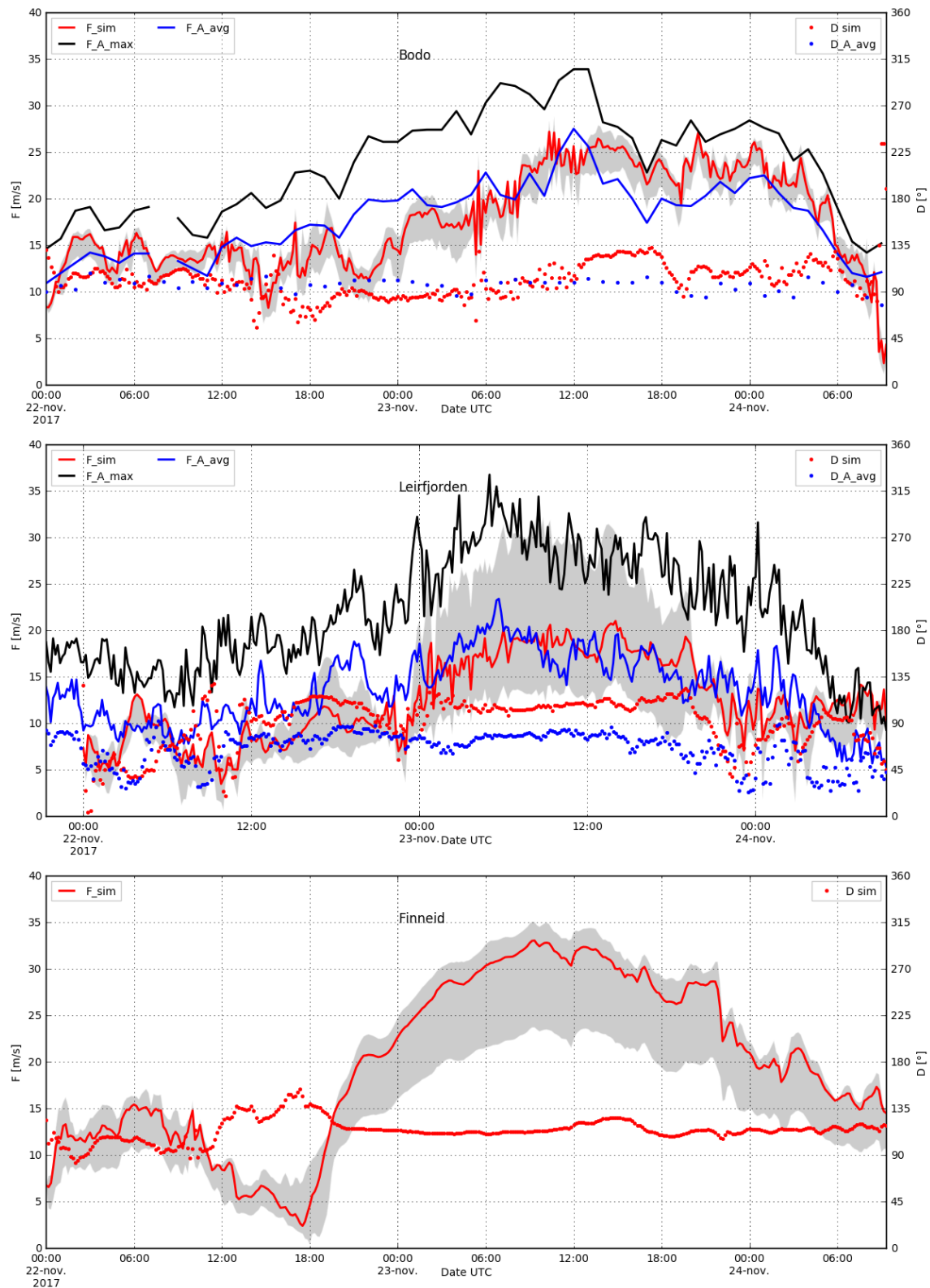


Figure 4-2: Observed wind gusts (black line), as well as observations (blue) and simulations (red) of mean wind speed (lines), and wind direction (dots) at Bodø (top), at Leirfjorden (centre) and at Finneid bridge (below, no observations available) during the storm Ylva 23 November 2017. All wind data is from 10 m except observed wind in Leirfjorden which is taken from 20 m a.g.l. The grey region indicates the simulated wind speed in a 1000 m x 1000 m region centred on each location. Time given in UTC, i.e. local time - 1 hour.



The observed mean wind is generally well captured by the simulations, including its temporal evolution. The wind direction is generally from the east-southeast, including at Finneid and Stokkalia. The maximum wind is reproduced at Bodø but its timing is off by a couple of hours in error. At Leirfjorden the maximum is underestimated slightly but that is partly explained by the observed wind being taken at 20 m while the simulations are from 10 m above ground level.

The spatial variability in the simulated flow is relatively small at Bodø but very large at Leirfjorden, as expected by its location in a steep and narrow fjord. A similar variability is seen at Finneid bridge. For the model point nearest the site of the incident, the simulated mean wind speed exceeds 32 m/s at 09:40 - 11:30 when the train passes the site, with a maximum of 33 m/s. This is equivalent to hurricane force winds according to the Beaufort scale. The simulated winds at the same point exceeded 30 m/s, or a violent storm on the Beaufort scale, for at least 9 hours. The simulated wind direction at the bridge is from the east-southeast, which is nearly perpendicular to the railway tracks. The simulated wind strength varies more than 10 m/s in a 1000 m x 1000 m region at Finneid and is as low / great as 24 / 35 m/s at the storms peak. An inspection of the model grid and the orography indicates that the wind at the nearest model point (red line in Figure 4-2) represents an upper bound of the wind at the actual site of the incident while other model grid points may underestimate the actual wind.

Furthermore, at a resolution of 500 m x 500 m the terrain and the small peninsula at Finneid bridge is not resolved by the atmospheric model, and a speed-up effect over the terrain at the bridge site is likely compared to the flat water bodies to the east and west of the bridge. The spatial variability in the flow is further shown in Figure 4-3, Figure 4-4 and Figure 4-5, where the model results have been linearly interpolated to a finer 100 m x 100 m grid before plotting.

The photographs in Figure 2-4 were taken shortly after the incident and not later than at 12:00, but the strongly reduced visibility, westwards bent trees in the background and red poles in the foreground on both sides of the road indicate extreme winds. Significant force is required to bend the red poles while the observed ice/snow accretion also contributes to increasing the wind force on the poles. It is not clear when the fence in the foreground was broken but here strong winds and ice/snow have presumably been to blame. Experience and qualitative estimates of wind effects observed in the photographs indicate that the wind at the time has been at least 27 - 30 m/s, which is in accordance with simulated values at Finneid.

For strong easterly flow at Finneid bridge the atmospheric turbulence and the strongest wind gusts may have a strong orographic component and are not locally generated by surface roughness. Wind gusts are not reproduced by the atmospheric model but the proximity to the mountains and prevailing wind direction suggest a gust factor (ratio of 3-second wind gust and 10-minute mean wind) of at least 1.5 (e.g. Agústsson and Ólafsson, 2004). The speed up effect over the small peninsula will tend to decrease the gust factor slightly.

Taking into account the discussion and analysis above we estimate that the 10-minute wind at the time of the incident (11:00 local time) was between 30 and 32 m/s. At the same time the 3-second wind gusts are likely to have exceeded at least 45 m/s. Note that for wind gusts the vertical wind shear is typically small and gusts at 4.5 m. will tend to be very similar to those at 10 m.



KVT/HÁ/2018/R049 Rev1

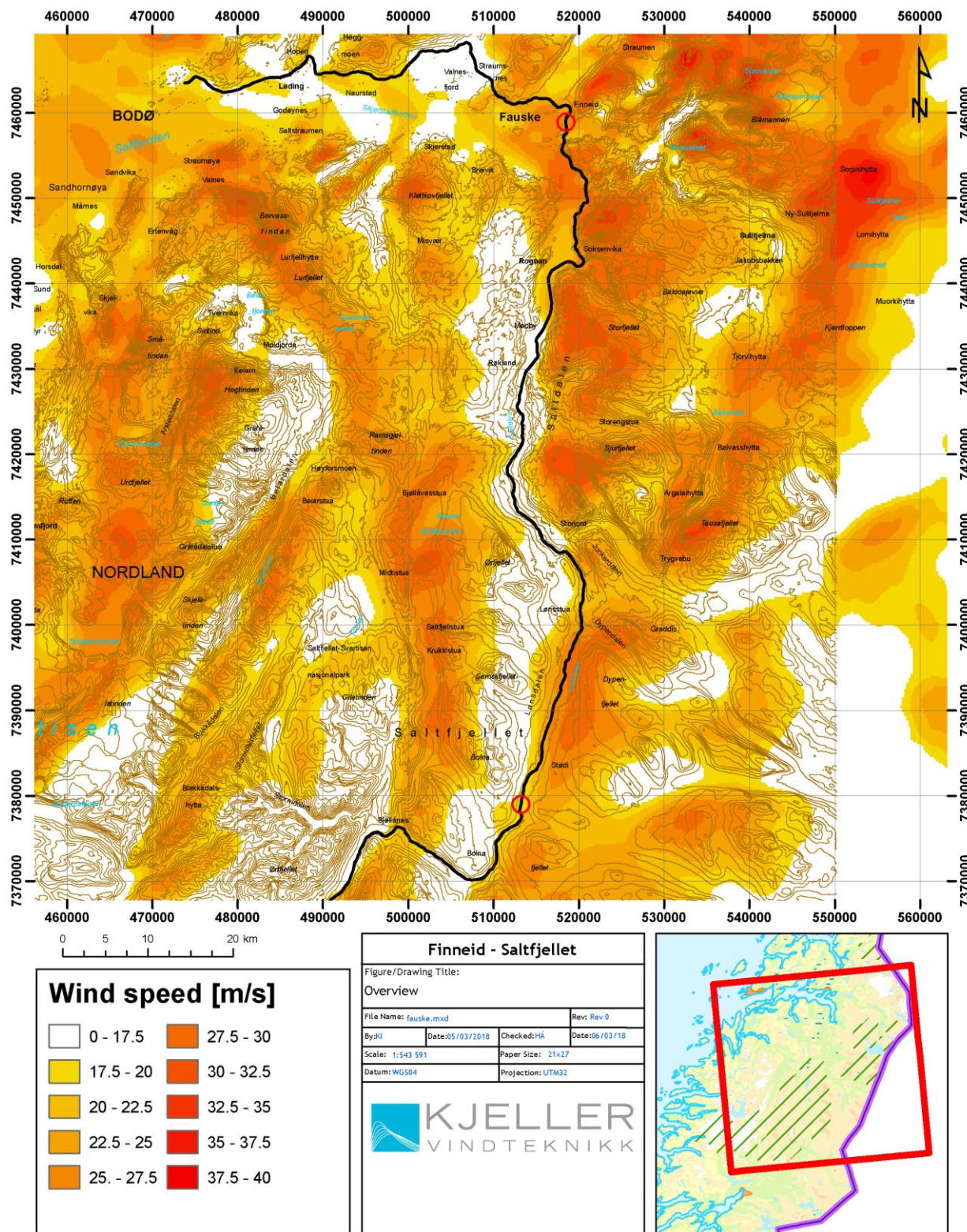


Figure 4-3: Simulated wind speed at 13:00 on 23 November 2017 in Nordland. Train tracks as a black line and 100 m terrain contours are shown. The two red circles indicate the locations of Finneid and Stokkalia. Model results at 1500 m x 1500 m have been interpolated to a regular 100 m x 100 m grid.

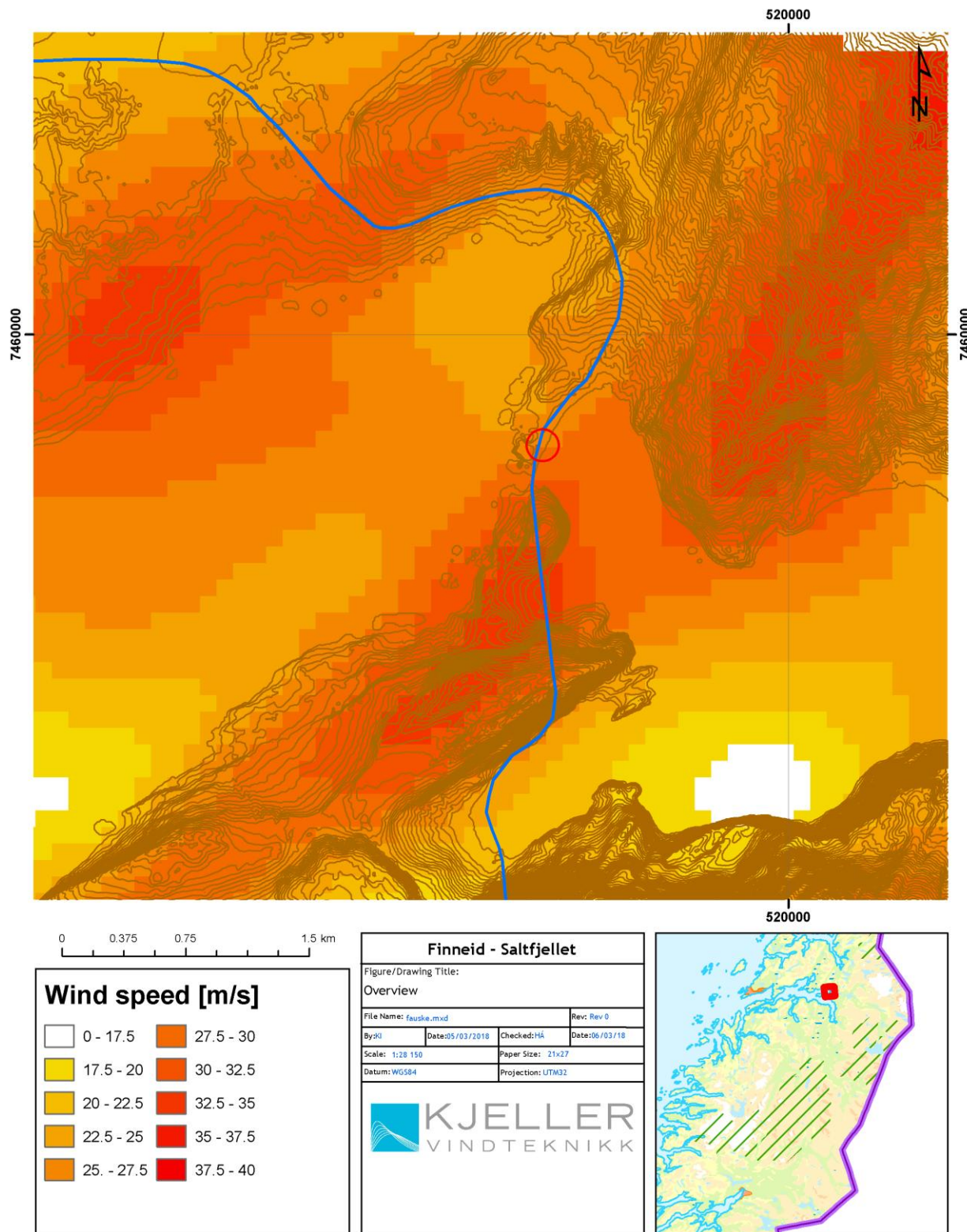


Figure 4-4: Maximum simulated wind speed between 10:00 and 12:00 on 23 November 2017 near Finneid. Train tracks as a blue line and 5 m terrain contours are shown. The red circle indicates the location of the train incident. Model results at 500 m x 500 m have been interpolated to a regular 100 m x 100 m grid.

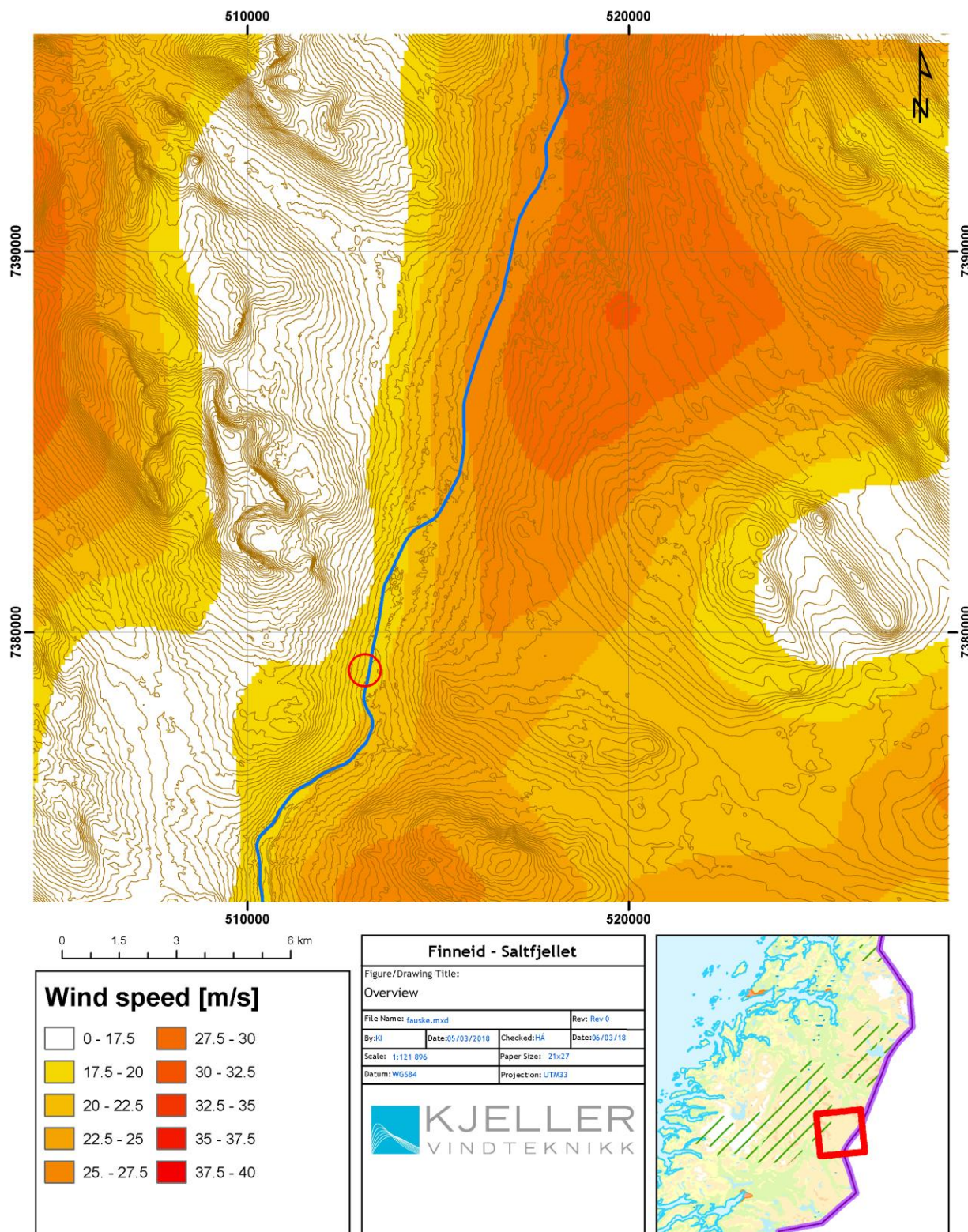


Figure 4-5: Maximum simulated wind speed between 13:00 and 15:30 on 23 November 2017 near Stokkalia. Train tracks as a blue line and 20 m terrain contours are shown. The red circle indicates the location of the train incident at the Stokkalia snow shelter structure, while the previous snow shelter structure is located just north of the map. Model results at 1500 m x 1500 m have been interpolated to a regular 100 m x 100 m grid.

## 5 Wind climate

### 5.1 Finneid

#### 5.1.1 Mean wind

Figure 5-1 shows wind roses valid for 10-metre mean wind near Finneid bridge. Easterly to southeasterly winds are the most frequent and occur during more than half of the time. Westerly winds occur during roughly a third of the time. Strong winds occur mainly during eastsouth-easterly flow. An inspection of individual storms (not shown) indicates that the strongest southwesterly storm during 1970 - 2017 is ranked circa fifth but started as a far stronger easterly storm.

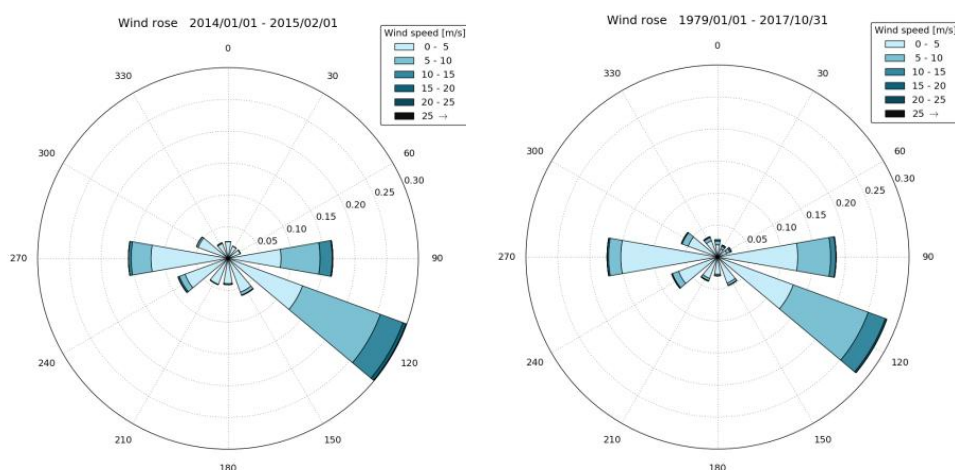


Figure 5-1: Wind roses for 10-metre mean wind near Finneid bridge. From the WRF500m dataset valid Jan. 2014 - Jan. 2015 (left) and from the long term corrected dataset valid for Jan. 1979 - Oct. 2017 (right). The colour code indicates the wind speed at different wind speed intervals while the length of different sectors indicates the frequency of winds from that direction.

#### 5.1.2 Extreme wind

The return levels of extreme winds are based on an extreme value analysis of corrected simulated winds for 1979 - 2017. The so-called Gumbel - Lieblein method, which is well adapted for estimating extreme winds, is used. The method uses annual maxima of the wind as input and with 38 years of data we get a robust estimate of extreme winds for a 50-year return period. Since the strongest storms occur during winter, the annual maxima are here taken from Sept. - Sept. to ensure storms occurring at the end/start of the year are not counted twice.

Table 5-1 shows the return levels of extreme winds for given return periods near the bridge at Finneid. Table 5-2 shows the return level for a 50-year wind and 8 eight directional sectors, estimated from a comparison of the five strongest storms within each sector, with the 5 strongest events independent of wind direction. The 50- and 100-year 10-minute winds are found to be 30.9 and 32.2 m/s respectively. This indicates that the storm Ylva on 23 November 2017 was near a 100-year storm at that location. The return period is longer if only storms from the east are considered. Return periods for wind gusts are not estimated but can be assumed to





show the same character as the 10-minute mean wind, i.e. strongest from the easterly and southeasterly sector, associated with turbulent flow descending from the mountains upstream.

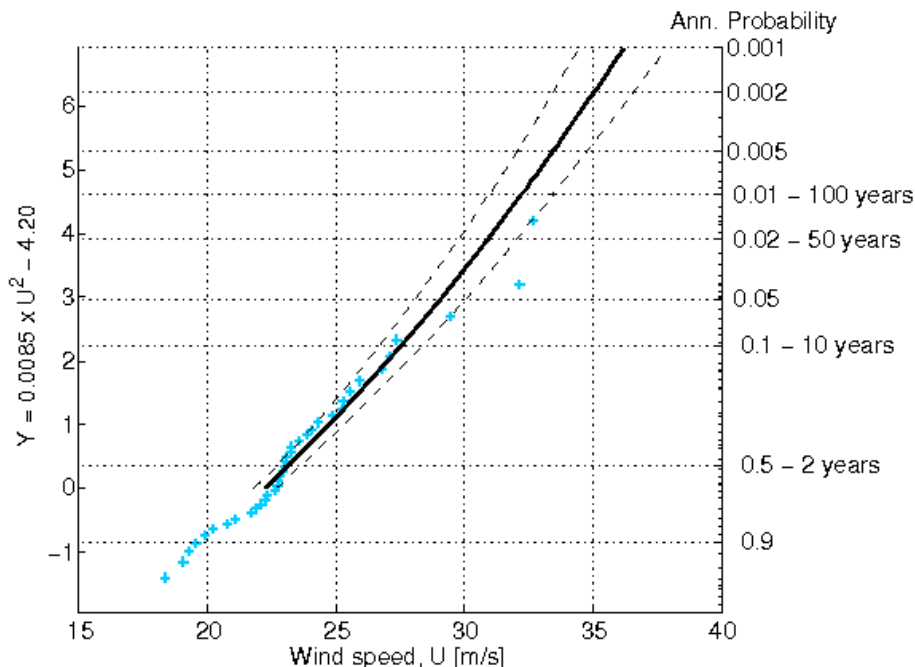


Figure 5-2: The extreme value model for 10-metre mean wind near Finneid bridge, based on Gumbel-Lieblein methodology.

Table 5-1: Calculated return values for 10-minute mean wind (m/s) at 10 m a.g.l.

Return period [years]	2	10	25	50	100
Return level [m/s]	23.2	27.6	29.5	30.9	32.2

Table 5-2: Return values of the 50-year wind at 10 m a.g.l. for 8 directional sectors, 45° wide, as well as the total return level independent of wind direction.

Wind direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	All
Return level [m/s]	17.4	16.8	29.8	25.8	25.8	25.0	21.9	16.6	30.9

Table 5-1 and Table 5-2 are only valid for the immediate surroundings of the incident site, and do not represent the wind climate for a larger region. The return values are in fact significantly lower within 1 km from the site (not shown).

The Norwegian wind standard can also be used to estimate the return levels of extreme winds in the region near Finneid bridge. The 50-year 10-minute mean wind is hence found to be 26.2 m/s and 3-second wind gusts are 39.9 m/s. These values are typically representative for a larger region and similar to those found here for a less exposed site (not shown). Some adjustments can be made to take into account the influence of orography near the peninsula at the bridge at Finneid but such attempts are generally unsuccessful for such an exposed location.

## 5.2 Stokkalia

### 5.2.1 Mean wind

Figure 5-3 shows wind roses valid for 10-metre mean wind near Stokkalia. Winds along the valley (southwest/northeast) are most common but there is also a component from the southeast. Strong winds occur mainly from a southerly sector spanning from the southeast to the southwest. During Ylva the strongest winds at Stokkalia and along the rail tracks in the area were from the east-southeast.

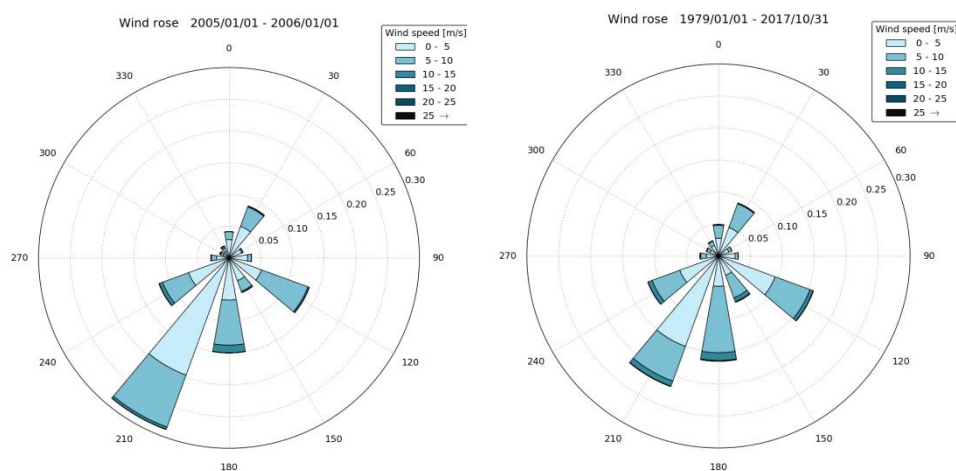


Figure 5-3: Wind roses for 10-metre mean wind near Stokkalia. From the WRF1km dataset valid Jan. - Dec. 2004 (left) and from the long term corrected dataset valid for Jan. 1979 - Oct. 2017 (right). The colour code indicates the wind speed at different wind speed intervals while the length of different sectors indicates the frequency of winds from that direction.

### 5.2.2 Extreme wind

Extreme winds (Figure 5-4) are calculated as for Finneid. Table 5-3 shows the return levels of extreme winds for given return periods at a location near Stokkalia. Table 5-4 shows the return level for a 50-year wind and 8 directional sectors, estimated from a comparison of the five strongest storms within each sector, with the 5 strongest events independent of wind direction. The 50-year 10-minute winds are found to be 23.9 m/s near Stokkalia. At the same location, the maximum of the simulated wind during Ylva is 22 - 23 m/s from the east-southeast, indicating that the storm was roughly a 20-year event at the site. The simulated winds increase further northwards, towards the previous checkpoint at Lønnstua, indicating that the mean winds impinging on the train may at some point have been as great as 28 m/s. We note that the return levels of extreme winds are also likely to increase in a similar way, i.e. this does not necessarily mean a change in the return period of the storm along the rail track before Stokkalia. The wind gusts are not expected to have been particularly strong compared to the mean wind. Assuming a gust factor of 1.4, typical for strong wind in a valley and away from steep slopes, results in gusts of 39 m/s.

KVT/HÁ/2018/R049 Rev1

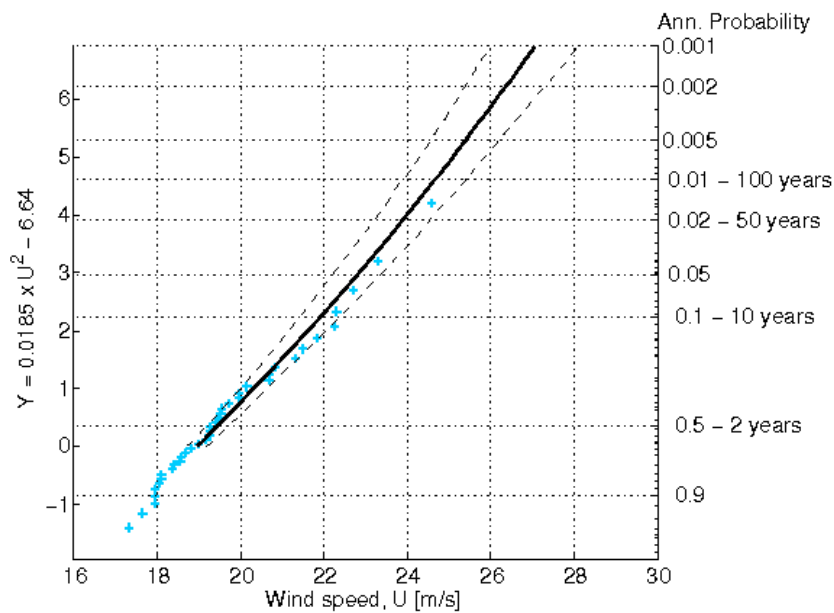


Figure 5-4: The extreme value model for 10-metre mean wind near Stokkalia, based on Gumbel-Lieblein methodology.

Table 5-3: Calculated return values for 10-minute mean wind (m/s) at 10 m a.g.l.

Return period [years]	2	10	25	50	100
Return level [m/s]	19.5	21.9	23.1	23.9	24.7

Table 5-4: Return values of the 50-year wind at 10 m a.g.l. for 8 directional sectors, 45° wide, as well as the total return level independent of wind direction.

Wind direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	All
Return level [m/s]	17.6	15.1	16.7	22.5	22.0	23.2	18.1	19.5	23.9

## 6 CFD simulations

The flow at and around the train carriage and the container has been simulated with the CFD model UrbaWind. Examples of the simulated wind and dynamic forces for a reference wind speed of 40 m/s at 100 m a.g.l. are presented in Figure 5-5, but only a part of the model domain is shown. The maximum wind at 3.5 m a.g.l., just below the container top, is found at the train tracks and exceeds 30 m/s for a 40 m/s reference wind speed. There is a strong pressure deficit behind the carriages as well as above and below them, while the pressure on the windward side is smaller.

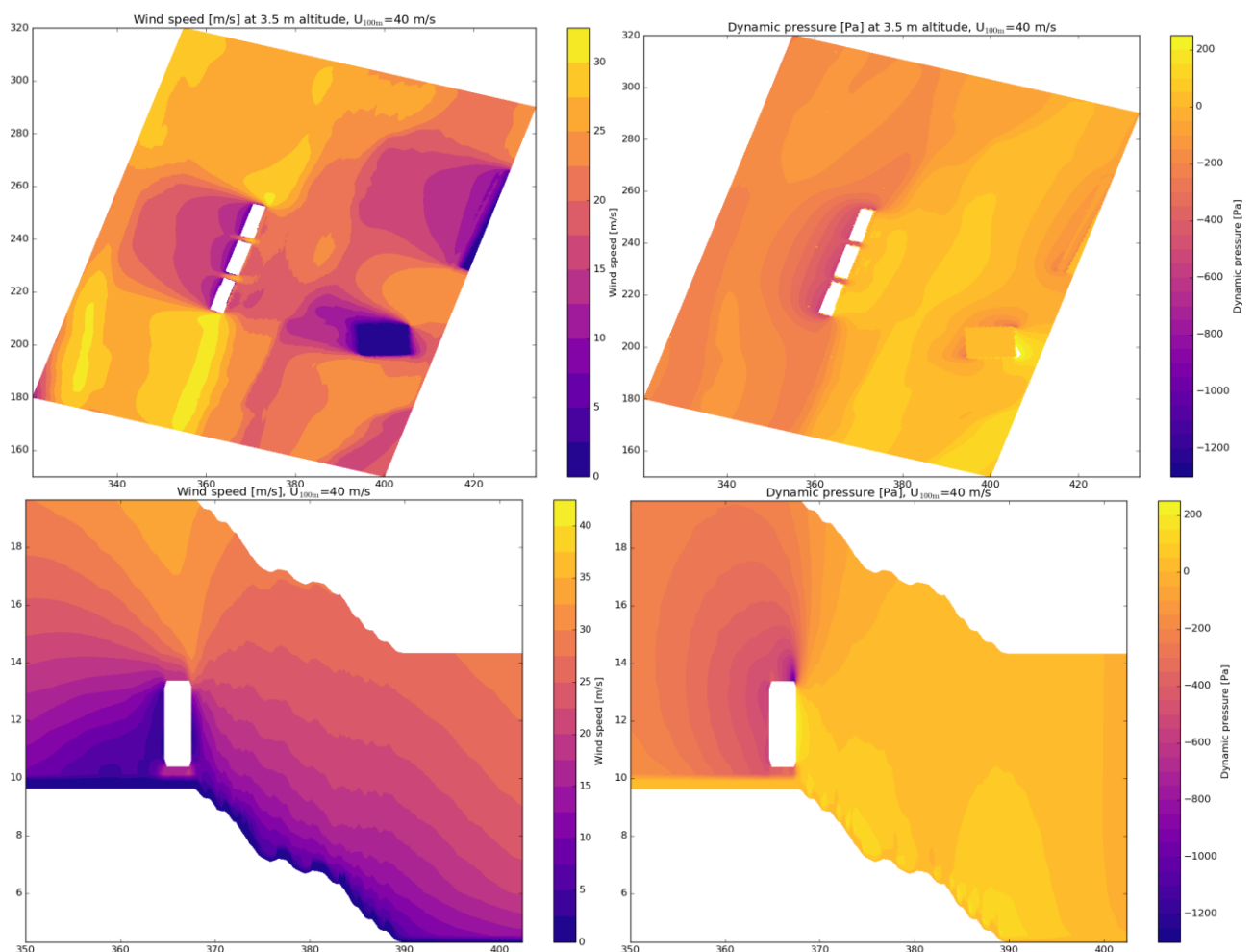


Figure 5-5: The simulated mean wind speed (left) and the dynamic pressure (right) at 3.5 m above the ground (above) and in a section along the main wind direction of 120° (below). The reference wind at 100 m a.g.l. is 40 m/s. The location of three of the train carriages are shown with white boxes.



The results of the simulations have been scaled and investigated for several different wind speeds to investigate the forces resulting on the containers on the train. In this context the wind speeds acting on the container must be associated with wind gusts, using the wind speeds given at 4.5 m in Table 5-5. The relatively small size of the container (7.8 m long) with regard to the likely spatial gust extent indicates that the gusts act on the whole container at the same time.

Taking the above into account, then the results in Table 5-5 indicate that wind gusts in excess of 33 m/s are needed to tip the container of the train wagon, disregarding any container restrain system. This is considerably lower than the gusts previously estimated at the site. The value is slightly conservative as the speed of the train has been neglected but the effect was minimal as previously mentioned.

Table 5-5: Summary of simulated wind speeds at 10 m and 4.5 m (just above container top), at the rail track, as well as wind induced forces and moments on the container, for four different reference wind speeds at 100 m a.g.l. The forces/moments are to be associated with the wind speed at 4.5 m, which in this context is to be interpreted as a wind gust value.

Reference wind speed at 100 m a.gl. [m/s]	40	45	50	62.9
Wind speed at 10 m [m/s]	33.4	37.6	41.8	52.5
Wind speed at 4.5 m [m/s]	29.3	33.0	36.6	46.1
Forces, pressure [N]	16776	21232	26213	41484
Moments, pressure [Nm]	31573	39960	49333	78073
Moments, gravity [Nm]	-39482	-39482	-39482	-39482

A report from the UK (RAIB, 2015) discusses cases of containers falling of freight trains in England. The results of the report for an empty 40 foot container indicate similar results as here. Namely, before investigating the wind forces on the container, the local wind conditions at the site of the incidents must be carefully analyzed, as wind measurements from nearby meteorological stations may not represent the in-situ conditions. The report discusses another case where an empty 30 ft container fell of a train traveling 121 km/h (33.6 m/s) in 28 m/s winds perpendicular to the track. This is equivalent to the total wind acting on the container estimated to be near 43 m/s at an angle of 38° to the track. The critical wind speed for overturning the container was exceeded according to RAIB (2015). The 30 ft container appears not to be an ISO-standard sized container and hence we have not been able to find reliable numbers for its weight or dimensions. The comparison with the results in Table 5-5 is further complicated due to the train traveling more than twice as fast as the train at Finneid.



## 7 Summary and concluding remarks

Both the quantitative as well as the qualitative evidence suggests that the train incident at Finneid bridge, where an empty container was blown off the train was associated with an extreme wind event. The train passed the location at the peak of the windstorm, when mean winds at the site were presumably between 30 - 32 m/s from the east-southeast. Wind gusts were at least 45 m/s, likely higher. The analysis indicates that the storm was roughly a 100-year event at the site. However, there is a large uncertainty associated with the actual return period, mainly due to the complex terrain and strong spatial variations in the wind field near Finneid. Note that the storm has previously been estimated to be near a 25-year event at other locations in the region. The wind direction during Ylva is the most common wind direction during storms at the site of the train incident.

An investigation of the wind forces on the container and the train suggests that the most likely wind gusts associated with the storm Ylva would have been strong enough to tip the container of the rail wagon, neglecting the effect of any container restraint system.

Mean winds just before the Stokkalia snow shelter structure were likely near 22 m/s from east-southeast, and up to 28 m/s along the railtracks from the previous checkpoint where no damage had been registered. The storm was roughly a 20-year event at the site. The wind direction during Ylva is relatively common during storms at the site.

This wind direction during Ylva at Finneid bridge is nearly perpendicular to the rail tracks and is probably also the worst-case scenario when the wind conditions at the rail tracks and the wind effect on the train are considered. There is no upstream sheltering and the local terrain acts to accelerate the flow so it has a maximum at the rail tracks. There is generally a speed-up of wind over elevated rail tracks, but this effect is more pronounced where the terrain near the tracks is flat, and not rapidly falling in the upwind direction, as is the case at Finneid. The general reason for elevating roads and rail tracks over their immediate surroundings is in fact to utilize the speed-up effect of wind to reduce the build-up of snow on the tracks/road.

The short distances and limited wind directions associated with the possibility of strong winds at Finneid suggest that a wind sheltering structure at Finneid could be used to avoid a similar incident in the future at this particular site. The incident was however associated with a rare wind event and dedicated wind observations at the site may be more beneficial in the long run, particularly if coupled to a high-wind warning system for use in the rail operations.

The simulated and observed winds show that the freight train passed Finneid bridge at the peak of the storm. The atmospheric modeling system used by Kjeller Vindteknikk to simulate the wind conditions during Ylva can also be used in a forecasting mode, and is likely to have forecasted high winds at the site during the storm. The capability of such a forecasting system mainly depends on two items:

- 1) The spatial resolution of the atmospheric model has to be sufficient and it is unlikely that the resolution of the available operational weather models at the time would have allowed them to reproduce the event and the very local wind conditions.
- 2) The quality of the available forcing data for the model, i.e. how well the large-scale structure of the atmosphere and the storm Ylva was described by the global atmospheric models at the time.



Hence, a correctly adapted forecasting system could have been used to provide a wind warning for Ylva and the train operations. Reports from the UK indicate that freight train operators are to adjust their operations based on wind forecasts and warnings, i.e. reduce train speed and limit operations related to empty container in high winds (RAIB, 2015). Similar restrictions and an associated forecasting system for French high-speed passenger trains are discussed in Delaunay et al. (2003).

Previous studies on the likely changes in windstorms in a changing climate indicate only slight or no significant changes in the frequency and strength of the storms, but the results are generally considered uncertain (see e.g. Ganske et al., 2016).



## 8 References

---

- Ágústsson, H. and H. Ólafsson, 2004: Mean gust factors in complex terrain. Meteorol. Z., 13(2), p. 149 - 155, 2004.
- Coles, Stuart. An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, 2001.
- Didier, D., L.-M. Cléon, C. Sacré, F. Sourget, P.-E. Gautier, 2003: Designing a Wind Alarm System for the TGV-Méditerranée, International Conference on Wind Engineering, Lubbock, Texas, June 2003. ([https://meteodyn.com/wp-content/uploads/2012/06/Designing-a-wind-alarm-system-for-the-TGV-mediterran%C3%A9e\\_2003\\_ICWE.pdf](https://meteodyn.com/wp-content/uploads/2012/06/Designing-a-wind-alarm-system-for-the-TGV-mediterran%C3%A9e_2003_ICWE.pdf))
- Ganske A., Tinz, B., Rosenhagen, G., Heinrich, H., 2016: Interannual and Multidecadal Changes of Wind Speed and Directions over the North Sea from Climate Model Results. Climatology Meteorologische Zeitschrift, PrePub DOI 10.1127/metz/2016/0673.
- Liléo S., E. Berge, O. Undheim, R. Klinkert och R. E. Bredesen, 2013: "Long-term correction of wind measurements. State-of-the-art, guidelines and future work.," Elforsk report 13:18, 2013.
- Lindvall, J, 2017: E6, brukryssing av Leirfjorden, Sørfold commune, Nordland. Statusrapport Desember 2017. KVT/JL/2017/R0102, Kjeller Vindteknikk, 2017.
- Rail Accident Report - Container detachments at Scout Green, Cumbria, 7 March 2015 and near Deeping St Nicholas, Lincolnshire, 31 March 2015. RAIB, Rail Accident Investigation Branch, report 19/2015.
- UrbaWind, <http://meteodyn.com/en/logiciels/cfd-wind-pedestrian-comfort-safety-urbawind-software/>, 2013.



# Appendix A - WRF-reference datasets

---

The Weather Research and Forecast (WRF) model is a state-of-the-art meso-scale numerical weather prediction system, aimed at both operational forecasting and atmospheric research needs. A description of the modelling system can be found at the home page <http://www.wrfmodel.org/>. The model version used in this work is v3.2.1 and v3.5.0 described in Skamarock et al. 2008<sup>1</sup>. Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)<sup>2</sup> and Michalakes et al. (2001)<sup>3</sup>. The development of the WRF-model is supported by a strong scientific and administrative community in U.S.A. The number of users is large and it is growing rapidly. In addition the code is accessible for the public.

The meso-scale model WRF solves coupled equations for all important physical processes (such as winds, temperatures, stability, clouds, radiation etc.) in the atmosphere based on the initial fields and the lateral boundary values derived from the global data.

## Input Data

The most important input data are geographical data and meteorological data. The geographical data is from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The data includes topography, surface data, albedo and vegetation. These parameters have high influence for the wind speed in the layers close to the ground. For the entire domain except for Sweden and Norway, the model uses land use data input from NOAA. The land use data for Sweden is retrieved from the Geografiska Sverigedata (GSD)-Land Cover which is classified in accordance with the European Union's CORINE Land Cover mapping project<sup>4</sup>. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority<sup>5</sup>.

Lateral boundary data from the European Center for Medium range Weather Forecasting (ECMWF) is used. The reanalysis data ERA Interim<sup>6,7</sup> is available with a spatial resolution of approximately 0.7 degrees globally. Data is available every 6 hours. The ERA interim dataset is constructed using an assimilation model that incorporates all available observation data globally, to create a global reanalysis dataset, or a snapshot of the atmosphere, four times every day. The assimilation model incorporates data from several thousand ground based observation stations, vertical profiles from radiosondes, aircrafts, and satellites.

## Model Setup

---

<sup>1</sup> Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang X-Y, Wang W. and Powers JG, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, Boulder, June 2008

<sup>2</sup> Klemp JB., Skamarock WC. and Dudhia J., 2000: Conservative split-explicit time integration methods for the compressible non-hydrostatic equations (<http://www.wrf-model.org/>)

<sup>3</sup> Michalakes J., Chen S., Dudhia J., Hart L., Klemp J., Middlecoff J., and Skamarock W., 2001: Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore.

<sup>4</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

<sup>5</sup> [http://www.kartverket.no/eng/Norwegian\\_Mapping\\_Authority/](http://www.kartverket.no/eng/Norwegian_Mapping_Authority/)

<sup>6</sup> Dee, D. P., et al. (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137: 553-597. doi: 10.1002/qj.828

<sup>7</sup> <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-interim>

The two model setups used in this analysis is shown in Figure A-1. The simulations of the Scandinavian region have been performed for 38 years covering the period 1979 - 2017 with a horizontal resolution of 4 km x 4 km. The model has been set up with 2 nested domains. The simulation of Leirfjorden has been set up with four nested domains, and has been performed for the year 2014 as well as the storm Ylva in November 2017. The setup of the domain in shown in Figure A-1, right. The inner domain has a horizontal resolution of 500 m x 500 m.

Both datasets use the ECMWF-ERA Interim dataset is as input. The 4 km x 4 km simulations has 32 layers in the vertical with four layers in the lower 200 m, while the 500 x 500 m simulation has 51 layers in the vertical with eight layers in the lower 200 m. The Mellor-Yamada-Janjik scheme has been applied for boundary layer mixing and the Thompson scheme for microphysics.

With the current setup, the WRF-model calculates the change in the meteorological fields for each grid-cell for a time step from 1 to 108 seconds in the different domains with increasing time step for lower horizontal resolution. In this way a realistic temporal development of the meteorological variables is achieved. Data is stored to disk every 1 hours of simulation.

Downscaling to 500 x 500 m at Leirfjord:

Simulation	Domain	Vertical levels	Simulated period	horizontal resolution	No of grid cells	BL mixing	Model version
KVT_Sorfolda	d01	51	2014	22.5 km	80 x 90	MYJ	3.5.0
	d02	“	“	4.5 km	136 x 136	“	“
	d03	“	“	1.5 km	139 x 172	“	“
	d04	“	“	500 m	175 x 154	“	“

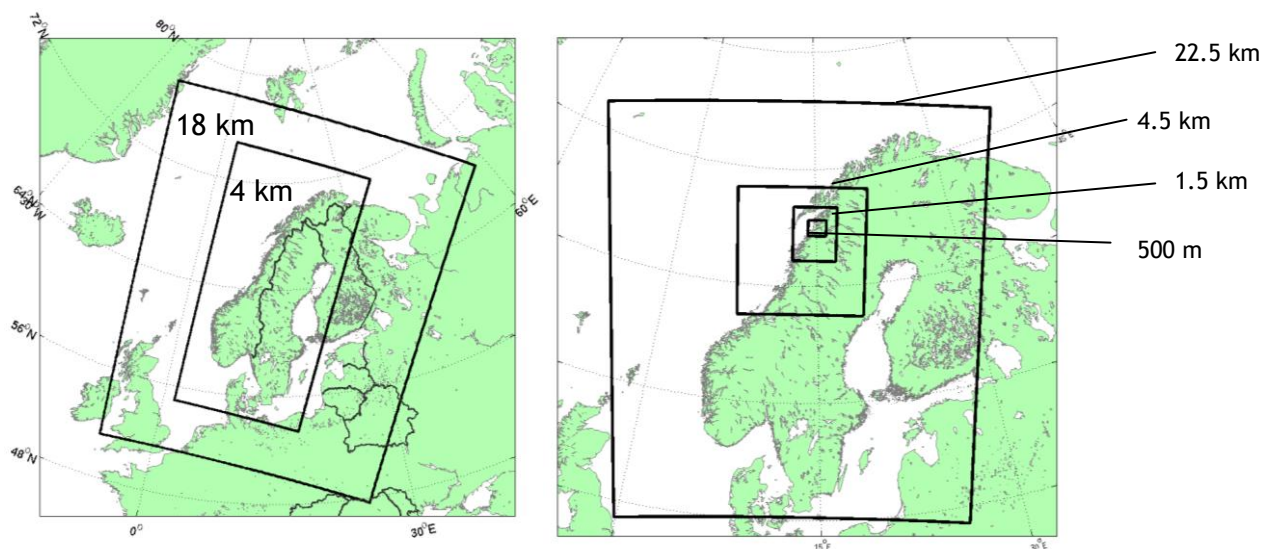


Figure A-1: Model set up for WRF simulations. Left: 4 km, 1979-2017. Right: 500 m, 2014

## Appendix B - Wind from WRF simulations

---

Images showing the simulated (WRF-model) 10 m-wind during Ylva on 23 November 2017 are delivered in a separate zip-file. The file includes images from the two innermost model domains, having a horizontal resolution of 1.5 km X 1.5 km and 500 m X 500 m. Two sets of images are delivered for each resolution, one set covering the whole model domain and another set focusing on the regions of interest near Finneid bridge (500 m X 500 m) and near Stokkalia (1.5 km X 1.5 km).

## Appendix C - Site visit

---

Photographs and summary of results from a site visit to Finneid on 9 March 2018 are delivered in a separate zip-file.