


RAPPORT

Vei 2009/01



RAPPORT OM UTFORKJØRING MED BUSS PÅ E6 VED FOKSTUA PÅ DOVREFJELL 24. NOVEMBER 2006

 English summary included

Statens havarikommisjon for transport (SHT) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre trafiksikkerheten. Formålet med undersøkelsene er å identifisere feil og mangler som kan svekke trafiksikkerheten, 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 bør unngås.

INNHOLDSFORTEGNELSE

MELDING OM ULYKKEN	4
SAMMENDRAG.....	4
ENGLISH SUMMARY	5
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER	6
1.1 Hendelsesforløp	6
1.2 Personskader	8
1.3 Overlevelsesaspekter.....	8
1.4 Skader på kjøretøy	14
1.5 Andre skader	14
1.6 Registreringer på ulykkesstedet	14
1.7 Trafikanter.....	16
1.8 Kjøretøy og last.....	17
1.9 Vær- og føreforhold	20
1.10 Vei- og trafikkforhold	22
1.11 Drift og vedlikehold av vei	23
1.12 Tekniske registreringssystemer	27
1.13 Medisinske forhold	29
1.14 Spesielle undersøkelser	29
1.15 Lover og forskrifter.....	36
1.16 Myndigheter, organisasjoner og ledelse	38
1.17 Andre opplysninger.....	41
1.18 Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder.....	42
1.19 Iverksatte tiltak.....	42
2. ANALYSE.....	43
2.1 Innledning	43
2.2 Hendelsesforløpet	45
2.3 Vinden.....	45
2.4 Friksjonsforhold.....	45
2.5 Bussen	46
2.6 Bussføreren	47
2.7 Drift og vedlikehold av vei	47
2.8 Overlevelsesaspekter.....	50
2.9 Busselskapet.....	51
2.10 Sikkerhetsledelse og myndighetskrav	52
2.11 Barriereanalyse relatert til vindkrefter på busser	53
3. KONKLUSJON	54
3.1 Operative og tekniske faktorer.....	54
3.2 Bakenforliggende faktorer	54
3.3 Andre undersøkelsesresultater	55
4. SIKKERHETSTILRÅDINGER	56

REFERANSER	58
VEDLEGG.....	59
Vedlegg A: Forklaring til skadegradering	60
Vedlegg B: Tegning av bussen MAN Neoplan Skyliner/N1122/3L	61
Vedlegg C: CFD Norway Notat 2008:07.....	62
Vedlegg D: Rapport fra Storm Weather Center: Klimatologisk undersøkelse.....	66
Vedlegg E: Rapport fra Storm Weather Center: Vindkrefter på kjøretøy	67

RAPPORT OM VEITRAFIKKULYKKE

Dato og tidspunkt:	Fredag 24. november 2006 kl. 0225
Ulykkessted:	Sør for Fokstua på Dovrefjell i Dovre kommune, Oppland fylke
Vegnr, hovedparsell (hp), km:	E6, hp 20, km 8,334
Ulykkestype:	Utforkjøring på høyre side på rett veistrekning
Kjøretøy type og kombinasjon:	Buss (to etasjes MAN Neoplan Skyliner) i rute
Type transport:	Persontransport, løyvepliktig

MELDING OM ULYKKEN

Statens havarikommisjon for transport (SHT) ble varslet om ulykken fredag 24. november kl. 0700 av operasjonssentralen ved Gudbrandsdal politidistrikt. Meldingen gikk ut på at en buss hadde sklidd av veien og veltet på E6 over Dovrefjell ved Fokstua. Ulykken skjedde ca. kl. 0200, og politiet beklaget derfor det forsinkede varslet til SHT. Bussen tilhørte Arctic Express og opererte under betegnelsen Lavprisekspressen. Det ble oppgitt at det var ca. 50 passasjerer i bussen, hvorav omkring 10 personer var skadet, deriblant to alvorlig skadde. Politiet opplyste om svært glatt veibane og sterk sydlig vind i et område der det tidligere hadde blåst biler av veien. Havarikommisjonen besiktiget bussen og ulykkesstedet tirsdag 28. november 2006.

SAMMENDRAG

Natt til fredag 24. november 2006 kjørte Lavprisekspressen med 53 passasjerer fra Trondheim i retning mot Oslo. Bussen var en to etasjes MAN Neoplan Skyliner. Bussturen forløp som normalt inntil bussen skulle passere E6 over Dovrefjell hvor det var sterk sidevind og isdekket veibane. Undersøkelsen viser at bussen ble utsatt for så kraftige løft- og sidekrefter at den mistet veigrepet på forhjulene og sjåføren mistet styringsmulighetene. Bussen gikk ut av veien i en hastighet på ca. 50 km/t og veltet over på høyre side etter at den kom ned på flatt terreng utenfor veien.

Passasjerer som ikke brukte bilbelte ble kastet mot høyre side i det bussen traff bakken. En person falt ut av et vindu i bussens 2. etasje og ble liggende i klem under bussen. Totalt ble 30 passasjerer påført skader i forbindelse med bussvelten, hvorav fire personer ble alvorlig skadet.

Værsituasjonen på Fokstua rundt ulykkestidspunktet kan karakteriseres ved fenomenet ”downslope windstorms”, der luftstrømmer kommer ned fjellsiden og kan forårsake kraftige vindkast.

Undersøkelsen viser at bussen kan ha vært utsatt for ett eller flere vindkast på opptil 25 m/s og at beregnet friksjon på ulykkesstedet mest sannsynlig var under 0,2.

SHT mener at slik vær- og føreforholdene var på E6 over Dovrefjell på det aktuelle tidspunktet burde ikke bussen vært kjørt over fjellet. Undersøkelsen peker på barrieresvikt både med hensyn på drift og vedlikehold av fjellovergangen, samt de operasjonelle forholdene ved bruk av bussen. Det er behov for tydeligere retningslinjer med hensyn på drifting og stenging av vei ved sterk sidevind og glatt veibane, samt mer bevisst bruk av værdata og -prognoser. I tillegg bør bussførere

gis bedre beslutningsgrunnlag i form av oppdatert trafikantinformasjon om vær- og føreforhold fra veiholders side, samt retningslinjer og opplæring fra busselskapets side vedrørende kjøring av bussen ved sterk sidevind og glatt veibane. SHT savner også krav til at busselskaper skal ha et system for sikkerhetsledelse for å ivareta den totale trafikksikkerheten ved selskapets virksomhet, og tilråder at dette f.eks kan knyttes til løyvepliktig persontransport på vei.

SHT fremmer totalt seks sikkerhetstilrådinger i forbindelse med denne undersøkelsen.

ENGLISH SUMMARY

During darkness, in the early morning of November 24th 2006, the coach "Lavprisexpressen" was on route from Trondheim towards Oslo on the E6 highway. There were 53 passengers on board. The coach was a double-decker MAN Neoplan Skyliner. The tour progressed normally until the coach was reaching the mountain pass Dovrefjell, where a strong side wind and ice sheet on the road surface occurred. The investigation shows that the coach was exposed to very strong wind forces from the side, resulting in, in concurrence with the slippery road, loss of grip on the front wheels, and the driver was not able to control the bus. The coach drove into the ditch with a speed of approximately 50 km/h, turned over and landed on its right side when reaching flat ground.

Passengers who did not wear seat belts were thrown towards the right side of the coach as the coach came to a stop. One person seated on the second floor fell out of the window and was trapped under the coach. A total of 30 persons were injured in the accident, 4 of them seriously.

The weather situation at Fokstua at the time of the accident can be characterised as the phenomena "down slope wind storms", which means that a powerful wind blows down the mountain and creates strong gusts of winds. The investigation shows that the coach might have been exposed to one or several gusts up to 25 m/s, and that the friction coefficient was probably lower than 0,2.

AIBN asserts that during such weather and driving conditions that were present on E6 Dovrefjell at the actual time, the coach should not have commenced the voyage over the mountain pass. The investigation reveals deficiencies on barrier both in running in maintenance of the mountain pass and on operational conditions related to operating the coach.

Clearer directives regarding management and closing of roads when strong side winds and slippery road surface conditions are present are required, in addition to more appropriate application of weather information and weather forecasts. Coach drivers must also be supported with updated information on weather conditions and road conditions from the responsible road keeper, in order to have better support for decision-making. There should also be guidelines and training programs in the coach company related to driving in strong side winds and on slippery road conditions.

AIBN sees the need for a requirement on a safety management system when a permit to operate is given, in order to ensure that the total aspect of traffic safety related to the operations of the company are attended to.

As a result of this investigation, the AIBN has made 6 safety recommendations.

1. FAKTISKE OPPLYSNINGER

1.1 Hendelsesforløp

Kl. 2310 torsdag 23. november startet Lavpriseekspressen fra Trondheim i retning mot Oslo (se Figur 1). Bussen var en to etasjes 2006 modell MAN Neoplan Skyliner. I bussen var det 53 passasjerer i tillegg til bussføreren. Etter ruteplanen var ankomsttid på Oslo Bussterminal kl. 0730 den 24. november.



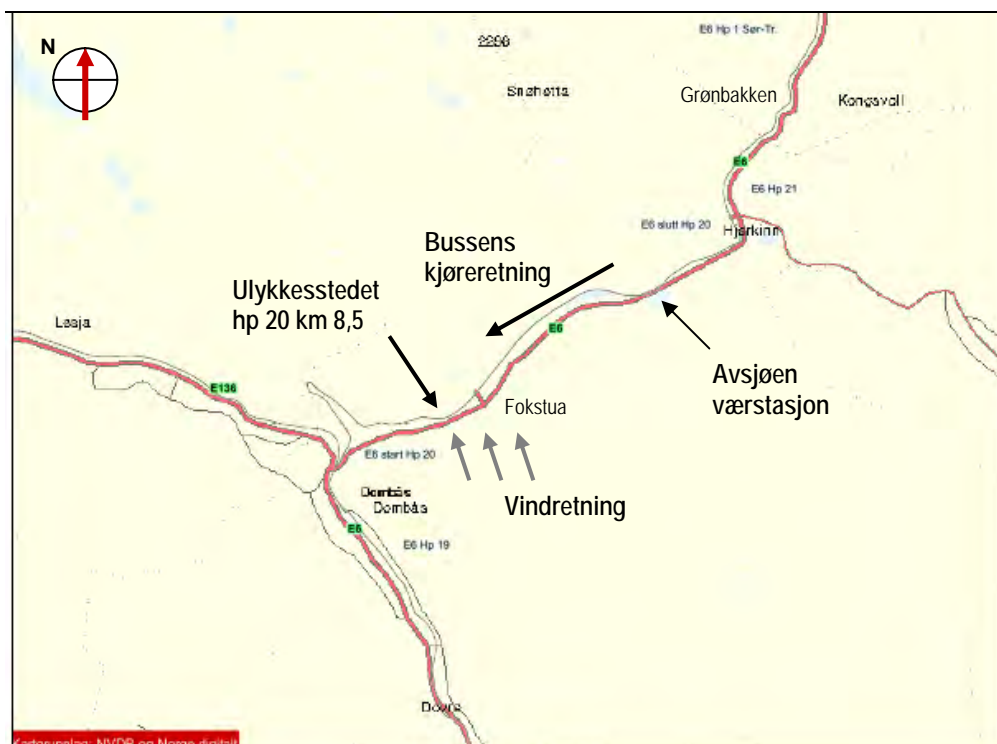
Figur 1: Lavpriseekspressens ekspressbussrute Trondheim-Oslo via E6 i Gudbrandsdalen.

I følge bussføreren og flere passasjerer forløp bussturen som normalt inntil bussen omkring kl. 0200 passerte Hjerkinna, som er det høyeste punktet på E6 over Dovrefjell. Bussføreren har i samtale med SHT beskrevet at han etter dette opplevde flere sterke vindkast fra sin venstre side. Han la derfor bussen helt til venstre i veibanen for å ha litt å gå på i sideretning, samt at han måtte styre for å holde bussen opp mot vinden. Bussføreren har beskrevet at han så møtende biler godt fremover i mørket selv om det var noe fukk. Han mener at han holdt en hastighet på omkring 50 km/t på dette tidspunktet. Dette stemmer godt overens med registreringene på bussens fartsskriver (se kap 1.12).

På rettstrekningen like etter Fokstua kom det et vindkast som ristet hele bussen. Sjøføren har beskrevet at han hørte et smell, og han opplevde at hele fronten på bussen gikk rett ut av veien på høyre side. Det hele gikk meget raskt og sjøføren klarte ikke å styre tilbake og få kontroll på bussen igjen. Bussen kjørte ut av veien på hjulene, nedover veiskråningen, og veltet over på høyre side etter at den kom ned på flatt terreng utenfor veien.

Passasjerer som ikke brukte bilbelte ble kastet mot høyre side i det bussen traff bakken. En person falt ut av et vindu i bussens 2. etasje og ble liggende i klem under bussen. Totalt ble 30 passasjerer påført skader i forbindelse med bussvelten, hvorav fire personer ble alvorlig skadet (se kap 1.2).

Føreren av en varebil (Mercedes Benz Sprinter) som kom i motgående retning på E6 over Dovrefjell var vitne til ulykken, og varslet politiet på telefon 112. Vitnet har beskrevet til SHT at han flere ganger opplevde at hans egen bil ble blåst inn i veibanen av den kraftige vinden. Han tok derfor ikke sjansen på å møte bussen og stanset opp på veikanten for å la bussen passere. Varebilen stod ca. 70-100 m fra der bussen kjørte ut, og vitnet merket også flere kraftige vindkast da bussen gikk ut av veien.



Figur 2: Ulykkesstedet på Dovrefjell.



Figur 3: Bergingsmannskap i ferd med å velte bussen over på hjulene (Foto: Scanpix Norge).

1.2 Personskader

Tabell 1: Personskader (se vedlegg A for forklaring av skadegradering)

Skader	Fører	Passasjerer	Andre	Totalt
Omkommet				
Meget alvorlig		1		1
Alvorlig		3		3
Moderat		5		5
Lettere		21		21
Ingen	1	23		24
Totalt	1	53		54

Utgangspunktet for graderingen av personskader i Tabell 1 er AMIS-rapport¹ fra Akuttmedisinsk kommunikasjonssentral (AMK), passasjerenes egne beskrivelser av skader, politiets beskrivelser av skader, samt samtale med innsatspersonell. Da omfanget av alvorlige skader ikke var stort og skadetyperne var rimelig oversiktelig, ble ikke sykehusjournaler for de skadde innhentet.

I gruppen alvorlig skadet er det tre personer hvorav en person grenser til moderat skadet. I gruppen meget alvorlig skadet er det en person som kommer inn under amputasjon og blodtap (ikke truende ABC²), og grenser til å være alvorlig skadet.

Totalt ble 30 passasjerer påført skader i forbindelse med bussvelten. Fem personer ble innlagt på sykehus i forbindelse med ulykken, og fem personer fikk behandling ved poliklinikk ved sykehus. De resterende skadde fikk behandling ved Dovre legekantor.

1.3 Overlevelsesaspekter

1.3.1 Evakuering av bussen

Det første sjåføren foretok seg var å ringe vakthavende hos Lavpriseekspressen, som igjen ringte medisinsk nødhjelp på 113. Deretter stoppet sjåføren motoren og slo på lysene i bussen, samt ga beskjed til passasjerene om å evakuere. Han annonserte at alle skulle komme seg ut av bussen så fort som mulig, og påpekte også muligheten for at det kunne oppstå brann.

Opplysninger fra bussens passasjerer viser at det var forskjellige reaksjoner på situasjonen. Det var tendens til panikk blant noen pga. mørket utenfor, desorientering, skader og kulde, mens andre igjen var rolige og forsøkte å hjelpe medpassasjerer.

Frontruten ble forsøkt knust med en krykke og ved å sparke i ruten, men dette lyktes ikke. Sjåføren skjønte etter hvert at passasjerene i underetasjen måtte ut gjennom 2. etasje, og han ba dem derfor om å komme seg opp baktrappa og ut gjennom taklukene. Bussen lå på siden slik at trappene delvis var blokkert, og passasjerene måtte krype/klatre over baktrappa for å komme seg over i 2. etasje.

I 2. etasje forsøkte passasjerene å knuse taklukene. Flere passasjerer har påpekt til SHT at nødhammerene som var i bussen fungerte dårlig fordi de var for små og lette (se fig 4). Etter hvert lyktes det å knuse alle taklukene, blant annet ved bruk av krykker og ved

¹ Akuttmedisinsk informasjonssystem (AMIS) - det sentrale støttesystemet i medisinsk nødmeldetjeneste i Norge.

² A – Airway (frie luftveier) B – Breathing (pusting) C – Circulation (kretsløpet og hjertet).

sparking. Frontruten i andre etasje ble også knust ved hjelp av en krykke med ispigg. De første passasjerene som evakuerte bussen ringte 113.

To medpassasjerer forsøkte å grave fram passasjerene som lå i klem under bussen, men det lyktes ikke med frigjøringen før redningspersonell kom til stedet.

Den møtende varebilen, med 16 m³ oppvarmet lasterom, ble brukt for å gi ly til en del av passasjerene som hadde evakuert fra bussen. Etter hvert kom også andre forbigående trafikanter til stedet og bistod.

1.3.2 Redningsarbeid

SHT har fått oppgitt at redningsarbeidet generelt var utfordrende pga. dårlig vær og vanskelige kjøreforhold. Flere passasjerer har rost innsatsen til redningsmannskapet på ulykkesstedet, samt den medisinske oppfølgingen de fikk både selve ulykkesnatten og i ettertid. Noen har påpekt at det følte lenge å vente på redningsmannskap i kulden og mørket på fjellet, mens andre igjen mente at det ikke tok lang tid tatt i betraktning steds- og værforholdene.

1.3.2.1 *Medisinsk nødhjelp*

Det er loggført at AMK-sentralen ble varslet kl. 0226 gjennom innringer på 113. Første ambulanse ankom ulykkesstedet kl. 0240. Helsepersonell fikk frigjort personen som lå fastklemt under bussen. Øvrige passasjerer var på dette tidspunktet ute av bussen.

43 min. etter ankomst av første ambulanse var de to alvorligste skadde på vei til sykehus i ambulanse. Kl. 0425 var alle passasjerene evakuert fra ulykkesstedet. Bussen ble snudd kl. 0435 for å forsikre at det ikke lå noen personer under bussen. Det ble opprettet skademottak på Dombås hotell for passasjerene.

1.3.2.2 *Politiet*

I følge politiets operative logg (PO-logg) mottok politiet melding om ulykken kl. 0225. Politiet ankom ulykkesstedet kl. 0245.

1.3.2.3 *Brannvesenet*

I følge logg fikk Lillehammer 110-sentral melding om bussulykken fra politiet kl. 0227. Kl. 0229 utalarmeres Dombås brannstasjon. Utrykningsrapporten for Lesja og Dovre brannvesen på Dombås viser at totalt fire biler med et mannskap på ni, foretok utrykning kl. 0230 og ankom ulykkesstedet kl. 0245-0250. Av utstyr ble det benyttet lysmast og ulltepper. Det var ingen fastklemt personer ved brannvesenets ankomst. På ulykkesstedet bistod brannvesenet helse og politi med søk, omsorg av pasienter og trafikkavvikling.

1.3.3 Nødutganger og bilbelter i bussen

Det var montert topunkts bilbelter på de fleste seter i bussen, foruten forsetene og setene foran trappeoppgangene i 2. etasje som hadde trepunktsbilbelter. Dette er i henhold til kjøretøysforskriftens krav til bilbelter.

I bussen var det plassert et sikkerhetsblad i lommen foran hvert stolsete til informasjon for passasjerene. Sikkerhetsbladet opplyser om bruk av bilbelte, plassering av brannslukningsapparat og førstehjelpsutstyr, evakuering av bussen og plassering av nødutganger (Se Figur 6).

Bussen hadde 15 nødutgangsvinduer, tre takluker m/isolerglass og to nødutgangsdører (se Figur 6). Disse tilfredsstilte kjøretøyforskriftens krav til nødutganger.

For busser med 61 eller flere passasjerplasser er det krav til minimum seks nødutgangsvinduer og tre takluker. Taklukene skal ha et nettoareal på minst 0,4 m², vindusarealene skal være minst 0,5 m² og begge flatemål skal kunne innskripe et rektangel på 500 x 700 mm. Nødutgangsvinduer skal kunne åpnes ved rivelist eller ved knusing ved hjelp av fast montert anordning eller hammer montert i holder.



Figur 4: Takluke med nødhammer.

1.3.4 Passasjerenes plassering i bussen, skadegrad og bilbeltebruk

Bussføreren har oppgitt til SHT at han ved oppstart i Trondheim oppfordret passasjerene om å benytte bilbelte.

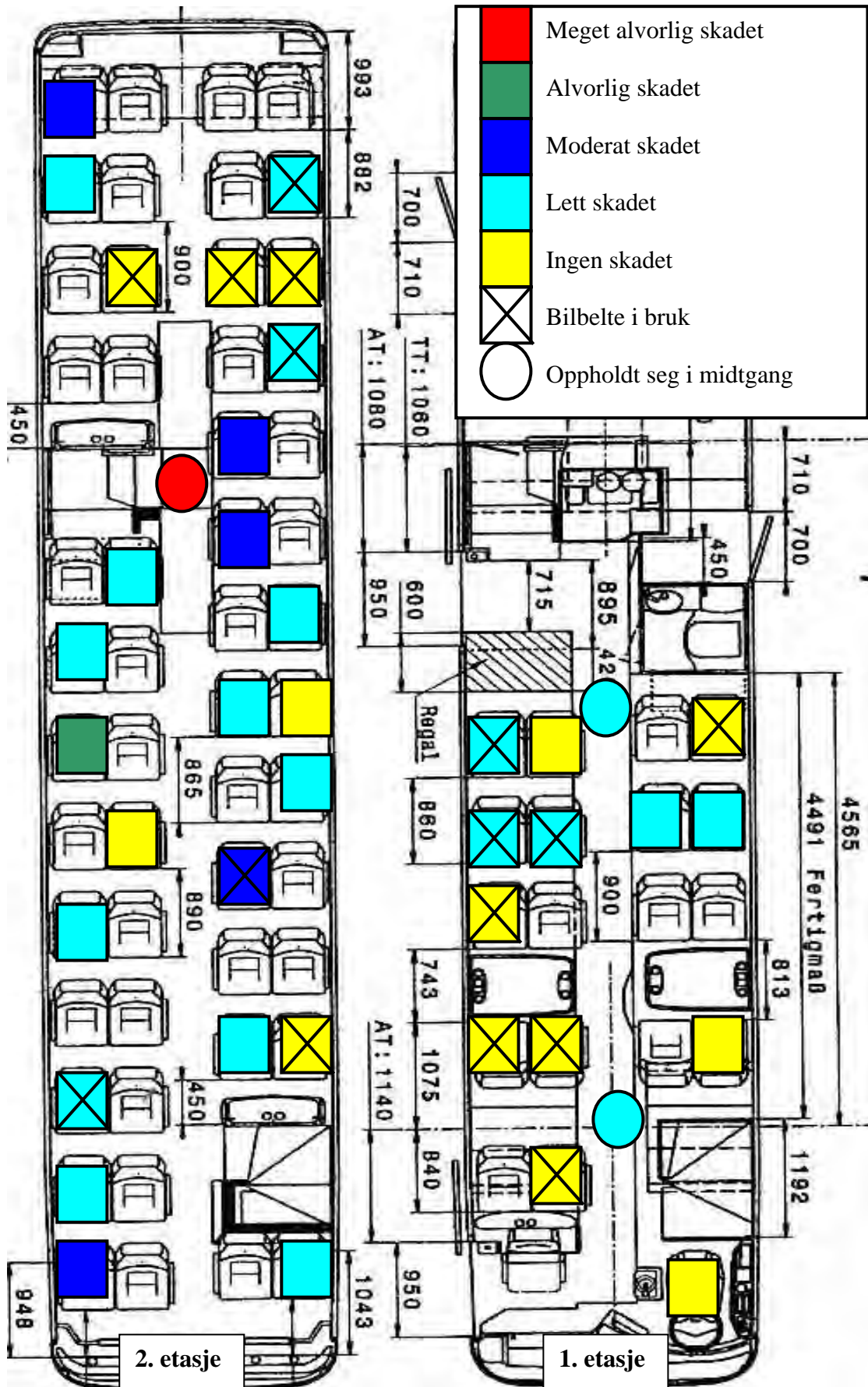
Havarikommisjonen har innhentet opplysninger fra passasjerene gjennom et spørreskjema, og totalt svarte 40 av 53 passasjerer på henvendelsen fra SHT.

16 passasjerer har opplyst til SHT at de brukte bilbelte i bussen. 19 passasjerer har opplyst at de ikke brukte bilbelte. De resterende 18 passasjerene er ukjent med hensyn på bilbeltebruk. Begrunnelsen de fleste oppgir for ikke å ha brukt bilbelte er knyttet til komfort da de skulle sove.

Figur 5 viser passasjerenes plassering i bussen, samt bilbeltebruk og skadegrad. Plasseringen i bussen er basert på opplysninger fra passasjerene og må anses som omtrentlig. Utgangspunkt for gradering av skader er beskrevet i kap. 1.2. Havarikommisjonen mangler informasjon om plassering for 13 av passasjerene. Tre av disse ble skadet (en lettere og to alvorlig skadet).

Syv passasjerer i 1. etasje fikk lettere skader. Av disse stod to personer i midtgangen. Tre personer satt nærmest fallpunktet og brukte bilbelte. Disse fikk lettere skader ved at de fikk andre personer over seg eller tok seg for. To personer satt på motsatt side uten bilbelte.

20 passasjerer i 2. etasje ble skadet. En person stod i midtgangen og ble pga. amputasjon og påfølgende blodtap klassifisert som meget alvorlig skadet. En person uten bilbelte på høyre side ble alvorlig skadet. Denne personen falt ut av et vindu og havnet i klem under bussen. Fem personer ble moderat skadet. Fire av disse brukte ikke bilbelte. 13 personer ble lettere skadet. Tre av disse brukte bilbelte.



Figur 5: Plassering i bussen, skadegrad, bilbeltebruk.

NEOPLAN FÜR IHRE SICHERHEIT
FOR YOUR SAFETY

Notausgang / Emergency Exit

A **C**

B **D**

B **A** **A**

B **C** **C** **C** **D**

Skyliner

SK_122_04_01_DE

Figur 6: Sikkerhetsinformasjon som viser bussens nødutganger.

1.4 Skader på kjøretøy

Bussen ble påført skader langs høyre side og alle ruter på denne siden var knust. Både frontrute i 1. og 2. etasje ble knust under redningsarbeidet.



Figur 7: Skader på bussens høyre side.

1.5 Andre skader

Diverse skader på reisegods.

1.6 Registreringer på ulykkesstedet

I følge politiet var det ikke mulig å se eventuelle spor på veibanen i mørket. Under redningsarbeidet ble det kjørt med mange kjøretøy på stedet og veibanen ble strødd før politiets undersøkelse tok til, slik at det i ettertid heller ikke ble funnet spor. Det ble ikke foretatt retardasjonsmålinger og friksjonsberegninger³ på ulykkesstedet.

Det var spor nedover veiskråningen etter bussens høyre hjul i det den gikk ut av veien. Bussen veltet helt over på høyre side da den kom ned på flatt terreng. Målinger foretatt med lasermåler viste at bussen hadde kjørt ut ca. 166 m sør for hp 20 km 8,5. Bussen ble liggende ca. 7 m fra veikanten med en høydeforskjell på 1,75 m i forhold til veien. Det ble målt ca. 11 m fra der hvor bussen kjørte ut av veien til bakkant av bussen hvor den ble liggende. Spor viste at bussen hadde sklidd ca. 2 m fremover på siden etter at den hadde veltet.

³ Friksjon er gnidningsmotstand mellom to legemer. I praksis måles retardasjon av kjøretøy ved å bremse med låste hjul, noe som gir grunnlag for å beregne glidefriksjon. Kjøring med et rullende hjul med kjent og styrt slipp mellom dekk og veibane brukes også som grunnlag for friksjonsberegning.



Figur 8: Spor etter bussens høyre hjulsett der bussen kjørte ut av veien.



Figur 9: Spor etter bussen i skråningen utenfor veibanen.

1.7 Trafikanter

1.7.1 Bussføreren

Føreren av bussen var en mann, 39 år, med førerkort i klasse BECEDEMST. Han ervervet førerkort for buss (klasse D og DE) 18. jan. 1991. Bussføreren hadde vært fast ansatt i selskapet og kjørt Lavprisekspressen siden 6. mars 2006, dvs. i ni måneder.

Før arbeidet i Lavprisekspressen hadde han kjørt buss for Team Transport i Trondheim i 7 ½ år. I Team Trafikk mottok han en pris for skadefri kjøring gjennom fem år som én av 48 av totalt 450 sjåførere. Han hadde tidligere kjørt buss i fire år i Hammerfest, og han har opplyst til SHT at han også hadde noe erfaring med fjelloverganger (Saltfjellet, Alta-Hammerfest-Honningsvåg). Han hadde imidlertid liten erfaring med kjøring av to etasjes buss.

Det er ikke avdekket forhold som tyder på at bussføreren var sliten forut for kjøreturen. Han har opplyst til havarikommisjonen at han hadde spist og sovet godt.

Tabell 2: Skiftplan for bussfører.

Dag – Dato		Skift	Tur
Søndag	12.11	Dagskift	Trondheim-Oslo
Mandag	13.11	Dagskift	Oslo-Trondheim
Tirsdag	14.11	Dagskift	Trondheim-Oslo
Onsdag	15.11	Dagskift	Oslo-Trondheim
Torsdag	16.11	Fri	
Fredag	17.11	Fri	
Lørdag	18.11	Fri	
Søndag	19.11	Fri	
Mandag	20.11	Fri	
Tirsdag	21.11	Nattskift	Trondheim-Oslo
Onsdag	22.11	Nattskift	Oslo-Trondheim
Torsdag	23.11	Nattskift. Ulykken kl. 0225	Trondheim-Oslo
Fredag	24.11	Nattskift	Oslo-Trondheim
Lørdag	25.11	Fri	
Søndag	26.11	Nattskift	Trondheim-Oslo
Mandag	27.11	Nattskift	Oslo-Trondheim

Sjåføren kjørte 14-15 skift per måned. Med totalt 154 arbeidstimer. Sjåførens skiftplan besto av fire dagvakter, deretter seks dager fri, fire nattvakter, to dager fri, to nattvakter og seks dager fri. Tabell 2 viser skiftplanen for vedkommende fører i perioden omkring ulykken. Det gikk to uker mellom hver nattevaktperiode. Føreren har opplyst til havarikommisjonen at han har vært fornøyd med skiftplanen og arbeidstiden, selv om det ikke alltid er like enkelt å snu døgnnet og sove på dagtid.

Selskapet kan ikke dokumentere at føreren hadde gjennomgått et opplæringsprogram etter at han startet i Lavprisekspressen. Føreren har opplyst at han ikke deltok på glattkjøringskurs med to etasjes buss som selskapet hadde arrangert i Danmark. Føreren hadde heller ikke fått opplæring og innføring i beredskap og evakuering av buss i regi av selskapet. Eneste øvelse/trening bussføreren har hatt med evakuering av buss var gjennom Sivilforsvaret for ca. 20 år siden.

1.7.2 Passasjerer

Det var 53 passasjerer i bussen. Det var solgt 54 billetter på forhånd, hvorav fire personer ikke møtte til avgang, og tre personer kjøpte billett ved påstigning.

Tabell 3: Passasjerenes alders- og kjønnsfordeling.

Alder	Antall menn	Antall kvinner	Totalt
67 – 71 år	1		1
62 – 66 år	1		1
57 – 61 år		4	4
52 – 56 år			
47 – 51 år			
42 – 46 år			
37 – 41 år	2	1	3
32 – 36 år	2	1	3
27 – 31 år	3	2	5
22 – 26 år	3	12	15
17 – 21 år	8	9	17
12 – 16 år		1	1
7 – 11 år	1		1
0 – 6 år	1		1
Ukjent	1		1
Totalt	23	30	53

1.8 Kjøretøy og last

1.8.1 Tekniske spesifikasjoner

Merke:	3870-MAN
Modell/Type:	Neoplan Skyliner N1122/3 L
Registreringsår:	2006
Egenvekt u/fører:	19 510 kg
Tillatt totalvekt:	26 000 kg
Aksel 1: Egenvekt / Tillatt vekt	5 610 kg / 8 000 kg
Aksel 2: Egenvekt / Tillatt vekt	9 000 kg / 12 000 kg
Aksel 3: Egenvekt / Tillatt vekt	4 900 kg / 7 000 kg
Nyttelast m/ passasjerer	6 415 kg
Sitteplasser i alt:	72
Drivstoff:	Diesel
Høyde, lengde, bredde:	4,00 m, 13,79 m, 2,55 m
Tyngdepunkts plassering: (uten last)	5,09 m bak foraksel i lengderetning 0,21 m til venstre for midt i bredden 1,835 m over bakken i høyden.
Akselavstand:	Aksel 1-2 = 6,90 m Aksel 2-3 = 1,30 m
Kilometerstand ved ulykken:	69 225 km

Bussen var eid av Sporveisbussene AS og registrert i 2006. Bussen har plass til totalt 72 personer inkludert guidestol og førerplass. Totalt har bussen 70 passasjerplasser fordelt på to etasjer (18 i første etasje og 52 i andre etasje).

Havarikommisjonen besiktiget bussen første gang 28. november 2006 på Viking på Dombås, deretter flere ganger etter at bussen ble fraktet til MAN på Lørenskog. Havarikommisjonen har også gjennomgått og besiktiget tilsvarende busser ved Lavprisekspressen.



Figur 10: Front og høyre side på en tilsvarende buss.

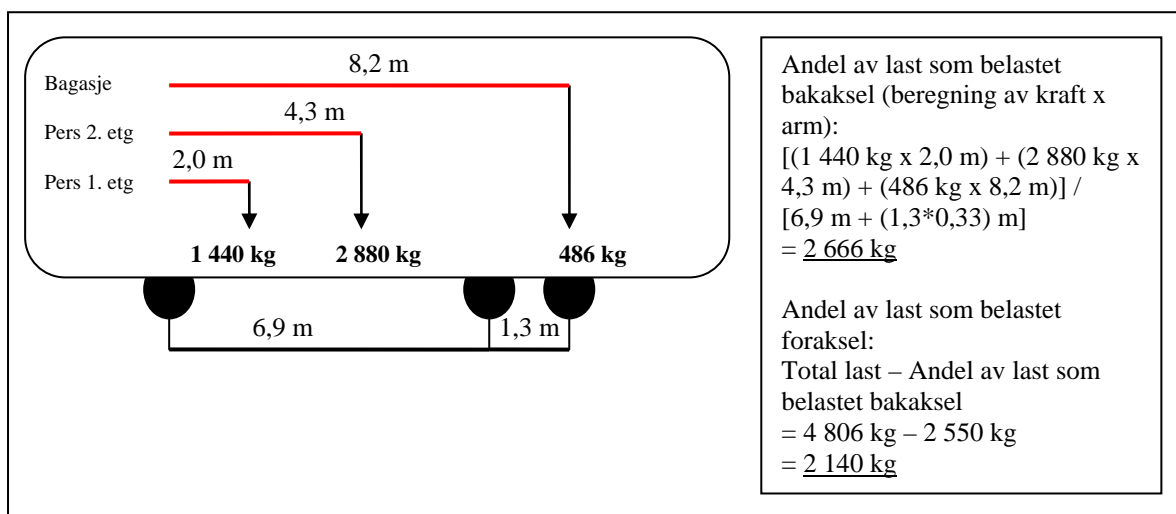
1.8.2 Last og vektfordeling

I følge bussføreren var ikke bagasjerommet helt fullt på den aktuelle turen da ca. halvparten av passasjerene hadde bagasje. Bussføreren har anslått at nesten alle setene i 1. etasje var opptatt.

SHT har foretatt en omtrentlig beregning av bussens vektfordeling på ulykkestidspunktet. Totalt tilsier bussens nyttelast (6415 kg) fordelt på maksimalt antall sitteplasser (72) at det er 89 kg tilgjengelig per person inkludert bagasje. SHT har i dette tilfellet valgt å beregne 75 kg per person (uavhengig av kjønn og alder), 5 kg bagasje per person inne i bussen, samt 9 kg bagasje per person i bagasjerom (tilsvarer omtrent at halvparten av passasjerene hadde 20 kg bagasje). Tabell 4 og Figur 11 viser SHTs beregnede vektfordeling for bussen.

Tabell 4: Beregnet vektfordeling for aktuell buss.

Vekt bagasje og gods	(54 x 9 kg)	486 kg
Vekt 1. etasje 18 personer	(18 x 80 kg)	1 440 kg
Vekt 2. etasje 36 personer	(36 x 80 kg)	2 880 kg
Total last		4 806 kg
Aktuell totalvekt bakaksel ⁴ (egenvekt + last på bakaksel)	(13 900 + 2 666 kg)	16 566 kg
Aktuell totalvekt foraksel (egenvekt + last på foraksel)	(5 610 + 2 140 kg)	7 750 kg



Figur 11: Lastens fordeling i bussen (ikke målestokk). Samlet tyngdepunkt er anslått til 2 m bak foraksel for passasjerene i første etasje og til 4,3 m bak foraksel for passasjerene i andre etasje.

1.8.3 Dekkutrøstning

Bussen hadde følgende dekkutrøstning:

Tabell 5: Bussens dekkutrøstning.

	1. aksel	2. aksel (drivaksel)	3. aksel (løpaksel)
Merke:	Brigdestone M 758 M+S	Yokohama EHT M+S	Continental H S R 1
Pigg/Piggfri	Piggfri	Piggfri	Piggfri
Dimensjon:	315/80 R 22,5	315/80 R 22,5	315/80 R 22,5
Belastningskode:	156/150	154/150 L	154/150 M
Mønsterdybde:	16 mm og 17 mm	18 mm på alle hjul (tvilling)	11 mm på begge sider

⁴ Lasten på bakakselen er beregnet ut fra en vektfordeling i boggien med 67 % av vekten på den første akselen (drivakselen) og 33 % av vekten på den andre akselen (løpakselen).

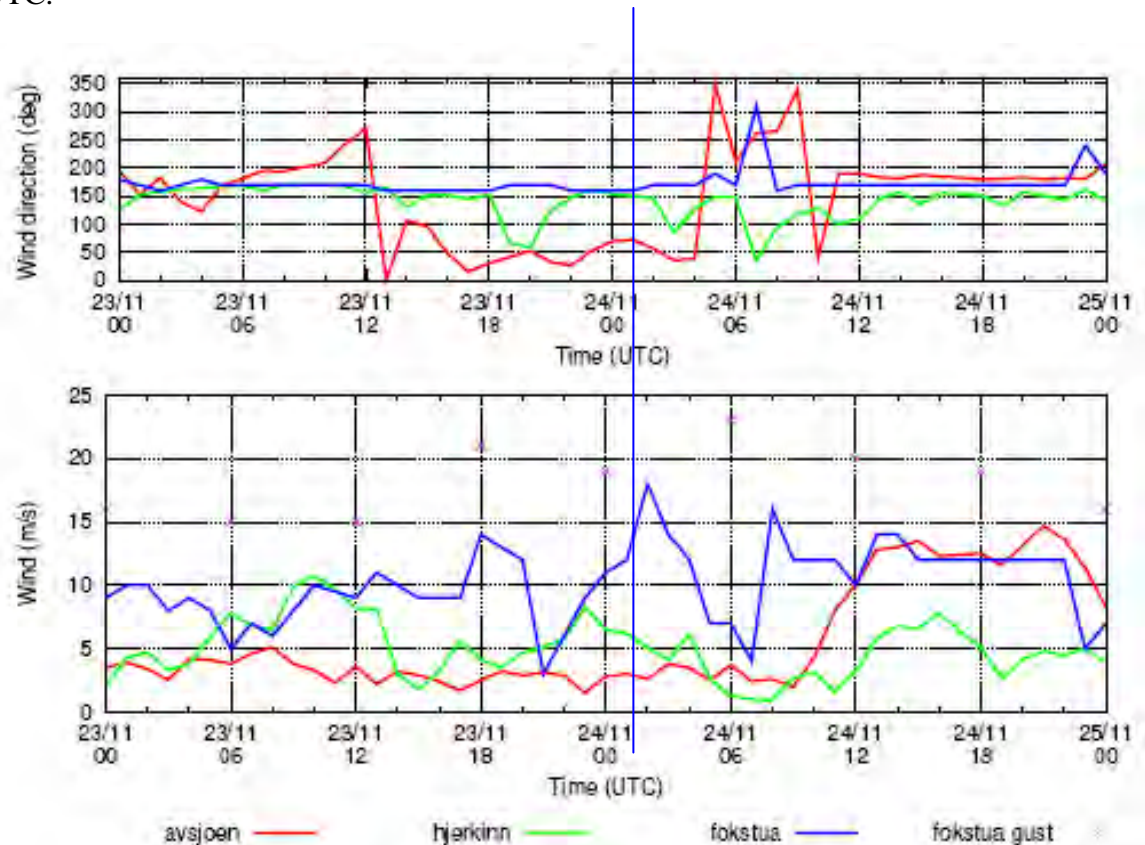
1.9 Vær- og føreforhold

1.9.1 Opplysninger fra politiet

Politiets ”Rapport om vegtrafikkuhell” oppgir temperatur på 0 °C på ulykkestidspunktet, føreforhold som ”snø- eller isbelagt”, og værforhold som ”dårlig sikt, forøvrig”.

1.9.2 Observasjoner fra værstasjoner

Figur 12 viser observasjoner fra 23. nov. til 25. nov. 2006 fra Meteorologisk institutts værstasjon (synopsstasjon) på Fokstua, samt observasjoner fra Statens vegvesens stasjoner på Avsjøen og Hjerkin. Bussulykken skjedde kl. 0225 lokal tid, dvs. kl. 0125 UTC.

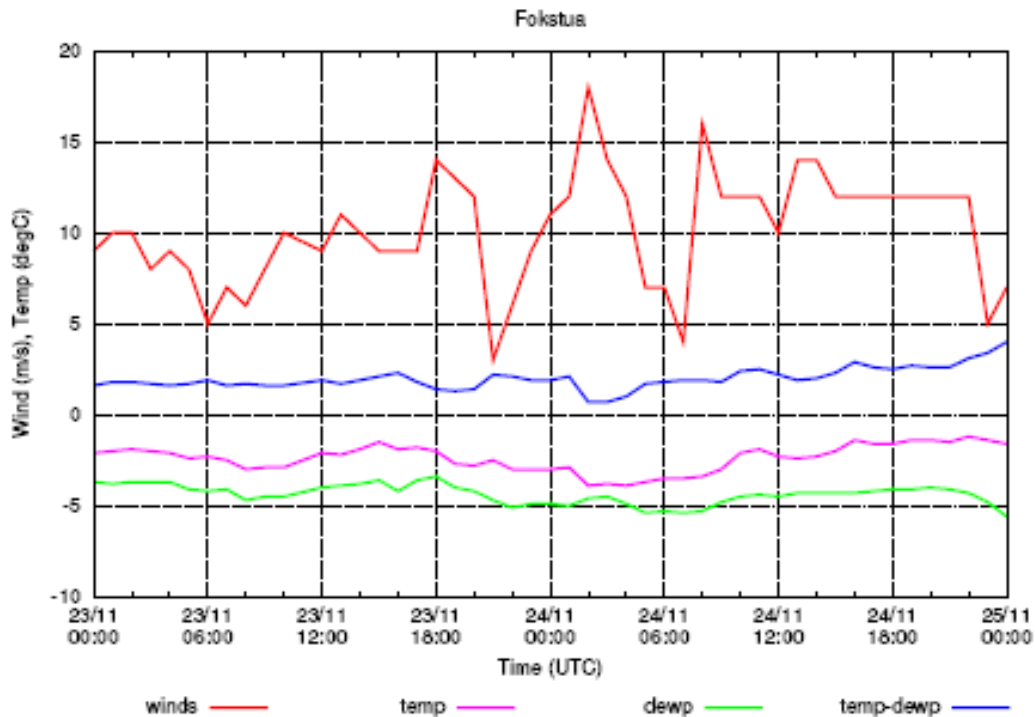


Figur 12: Tidsserier for vindretning og vindstyrke observert ved Avsjøen, Hjerkin og Fokstua fra 23. nov. 2006 0000 UTC til 25. nov. 2006 0000 UTC. For Fokstua er også observerte vindkast tatt med.

Stasjonen på Fokstua observerte følgende den 24. nov. 2006:

- Vindstyrken kl. 0100 UTC var 12 m/s, kl. 0200 UTC hadde den økt til 18 m/s. Vindretningene var henholdsvis 160 og 170 grader, dvs. sørøstlig vind (se Figur 2).
- I løpet av timene fra kl. 0000 UTC og kl. 0600 UTC ble det målt et vindkast på 23 m/s.

Observasjoner fra stasjonen på Fokstua (se Figur 13) fra 23. nov. til 25. nov. 2006 viser at duggpunktavstanden (differanse lufttemperatur og duggpunkt) var liten i hele perioden (blå kurve, verdi mellom ca. 1-4 K), og minst omkring ulykkestidspunktet.



Figur 13: Tidsserier for vindstyrke, lufttemperatur, duggpunkt og differansen lufttemperatur – duggpunkt observert ved Fokstua fra 23. nov. 2006 0000 UTC til 25. nov. 0000 UTC. Observasjoner hver hele time.

1.9.3 Meteogram

Et meteogram er en grafisk framstilling av en værprognose for et lokalt område. For fredag 24. november for Dombås og Hjerkin viste meteogrammet 1-2 kuldegrader, vind opptil 10 m/s fra sørøst og litt nedbør omkring kl. 0200-0300. Meteogrammer for Fokstua blir ikke laget. Meteogrammer brukes bl.a. av Statens vegvesen og driftsentreprenør som en del av grunnlaget for beslutninger om drift og vedlikehold.

1.9.4 Vitneobservasjoner

I følge bussføreren var det tørre veier fra Trondheim til Oppdal, men relativt mye vind. Oppover Drivdalen fra Oppdal var det slaps på veiene. Da bussen kom opp på Dovrefjell var det sterk vind med kraftige vindkast og bussføreren mente det var en tynn ishinne på asfalten.

Øyenvitnet i den møtende varebilen har beskrevet til SHT at det blåste kraftig da han passerte Dombås. Han merket også at det var glatt i stigningen mot fjellet. Da han kom opp på det flate partiet var det i følge hans beskrivelse speilblankt, snødrev og enorme vindkast. Vinden blåste rett inn fra hans høyre side og inn i veibanen.

1.9.5 Meldinger til vegtrafikksentralen

Melding om vær- og føreforhold til Vegtrafikksentralen (VTS) fra entreprenøren den 23. november kl. 1300 og 1800 viste at temperaturen lå på 0 grader, frisk til lett bris, med bar og våt kjørebane og skyet oppholdsvær.

Følgende avviksmelding er registrert ved Vegtrafikksentralen øst 23. november kl. 2035:

”E6 Dovrefjell. Fikk beskjed kl 18 fra entreprenør at det var bart og vått. Innringer forteller kl 18.45 at der er det meget glatt og isdekke på vegen og at meldingen vi har ikke stemmer. Ringer Mesta om ovennevnte. De ringer oss kl 19.55 og forteller at der er det bart og isdekke, samt glatt og at de nå salter.”

Kl. 0545 den 24. november meldte Mesta om -1 °C, liten kuling, snø i luften, med vekslende føreforhold, samt vått, is og glatt.

1.10 Vei- og trafikkforhold

1.10.1 E6 over Dovrefjell

Ulykkesstedet lå på en forholdsvis flat rettstrekning. På veiens høyre side der bussen kjørte ut er det skråning med ca. 20° fall, og der bussen veltet er området flatt og myrlendt. Veidekket er asfaltert og oppmerket med heltrukken profilert kantlinje på begge sider, og gul stiplede midtlinje. Det er ikke oppsatt rekkverk på stedet.

E6 over Dovrefjell er en hovedvei utenfor tett bebyggelse med ett kjørefelt i hver retning. Det er ikke fysisk skille mellom kjørefeltene og på ulykkesstedet var den totale veibredden 6,7 m mellom kantlinjene. Fartsgrensen var 80 km/t.



Figur 14: Ulykkesstedet på Dovrefjell i sørvestlig retning (E6, hp 20, km 08,385)(Bilde: Statens vegvesen).

I følge Statens vegvesen var ÅDT (Års Døgn Trafikk⁵) i 2005 ved tellepunkt Grønnbakken i Sør-Trøndelag (hp 1, km 1,890) 1770 kjøretøy/døgn og tungbilandelen var på 19 %.

⁵ Det totale antall kjøretøy som passerer strekningen i løpet av ett år, dividert med 365.

1.10.2 Ulykkesoversikt

På E6 over Dovrefjell har det mellom 2001 og 2006 vært 22 personskadeulykker (inkludert bussulykken), herunder tre dødsulykker. 8 av 22 ulykker inntraff i vinterhalvåret (okt-mars), og de fleste ulykkene har vært utforkjøringsulykker (10) og møteulykker (6).

1.10.3 Trafikantinformasjon

Det var ikke noen form for varsling eller informasjon til trafikantene vedrørende sterk vind på ulykkesstedet. Statens vegvesen har opplyst at ikke de så langt ikke har varslet trafikantene om vind over fjellet utover de meldingene som VTS legger ut. Statens vegvesen sier imidlertid at dagens teknologi gjør det enklere med trafikantinformasjon, men at det kan stilles spørsmål om hvor langt deres informasjonsansvar går, og at slik informasjon ikke alltid forstås riktig av trafikantene.

I følge Statens vegvesens Håndbok 210 "Vegmeldingstjenesten" (Hb 210) skal vei- og føreforhold innmeldes fra entreprenør til VTS tre ganger per dag (kl. 0545, kl. 1400 og kl. 1830). Forholdene på fjellet kan imidlertid snu raskt, og Statens vegvesen nevner at en mulighet kunne være å ta i bruk ut variable skilt før fjellovergangen som kunne informere dersom det var sterk vind over fjellet. Det er opplyst at det for vinteren 2008/09 er satt opp et variabelt tekstschild ved Hønefoss som gir informasjon om vær/føre/åpningstider/kolonnekjøring over til vestlandet. Statens vegvesen opplyser videre at et slikt tiltak eventuelt må vurderes sammen med planer for automatiske bomber på fjellstrekningen.

1.11 **Drift og vedlikehold av vei**

1.11.1 Funksjonskontrakt

Mesta AS er ansvarlig entreprenør for drift og vedlikehold av E6 over Dovrefjell i Oppland fylke gjennom en drift og vedlikeholdskontrakt med funksjonsansvar (Funksjonskontrakt 0502 Nord-Gudbrandsdalen) inngått med Statens vegvesen for perioden 2004 - 2009. Det er Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt som har byggherreansvar for denne kontrakten.

1.11.2 Utførte tiltak ulykkesdagen

Mesta har opplyst at de kjører strekningene flere ganger pr. dag når de utfører tiltak, selv om dette i tiltaksloggen er slått noe sammen. Mannskapet som har ansvar for E6 over Dovrefjell, har lang erfaring med drift av fjellovergangen vinterstid.

Mesta saltet bakkene opp fra Dombås om kvelden 23. november. E6 på Dovrefjell ble imidlertid ikke saltet eller strødd med sand pga. den sterke vinden. Mesta vurderte at sand eller salt bare ville blåse av veien uten å gi noen effekt. Etter ulykken ca. kl. 0400 den 24. november ble veien strødd fra ulykkesstedet og mot Dombås så langt det var nødvendig. Etter at veien ble åpnet igjen etter ulykken ble den helstrødd eller punktstrødd videre mot grensen til Sør-Trøndelag.

Det ble ikke foretatt friksjonsmålinger på veien i tiden før og like etter at ulykken skjedde.

Mesta har gitt følgende redegjørelse i rapport til Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt om gjennomførte tiltak i for- og etterkant av ulykken:

”- Kl. 19.30- Vår operatør fikk melding om at vær og føreforhold hadde forandret seg på fjellet. Han reiste da ut og sjekket forholdene. Det var da vekslende bart og isdekke på veien og en temp på ca. + 1 gr. S.Ø. kuling og lett snøvær. Det var ikke spesielt dårlig sikt. Dette tilsier egentlig temperatur for salting, men pga den forholdsvis sterke vinden var ikke dette mulig på fjellet. Sand og salt blåser av veien før det når bakken. Han saltet bakkene opp fra Dombås og så langt dette var hensiktsmessig. Ferdig med dette ca. kl. 21.30.

- Kl. 03.30- Ledelsesvakta fikk beskjed om ulykken og varslet operatøren som umiddelbart reiste opp med strøpbilen. Han var oppe ved ulykkesstedet ca. kl. 04.00 og strødde området fra her og fremover mot Dombås så langt det var behov. Vegen var stengt før Nordsæter. Etter at veien ble åpnet har han helstrødd strekningen til Furuhaugli og punktstrødd videre til grensen.

- Du spør om det var vurdert å stenge vegen? Forholdene tatt i betraktning var dette uaktuelt. Vi fikk heller ikke noen henvendelser/klager på Dovrefjell i tidsrommet fra operatøren var på fjellet til ulykken skjedde. Meteogrammet tilsa 10 m/sek og bare ubetydelig nedbør.

- Generell kommentar: Dette er de tiltak og vurderinger som Mesta har gjort før og etter ulykken. Om dette er bra nok får dere vurdere. Det som er helt sikkert er at uansett hvor mye sand og salt vi hadde pøset på, hadde det vært like glatt”

Mestas operatør strødde bakkene fra Dombås og opp til Hondyrju og videre innover fjellet forbi Nordsæter (mellom Dombås og Fokstua), men dette ga ingen virkning da strømiddelet blåste av veien. Operatøren fortsatte videre over hele fjellet uten at flere forsøk på å strø ble gjort og returnerte til Dombås.

Mestas operatør har påpekt at det var mer vind enn det meteogrammet tilsa da han kjørte over fjellet om kvelden 23. november. Han vurderte sikten til å være ca. 100 m og at forholdene var såpass bra, selv med glatte partier, og at det ikke var aktuelt å vurdere å stenge veien.

Mestas operatør hentet ikke ut data fra klimastasjonen etter at veistrekningen var kjørt over om kvelden den 23. november. Operatøren anså ikke vinden så sterk at dette kunne bli problematisk for trafikken. Dette basert på egne observasjoner og vurdering av meteogram.

1.11.3 Vurdering av tiltak og metoder

Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt har vurdert 1) om Mesta kunne gjort tiltak slik at friksjonen hadde vært bedre og 2) om værforholdene var så dårlige at veien burde vært stengt.

Mesta benytter vanligvis ikke befuktet sand eller salt på denne strekningen. Statens vegvesen er usikker på om en slik metode hadde gitt bedre friksjon på veibanen med den vinden som var. Faren for at befuktet sand eller salt kunne frosset og gjort veibanen enda glattere er også til stede. Statens vegvesen har reist spørsmål om entreprenøren burde strødd med grus eller varmsand til tross for sterk sidevind. Noe av grusen ville antagelig lagt seg på veiskuldra og gitt mulighet for noe bedre friksjon der. Imidlertid mener Statens vegvesen at dette sannsynligvis ikke hadde påvirket utfallet av denne ulykken.

I forhold til om Mesta kunne gjort tiltak for å bedre friksjonen mener byggherre at det ikke er grunnlag for å pålegge entreprenøren trekk. Kontrakten stiller krav til at friksjonsforbedrende tiltak skal gjennomføres, ikke til strømetode. Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt har likevel drøftet med entreprenøren om valg av annet strøutstyr kan gi bedre resultater ved denne type værforhold.

Både Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt og Mesta opplyser i denne forbindelse at de i samarbeid med Vegdirektoratet og SINTEF har kjørt forsøk med alternative strømetoder på E6 på denne strekningen i de senere årene. Dette har så langt ikke gitt tilfredsstillende resultat på grunn av hardt klima og begrensninger ved det elektroniske utstyret. SHT har fått opplyst at det nå er gjort forbedringer på dette utstyret for kommende sesong 2008/09 og at det er forventninger til at dette vil gi bedre resultater.

Byggherre har også tillit til de vurderingene entreprenøren gjorde med hensyn på eventuell stenging av veien. Vurderingene om veien skal stenges ved uvær er relatert til nedbør (snø), vindstyrke og kombinasjon av disse (siktforhold). I slike tilfeller må Mesta gjøre en vurdering av forholdene og varsle byggherre som igjen fatter vedtak om stenging. Som byggherre må Statens vegvesen stole på de vurderingene entreprenøren gjør, og slike vurderinger vil i noen grad være subjektive. Statens vegvesen har ikke fastsatt noen grenseverdier for vindstyrke i forhold til stenging av vei.

Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt uttalte til media etter ulykken at de mener det var forsvarlig å holde veien åpen. Følgende siteres fra uttalelse til NRK 24. nov. 2006:

”Det har vært vind, men ikke så mye nedbør at det var problemer for sikten. Og det er i første rekke vind og sikt som er kriteriene for om veien skal stenges eller ikke.”

1.11.4 Standard for vinterdrift

Ut fra veiens betydning og trafikkmengde driftes veien etter strategi vintervei i henhold til Statens vegvesens Håndbok 111 (Hb 111), samt egen instruks for drifting av høyfjellsvei (se kap 1.11.5). Følgende standardkrav gjelder for strøing (veigrep og friksjon) for E6 over Dovrefjell:

- Punktstrøing skal startes ved friksjon under 0,3 og fullføres innen 1,0 time.
- Helstrøing skal startes ved friksjon under 0,2 og fullføres innen 2,0 timer.
- Punktstrøing foretas i kurver, bakker, kryss og på rettstrekninger med uoversiktlige avkjørsler.
- I overgangsperiodene kan det benyttes salt eller saltløsning.

I tillegg gjelder Statens vegvesens policydokument T09 ”Policy for strøing med sand og salt”, hvor følgende siteres:

”- driftsstandarder setter krav til friksjon og tiltakstid

- i hovedsak brukes strøsand

- E6 sør for Vingrom (Lillehammer kommune, SHT merknad), rv 4, rv 33 gjennom Skreifjella, rv 35 og rv 241 saltes gjennom hele vinteren

- begrenset bruk av salt utenom piggdekkssesongen høst og vår ved ÅDT > 1500
- salt kan brukes på spesielt glatt isføre
- salt kan brukes ved snøfall rundt 0°C på riksveger med ÅDT > 1500
- salt og strøsand skal brukes slik at ulempene for trafikanter og miljø reduseres mest mulig.”

1.11.5 Instrukser for stenging av E6 over Dovrefjell

I følge Statens vegvesens Håndbok 111 ”Standard for drift og vedlikehold av riksveger” driftes høyfjellsveier og lignende etter egen instruks. På E6 over Dovrefjell gjelder Statens vegvesens policydokument T05 ”Policy for drift av høgfjellsvegene i Oppland” fra 2003.

I følge dokumentet skal E6 fra Utsikten (rett ovenfor Dombås) og nordover til Sør-Trøndelag grense (Grønnbakken på Dovrefjell) holdes åpent hele døgnet, unntatt når uvær gjør det nødvendig å stenge. Kolonnekjøring skal iverksettes ved behov.

Følgende siteres om ansvarsforhold vedrørende veistenginger fra policydokument T05:

”Midlertidige vegstenginger av høgfjellsveger p.g.a. værforhold, ulykker m.v. eller innføring av kolonnekjøring bestemmes av entreprenøren som har funksjonskontrakt i samråd med byggherren. Det er Vegtrafikkentralen som formelt vedtar stenging.”

Vegdirektoratet gir ”Retningslinjer for midlertidig stenging og kolonnekjøring” i NA-rundskriv nr. 02/23:

”1. Myndighet til å fatte vedtak om kolonnekjøring og til å stenge vegen ligger hos regionvegkontoret. Det skal alltid være en person tilgjengelig som har denne vedtaksmyndigheten.

Selve vedtaket fattes av regionvegkontoret. Normalt vil en av entreprenørens brøytemannskaper hjelpe til med å ta slike avgjørelser. Det skal alltid være en av entreprenørens ansatte som har dette ansvar tilstede når det er vinterberedskap. (...)

2. Kolonnekjøring skal innføres når vær- og føreforholdene er så vanskelige at det er fare for at biler kan sette seg fast og det er risiko for trafikkuhell p.g.a. dårlig sikt eller smal veg. (...)

3. Vegen skal stenges helt for all vanlig trafikk når det p.g.a. uvær, rasfare eller andre sikkerhetsproblemer ikke er forsvarlig å føre kolonner over fjellet.

4. Ved innføring av kolonnekjøring skal det legges vekt på vindforhold, nedbør og sikt som er registrert av brøytemannskap på strekningen. Det skal også legges vekt på værmelding og eventuelle andre tilgjengelige værddata.”

Statens vegvesen har opplyst til SHT at policydokument T05 ikke var oppdatert i forhold til Vegdirektoratets retningslinjer vedrørende ansvar for stenging, og at dette vil bli oppdatert før vinteren 2008/2009.

Vegtrafikkentralen i Region øst (VTS Øst) har i tillegg utarbeidet prosedyre VTS-Ø23 ”Stenging av E6 over Dovrefjell” med følgende beskrivelse:

”1. Ansvarlig entreprenør anmoder VTS øst å iverksette stenging. Alternativt VTS øst kontakter entreprenør med bakgrunn i publikumshenvendelser for å få verifisert evt behov for stenging.

2. Ansvarlig vaktoperatør aktiverer og kontrollerer at styresystemet for skilt og bom fungerer. Ved feil på styresystemet kontaktes entreprenør umiddelbart for manuell styring.

3. Ansvarlig vaktoperatør kontakter entreprenør i Nord Østerdal distrikt ang. stengning av Rv 29.

4. Ansvarlig vaktoperatør kontakter VTS Midt. Dersom styring fra VTS Øst ikke fungerer kan VTS Midt styre skiltene.

5. Ansvarlig vaktoperatør registrerer og loggfører i vegmeldingsdatabasen.”

1.11.6 Tidligere stenging av E6 over Dovrefjell

I følge Statens vegvesen Region øst var eneste midlertidige stenging av E6 over Dovrefjell i 2006 den 19. januar kl. 0730 til 20. januar kl. 1530. Det var da en temperatur på – 10 °C, snøvær og vindstyrken ble beskrevet som liten storm. Årsaken til stenging var snø og redusert sikt. Forrige stenging var 20. februar 2005. Statens vegvesen Region øst har opplyst om at stenging normalt skjer pga. faren for at biler kan sette seg fast eller pga. dårlig sikt.

1.11.7 Entreprenørens vinterplan

Driftsplan for vinter 06-07 viser hvordan entreprenøren, Mesta AS, har tenkt å gjennomføre beredskap og utførelse av vinterdriften med tanke på å oppfylle forpliktelsene som ligger i kontrakten. Planen inneholder telefonlister, ressursoversikter, kvalitetssikring, rapportering, beredskapsplaner mv.

Entreprenøren har i sin vinterplan definert strekningen E6 Ulekleiv i Dovre kommune til Sør-Trøndelag grense med stasjonsveier som en rode for brøyting/strøing innenfor denne kontrakten (rode 1-03). Roden som har en lengde på 44,5 km skal i henhold til den oppsatte planen brøytes, strøs og saltes etter behov med egen bil. I tillegg til den faste bilen har entreprenøren oppgitt at det samarbeides med rode 1-05 og 1-06. Rode 1-05 og 1-06 omfatter E 136 fra Dombås til Møre og Romsdal grense, henholdsvis 27,9 km og 33,1 km.

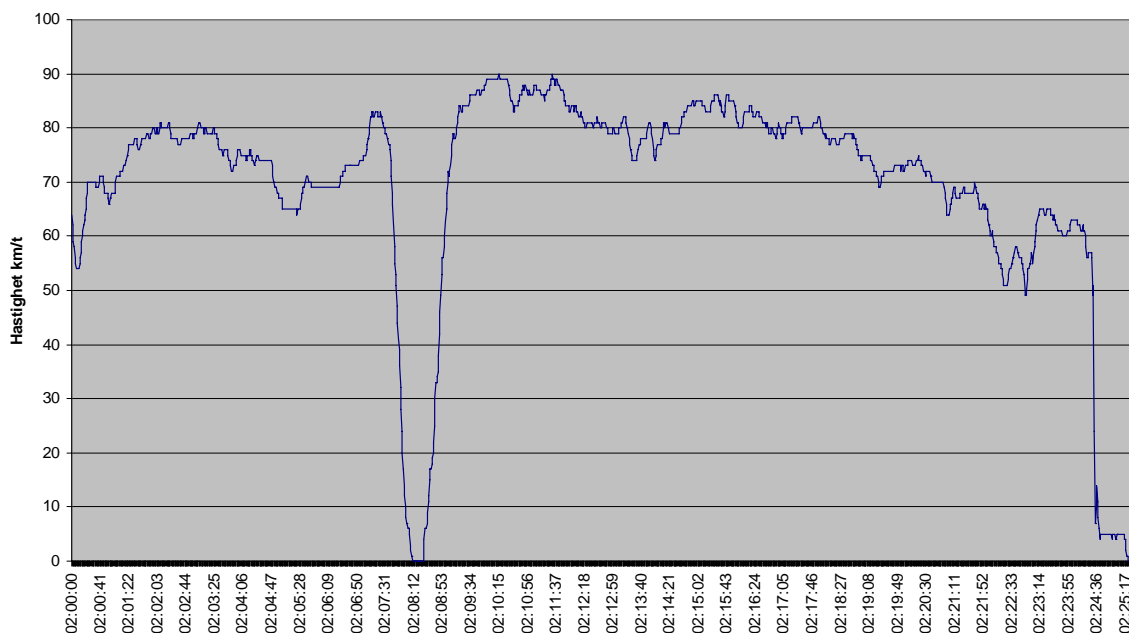
1.11.8 Statens vegvesens oppfølging av entreprenør

Statens vegvesen Gudbrandsdal distrikt opplyser at det ble gjennomført stikkprøver på E6 Dovrefjell i 2005, men ikke i november/desember 2006. Dette skyldes den uvanlige førjulsvinteren med lite eller ingen snø. Av byggemøtereferatene fremgår det at E6 fra Frya i Sør-Fron kommune til Dombås og E136 fra Dombås til Møre og Romsdal grense blir prioritert for stikkprøvekontroller. Erfaringene til Statens vegvesen tilsier at snømengde og spor på Dovrefjell sjelden overstiger tiltakskravene.

1.12 **Tekniske registreringssystemer**

I bussen var det montert digital fartsskriver. Den digitale fartskriveren lagrer fortløpende informasjon om sjåførens aktiviteter, kjøretøyets registrerte hastighet (ekskl. toleranse på +/- 6 km/t) og utkjørt distanse.

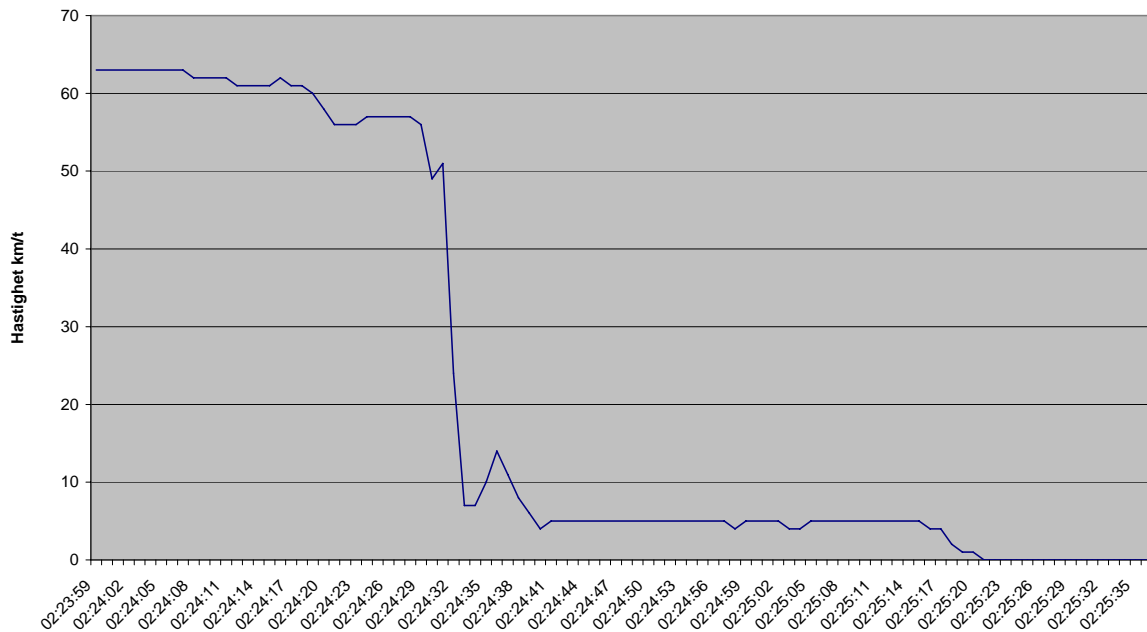
Figur 15 viser bussens registrerte hastighetsforløp de siste 25 minuttene før ulykken, og Figur 16 gir en detaljert oversikt over det registrerte hastighetsforløpet det siste minuttet (siste 500 m) før bussen kjørte av veien.



Figur 15: Utskrift fra bussens digitale fartsskriver torsdag 24. november 2007. Bussens hastighet i tidsrommet fra 02:00:00 til 02:25:21.

Utskrift fra fartsskriveren viser en hastighet på omkring 60 km/t ca. 500 m før ulykkesstedet. Fra ca. 140 m før ulykkesstedet lå hastigheten omkring 55 km/t. Ca. 40 m før ulykkesstedet ble registrert hastighet ytterligere redusert til ca. 50 km/t ved en moderat nedbremsing eller annen ytre påvirkning. Bussen holdt deretter ca. 50 km/t i ca. 28 m før det ble registrert en kraftig retardasjon ($-7,5 \text{ m/s}^2$) ned til 24 km/t, som høyst sannsynlig skyldes en ytre påvirkning. Bussen tilbakela ca. 10 m i denne hastigheten før en ytterligere reduksjon til ca. 7 km/t. Etter ytterligere 5 m bevegelse veltet bussen.

Etter at bussen veltet ble det registrert en jevn hastighet på 5 km/t i en periode på ca. 40 sekunder. Høyst sannsynlig har motoren gått på tomgang, og det drivhjulet som ikke har hatt kontakt med bakken har rotert med denne hastigheten.



Figur 16: Utskrift fra bussens digitale fartsskriver torsdag 24. november 2007. Bussens hastighet omkring ulykkestidspunktet (fra 02:23:59 til 02:25:21).

1.13 Medisinske forhold

SHT har ikke fått indikasjoner på at noen medisinske forhold ved bussføreren har hatt betydning for bussulykken. Politiet mistenkte ikke ruspåvirkning i forbindelse med ulykken, og det ble dermed ikke foretatt alkoholtest eller utvidet blodprøve av bussføreren.

1.14 Spesielle undersøkelser

1.14.1 Klimatologisk undersøkelse av vindforholdene på Dovre

På oppdrag fra SHT har Storm Weather Center AS (Storm) foretatt en klimatologisk undersøkelse av vindforholdene på Dovre (se Vedlegg D).

Formålet med undersøkelsen var å finne ut hvor ofte det kan forekomme vindforhold som kan likne på de forholdene som var da ulykken skjedde, samt se på om ulykkesstedet er spesielt utsatt for sterk vind.

Det er benyttet observasjoner av vind, vindretning og maksimum vindkast fra synopsstasjonen⁶ på Fokstua i perioden 1. jan. 1997 til 17. sept. 2007. Storm har også sett på sammenhengen mellom vindstyrke og spredning mellom duggpunktstemperatur og lufttemperatur (som indikasjon på glatt veibane, se Figur 13).

For november 2006 har Storm i tillegg hatt tilgang til observasjoner fra Statens vegvesens stasjoner på Hjerkin og Avsjøen. Disse observasjonene er sammenlignet med observasjonene fra Fokstua for å få et inntrykk av hvordan vindforholdene kan variere over et begrenset område.

⁶ Landbasert værvarslingsstasjon. Instrumentelle målinger og visuelle observasjoner blir dekodet til tall ved hjelp av den såkalte SYNOP-koden.

Følgende siteres fra Storms konklusjon:

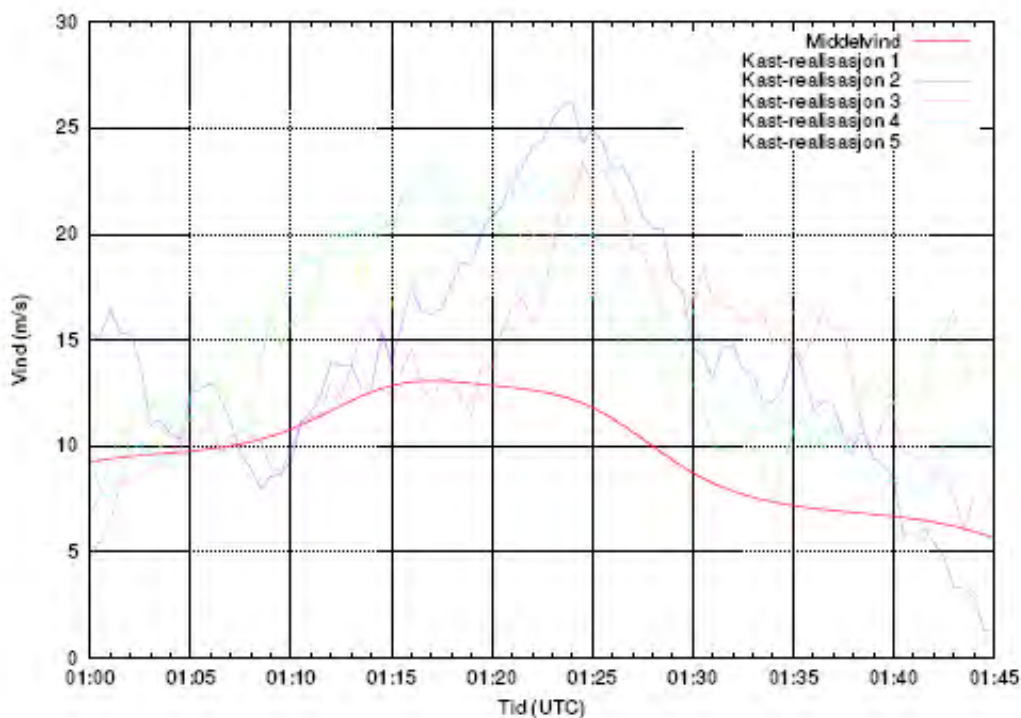
- *”Forekomsten av middelvind over 15 m/s er stor i de sektorene (sør-sørøst) vi har analysert. Observasjonene på Fokstua viser at om lag 99 % av vind > 15 m/s er i disse sektorene. I årene 1999, 2002, 2004, 2005, 2006 og 2007 (til og med 19. sept.) er det ingen forekomster av vind > 15 m/s utenfor de sektorene vi har analysert.*
- *I noen år, spesielt 2006, var forekomsten av middelvind > 20 m/s betydelig. Under slike vindforhold er trafikk med store kjøretøyer, slik som busser, ikke uproblematisk især når veien kan være glatt.*
- *I 2006 er det observert fire forekomster av middelvind over 24 m/s. Da er trafikk med store kjøretøyer farefull uansett forhold på veibanen.*
- *Vindkast på opptil 36 m/s er observert og kast over 24 m/s er mange i spesielle år, f.eks. 2006. De sterkeste kastene forekommer ofte under vindforhold der middelvinden er sterk og understreker at vind fra sør-sørøstlig retning kan være problematisk eller farefull for trafikken.*
- *Korrelasjonen mellom vindstyrke og duggpunktsavstand synes å være liten.”*

Storm har også sammenlignet vindobservasjonene på Fokstua, Avsjøen og Hjerkinns for en begrenset periode rundt datoen for ulykken. Analysen viser at vindforholdene på Avsjøen og Hjerkinns er lite representative for vindforholdene på Fokstua og med stor sannsynlighet også for vindforholdene på ulykkesstedet. Ved ulykkestidspunktet kunne verken Avsjøen- eller Hjerkinnsobservasjonene være til hjelp i vurderingen av vindforholdene på ulykkesstedet, de viste alt for svak vind.

1.14.2 Værsituasjonen på ulykkestidspunktet

På oppdrag for SHT har Storm foretatt en beregning av vindforholdene på ulykkestidspunktet. Storm har modellert værsituasjonen ved ulykkesstedet på ulykkestidspunktet med et system av nestede finskala værmodeller der horisontal oppløsning er ned til 75 m (se Vedlegg E). Følgende siteres fra Storms konklusjon:

”Modellkjøringene viste at værsituasjonen var karakterisert av fenomenet ”downslope windstorm”, der kraftig vind kommer ned fjellsiden og kan forårsake kraftige vindkast. Observasjonene på Fokstua i perioden rundt ulykkestidspunktet gir klare indikasjoner på at værsituasjonen var slik som modellene predikerer. Analysen foretatt i den klimatologiske undersøkelsen (se kap 1.14.1) viser at det er nesten utelukkende i værsituasjoner som den som var ved ulykkestidspunktet hvor det forekommer sterk vind i området.”



Figur 17: Middelvind fra atmosfæremodell som funksjon av tiden med rød tykk strek. Stokastisk genererte vindkast (5 realisasjoner) pluss middelvind (kurver med tynne streker). Ulykkestidspunkt = 0125 UTC.

Figur 17 viser vindstyrken på ulykkesstedet ut fra modellresultatene. Den heltrukne røde kurven er en glattet versjon av en stykkevis lineær kurve for vindstyrken i tidsrommet 0100 UTC til 0145 UTC. De andre kurvene på figuren er stokastisk genererte felter av vindkast som er addert til middelvindfeltet. Ut fra lignende observasjoner av fenomenet ”downslope windstorms” antas det at vinden på Fokstua kan ha variert på en måte som likner disse realisasjonene.

Følgende siteres fra Storms rapport:

”Det er rimelig å anta at det i området rundt ulykkesstedet var kast opp til 25 m/s, noe som stemmer godt overens med gust-observasjonen på Fokstua 0600 UTC, som var 24 m/s (målt over siste 6 timer).

Som en oppsummering kan en si at bussen kan ha vært utsatt for et eller flere vindkast på opptil 25 m/s, og at sannsynligheten for et kast på minst 20 m/s er ganske stort.”

1.14.3 Vindkrefter som ble påført bussen

På oppdrag for SHT har Storm foretatt en beregning av hvilke vindkrefter som ble påført bussen (se Vedlegg E). Storms beregninger tar utgangspunkt i dataene fra den svenske havarikommisjonens (SHK) undersøkelse av bussulykken i Fjärdhundra i Sverige 21. nov. 1998.

1.14.3.1 *Bussulykke i Fjärdhundra i Sverige 21. nov. 1998*

SHK har utgitt rapport RO 2001:04 som omhandler brann i en buss etter trafikkulykke i Fjärdhundra i Sverige på länsväg 70, C län den 21. nov. 1998. Den involverte bussen var

en to etasjes buss med 60 passasjerer om bord. 42 personer ble skadet i ulykken, herav syv alvorlig. Følgende siteres fra SHKs konklusjoner om årsaken til ulykken:

”Avåkningen orsakades sannolikt av att bussen under körningen i kraftig och byrid sidvind momentant blev manöveroduglig till följd av att framhjulen förlorade väggreppet. Orsaken til branden i moturrummet har inte kunnat säkert fastställas.”

I tillegg gjengis følgende konklusjoner:

”f) Vid körning i sidvind kan stora aerodynamiske lyft- og sidokrafter uppstå på bussar av aktuell typ och storlek.

g) Vid kraftig sidvind löper normalt framhjulen störst risk att förlora väggreppet.”

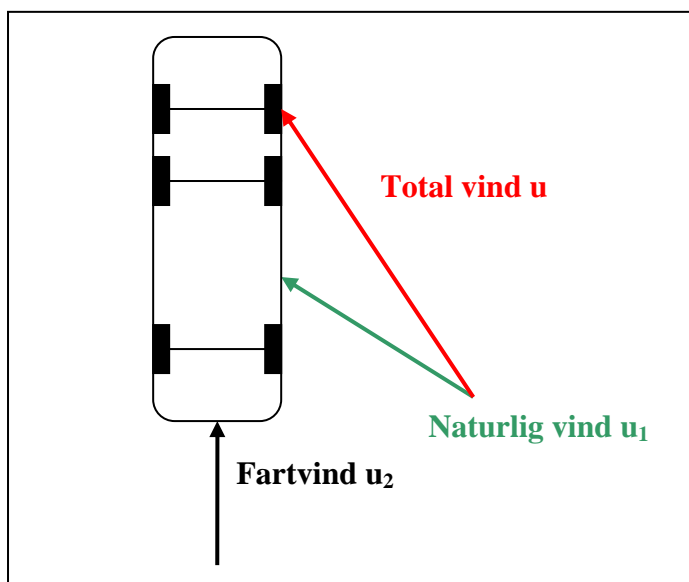
I forbindelse med bussulykken i Fjärdhundra utredet Flygtekniska Försöksanstaltan (FFA) ”Experimentell undersökning av sidevindskänsligheten hos en modell av en tvåvådningsbuss i FFA:s vindtunnel LT1” på oppdrag fra SHK. Bussen som FFA testet i vindtunnelen hadde høyde 4 m og lengde 12 m⁷. Rapporten til FFA som dokumenterer vindtunneleksperimenter med bussmodellen er vedlegg til SHK-rapport RO 2001:04. Det henvises til kapittel 1.15.2 - 1.15.8 i SHK-rapport RO 2001:04 for sammendrag.

1.14.3.2 Vindkreftene som ble påført bussen på Dovre

Vindkreftene på en buss er resultanten av den ”meteorologiske” vinden u_1 og fartvinden u_2 , slik at $u = u_1 + u_2$. Det er retning og styrke på den totale vinden u som virker på bussen (se Figur 18).

De tilgjengelige friksjonskreftene mellom hjul og veibane gir bussen framdrift og eventuelt retardasjon, samt sideveis kontrollmulighet. De aerodynamiske kreftene påfører bussen en sideveis rettet kraft og en løftkraft. Disse kreftene må være mindre enn tilgjengelig friksjonskraft for at bussen skal fortsette en kontrollert forflytning.

⁷ Ulykkesbussen på Dovrefjell hadde samme høyde, men var noe lengre (13, 8 m).



Figur 18: Vindkreftene på en buss er resultanten av den naturlige vinden u_1 og fartvinden u_2 , slik at $u = u_1 + u_2$. Det er retning og styrke på u som påvirker bussen.

Storm har benyttet dataene i rapporten til Flygtekniska Forsöksanstaltan (FFA)⁸, som dokumenterer vindtunneleksperimenter med en bussmodell, som grunnlag for beregninger av krefter på bussen på Dovre, ved at de målte aerodynamiske koeffisienter er antatt å være tilnærmet like.

Basert på estimater av sidekrefter og løftkrefter på bussen er det beregnet nødvendig friksjonskoeffisient (for at bussen skal holdes på veien). Løft er i disse beregningene et usikkerhetsmoment da SHT ikke har kunnet framskaffe slike data for ulykkesbussens nøyaktige aerodynamiske egenskaper.

Følgende siteres fra Storms konklusjon:

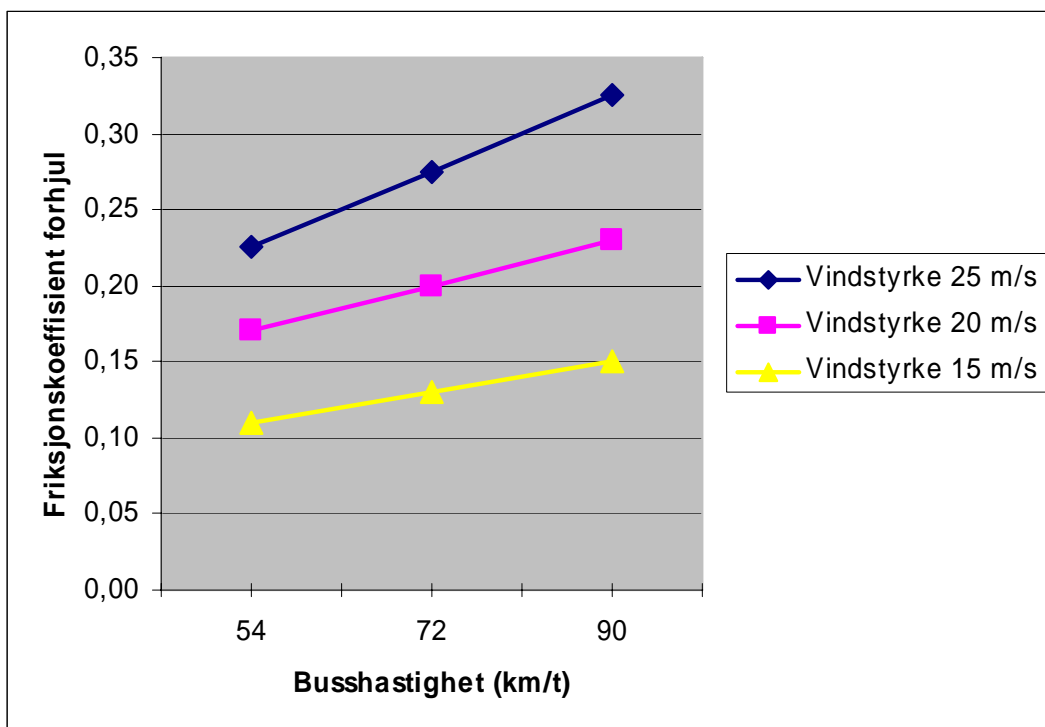
”For å kunne si noe om sensitiviteten av de målte størrelser og andre viktige parametre for bussen, er det foretatt beregninger av sensitiviteten av kritisk friksjon med hensyn på utvalgte parametre. Resultatene av beregningene viser at kritisk friksjonskoeffisient kan være opptil 0,30 ved sterk vind, og en slik friksjonskoeffisient vil typisk være relevant for ”godt vinterføre”. Hvis veibanen var glatt (friksjonskoeffisient 0,1-0,2 for eksempel) skal det mindre kraftig vind til for at en buss skal få problemer med å holde seg på veien.”

Flere resultater fra Storms beregninger:

- I alle resultatene er kritisk friksjonskoeffisient for bakhjul betydelig lavere enn for forhjul.
- Maksimal kritisk friksjonskoeffisient ved alle modellerte vindstyrker og busshastigheter oppnås ved total vindvinkel 30 grader, dvs. at dette er den mest ugunstige totale vindvinkel (kombinasjon av naturlig vind og fartvind) (se Figur 18).

⁸ Vedlegg til den svenske havarikomisjonens (SHK) rapport RO 2001:04 om bussulykken i Fjärdhundra.

- Det er noe forskjell i friksjon mellom bussfart 15 m/s (54 km/t) og bussfart 20 m/s (72 km/t) med samme vindstyrke (0,17 mot 0,20 når vindstyrken er 20 m/s). Betydningen av varierende vindstyrke ved oppgitt bussfart er betydelig større.
- Det er forskjell i kritisk friksjon mellom resultatene for en lav buss (høyde 3 m, gitt de aerodynamiske koeffisientene målt i FFA-rapporten) og en høy buss (høyde 4 m). Ved 20 m/s vind og bussfart 20 m/s er maksimal kritisk friksjon 0,13 for lav buss mot 0,20 for høy buss.
- Den største sensitiviteten av kritisk friksjonskoeffisient finnes med hensyn på sidekraftkoeffisienten C_{sf} , den er ca. 0,1. Det vil si at en endring i C_{sf} på for eksempel 0,5 gir en endring i nødvendig friksjonskoeffisienten på 0,05, noe som er i størrelsesorden det samme som en variasjon i bussfart eller vindhastighet på 5 m/s.
- Sensitivitet med hensyn på bussens masse er forholdsvis beskjeden, det skal en økning i bussens masse på ca. 6 tonn for å gi en minking i kritisk friksjon på 0,05.



Figur 19: Nødvendig friksjonskoeffisient på forhjul relatert til busshastighet og vindstyrke ved vindvinkel 30 grader.

1.14.3.3 Friksjonen på Fokstua

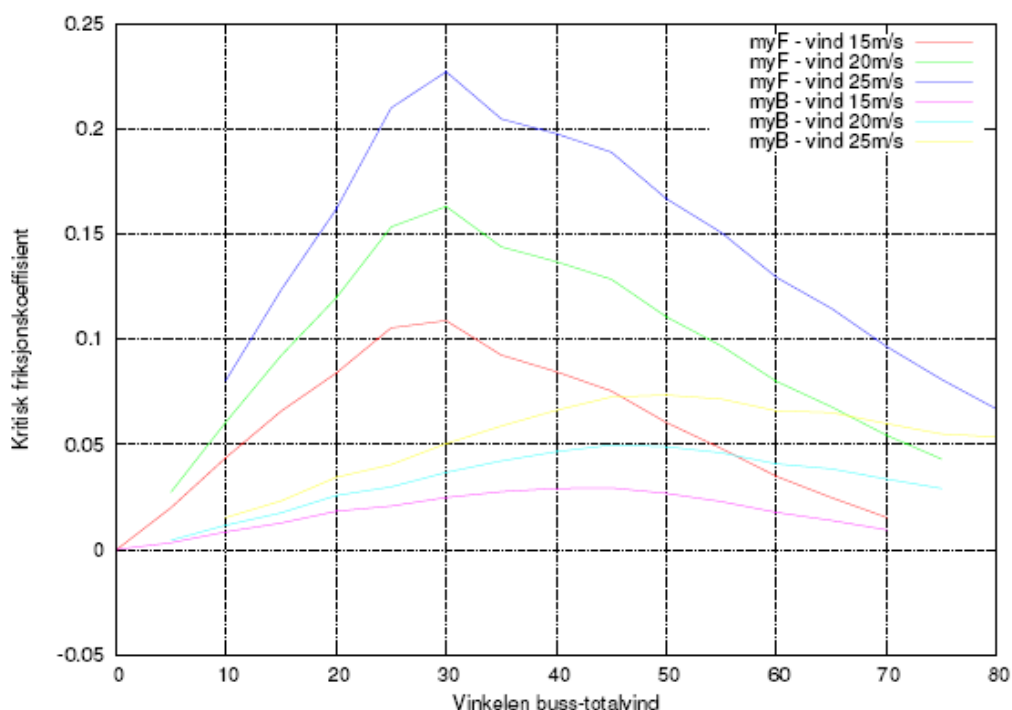
Figur 20 viser beregningene for bussfart 15 m/s (54 km/t), dvs. omtrentlig tilsvarende ulykkesbussens hastighet da den kjørte av veien (se kap 1.12). Figuren viser at maksimal kritisk friksjon på framhjul er ca. 0,23 ved total vindvinkel på 30 grader og ved vindstyrke 25 m/s.

Storms undersøkelse har vist at sannsynligheten for at bussen har vært utsatt for et kast på minst 20 m/s er stor. Figuren viser at dersom bussen forlot veien etter et vindkast på 20

m/s kan ikke friksjonen ha vært større enn ca. 0,17. Hvis vinden bussen ble utsatt for ikke var særlig sterkere enn middelvinden (15 m/s) kan friksjonen ha vært ned mot 0,1.

Dersom vi bruker den aktuelle vindvinkelen for middelvinden som ble observert på Fokstua vil det gi lavere verdier for kritisk friksjon. De tilsvarende vinkler for totalvinden for bussfart 15 m/s ved henholdsvis vindstyrke 15 m/s, 20 m/s og 25 m/s er: 42,0; 49,3 og 54,7 grader. Fra Figur 20 får vi kritisk friksjon på henholdsvis 0,08; 0,11 og 0,15.

Imidlertid kan et vindkast ha en noe annen retning enn middelvinden, slik at det er sannsynlig at det kan ha forekommet vindkast som tilsvarer maksimal kritisk friksjon. I følge Storm kan kraftige vindkast variere langt mer enn 20 grader, og i tillegg er kast temmelig lokale i både styrke og retning.



Figur 20: Kritisk friksjonskoeffisient for- og bakhjul (myF og myB). Bussfart 15 m/s (54 km/t).

1.14.3.4 Vurdering foretatt av CFD Norway AS

Bruk av dataene i rapporten til FFA som grunnlag for beregninger av krefter på bussen på Dovre gir visse begrensninger, spesielt med hensyn på aerodynamikk. CFD Norway AS (CFD) har derfor på oppdrag for SHT foretatt en forenklet analyse av de aerodynamiske og dynamiske krefter som virket på bussen, samt gjennomgått SHK-rapport RO 2001:04 og Storm sin rapport til SHT (se vedlegg C).

CFD mener at bussens størrelse og hastighet, samt vindpåkjenningen i SHK-rapport RO 2001:04, er delvis sammenlignbare med ulykken på Dovre. Den største usikkerhet ligger i bussenes ulike front- og takutforming siden bussen på Dovre viser en rundere (og bedre aerodynamisk) konstruksjon og at dens hastighet var lavere.

Basert på bussens geometriske data, bussens hastighet (15 m/s), antagelse om vindstyrke (25 m/s), antagelse om vindretning (30°), og bussens aerodynamiske koeffisienter har CFD beregnet at følgende aerodynamiske krefter virket på bussen:

Sidekraft $D_{\text{side}} = 1570 \text{ kg}$
 Frontal motstandskraft $D_{\text{front}} = 51 \text{ kg}$
 Løftkraft $L = 340 \text{ kg}$

Tabell 6 viser nødvendige friksjonskrefter ($F = \mu \times m$) for ulike friksjonsverdier. For friksjonskoeffisienter $\mu < 0,1$ må friksjonskreftene på henholdsvis framhjul og bakhjul være $F_{\text{front}} > 684 \text{ kg}$ og $F_{\text{bak}} > 1596 \text{ kg}$ for at bussen skal ha veigrep.

Fordeles sidekraften $D_{\text{side}} = 1570 \text{ kg}$ av vinden likt på for- og bakhjul så vil forhjulene ligge i det kritiske området. Den halve sidekraft (785 kg) pluss den frontale motstandskraft ($D_{\text{frontal}} = 51 \text{ kg}$) vil til sammen gi en kritisk friksjonskoeffisient omkring $\mu = 0,05$ for bakhjulene. I tillegg kan løftkraften på bussen gi et forverret bilde av nødvendig friksjonskraft.

Tabell 6: Friksjonskraften $F = \mu \times m$

	$m = 6840 \text{ kg}$ (front)	$m = 15\,960 \text{ kg}$ (bak)
$\mu = 0,05$	$F_{\text{front}} = 342 \text{ kg}$	$F_{\text{bak}} = 798 \text{ kg}$
$\mu = 0,1$	$F_{\text{front}} = 684 \text{ kg}$	$F_{\text{bak}} = 1596 \text{ kg}$
$\mu = 0,2$	$F_{\text{front}} = 1368 \text{ kg}$	$F_{\text{bak}} = 3192 \text{ kg}$
$\mu = 0,3$	$F_{\text{front}} = 2052 \text{ kg}$	$F_{\text{bak}} = 4788 \text{ kg}$
$\mu = 0,4$	$F_{\text{front}} = 2736 \text{ kg}$	$F_{\text{bak}} = 6384 \text{ kg}$

CFD Norway sin masseberegning av bussen er noe forskjellig fra SHT sin masseberegning i kapittel 1.8.2. CFD Norway har heller ikke tatt hensyn til bussens vektfordeling i forhold til fordeling av vindkrefter. Imidlertid har denne forskjellen relativ liten innvirkning på beregningen av friksjonskrefter.

1.15 Lover og forskrifter

Rammene for bruk, drift, tilsyn og kontroll i veisektoren følger i hovedsak av vegtrafikklov 18. juni 1965 nr. 4 med tilhørende regler og forskrifter, lov 21. juni 2002 nr. 45 om yrkestransport innenlands med motorvogn og fartøy (yrkestransportloven) og veglov 21. juni 1963 nr. 23. I tillegg setter lov 17. juni 2005 nr. 62 om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven) krav til transportfirmaets ivaretagelse av arbeidstakernes helse, miljø og sikkerhet i forbindelse med arbeidet og transportoppdraget.

1.15.1 Vegtrafikkloven

Vegtrafikkloven § 7 *Særlige forbud mot trafikk*, er hjemmelsgrunnlaget for Statens vegvesens i forhold til stenging eller begrensning av trafikk på vei:

”Kongen eller den han gir fullmakt kan forby bestemte grupper av kjøretøyer. Forbudet kan begrenses til å gjelde på eller utenfor visse veger og innenfor et bestemt tidsrom. Det kan på samme måte gjelde bestemte trafikantgrupper.

Det kan treffes midlertidig vedtak om forbud mot all trafikk eller om annen regulering av trafikk på veg dersom forhold på vegen eller i dens omgivelser, arbeid på vegen eller vegens tilstand tilsier det. Slikt vedtak treffes for riksveg og fylkesveg av regionvegkontoret og for kommunal veg av kommunen.”

Følgende siteres fra Vegtrafikkloven § 3 *Grunnregler for trafikk*:

”Enhver skal ferdes hensynsfullt og være aktpågivende og varsom så det ikke kan oppstå fare eller voldes skade og slik at annen trafikk ikke unødig blir hindret eller forstyrret.”

1.15.2 Forskrift om bruk av kjøretøy

Følgende siteres fra forskrift 25. jan. 1990 nr. 92 om bruk av kjøretøy § 1-4:

”Kjøretøy må ikke brukes uten at det er sikret tilstrekkelig veggrep i forhold til føret, om nødvendig ved bruk av vinterdekk med eller uten pigger, kjetting eller liknende. Vinterdekk er spesielt merkede dekk med mønsterdybde minst 3 mm.”

1.15.3 Kjøretøyforskriften

For alle busser gjelder kap. 8 (Spesielle kjøretøy) i forskrift 4. oktober 1994 nr. 918 om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (kjøretøyforskriften). Dette implementerer Europaparlamentets og rådsdirektiv 2001/85/EF av 20. november 2001 om særlige bestemmelser for kjøretøy som anvendes til personbefordring og har flere enn åtte sitteplasser ut over førerens plass (busdirektivet) i norsk lov.

1.15.4 Forskrift om kjøre- og hviletid

Forskrift 2. juli 2007 nr. 877 om kjøre- og hviletid for veitransport i EØS regulerer kjøre-, arbeids- og hviletid for fører og mannskap, samt tekniske krav til fartsskrivere i kjøretøy. De tekniske kravene omhandler bl.a. toleransekrav for hastighetsregistrering i kjøretøy.

1.15.5 Forskrift om bruk av bilbelte mv.

I følge forskrift 21. sept. 1979 nr. 07 om bruk av personlig verneutstyr under kjøring med motorvogn (forskrift om bruk av bilbelte mv.) skal bilbelte og annet utstyr til sikring av personer brukes der det er montert uansett i hvilken type kjøretøy beltet er montert.

For buss, med unntak av bybuss, gjelder⁹:

”a) Bilbelte og annet utstyr til sikring av personer skal brukes av sittende.

b) Barn yngre enn 3 år skal i buss bruke godkjent sikringsutstyr som er tilpasset barnet eller slikt utstyr i kombinasjon med ordinært bilbelte. Når slikt utstyr ikke er tilgjengelig, skal ordinært bilbelte brukes på egnet måte. Barn som er 3 år eller eldre skal bruke ordinært bilbelte på egnet måte.

c) Passasjerer skal informeres om plikten til å bruke bilbelter. Informasjonen skal gis når bussen er i bevegelse og på en eller flere av følgende måter:

- 1. av fører eller billettør,*
- 2. ved hjelp av audiovisuelle midler,*
- 3. ved hjelp av skilt med tekst eller piktogram som vist i annekset til direktiv 2003/20/EF, godt synlig plassert ved hvert sete.”*

⁹ I kraft 9. mai 2006, med unntak av bokstav b, som trer i kraft 1. januar 2008.

1.15.6 Arbeidsmiljøloven

Arbeidsgiveren har ansvaret for at arbeidsmiljøet er forsvarlig og i samsvar med regelverket som er gitt i arbeidsmiljøloven med forskrifter. Arbeidet med helse, miljø og sikkerhet skal være systematisk og løpende. Dette er fastslått i forskrift 6. des. 1996 nr. 1127 om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (Internkontrollforskriften). Arbeidsgiver har ansvar for å innføre og vedlikeholde et system for internkontroll.

1.15.7 Yrkestransportloven

I følge yrkestransportloven gir Samferdselsdepartementet (som løyvemyndighet) løyve til rutetransport som går gjennom to eller flere fylker. § 4 i loven omtaler de generelle vilkår som gjelder for tildeling av løyver. Løyve kan tildeles søker som har: a) god vandel, b) tilfredsstillende økonomisk evne, og c) tilstrekkelig faglig kompetanse. Yrkestransportforskriften utdyper nærmere de vilkår som gjelder for løyve.

I følge Samferdselsdepartementet skal ordningen med løyve for yrkesmessig person- og godstransport bidra til at:

”- Transporten skjer på en sikker måte.

- Publikum, kunder og brukere får et godt transporttilbud, med tilfredsstillende kvalitet og god service.

- Transporten skjer på en måte som er innenfor regel- og avtaleverk om like konkurransevilkår, blant annet i tråd med bestemmelsene i EØS-avtalen.”

1.16 **Myndigheter, organisasjoner og ledelse**

1.16.1 Busselskapet

1.16.1.1 *Arctic Express*

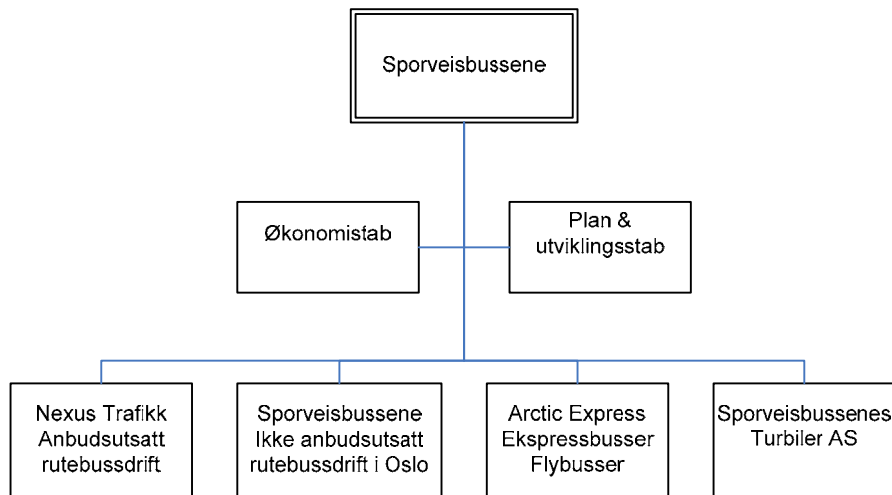
Arctic Express (skiftet navn til UniBuss Ekspress AS i 2007) ble i følge Brønnøysundregisteret stiftet i desember 2002. Dette selskapet driver og opererer ”Lavpriseekspressen” som ifølge nettsidene¹⁰ dekker ruten mellom Oslo, Trondheim og Kristiansand. Lavpriseekspressen har løyve for ekspressbusskjøring på den aktuelle strekningen mellom Oslo-Trondheim gjennom E6 Gudbrandsdalen over Dovrefjell.

Arctic Express driver også Torpekspressen som går mellom Oslo og Sandefjord Lufthavn Torp. I august 2005 kjøpte AS Sporveisbussene Arctic Express, og selskapet inngår som et heleid datterselskap i AS Sporveisbussene.

1.16.1.2 *AS Sporveisbussene*

AS Sporveisbussene ble etablert i 1997 ved at bussdivisjonen i AS Oslo Sporveier ble omdannet til et heleid datterselskap. Virksomheten har sitt hovedsete i Oslo. Selskapets kjernevirksomhet er oppdragsbasert trafikk med buss i rute. Sporveisbusskonsernet hadde følgende organisering på ulykkestidspunktet:

¹⁰ Se www.lavprisekspressen.no



Figur 21: Organisasjonskart Sporveisbusskonsernet 2006.

1.16.1.3 Sporveisbussenes HMS-system

Sporveisbussene har utarbeidet en overordnet HMS-håndbok for AS Sporveisbussene og datterselskaper som en del av sitt internkontrollsystem, samt en tilhørende håndbok for HMS-rutinebeskrivelser. For alle selskaper i Sporveisbusskonsernet gjelder også en egen kvalitetshåndbok. Det er utarbeidet en beredskapsplan med tilhørende varslingsliste i tilknytning til HMS-systemet.

I følge selskapets HMS-håndbok er ansvaret for det systematiske HMS-arbeidet forankret i linjeorganisasjonen. Adm.dir. er øverste ansvarlig for HMS og HMS-systemet, som igjen har delegert systemansvaret for HMS til driftsdirektøren. Kvalitets- og opplæringsjefen har ansvaret for å koordinere disse aktivitetene. Alle linjelederne har igjen HMS-ansvar for sin enhet, i henhold til arbeidsmiljøloven § 2-1 og § 3-2, 1b.

1.16.1.4 HMS i Arctic Express AS

Høsten 2006 hadde Sporveisbussene satt i gang et arbeid med å etablere rutiner og systemer i Arctic, samt et opplæringsprogram for ekspressbussjåførene. Driftsledelsen i Sporveisbussene har opplyst til SHT at det var en vanskelig prosess å få rutiner og håndtering av den daglige driften i Arctic inn i de formene og kravene som Sporveisbussene stilte. I tillegg var det et problem med lite stabilitet og kontinuitet i ledelsen i Arctic, noe som vanskeliggjorde utviklingsarbeidet.

Sporveisbussene hadde et etablert opplæringsprogram hvor det blant annet inngår tre dagers obligatorisk opplæring for nye sjåførere. Tilsvarende var ikke etablert i Arctic på ulykkestidspunktet, og det fantes ikke et dokumentert opplæringsprogram for sjåførene i Arctic.

Som en del av arbeidsavtalen til sjåførene i Arctic inngikk en egen stillingsinstruks, og denne fikk nye sjåførere utdelt til gjennomlesing. I tillegg har havarikommisjonen fått opplyst at det var praksis i selskapet at nye sjåførere kjørte første tur med en erfaren sjåfør. Imidlertid tok selskapet ofte inn sjåførere som hadde mye erfaring fra før, og dermed ble dette ikke alltid fulgt opp. Det ble ikke praktisert noen form for kjøretest for nye sjåførere.

Det var ikke etablert en HMS-gruppe i Arctic på ulykkestidspunktet, men sjåførenes verneombud var aktiv.

1.16.2 Busselskapets oppfølging etter ulykken

Havarikommisjonen har mottatt varslingslogg fra Arctic Ekspress AS for den aktuelle ruten (lavpriseksiressen), samt logg fra Sporveisbussenes beredskapsgruppe i forbindelse med ulykken. Både politiet og flere passasjerer har rost busselskapet for håndtering av situasjonen og oppfølgingen av passasjerene etter ulykken.

Kl. 0225 ble vakttelefon varslet av bussjåføren, og kl. 0228 varslet vakthavende videre til 113. Kl. 0300 hadde Lavpriseksiressen etablert en gruppe som møtte på kontoret. Her ble passasjerliste gjennomgått og videresendt til politiet. To personer fra Lavpriseksiressen, samt etter hvert også verneombudet, reiste til Dombås for å assistere ved skademottaket/skadestedet.

Lavpriseksiressen hadde kontinuerlig kontakt med politiet på Dombås, og det ble bestilt mat til passasjerene på Dombås hotell samt oppsett av buss for å frakte passasjerene til Oslo. Passasjerer som ikke ønsket å kjøre buss fikk tilbud om togbillett videre.

Beredskapsgruppen i Sporveisbussene ved adm. dir. ble innkalt til møte kl. 0730. Det ble opprettet et mottak i Oslo for passasjerer som kom med buss og tog fra Dombås. Her ble det bestilt mat og drikke, foretatt samtaler og varsling av pårørende, innkjøp av klær/sko etter behov, leid rom for dusj, samt bestilt buss, taxi og annet for passasjerene videre.

Kl. 1040 varslet Sporveisbussene Arbeidstilsynet om ulykken.

1.16.3 Statens vegvesen

Statens vegvesen er et forvaltningsorgan underlagt Samferdselsdepartementet. Etaten har ansvaret for planlegging, bygging, drift og vedlikehold av riks- og fylkesveinettet og godkjenning og tilsyn med kjøretøy og trafikanter. Statens vegvesen utarbeider også bestemmelser og retningslinjer for veiutforming, veitrafikk, trafikantopplæring og kjøretøy. Vegdirektoratet er hovedkontor for Statens vegvesen.

1. januar 2003 ble Statens vegvesen omorganisert. Produksjonsvirksomheten ble skilt ut som et statlig aksjeselskap (Mesta AS), og i stedet for ett veikontor i hvert fylke ble Statens vegvesen inndelt i fem regioner med et regionveikontor i hver region. Regionene er igjen inndelt i 30 distrikter. Ulykkesstedet ligger i Region øst, Gudbrandsdal distrikt.

1.16.4 Arbeidstilsynet

Arbeidstilsynet forvalter arbeidsmiljøloven med tilhørende forskrifter, og fører tilsyn med at virksomhetene følger regelverkets krav. Arbeidstilsynet har følgende opplysninger fra sitt elektroniske journalsystem og virksomhets- og yrkesskaderegister i perioden 2003 til 26. januar 2007:

- Ingen tilsynsaktivitet mht. Arctic Express AS.
- Ulykken ble varslet til Arbeidstilsynet, men er ikke fulgt opp med tilsynsaktivitet.

- Det har vært gjennomført ulike typer tilsyn i Sporveisbussene AS, men tilsynet omfatter ikke relevante tema for SHTs gransking av ulykken.

1.16.5 Transportbedriftenes Landsforening (TL)

Transportbedriftenes Landsforening (TL) er en bransje- og arbeidsgiverforening for norske transportselskaper. TL har i flere år arbeidet ovenfor medlemmene i forhold til å informere om bilbeltebruk og busselskapenes ansvar og informasjonsplikt i denne sammenheng.

1.17 **Andre opplysninger**

1.17.1 Anbefalinger fra Sverige

Som et resultat av den svenske havarikommisjonens anbefalinger i forbindelse med bussulykken i Fjärdhundra samarbeidet Bussbranchens Riksförbund (BR), Svenska Lokaltrafikföreningen (SLTF) og Vägverket om prosjektet ”Hastighetsanpassning av busstrafik vid hårda vindar”. Prosjektet ble gjennomført i 2005-2006 på strekningen Umeå – Haparanda. Prosjektet baserte seg på at bussførere fikk informasjon om værforhold og vindhastigheter via mobil, og at de deretter tilpasset hastigheten etter forholdene. Følgende maksimale hastigheter ble anbefalt ved de respektive målte maksimale vindstyrker:

Tabell 7: Anbefalt hastighetstilpasning for buss ved ulike vindstyrker.

Vindstyrke maks vind (m/s)	Anbefalt maks hastighet (km/t)	Anbefaling
> 8	90	Vær observant, spesielt ved glatt veibane
> 12	70	Begrenset hastighet
> 16	50	Begrenset hastighet
> 24	0	Innstill trafikk

Med bakgrunn i de gode resultatene fra prosjektet, samt positiv respons fra både reisende og førere, gikk BR og SLTF ut med nasjonale anbefalinger om hastighetstilpasning ved sterk vind.

1.17.2 Andre undersøkelser

En svensk undersøkelse (Petzäll m.fl., 2005) studerte ti bussulykker hvor vind, i tillegg til kjøretøyets fart og veiens friksjon, hadde betydning. Undersøkelsen viser blant annet viktigheten av vektfordeling i bussen, både i forhold til bagasje og passasjerer. Vektfordelingen på front- og bakaksel påvirker friksjonen på forskjellige hjul slik at en forskyvning av tyngdepunktet bakover med 10 % kan øke den nødvendige friksjonskoeffisienten med i gjennomsnitt 45 %. Dette tilsier at man på en buss som veier 18 tonn plasserer 1,8 tonn last (passasjerer, bagasje, gods) med jevn fordeling bak det horisontale tyngdepunktet for bussen.

1.18 Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder

Det er benyttet en værmodell for å simulere vindforholdenes påvirkning på bussen (se Vedlegg E).

1.19 Iverksatte tiltak

1.19.1 UniBuss Ekspress

Selskapet har i brev av 5. okt. 2007 redegjort til SHT for iverksatte tiltak i etterkant av ulykken på Dovrefjell 24. nov. 2006:

- *”Busser som trafikkerer Dovre (og Hardangervidda) kjører med piggdekk i vintersesongen.*
- *Etter anmodning fra oss er Statens vegvesen i ferd med å sette opp vindmålere (”vindpølser”) på begge sider av fjellovergangen på Dovre.*
- *Sjåførere som kjører over Dovre gjennomfører hver høst eget kurs hvor bla. følgende temaer inngår:*
 - *Kjøreteknikk og kjøretrening på fjellovergang*
 - *Spesielle forhold knyttet til vinterføre, vind og kjøring med to etasjes buss.*
 - *Sjåførenes ansvar for å sjekke at kjøreforholdene over Dovre er forsvarlige før kjøringen over Dovre-platået starter*
 - *Hvordan sjåføren skal forholde seg dersom det ikke er forsvarlig å kjøre over Dovre (venteplass, overnatting og forpleining av passasjerer mm)*
 - *Førernes ansvar for å minne passasjerene om påbudet om å benytte setebeltene i bussen*

I tillegg ajourfører og gjennomgår vi vår beredskapsplan i forkant av vintersesongen. Dette gjelder sjåførenes varslingslister, ledelsens varslingslister og ledelsens oppgaver dersom en ulykke skulle skje.

Tiltakene blir ajourført og/eller gjennomført årlig i forkant av vintersesongen.”

UniBuss Ekspress har opplyst til SHT at alle busser som bestilles til selskapet blir utstyrt med trepunktsbelter på alle sitteplasser. Selskapet vurderer også ombygging av eksisterende busser.

1.19.2 Statens vegvesen

Statens vegvesen har opplyst til SHT at vindpølser er satt opp på de mest utsatte stedene på Dovrefjell, blant annet på ulykkestedet (ikke på hver side av fjellovergangen).

2. ANALYSE

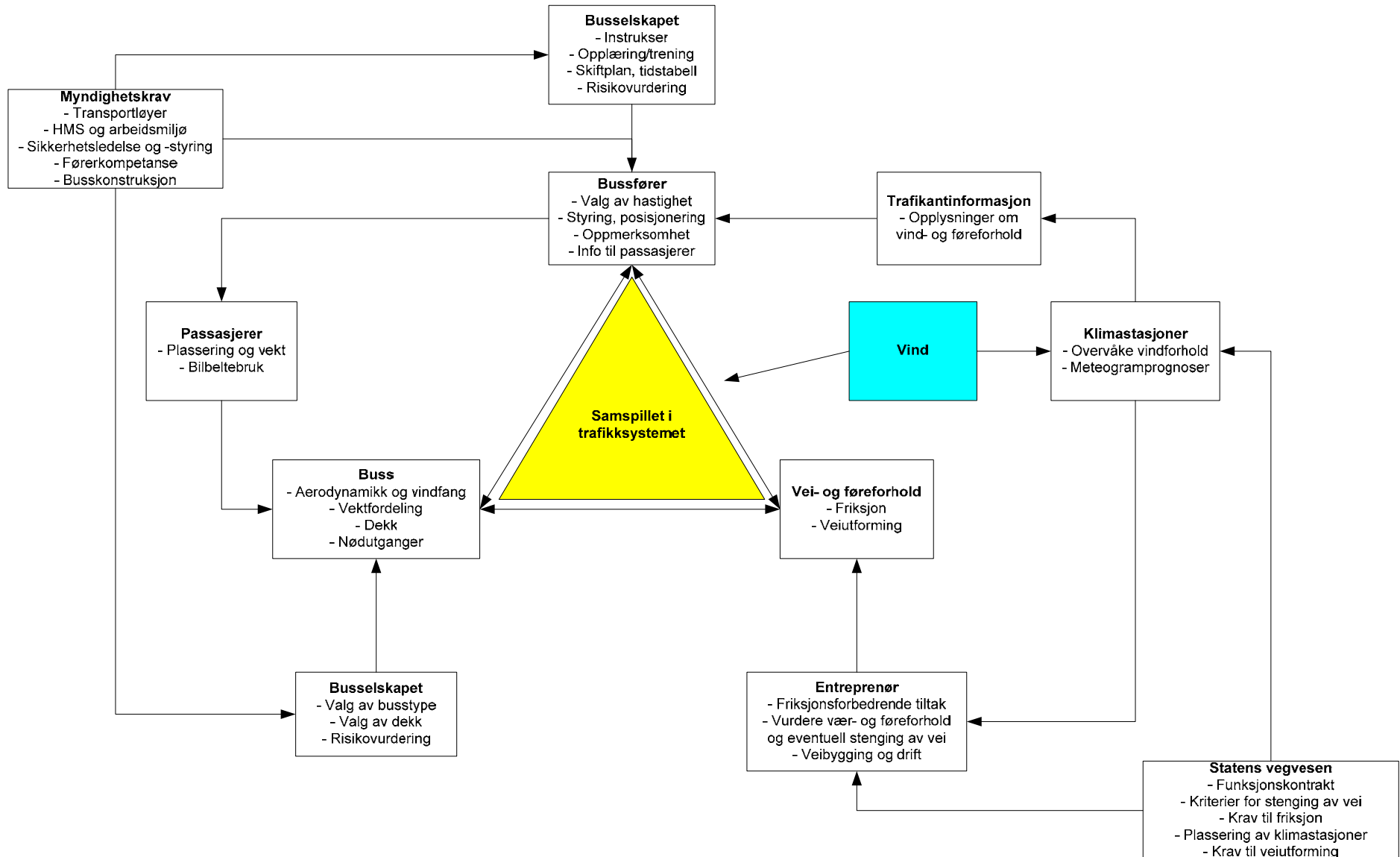
2.1 Innledning

SHT anser det viktig å kartlegge alle sikkerhetsmessige omstendigheter omkring denne ulykken fordi enhver utforkjøring med buss har et betydelig skadepotensial. SHTs har derfor valgt å analysere i stor bredde og omfang i forhold til områder som kan forbedres sikkerhetsmessig. Det er SHTs oppfatning at alle de ulike aktørene i veitrafikken har et spesielt sikkerhetsmessig ansvar for å forebygge ulykker som involverer persontransport med mange passasjerer.

SHT betrakter ulykken som et resultat av en kombinasjon av flere variable forhold innen de ulike funksjonene som påvirker sikkerheten i trafikksystemet og som hver for seg kan være normale og forventede. Dette gjelder både trafikant, kjøretøy, værforhold, vei- og føreforhold.

SHT vurderer at en uheldig kombinasjon av sterk sidevind, bussens aerodynamikk og vindfang, samt lav friksjon mellom dekk og veioverflate, førte til at bussen kjørte av veien. Det var ingen enkeltelementer/funksjoner som i seg selv feilet eller avvek fra det som er "normalt" eller forventet. I følge Hollnagel (2004) kan slike ulykker forhindres gjennom kontinuerlig bedre oppfølging og kontroll av variabiliteten til de ulike elementene/funksjonene, samt etablering av barrierer som kan forhindre variabiliteten i systemet fra å utvikle seg til en ulykke.

I det følgende vil SHT analysere hvordan de ulike komponentene og omstendighetene bidro til ulykken, samt mulighetene bussjåfør, busselskap, driftsentreprenør, Statens vegvesen og øvrige myndigheter har til å påvirke og styre de ulike elementene i trafikksystemet for å oppnå mest mulig sikker transport. SHT vil også diskutere i hvilken grad kompensierende tiltak og barrierer kan etableres i systemet for å forhindre denne type ulykke. Figur 22 viser et influensdiagram av bussulykken på Dovre i forhold til de ulike elementenes mulighet for påvirkning og styring av sikkerheten i trafikksystemet.



Figur 22: Influensdiagram for bussulykken på E6 over Dovrefjell. Pilene viser relasjonen mellom de ulike elementene, samt muligheten for påvirkning og styring av elementenes variabilitet. Vinden påvirker det totale samspillet i trafikksystemet mellom trafikanter, kjøretøy og vei. Pilene illustrerer at vinden kan overvåkes, men ikke styres.

2.2 Hendelsesforløpet

Undersøkelsen viser at bussen under kjøring i sterk sidevind med kraftige vindkast ble utsatt for så store aerodynamiske løft- og sidekrefter at forhjulene mistet veigrepet. Havarikommisjonen fant ingen tekniske feil eller mangler ved bussen som kunne forklare hendelsesforløpet. Det var kraftig sidevind (stormkast) på ulykkestidspunktet og veibanen var isdekket. Føreren har forklart i samtale med SHT at han opplevde at vinden tok tak i bussen og at han ikke klarte å styre bussen tilbake på veien. Den kraftige vinden bekreftes også blant annet av vitnet i den møtende varebil.

Føreren opplevde føreforholdene og den sterke vinden som meget vanskelig da han kom opp på Dovre. Han tilpasset derfor hastigheten til omkring 50-60 km/t, samt la bussen helt til venstre i veibanen for å få større marginer sideveis for vinden som kom fra venstre.

Omkring 100 m før stedet hvor bussen stoppet etter ulykken ble bussen utsatt for så kraftig sidevind fra venstre at den mistet veigrepet på forhjulene og sjåføren mistet styringsmulighetene. Under disse forholdene hadde ikke bussføreren noen muligheter til å få kontroll på bussen igjen. Bussen gikk ut av veien i en hastighet på ca. 50 km/t. Den fortsatte videre i grøften i ca. 10-15 m samtidig som hastigheten ble redusert helt ned til ca. 7 km/t. Deretter veltet bussen og ble liggende på høyre side. Skader og skrapemerker på høyre side viser at bussen har beveget seg noe på skrå forover mot høyre etter at den veltet.

2.3 Vinden

Modellkjøringen til Storm viser at vær-situasjonen på Fokstua kan karakteriseres ved fenomenet ”downslope windstorms”, der kraftig vind kommer ned fjellsiden og kan forårsake kraftige vindkast. Storm har konkludert med at bussen kan ha vært utsatt for et eller flere vindkast på opptil 25 m/s. Observasjoner fra vær-stasjonen på Fokstua viser at det var sørøstlig vind på ulykkesstedet. Imidlertid kan retningen på vindkastene ha hatt en noe annen retning enn middelvinden slik at den mest ugunstige vindretningen kan ha forekommet.

På ulykkesstedet er veibanen opphøyd i forhold til det omkringliggende terrenget. Dette medførte sannsynligvis at vindhastigheten økte ytterligere da vinden passerte forhøyningen. Dette kan ha forverret kraftpåvirkningen på bussen med høyere vindhastighet og i tillegg en vertikal komponent. Disse momentene er ikke tatt inn i SHTs beregninger.

Storms meteorologiske undersøkelse viser at forekomsten av middelvind over 15 m/s er stor når vinden blåser i sør-sørøstlig retning på Fokstua. De sterkeste kastene forekommer oftest der middelvinden også er sterk, noe som understreker at vind fra sør-sørøstlig retning kan være problematisk på Fokstua. Ut i fra Storms undersøkelse konkluderer SHT at værforholdene som ble registrert på Fokstua ulykkesdagen ikke var ”unormale”, men at man må regne med at slike vindforhold kan forekomme flere ganger i året.

2.4 Friksjonsforhold

Det ble ikke foretatt friksjonsmålinger på veien verken før eller etter ulykken skjedde. Storms beregninger viser at ved vindstyrke 25 m/s, total vindvinkel 30 grader og

busshastighet 54 km/t måtte friksjonen være minst 0,23 for å holde ulykkesbussen på veien. SHT mener derfor det er dokumentert at friksjonen var mindre enn denne verdien på ulykkestidspunktet, noe som bekreftes av vitner på ulykkesstedet. Det er etter SHTs mening sannsynlig at friksjonen var under $\mu=0,2$. Analysen fra CFD Norway indikerer at den kanskje også var nærmere $\mu = 0,1$.

2.5 Bussen

2.5.1 Bruk av busstype

Etter at ulykken skjedde ble det stilt spørsmål ved hvordan kjøreegenskapene hos høye to etasjes busser påvirkes av sidevind kontra en lavere enetasjes buss. SHTs undersøkelse har derfor sett nærmere på dette.

Storms beregninger (gitt de aerodynamiske koeffisientene brukt i FFA-rapporten) viser at maksimal kritisk friksjonskoeffisient for framhjul ligger ca. 30 prosent lavere for en lav buss (3 m) kontra en høy buss (4 m). Oppbygde, høye enetasjesbusser som brukes til ekspress- og turbusskjøring har ofte en høyde omkring 3,60-3,70 m. Forskjellen på en to etasjes buss med høyde 4,0 m og en høy en etasjes turbuss er derfor ikke vesentlig.

SHT mener likevel at de noe lavere enetasjes bussene gir en større sikkerhetsmargin i forhold til høye to etasjes busser med hensyn til sidevindstyrke og kritisk friksjon på grunn av det totale arealet.

Kraftig sidevind gir store side- og løftekrefter langs hele bussens lengde. Derfor har bussens vektfordeling mellom for og bakaksel betydning i forhold til muligheten for å styre bussen. Bussens vektfordeling er i stor grad bestemt av motorens plassering, og på ulykkesbussen var denne plassert helt bak. Bussens aksestrykkfordeling var for tom buss kun ca. 30 % på framaksel. I dette aktuelle tilfellet var aksestrykkfordeling i bussen med passasjerer også omkring 30 % på framaksel.

Vektfordelingen mellom front- og bakaksel påvirker således de ulike akslenes evne til å ta opp sidekrefter. Siden vektfordelingen i bussen påvirkes av antall passasjerer i bussen og deres plassering, samt mengde og plassering av gods, er det viktig at det også fokuseres på dette. I to etasjes busser plasseres gods helt bak i bussen, mens passasjerene sitter fritt. SHT mener at dette kan være uheldig da bussjåføren dermed har liten kontroll på bussens vektfordeling. SHT mener at sikkerhetsmarginene vil kunne økes ved at bussfører i større grad bestemmer passasjerenes plassering. Ved å fylle opp bussen nedenfra og forfra først vil tyngdepunkt i både vertikal og horisontal retning kunne påvirkes positivt mht kjøreegenskaper. Ref. den svenske undersøkelsen (Petzäll m.fl., 2005) av 10 bussulykker som fant at forflytning av bussens tyngdepunkt bakover med 10 % øker den nødvendige friksjonskoeffisient med 45 %.

2.5.2 Dekkutrustning

Storms undersøkelse viser at den største sensitiviteten av kritisk friksjonskoeffisient finnes med hensyn på sidekraften. Av dette følger også at bussens dekkustrustning har stor betydning for bussens evne til å holde seg på veien i sterk sidevind med nedsatt friksjonsegenskaper på veien. Den involverte bussen var utstyrt med gode vinterdekk uten pigger, men SHT mener at vinterdekk med pigger, spesielt på bussens framhjul, vil kunne øke sikkerhetsmarginene ved kjøring under slike vær- og føreforhold som observert på ulykkestidspunktet.

UniBuss har etter ulykken innført piggedekk som standard utrustning i vintersesongen for busser som trafikkerer Dovre og Hardangervidda.

2.5.3 Nødutganger.

Dette omtales under evakuering og redningsarbeid i kap. 2.8.2.

2.6 **Bussføreren**

Bussføreren hadde ervervet førerkort for buss i 1991 og kan betraktes som en erfaren sjåfør. Imidlertid var sjåføren relativt nyansatt i selskapet (ansatt i ni måneder), og hadde ikke kjørt to etasjes busser tidligere.

SHT mener at slik værforholdene var på Dovrefjell det aktuelle tidspunktet burde ikke bussen vært kjørt over fjellet. Imidlertid hadde ikke bussføreren denne kunnskapen før ulykken inntraff. Føreren hadde ingen objektiv informasjon om hvor sterk vinden var eller hvor glatt det var på veibanen utover det han selv opplevde og vurderte på kjøreturen. Føreren hadde heller ikke gjennomgått intern opplæring og trening fra busselskapets side vedrørende kjøring av bussen i sterk sidevind og glatt veibane.

SHT finner at bussføreren ikke hadde tilstrekkelig beslutningsgrunnlag til å ta den sikkerhetskritiske beslutningen om å ikke kjøre over fjellet. Beslutningsgrunnlaget burde vært gitt gjennom informasjon om vind- og føreforhold fra veiholders side, samt instruksjoner, opplæring og trening fra busselskapet vedrørende bussens tåleevne og grenser i sidevind. SHT mener det er meget betenkelig at en bussjåfør som har ansvar for sikkerheten til 70 passasjerer ikke gis bedre grunnlag å basere sine beslutninger på.

Både sjåfører i selskapet og ledelsen har påpekt at tidtabellen var veiledende og at bussen ikke skulle direkte videre fra Oslo på en annen tur. SHT mener derfor at føreren ikke var utsatt for tidspress fra selskapets side. Imidlertid mener SHT at sjåførene i Lavprisekspresen generelt kan oppleve et tidspress fra passasjerene som har en forventning om å komme fram til angitt tidspunkt.

2.7 **Drift og vedlikehold av vei**

2.7.1 Utførte tiltak

Mesta AS er ansvarlig entreprenør for drift og vedlikehold av E6 gjennom en drift og vedlikeholdskontrakt med funksjonsansvar inngått med Statens vegvesen. Mestas redegjørelse viser at E6 over Dovrefjell verken ble saltet eller strødd før ulykken da Mesta hadde vurdert at den sterke vinden ville blåse strømmiddelet av veien uten å gi noen effekt. Byggherre har i ettertid ikke gitt entreprenøren økonomisk sanksjon i forhold til om Mesta kunne gjort tiltak for å bedre friksjonen.

Undersøkelsen viser likevel at friksjonen på ulykkesstedet mest sannsynlig var under 0,2, dvs. lavere enn det som er kravet i funksjonskontrakten. SHT mener derfor at entreprenøren i dette tilfellet burde ha meldt fra til Statens vegvesen at de ikke var i stand til å holde friksjonskravene på strekningen slik at eventuelt andre tiltak kunne iverksettes.

Funksjonskontrakten som Statens vegvesen har inngått med Mesta stiller krav til at friksjonsforbedrende tiltak skal gjennomføres, ikke til metode. Statens vegvesen Region øst har i sin vurdering vært usikker på hvilke metoder som kunne gitt bedre friksjon på

veibanen under vinden som var. Både befuktet sand eller salt, samt grus eller varmsand er nevnt. SHT mener det er uheldig at entreprenøren ikke vurderte alternative friksjonsforbedrende tiltak i større grad under de rådende forhold på ulykkestidspunktet.

Det er de spesielle forholdene med kombinasjonen sterk vind og lav friksjon som til sammen gir store utfordringer for kjørende, noe som tilsier at det bør legges ekstra innsats i å opprettholde tilfredsstillende friksjonsforhold. SHT har merket seg at det både hos Statens vegvesen og Mesta er forventninger til at varmsandforsøket skal gi bedre resultater i kommende sesong gjennom forbedring av utstyr.

Det er SHTs oppfatning at selv om drift og vedlikehold av vei utføres av en entreprenør, ligger det overordnede sikkerhetsansvaret hos Statens vegvesen, som er veiforvalter. SHT mener derfor at Statens vegvesen generelt bør ta et betydelig ansvar for å utrede friksjonsforbedrende metoder og utstyr som entreprenørene kan anvende ved glatt veibane og sterk sidevind.

2.7.2 Vurdering av vindforhold

Det ble registrert mer vind enn meteogrammet tilsa da Mestas operatør kjørte over E6 Dovrefjell om kvelden 23. november, men vinden ble ikke ansett så sterk at det kunne bli problematisk for trafikken. Mesta vurderte aldri å stenge veien siden meteogrammet tilsa vind opptil 10 m/s og kun ubetydelig nedbør.

Det ble ikke hentet ut data fra meteorologiske observasjoner etter at veistrekningen var befart om kvelden. Dette er etter SHTs mening betenkelig. Slike data kan i følge Storm oversendes automatisk etter bestilling, og dette gir verdifull informasjon i overgangen mellom prognose og faktiske værforhold.

Entreprenøren, som er kjent og erfaren i området, bør ta hensyn til at forholdene på fjellet snur fort og at det kan blåse kraftig. Spesielt gjelder dette på Fokstua når vinden kommer fra sør-sørvestlig retning. SHT mener derfor det er viktig at entreprenøren som drifter denne veistrekningen følger opp forholdene kontinuerlig med hensyn på vind og setter dette i sammenheng med friksjon.

Storms undersøkelse viser at det er store variasjoner i vindforholdene på Dovrefjell, og at vindforholdene på Avsjøen og Hjerkinns er lite representative for vindforholdene på Fokstua og på ulykkesstedet. Ved ulykkestidspunktet var derfor Avsjøen- og Hjerkinnsobservasjonene til liten hjelp i vurderingen av vindforholdene på ulykkesstedet, de viste alt for svak vind. SHT mener derfor at entreprenøren også bør hente ut data fra Meteorologisk institutts værstasjon på Fokstua. Det er muligens også en svakhet med hensyn på drifting av veien at det ikke lages eget meteogram for Fokstua.

Det er SHTs oppfatning at funksjonskontrakten bør inneholde retningslinjer for entreprenøren med hensyn på hvilke hjelpemidler som skal benyttes, og hvor ofte de skal sjekkes, for å overvåke vær- og føreforholdene på E6 over Dovrefjell. SHT ser et behov for mer bevisst bruk av værdata og prognoser. I denne forbindelse er det også viktig å peke på at kunnskap og tolking av værdata må vektlegges gjennom intern opplæring.

2.7.3 Stenging av vei

Det ble registrert mer vind enn meteogrammet tilsa da Mestas operatør kjørte over E6 Dovrefjell om kvelden 23. november, men vinden ble ikke ansett så sterk at det kunne bli problematisk for trafikken. Mesta vurderte aldri at det kunne være nødvendig å stenge veien siden meteogrammet fra Avsjøen tilsa opptil 10 m/s og kun ubetydelig nedbør. Samtidig ble ikke veien strødd med den begrunnelse at den sterke vinden ville blåse strømiddelet av veien uten å gi noen effekt. SHT finner det betenkelig at entreprenøren ikke nøyere vurderte konsekvensene kombinasjonen av manglende strøing og sterk vind kunne få for trafikken over fjellet.

Havarikommisjonen vurderer at Statens vegvesens retningslinjer for kjørerestriksjoner eller stenging av vei er utilstrekkelige sett i relasjon til de forholdene som var på Dovrefjell ulykkesdagen. Vurderingene om veien skal stenges ved uvær er normalt relatert til nedbør/snø og faren for at biler kan sette seg fast, siktforhold og kombinasjonen av dette.

Det kan synes som om Statens vegvesen ikke har tatt stilling til kombinasjonen av glatt veibane og sterk sidevind, og den innvirkning dette kan ha spesielt på høye og store kjøretøy. SHT mener i denne forbindelse at Statens vegvesen bør fastsette grenseverdier for vindstyrke relatert til friksjon i forhold til stenging av vei.

I 2006 var det registrert hele fire forekomster av middelvind over 24 m/s på Fokstua, men i følge Statens vegvesen var det kun én midlertidig veistenging dette året. SHT mener at Statens vegvesen bør ta større hensyn til at dette er en viktig stamvei med mye busstrafikk.

Midlertidige veistenginger eller andre former for restriksjoner, for eksempel begrensninger i forhold til type kjøretøy, bør etter SHTs mening vurderes brukt oftere og de bør være basert på de faktiske registrerte vind- og føreforhold på veien og ikke på prognoser fra meteogrammer. Dette betinger imidlertid at det etableres en viss beredskap som sikrer kort beslutningstid dersom værforholdene skulle kreve dette.

2.7.4 Trafikantinformasjon

Oppdatert trafikantinformasjon om vindforholdene var ikke tilgjengelig for bussføreren. Trafikantene får etter SHTs mening mangelfull informasjon om de faktiske vind- og føreforholdene over Dovrefjell utover egne observasjoner.

SHT mener at forsterket informasjon om kombinasjonen vind- og føreforhold vil kunne gi trafikantene bedre beslutningsgrunnlag i forhold til egen kjøreatferd, blant annet hastighetsvalg. Spesielt i de tilfeller Statens vegvesen velger å ikke stenge veien ved sterk vind alene vil denne informasjonen ha stor betydning for å opprettholde god trafikksikkerhet. Den enkelte fører gis da et bedre grunnlag for å vurdere om eget kjøretøy kan takle forholdene som venter.

Med den vindsituasjonen som Storm har kartlagt for Fokstua mener SHT at Statens vegvesen bør vurdere en bedre måte å informere og varsle trafikantene om vindforholdene, herunder både middelvind, vindretning og maks vindkast siste time. Det er ikke tilstrekkelig å ta hensyn til middelvind. Undersøkelsen viser at vindkastene gir store utslag i dette området.

I tillegg bør Statens vegvesen etter SHTs oppfatning generelt tilstrebe å gi trafikantene lettere tilgjengelig og mer oppdatert informasjon om vei- og føreforholdene på krevende veistrekninger.

Oppsetting av vindpølser på de mest kritiske stedene, slik det nå er gjort, gir en klarere indikasjon på de stedlige vindforhold. Imidlertid gir vindpølser liten informasjon om vindstyrken (både middelvind og vindkast). SHT etterlyser derfor mer avanserte vindvarslingssystemer som gir førerne lett tilgang til mer presis vindinformasjon, og dette er særlig viktig for store vindutsatte kjøretøy som eksempelvis ekspressbuss.

2.8 Overlevelsesaspekter

2.8.1 Energivurdering

Bussen gikk ut av veien i en hastighet på ca. 50 km/t og kjørte deretter videre i grøften i ca. 10-15 m før den veltet i meget lav hastighet. Det var lite stoppenergi i lengderetningen/kjøreretningen. Bussen stod nesten stille i det den la seg over på siden. Det var heller ikke mye utløst energi i det bussen la seg over på siden, likevel oppstod det betydelige skader på noen passasjerer. Skader på passasjerer oppstod da de som ikke var fastspente ble kastet mot høyre side i det bussen traff bakken. Størst skader oppstod på personer i bussens andre etasje som hadde størst fallhøyde.

2.8.2 Evakuering og redningsarbeid

I andre bussulykker med velt beskrives evakuering som en utfordring og til dels som problematisk. Spesielt kan problemer oppstå dersom takluker blir pakket inn til av snø eller vegetasjon, eller dersom bussen ligger over på taket slik at takluker er delvis eller helt tildekket.

I dette tilfellet var taklukene fri for evakuering, men følgende problemstillinger oppstod likevel:

- Passasjerene i første etasje måtte over i andre etasje for å kunne evakuere bussen. Det var ingen direkte evakueringsmuligheter fra første etasje når bussen lå på høyre side.
- Det var vanskelig å få passasjer opp i andre etasje, særlig de som var skadet.
- Det var vanskelig å knuse/sparke ut takluker og vindusruter. Passasjerene opplevde at hammerne som var i bussen var for svake/lette.
- Det var til dels vanskelig å komme ut gjennom takluker da det var knust glass igjen rundt åpningene.
- Redningsarbeidet ble vanskeliggjort av dårlige vær- og føreforhold.

Et moment som hadde betydning for at evakueringen gikk så bra var at mange av passasjerene var relativt unge og funksjonsfriske.

SHT bemerker også at tiden det tok (43 minutter) fra helsepersonell ankom, til de to alvorligst skadde pasientene ble evakuert fra skadested kan virke noe lenge ut i fra retningslinjene i Prehospital Trauma Life Support (PTLS).

2.8.3 Bilbeltebruk

Undersøkelsen viser at mange av passasjerene ikke brukte bilbelte. Dette til tross for at det var montert topunksbelter i alle seter i bussen, og at passasjerene ble påminnet bilbeltepåbudet av sjåføren. Ingen av passasjerene som brukte bilbelte ble alvorlig skadet. Dette indikerer at selv bruk av topunksbelte har skadeforebyggende funksjon i bussvelter med lav energimengde. Samtidig vil SHT påpeke at busselskaper bør tilstrebe trepunktsbelter ved nyanskaffelser, da topunksbelter ikke fungerer tilsvarende bra i ulykker med store energimengder og kollisjonskrefter.

2.8.4 Krav til nødutganger

Kravene som gjelder for antall nødutgangsvinduer og takluker gjelder for hele bussen totalt sett. SHT mener det er et sikkerhetsproblem at det er tilnærmet umulig å evakuere direkte fra første etasje når bussen ligger på siden. Det er i prinsippet evakueringsmuligheter fra 1. etasje gjennom sideruter, men da disse peker oppover når bussen ligger på siden er de i praksis vanskelig å åpne og også å evakuere gjennom. Det finnes ikke stige eller annen anordning for å klatre opp til disse rutene, og beskyttelse mot glassprut ved knusing av ruten er også mangelfullt.

Havarikommisjonen mener at det bør stilles spesifikke krav til evakuering og nødutganger slik at direkte rømning fra første etasje er mulig i praksis. Dette vil være spesielt viktig dersom det oppstår brann, eller dersom passasjerene i bussen i mindre grad kan hjelpe seg selv og andre (eksempelvis ved transport av eldre og funksjonshemmede). SHT mener derfor at Statens vegvesen bør arbeide for å påvirke til forbedringer i bussdirektivet som sikrer rask rømning for alle passasjerer i busser.

2.9 **Busselskapet**

2.9.1 Håndtering av ulykken

Havarikommisjonen vil berømme selskapet for innsatsen i forbindelse med ulykken, samt deres oppfølging i ettertid. SHTs oppfatning er at busselskapet ønsker å ta lærdom av ulykken og er også kjent med at det er iverksatt flere tiltak umiddelbart etter ulykken.

2.9.2 Sikkerhetsoppfølging

Ved gjennomgang av Sporveisbussenes internkontrollsystem for HMS virker dette grundig og systematisk. Imidlertid mener SHT at HMS ikke har blitt ivaretatt på tilsvarende måte i Arctic Express. Undersøkelsen viser at busselskapet ikke hadde etablert et opplæringsprogram for sjåførene på Lavpriseksiexpressen.

SHT mener at busselskapet ikke hadde tatt tilstrekkelig alvorlig den risiko som ekspressbusskjøring med to etasjes buss kan innebære. Denne type kjøring med forholdsvis høy hastighet, mange passasjerer og spesielt kjøremateriell innebærer i utgangspunktet strengere krav til sikkerhet og profesjonalitet i alle ledd. Det kan synes som om selskapet i for stor grad har støttet seg på at de har ansatt erfarne sjåførere i Arctic Express, og således ikke har forstått at disse sjåførene, som har en betydelig sikkerhetskritisk funksjon, har behov for spesiell opplæring og oppfølging.

Selskapet hadde ikke foretatt noen dokumentert sikkerhetsgjennomgang når det gjelder risikoen ved kjøring med to etasjes buss over Dovrefjell. SHT savner en slik vurdering

som tar hensyn til bussens egenskaper og dekkutrustning, føreforhold og vær/vindforhold. SHT mener også at selskapet manglet operative retningslinjer for sjåførene på Lavprisekspressen. I et selskap som kjører to etasjes buss over Dovrefjell daglig, mener SHT at man burde forvente at vær- og vindforhold var et fokusområde. Dette burde gjenspeile seg i enkle operative instruksjoner som gir gode forklaringer på betydningen av ulike kombinasjoner føre og siktforhold sett i sammenheng med vind, samt obligatorisk opplæring og trening for sjåførene knyttet til dette.

Det er etter SHTs mening også betenkelig at selskapet ikke hadde trent sjåførene i evakuering av en to etasjes buss, samt holdt jevnlig øvelser i denne forbindelse. I dette tilfellet gikk det etter forholdene bra, men dersom det hadde oppstått brann, eller dersom noen av passasjerene var bevegelsehemmede, vil bussførerens håndtering av situasjonen kunne ha avgjørende betydning.

2.10 Sikkerhetsledelse og myndighetskrav

I følge yrkestransportloven gir Samferdselsdepartementet (som løyvemyndighet) løyve til rutetransport som går gjennom to eller flere fylker. Løyve tildeles på bakgrunn av søkerens vandel, økonomiske evne og faglige kompetanse. Arbeidsmiljøloven setter krav til HMS-arbeidet i bussvirksomheten, og herunder fastsetter internkontrollforskriften at arbeidsgiver har ansvar for å innføre og vedlikeholde et system for internkontroll.

Myndighetskravene som gjelder for selskaper som driver persontransport i rute omfatter ikke krav til et system for sikkerhetsledelse som skal ivareta den totale trafikksikkerheten i forbindelse med selskapets virksomhet. Følgelig hadde heller ikke Arctic Express etablert et slikt system. SHT mener at dette burde være obligatorisk for selskaper som driver offentlig persontransport.

Et system for sikkerhetsledelse har til hensikt å: 1) kartlegge farer/risikobidrag, 2) påse at de nødvendige forhåndsregler for å minske farene/risikomomentene blir tatt, samt 3) tilrettelegge for kontinuerlig overvåking og regelmessig vurdering av sikkerhetsnivået.

Havarikommisjonen savner klarere sikkerhetsmessige krav til virksomheter som driver persontransport på vei. Slike krav finnes til operatører innenfor luftfart- og jernebanedrift. SHT mener at busselskaper burde følges opp i like stor grad, med blant annet krav til bruk av transportmateriell, og godkjenningsordning av busselskapers organisering og bevissthet til eget sikkerhetssystem. Det finnes heller ikke noe etablert tilsyn som følger opp den trafikksikkerhetsmessige delen av busselskapers virksomhet.

SHT mener at manglende oppfølging av busselskapers trafikksikkerhetsmessige virksomhet til en viss grad kan kompenseres med strengere krav til løyvesøkere. SHT mener at krav til større sikkerhet eksempelvis kan inngå som et kriterium ved tildeling av løyve.

Det bør som minimum stilles krav om at løyve for persontransport kun tildeles søkere som har etablert et system for sikkerhetsledelse. Det bør også kunne stilles krav til at selskapet har tilstrekkelige økonomiske evner til å ivareta den trafikksikkerhetsmessige delen av virksomheten. I tillegg kan det stilles krav om at søkere skal dokumentere driften gjennom en risikoanalyse med identifikasjon av farer/risikobidrag, samt forslag til kompensierende tiltak for den aktuelle rutestrekningen.

2.11 Barriereanalyse relatert til vindkrefter på busser

Undersøkelsen viser at en høy to etasjes buss under kjøring i sterk sidevind ble utsatt for så store aerodynamiske løft- og sidekrefter at framhjulene mistet veigrepet. Dette er et sikkerhetsproblem som særlig gjelder i kombinasjon med redusert friksjon på veien. Det foreligger i slike tilfeller også stor risiko for at bussen kjører ut av veien eller over i motsatt kjørefelt uten at føreren har noen mulighet til å forhindre dette. Dette kan skje uten forvarsel med en buss som er i forskriftsmessig og god teknisk stand, under ellers normale forhold og på rett veistrekning. De ombordværende passasjerer utsettes i slike tilfeller for stor risiko.

Foruten bussens aerodynamiske form er det føreforhold, sidevindens styrke og retning, bussens fart, dekkutrustning samt vekt og tyngdepunktsfordeling som er avgjørende for om risikoen foreligger. Ettersom førerne selv kan påvirke flere av faktorene som har betydning er det viktig at det utarbeides instruksjoner og eventuelt settes restriksjoner for kjøring i sterk sidevind og med glatt veibane.

SHT mener det er et avgjørende behov for bussfører å ha et godt beslutningsgrunnlag dersom bussen må stoppes eller det må kjøres alternativ rute på grunn av dårlige vær- og føreforhold. For det første må sjåføren få objektiv informasjon om vær- og føreforhold, og for det andre må det etableres retningslinjer og instruksjoner i selskapet for hastighetsrestriksjoner (eventuelt når trafikken skal innstilles) med den aktuelle bussen. Selv om mange førere gjennom sin erfaring har god kjennskap til hvordan bussen bør kjøres i forhold til veiforholdene, kan det i praksis være vanskelig for den enkelte sjåfør å identifisere kritisk hastighet.

Innen flytrafikk finnes det restriksjoner for når flygere får starte og lande flyet med hensyn til vanskelige vind- og baneforhold. Det burde være mulig å utarbeide lignende hjelpemiddel for bussførere for å bestemme høyeste tillatte hastighet og beste lastfordeling i bussen, basert på rådende vind-, vei- og føreforhold. Informasjon om fordeling av last på bussens aksler, samt operative retningslinjer kan gi bussføreren en indikasjon på hvilke kombinasjoner av tilgjengelig friksjon og størrelse på sidevind som bussen kan tåle uten å sette passasjerer og andre trafikanter i fare.

SHT tror at operative instruksjoner og eventuelt restriksjoner av denne typen, og som tar hensyn til trafiksikkerheten, vil aksepteres av både passasjerer og busselskap. Det vil også lede til større forståelse for at tidstabeller ikke alltid kan overholdes. Slike forbehold kan også tas inn i tidstabellen.

Det forekommer store ulikheter vedrørende bussers utforming, anvendelsesområde og kjøremåte. Ansvaret for å utarbeide retningslinjer og lære opp sjåførene påhviler derfor de enkelte busselskapene som eiere og brukere av materiellet. SHT kjenner til at TL spiller en aktiv rolle i Norge når det gjelder å utvikle en felles sikkerhetspolicy for busselskaper og oppfordrer til at dette også innrettes mot trafikkerings under særlige vanskelige vær- og føreforhold.

3. KONKLUSJON

Havarikommisjonen skiller mellom **operative og tekniske** faktorer som er hendelser og forhold i hendelsesforløpet som enkeltvis eller i kombinasjon medvirket til ulykken, **bakenforliggende** faktorer som forklarer hvorfor de operative og tekniske faktorer var tilstede eller oppsto i hendelsesforløpet, og **andre undersøkelsesresultater** som vurderes som viktige sikkerhetsmessige opplysninger eller funn (men som ikke betraktes som medvirkende til denne ulykken).

3.1 Operative og tekniske faktorer

- a) Det var kraftig sidevind (storm i kast) på ulykkestidspunktet. Bussen kan ha vært utsatt for ett eller flere vindkast på opptil 25 m/s.
- b) Veibanen var isdekket. Friksjonen var mest sannsynlig under 0,2.
- c) Føreren tilpasset hastigheten til omkring 50-60 km/t, samt la bussen mot venstre i veibanen for å få større marginer sideveis fra vinden som kom fra venstre.
- d) Den kraftige sidevinden utsatte bussen for store løft- og sidekrefter slik at den mistet veigrepet på forhjulene og sjåføren mistet styringsmulighetene.
- e) Bussen kjørte ut av veien på høyre side i en hastighet på ca. 50 km/t og kjørte deretter videre i grøften i ca. 10-15 m før den veltet.
- f) Skader på passasjerer oppstod da disse ble kastet mot høyre side i det bussen veltet og traff bakken med høyre side.
- g) Ingen av passasjerene som brukte bilbelte ble alvorlig skadet.
- h) Totalt ble 30 passasjerer påført skader i forbindelse med bussvelten, hvorav fire ble alvorlig skadet.

3.2 Bakenforliggende faktorer

- a) E6 over Dovrefjell ble verken saltet eller strødd før ulykken da Mesta hadde vurdert at den sterke vinden ville blåse strømiddelet av veien uten å gi noen effekt.
- b) Oppdatert trafikantinformasjon om vind- og føreforhold var ikke tilgjengelig for bussføreren.
- c) Mesta vurderte ikke behovet for stenging av E6 over Dovrefjell da meteogram for Hjerkin og Dombås tilsa 10 m/s og kun ubetydelig nedbør.
- d) Mesta hentet ikke ut data fra meteorologiske observasjoner etter at veistrekningen var kjørt over om kvelden.
- e) Bussføreren var erfaren, men relativt nyansatt i selskapet og hadde ikke kjørt to etasjes busser tidligere.

- f) Bussføreren hadde ikke fått instruksjoner, opplæring og trening fra busselskapets side vedrørende kjøring av bussen ved sterk sidevind og glatt veibane.
- g) Busselskapet hadde ikke foretatt en dokumentert sikkerhetsgjennomgang når det gjelder risikoen ved kjøring med to etasjes buss over E6 Dovrefjell.
- h) Statens vegvesens retningslinjer for stenging av vei er utilstrekkelig i forhold til forholdene som var på E6 over Dovrefjell ulykkesdagen, og fanger ikke opp kombinasjonen av glatt veibane og sterk sidevind.

3.3 Andre undersøkelsesresultater

- a) Det var ingen tekniske feil eller mangler ved bussen etter forskriftene.
- b) Passasjerene i første etasje måtte over i andre etasje for å kunne evakuere bussen. Det var ingen direkte evakueringsmuligheter fra første etasje når bussen lå på høyre side.
- c) Bussføreren var ikke utsatt for tidspress.
- d) Værsituasjonen på Fokstua kan karakteriseres ved fenomenet ”downslope windstorms”, der kraftig vind kommer ned fjellsiden og kan forårsake kraftige vindkast.
- e) Middelvind over 15 m/s er vanlig når vinden blåser i sør-sørøstlig retning på Fokstua.
- f) Vindforholdene på værstasjonene ved Avsjøen og Hjerkins er lite representative for vindforholdene på Fokstua.
- g) Bussens vektfordeling og tyngdepunkt har betydning i forhold til nødvendig friksjon for å holde bussen på veien. Sikkerhetsmarginene økes ved å fylle opp bussen nedenfra og forfra først.
- h) Kritisk friksjonskoeffisient har betydning både for krefter i lengderetning og sideretning. Bussens dekkutrustning har også stor betydning for å kunne ta opp slike krefter på best mulig måte.
- i) Busselskapet hadde ikke trent sjåførene i evakuering av to etasjes buss.
- j) Funksjonskontrakten stiller krav til at friksjonsforbedrende tiltak skal gjennomføres, men ikke til metode.
- k) Myndighetskravene som gjelder for selskaper som driver persontransport i rute omfatter ikke krav til et system for sikkerhetsledelse som skal ivareta den totale trafikksikkerheten i forbindelse med selskapets virksomhet.

4. SIKKERHETSTILRÅDINGER

Undersøkelsen av denne veitrafikkulykken har avdekket flere områder hvor havarikommisjonen anser det som nødvendig å fremme sikkerhetstilrådinger som har til formål å forbedre trafikksikkerheten¹¹.

Sikkerhetstilråding VEI nr. 2009/01T

Oppdatert trafikantinformasjon om vindforhold på E6 over Dovrefjell var ikke tilgjengelig for bussføreren ulykkesdagen. Kombinert informasjon om vind- og føreforhold ville gitt bussføreren et bedre beslutningsgrunnlag i forhold til sikker passering over fjellet. SHT tilrår at Statens vegvesen tilrettelegger for lett tilgjengelig og oppdatert trafikantinformasjon om vind- og føreforhold på E6 over Dovrefjell spesielt, og andre fjelloverganger generelt.

Sikkerhetstilråding VEI nr. 2009/02T

E6 over Dovrefjell var ikke strødd eller saltet før ulykken da entreprenøren hadde vurdert at den sterke vinden ville blåse strømmiddelet av veien uten å gi noen effekt. Funksjonskontrakten som Statens vegvesen har inngått med entreprenøren stiller krav til at friksjonsforbedrende tiltak skal gjennomføres, ikke til metode. SHT tilrår at Statens vegvesen vurderer å sette krav til bruk av metode for friksjonsforbedring på glatt veibane i kombinasjon med sterk vind.

Sikkerhetstilråding VEI nr. 2009/03T

Vurdering av om E6 over Dovrefjell skal stenges ved uvær er normalt relatert til nedbør/snø og faren for at biler kan sette seg fast, siktforhold og kombinasjonen av dette. Statens vegvesens retningslinjer for stenging av vei er utilstrekkelig relatert til forholdene som var på E6 over Dovrefjell ulykkesdagen, og fanger ikke opp kombinasjonen av glatt veibane og sterk sidevind. SHT tilrår at Statens vegvesen vurderer å fastsette grenser for vindstyrke relatert til friksjon i forhold til kjørerestriksjoner eller stenging av E6 over Dovrefjell spesielt og fjelloverganger generelt.

Sikkerhetstilråding VEI nr. 2009/04T

Det var vanskelig å evakuere direkte fra første etasje da bussen lå på siden, og passasjerene i første etasje måtte over i andre etasje for å evakuere bussen. Dette er et sikkerhetsproblem, og særlig ved brann og/eller ved transport av bevegelseshemmede. SHT tilrår at Statens vegvesen arbeider for forbedring av bussdirektivet slik at alle passasjerer i busser gis mulighet for rask evakuering.

Sikkerhetstilråding VEI nr. 2009/05T

Myndighetskravene som gjelder for selskaper som driver persontransport med buss omfatter ikke krav til et system for sikkerhetsledelse som skal ivareta den totale trafikksikkerheten ved slik virksomhet. Følgelig hadde heller ikke Arctic Express AS etablert et slikt system. SHT tilrår at Samferdselsdepartementet vurderer å kreve innført et system for sikkerhetsledelse for selskaper som gis offentlig godkjenning for persontransport på vei.

¹¹ Undersøkelserapport oversendes Samferdselsdepartementet som treffer nødvendige tiltak for å sikre at det tas behørig hensyn til sikkerhetstilrådingene, jf. Forskrift 30. juni 2005 om offentlige undersøkelser og om varsling av trafikkulykker mv., § 14.

Sikkerhetstilråding VEI nr. 2009/06T

Selskapet hadde ikke foretatt en dokumentert sikkerhetsgjennomgang av risikoen ved kjøring med to etasjes buss over E6 Dovrefjell. Bussføreren hadde heller ikke fått instruksjoner, opplæring og trening vedrørende kjøring av bussen ved sterk sidevind og glatt veibane, samt evakuering og redning i krisesituasjoner. SHT tilrår at Lavpriseekspressen ved UniBuss Ekspress AS etablerer et system for sikkerhetsledelse som inkluderer sikkerhetsgjennomgang av alle sine rutestrekninger mht. valg og bruk av bussmateriell samt opplæring av sjåfører.

Statens Havarikommisjon for Transport

Lillestrøm, 27. januar 2009

REFERANSER

Albertsson P., Sjölander P-O., Forsberg F. (2006): Hastighetsanpassning av busstrafik vid hårda vindar. En slutrapport från prosjektet. Vägverket 2006:97.

Hollnagel, E. (2004): Barrier Analysis and Accident Prevention. Aldershot, UK: Ashgate.

Petzäll J., Albertsson P., Falkmer T., Björnstig U. (2005): Wind forces and aerodynamics: contributing factors to compromise bus and coach safety. International Journal of Crashworthiness, 2005 Vol. 10 No. 5 s. 435-444.

Statens haverikommission (SHK) (2001): Rapport RO 2001:04 Brand i buss efter trafikolycka i Fjärdhundra på länsväg 70, C län den 21 november 1998.

VEDLEGG

Vedlegg A: Forklaring til skadegradering

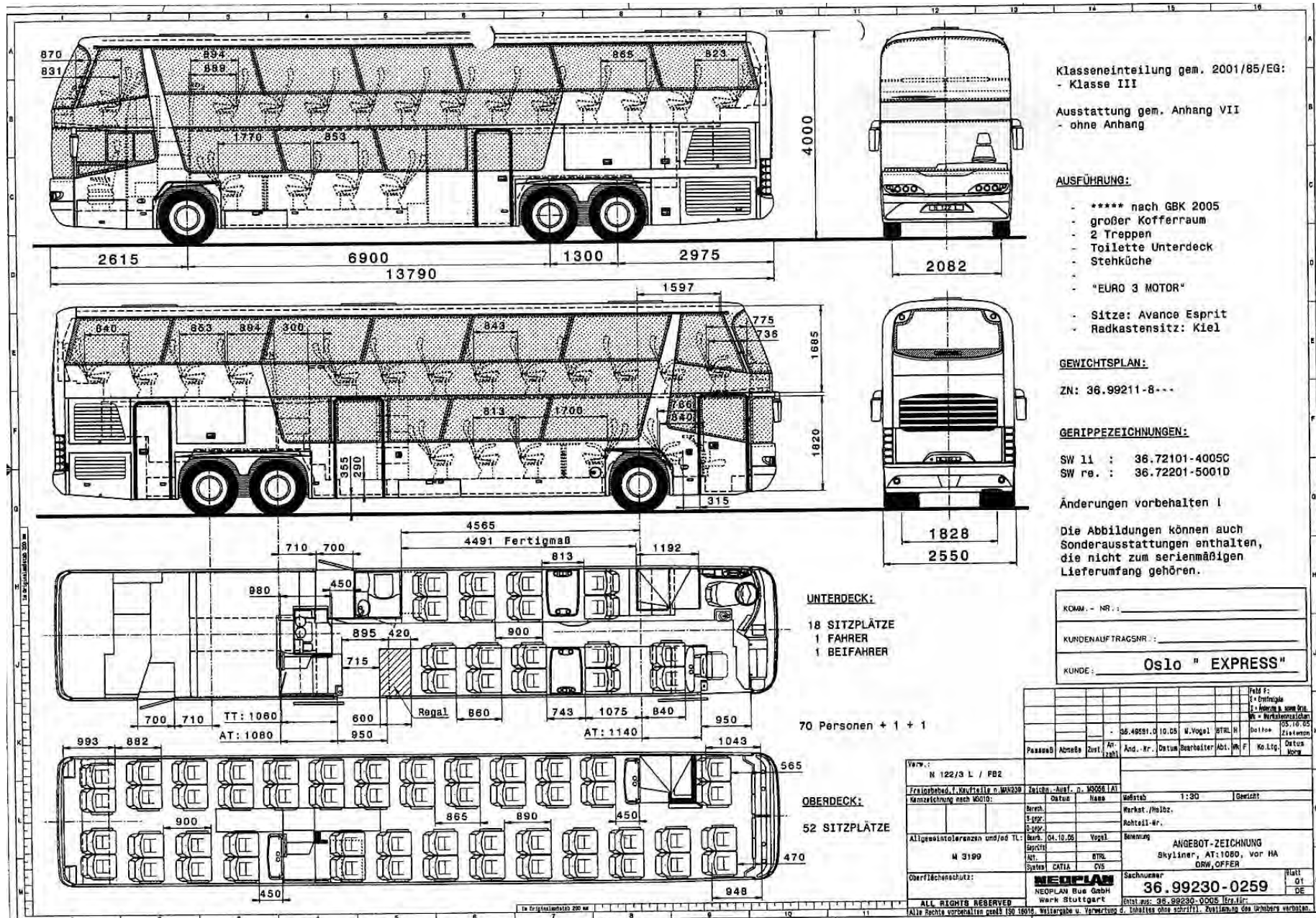
Lettere skadet: små sår, forslått, små fraktur, lettere hjernerystelse uten bevissthetstap, lettere nakkesmerter. Alle med besøk på legekantor eller legevakt.

Moderat skadet: Hjernerystelse med bevissthetstap opp til 1 min, ribbensbrudd, ukomplisert fraktur, moderate smerter over tid (nakke, rygg), øyeskader og større kutt. Alle med innleggelse sykehus eller behandlet på poliklinikk sykehus.

Alvorlig skadet: Hjernerystelse med bevissthetstap opp til 5 min, brudd i hofte, lårben, bekken osv, punktert lunge, nakke/ryggskade med smerter og mulig utfall og nedkjøling. Alle innlagt sykehus.

Meget alvorlig skadet: Truende ABC, hodeskade med bevissthetstap over 5 min med vedvarende bevissthetsvariasjoner, amputasjoner, indre blødninger (stort blodtap), brystskader med pustevansker, alvorlig nedkjøling, alvorlige skader i bekken med klinikk forenelig med blodtap osv. Innlagt sykehus.

Vedlegg B: Tegning av bussen MAN Neoplan Skyliner/N1122/3L



Vedlegg C: CFD Norway Notat 2008:07

BUSSULYKKE PÅ E6 DOVREFJELL – LAVPRISEKSPRESSEN

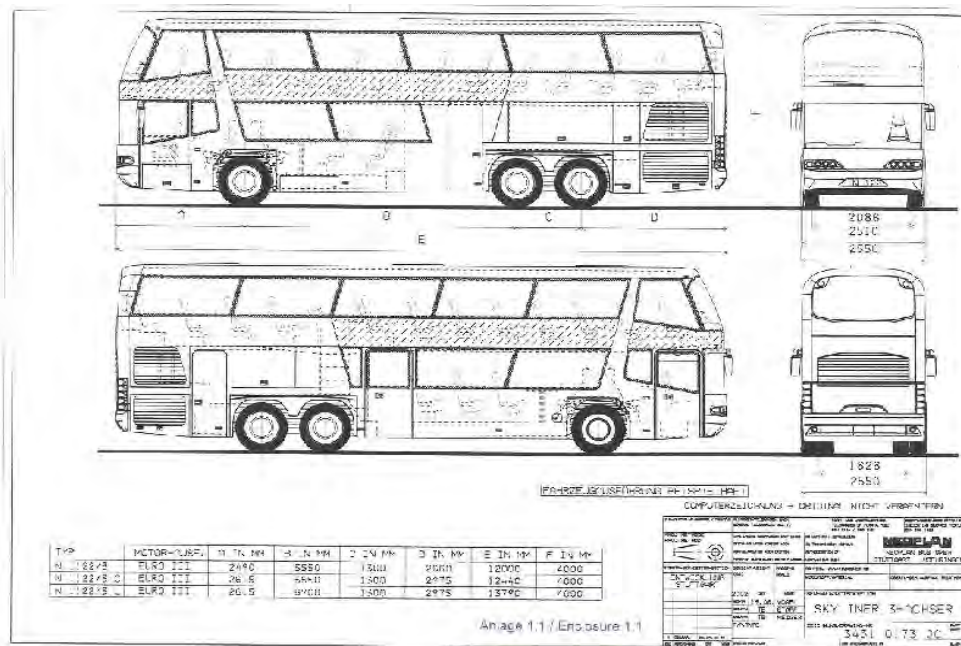
Innledning – Den 24. november 2006 kjørte en buss fra Lavprisenekspresen av veien (E6) litt sør for Fokkstua. Uhellet skjedde omkring klokka 02:00 og det blåste kraftig vind fra sør-sørøst i området, se figurene 1,2 og 3. I denne forbindelse skal det gjennomgås to rapporter [1] og [3].



Figur 1. Buss fra Lavprisenekspresen



Figur 2. Kart over ulykkesstedet (merket med pil)



Figur 3. Geometriske data for Neoplan / Skyliner

1. Rapport fra SHK/FFA [1] – Denne rapport gir en inngående beskrivelse av en bussulykke i Sverige som inntraff rundt kl. 19:00 på en vei som var dekket med bløt snø og hvor det var observert sterk sidevind. Bussen kom av veien, veltet og tok fyr. Den aerodynamiske beskrivelse er kortfattet og er basert på vindtunnelforsøk [2] av en 1:10 skalert modell. Rapport [2] har ikke vært tilgjengelig til undertegnede, men referanse [1] gir en kort oppsummering av den eksperimentelle analyse og en beregningsmodell som gir luftkrefter og nødvendige friksjonskoeffisienter som resultat for ulike retninger av relativ vind.

For en masse $m = 16\,720$ kg av bussen med passasjerer og en busshastighet og sidevind av størrelser 25 m/s (90 km/h) viser resultatene for en relativ sidevind på $\beta = 30^\circ$ følgende krefter:

Sidekraft foran – 15 703 N (1601 kg)

Sidekraft bak – 6410 N (653 kg)

Motstandskraft – 9749 N (994 kg)

Løftekraft foran – 6719 N (685 kg)

Løftekraft bak – 146 N (15 kg)

Dette gir videre de nødvendige friksjonskoeffisienter $\mu = \text{friksjonskraft} / \text{massekraft}$ som

$\mu = 0.402$ (foran)

$\mu = 0.108$ (bak)

Dette er forholdsvis lave verdier og rapporten konkluderer med at det er stor *sannsynlighet* at risken for at bussen mistet styringen ved at framhjulene mistet veigrepet.

Verdien av referanse [1] ligger derfor i de ovenfor anførte resultat siden bussens størrelse og hastighet samt vindpåkjenningen er delvis sammenlignbare med ulykken for Lavpriseksiexpressen. Den største usikkerhet ligger imidlertid i bussenes ulike front- og takutforming siden Lavpriseksiexpressen viser en rundere (og bedre aerodynamisk) konstruksjon og at dens hastighet var lavere.

2. Rapport fra Storm [3] – Her blir først vær-situasjonen ved Lavpriseksiexpressens ulykkestidspunkt modellert og dernest kreftene på bussen basert på resultat fra referanse [2].

Den første del bringer mye tung matematisk analyse og figurer fra værmodellen er ikke alltid lett forståelig. Det antydes at en kastevind opp til 25 m/s i området rundt ulykkestedet er rimelig å anta. Kjøretøy-modellen fra referanse [2] er anvendt og resultat for kritisk friksjonskoeffisient for for- og bakhjul er gitt. For relativ vindvinkel på 30° og for busshastighet på 15 m/s og vindkast på 25 m/s er verdiene oppgitt som følger:

$\mu = 0.227$ (foran)

$\mu = 0.050$ (bak)

Dette gir verdier som i størrelsesorden er halvparten av verdiene fra referanse [1], se ovenfor.

3. En forenklet analyse – Vi vil som et tillegg presentere en forenklet analyse av de aerodynamiske og dynamiske krefter som virker på bussen under antagelse av vindstyrke, vindretning og aerodynamiske koeffisienter for bussen ved ulykkestidspunktet. Det skal bemerkes at analysen baseres på overslagsverdier og at en numerisk, aerodynamisk analyse av bussen er nærliggende som et forslag. Vindkraften er også estimert til å virke normalt på bussens sideflate.

Basert på Lavprisexpressens geometriske data, Figur 3, angir vi følgende verdier:

$$\text{Frontalflate, } A_{\text{frontal}} = 10 \text{ m}^2$$

$$\text{Sideflate, } A_{\text{side}} = 55 \text{ m}^2$$

$$\text{Takflate, } A_{\text{tak}} = 35 \text{ m}^2$$

Videre definerer vi hastighetene som

$$\text{Buss, } U = 15 \text{ m/s (54 km/h)}$$

$$\text{Sidevind i kast, } V = 25 \text{ m/s (90 km/h, dvs. full storm)}$$

$$\text{Relativ vind, } V_{\text{rel}} = (15^2 + 25^2)^{1/2} = 29.2 \text{ m/s for en vindvinkel på } \beta = \arctan(15/25) = 31^\circ.$$

Luftens tetthet setter vi til

$$\rho = 1.12 \text{ kg/m}^3 \text{ (ved 930 moh)}$$

Motstandskoeffisientene C_D [-] for henholdsvis frontalflaten og sideflaten estimerer som

$$C_{D,\text{frontal}} = 0.4$$

$$C_{D,\text{side}} = 0.8$$

og løftekoeffisienten C_L [-] for bussens tak til

$$C_L = 0.2.$$

Dermed kan vi fra de generelle ligninger

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A U^2 \text{ (for luftmotstand)}$$

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L A V_{\text{rel}}^2 \text{ (for løftekraft)}$$

utregne de aerodynamiske krefter som virker på bussen som

$$D_{\text{side}} = 15\,400 \text{ N (1570 kg)}$$

$$D_{\text{frontal}} = 504 \text{ N (51 kg)}$$

$$L = 3342.3 \text{ N (340 kg)}$$

Massen av bussen henter vi ut av produsentens datablad (og referanse [1], side 29) og skriver

$$\begin{aligned} m[\text{kg}] &= m_{\text{tomvekt}} + m_{\text{passasjerer}} + m_{\text{drivstoff}} \\ &= 17\,500 + 54(84+11) + 200 = 22\,800 \text{ kg} \end{aligned}$$

Bussjåføren kjørte før ulykken på venstre side av kjørebanelen (som er en rett veistrekning uten dosering) og hvis han svingte over til høyre side, for å unngå motkjørende trafikk, vil det gi en sentrifugalkraft ut til høyre som estimeres til

$$S = mU^2/R = 5130 \text{ N (523 kg)}$$

hvor vi har antatt en svingeradius på $R = 1000 \text{ m}$ for å gi kun en størrelsesorden.

Siden bussens masse fordeles på tre aksler kan vi (igjen ut fra datablad) estimere at 30% av totalmassen er fordelt som følger:

$$m_{\text{front}} = 6840 \text{ kg}$$

$$m_{\text{bak}} = 15\,960 \text{ kg}$$

Vi kan dermed sette opp følgende tabell for friksjonskraften $F = \mu m$, dvs.

	m = 6840 kg (front)	= 15 960 kg (bak)
$\mu = 0.05$	F = 342 kg	F = 798 kg
= 0.1	= 684	= 1596
= 0.2	= 1368	= 3192
= 0.3	= 2052	= 4788
= 0.4	= 2736	= 6384

Tabellen viser at for friksjonskoeffisienter $\mu < 0.1$ må friksjonskreftene på henholdsvis framhjul og bakhjul være $F_{\text{front}} > 684 \text{ kg}$ og $F_{\text{bak}} > 1596 \text{ kg}$ for at bussen skal ha veigrep. Fordeles sidekraften $D_{\text{side}} = 1570 \text{ kg}$ av vinden likt på for- og bakhjul så vil forhjulet ligge i det kritiske område. Den halve sidekraft (785 kg) pluss den frontale motstandskraft ($D_{\text{frontal}} = 51 \text{ kg}$) vil til sammen gi en kritisk friksjonskoeffisient omkring $\mu = 0.05$ for bakhjulene. I tillegg kan løftkraften på bussen gi et forverret bilde av nødvendig friksjonskraft og spørsmålet om friksjonskoeffisienten er målt på ulykkesstedet er derfor nærliggende å stille.

Referanser

- [1] N.N., "Brand i buss efter trafikolycka i Fjärdhundra på länsväg 70, C län den 21 november 1998", Statens haverikommission (SHK), Rapport RO 2001:04, Stockholm, 2001.
- [2] Torlund, P.-Å., "Experimentell undersökning av sidvindskänsligheten av en tvåvåningsbuss i FFA's vindtunnel LT1", FFA TN 2000-05, Flygtekniska Forsöksanstalten, Bromma, 2000.
- [3] Lie, I., "Bussulykken på Dovre 24.11.2006: Beregning av vindkrefter på kjøretøy, med bruk av vindfelt fra finskala atmosfæremodeller og stokastisk genererte vindkast", Storm Weather Center, 12. oktober 2007.

29. juni 2008

Helge Nørstrud

Vedlegg D: Rapport fra Storm Weather Center: Klimatologisk undersøkelse

Se eget dokument.

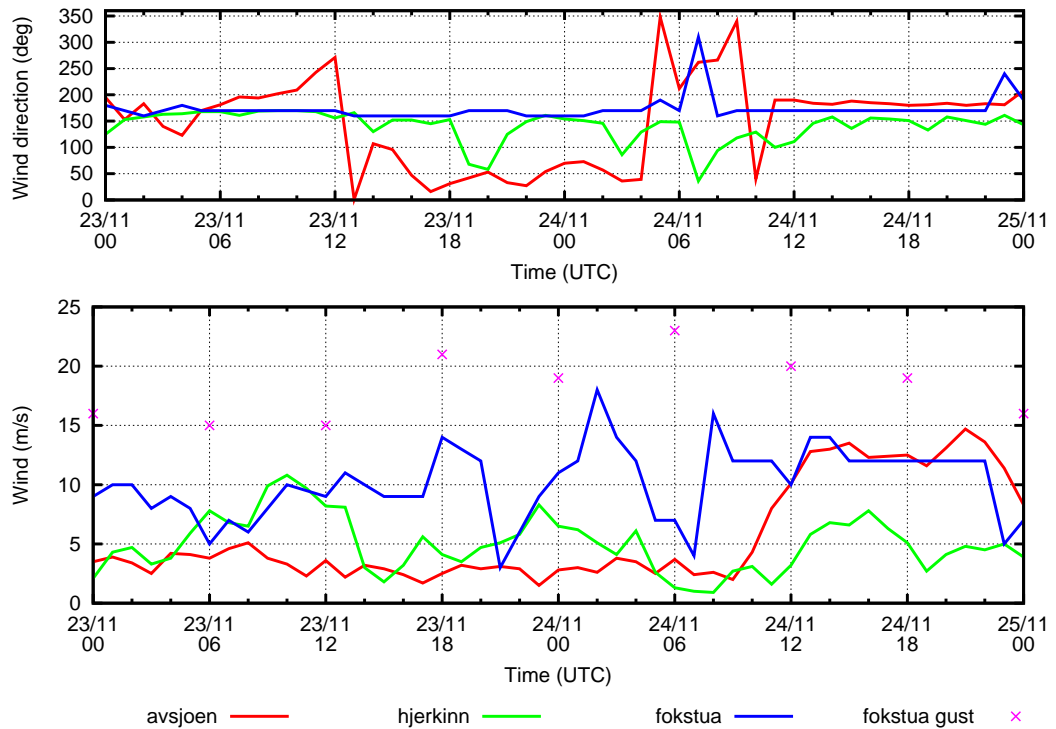
Vedlegg E: Rapport fra Storm Weather Center: Vindkrefter på kjøretøy

Se eget dokument.

Bussulykken på Dovre 24.11.2006: En klimatologisk undersøkelse av tilsvarende vindforhold

Astrid Holstad

15. oktober 2007



Innhold

1	Innledning	1
2	Prosedyre for den klimatologisk undersøkelsen av vindforholdene på Dovre	1
3	Resultater fra den klimatologisk undersøkelsen	2
3.1	Analyse av middelvinden	3
3.2	Analyse av vindretning i sterkvinds-situasjoner	4
3.3	Analyse av vindkastdata	4
3.4	Representativitet av Veivesenets stasjoner	5
3.5	Korrelasjon mellom vindforhold, temperatur og doggpunkt	5
4	Konklusjon	6
A	Histogrammer for middelvind	23
B	Histogrammer for maksimum vindkast	27

1 Innledning

Den 24.november 2006 kl. 0230 lokal tid, dvs 0130 UTC veltet en buss på Dovre i nærheten av Fokstua. SHT har igangsatt en undersøkelse av denne ulykken, og ønsker å finne svar på hvor mye det blåste ved ulykkestidspunktet, hvorvidt det var sterke vindkast, samt hvor representative disse vindforholdene er på Dovre.

Storms bidrag til denne undersøkelsen er todelt. Den ene delen består av modellering av vindforholdene det kan ha vært på Dovre ved ulykkestidspunktet med den kanadiske atmosfæremodellen MC2 med henholdsvis, 3 km, 1 km, 250 m og 75 m horisontal oppløsning for å frambringe et tilstrekkelig detaljert vindfelt til undersøkelsen. Resultatene fra modelleringen presenteres i en egen rapport, see [1].

I den klimatologiske undersøkelsen, som er tema for denne rapporten, har vi benyttet observasjoner av vind, vindretning og maksimum vindkast fra synopstasjonen på Fokstua i perioden 1.1.1997 til 17.9.2007, med det formål å finne ut hvor ofte det kan forekomme vindforhold som kan likne på de forholdene en hadde under bussulykken. Dessuten har vi analysert sammenhengen mellom vindstyrke og doggpunkts-avstanden. Den sistnevnte størrelsen kan være en indikasjon på glatt veibane.

For november 2006 har vi også hatt tilgang til observasjoner fra Veivesenets stasjoner på Hjerkin og Avsjøen. Ved å sammenligne disse observasjonene med observasjonene fra Fokstua kan vi få et inntrykk av hvordan vindforholdene kan variere over et begrenset geografisk område.

Organiseringen av denne rapporten er som følger: Kapittel 2 beskriver prosedyren vi har benyttet i undersøkelsen av vindforholdene på Dovre. Kapittel 3 går gjennom resultatene av undersøkelsen i form av figurer, tabeller og diskusjon. I kapittel 4 gjør vi forsøk på en konklusjon. Appendiks inneholder histogrammer av frekvensen av vindstyrke og maksimum vindkast observert på Fokstua. Disse er tenkt som en komplettering til figurene i kapittel 3.

2 Prosedyre for den klimatologisk undersøkelsen av vindforholdene på Dovre

Posisjonen for synopstasjonen på Fokstua (WMO stasjon nummer 1238) er $N62^{\circ} 6.87'$, $O9^{\circ} 17.24'$, og 974 m.o.h. Gjennom årene 1997-2007 har observasjonstettheten endret seg flere ganger. For en mest mulig korrekt analyse bør det tas hensyn til dette. I tidsperioden vi undersøker har obs.tettheten variert som følger:

- 1.1.1997 - 20.8.1997: Observasjoner 3 ganger i døgnet, kl. 06UTC, 12UTC og 18UTC.
- 21.8.1997 - 31.12.2002: Observasjoner 4 ganger i døgnet, kl. 00UTC, 06UTC, 12UTC, 18UTC.
- 1.1.2003 - 4.11.2003: Observasjoner hver tredje time gjennom hele døgnet, dvs. kl. 00UTC, 03UTC, 06UTC, 09UTC, 12UTC, 15UTC, 18UTC, 21UTC.
- 5.11.2003 - 2007: Observasjoner hver hele time gjennom hele døgnet.

Veivesenets stasjon på Hjerkinns har posisjon N62° 13.68', Ø9° 33.54' og 1015 m.o.h., Avsjøen har posisjonen N62° 11.65', Ø9° 28.20' og 926 m.o.h. For disse stasjonene har vi hatt observasjoner hver time gjennom november 2006.

Arbeidsplanen vi fulgte i den klimatologiske undersøkelsen er som følger:

1. Finn vindretningen og vindstyrken klokka 01 UTC og 02 UTC den 24.11.2006 observert på Fokstua. Beregn middelveidien av disse og la middelveidene være et estimat for retning og styrke klokka 0130 UTC. Vi lar disse middelveidene være et utgangspunkt for den klimatologiske undersøkelsen. I det følgende kaller vi middelveidien av vindretningen for ϕ_0 .
2. Basert på observasjonene fra Fokstua, ta ut alle observasjonene i sektorene $[\phi_0 - 15^\circ, \phi_0 + 15^\circ]$ og $[\phi_0 - 30^\circ, \phi_0 + 30^\circ]$ i månedene fra og med oktober til og med april for så mange år som mulig.
3. For hver sektor utføres følgende:
 - Plott vindstyrken som histogram.
 - Tell opp antall observasjoner over 10 m/s, over 15 m/s, over 20 m/s, og eventuelt over 24 m/s, og regn ut hvor mange ganger slike tilfeller forekommer hvert år.
 - Gjennomfør de samme to punkter for observert vindkast.
4. Undersøk hvordan vindobservasjonene på Fokstua fordeler seg i retning og hvorvidt denne fordelingen har endret seg over tid, undersøk vind over 10 m/s og over 15 m/s gjennom månedene oktober til og med april.
5. Plott observasjonene (retning og styrke) for Hjerkinns, Avsjøen og Fokstua den 23.11.2006 og 24.11.2006 for å se på forskjellene. Det samme for en litt lengre periode, f.eks. fra 15.11.2006 til 30.11.2006.
6. Analyser sammenhengen mellom sterk vind og doggpunkts-avstand for observasjoner på Hjerkinns og Fokstua. Liten doggpunkts-avstand kan indikere glatt veibane.

3 Resultater fra den klimatologisk undersøkelsen

Det er rimelig å anta at vindforholdene på ulykkesstedet ikke er så ulike vindforholdene som observeres på Fokstua.

Observasjonene kl. 01 UTC og 02 UTC den 24.11.2006 gir en middelveid av vindretningen på 165 grader, dvs. sørøstlig vind, og en middelveid av vindstyrken på 15 m/s. Vindstyrken kl. 01 UTC var 12 m/s, kl. 02 UTC hadde den økt til 18 m/s. Vindretningene var henholdsvis 160 og 170 grader.

De to sektorene vi ønsker å undersøke vindstyrke og vindkast innen tilsvarende da ± 15 grader: 150-180 grader, og ± 30 grader: 135-195 grader.

3.1 Analyse av middelvinden

Figurene 1 og 2 viser fordelingen av vindstyrke observert på Fokstua gjennom månedene oktober-april for henholdsvis årene 1997-2007, 1998-2007 og 2006 for de to sektorene. For kurvene merket **a11 obs. 1997-2007** er alle observasjoner inkludert uansett obs.tidspunkt. Statistisk sett kan dette diskuteres da årene med times observasjoner kan dominere over år med mindre obs.tetthet. Som kontroll har vi benyttet fordelingen av vindstyrken på de tidspunktene vi også har maksimum vindkast tilgjengelig, dvs. 4 ganger per døgn eller kl. 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC og 18 UTC, for perioden 4.3.1998 til 19.9.2007. Venstre panel på figur 1 og 2 viser at for vind sterkere enn 10 m/s er fordelingene forholdsvis like for ulik obs.tetthet. Sterkeste observerte vind var 25 m/s. Høyre panel viser da fordelingen av vind basert på times observasjoner og observasjoner 4 ganger i døgnet for 2006. Vi ser at frekvensen av vind > 10 m/s er høyere for 2006 enn hva langtidskurvene viser.

Tabellene 1 til 4 viser antall forekomster av vind henholdsvis større enn 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s og 24 m/s, per år i perioden 1997-2007, oktober-april, for de to sektorene. I tabell 1 og 2 er alle obs.tidspunktene tatt med, i tabell 3 og 4 er det 4 obs.tidspunkter per døgn.

Årene 2004-2006 er hele år med observasjoner hver time. Fra tabell 1 og 2 ser vi at 2006 er et år med en adskillig større forekomst av vind større enn 10 m/s enn 2004 og 2005. I ± 15 grader sektoren var det i 2006, 531 observasjoner av vind > 10 m/s, 143 observasjoner av vind > 15 m/s, 30 observasjoner av vind > 20 m/s og 4 observasjoner av vind > 24 m/s. I 2005 var det 397 observasjoner av vind > 10 m/s, 87 observasjoner av vind > 15 m/s, og 9 observasjoner av vind > 20 m/s, men ingen vind > 24 m/s. I 2004 er antall forekomster av vind > 10 m/s litt færre enn i 2005.

I ± 30 grader sektoren er antall observasjoner av vind større enn 10 m/s litt høyere, men antall observasjoner av vind større enn 15 m/s blir som for ± 15 grader sektoren. Antall forekomster av sterk vind i årene 1997-2003 er litt vanskeligere å vurdere da obs.tettheten er mindre og været kan forandre seg i større grad mellom hver observasjon. Hva vi imidlertid ser er noen få observasjoner av vind større enn 20 m/s og ingen observasjon av vind større enn 24 m/s.

Vindstyrke opptellingene i tabell 3 og 4 kan imidlertid sammenlignes for all årene 1998-2007 da obs.tettheten er den samme.

Tabell 3 for ± 15 grader sektoren viser at antall forekomster av vind større enn 10 m/s var tilnærmet den samme i årene 2000 og 2006. Året 2006 har helt klart det største antall forekomster av vind større enn 15 m/s og er det året som klart skiller seg ut med hensyn til forekomst av vind større enn 20 m/s.

Tabell 4 for ± 30 grader sektoren viser et større antall forekomster av vind større enn 10 m/s gjennom alle årene enn ± 15 grader sektor dataene. For vind større enn 15 m/s er antall forekomster den samme bortsett fra for 2005 og 2006. For vind større enn 20 m/s er antall forekomster den samme i de to sektorene. Dette er en indikasjon på at de virkelige sterke vinder i den sør-sørøstlige sektor forekommer akkurat i de vær-situasjonene mest lik den en hadde under ulykken.

3.2 Analyse av vindretning i sterkvinds-situasjoner

I dette avsnittet ønsker vi å undersøke hvordan vindobservasjonene på Fokstua fordeler seg i retning. Vi har delt sirkelen i 12 sektorer a 30 grader. Siden en er mest interessert i sterkvinds-situasjoner har vi sett på to tilfeller, vind > 10 m/s og vind > 15 m/s. Resultatene er presentert i to tabell-sett, ett for antall forekomster i hver sektor og ett med andelen av totalt antall observasjoner. Tabellene har en linje for hvert år. Som i forrige avsnitt skiller vi mellom resultater basert på alle observasjoner (ulikt obs.tetthet gjennom årene) og 6-timers observasjoner som gjør det mulig å direkte sammenligne årene. Tabellene er som følger: Tabell 5 viser antall observasjoner i sektorene der vi har brukt alle tilgjengelige observasjoner og tabell 6 viser tilsvarende tabell med andel av totalt antall observasjoner. De korresponderende tabellene for 6-timers obs.tetthet er tabell 7 og tabell 8.

Fra tabellene 5 og 6, ser vi at vind > 10 m/s forekommer i sør-sørøst sektoren i ca. 75% av tilfellene. Dette bildet endrer seg lite gjennom årene. For vind > 15 m/s, som er av mest betydning i sammenheng med ulykken, er bildet enda klarere: Omlag 99% av tilfellene forekommer i sør-sørøst sektoren. Også her er endringen gjennom årene minimal.

Tar vi for oss tabellene 7 og 8 for 6-timers obs.tetthet, der antall observasjoner er langt færre, ser vi at i hele perioden 1998-2007 er det bare 4 observasjoner av vind > 15 m/s utenfor sør-sørøst sektoren, og i 1999, 2002, 2004, 2005, 2006 og 2007 er det ingen.

Konklusjonen vi kan trekke på bakgrunn av ovennevnte data er at vind > 15 m/s for alle praktiske formål bare forekommer i sør-sørøst sektoren. Det samme gjelder for vind > 10 m/s, men spredningen er litt større. Det er ikke mulig å finne noen signifikant endring av dette bildet i det tidsrom som undersøkelsen er foretatt.

3.3 Analyse av vindkastdata

Figur 3 viser fordelingene av maksimum kast for 1998-2007 og 2006 i de to sektorene. Kast sterkere enn 20 m/s forekommer absolutt på Fokstua og frekvensen er høyere i ± 15 grader sektoren enn i ± 30 grader sektoren. Kast opptil 36 m/s er observert. I 2006 var forekomsten av kast > 20 m/s adskillig hyppigere enn hva kurven for 1998-2007 tilsier i begge sektorene.

Tabell 9 og 10 viser antall kast over henholdsvis 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s og 24 m/s i de to sektorene gjennom 1998-2007 ved obs.tidspunktene kl. 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC og 18 UTC.

Fra tabell 9, sektor ± 15 grader, ser vi at antall kast større enn 10 m/s var størst i år 2000 med 178 kast, deretter kommer 2006 med 42 kast og derpå 2004 med 132 kast. For antall kast større enn 20 m/s er rekkefølgen endret, år 2006 leder med 57 kast, deretter følger 2000 med 43 kast og 2005 med 38 kast. For kast større enn 24 m/s er rekkefølgen endret enda en gang, fram til medio september 2007 har det vært like mange kast i denne kategorien som det var i hele 2006, dvs. 15 stykker. I 2005 var det 12 kast og i 1999 samt 2001, 11 kast over 24 m/s.

Tabell 10 viser at antall kast i sektoren ± 30 grader er klart høyere enn i ± 15 grader sektoren. År 2006 har 172 kast større enn 10 m/s, 115 større enn 15 m/s og er året med flest kast over 20 m/s og 24 m/s.

I analysen har vi tatt for oss vintersesongen, fra og med oktober til og med april. Det er derfor interessant å undersøke hvorvidt antakelsen om at middelvind og vindkast er sterkest om vinteren holder stikk. Panelene på figur 4 viser vind, maksimum kast og vindretning gjennom hele 2006. Vi ser en opphopning av sterke kast i januar, november og desember. Sterkeste kastet i januar var 36 m/s observert i en periode med vindstyrke 20-25 m/s. I november ble det registrert et stort antall kast over 20 m/s med vindstyrke opptil 23 m/s. I desember var også mange av kastene over 20 m/s. Cirka 46% av tiden er vindretningen 135-225 grader, dvs. sør-sørøst til sør-sørvest.

3.4 Representativitet av Veivesenets stasjoner

Veivesenets stasjoner på Avsjøen og Hjerkinns blir brukt til å vurdere værforholdene på veien over Dovre. Selv om disse stasjonene ikke ligger langt fra Fokstua og ulykkesstedet, er det rimelig å anta at den lokale topografien i stor grad bestemmer vindforholdene. Vi ønsker derfor å se på hvor representative stasjonene på Avsjøen og Hjerkinns er for vindforholdene på ulykkesstedet, ved å sammenligne observasjonene på Avsjøen, Hjerkinns og Fokstua.

Figur 5 viser tidsserier for vindretning og vindstyrke de to døgnene 23.11.2006 kl. 00 UTC til 25.11.2006 kl. 00 UTC for Avsjøen, Hjerkinns og Fokstua med obs.tetthet hver time. For Fokstua er maksimum kast siste 6 timer markert med rosa kryss. Disse stasjonene er lokalisert innenfor et begrenset geografisk område, men observerer likevel ganske så ulike retninger og styrker. På ulykkestidspunktet observerer Avsjøen og Hjerkinns mindre enn halvparten så mye vind som Fokstua og vindretningen på Avsjøen er nærmest helt østlig, mens Hjerkinns og Fokstua har sør-sørøstlig vind. På Fokstua har det i løpet av timene fra 24.11 kl. 00 UTC til kl. 06 UTC blitt målt et vindkast på 23 m/s. Vi ser også en kraftig økning i vindstyrken, 15 m/s, fra 23.11 kl. 21 UTC til 24.11 kl. 02 UTC, cirka 30 minutter etter ulykken. Avsjøen registrerer ingen vindøkning på dette tidspunktet, men 8 timer senere etter fluktasjoner i vindretningen. Ved Hjerkinns er det en økning på 4 m/s. Figur 6 viser de samme tidsseriene for Avsjøen, Hjerkinns og Fokstua over en lengre tidsperiode, 15.11.2006 til 30.11.2006. Maksimum kast på Fokstua er markert. Panelene på denne figuren bekrefter også at de tre stasjonene kan måle vidt forskjellige vindstyrker og vindretninger.

3.5 Korrelasjon mellom vindforhold, temperatur og doggpunkt

Dette avsnittet tar for seg mulige korrelasjoner mellom sterk vind og temperaturforhold som kan indikere glatt veibane. Det er mange vær-situasjoner som kan gi glatt veibane, for eksempel avkjøling av våt veibane, snø ved temperaturer nær null og riming på kald veibane. For å få et godt bilde av slike vær-situasjoner, må en ha et omfattende observasjons-grunnlag som går utover det en har ved konvensjonelle vær-stasjoner, foruten kvalifisert tolkning av disse observasjonene.

Det vi ønsker å undersøke her er en mulig sammenheng mellom sterk vind og doggpunkt-avstand, dvs. differansen mellom lufttemperatur og doggpunktstemperatur. Observasjons-grunnlaget for en slik undersøkelse er lett tilgjengelig. Når doggpunkt-avstanden er liten er det høy fuktighet nær bakken, og hvis veibanen er kald, er det indikasjon på glatt vei.

Sterk vind og glatt vei gir vanskelige kjøreforhold, og det er av interesse å undersøke om disse to faktorene samvirker.

Ser vi først på Hjerkinns-observasjonene i døgnene 23.11.2006 og 24.11.2006 på figur 7, ser vi at rundt ulykkestidspunktet var doggpunkts-avstanden meget liten og veibanens temperatur ca. -2.5°C , noe som kan indikere glatt veibane. Ut fra de røde og blå kurvene i figur 7 er det liten eller ingen korrelasjon mellom vindstyrke og doggpunkts-avstand. I scatter-plottet på figur 8 ses dette også tydelig, i tillegg ser vi at ved sterke vinder (f.eks. $> 15 \text{ m/s}$) er aldri doggpunkts-avstanden liten. Resultatene for Avsjøen er kvalitativt de samme, og diskuteres ikke nærmere.

For Fokstua vises temperaturer og vindstyrke på figur 9 for døgnene 23.11.2006 og 24.11.2006, samt scatter-plott på figur 10. Figur 9 viser at doggpunkts-avstanden er tilnærmet konstant, men minst rundt ulykkestidspunktet. Det er også tydelig at det er minimal korrelasjon mellom vindstyrke og doggpunkts-avstand. Til forskjell fra observasjonene på Hjerkinns ser vi at selv om det er sterk vind (f.eks. $> 15 \text{ m/s}$), kan en ha liten doggpunkts-avstand, ned til 0.3°C .

Ut fra disse resultatene er det grunn til å anta at korrelasjonen mellom vindstyrke og doggpunkts-avstanden som indikator på glatt veibane, er minimal. Det er også vanskelig å finne sammenhenger mellom doggpunkts-avstandene på Hjerkinns og Fokstua. Dette peker på at det er nødvendig å ha observasjoner i Fokstua-området for å få et godt bilde av forholdene i området rundt ulykkestedet. Slike observasjoner må også være raskt tilgjengelige slik at en får et mest mulig oppdatert bilde av vanskelige værforhold.

4 Konklusjon

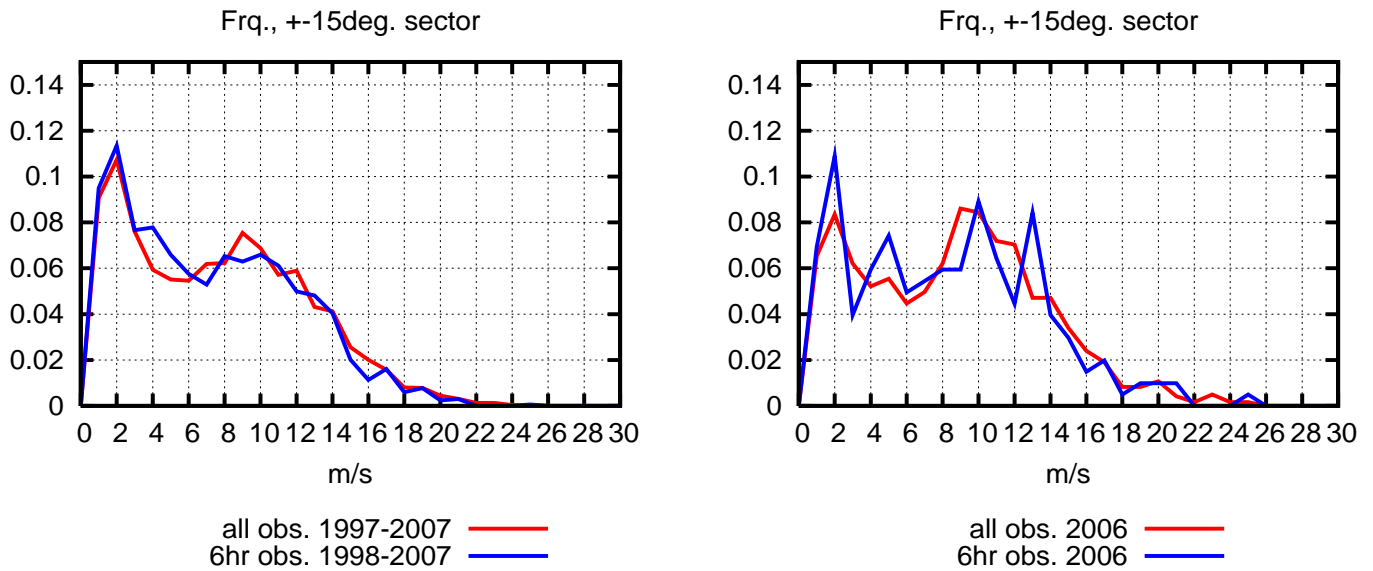
Vi har undersøkt vindforholdene på Dovre i perioden 1997 til medio september 2007 ved å analysere observasjonene på synopstasjonen på Fokstua under vindforhold som ligner det som var ved ulykkestidspunktet. Ut fra analysen kan vi konkludere:

- Forekomsten av middelvind over 15 m/s er stor i de sektorene (sør-sørøst) vi har analysert. Observasjonene på Fokstua viser at omlag 99% av vind $> 15 \text{ m/s}$ er i disse sektorene. I årene 1999, 2002, 2004, 2005, 2006 og 2007 (til og med 19.september) er det ingen forekomster av vind $> 15 \text{ m/s}$ utenfor de sektorene vi har analysert.
- I noen år, spesielt 2006, var forekomsten av middelvind $> 20 \text{ m/s}$ betydelig. Under slike vindforhold er trafikk med store kjøretøyer, slik som busser, ikke uproblematisk især når veien kan være glatt.
- I 2006 er det observert fire forekomster av middelvind over 24 m/s . Da er trafikk med store kjøretøyer farefull uansett forhold på veibanen.
- Vindkast på opptil 36 m/s er observert og kast over 24 m/s er mange i spesielle år, f.eks. 2006. De sterkeste kastene forekommer ofte under vindforhold der middelvinden er sterk og understreker at vind fra sør-sørøstlig retning kan være problematisk eller farefull for trafikken.
- Korrelasjonen mellom vindstyrke og doggpunkts-avstand synes å være liten.

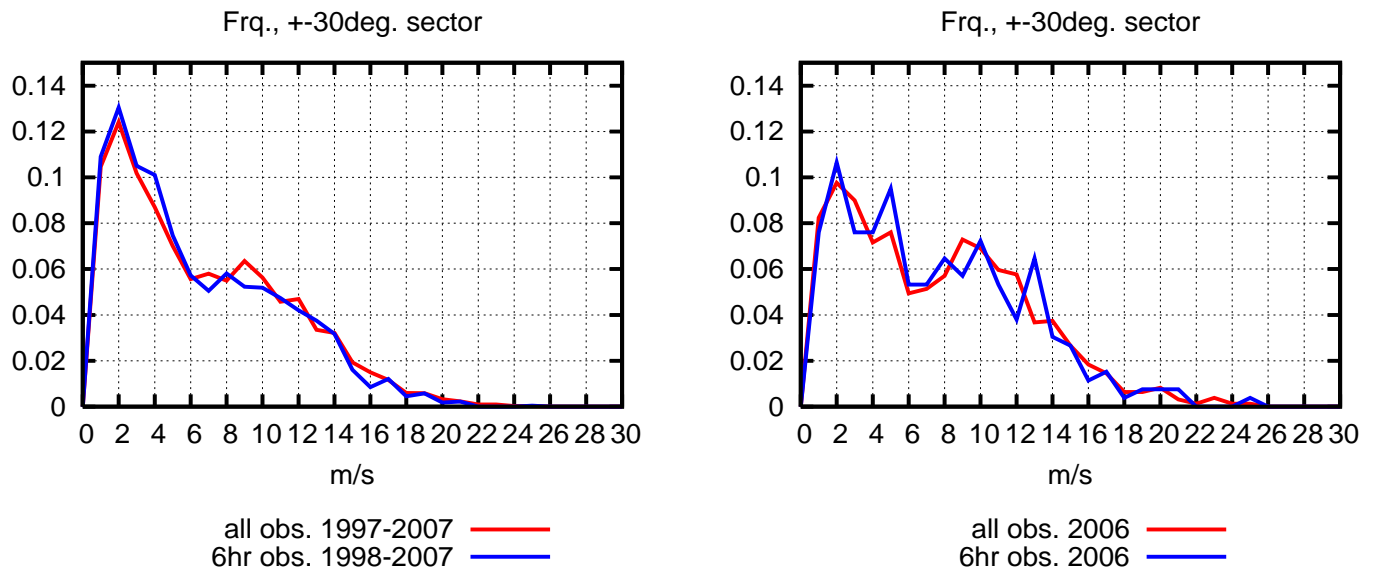
Vi har også sammenlignet vindobservasjonene på Fokstua, Avsjøen og Hjerkin, for en begrenset periode rundt datoen for ulykken. Analysen viser at vindforholdene på Avsjøen og Hjerkin er lite representative for vindforholdene på Fokstua og med stor sannsynlighet også på ulykkesstedet. Ved ulykkestidspunktet kunne verken Avsjøen- eller Hjerkin-observasjonene være til noen hjelp i vurderingen av vindforholdene på ulykkesstedet, de viste altfor svake vinder.

Referanser

- [1] Ivar Lie, Bussulykken på Dovre 24.11.2006: Beregning av vindkrefter på kjøretøy, med bruk av vindfelt fra finskala atmosfære-modeller og stokastisk generert vindkast, Storm Technical Report, October 2007.



Figur 1: Fordelingen av vindstyrke for sektoren 150-180 grader, gjennom månedene oktober-april. Venstre panel viser fordelingen for årene 1997-2007 med varierende obs.tetthet, og for årene 1998-2007 med obs. hver 6.time (00UTC, 06UTC, 12UTC, 18UTC). Høyre panel viser de samme fordelingene for året 2006.



Figur 2: Fordelingen av vindstyrke for sektoren 135-195 grader, gjennom månedene oktober-april. Venstre panel viser fordelingen for årene 1997-2007 med varierende obs.tetthet, og for årene 1998-2007 med obs. hver 6.time (00UTC, 06UTC, 12UTC, 18UTC). Høyre panel viser de samme fordelingene for året 2006.

år	n_obs_vinter	n_obs_sektor	vind>10	vind>15	vind>20	vind>24
1997	728	130	40	13	2	0
1998	848	177	35	7	1	0
1999	848	181	64	14	2	0
2000	852	253	84	12	1	0
2001	848	173	51	16	2	0
2002	848	168	33	4	0	0
2003	2573	443	136	22	1	0
2004	5022	1074	320	73	4	0
2005	4998	1112	397	87	9	0
2006	4949	1209	531	143	30	4
2007	2877	558	233	76	7	0

Tabell 1: Antall forekomster av vind>10m/s, vind> 15m/s, vind> 20m/s og vind> 24m/s per år for perioden 1997-2007 i månedene oktober-april i sektoren ± 15 grader (150-180 grader). n_obs_vinter er totalt antall observasjoner i de aktuelle månedene, av disse er n_obs_sektor antall observasjoner funnet i sektoren.

år	n_obs_vinter	n_obs_sektor	vind>10	vind>15	vind>20	vind>24
1997	728	174	46	13	2	0
1998	848	238	38	7	1	0
1999	848	245	68	14	2	0
2000	852	307	89	12	1	0
2001	848	238	52	16	2	0
2002	848	226	35	4	0	0
2003	2573	623	140	22	1	0
2004	5022	1473	340	73	4	0
2005	4998	1502	433	88	9	0
2006	4949	1578	555	144	30	4
2007	2877	764	236	76	7	0

Tabell 2: Antall forekomster av vind>10m/s, vind>15m/s, vind>20m/s og vind>24m/s per år for perioden 1997-2007 i månedene oktober-april i sektoren ± 30 grader (135-195 grader). n_obs_vinter er totalt antall observasjoner i de aktuelle månedene, av disse er n_obs_sektor antall observasjoner funnet i sektoren.

år	n_obs_vinter	n_obs_sektor	vind>10	vind>15	vind>20	vind>24
1998	510	116	20	3	0	0
1999	806	167	55	11	1	0
2000	830	245	83	12	1	0
2001	820	167	47	13	1	0
2002	847	168	37	4	0	0
2003	835	146	48	5	0	0
2004	843	192	55	9	0	0
2005	836	185	65	13	1	0
2006	847	202	86	21	5	1
2007	479	96	41	13	1	0

Tabell 3: Antall forekomster av vind>10m/s, vind>15m/s, vind>20m/s og vind>24m/s per år for perioden 1998-2007 i månedene oktober-april i sektoren ± 15 grader (150-180 grader), observasjoner per 6.time. n_obs_vinter er totalt antall observasjoner i de aktuelle månedene, av disse er n_obs_sektor antall observasjoner funnet i sektoren.

år	n_obs_vinter	n_obs_sektor	vind>10	vind>15	vind>20	vind>24
1998	510	158	23	3	0	0
1999	806	224	58	11	1	0
2000	830	298	88	12	1	0
2001	820	231	48	13	1	0
2002	847	226	39	4	0	0
2003	835	210	48	5	0	0
2004	843	250	56	9	0	0
2005	836	247	72	14	1	0
2006	847	263	90	22	5	1
2007	479	131	41	13	1	0

Tabell 4: Antall forekomster av vind>10m/s, vind>15m/s, vind>20m/s og vind>24m/s per år for perioden 1998-2007 i månedene oktober-april i sektoren ± 30 grader (135-195 grader), observasjoner per 6.time. n_obs_vinter er totalt antall observasjoner i de aktuelle månedene, av disse er n_obs_sektor antall observasjoner funnet i sektoren.

år	n_obs winter	n_obs >10m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1997	728	68	0	0	0	1	0	26	20	4	4	8	4	1
1998	848	57	0	0	0	0	0	9	29	7	6	5	1	0
1999	848	80	1	0	0	0	0	13	55	7	1	1	1	1
2000	852	113	0	0	0	1	1	15	74	7	3	1	6	5
2001	848	62	0	0	0	0	0	27	25	0	1	6	3	0
2002	848	43	0	0	0	0	0	16	19	2	5	1	0	0
2003	2573	200	1	0	0	0	0	88	52	10	19	6	11	13
2004	5022	417	0	0	0	0	0	188	152	33	21	9	11	3
2005	4998	532	1	0	0	0	1	134	299	43	19	16	16	3
2006	4949	611	0	0	1	3	2	163	392	19	12	13	4	2
2007	2877	307	0	0	0	0	0	156	80	13	16	23	13	6

år	n_obs winter	n_obs >15m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1997	728	14	0	0	0	0	0	8	5	1	0	0	0	0
1998	848	8	0	0	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0
1999	848	14	0	0	0	0	0	2	12	0	0	0	0	0
2000	852	14	0	0	0	0	0	1	11	0	0	1	1	0
2001	848	17	0	0	0	0	0	9	7	0	0	1	0	0
2002	848	4	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0
2003	2573	23	0	0	0	0	0	13	9	0	0	0	1	0
2004	5022	73	0	0	0	0	0	51	22	0	0	0	0	0
2005	4998	89	0	0	0	0	0	37	51	0	1	0	0	0
2006	4949	144	0	0	0	0	0	57	87	0	0	0	0	0
2007	2877	76	0	0	0	0	0	57	19	0	0	0	0	0

Tabell 5: Antall forekomster av de ulike vindretninger gjennom årene 1997 til medio september 2007 inkludert alle observasjoner, dvs. varierende obs.tetthet. Øverste tabell er for vind ≥ 10 m/s, nederste tabell er for vind ≥ 15 m/s.

år	n_obs winter	n_obs >10m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1997	728	68	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.382	0.294	0.059	0.059	0.118	0.059	0.015
1998	848	57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.158	0.509	0.123	0.105	0.088	0.018	0.000
1999	848	80	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.162	0.688	0.087	0.013	0.013	0.013	0.013
2000	852	113	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.133	0.655	0.062	0.027	0.009	0.053	0.044
2001	848	62	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.435	0.403	0.000	0.016	0.097	0.048	0.000
2002	848	43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.372	0.442	0.047	0.116	0.023	0.000	0.000
2003	2573	200	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.440	0.260	0.050	0.095	0.030	0.055	0.065
2004	5022	417	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.451	0.365	0.079	0.050	0.022	0.026	0.007
2005	4998	532	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.252	0.562	0.081	0.036	0.030	0.030	0.006
2006	4949	611	0.000	0.000	0.002	0.005	0.003	0.267	0.642	0.031	0.020	0.021	0.007	0.003
2007	2877	307	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.508	0.261	0.042	0.052	0.075	0.042	0.020

år	n_obs winter	n_obs >15m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1997	728	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.571	0.357	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
1998	848	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.875	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000
1999	848	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.857	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2000	852	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.786	0.000	0.000	0.071	0.071	0.000
2001	848	17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.529	0.412	0.000	0.000	0.059	0.000	0.000
2002	848	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2003	2573	23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.565	0.391	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000
2004	5022	73	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.699	0.301	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2005	4998	89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.416	0.573	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000
2006	4949	144	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.396	0.604	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2007	2877	76	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabell 6: Relativ forekomst av de ulike vindretninger gjennom årene 1997 til medio september 2007, inkludert alle observasjoner, dvs. varierende obs.tetthet. Øverste tabell er for vind ≥ 10 m/s, nederste tabell er for vind ≥ 15 m/s.

år	n_obs winter	n_obs >10m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1998	510	30	0	0	0	0	0	6	17	3	2	1	1	0
1999	806	69	1	0	0	0	0	13	45	7	1	1	0	1
2000	830	111	0	0	0	1	1	14	74	6	3	1	6	5
2001	820	58	0	0	0	0	0	26	22	0	1	6	3	0
2002	847	47	0	0	0	0	0	17	22	2	5	1	0	0
2003	835	63	0	0	0	0	0	29	19	1	8	3	2	1
2004	843	67	0	0	0	0	0	35	21	5	4	0	2	0
2005	836	91	0	0	0	0	0	24	48	10	3	2	3	1
2006	847	101	0	0	0	1	1	30	60	3	1	3	2	0
2007	479	51	0	0	0	0	0	25	16	2	1	5	1	1

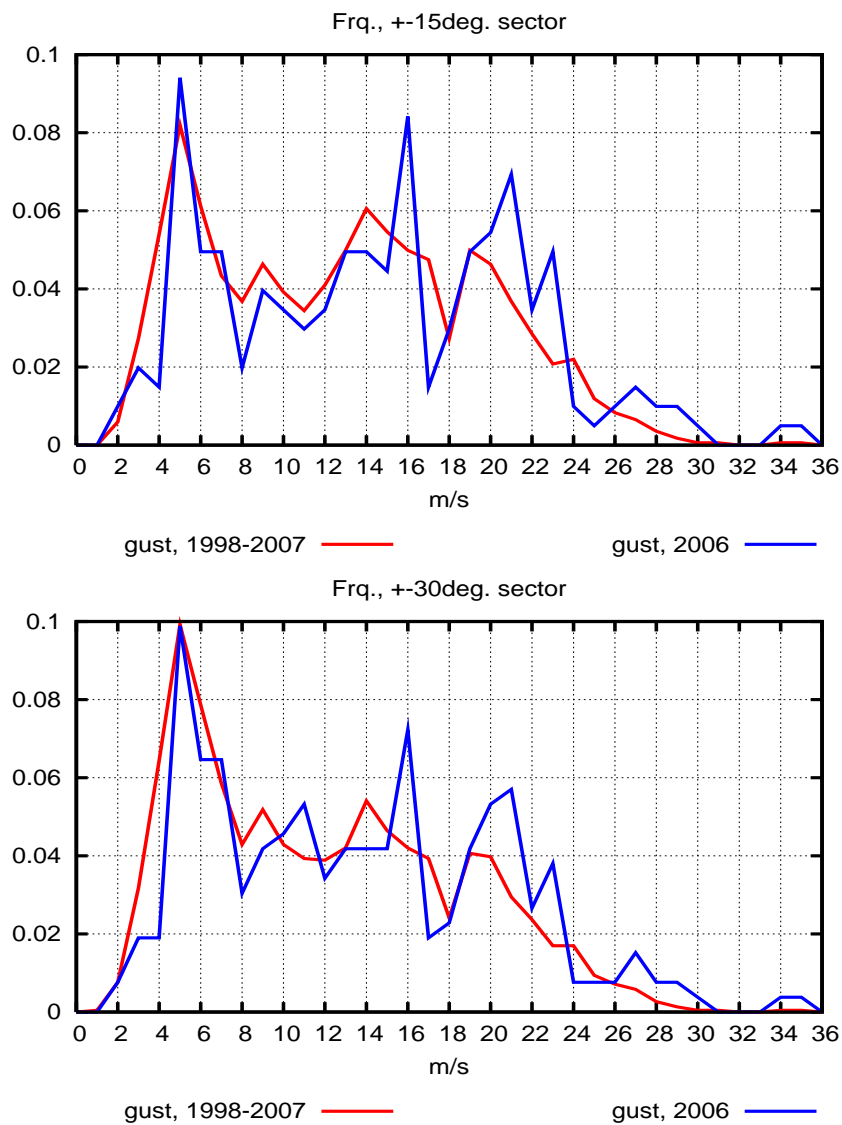
år	n_obs winter	n_obs >15m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1998	510	4	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0
1999	806	11	0	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0	0
2000	830	14	0	0	0	0	0	1	11	0	0	1	1	0
2001	820	14	0	0	0	0	0	8	5	0	0	1	0	0
2002	847	4	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0
2003	835	6	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	1	0
2004	843	9	0	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0	0
2005	836	14	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0
2006	847	22	0	0	0	0	0	7	15	0	0	0	0	0
2007	479	13	0	0	0	0	0	9	4	0	0	0	0	0

Tabell 7: Antall forekomster av de ulike vindretninger gjennom årene 1998 til medio september 2007 med obs.tetthet 6timer. Øverste tabell er for vind $\geq 10\text{m/s}$, nederste tabell er for vind $\geq 15\text{m/s}$.

år	n_obs winter	n_obs >10m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1998	510	30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.567	0.100	0.067	0.033	0.033	0.000
1999	806	69	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.652	0.101	0.014	0.014	0.000	0.014
2000	830	111	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.126	0.667	0.054	0.027	0.009	0.054	0.045
2001	820	58	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.448	0.379	0.000	0.017	0.103	0.052	0.000
2002	847	47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.362	0.468	0.043	0.106	0.021	0.000	0.000
2003	835	63	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.460	0.302	0.016	0.127	0.048	0.032	0.016
2004	843	67	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.522	0.313	0.075	0.060	0.000	0.030	0.000
2005	836	91	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.264	0.527	0.110	0.033	0.022	0.033	0.011
2006	847	101	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.297	0.594	0.030	0.010	0.030	0.020	0.000
2007	479	51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.490	0.314	0.039	0.020	0.098	0.020	0.020

år	n_obs winter	n_obs >15m/s	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
1998	510	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000
1999	806	11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.818	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2000	830	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.786	0.000	0.000	0.071	0.071	0.000
2001	820	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.571	0.357	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000
2002	847	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2003	835	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.500	0.000	0.000	0.000	0.167	0.000
2004	843	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2005	836	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2006	847	22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.318	0.682	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2007	479	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.692	0.308	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabell 8: Relativ forekomst av de ulike vindretninger gjennom årene 1998 til medio september 2007 med obs.tetthet 6timer. Øverste tabell er for vind ≥ 10 m/s, nederste tabell er for vind ≥ 15 m/s.



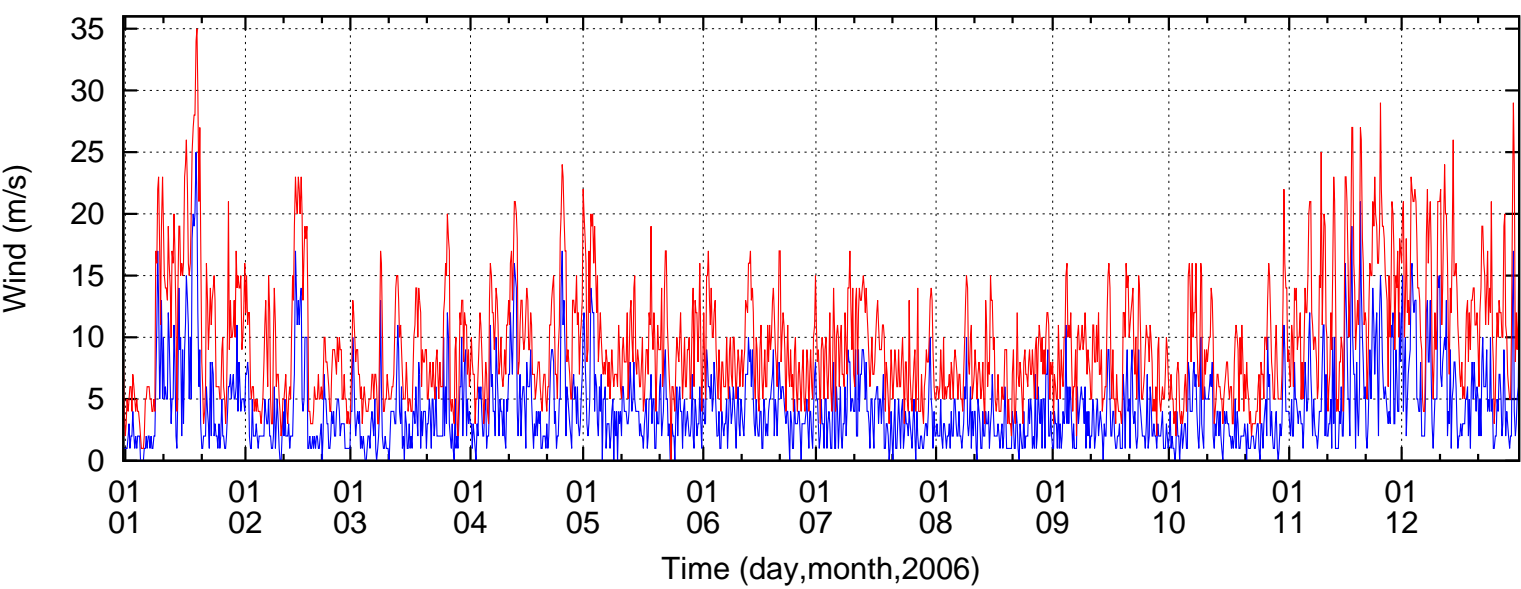
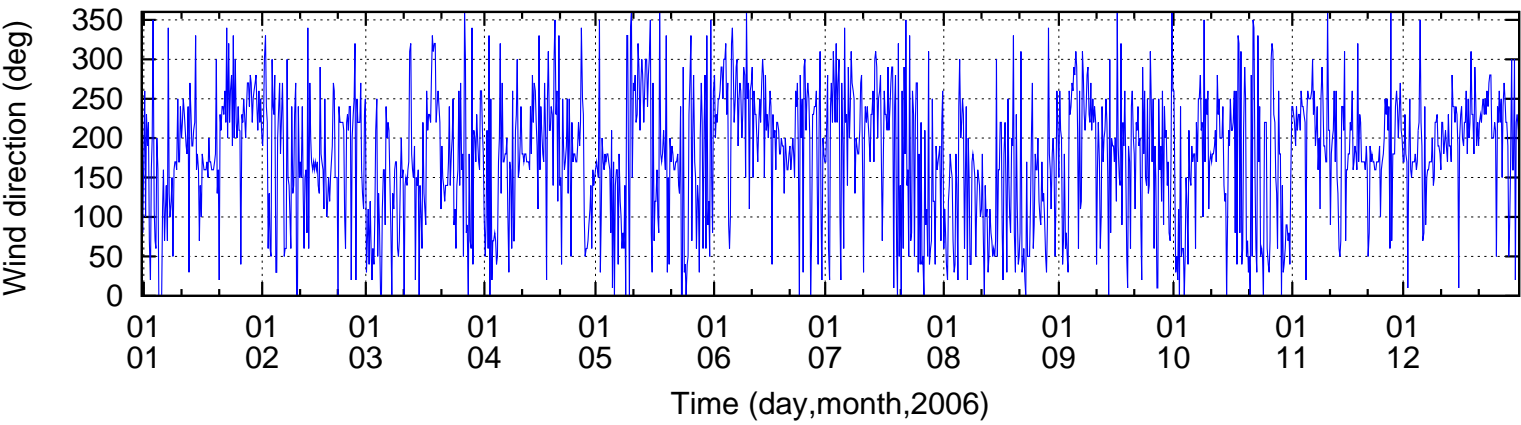
Figur 3: Relativ forekomst av vindkast for de to sektorene gjennom månedene oktober-april. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste panel er 135-195 grader. Obs.tettheten for vindkast er hver 6.time i hele tidsperioden.

år	n_obs_vinter	n_obs_sektor	kast>10	kast>15	kast>20	kast>24
1998	510	116	54	23	10	3
1999	806	167	99	65	30	11
2000	830	245	178	120	43	9
2001	820	167	110	63	29	11
2002	847	168	83	51	16	3
2003	835	146	91	61	17	4
2004	843	192	132	76	31	5
2005	836	185	121	79	38	12
2006	847	202	142	102	57	15
2007	479	96	64	47	31	15

Tabell 9: Antall forekomster av kast>10m/s, kast> 15m/s, kast> 20m/s og kast> 24m/s per år for perioden 1998-2007 i månedene oktober-april i sektoren ± 15 grader (150-180 grader), observasjoner per 6.time. n_obs_vinter er totalt antall observasjoner i de aktuelle månedene, av disse er n_obs_sektor antall observasjoner funnet i sektoren.

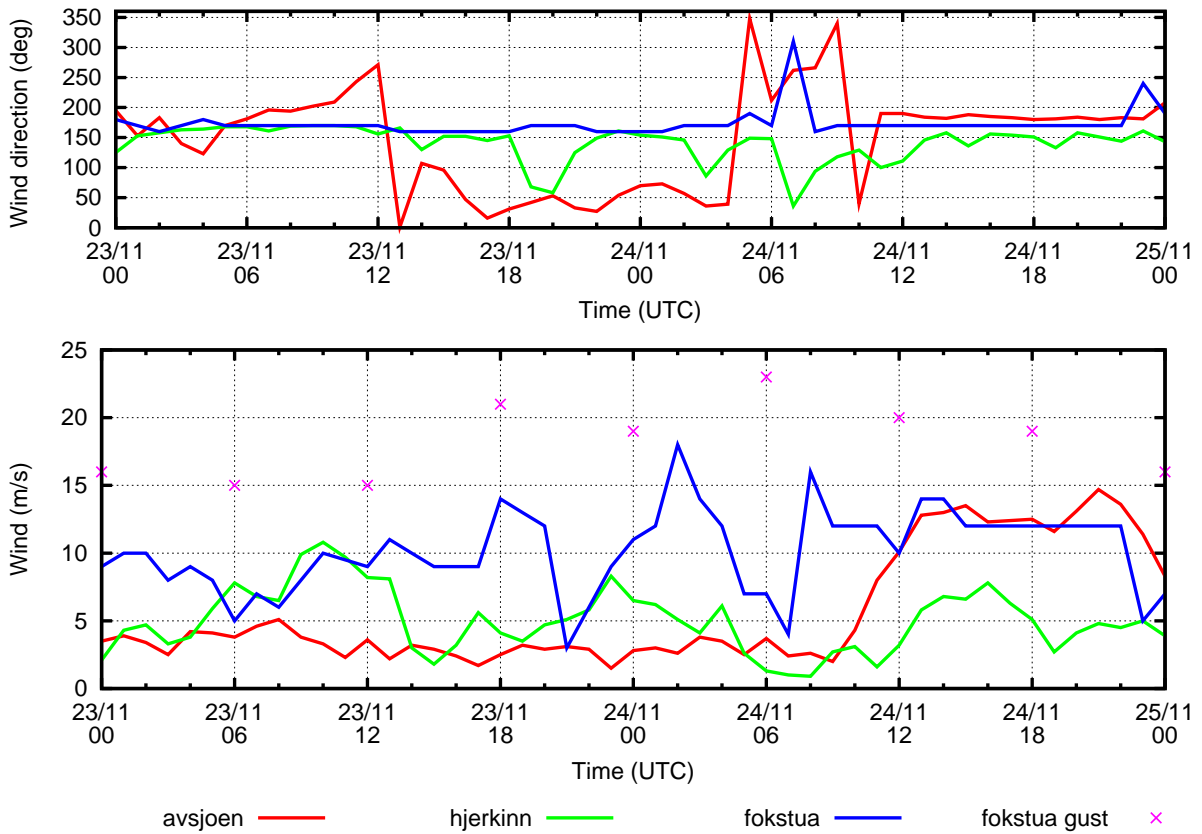
år	n_obs_vinter	n_obs_sektor	kast>10	kast>15	kast>20	kast>24
1998	510	158	69	29	13	4
1999	806	224	112	72	32	11
2000	830	298	200	126	45	9
2001	820	231	122	70	30	11
2002	847	226	98	54	18	4
2003	835	210	101	65	18	5
2004	843	250	152	82	31	5
2005	836	247	149	94	44	13
2006	847	263	172	115	63	17
2007	479	131	76	52	34	15

Tabell 10: Antall forekomster av kast>10m/s, kast>15m/s, kast>20m/s og kast>24m/s per år for perioden 1998-2007 i månedene oktober-april i sektoren ± 30 grader (135-195 grader), observasjoner per 6.time. n_obs_vinter er totalt antall observasjoner i de aktuelle månedene, av disse er n_obs_sektor antall observasjoner funnet i sektoren.

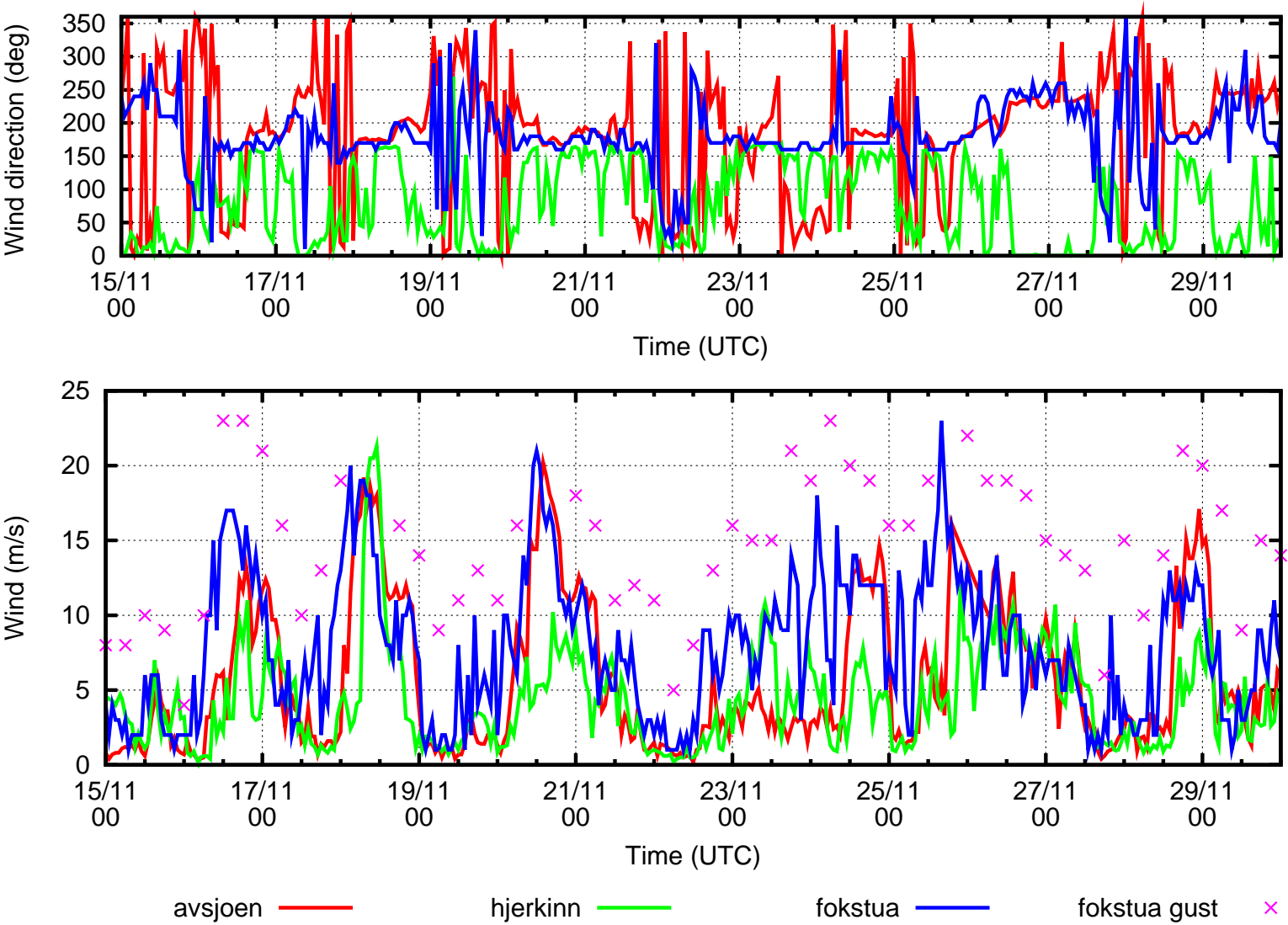


wind ——— gust ———

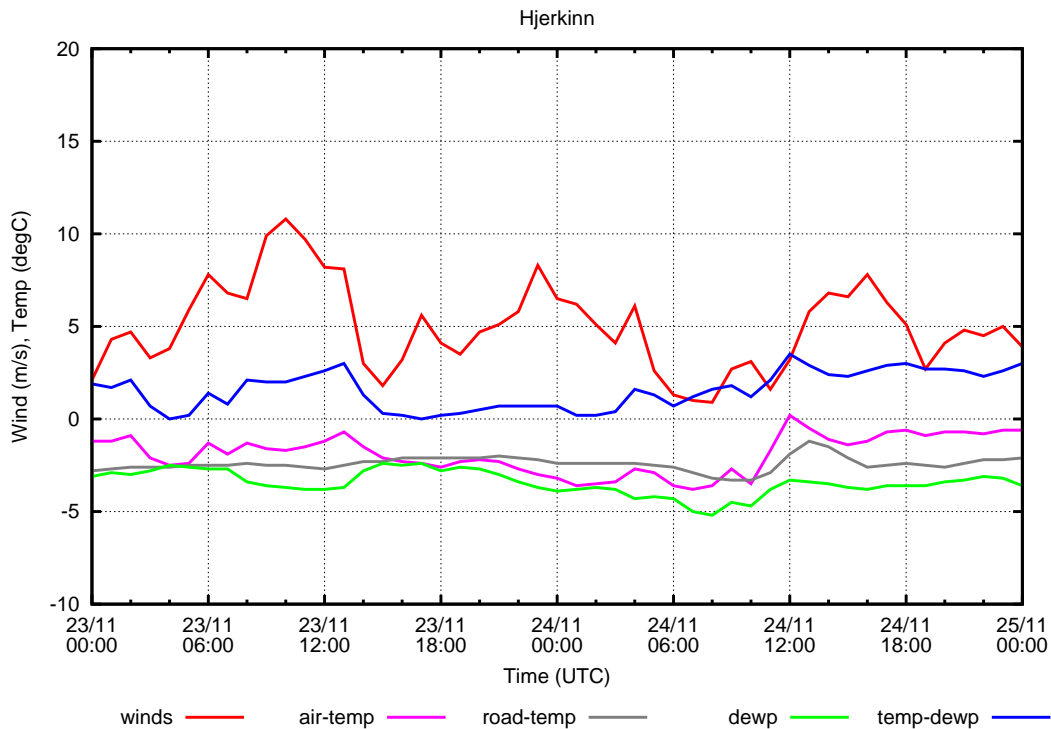
Figur 4: Tidsrekker for vindretning, vindstyrke og kast gjennom hele 2006 basert på observasjoner hver 6.time. Øverste tall på tidsaksen er dato, nederste tall er måned.



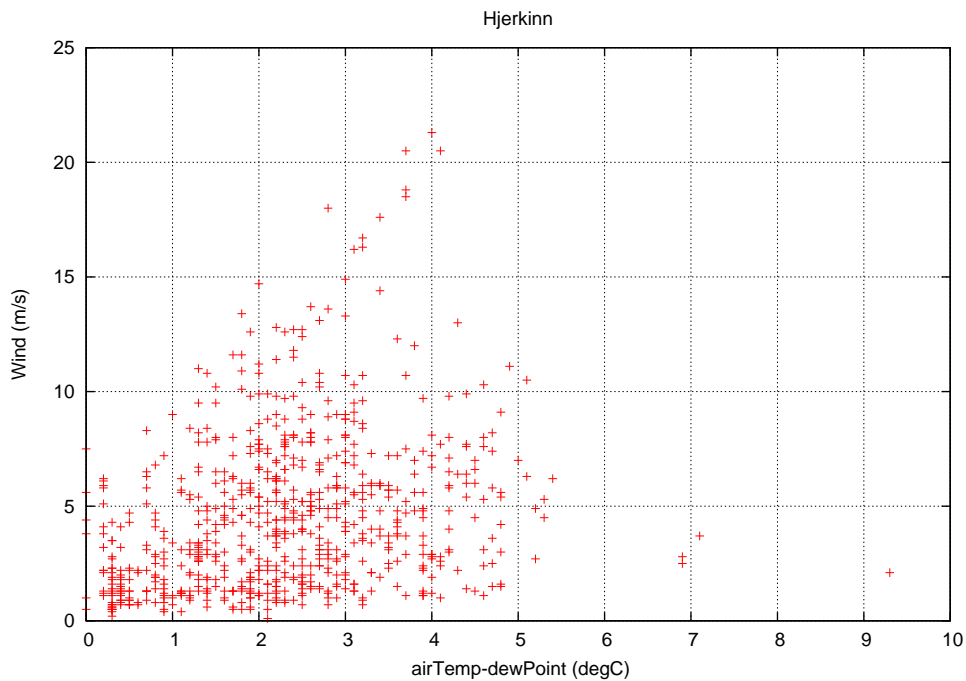
Figur 5: Tidsserier for vindretning og vindstyrke observert ved Avsjøen, Hjerkin og Fokstua fra 23.11.2006 00UTC til 25.11.2006 00UTC. For Fokstua er også observerte vindkast tatt med.



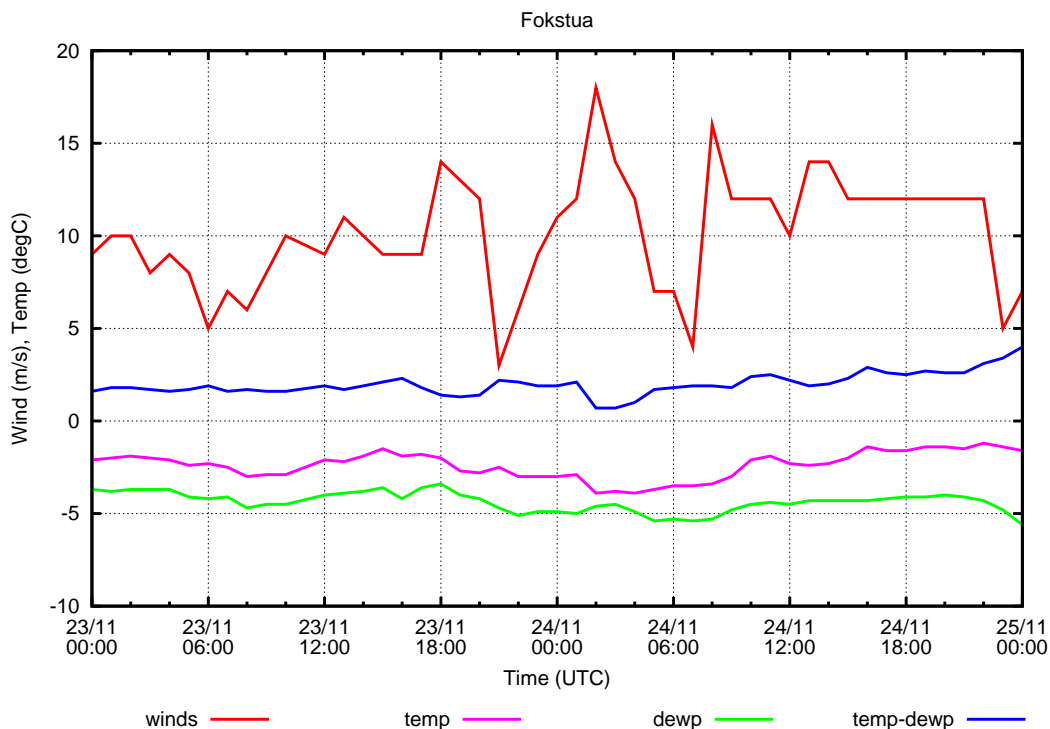
Figur 6: Tidsserier for vindretning og vindstyrke observert ved Avsjøen, Hjerkin og Fokstua fra 15.11.2006 00UTC til 30.11.2006 00UTC, dvs over en lengre tidsperiode enn vist på forrige figur. For Fokstua er også observert maksimum vindkast tatt med.



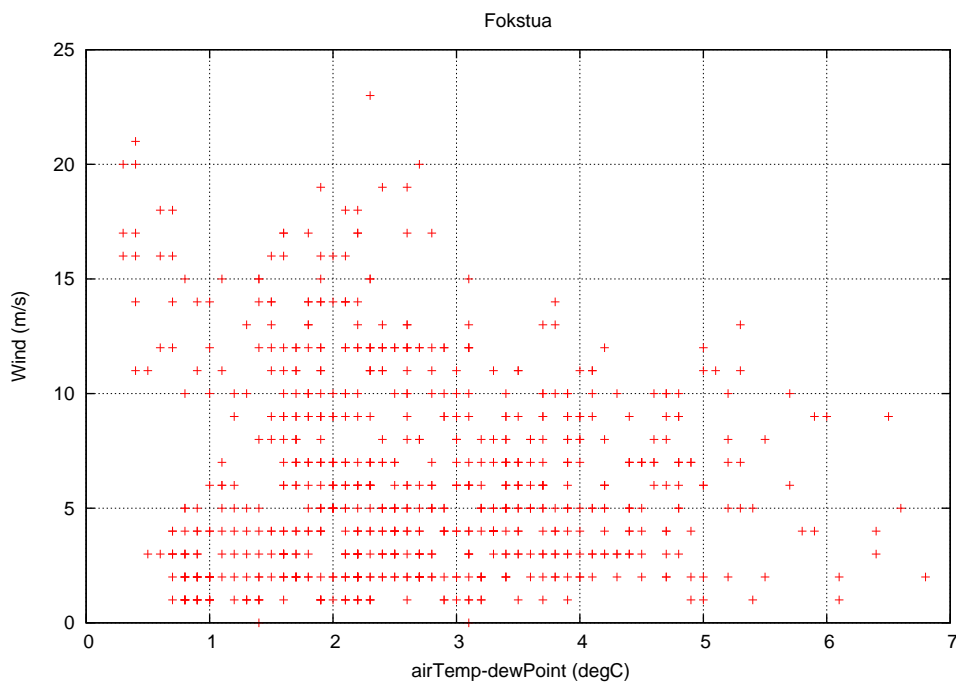
Figur 7: Tidsserier for vindstyrke, lufttemperatur, veitemperatur, duggpunkt og differansen lufttemperatur - duggpunkt observert ved Hjerkinn fra 23.11.2006 00UTC til 25.11.2006 00UTC. Observasjoner hver hele time.



Figur 8: Scatter plott av differansen lufttemperatur - duggpunkt mot vindstyrke for november 2006 ved Hjerkinn. Observasjoner hver hele time.



Figur 9: Tidsserier for vindstyrke, lufttemperatur, duggpunkt og differansen lufttemperatur - duggpunkt observert ved Fokstua fra 23.11.2006 00UTC til 25.11.2006 00UTC. Observasjoner hver hele time.

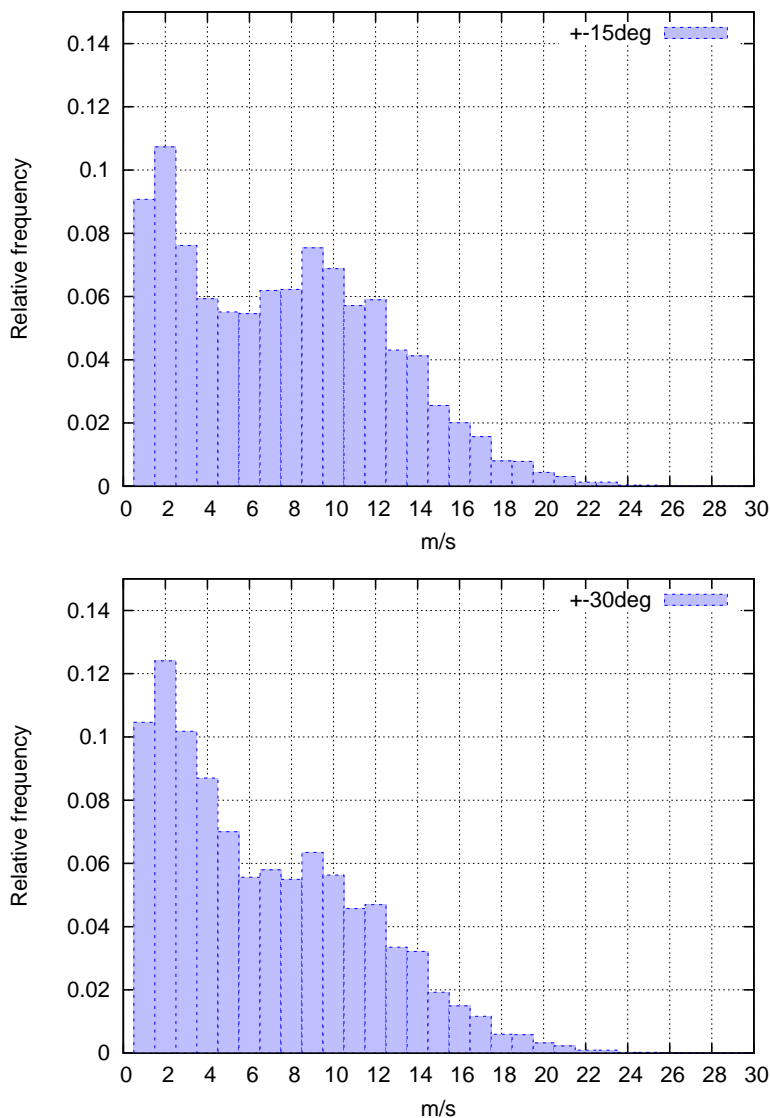


Figur 10: Scatter plott av differansen lufttemperatur - duggpunkt mot vindstyrke for november 2006 ved Fokstua. Observasjoner hver hele time.

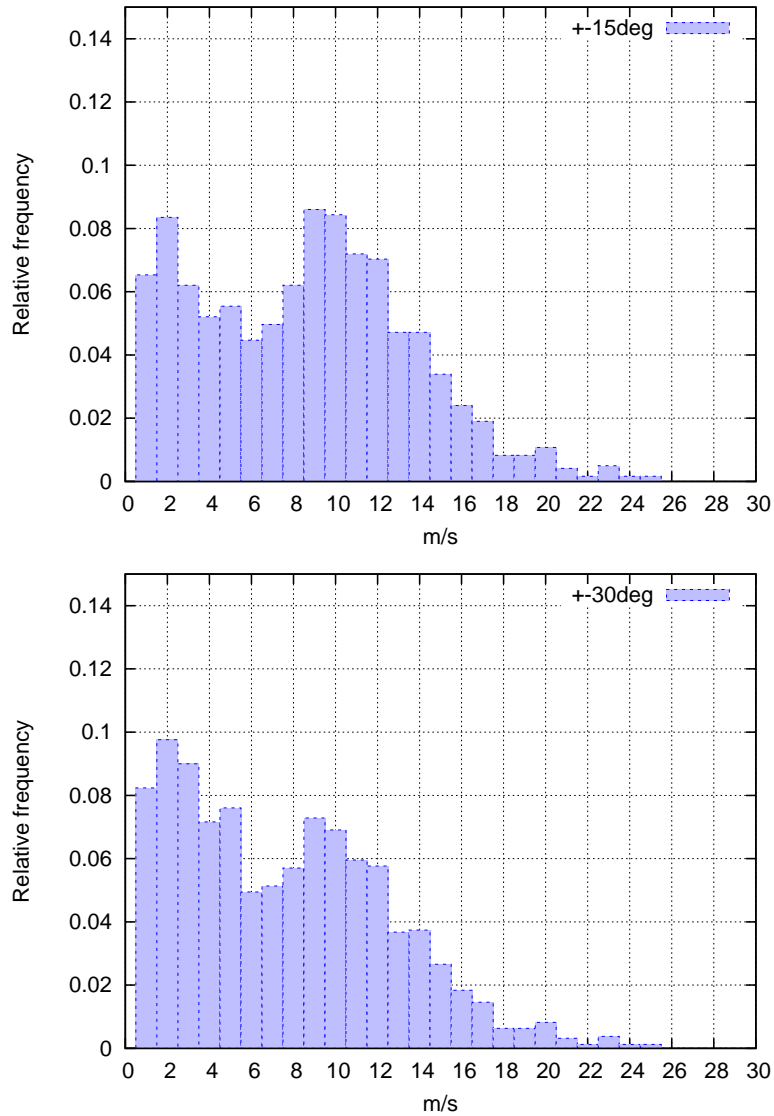
A Histogrammer for middelvind

I denne appendiks viser vi fordelingene av middelvind gitt som kurver i figur 1 (± 15 grader sektoren) og figur 2 (± 30 grader sektoren) i form av histogrammer. Dvs. hver kurve tilsvarer et histogram og disse har vi her organisert slik at samhørende histogrammer for ± 15 grader og ± 30 grader sektorene er lokalisert i samme figur.

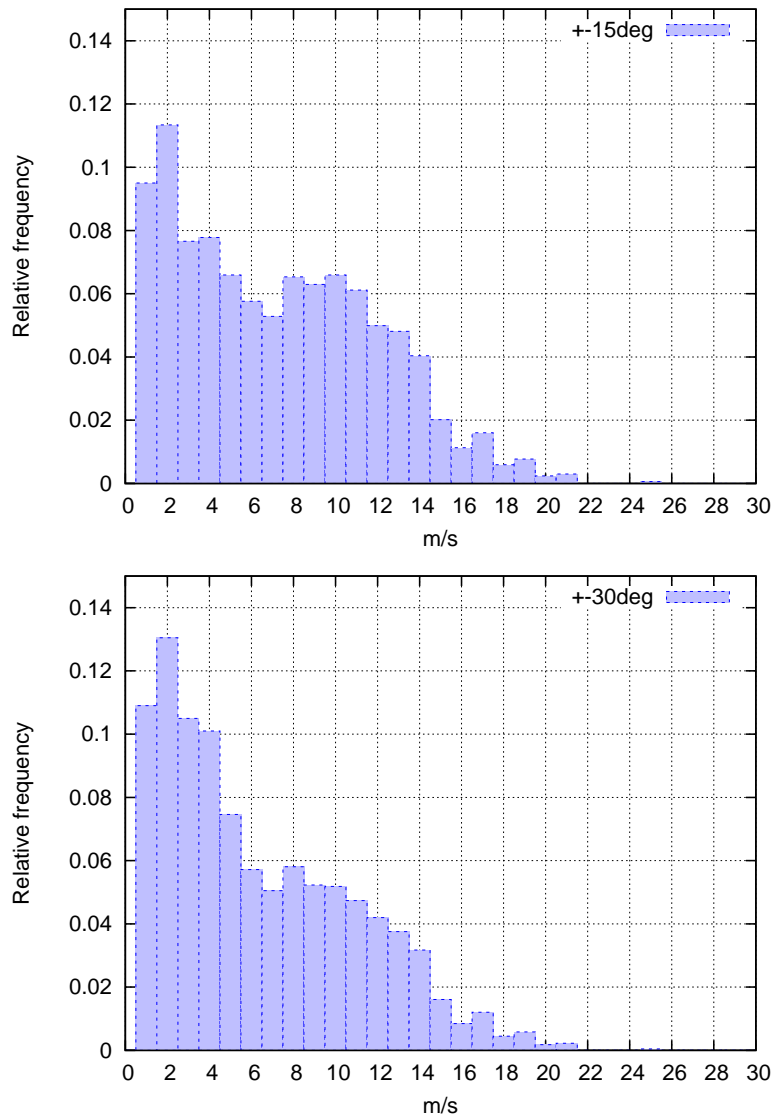
Histogrammene for kurvene all obs. 1997–2007 i figur 1 og 2 utgjør figur 11. Histogrammene for kurvene all obs. 2006 er figur 12. Kurvene 6hr obs. 1998–2007 tilsvarer histogrammene i figur 13 og kurvene 6hr obs. 2006 tilsvarer histogrammene i figur 14.



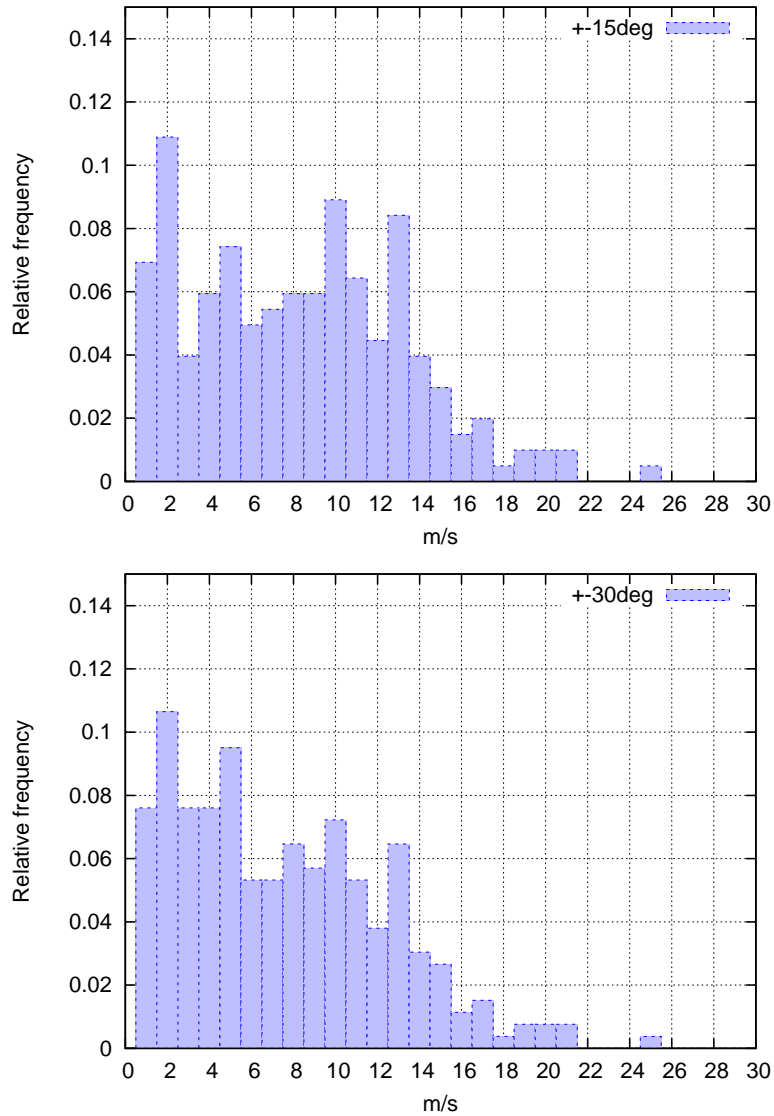
Figur 11: Histogram for frekvensen av vindstyrke i begge sektorene gjennom månedene oktober-april, inkludert varierende obs.tetthet. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste er sektoren 135-195 grader. Tidsperioden er 1997-2007.



Figur 12: Histogram for frekvensen av vindstyrke i begge sektorene gjennom månedene oktober-april, 2006, dvs. observasjon hver time. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste er sektoren 135-195 grader.



Figur 13: Histogram for frekvensen av vindstyrke i begge sektorene gjennom månedene oktober-april, observasjon hver 6.time. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste er sektoren 135-195 grader. Tidsperioden er 1998-2007.

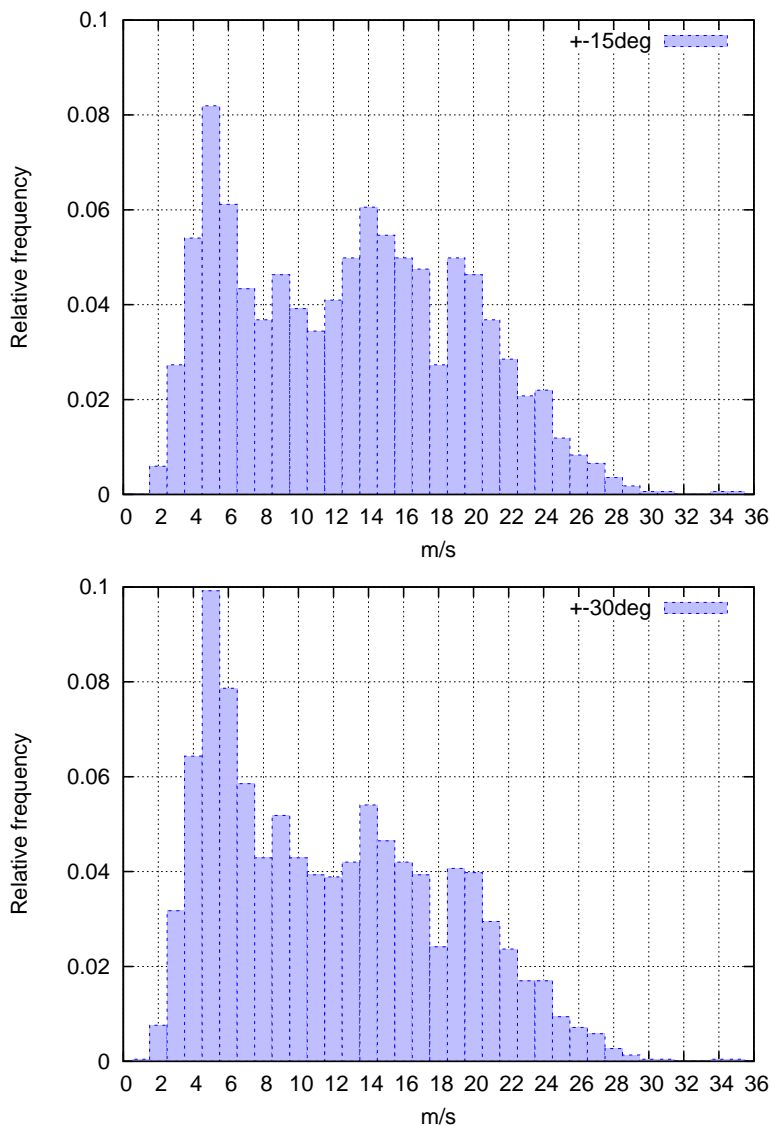


Figur 14: Histogram for frekvensen av vindstyrke i begge sektorene gjennom månedene oktober-april 2006, observasjon hver 6.time. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste er sektoren 135-195 grader.

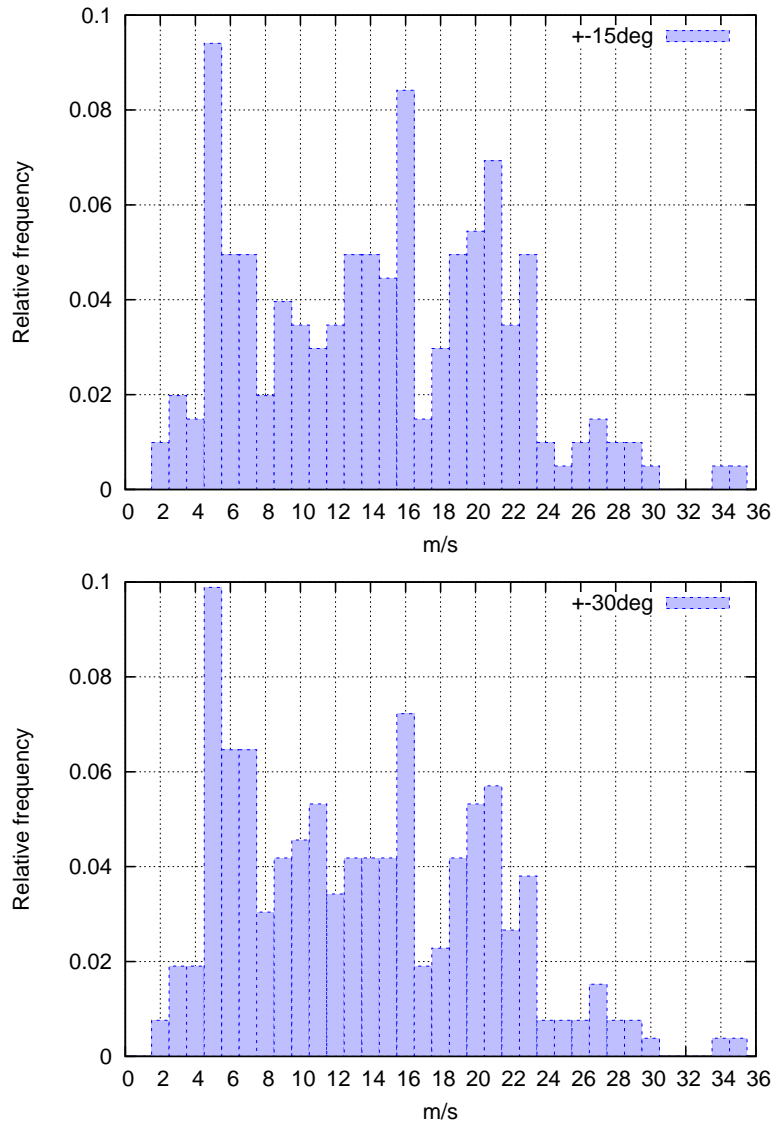
B Histogrammer for maksimum vindkast

Denne appendiks inneholder fordelingene av maksimum vindkast vist som kurver på figur 3, i form av histogrammer.

Histogrammene på figur 15 gir fordelingene av vindkast for årene 1998-2007 for de to sektorene vi har med i undersøkelsen (røde kurver på figur 3). Figur 16 gir tilsvarende histogrammer for året 2006 alene (blå kurver på figur 3).



Figur 15: Histogram for frekvensen av vindkast i begge sektorene gjennom månedene oktober-april, observasjon hver 6.time. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste er sektoren 135-195 grader. Tidsperioden er 1998-2007.

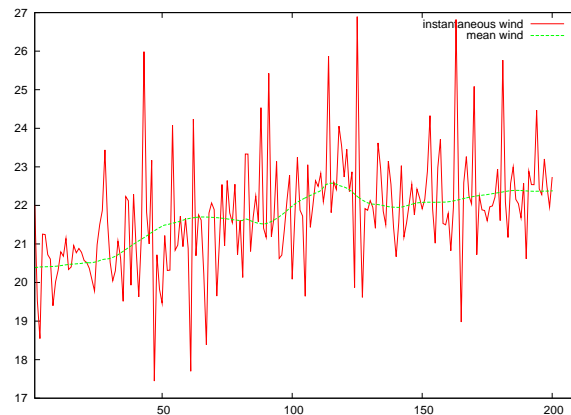


Figur 16: Histogram for frekvensen av vindkast i begge sektorene gjennom månedene oktober-april 2006, observasjon hver 6.time. Øverste panel er sektoren 150-180 grader, nederste er sektoren 135-195 grader.

Bussulykken på Dovre 24.11.2006: Beregning av vindkrefter på kjøretøy, med bruk av vindfelt fra finskala atmosfæremodeller og stokastisk genererte vindkast

Ivar Lie

12. oktober 2007



Innhold

1	Innledning	3
2	Vindkrefter på store kjøretøyer	4
3	Aerodynamiske beregninger på en buss	7
3.1	Målte koeffisienter i vindtunnel, skalerte koeffisienter, krefter og friksjon	7
3.2	Friksjonsberegning og beregning av sensitiviteter	8
4	Værsituasjon og vindforhold	9
5	Beregning av vindkast	11
6	Kjøretøy-modellen anvendt på aktuelle vindforhold	13
7	Konklusjon	14
	Referanser	15

1 Innledning

I forbindelse med bussulykken 24.11.2006 ved Fokstua på Dovrefjell, ønsker Statens Havarikommisjon for transport (SHT) en utredning om vindforholdene på ulykkesstedet ved ulykkestidspunktet, såvel som en klimatologisk utredning av vanskelige vindforhold på den aktuelle streknin-gen.

En klimatologisk undersøkelse av vindforholdene på Fokstua, samt Veivesenets nærliggende stasjoner på Avsjøen og Hjerkin, er beskrevet i [1]. Resultatene fra denne rapporten er et meget viktig bidrag til å vurdere hvor kraftig vinden på ulykkesstedet kan ha vært og hvor ofte slike vinder forekommer.

Undersøkelsene som rapporten her tar for seg, er beregning av vindforholdene på ulykkestidspunktet og hvilke krefter dette påførte bussen. For beregning av detaljerte vindforhold ved ulykkesstedet har vi brukt et system av nestede finskala værmodeller med 3 km, 1 km, 250 m og 75 m horisontal oppløsning. Den mest detaljerte modellen skulle da gi informasjon om vindfeltet der den horisontale såvel som den vertikale variasjonen blir reproduisert på en skala som kan sammenliknes med størrelsen på bussen. Samme typen av modellsystem har blitt brukt til andre detaljerte vindundersøkelser som ved flyulykker, se for eksempel [2].

Et vindfelt kan være preget av kraftige vindkast, noe som oftest er terrengstyrt. Det er grunn til å anta at vinden ved ulykkesstedet var preget av kast, og dette er viktig for beregning av krefter siden kraftige vindkast vil påvirke bussen i betydelig grad. Siden en finskala værmodell ikke vil kunne produsere felter med vindkast, synes vi det er viktig å ha en genererings- mekanisme for vindkast. Vi foreslår derfor å bruke en stokastisk generering av vindkast på samme måte som i [2], og i tillegg bruke en alternativ stokastisk metode for å kunne evaluere resultatene bedre.

Å beregne kreftene fra vinden på en buss er krevende fordi bussens geometri vekselvirker med et (tidsavhengig) vindfelt på en komplisert måte. For eksempel vil en liten endring av vindretningen eller en variasjon i bussens fart føre til store endringer i vindfeltet umiddelbart bak bussen.

I tradisjonell aerodynamikk er vindtunnel-eksperimenter i utstrakt bruk for å kunne estimere geometri-avhengige koeffisienter for beregning av krefter. Numeriske strømningsmodeller er selvsagt også i utstrakt bruk, men kan oftest ikke gi et fyldestgjørende svar for annet en relativt enkle geometrier.

I denne rapporten ser vi på noe av grunnlaget for beregning av kreftene på en buss, i praksis hvordan en kan beregne de koeffisientene som inngår i beregningen av kreftene på bussen. En rapport fra Flygtekniska Forsöksanstalten (FFA) [3], laget i forbindelse med en bussulykke i Sverige, dokumenterer vindtunnel-eksperimenter med en buss-modell. Denne rapporten har blitt brukt som grunnlag for beregninger av krefter på bussen i denne rapporten, ved at de målte aerodynamiske koeffisienter er antatt å være tilnærmet like.

Detaljerte beregninger av friksjonen dekk-underlag er ikke blitt foretatt i denne rapporten siden det er vanskelig å karakterisere underlaget godt, og at en vet få detaljer om dekkene på bussen. Det som blir beregnet er nødvendig friksjons-koeffisient basert på estimater av sidekrefter og løftkrefter på bussen, slik som gjort i [3].

Innholdet i denne rapporten er som følger: I kapittel 2 ser vi på hvordan aerodynamiske koeffisienter, spesielt drag, kan beregnes ut fra basis fluid-dynamikk. Kapittel 3 tar for seg beregningsgrunnlaget for de aerodynamiske kreftene på bussen ved bruk av samme modell som brukt i [3], men vi har reformulert formelverket og utvidet det med beregning av sensitiviteter. Kapittel 4 behandler kjøringene fra værmodellene som er brukt til å karakterisere vær-situasjonen og hvilken betydning dette har hatt for vindforholdene. For å kunne modellere vindkast ser vi i kapittel 5 på hvordan generering av stokastiske vindkast kan realiseres. Beregningene av kreftene på bussen blir presentert i kapittel 6, og konklusjoner i kapittel 7.

2 Vindkrefter på store kjøretøyer

Hvis vi tar utgangspunkt i konvensjonell aerodynamikk, se f.eks. [4], har vi følgende uttrykk for drag- og løftkreftene F_D og F_L :

$$F_D = \frac{1}{2}\rho u^2 A C_D, \quad (1)$$

$$F_L = \frac{1}{2}\rho u^2 A C_L, \quad (2)$$

der ρ er tettheten for lufta, u er hastigheten som lufta har mot kjøretøyet, C_D hhv. C_L er drag-koeffisienten hhv. løft- koeffisienten, og A er et representativt areal som er eksponert for luftstrømmen. Størrelsene A , C_D og C_L er i hovedsak avhengige av geometrien. Denne formalismen brukes for fly og flyvinger, der C_D , C_L og A bestemmes eksperimentelt i en vindtunnel. Numeriske simuleringer blir brukt i utstrakt grad, men det er ressurskrevende å simulere alle skalaer som forekommer i strømming rundt f.eks. et helt fly.

Hvis vi ser på tilfellet buss eller stor lastebil er forholdene mer komplisert. For alle praktiske formål betraktes en buss som et ikke strømlinjeformet objekt (bluff body"), som da er ganske forskjellig fra en flyvinge både når det gjelder simuleringer og eksperimentelle undersøkelser. Personbiler blir designet ved hjelp av både simuleringer og vindtunnel- eksperimenter, men status for busser er at slike verktøy er temmelig krevende å anvende, og dermed ikke i utstrakt bruk. Imidlertid er aktiviteten både i akademiske miljøer og hos fabrikanter stor på området buss/lastebil, noe som reflekteres blant annet i bidragene til konferansene i "International Association of Vehicle System Dynamics"(IAVSD) sin regi. For et eksempel på bruk av numeriske simuleringer for store kjøretøyer, se [5]. Det er imidlertid ikke lett å få overensstemmelse mellom simuleringer og eksperimenter, for et illustrerende eksempel på det, se [6].

Vi skal i det følgende diskutere uttrykket (1) for drag, og se på tilpasninger. Når vi betrakter vindkreftene på en buss, er de resultanten av den "meteorologiske"vinden \mathbf{u}_1 og "fartvinden" \mathbf{u}_2 , slik at $\mathbf{u} = \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2$. Det er retning og styrke på \mathbf{u} som påvirker bussen, og det betyr at leddet u i (1) vil i praksis være vindkomponenten normalt på flaten på bussen. Forutsetningen for dette er at overflaten på bussen er rimelig glatt slik at drag induisert av strømming langs flaten blir lite. Vi vil åpenbart ha at størrelsene A og C_D vil være avhengig av vinkelen mellom vindretningen og bussen, og på en langt mer komplisert måte enn ved å bruke normalkomponenten av vinden i formelen for F_D . Hvis vi kaller vinkelen mellom vindretningen og bussen for θ vil vi ha:

$$F_D(\theta, t) = \frac{1}{2}\rho(\mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{n})^2 A(\theta) C_D(\theta, t), \quad (3)$$

der vi også har tatt med tidsavhengigheten. Siden strømmen rundt bussen ikke er stasjonær, vil drag-koeffisienten også variere med tiden. Det er ikke komplisert å bruke (3), men det er ikke lett å framskaffe alle størrelsene som trengs.

For å finne ut litt nærmere hvordan vi kan approksimere uttrykket for drag, kan vi anvende litt basis fluid dynamikk. "Momentum"-fluksen gjennom en flate med normalvektor \mathbf{n} er, se [7, s.13],

$$\Pi \cdot \mathbf{n} = p \mathbf{n} + \rho \mathbf{u}(\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}),$$

Kreftene på en flate Ω er,

$$F_\Omega(t) = \int_\Omega (\Pi \cdot \mathbf{n}) \cdot d\mathbf{A} = \int_\Omega (p + \rho(\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})^2) dA.$$

Vi har her ikke tatt hensyn til induisert drag fra grensesjiktet rundt bussen. For å beregne kreftene rundt et objekt kan en som i [7, (para.21,36,47)], gjøre følgende: La to plan Γ_1 og Γ_2 være plassert

henholdsvis foran og bak bussen, f.eks. normalt på den effektive vindretningen. Da vil forskjellen i momentum gjennom disse to planene være det som er ”tapt”, dvs. kreftene som er brukt på bussen:

$$F = \int_{\Gamma_1} (\Pi \cdot \mathbf{n}) \cdot d\mathbf{A} - \int_{\Gamma_2} (\Pi \cdot \mathbf{n}) \cdot d\mathbf{A}. \quad (4)$$

Foran bussen i vindretningen kan vi finne \mathbf{u} , p og ρ fra modellberegningene slik at integralet over Γ_1 kan beregnes numerisk. På ”le-siden” av bussen har vi ved normale kjørehastigheter og rimelige vindforhold at det er en turbulent ”wake” der \mathbf{u} og p er influert av bussen. Formen på waken er avhengig av vindkreftene og geometri, og er ikke konstant i tid selv om vindfeltet skulle være det. Siden waken er turbulent, er det dissipasjon av energi og dette må tas i betraktning når en skal beregne kreftene. Halv-empiriske formler som (3) brukes derfor istedet for mer nøyaktige formler basert på (4). På den annen side har vi verken $A(\theta)$ eller $C_D(\theta, t)$ med noe særlig nøyaktighet for bussen involvert i ulykken, slik at nøyaktigheten i anvendelsen av (3) blir usikker.

En angrepsmåte er å dele opp integralene i (4) slik at et bidrag kommer fra waken og et annet fra området utenfor waken. La området der waken skjærer Γ_2 være A_w , og vi integrerer da over $\Gamma_2 \cap A_w$ og $\Gamma_1 \cap A_w$ først,

$$F_w = \left(\int_{\Gamma_1 \cup A_w} - \int_{\Gamma_2 \cup A_w} \right) (\Pi \cdot \mathbf{n}) \cdot d\mathbf{A},$$

og tilsvarende over $\overline{\Gamma_1 \cup A_w}$ og $\overline{\Gamma_2 \cup A_w}$, og vi betegner dette bidraget med F_f . En første approksimasjon er da å sette $F_f = 0$. Da har vi at,

$$F_w = \left(\int_{\Gamma_1 \cup A_w} - \int_{\Gamma_2 \cup A_w} \right) \rho (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})^2 dA + (p_1 - p_2) A_w \quad (5)$$

$$\approx ((p_1 - p_2) + \rho (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})^2|_{\Gamma_1} - \rho (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})^2|_{\Gamma_2}) A_w, \quad (6)$$

der $(p_1 - p_2)$ er trykkforskjellen mellom foran og bak bussen. Hvis vi kan estimere denne trykkforskjellen, og finne ut noe hastigheten bak bussen, ser vi at vi får noe som likner (3).

Et mulig estimat får en ved å betrakte en 2D (x-z) situasjon der bussens sideflate står normalt på x-aksen. Den stasjonære Euler-likningen i x-retning er da:

$$u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0,$$

eller

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(p + \frac{1}{2} \rho u_1^2 \right) + \rho u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} = 0.$$

Hvis vi integrerer m.h.t. x og approksimerer integralet over det siste leddet med trapesformelen, får en,

$$\left(p + \frac{1}{2} \rho u_1^2 \right) |_{x_1} - \left(p + \frac{1}{2} \rho u_1^2 \right) |_{x_2} + \frac{L}{2} \left[\left(\rho u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} \right) |_{x_1} + \left(\rho u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} \right) |_{x_2} \right] = 0.$$

Ved x_1 setter vi $u_3 = 0$. Da står vi igjen med,

$$p_1 - p_2 = -\frac{1}{2} \rho u_1^2 |_{x_1} + \frac{1}{2} \rho u_1^2 |_{x_2} - \frac{L}{2} \rho u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} |_{x_2}.$$

Ser vi tilbake på uttrykket for F_w , vil en med denne approksimasjonen få:

$$F_w = \left(\frac{1}{2} \rho u_1^2 |_{x_1} - \frac{1}{2} \rho u_1^2 |_{x_2} - \frac{L}{2} \rho u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} |_{x_2} \right) A_w.$$

Kreftene på bussen kan da ses på som tapet i kinetisk energi (pr.lengdeenhet) mellom planene Γ_1 og Γ_2 pluss et bidrag som kommer fra virvlingen i strømmen bak bussen. Størrelsen $\frac{1}{2}\rho u_1^2$ kalles ofte "dynamisk trykk", slik at vi kan betrakte kreftene på bussen som forskjellen i dynamisk trykket foran og bak bussen pluss et bidrag som skyldes rotasjon i i strømmen bak bussen. Det er nødvendig å undersøke uttrykket $u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z}$ nærmere. Ser vi på en wake bak bussen (2D-betraktning) vil uttrykket oftest være negativt siden $\frac{\partial u_1}{\partial z} > 0$ impliserer at $u_3 < 0$, og vice versa. Det er imidlertid ikke lett å finne en god approksimasjon for uttrykket siden det inneholder både u_3 og $\frac{\partial u_1}{\partial z}$.

Ved å bruke kontinuitetslikningen for å eliminere u_3 , får vi det alternative uttrykket,

$$F_w = \left(\frac{1}{2}\rho u_1^2|_{x_1} - \frac{1}{2}\rho u_1^2|_{x_2} + \frac{L^2}{4}\rho \left(\frac{\partial u_1}{\partial z} \right)^2 |_{x_2} \right) A_w,$$

slik at vi "bare" trenger estimere den vertikale gradienten av u_1 . Vi må også estimere u_1 selv i waken, og betrakt et vertikal-plan som skjærer waken og de u_1 avtar fra "fristrøm"-verdien (som er $u_1^0 = u_1|_{x_1}$) øverst og til 0 nede i waken. Middelverdien av u_1 over denne delen av waken setter vi til $\frac{1}{2}u_1^0$. Den z-deriverte approksimeres med $\frac{\partial u_1}{\partial z} \approx \frac{u_1^0}{\ell}$. Da får vi følgende uttrykk for kraften på bussen:

$$F_w = \frac{1}{2}\rho u_1^2 \left\{ 1 - \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \left(\frac{L}{\ell} \right)^2 \right\} A_w. \quad (7)$$

Ut fra eksperimenter, f.eks. de som er brukt i [6], kan en se følgende trekk:

- Vindhastigheten (u_1 i vårt tilfelle) avtar meget raskt med høyden rett bak bussen, og er temmelig liten over store deler av buss-flaten.
- Gradienten $\frac{\partial u_1}{\partial z}$ er meget stor akkurat i høyde med bussen, og er liten over store deler av buss-flaten.

Ut fra dette kan en modellere som følger (h er høyden på bussen):

$$u_1^2(z) = (u_1^0)^2 e^{-\alpha_1(h-z)}$$

$$\left(\frac{\partial u_1}{\partial z} \right)^2 = \left(\frac{u_1^0}{h} \right)^2 \hat{c} e^{-\alpha_2(h-z)}$$

Integrerer vi disse uttrykkene fra $h - \zeta$ til h , der vi antar at $u_1(z)$ endrer seg mest (og vi har at $0 < \zeta < h$), får vi følgende tilnærmede uttrykk for kreftene:

$$F_w = \frac{1}{2}\rho u_1^2 \left\{ 1 - \frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{L}{h} \right)^2 \frac{\hat{c}}{2\alpha_2 h} \right\} A_w. \quad (8)$$

Ut fra eksperimentene referert i [6], er $\alpha_1 h \approx 10$, og omtrent det samme for α_2 . Vi har derfor antatt at $e^{-\alpha_1 \zeta} \approx 0$ og $e^{-\alpha_2 \zeta} \approx 0$. Maksimalgradienten (egentlig kvadratet av den) \hat{c} er det vanskelig å estimere, men en verdi på 60-80 er ikke urimelig. Uansett er bidraget fra rotasjonen betydelig. Herved har vi fått to estimater på drag-koeffisienten, nemlig (7) of (8). Så vi ser at uttrykkene for drag er temmelig like i form, og at vi alltid, i mangel av konkrete strømningsmønstre rundt bussen, må estimere størrelser empirisk.

For å undersøke om drag koeffisientene har en rimelig form, kan vi sammenlikne med målinger for en sylinder, der resultatene er presentert i [4, Figure 3.44]. I det turbulente området kan vi si at $C_D \sim (a_1 - \frac{a_2}{(Re)^2})$, der a_1 og a_2 er konstanter. Siden $\alpha_1 \sim (Re)^2$, $\alpha_2 \sim (Re)^2$, er ihvertfall (8) en rimelig form.

Ser vi på forutsetningene ovenfor, kan vi si følgende:

1. Det er rimelig å anta at $F_f = 0$, samt at vertikalhastigheten u_3 er meget liten foran bussen.
2. Vindfeltet bak en buss er komplisert, ofte med store gradienter øverst og svake felter med høyst varierende retning midt bak bussen. Mønsteret er ikke-stasjonært, for en god illustrasjon se figurene 4, 5 og 9 i [8]. Å estimere $u_3 \frac{\partial u_1}{\partial z} |_{x_2}$ og $\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 |_{x_2}$ slik som gjort ovenfor vil måtte avhenge av bussens form og vindretning. De beregnede drag-koeffisienter presentert i målingene fra [3] viser dette klart.
3. 2D-betraktning er en forenkling av virkeligheten, og spesielt der vinden kommer skrå inn mot bussen, vil nok de virkelige kreftene på bussen være annerledes enn det som kan regnes ut for 2D.

En blanding av empiri, resultater fra simuleringer og eksperimenter vil bestemme nøyaktigheten i beregningene av F_w , og vi kan forhåpentligvis øke nøyaktigheten, fordi usikkerheten i vindfeltet bidrar nok mindre til den totale nøyaktigheten. I neste kapittel går vi over til å se på eksperimenter som er foretatt for å evaluere koeffisienter for drag og andre krefter som virker på bussen, altså uten å referere til detaljer i strømmingen rundt bussen.

3 Aerodynamiske beregninger på en buss

I dette kapitlet ser vi på modellen er brukt og beregningene som er foretatt i rapporten [3], og som er brukt som grunnlag i den svenske havarirapporten, se [9]. Vi velger her å bruke den samme buss-modellen, nemlig en to-hjulsbuss, men vi ønsker å ha fleksibilitet med hensyn til de kraft-koeffisienter som er målt i vindtunnelen og deretter transformert opp til full skala. Grunnen er at bussen i ulykken på Dovre ikke har samme geometri som bussen i Sverige, og dermed kan kraft-koeffisientene bli litt forskjellige. Vi har også funnet det riktig å dokumentere formlene som er brukt i [3] på en forhåpentligvis klarere form, og har laget et program basert på disse formlene der en kan eksperimentere med inndata. Programmet regner ut nødvendig friksjon på for- og bak-hjul. Siden koeffisienter og vindfelt er beheftet med en viss usikkerhet, har vi funnet det nødvendig å beregne sensitiviteter for friksjonskoeffisientene med hensyn på viktige parametre og felt-verdier. Disse sensitivitetene beregnes i det samme programmet og skulle således bidra til å vurdere gyldigheten av friksjonsberegningene.

3.1 Målte koeffisienter i vindtunnel, skalerte koeffisienter, krefter og friksjon

Vi betegner drag med D , løftkraft med L og sidekraft med S . Størrelsen A_{ref} er referanseflaten for modell, $q_\infty = \frac{1}{2}\rho u_\infty^2$ er fristrøms dynamisk trykk og u_∞ er fristrøms-hastigheten. Drag, løft og sidekrafts-koeffisienter er da:

$$C_D = \frac{D}{q_\infty A_{ref}}, \quad C_L = \frac{L}{q_\infty A_{ref}}, \quad C_S = \frac{S}{q_\infty A_{ref}}.$$

Målte verdier av pitch-moment P_M , yaw-moment Y_M og roll-moment R_M gir moment-koeffisienter for pitch, yaw og roll

$$C_{P_M} = \frac{P_M}{q_\infty A_{ref} P_M}, \quad C_{Y_M} = \frac{Y_M}{q_\infty A_{ref} P_M}, \quad C_{R_M} = \frac{R_M}{q_\infty A_{ref} P_M}$$

Fordeling av løft- og sidekrafts-koeffisienter på for- og bak-hjul er,

$$C_{L_F} = (1 - \gamma_1)C_L + \gamma_2 C_{P_M}, \quad C_{L_B} = \gamma_1 C_L - \gamma_2 C_{P_M},$$

$$C_{S_F} = (1 - \gamma_1)C_S + \gamma_2 C_{Y_M}, \quad C_{L_F} = \gamma_1 C_L - \gamma_2 C_{P_M},$$

I [3] er $\gamma_1 = \frac{2870}{6167}$ og $\gamma_2 = \frac{W_B}{6167} = \frac{5470}{6167}$, se figurene 4 og 8.

Løft- og side-krefter fordelt på hjul blir da:

$$L_F = q A C_{L_F}, \quad L_B = q A C_{L_B}, \quad S_F = q A C_{S_F}, \quad S_B = q A C_{S_B},$$

der A er den aktuelle referanseoverflaten i fullskala, og q er det aktuelle dynamiske trykket. Drag og roll-moment blir,

$$D = q A C_D, \quad R_M = q A W_B C_{R_M}.$$

Friksjonskoeffisienter kan da beregnes:

$$\mu_F = \frac{S_F}{T_F - L_F}, \quad \mu_B = \frac{S_B}{T_B - L_B}, \quad (9)$$

der T_F og T_B betegner tyngden på respektive for- og bak-hjul. Hvis massen til bussen er m_b , effektiv lengde mellom for- og bak-hjul l_b og l_{F0} avstanden mellom forhjul og tyngdepunkt, får en at,

$$T_F = m_b g \frac{l_b - l_{F0}}{l_b}, \quad T_B = m_b g - T_F.$$

Resultatene fra vindtunnel-eksperimentene er koeffisientene for krefter: C_D , C_L , C_S og momentkoeffisientene C_{P_M} , C_{Y_M} og C_{R_M} som funksjon av β (som er vinkelen mellom totalvinden og bussens lengderetning, se [3, figur 8]), $\beta \in [-90^\circ, 90^\circ]$ med 5 graders intervall. Deretter blir følgende størrelser regnet ut for fullskala: C_{L_F} , C_{L_B} , C_{S_F} , C_{S_B} , L_F , L_B , S_F , S_B , D og R_M . Da kan en beregne μ_F og μ_B fra (9) når en har tyngdefordelingen på bussen som vist over.

Hvis vi lar θ betegne vinkelen mellom vinden og bussens lengderetning, har vi fra sinus-proporsjonen at,

$$\frac{\sin(\theta - \beta)}{v_b} = \frac{\sin \beta}{v_w},$$

der v_b er bussens fart og v_w er vindhastigheten. Derved får en,

$$\theta = \beta + \sin^{-1} \left(\frac{v_b}{v_w} \sin \beta \right),$$

hvis en har at $(\frac{v_b}{v_w} \sin \beta \leq 1)$, dvs. vi har en reell trekant. I eksperimentene i [3] er de høyeste verdiene av μ_F og μ_B funnet ved $\beta \approx 30^\circ$. Med $v_b = 15m/s$ får en da $\theta \doteq 60^\circ$ ved $v_w = 15m/s$, $\theta \doteq 53^\circ$ ved $v_w = 20m/s$, og $\theta \doteq 46^\circ$ ved $v_w = 25m/s$.

Når en skal foreta friksjonsberegningene vil en i praksis ha en vindvinkel θ , vindstyrke og bussens fart og en vil beregne β . Fra geometriske betraktninger basert på [3, figur 8] har en at,

$$\cot \beta = \frac{v_b + v_w \cos \theta}{v_w \sin \theta}, \quad (10)$$

hvorfra en finner β .

3.2 Friksjonsberegning og beregning av sensitiviteter

Formelen for kritisk friksjonskoeffisient i (9) kan skrives som

$$\mu_i = \frac{q A C_{S_i}}{m_b g \gamma_i - q A C_{L_i}}, \quad (11)$$

der $i = B$ eller F , $q = \frac{1}{2} \rho u^2$ og γ_i er lastfordelingstall slik at $\gamma_F + \gamma_B = 1$.

Kraft-koeffisientene C_{S_i} og C_{L_i} er funksjoner av vinkelen β : $C_{S_i} = C_{S_i}(\beta)$, $C_{L_i} = C_{L_i}(\beta)$. Koeffisientene vil også være avhengige av Reynolds-tallet, dvs. den totale vinden gitt geometri. I eksperimentene som er brukt i [6] og [8] er Reynolds-tallet ca. $2.0 \cdot 10^6$ og en antar at en befinner seg i det turbulente området med hensyn til Reynolds-tall. I dette området varierer koeffisientene som $a_1 - a_2 Re^{-2}$, $a_1, a_2 \in \mathbb{R}$ med Reynolds-tall, se [4, Figure 3.44] og kapittel 2. Siden målingene i [3] bare er gjort for hastigheten 50 m/s og bussens hastigheten i vårt tilfelle var ca. 15 m/s, er det en betydelig forskjell i Reynolds-tall, gitt at lengdeskalaen for strømmingen er den samme (noe som er temmelig usikkert). Imidlertid vil vi i første omgang anta at vi kan benytte tallene fra [3] direkte for vårt tilfelle.

Vi beregner så sensitiviteter med hensyn på: Sidekraft-koeffisient, løftkraft-koeffisient, massen til bussen, den totale vindhastigheten og lastfordelingen:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mu_i}{\partial C_{S_i}} &= \frac{q A}{m_b g \gamma_i - q A C_{L_i}} = \frac{\mu_i}{C_{S_i}}, \\ \frac{\partial \mu_i}{\partial C_{L_i}} &= \frac{(q A)^2 C_{S_i}}{(m_b g \gamma_i - q A C_{L_i})^2} = \frac{\mu_i^2}{C_{S_i}}, \\ \frac{\partial \mu_i}{\partial m_b} &= -\frac{g \gamma_i q A C_{S_i}}{(m_b g \gamma_i - q A C_{L_i})^2} = -\frac{\mu_i^2 g \gamma_i}{q A C_{S_i}}, \\ \frac{\partial \mu_i}{\partial u} &= \frac{\partial \mu_i}{\partial q} \frac{\partial q}{\partial u} = \frac{m_b g \gamma_i A C_{S_i}}{(m_b g \gamma_i - q A C_{L_i})^2} \rho u = \frac{\mu_i^2 m_b g \gamma_i}{q^2 A C_{S_i}} \rho u, \\ \frac{\partial \mu_i}{\partial \gamma_i} &= -\frac{m_b g q A C_{S_i}}{(m_b g \gamma_i - q A C_{L_i})^2} = -\frac{\mu_i^2 m_b g}{q A C_{S_i}}.\end{aligned}$$

Siden sensitivitene er avhengige av de aktuelle verdiene for parameterne, må en regne ut friksjonskoeffisienter og sensitiviteter samtidig for å få et fullstendig bilde. Sensitivitet med hensyn på effektiv vindretning beregnes ved å sette inn koeffisienter for ulike verdier av β . Direkte kan det gjøres ved,

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} = \frac{\partial \mu_i}{\partial C_{S_i}} \frac{\partial C_{S_i}}{\partial \beta} + \frac{\partial \mu_i}{\partial C_{L_i}} \frac{\partial C_{L_i}}{\partial \beta},$$

hvis en lager en interpolant av C_{S_i} - og C_{L_i} -verdiene.

Det er også av interesse å beregne sensitiviteten med hensyn på en endring i hastigheten som vi kan uttrykke ved en instantan akselerasjon $\frac{\partial u}{\partial t}$. Som nevnt ovenfor antar vi at kraft-koeffisientene er tilnærmet uavhengige av Reynolds-tall, slik at vi må uttrykke sensitiviteten som følger:

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial v_w} = \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial C_{S_i}} \frac{\partial C_{S_i}}{\partial \beta} + \frac{\partial \mu_i}{\partial C_{L_i}} \frac{\partial C_{L_i}}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \beta}{\partial v_w} \frac{\partial v_w}{\partial t} = \frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial v_w} \frac{\partial v_w}{\partial t}.$$

Størrelsen $\frac{\partial \beta}{\partial v_w}$ kan vi beregne fra uttrykket for β i (10).

4 Værsituasjon og vindforhold

For å kartlegge vindforholdene rundt ulykkesstedet ved ulykkestidspunktet har vi brukt et nestet system av finskala værmodeller med 3 km, 1 km, 250 m og 75 m horisontal oppløsning. Inndataene til modellkjøringene var fra Storms operasjonelle værmodeller, en prognose som startet kl. 1200 UTC den 23.11.2006. Dataene fra disse modellene er lagret slik at vi kan kjøre finskala modeller på aktuelle værsituasjoner tilbake i tid. Modellsystemet vi har brukt i dette arbeidet har blitt

anvendt i andre liknende studier, og det henvises til [2] for en nærmere beskrivelse. Kjøringene er meget regnekrevende, og har blitt gjort på en av Storms parallell-maskiner.

Med en horisontal oppløsning på 75m kan vi forvente å finne detaljer i vindfeltet som er styrt av lokalt terreng såvel som detaljerte atmosfæriske forhold. Vertikaloppløsningen i en slik modell er ca. 10m nær bakken, og dette gir oss muligheten til å kartlegge detaljerte vertikale strukturer i vindfeltet, noe som ofte er viktig for å forstå vinden i bakkenivå.

I tiden rundt ulykkestidspunktet var det en forholdsvis sterk sør-sørøstlig vind på Dovre, observasjonene på Fokstua viste 12 m/s og 170° kl. 0100 UTC, og 18 m/s og 160° kl. 0200 UTC. En slik vindretning er tilnærmet vinkelrett på retningen på fjellsiden sørøst for ulykkesstedet. Denne typen vær-situasjon kan skape problematiske vindforhold rundt ulykkesstedet på følgende vis:

Figur 1 viser resultat fra modellen med 250m oppløsning, og vi betrakter et vertikalsnitt av vindstyrken i retning med den storskala vindretningen. En slik situasjon der vinden "stuper" ned fjellsiden kalles en "downslope windstorm", og er et kjent og mye studert vær-fenomen i mange fjellområder, for eksempel i Rocky Mountains i USA. For en god og oppdatert beskrivelse, se [10] og web-siden <http://www.meted.ucar.edu>. "Downslope windstorms" vil ikke gi konstant sterke vinder i en dalbunn, men istedet kraftige kast, opptil 50 m/s er målt i målekampanjene beskrevet i [10]. Mye kraftigere vindkast er også målt, men slike forekommer ikke hvert år.

Når det gjelder årsakene til "downslope windstorms", er den mest utbredte forklaring en såkalt superkritisk strømning over en fjellkjede. I vårt tilfelle er det ikke slike forhold, og den andre forklaringen er da rimelig, nemlig sterk vind i høyden kombinert med kraftige tyngdebølger oppstrøms, for mer detaljer se [11] og [12]. At det er en slik aktivitet oppstrøms, ser vi av figur 2, der ulykkespunktet er markert med et rødt punkt. Vi ser også fra figur 3, som viser vertikalhastigheten i samme vertikalsnitt som i figur 1, at bølgene er tydelige også nedstrøms av ulykkesstedet.

Et bedre inntrykk av vindsituasjonen får vi fra figur 4 som er resultat fra modellen med 75m oppløsning, og viser vindstyrken i et vertikalsnitt gjennom ulykkesstedet, sett fra sørvest. Et typisk kjennetegn for "downslope windstorms" er vist i figur 5 som viser potensiell temperatur (et uttrykk for stratifikasjonen) i samme vertikalsnitt som i figur 4. Figure 5 kan vi sammenlikne direkte med figur 8 i [10], og vi ser de samme detaljene. Videre dokumentasjon på fenomenet "downslope windstorm" får vi i figur 6, som viser vertikalhastigheter ned til -3 m/s langs fjellsiden. Vindforholdene kan også karakteriseres med turbulent kinetisk energi (TKE), som angir en midlet kinetisk energi fra det turbulente bidraget av vindfeltet. Figur 7 viser at det er terreng-indusert TKE i fjellsiden som transporteres nedover mot ulykkesstedet, noe som er en god indikasjon på at det er betydelige vindkast i området.

Vi kan, i en slik vær-situasjon, ikke forvente at modellene vil gi oss en nøyaktig instantan vindstyrke på ulykkesstedet, da "downslope windstorms" er karakterisert ved kraftige kast som ofte er meget lokale. Vindstyrken på ulykkesstedet fra modellresultatene fra 75m modellen er vist i figur 11. Den tykke heltrukne røde kurven er en glattet versjon av en stykkevis lineær kurve for vindstyrken i tidsrommet 0100 UTC til 0145 UTC. De andre kurvene på figuren er stokastisk genererte felter av vindkast som er addert til middelvindfeltet. Dette kommer vi nærmere tilbake til i neste kapittel. Vi kan direkte sammenlikne disse resultatene med simuleringene foretatt på vær-situasjonen 25.03.2006 beskrevet i [10], se spesielt figur 4 i denne referansen. I denne situasjonen ble det målt kast opp til 36 m/s. Siden terrenget på Dovre er mindre dramatisk enn topografien på stedet der eksperimentene i [10] ble utført (høydeforskjell ca. 600 m mot ca. 1500 m), er det rimelig å anta at det i området rundt ulykkesstedet var kast opp til 25 m/s, noe som stemmer godt overens med gust-observasjonen på Fokstua 0600 UTC, som var 24 m/s (målt over siste 6 timer).

Som en oppsummering kan en si at bussen kan ha vært utsatt for et eller flere vindkast på opptil

25 m/s, og at sannsynligheten for et kast på minst 20 m/s er ganske stor. Stokastisk kastberegning og oppsummerende statistikk på dette er beskrevet i neste kapittel.

5 Beregning av vindkast

Vinden som blir beregnet fra en atmosfæremodell er en middelvind over et visst tidsrom, og dette kommer av at vi har en begrenset romoppløsning og begrenset nøyaktighet i dataene som driver modellen. Det er *ikke* slik at variasjonen i beregnet vindfelt varierer i tid i samme størrelsesorden som tidsskrittet i modellen.

Reynolds' hypotese er at det totale vindfeltet kan dekomponeres i et middelfelt $\bar{\mathbf{u}}(x, t)$ som i vårt tilfelle kommer fra modellberegningene og turbulent og raskt varierende felt \mathbf{u}' som ikke kan oppløses i en modell,

$$\mathbf{u}(x, t) = \bar{\mathbf{u}}(x, t) + \mathbf{u}'.$$

Merk at dette er en vektor-relasjon og $\bar{\mathbf{u}}(x, t)$ og \mathbf{u}' kan ha helt forskjellige retninger.

Et vindkast er karakterisert ved en rask endring i vindvektoren,

$$\delta\mathbf{u}_\tau(x, t) = \mathbf{u}(x, t + \tau) - \mathbf{u}(x, t), \quad (12)$$

der τ tidsperioden for endringen. Hvis $\delta\mathbf{u}_\tau(x, t)$ overstiger en viss terskel $S(\tau)$ betegner vi endringen som et vindkast. Siden tiden τ er liten, er kastet representert i vindkomponenten \mathbf{u}' . Kan vi så beregne ihvertfall styrken på et vindkast? Fra modellen har vi turbulent kinetisk energi k gitt ved $\frac{1}{2}\|\mathbf{u}'\|^2$, altså også en midlet verdi. Vi kan da beregne $u_{turb} = \sqrt{2k}$, og det er vanlig å bruke en kastfaktor κ (høyst empirisk) slik at en bruker $u_{turb} \kappa$ som estimat for vindkast. Et mye brukt alternativ er å bruke en (annen) kastfaktor på middelvinden og bruke uttrykket $\|\bar{\mathbf{u}}\| \kappa_1$ som estimat. Ingen av disse alternativene er egentlig gode, og begge gir jo bare "middel-kast". Virkelig vindfelter varierer jo ganske raskt, spesielt der en har mye turbulens. Et godt eksempel har vi fra Hammerfest lufthavn 1.5.2005 (eksemplet er tatt fra [2]), og i figur 8 vises 10 minutters middelvind og 3 sekunders kast. Vi ser at kastene kan være opptil 10 m/s større enn middelet, og at å bruke en konstant kast-faktor er rimelig tvilsomt. Kastene ser heller ikke ut til å variere på en systematisk måte. I [2] har vi derfor brukt en stokastisk metode for å beregne kast, og den blir beskrevet kort nedenfor. For en grundigere beskrivelse se [2] og referansene der.

Det er flere undersøkelser som viser at sannsynlighetstettheten (pdf) for vindkast har "heavy tails", dvs. det er en stor sannsynlighet for store kast i forhold til om en modellerte kastene med normal-fordelingen. Vi bruker et arbeid av Böttcher et al. [13], som på basis av flere arbeider bruker følgende betingede fordeling for kaststyrken:

$$p(\|\delta\mathbf{u}_\tau\| \mid \|\bar{\mathbf{u}}\|) = \frac{1}{2\pi\lambda_\tau} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{(\|\delta\mathbf{u}_\tau\| - \mu)^2}{2s^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\ln^2(s/s_0)}{2\lambda_\tau^2}\right) \frac{d(\ln s)}{s}. \quad (13)$$

Her er μ forventningsverdien, og λ_τ og s_0 beskriver formen på fordelingen. Vi har her en betinget fordeling, men ingen direkte fordeling for middelvinden, slik at i praksis må en la variasjonen i middelvinden være representert i variasjon av parameterne λ_τ og s_0 . I praksis kan dette gjøres ved å generere et stokastisk vindfelt med parametre som passer for en del av tidsrekken for middelfeltet der dette er omtrent konstant. Hvis vi har en pdf $p(y)$, kan vi beregne fordelingsfunksjonen $F(x)$:

$$F(x) = \int_\infty^x p(y) dy,$$

og fra $F(x)$ kan vi f.eks. regne ut sannsynligheten for at kastet overstiger en viss verdi:

$$P(x > x_{crit}) = 1.0 - F(x_{crit}).$$

Figur 9 viser et eksempel på pdf og fordelingsfunksjon basert på uttrykket (13). Det skulle være rimelig klart at både pdf'en i (13) og $F(x)$ må beregnes numerisk, se [2] for detaljer.

Vi kan trekke verdier fra fordelingsfunksjonen $F(x)$ ved å trekke tilfeldige tall i $[0, 1]$: $\{U_i\}_{i=1}^N$ og beregne

$$y_i = F^{-1}(U_i), \quad i = 1, \dots, N.$$

Et eksempel fra [2] på en middelvind og dens stokastiske perturbasjon (y_i -verdier) er vist i figur 3 (vinden er her i knop), og dette viser at den stokastiske metoden er istand til å reprodusere virkelige felter slik som vist i figur 1. Vi kan også bruke fordelingen (13) på vindretnings-perturbasjon, men da med andre parametre enn de som ble brukt for vindstyrke.

Et eksempel på vindkast generert fra (13) er vist i figur 10, der den grønne kurven er kastene addert til middelvinden. Vi ser at kast-modelleringen gir temmelig brutale variasjoner i vindstyrken, og det kan stilles spørsmålsteget ved om virkelige vindkast er så raskt varierende. En annen type stokastisk generering er beskrevet i neste avsnitt.

Et alternativ for å generere et stokastisk vindfelt er å bruke realiseringer av en stokastisk prosess styrt av en stokastisk differensiallikning (SDE). Et rimelig valg er den såkalte Ornstein-Uhlenbeck (OU) prosessen som opprinnelig ble brukt for å modellere hastighetsfelte for molekyler i en væske, med som idag er brukt i en mengde anvendelser. Hvis vi setter $X_t = \delta \|\mathbf{u}_\tau\|$, kan prosessen beregnes fra SDE'en (i fysikk ofte kalt Langevin-likning):

$$dX_t = -\alpha(X_t - \mu)dt + \sigma dW_t, \quad (14)$$

der α styrer hvor mye kovariansen for prosessen skal avta med tiden og σ er et spredningsmål. Mer spesifikt har vi at,

$$E(X_t) = \mu, \quad \text{Cov}(X_t, X_s) = \frac{\sigma^2}{2\alpha} e^{-\alpha|t-s|},$$

forutsatt at vi starter opp prosessen med den stasjonære fordelingen $N(0, \alpha)$. De betingede verdiene er,

$$E(X_t|X_0 = c) = \mu + (c - \mu)e^{-\alpha t}, \quad \text{Cov}(X_t, X_s|X_0 = c) = \frac{\sigma^2}{2\alpha} \left(e^{-\alpha|t-s|} - e^{-\alpha(s+t)} \right).$$

Uttrykket dW_t er differensialet av en Brownsk bevegelse (\approx hvit støy i ingeniørfag). Prosessen X_t kan betegnes som "rød støy", siden den ikke inneholder så raske og store variasjoner som inkrementene i W_t gjør. Det er også typisk for prosessen at den har perioder der den er enten positiv eller negativ, til forskjell fra kastene som blir produsert fra fordelingsfunksjonen $F(x)$ i forrige avsnitt og som er vist i figur 3. En mer "regulær" oppførsel av vindkastene kan være fornuftig der vindfeltet ikke er sterkt preget av turbulens. Generelt er det vanskelig å si hvilken metode som gir det mest realistiske vindfeltet, det er fornuftig å kunne prøve ut flere metoder. Det er enkelt å generere realisasjoner av en OU-prosess når en har verdier fra en normalfordeling med forventning 0.0 og standardavvik 1.0, se [14] (der en også finner annet stoff om OU-prosessen), og [15].

En interessant forbindelse mellom de to metodene for å beregne vindkast som er nevnt ovenfor, er nylig presentert av Beck et al. [16], [17]. Teorien bak er generalisert statistisk mekanikk, såkalt "nonexpansive statistical mechanics" der en prøver å karakterisere fluktuasjoner av intensive variable så som vind og temperatur. I vår sammenheng er teorien blitt anvendt for å karakterisere atmosfærisk turbulens, i praksis vindkast, se [16] for et eksempel. Resultatene foreløpig er bra, og produserer statistikk som stemmer overens med eksperimenter.

Ut fra denne teorien kan en beregne sannsynlighets-tettheter for vindkast som likner på log-normal fordelinger (se [17]), og som likner mye på fordelingen i (13). Fordelingen kan også genereres ved å løse en ikke-lineær Langevin-likning,

$$dX_t = -\gamma F(X_t) dt + \sigma dW_t, \quad (15)$$

der $\gamma \in \mathbb{R}$, $F(x) = -\frac{\partial}{\partial x} V(x)$, hvor $V(x) = C|x|^{2\alpha}$, $C \in \mathbb{R}$. Ved å innføre en skalert invers varians-parameter $\beta = \gamma/\sigma^2$ for fluktuasjoner over lengre tidsskalaer enn vindkastene, kan en da generere realisasjoner av vindkast med ulike varianser ved å variere β . For en diskusjon av verdien på α , vises det til [17], hvor også relasjoner mellom β og klassiske turbulens-parametre såsom den turbulente dissipasjon, blir diskutert.

Vi har brukt løsninger av likningen (15) med $\alpha = 1$ og invers variansparameter $\beta = 3.0$, den siste tilpasset de observerte kastene på Fokstua. Resultatet av 5 realiseringer addert til middelvinden, er vist i kurvene med tynne linjer i figur 11. Vi ser at realiseringene gir litt forskjellig oppførsel i tidsperioden, og at de fleste realiseringene gir maksimalt kast rimelig likt det som er observert på Fokstua. Det er jo ingen detaljerte observasjoner av kastene på ulykkesstedet, men det er ut fra liknende observasjoner rimelig å anta at vinden kan ha variert på en måte som likner realisasjonene som er vist i figur 11.

6 Kjøretøy-modellen anvendt på aktuelle vindforhold

Vi har valgt å bruke de oppskalerte, målte data fra rapporten [3] som grunnlag for beregning av aerodynamiske krefter på bussen. Et programsystem er laget som leser inn data fra regnearkene som fulgte med [3] og data for bussen som forulykket 24.11.2006. Formelene som er presentert i kapittel 3.1, og sensitivitetene som er presentert i kapittel 3.2, er hva som programsystemet regner ut. De dataene for bussen som blir lest inn er: Bussens masse, tyngde på forhjul og bakhjul, bussens fart, vindhastigheten og vinkelen mellom vindretning og bussens kjøreretning. Ved å variere disse dataene, kan en finne ut hva kritisk friksjon (nødvendig friksjonskoeffisient for at bussen ikke skal skli av veien) er for en gitt konfigurasjon. Vi har også brukt aerodynamiske data for en en-etasjes buss for å se hvordan det påvirker kritisk friksjon.

De resultatene vi rapporterer her er for konstant masse av bussen, konstant tyngdefordeling og konstant vindvinkel. En varierer da bussens fart og vindhastigheten, dessuten vil en som i [3] beregne kritisk friksjon for en sektor omkring den oppgitte vindvinkel for å ta høyde for at vindkast kan ha en noe annen retning enn middelvinden. Resultatene vil være kritisk friksjon på for- og bak-hjul som funksjon av vinkel i den valgte sektoren omkring oppgitt vindvinkel. Sensitivitetene er ikke bli presentert i figurer, men istedet når resultatene skal diskuteres.

Figurene 12, 13 og 14 viser kritisk friksjonskoeffisient som funksjon av vinkelen mellom totalvind og bussens retning for bussfart på henholdsvis 15 m/s , 20 m/s og 25 m/s . Kurvene i disse figurene er:

- Kritisk friksjonskoeffisient forhjul, vindhastighet 25 m/s : Blå kurve
- Kritisk friksjonskoeffisient forhjul, vindhastighet 20 m/s : Grønn kurve
- Kritisk friksjonskoeffisient forhjul, Vindhastighet 15 m/s : Rød kurve
- Kritisk friksjonskoeffisient bakhjul, vindhastighet 25 m/s : Gul kurve
- Kritisk friksjonskoeffisient bakhjul, vindhastighet 20 m/s : Turkis kurve
- Kritisk friksjonskoeffisient bakhjul, Vindhastighet 15 m/s : Lilla kurve

I alle resultatene er kritisk friksjonskoeffisient for bakhjul betydelig mindre enn for forhjul, så i det følgende diskuterer vi bare friksjonen for forhjul.

Tar vi utgangspunkt i figur 13 for bussfart 20 m/s eller 72 km/h , ser vi at maksimal kritisk friksjon er ved total vindvinkel 30 grader og at ved vindstyrke 25 m/s er denne maksimale kritiske friksjon 0.275 , noe som kan karakteriseres som ”godt vinterføre”. Når vinden er 20 m/s er verdien 0.20 , og ved vind på 15 m/s er den 0.13 . Den siste verdien betegner nok temmelig glatt veibane. Hvis vi bruker den aktuelle vindvinkelen som ble observert på Fokstua, vil det tilsvare 34.7 , 42.0 og 47.7 grader ved henholdsvis 15 m/s , 20 m/s og 25 m/s vind, noe som altså gir litt lavere verdier for kritisk friksjon. Imidlertid kan et vindkast ha en noe annen retning enn middelvinden, slik at det er sannsynlig at det kan ha forekommet vindkast med retning som tilsvarer maksimal kritisk friksjon. De tilsvarende vinkler for totalvinden for bussfart 15 m/s er: 42.0 , 49.3 og 54.7 grader ved henholdsvis 15 m/s , 20 m/s og 25 m/s vind. For bussfart 24 m/s har en 29.3 , 36.3 og 42.0 grader ved henholdsvis 15 m/s , 20 m/s og 25 m/s vind. For alle disse tilfellene gjelder at hvis vindvinkelen er ca. 20 grader fra det som er målt på Fokstua, så vil det gi tilfellet med maksimal kritisk friksjon. Fra praktisk erfaring har en at selv kraftige vindkast kan variere langt mer enn 20 grader, og i tillegg er kast temmelig lokale både i styrke og retning. Sannsynligheten for at kast med den mest ugunstige retningen kan ha forekommet er derfor ganske stor.

Variasjonen i kritisk friksjonskoeffisient med bussen fart framgår av figurene 12, 13 og 14. Vi ser at forskjellen i friksjon mellom bussfart 15 m/s (ulykkesbussens antatte fart) og bussfart 20 m/s med samme vindstyrke, ikke er stor, 0.17 mot 0.20 når vinden er 20 m/s . Betydningen av vindstyrken ved oppgitt bussfart er betydelig større. Dette er ikke overraskende, men det er nyttig å få det kvantifisert.

Hvis vi ser på resultatene for en lav buss vist i figur 15, og sammenlikner dette med resultatene i figur 13, ser vi at forskjellene i kritisk friksjon ikke er store, ca 0.13 for lave buss mot 0.20 for høy buss, begge ved 20 m/s vind. Imidlertid er en for lav buss avhengig av de aerodynamiske koeffisientene som er målt i [3], og den er ikke usannsynlig at disse er annerledes for en buss med en annen geometri.

Den største sensitiviteten av kritisk friksjonskoeffisient finner vi med hensyn på sidekraftkoeffisienten C_{SF} , den er ca 0.1 . Det vil si at en endring av C_{SF} på for eksempel 0.5 gir en endring i friksjonskoeffisienten på 0.05 , noe som er i størrelsesorden det samme som en variasjon i bussfart eller vindhastighet på 5 m/s . Sensitivitet med hensyn på bussen masse er forholdsvis beskjeden, det skal en økning i bussens masse på ca. 6 tonn for å gi en minking i kritisk friksjon på 0.05 .

7 Konklusjon

Dette arbeidet har bestått av to nesten uavhengige deloppgaver:

1. Modellere vær-situasjonen ved ulykkesstedet på ulykkestidspunktet med finskala værmodeller der horisontal oppløsning er ned til 75 m .
2. Beregne kreftene som av vind som forekom i området rundt ulykkestedet basert på målinger av aerodynamiske data på en modell av en buss som ikke er ulik den som forulykket.

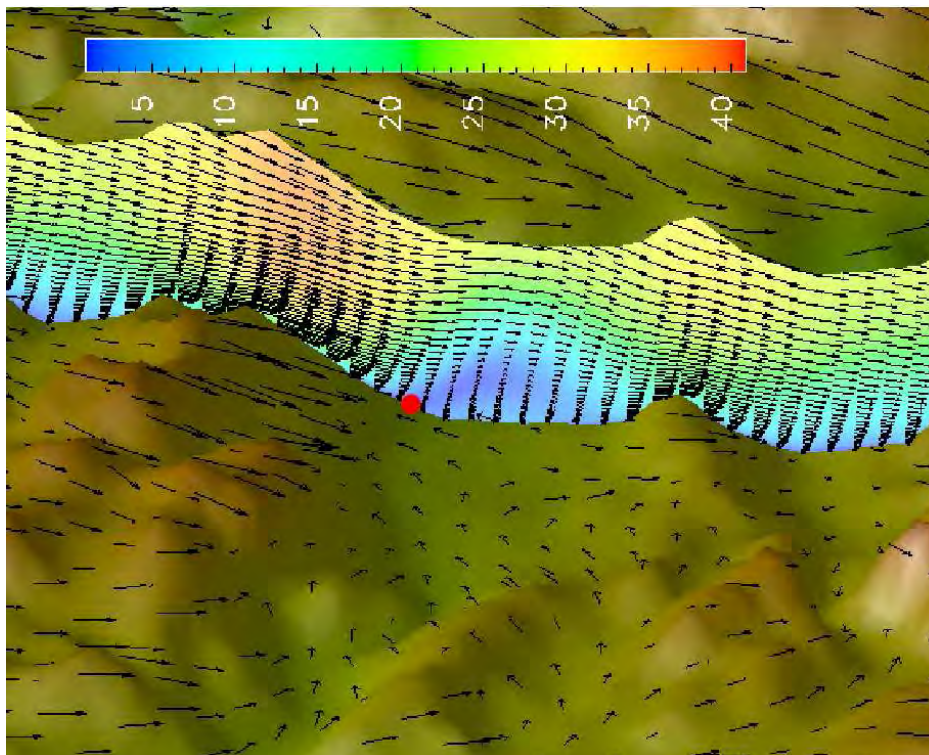
Modellkjøringene viste at vær-situasjonen var karakterisert av fenomenet ”downslope windstorm”, der kraftig vind kommer ned fjellsiden og kan forårsake kraftige vindkast. Observasjonene på Fokstua i perioden rundt ulykkestidspunktet gir klare indikasjoner på at vær-situasjonen var slik som modellene predikerer. Analysen foretatt i [1] viser at det er nesten utelukkende i vær-situasjoner som den som var ved ulykkestidspunktet hvor det forekommer sterk vind i området, med sterk vind menes her vind $> 15\text{ m/s}$.

Den andre deloppgaven baserte seg på dataene i [3], og en er derfor prisgitt nøyaktigheten av disse dataene anvendt på bussen på Dovre. For å kunne si noe om sensitiviteten av de målte størrelser og andre viktige parametre for bussen, er det foretatt beregninger av sensitiviteten av kritisk friksjon med hensyn på utvalgte parametre. Resultatene av beregningene viser at kritisk friksjonskoeffisient kan være opptil 0.30 i mest ugunstige tilfelle ved sterk vind, og en slik friksjonskoeffisient vil typisk være relevant for "godt vinterføre" Hvis veibanen var glatt (friksjons-koeffisient 0.1 – 0.2 for eksempel) skal det mindre kraftig vind til for at en buss skal få problemer med å holde seg på veien.

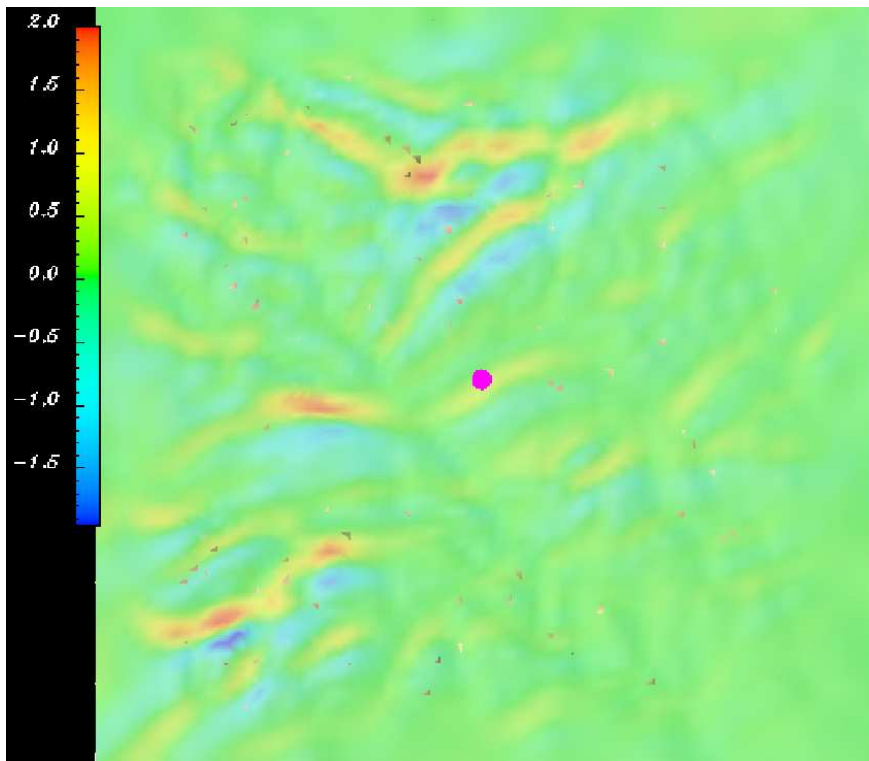
Referanser

- [1] A.Holstad: *Bussulykken på Dovre 24.22.2006: En klimatologisk undersøkelse av tilsvarende vindforhold*, Storm Technical Report, Storm Weather Center, Bergen, Oktober 2007.
- [2] A.Holstad, I.Lie: *Simulation of wind conditions at Hammerfest airport using very high resolution atmospheric models*. Technical Report 2005/07, Storm Weather Center Bergen, 2005.
- [3] P.-Å.Torlund: *Experimentell undersökning av sidvindskänsligheten av en tvåvåningsbuss i FFA's vindtunnel LT1*, FFA TN 2000-05, Flygteknisk Forsöksanstalten, Box 11021, SE-161 11, Bromma, Sverige.
- [4] J.D.Anderson: *Fundamentals of Aerodynamics*, Third Edition, McGraw-Hill, New York, 2001.
- [5] S.Krajnovic, L.Davidson: *Development of Large-Eddy Simulation for Vehicle Aerodynamics*, Paper IMECE 2002-32833, Proceedings Int.Mechanical Eng.Congress, New Orleans, Louisiana, USA, November 2002.
- [6] C.J.Roy, J.C.Brown, L.J.DeChant, M.F.Barone: *Unsteady Turbulent Flow Simulations of the Base of a Generic Tractor/Trailer*, AIAA Paper 2004-2255, July 2004.
- [7] L.Landau, L.M.Lifschitz: *Fluid Mechanics*, A Course in Theoretical Physics, Vol.4, Second Edition, Pergamon Press, New York, 1991.
- [8] J.Ortega, T.Dunn, R.McCallen and K.Salari: *Computational Simulation of a Heavy Vehicle Trailer Wake*, Preprint UCRL-JC-152549, Lawrence Livermore National Laboratory, December 2002. Also in "United Engineering Foundation, Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses and Trains"Conference Proceedings, Monterey, CA, December 2002.
- [9] Rapport RO 2002:04. Brand i buss efter trafikolycka Fjärdhundra på länsveg 70, C länden 21. november 1998. Dnr O-10/98, Statens havarikommisjon, P.O.Box 12538, SE-102 29, Stockholm, Sverige.
- [10] S.Czyzyk, K.Runk: *Operational Forecast Support by National Weather Service Forecast Office in Las Vegas during the Terrain-Induced Rotor Experiment*, Proceedings 12th Annual Conference on Mountain Meteorology, 2007.
- [11] R.Laprise, W.R.Peltier: *The Linear Stability of Nonlinear Mountain Waves: Implications for the Understanding of Severe Downslope Windstorms*, J.Atmos.Sci. 46(1989), pp. 545-564.
- [12] D.R.Durran: *Another Look at Downslope Windstorms. Part I: The Developments of Analogs to Supercritical Flow in an Infinitely Deep, Continuously Stratified Fluid*, J.Atmos.Sci. 43(1986), pp.2527-2543.

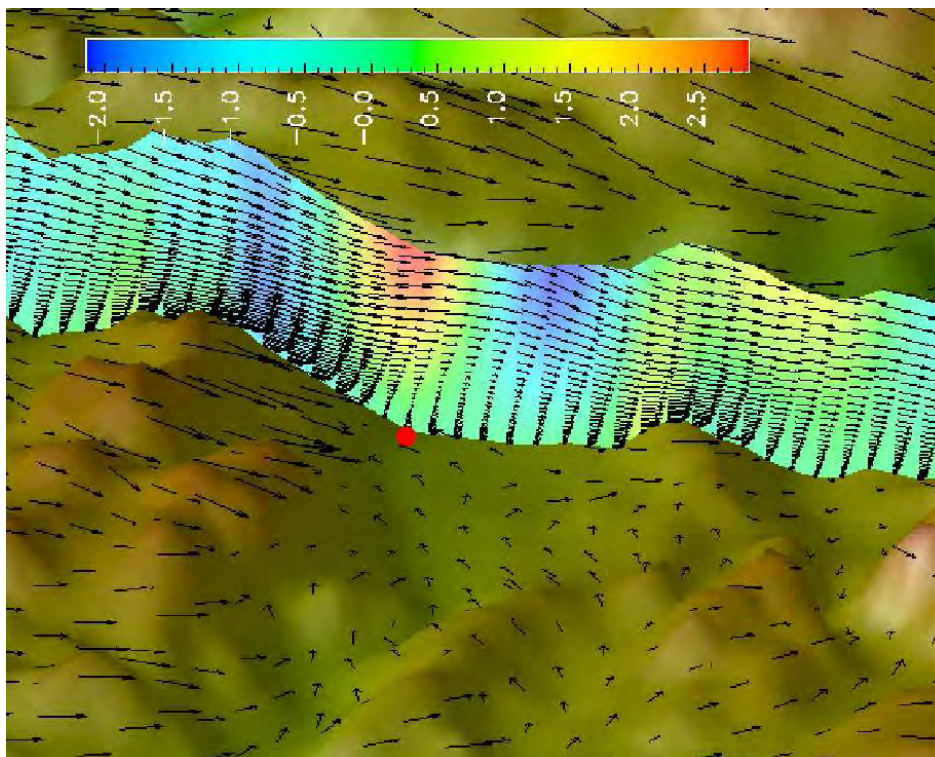
- [13] F.Boettcher et al: *On the statistics of wind gusts*, Boundary-Layer Meteorology 108(July 2003) pp.163-173.
- [14] S.R.Finch: *Ornstein-Uhlenbeck Process*, unpublished manuscript, May, 2004, see <http://algo.inria.fr/resolve/ou.pdf> .
- [15] L.Bartosch: *Generation of Colored Noise*, Int.J.Modern Physics C, 12(6), 2001, pp.851-855.
- [16] C.Beck, E.G.D.Cohen, S.Rizzo: *Atmospheric turbulence and superstatistics*, <http://arXiv.org> : cond-mat/0508257, September 2005.
- [17] C.Beck: *Generalized statistical mechanics and fully developed turbulence*, <http://arXiv.org> : cond-mat/0110073, October 2001.



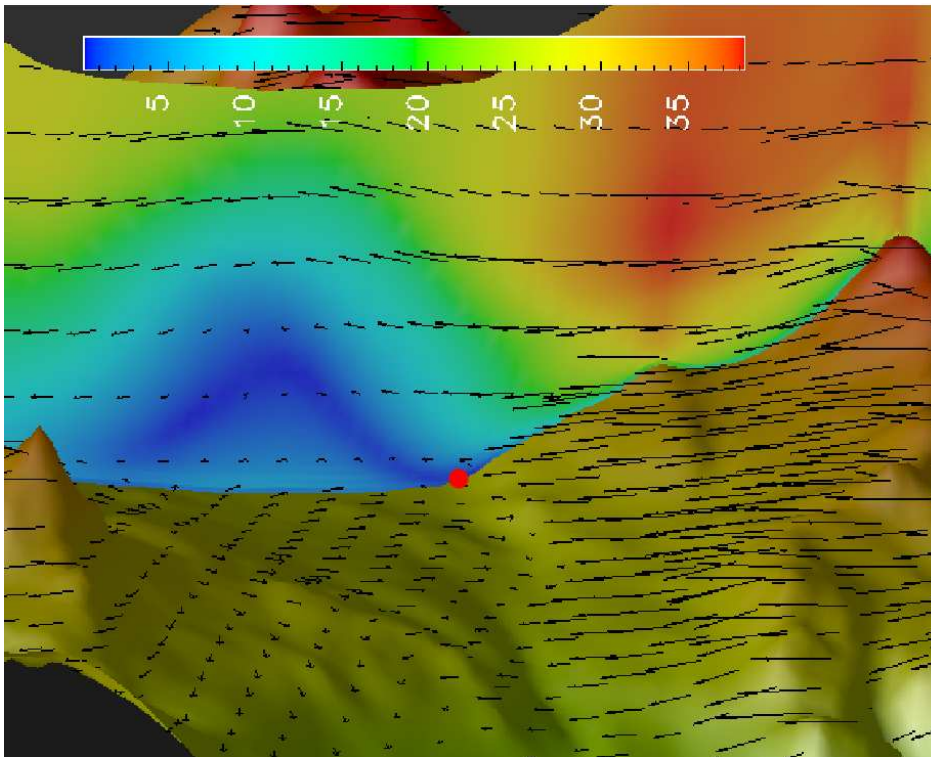
Figur 1: Resultater fra værmodellen med 250 m oppløsning: Vertikalsnitt i vindretningen av vindfeltet målt i knop. Fargene representerer vindstyrken. Ulykkessted markert med rødt punkt, og vi betrakter snittet fra nord-øst.



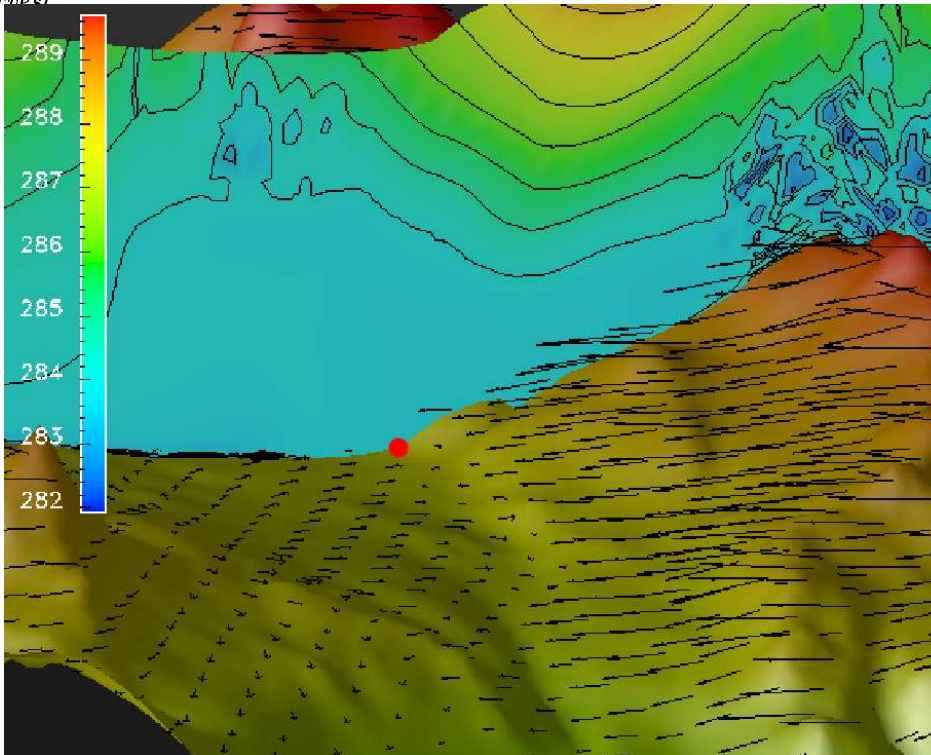
Figur 2: Resultater fra vÅjnermodellen med 1 km oppløsning: Horisontalsnitt av vertikalhastigheten 2700 m over havet som viser tyngdebølge- aktivitet oppstrøms for ulykkesstedet som er markert med et lilla punkt



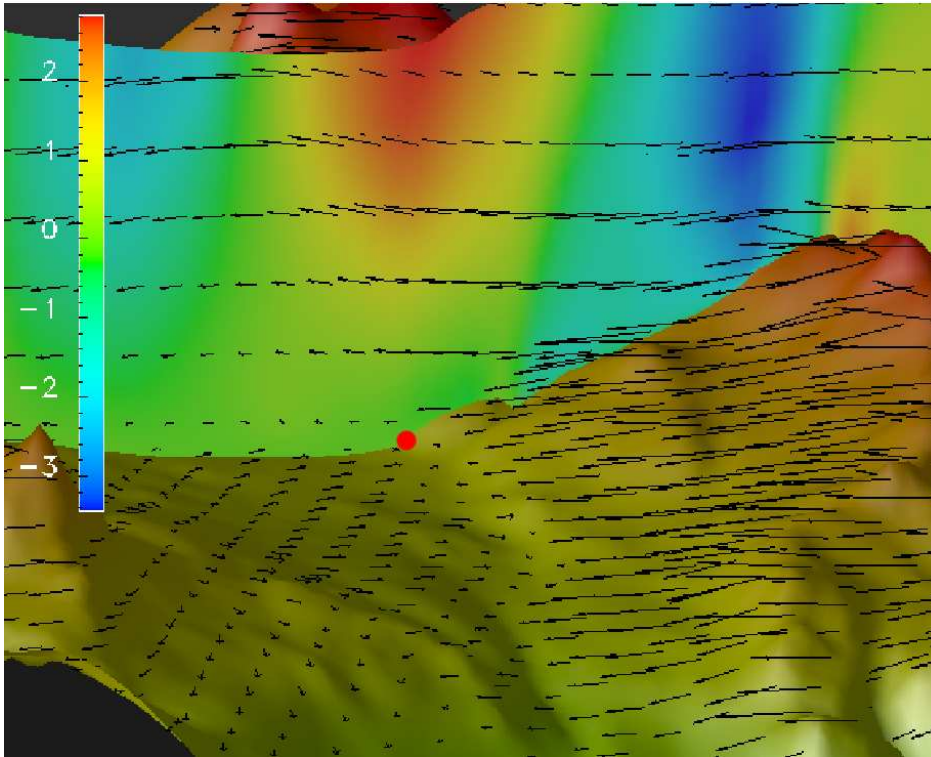
Figur 3: Resultater fra værmodellen med 250 m oppløsning: Vertikalsnitt i vindretningen av vertikalhastigheten målt i ms^{-1} . Fargene representerer styrken. Ulykkessted markert med rødt punkt



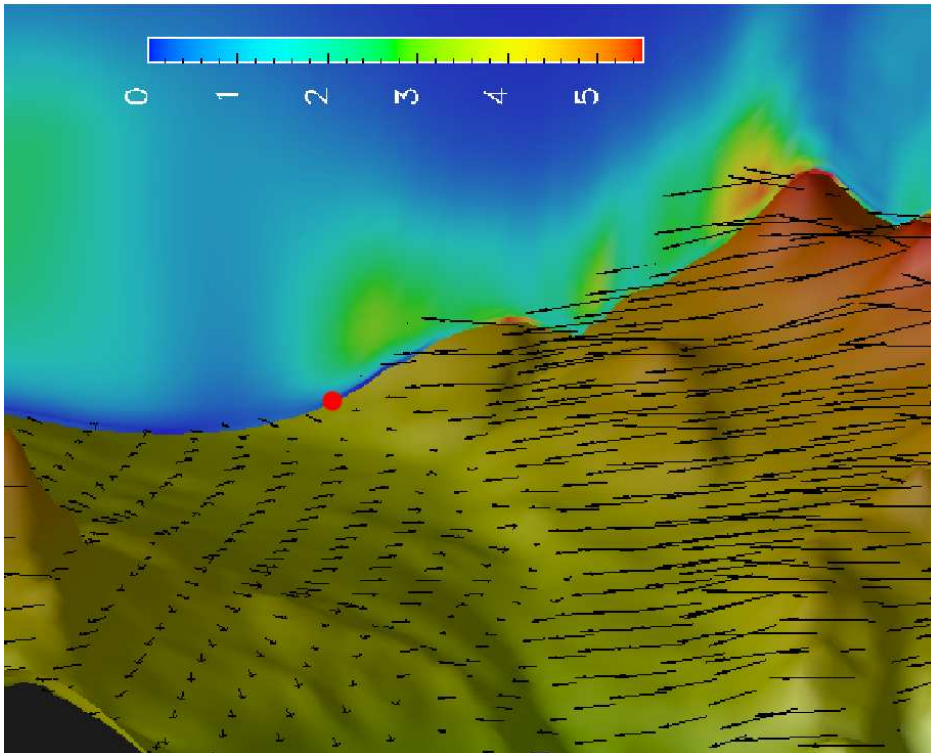
Figur 4: Resultater fra værmodellen med 75 m oppløsning: Vertikalsnitt i vindretningen av vindstyrken målt i knop. Fargene representerer styrken. Ulykkessted markert med rødt punkt, og vi betrakter snittet fra sørvest



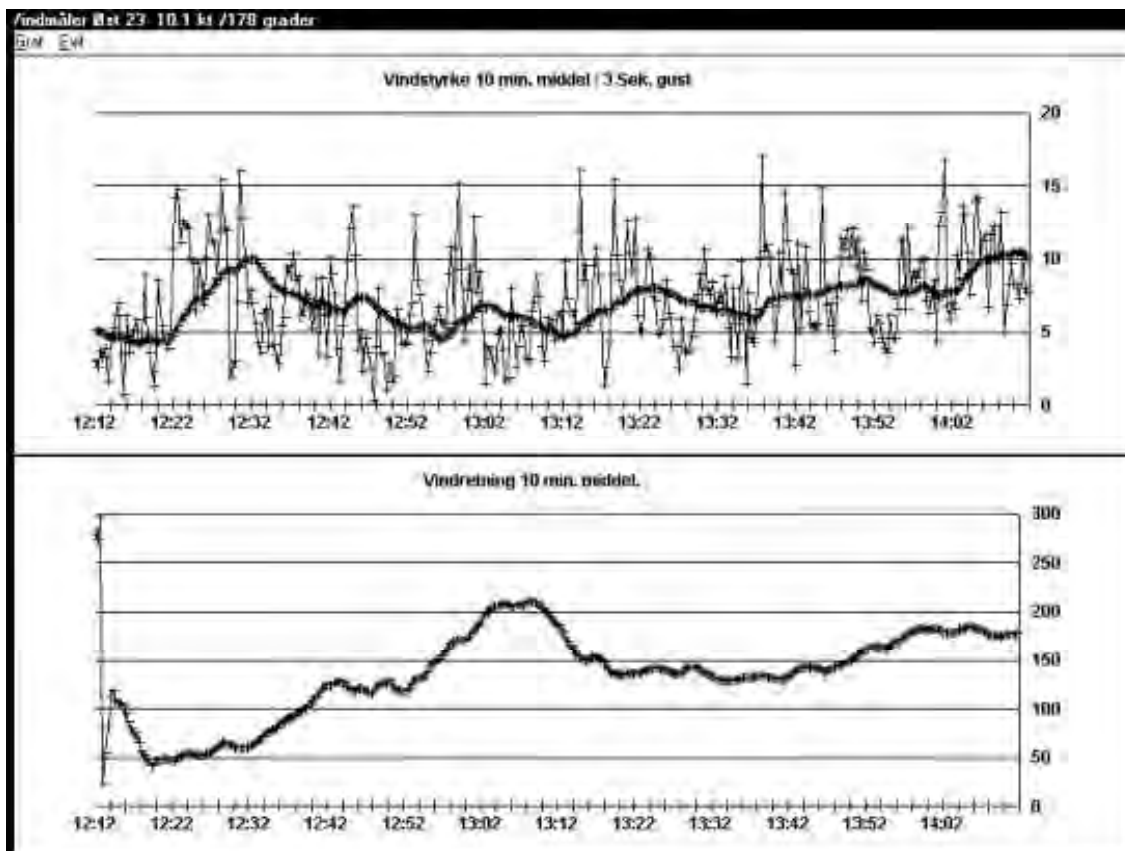
Figur 5: Resultater fra værmodellen med 75 m oppløsning: Vertikalsnitt i vindretningen av potensiell temperatur i grader Kelvin. Fargene representerer styrken. Ulykkessted markert med rødt punkt



Figur 6: Resultater fra værmodellen med 75 m oppløsning: Vertikalsnitt i vindretningen av vertikalhastigheten målt i ms^{-1} . Fargene representerer styrken. Ulykkessted markert med rødt punkt

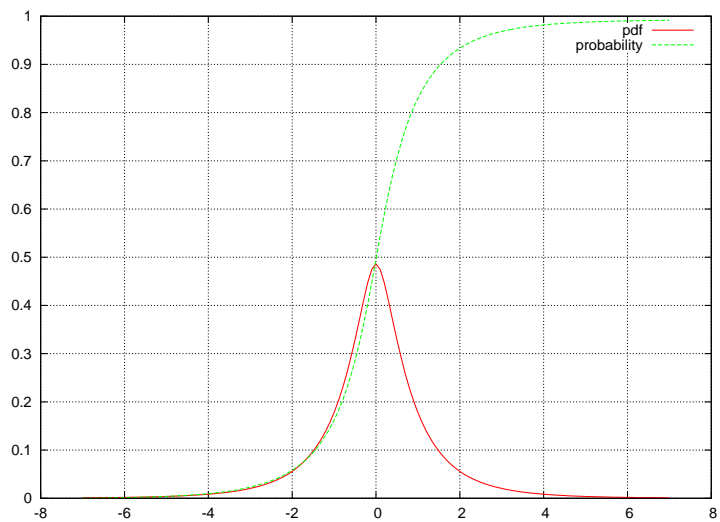


Figur 7: Resultater fra værmodellen med 75 m oppløsning: Vertikalsnitt i vindretningen av turbulent kinetisk energi målt i m^2s^{-2} . Fargene representerer styrken. Ulykkessted markert med rødt punkt

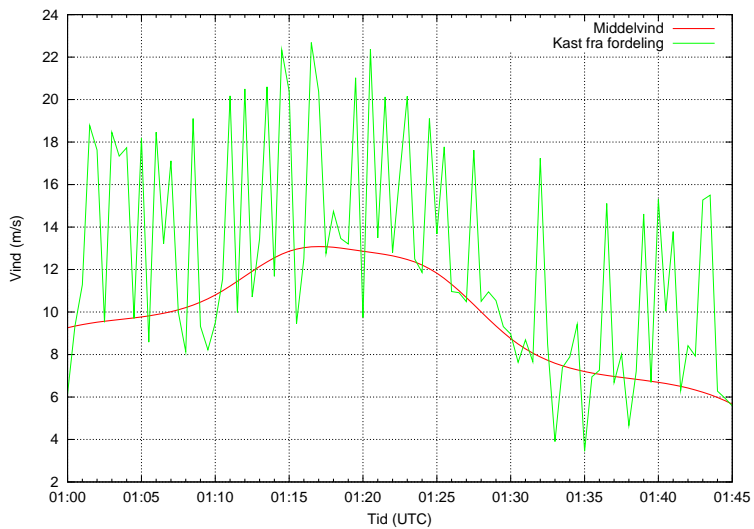


/tmp/kde-ivar/kmailCwz4a.6/HF III 010505 ØST SV.bmp

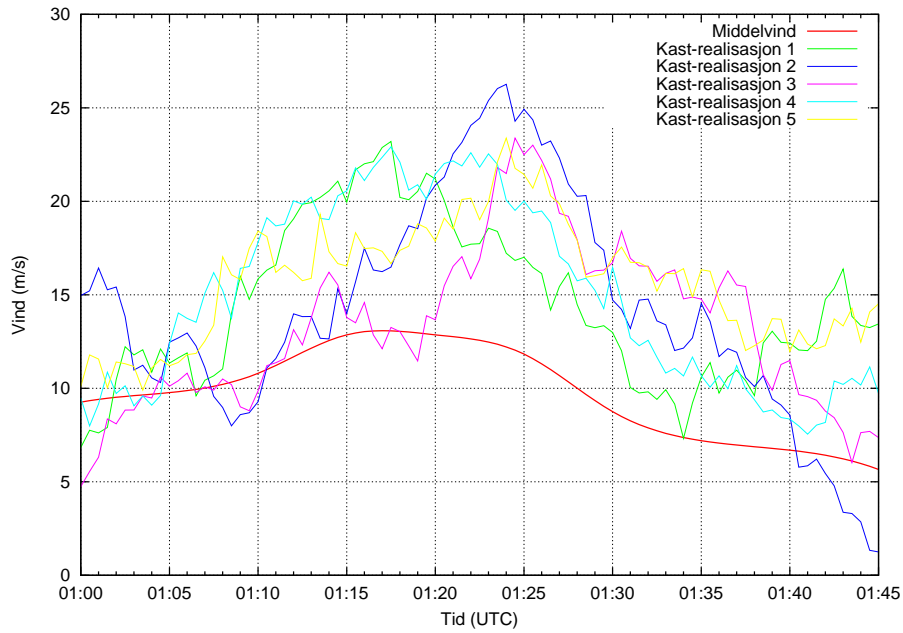
Figur 8: Vindmålinger i østre ende av rullebanen på Hammerfest lufthavn.



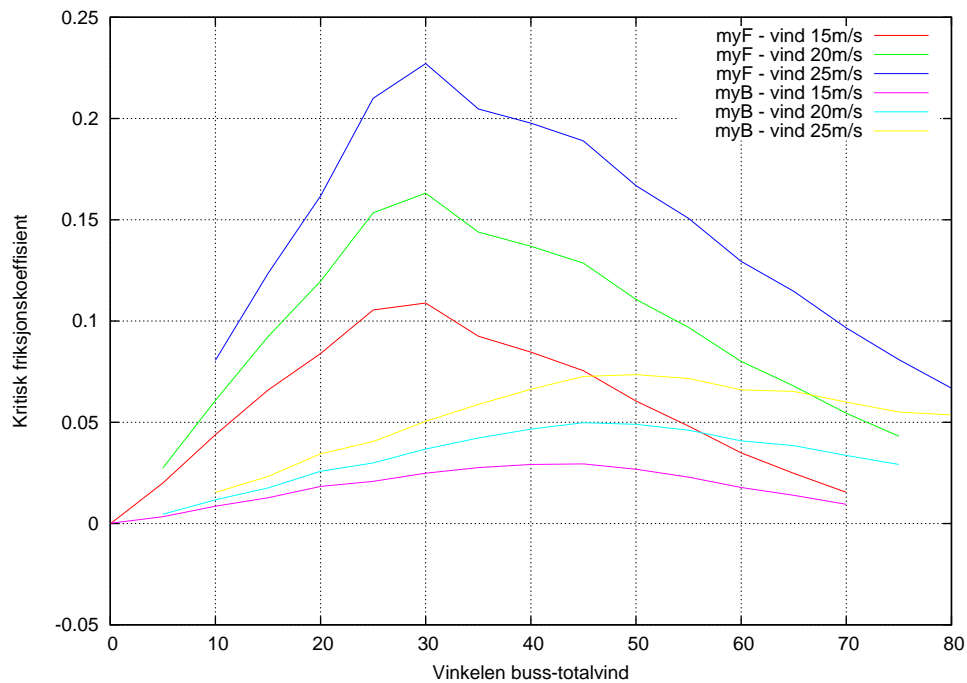
Figur 9: Sannsynlighetstetthet og fordelingsfunksjon for "intermittent" fordeling for vindkast.



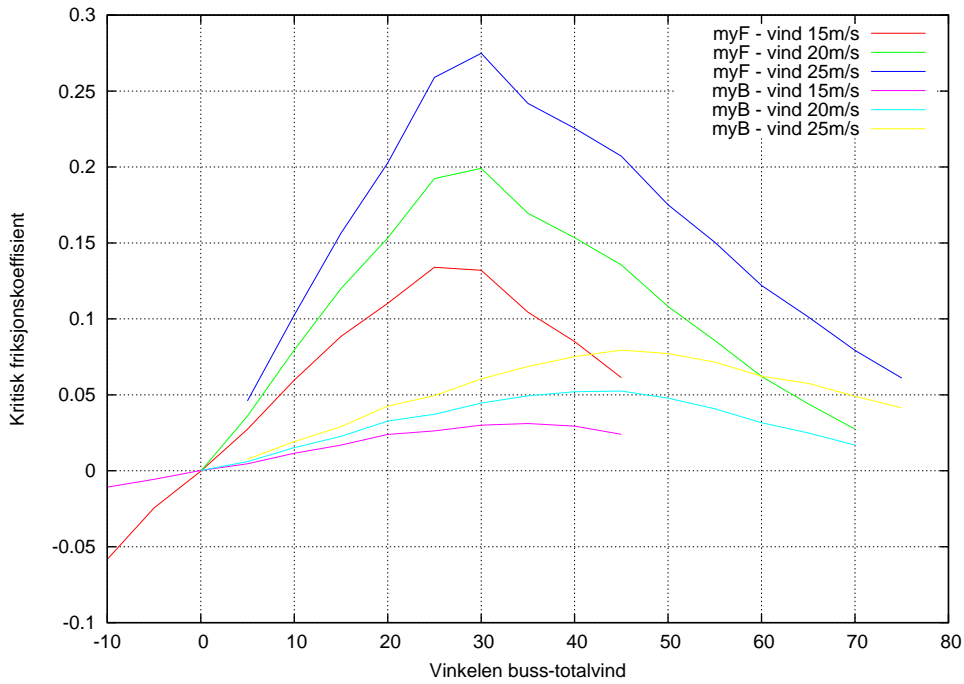
Figur 10: Middelvind med tykke strek, og middelvind pluss stokastisk generert vindkast fra fordelingsfunksjonen i figur 9.



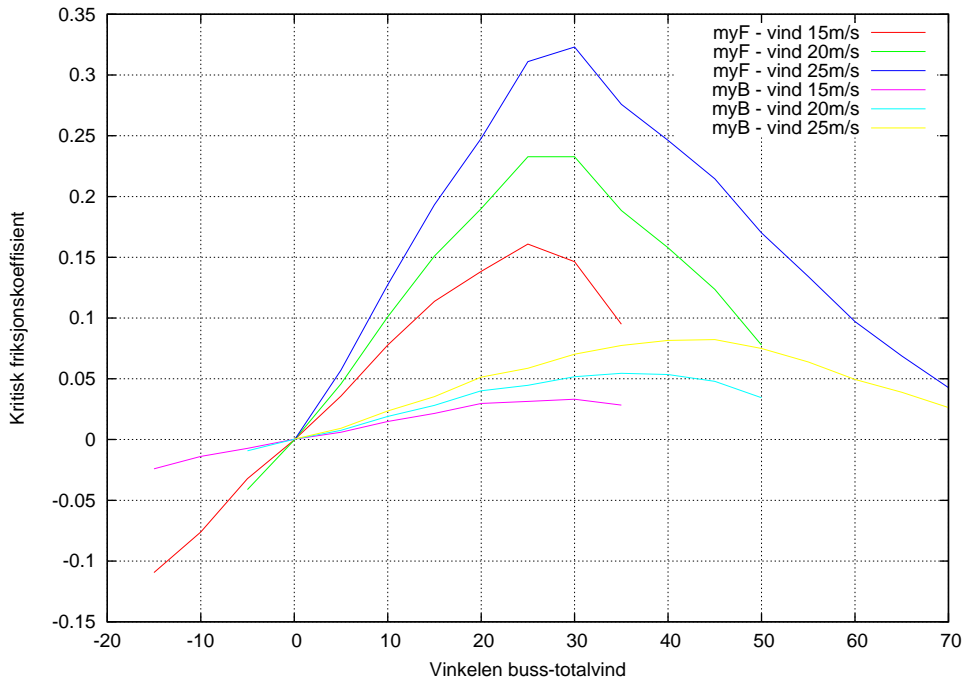
Figur 11: *Middelvind fra atmosfæremodell som funksjon av tiden med rød tykk strek. Stokastiske genererte vindkast (5 realisasjoner) pluss middelvind (kurver med tynne streker).*



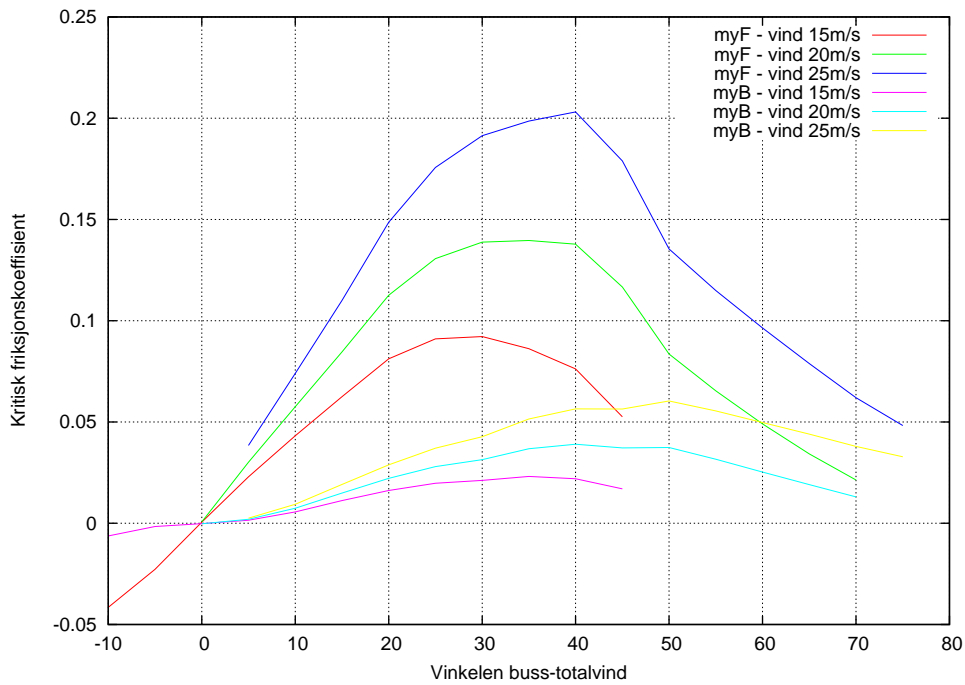
Figur 12: *Kritisk friksjonskoeffisient for- og bakhjul. Bussfart 15 m/s. myF, vind 25 m/s: Blå kurve; myF, vind 20 m/s: Grønn kurve, myF, vind 15 m/s: Rød kurve. For myB: Henholdsvis gul, turkis og lilla kurver.*



Figur 13: Kritisk friksjonskoeffisient for- og bakhjul. Bussfart 20 m/s. myF, vind 25 m/s: Blå kurve; myF, vind 20 m/s: Grønn kurve, myF, vind 15 m/s: Rød kurve. For myB: Henholdsvis gul, turkis og lilla kurver.



Figur 14: Kritisk friksjonskoeffisient for- og bakhjul. Bussfart 25 m/s. myF, vind 25 m/s: Blå kurve; myF, vind 20 m/s: Grønn kurve, myF, vind 15 m/s: Rød kurve. For myB: Henholdsvis gul, turkis og lilla kurver.



Figur 15: *Kritisk friksjonskoeffisient for- og bakhjul. Lav buss med fart 20 m/s. myF, vind 25 m/s: Blå kurve; myF, vind 20 m/s: Grønn kurve, myF, vind 15 m/s: Rød kurve. For myB: Henholdsvis gul, turkis og lilla kurver.*