

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

# *klima*

HOVEDFLYPLASS - GARDERMOEN  
VINDFORHOLD

KNUT HARSTVEIT OG LARS ANDRESEN

RAPPORT NR. 42/91



# DNMI-RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT  
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3  
TELEFON: (02) 96 30 00

ISBN

RAPPORT NR.

42/91

DATO

1.11.91

TITTEL

**HOVEDFLYPLASS - GARDERMOEN  
VINDFORHOLD**

UTARBEIDET AV

**Knut Harstveit og Lars Andresen**

OPPDRAGSGIVER

**LUFTFARTSVERKET  
HOVEDFLYPLASSPROSJEKTET**

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

Radiosondemålinger fra Gardermoen er bearbeidet. Data fra 1980 til 1987 er benyttet for langtidsstatistikk og data fra 11 måneder i 1990/91 er benyttet for å beregne vindprofiler og turbulens. Vind omkring 300' er funnet å ha størst høydeøkning og høyest turbulens.

Det er foretatt en enkel konsekvensanalyse mhp. flyturbulens og vindskjær.

Sterk turbulens er vurdert til en forekomst av 0.2% ved nåværende rullebane, 0.1-0.2% ved østre banealternativ og 0.5-1% av tida ved vestre alternativ.

Målinger med SODAR viser at en sone med vindskjær ligger i aktuell flytrasé 5 km nord for baneenden ved vestre alternativ.

UNDERSKRIFT

*Knut Harstveit*

Knut Harstveit

SAKSBEHANDLER

*Bjørn Aune*

Bjørn Aune

FAGSJEF

## SAMMENDRAG.

### Meteorologiske måledata.

Radiosondedata fra Gardermoen er utnyttet for å gi statistikk over vindforholdene over flyplassen. Registreringer som er representative for 100, 400 og 700 m's høyde over plassen er benyttet. Registreringen i en 8-års periode er benyttet for langtidsstatistikk, men registreringer over ca. 1 år er benyttet for å gi vindprofiler ved middels til sterk vind. Disse profilene er benyttet for omregning til turbulensintensiteter (eller standardavvik).

Statistikken viser at en markant nord - sør føring av vinden i de nederste få hundre meter vil utjevnes over ca. 400 m's høyde. Derved blir innslaget av vestlige vinder høyere enn på bakken.

Materialet viser at den sterkeste vindøkningen med høyden forekommer ved nordvestlig vind. Økningen er størst under tilfelle med temperaturinversjoner (temperaturøkning med høyden).

Det er få tilfelle med lavt skydekke (tåke i Romeriksbåsen) ved vestlig til nordvestlig vind, men ved sørvestlig vind kan lavt skydekke og sterk vind opptre samtidig.

### Turbulens.

Moderat turbulens ansees typisk å bli rapportert ved horisontale standardavvik på 4-6m/s, og sterk turbulens ved 6-8m/s. Typiske verdier for maksimum vertikal vindkast ligger da i området 15-20 fps (fot pr. sek.), og 20-30fps.

Moderat turbulens er estimert til 2% av tida og sterk turbulens i 0.2% av tida ved flygning på nåværende flyplass.

Det må presiseres at begrepene moderat og sterk turbulens rapporteres gjennom virkning på fly, og således er flytype, vekt og flyhastighetsavhengig. Tallene over må derfor ikke tolkes for langt.

I nordområdet ved en planlagt vestre rullebane kan fps-verdiene komme til å øke med 20% fordi flyene flyr inn i en sone med negativ midlere vertikalvind i løpet av få sekunder. Moderat turbulens vil da oppleves i 2-4% av tida og sterk turbulens i 0.5-1% av tida.

Ved et østlig rullebanealternativ vil tallene for moderat turbulens ligge i området 1-2% av tida og sterk turbulens i 0.1-0.2% av tida, dvs., noe sjeldnere enn ved eksisterende flyplass.

### Vindskjær.

Det er meget sjelden knyttet problemer til vindskjær ved operasjoner på eksisterende bane. Dette vil også være tilfelle ved operasjoner øst for denne.

Ved inn/utflygning i nordområdet ved en eventuell vestlig rullebane må en regne med å krysse en vindskjærssone ved sørenden av Hurdalssjøen, 200-400 m over bakken. Målinger har vist 5 m/s pr. 100 m's høyde i dette laget. Det er ikke målt ved meget sterk vind, men inntil det motsatte er bevist må en regne med at vindskjæret kan fordobles ved vindfelt (850 mb vind) på 25/30 m/s.

Vindretningen i disse vindskjærssituasjonene ligger typisk i vestlig til nordvestlig sektor over ca. 300 m, mens det under 200 m's høyde er variabel vindretning av lav styrke.

Det er også en mulighet for vindskjær i horisontalplanet i nordområdet av en vestlig rullebane, men det er ikke foretatt målinger som kan verifisere dette.

## HOVEDFLYPLASS - GARDERMOEN - VINDFORHOLD.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNIG. . . . .	2
2. STED OG TOPOGRAFI. . . . .	2
3. DATAGRUNNLAG. . . . .	4
3.1. Gardermoen radiosonde-stasjon. . . . .	4
3.2. Gardermoen vær-stasjon. . . . .	5
3.3. Gardermoen prosjekt-stasjon. . . . .	6
4. RESULTATER. . . . .	6
4.1. Vindstatistikk fra radiosonde-stasjonen. . . . .	6
4.2. Vindprofiler og vindskjær. . . . .	8
4.4. Turbulens. . . . .	14
4.5. Kombinasjonen av lavt skydekke og vind. . . . .	16
5. KONSEKVENSANALYSE. . . . .	17
5.1. Komfort og kabinsikkerhet. Strukturelle påkjenninger. . . . .	17
5.2. Retnings- og stillingskontroll av et luftfartøy. . . . .	20
5.3. Luftfarttøyets yteevne. . . . .	20
6. REFERANSELISTE. . . . .	23

## 1. INNLEDNIG.

Denne rapporten er en statusrapport for prosjektet:

### HOVEDFLYPLASS - GARDERMOEN - VINDFORHOLD.

Prosjektet kom i gang etter en henvendelse fra Luftfartsverkets hovedflyplassprosjekt, LV (HP). DNMI besvarte denne henvendelsen med et brev der en foreløpig vurdering av turbulensforholdene på en planlagt vestre rullebane på Gardermoen ble gitt. Henvendelsen fra LV og brevet fra DNMI er gitt som vedlegg til denne rapporten.

I det vedlagte brevet foreslo DNMI et 2-delt prosjekt der DNMI skulle utrede vindforholdene på Gardermoen ved bruk av radio-sondedata og bakke-data fra flyplassen. Samtidig skulle det settes i gang målinger av vind og turbulens ved fjernmålingsutstyr (sodar) langs inn/utflygningstraséen til planlagt vestre rullebane, i regi av Universitetet i Bergen (UiB).

DNMI og UiB forpliktet seg begge til å levere rapport pr. 1. november. I mars 1992 leveres så sluttrapporter for prosjektet der DNMI's oppgave er å koble sodarmålinger mot langtidsstatistikken fra Gardermoen, så langt dette er mulig.

Ved DNMI har det vært i gang en arbeidsgruppe bestående av K. Harstveit og L. Andresen (Klima), T. Aasen (Klima, tidligere Flymet.) og O. Nilsen (Flymet., sjef for Fornebu met. kontor). Gruppen har hatt jevnlig møtevirksomhet der hensikten har vært å øke kompetansen på forholdet turbulens/vindskjær/flygning. Gruppen har fått god støtte fra K. Ausland, LV.

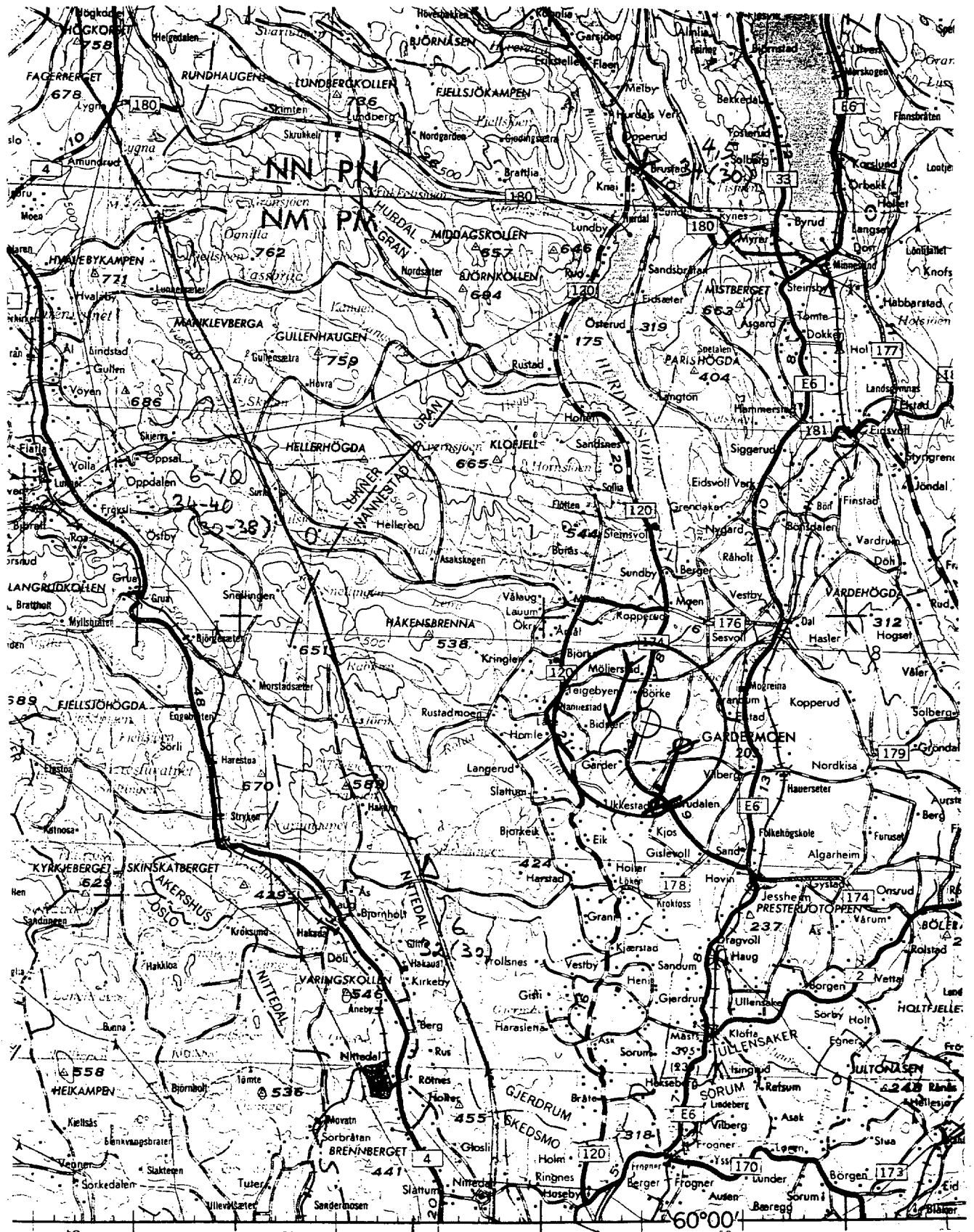
## 2. STED OG TOPOGRAFI.

Gardermoen flyplass ligger 40 km nordøst for Oslo. Stedet ligger på Romerikslettas nordvestre del, 200 moh.. Området rundt flyplassen er ganske flatt. Vegetasjonen veksler mellom barskog og åkerlandskap.

5 km vest for flyplassen ligger Romeriksåsen, 300 - 600 moh. Skogbevokste åser i denne høyden finnes i større områder mot sørvest, vest, nordvest og nord. Mot nordvest går høydene opp i 600 - 800 m. Alle åsene er kledt med barskog. I nord ligger imidlertid Hurdalssjøen som et slags dalføre mellom åsene, 25 m lavere enn flyplassen.

For øvrig er det et ravineterreng, 20 m lavere enn Gardermoen, 3 km mot vest, der Leiravassdraget etter hvert formes. Dette fortsetter sørover mot Øyern.

Mot nordøst, øst, sørøst og sør er det skogbevokste sletter avbrutt av en del åkre og enkelte skogbevokste koller inntil 100 m's høyde over sletta.



Figur 1  
Kart over Gardermoen.

Planlagt vestre rullebane ligger ca. 2 km vest for nåværende. Forlengelsen av denne banen krysser ganske tett inntil Nipkollen (544 moh.) i nord og Raudfjell (424 moh.) i sør. Begge disse skogkledde åsene utgjør lokale utløpere fra Romeriksåsen.

### 3. DATAGRUNNLAG.

Data fra denne undersøkelsen er hentet fra Gardermoen radiosonde-stasjon og DNMI's prosjektstasjon vedr. vind- og siktforholdene på Gardermoen. I tillegg finnes også Gardermoen vær-stasjon.

#### 3.1. Gardermoen radiosonde-stasjon.

Gardermoen radiosonde-stasjon slipper ut en sonde 2 ganger pr. døgn. Offisiell slipptid er kl. 00z og 12z, (kl. 01 og 13 norsk normaltid). I praksis slippes sonden 58 - 59 min. før disse klokkeslett.

Utstyret er levert av Vaisala. Hvert 10. sekund posisjonsbestemmes sonden ved hjelp av Omega-systemet eller LORAN-C (1). Stigehastigheten er ca. 5 m/s. Derved kan man bestemme vindhastigheten og vindretningen i disse punktene. Samtidig sendes ut trykk, temperatur og fuktighetsverdier fra sonden.

Systemet (1) har en posisjonsusikkerhet på ca. 10 m, og en nøyaktighet i vindhastigheten på 0.5 m/s. I områder med turbulens vil dessuten øyeblikksvariasjonene av vinden føre til en svært hakkete registreringskurve. Systemet har derfor innebygget en filtreringsprosess. Først sjalter filteret ut alle usannsynlige verdier. Deretter midles 11 punkter ad gangen og midtpunktet bestemmes ved en slags minste kvadraters metode. Punkt for punkt på en slik utjevningsskurve dannes ved å kaste av nederste og legge til et nytt på toppen. De nederste 6 punktene blir gitt ut fra de 11 første, punkt nr.7 ut fra 2 til 12, nr.8 fra 3 til 13 osv.

Det er helt nødvendig å gjennomføre ovennevnte filtrering for å få en kurve som ikke er for sterkt preget av øyeblikksvindens skiftende karakter og tilfeldige feil ved posisjonsbestemmelsen av sonden. Men prisen er at skarpe vindskjær vil bli avdempet. Dette må en være klar over ved tolkningen av dataene. WMO har spesifisert hvilke krav som skal stilles til filteret, dvs. hvilken utjevningseffekt det skal ha.

Temperaturdata gjennomgår en lignende filtreringsprosess.

Det er nå i prinsippet mulig å hente ut data hvor som helst på de utjevnedde kurvene. På Gardermoen lagres verdier for hvert 10. sekund de første 5 minutter, deretter lagres minuttverdier. Data for faste nivåflater, 300, 600, 900 moh., osv., samt data fra faste trykkflater blir også registrert. Nivåflatedataene er praktiske ved utkjøring av statistikk. DNMI har tidligere laget frekvenstabeller for vind i perioden 1980 - 87 basert på data fra disse nivåene.

Radiosondedataene samles månedlig inn i datalageret på DNMI, Klima-avdelingen. Bortsett fra siste året ligger slike data for tida på en noe tungvint form, og det er tidkrevende å hente ut informasjon som det ikke er laget uttaksprogrammer for. Enten må slike programmer lages, dataene omlegges, eller utplukk gjøres for hånd. For dette prosjektet har vi hentet ut vind og temperaturdata fra faste nivåer: 300, 600, 900 og 1200 moh., (dvs. 100, 400, 700 og 1000m over Gardermoen).

Vi har brukt data fra 1.11.90 til 30.09.91, med unntak av enkelte brudd i serien, hovedsakelig i periodene 1.- 7.12.90 og 26.07. - 19.08.91. Disse data er benyttet for å danne vindprofiler. I sluttrapporten (mars -92) vil vi benytte en datarekke på 10 år både for frekvenstabeller og for vindprofildelen.

### 3.2. Gardermoen værstasjon.

Det har vært en synoptisk værstasjon på Gardermoen siden 1946. Denne stasjonen inngår i et internasjonalt nett for samtidige meteorologiske observasjoner. Det foretas standard SYNOP observasjoner hver time, hele døgnet igjennom. Hovedobservasjonene hver 6.time, kl. 01, 07, 13 og 19 (normaltid), er lagret for EDB- bruk fra 1957 og fremover. Det arbeides med å legge timevise observasjoner for samme tidsrom inn på EDB-medium.

Aktuelle parametre for denne rapporten er vind- og skyparametre.

Det observeres 10-minutters middelvind, hastighet og retning, fra en 10 meter høy målemast i den nordlige del av flyplassområdet, ikke langt fra den visuelle observasjonspost. Høyeste 10-minutters middelvindhastighet og høyeste vindkast blir registrert hver 3. time, for 6 timer bakover i tiden ved hovedobservasjonstiden, og 3 timer bakover ved mellomobservasjonstidene, kl. 04, 10, 16 og 22.

Det observeres skytyper i 3 forskjellige høydenivåer, samlet skydekke i antall 8-deler og høyden opp til laveste skylag i intervaller på 50 m opp til 100 m-nivå, intervaller på 100 m opp til 300 m-nivå, og deretter i intervaller på 300-500 m opp til 2500 m. I tillegg observeres mengden av alle lave skyer (spesielle skytyper med høyde under 2500 m) i antall 8-deler og mengden av dominerende skylag, med tilhørende skyhøyde i intervaller på 30 m.

Skyer og skymengde observeres visuelt. Skyhøyden observeres ved hjelp av skyhøydemåler og lyskaster (spesielt om natten).

### 3.3. Gardermoen prosjektstasjon.

I tidsrommet 1.november 1990 - 1.februar 1991 ble det etablert flere målestasjoner langs rullebanen på Gardermoen. Av interesse her er 2 skyhøydemålere, en i hver baneende og 2 vindmålere, en ved hver landingssone, i sør og nord. Instrumentene registrerer forskjellige parametre kontinuerlig hvert 10.minutt. Dataene overføres via telenettet til DNMI hver dag, hvor de blir kontrollert og tilrettelagt for EDB-bruk. Dataene er bearbeidet med henblikk på siktforholdene langs rullebanen (2).

Skyhøydemåler-sør og -nord kom i drift hhv. 1. november 1990 og 1.februar 1991. Vindmåler-sør og -nord kom i drift hhv. 14.januar 1991 og 7.desember 1990.

Av aktuelle parametre kan nevnes median skyhøyde, minimum skyhøyde, middelvindhastighet og retning, høyeste 3 sekunders middelvind (vindkast), høyeste 1-minutts middelvind og turbulensintensitet i vindretningen.

Datatilgangen har vært meget god.

## 4. RESULTATER.

### 4.1. Vindstatistikk fra radiosonde-stasjonen.

Tabell 1 - 3 viser frekvensfordelinger av vinden i 300, 600 og 900 m's nivå (100, 400 og 700 m over Gardermoen). Statistikken viser at det i nivået 100 m over Gardermoen, blåser mest i 160 - 210° og 350 - 050°. I høyere nivåer er maksimumsonene mindre markert. Dessuten er den sørlige maksimumsone flyttet til 180 - 240° 700 m over flyplassen, mens tilsvarende effekt ikke kan sees på den nordlige. Terrengstyringsmekanismene synes å være de mest dominerende effektene ved disse dreiningene, men dreining ved dempende friksjon (Ekmaneffekt) spiller nok også en viss rolle.

**Tabell 1.**

Frekvenstabell av vind 100 m over Gardermoen, 1980-87. Vindhastigheten, U er gitt i intervaller på 3 m/s og vindretningen i intervaller på 30°.

U DD	0.0 2.4	2.5 5.4	5.5 8.4	8.5 11.4	11.5 14.4	14.5 17.4	17.5 20.4	> 20.4	SUM
30	5.2	6.3	2.4	0.5	0.1	0.1	0.0		14.6
60	2.9	3.3	0.6	0.2	0.0				7.0
90	2.1	1.6	0.3	0.1					4.1
120	1.9	2.0	0.5	0.1	0.0				4.5
150	2.5	2.8	1.0	0.2	0.0		0.0		6.4
180	5.8	8.6	3.2	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	18.8
210	3.9	5.0	2.7	0.8	0.2	0.0			12.7
240	1.9	1.8	1.6	0.2	0.1	0.0			4.7
270	1.7	1.3	0.4	0.2	0.0				3.6
300	2.6	1.6	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	5.2
330	1.9	1.9	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	5.4
360	4.8	4.6	2.0	1.1	0.5	0.1	0.0	0.0	13.1
SUM	37.2	40.6	15.2	4.9	1.6	0.3	0.1	0.1	100

**Tabell 2.**

Frekvenstabell av vind 400 m over Gardermoen, 1980-87. Vindhastigheten, U er gitt i intervaller på 3 m/s og vindretningen i intervaller på 30°.

U DD	0.0 2.4	2.5 5.4	5.5 8.4	8.5 11.4	11.5 14.4	14.5 17.4	17.5 20.4	> 20.4	SUM
30	1.5	4.8	2.4	1.0	0.5	0.2	0.0	0.0	10.6
60	1.3	3.2	1.5	0.6	0.3	0.0		0.0	7.0
90	1.4	3.2	1.1	0.4	0.2				6.3
120	0.8	2.3	1.2	0.4	0.2	0.1	0.0		4.9
150	1.0	2.9	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	6.5
180	1.4	5.4	3.2	1.5	0.7	0.4	0.1	0.1	12.8
210	1.3	5.3	3.8	2.7	0.9	0.5	0.1	0.1	14.7
240	0.9	3.3	2.2	1.1	0.8	0.1	0.0	0.1	8.6
270	1.1	2.2	1.2	0.7	0.4	0.2	0.0		5.8
300	0.6	2.7	0.9	0.5	0.3	0.1	0.1		5.3
330	1.1	2.4	1.3	0.9	0.5	0.3	0.1	0.0	6.7
360	1.6	3.6	2.5	1.7	0.9	0.4	0.1	0.1	10.9
SUM	14.0	41.4	22.8	12.5	5.9	2.4	0.6	0.4	100

Tabell 3.

Frekvenstabell av vind 700 m over Gardermoen, 1980-87. Vindhastigheten, U er gitt i intervaller på 3 m/s og vindretningen i intervaller på 30°.

U DD	0.0 2.4	2.5 5.4	5.5 8.4	8.5 11.4	11.5 14.4	14.5 17.4	17.5 20.4	> 20.4	SUM
30	1.0	3.1	2.4	1.3	0.7	0.4	0.1	0.1	9.2
60	0.8	2.5	1.5	0.7	0.3	0.2			6.1
90	0.8	2.2	1.2	0.6	0.3	0.1	0.0		5.3
120	0.7	2.4	1.8	0.8	0.3	0.2	0.1		6.2
150	0.6	2.6	1.6	0.9	0.6	0.2	0.1	0.1	6.6
180	0.8	3.5	2.6	1.7	1.0	0.5	0.3	0.2	10.5
210	0.9	3.8	3.7	2.5	1.6	0.6	0.5	0.3	14.3
240	0.7	3.2	2.1	2.0	1.2	0.6	0.3	0.2	10.2
270	0.7	2.6	2.2	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	8.0
300	0.8	2.4	1.4	1.0	0.6	0.5	0.2	0.0	6.8
330	0.8	2.2	1.7	1.2	0.8	0.5	0.3	0.2	7.7
360	0.9	2.6	2.0	1.6	0.9	0.8	0.3	0.1	9.1
SUM	9.4	33.0	24.4	15.4	9.0	5.2	2.3	1.3	100

#### 4.2. Vindprofiler og vindskjær.

Materialet er inndelt i grupper på 30°'s sektorer: 030, 060, 090° osv. 300°'s gruppen omfatter feks. alle tilfelle med  $284 < DD(700m) < 315°$ . Dette materialet er videre inndelt etter vindhastighet og stabilitet. Vi har tatt for oss alle tilfelle der  $U(700m) > 10.0$  m/s.

Stabilitetsinndelingen er 3-delt. Tilfelle med temperaturøkning (inversjon) med høyden ( $T(700m) > T(100m)$ ) er definert som sterkt stabile (INV). Tilfelle med svakt temperaturfall med høyden,  $0.0^{\circ}C \leq (T(100m) - T(700m)) < 3.0^{\circ}C$  (dvs. en temperaturgradient mellom 0.0 og  $-0.5^{\circ}C/100m$ ) er definert som middels stabile (STAB). Tilfelle med mer markant temperaturfall med høyden,  $(T(100m) - T(700m)) \geq 3.0^{\circ}C$  (dvs. en temperaturgradient på minst  $-0.5^{\circ}C/100m$ ) er definert som nøytrale, NØY (egentlig svakt stabile, nøytrale eller instabile).

Vi har kartlagt vindprofilene gjennom den eksponensielle vindformel, lign. 1

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^n \quad \text{lign. (1)}$$

hvor n er en eksponent som forbinder vinden i 2 høyder,  $z_2$  og  $z_1$ .

**Tabell 4.**

Eksponenter i den eksponensielle vindformel beregnet mellom høydene 400 og 700 m ( $n_1$ ), samt 100 og 400 m ( $n_2$ ) over Gardermoen. Bare tilfelle  $> 10.0$  m/s i 700 m's høyde er tatt med. Beregningene er gjort pr. 30° sektor, hvor vindretningen er referert til 700 m's høyde. I tabellen er det gitt resultater for vilkårlig stabilitet, samt inndelt i 3 stabilitetsklasser etter temperaturredifferansen,  $\Delta T$  mellom 100 og 700 m's høyde ( $\Delta T < 0.0^\circ\text{C}$  (inversjon),  $0.0^\circ\text{C} \leq \Delta T < 3.0^\circ\text{C}$  (stabile forhold),  $\Delta T \geq 3.0^\circ\text{C}$  (nøytrale forhold)).

SEKTOR	ALLE			INVERSJON			STABIL			NØYTRAL		
	$n_1$	$n_2$	N	$n_1$	$n_2$	N	$n_1$	$n_2$	N	$n_1$	$n_2$	N
030	.06	.20	16						1	.07	.19	15
060			3						1			2
090	.06	.21	6						4			2
120			2						2			
150			3						1			2
180	.23	.37	10			1			3	.25	.47	6
210	.23	.27	34	.29	.33	7	.21	.29	15	.20	.22	12
240	.14	.23	29	.27	.35	11	.07	.15	9	.04	.15	9
270	.17	.20	11			3	.16	.28	6			2
300	.40	.37	17	.55	.36	7			2	.32	.40	8
330	.18	.25	14			2			4	.25	.31	8
360	.16	.26	25						4	.11	.24	21

Det er bare gitt n-eksponenter i grupper med 5 eller flere tilfeller for å unngå for mye støy i tabellen.

Tabellen inneholder en del informasjon:

-Vind omkring 300° har sterkest økning med høyden, særlig gjelder dette mellom 400 og 700 m over Gardermoen. Dette gjelder alle stabilitetsforhold og synes være reelt fordi det er brukbart med data i denne sektorgruppen. (Unntaket er sektor 180° mellom 100 og 400 m, men her er det få tilfelle slik at resultatet ikke uten videre kan aksepteres.)

- Inversjoner og middels stabile forhold forekommer hyppig i sektoren 180 - 330°, selv ved vind over 10 m/s.
- Til tross for at sterk vind hyppig forekommer i sektorene 360 og 030° er det ingen registrerte tilfelle med inversjon og få tilfelle med middels stabile forhold.
- Vindøkningen med høyden er som ventet størst ved inversjonsforhold og minst ved nøytrale forhold, dette kommer best fram i de 2 sektorene med flest data, 210 og 240°.

Vi har bare benyttet dataserien fra 1.11.90 til 30.09.91. I en senere rapport vil vi benytte en lengre dataperiode, derved blir resultatene sikrere og det vil være mulig å inndele tilfellene over 10 m/s i flere hastighetsgrupper.

Vi vil nå konsentrere oss om gruppen på 300° siden denne retningen ser ut til å gi størst økning med høyden. Vi benytter en ligning som kobler vind over friksjonslaget (gradientvinden),  $V_G$ , til lokal vindhastighet,  $U(Z)$  i høyden  $Z$ :

$$U(Z) = 0.285 \cdot V_G \cdot \left( \frac{V_G}{f \cdot Z_0} \right)^{-0.065} \cdot \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ lign. (2)}$$

Ligningen er foreslått av Davenport (1963) og senere av Swinbank (1974) (3).  $f$  er coriolisparameteren ( $0.00012 \text{ ms}^{-2}$  ved  $60^\circ \text{N}$ ) og  $Z_0$  ruhetlengden som definerer overflatens friksjonsevne. Vanligvis regner vi  $Z_0=0.02\text{m}$  for flyplassforhold og  $Z_0=1\text{m}$  for barskog.

Input i lign.2 gir ved bruk av data fra 100 til 400 m, sektor 300°, nøytral sjiktning:  $Z_0=15\text{m}$ , og fra 400 til 700 m: 23m. Dette er ruheter som bare kan forklares ved at Gardermoen ligger i le av Romeriksåsen. Vi snakker altså om et terrengskapt vindskjær, ikke om en tradisjonell vindøkning med høyden skapt ved stor ruhet på bakken. Definisjonen av en slik beregnet  $Z_0$  er derfor egentlig ikke riktig og må tolkes med forsiktighet. Bemerk at beregnet  $Z_0$  er størst ved bruk av data mellom 400 og 700 m over Gardermoen. Dette har nok å gjøre med at toppen av åsen ligger i dette nivået.

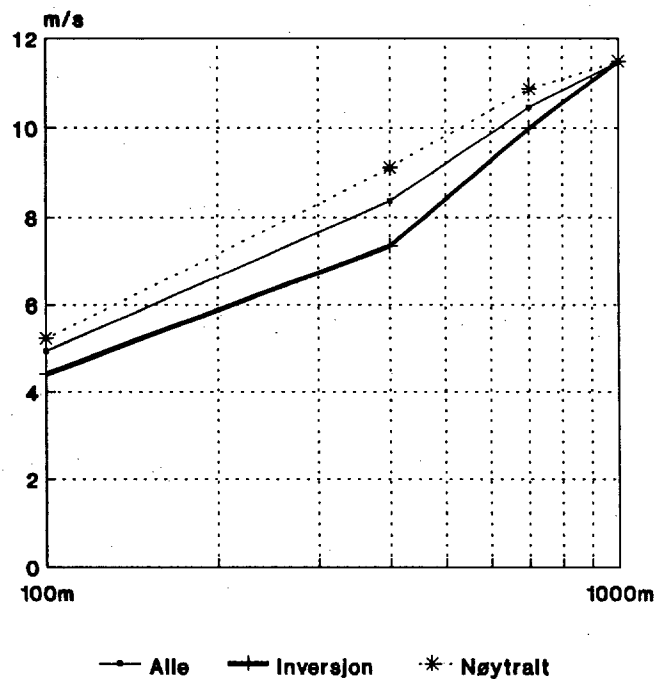
Det er de markerte le-sonene som gjør det mulig å danne kaldluft og temperatutinversjoner ved bakken, også i situasjoner med sterk høydevind.

Dersom vi benytter data også for 1000 m (sektor 300°), finner vi at  $n$ -eksponenten for de 8 tilfellene med nøytral sjiktning blir 0.16 fra 700 og opp til 1000 m. Bruk av lign. 2 gir da  $Z_0=1.3\text{m}$ , hvilket er en mer normal verdi for skogsruhet. Vi er da over le-sonen av Romeriksåsen for begge nivåene. Ved bruk av lign. 2 over 700m's lokal høyde på Gardermoen bør man derfor benytte en ruhet på 1m.

Fra 100 m og opp til 700 m's høyde er det en sterk økning av vinden med høyden, spesielt ved nordvestlig vind (sektor 300°). Dette skyldes at nedre nivåer er skjermet av Romeriksåsen. Fra 700 og opp til 1000 m er det en vindøkning som er mer sammenlignbar med det en må vente over en skogsflate.

Det er ikke tilstrekkelig oppløsning i materialet til å kunne si noe om det finnes skarpere vindskjærssoner over vertikale høyder av størrelsesorden 100 m.

## GARDERMOEN VINDPROFIL, 300 GRADER



Figur 2

Figur 2 viser hvor mye vindøkningen er med høyden fra 100 til 1000 m over Gardermoen. Økningen er naturlig nok størst i nedre del, den er tilnærmet logaritmisk. Mellom 400 og 700 m er det noe raskere endring enn en gjennomsnittskurve viser, ved 700 til 1000 m noe langsommere.

For å gi et godt bilde av vindprofilen mellom 100 m og opp til gradientvinden er det nødvendig å bruke 2 sammensatte vindprofiler. Vi benytter  $Z_0=15\text{m}$  fra 100 m opp til 700 m og  $Z_0=1\text{m}$  over 700 m. Bruk av ligning 2 med  $Z_0=1\text{m}$  gir da:

$$U(2000m) = 0.95 U_F \quad \text{lign. (3)}$$

$$U(850mb) \approx U(1400m) = 0.90 U_F \quad \text{lign. (4)}$$

$$U(700m) = 0.81 U_F \quad \text{lign. (5)}$$

Bruk av  $Z_0=15m$  gir tilsvarende:

$$U(700m) = 0.56 U_F \quad \text{lign. (6)}$$

$$U(400m) = 0.48 U_F \quad \text{lign. (7)}$$

$$U(100m) = 0.27 U_F \quad \text{lign. (8)}$$

Kobling av disse profilene ved å la  $Z_0=1m$  over 700 m, gir da at:

$$U(400m) = \frac{0.81}{0.56} 0.48 U_F = 0.69 U_F \quad \text{lign. (9)}$$

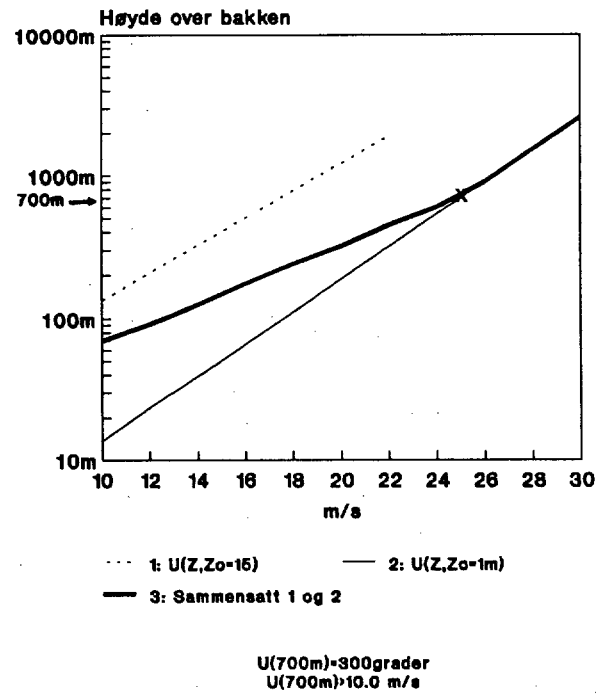
$$U(100m) = \frac{0.81}{0.56} 0.27 U_F = 0.39 U_F \quad \text{lign. (10)}$$

Alle koeffisienter som kobler lokal hastighet til fristrøms-hastigheten i lign. 3 til lign. 10 er beregnet ved fristrøms-hastighet ved 40 m/s. Ved 30 m/s er koeffisientene 2% høyere, ved 20 m/s, 5% høyere.

Figur 3 viser logaritmiske vindprofiler med  $Z_0=1m$  og  $Z_0=15m$ , samt et profil som er bygget opp ved  $Z_0=1m$  over 700m og  $Z_0=15m$  under 700m, høyder referert til Gardermoen. Profilene er satt opp ved lign.2.

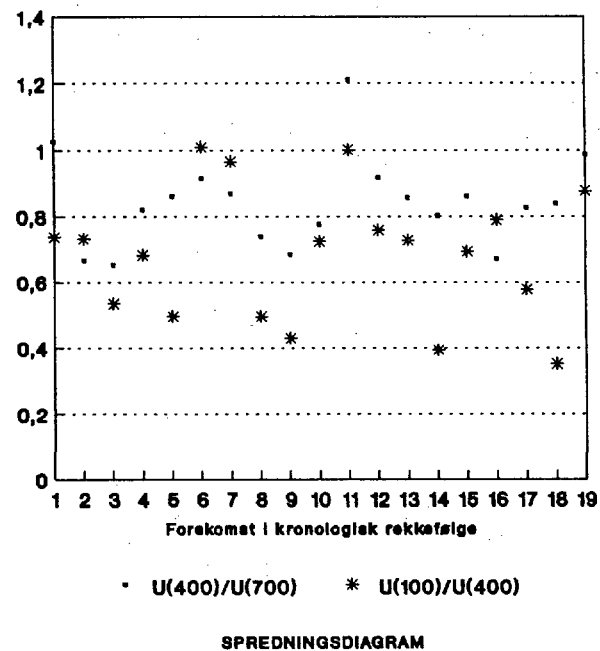
Figur 4. viser spredningsdiagram over vindprofilene. Diagrammet viser at profilene har en del spredning, som ventelig er.

# GARDERMOEN VINDPROFILER



Figur 3

# GARDERMOEN SEKTOR 300 grader U(700)m > 10.0 m/s

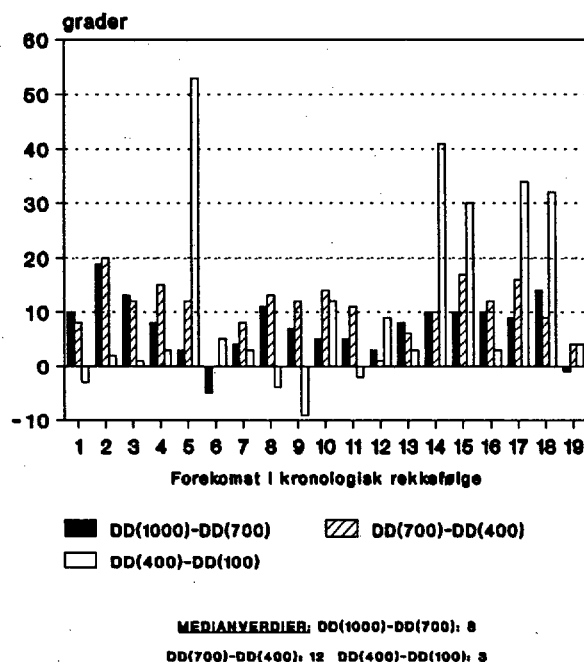


Figur 4

## GARDERMOEN

### VINDDREINING MED HØYDEN

DD(700m)=300 grader; U(700M)>10.0 m/s



**Figur 5**

Vi har sett litt på vinddreining med høyden for sektor 300°. Resultatet er vist i Figur 5. Der er differensen i vindretning mellom 2 og 2 nivåer i de 19 tilfellene med  $U(700m) > 10.0$  m/s tegnet kronologisk opp. Figuren viser at det er en tendens til at vinden i høyden dreier med urviseren, slik en kan vente som følge av Ekmaneffekten (minkende friksjonsbremsing i høyden). Men merk at mellom 100 og 400 m er det relativt liten endring i medianverdien. Imidlertid forekommer en del større avvik, også negative. Det er rimelig at en tydelig Ekmaneffekt først framkommer ved vind fra toppen av åsene og oppover, mens vind i lavere nivåer opplever betydelig grad av terrengstyring.

#### 4.4. Turbulens.

Det skarpe vindprofilet ved vind omkring 300° må forventes å skape en del turbulens. Dette stemmer godt med fly - observasjonene om at sterk turbulens forekommer ved sterke vindfelt fra nordvest.

Vindprofilen for sektor 300° synes rimelig logaritmisk med ruhet,  $Z_0=15$  m. Vi kan derfor benytte analogien om logaritmiske turbulensintensitetsprofiler.

Etter Panofsky and Dutton (4) har vi:

$$\frac{\sigma_u}{u} = I_u = 0.41 A \frac{1}{\ln \frac{Z}{Z_0}} \quad \text{lign. (11)}$$

hvor A i flatt terreng iflg. målinger er  $2.39 \pm 0.03$ , mens den i ujevnt terreng ligger høyere, anslagsvis på ca. 3.0. Vi har brukt verdien 3.0 for nordvestlig vind på Gardermoen. Dette gir:

$$\frac{\sigma_u}{u} = I_u = 1.23 \frac{1}{\ln \frac{Z}{Z_0}} \quad \text{lign. (12)}$$

Ligningen gir konstante standardavvik med høyden, noe som synes å gjelde mellom 100 og 700 m. Vi får at:

$$\sigma_u = 1.23 \frac{u(400)}{\ln \frac{400}{15}} = \underline{0.37 u(400)} \quad \text{lign. (13)}$$

$U(400)$  er iflg. lign.9 69% av fristrøms hastigheten (73% ved gradientvind 20 m/s). Derved blir standardavviket iflg. lign. 13: 26% (27%) av fristrøms hastigheten. Standardavviket kommer da opp i 4.1 m/s ved en gradientvind på 15 m/s, 5.5 m/s ved 20 m/s, 6.7 m/s ved 25 m/s og 8.0 m/s ved 30 m/s. I 400 m's høyde har vi da vindhastigheter på  $15 \times 0.69 \times 1.06 = 11.0$  m/s,  $20 \times 0.69 \times 1.05 = 14.5$  m/s,  $25 \times 0.69 \times 1.03 = 17.8$  m/s og  $30 \times 0.69 \times 1.02 = 21.1$  m/s.

Forekomsten av slike hastigheter innenfor 30 graders sektoren omkring 300 grader kan beregnes ut fra langtidstatistikken, Tabell 2. Dette gir 0.5%, 0.2%, 0.1% og 0.0%.

Vi betrakter en større sektor, 255 - 344° utfra den erkjennelse at det langs utflygningsbanen kan være områder der vinden kan være turbulent innenfor nærliggende retninger til 300°. Data-grunlaget for deler av sektoren er dessuten mangelfullt. Derved får vi 2.2%, 0.8%, 0.3% og 0.04%.

#### 4.5. Kombinasjonen av lavt skydekke og vind.

I forbindelse med mulig turbulens generert av Romerikåsene (sektor 195-344°), er det av interesse å kartlegge forekomst av lavt skydekke.

For perioden november 1990 - august 1991 er det plukket ut alle skyhøydeobservasjoner fra prosjektstasjonen på Gardermoen-sør omkring tidspunktet for radiosondeoppstigning, dvs. 10-20 minutter over kl.00 og 12 (norsk normaltid). Det totale antall observasjoner i nevnte periode er 606 (2 obs. mangler). Skyobservasjonene er fordelt etter vindhastighet og retning i nivå 700 m over Gardermoen. Resultatet er vist i Tabell 5.

**Tabell 5.**

Hyppighet av skyhøyde under 200 m på Gardermoen, 2 ganger pr. døgn (00 og 12) i tidsrommet 1.11.1990-31.8.1991, fordelt på vindhastighet og vindretning i nivå 700 m over Gardermoen.

ANT. OBS.	0.0 - 5.4 m/s	5.5 10.4	10.5 15.4	15.5 20.4	≥ 20.5 m/s	SUM
180	1	3	3	2	1	10
210	6	12	13	7	1	39
240	4	8	6	4		22
270	3	3	0	1		7
300	1	1	1	1		4
330	4	4				8
360	3					3
ØST 030-150°	2	5	0	1	1	9
STILLE	1					1
SUM	25	36	23	16	3	103

Tabellen viser at lavt skydekke i vestlig sektor, 195-344°, har forekommet 80 ganger i måleperioden. Dette tilsvarer nær 80 % av samtlige observasjoner av skyhøyde under 200 m. De 80 observasjonene tilsvarer ca 13 % av total tid i måleperioden.

Vi ser at det er størst hyppighet i sektor 210° (195-224°) med omtrent halvparten av tilfellene i hele vestlig sektor. Vindhastigheten 700 m over Gardermoen har her for det meste vært mellom 5 og 15 m/s.

I sektoren 255-344° har det vært 19 tilfelle av lavt skydekke (3 % av tiden). Vinden har da sjelden vært over 10 m/s. I en del av disse tilfellene har det vært tåke på Gardermoen, anslagsvis 2 % av tiden. I strålingståke-situasjoner, ca 1.5 % av tiden, kan

man med sikkerhet si at det har vært lite eller ingen skyer over tåkelaget. Vanlig tykkelse er begrenset til 2-300 m, dvs. i høyde med Romeriksåsene. I adveksjonståke-situasjoner og i de øvrige vær-situasjoner, med skyhøyde under 200 m, antar vi at skylagets tykkelse strekker seg noen hundre meter over de høyeste toppene i området Hurdal/Romerike, for øvrig henvises til (2).

## 5. KONSEKVENSANALYSE.

### 5.1. Komfort og kabinsikkerhet. Strukturelle påkjenninger.

Ausland (5) har påpekt 4 problemområder for flygning under turbulente forhold/flygning ved vindskjær.

- 1) Komfort og kabinsikkerhet.
- 2) Strukturelle påkjenninger.
- 3) Retnings- og stillingskontroll av et luftfartøy.
- 4) Luftfartøyet's yteevne.

Komfort og kabinsikkerhet er relatert til passasjerer og besetning. Under turbulente forhold tar flyet opp hurtige og skiftende bevegelser. Dette kan være ubehagelig og under visse forhold farlig for personer inne i flyet. Kabinopplevelsene er avhengig av turbulensforholdene, flytype, vekt, samt flyhastighet og tiltak flygeren treffer ved flygningen. Vanligvis skal det benyttes en "Turbulence penetration speed", en hastighet som ikke kan være for høy pga. de sterke aksellerasjoner som da vil oppstå. Hastigheten må imidlertid alltid overskride steilehastigheten.

Det reiser seg et naturlig spørsmål knyttet til midlertidige. Ved vindendringer på 3 til 40 sekunder, sett fra flyet, snakker man i flyterminologi om vindskjær. Nå er anvendt tidsskala relatert til flygerens opplevelse. Med flyhastighet 100 m/s flyr maskinen 300m på 3 sekunder. Ved 40 sekunder gjennomflys 4000m. Ved stigning på 3' stiger flyet 200 m på 4000m.

Dersom middelvinden ikke endres over disse avstander, hverken i horisontalplanet eller i vertikalplanet, vil arealmiddel og tidsmiddel ligne hverandre. Situasjonen kan da sammenlignes med et referansepunkt i ro som gjennomblåses med en viss middelvindhastighet,  $U$ . Med  $U=30$  knop (15 m/s) tilbakelegges 300m på 20 sekunder og 4000m på  $4\frac{1}{2}$  minutt. Alt dette ville sortert under turbulens ved en slik tankegang.

Vi befinner oss i et grenseland der langperiodisk turbulens i meteorologisk forstand ofte blir å oppfatte som vindskjær for flygeren.

Men sterk turbulens forekommer ofte i tilfelle der en analogi mellom areal- og tidsmiddel ikke holder, feks. i tordenvær-situasjoner, eller i områder med kompleks topografi.

Gardermoen er oppgitt til å ha sterk turbulens ved vindfelter over 40/50 knop (20 - 25 m/s), retning nordvest. Vi antar at det

med vindfelt siktes til 850 mb - vinden som ved Gardermoen svarer til 95 % av beregnet fristrøms hastighet. Derved blir tilsvarende verdier av fristrøms hastigheten 21 - 26 m/s, og 25 m/s anslåes som grenseverdi for sterk turbulens.

Slike forhold forekommer i den smale 300° sektoren (285-314°) i 0.1% av tida, i den utvidete vest-nordvest sektoren (255 - 344°) overstiger gradientvinden 25 m/s i 0.3% av tida. Se kap.4.

Moderat turbulens rapporteres ved vindfelter på 30 knop (15 m/s) eller mer, dvs fristrøms hastighet på 16 m/s og 400m's vind på 12 m/s. Slike vindfelter forekommer i 0.4% av tida i smal sektor og 1.8% av tida i utvidet sektor. Moderat turbulens vil trolig også forekomme ved gradientvind over 25 m/s for endel andre sektorer, til sammen ca. 0.6%. Etter dette er det rimelig å angi moderat turbulens i 2% av tida og sterk turbulens i 0.2% av tida.

Det synes som om opplevelsen av moderat turbulens forekommer ved horisontale standardavvik på 4-6m/s og sterk turbulens ved 6-8 m/s, ved de flyoperasjoner som vanligvis foretas på Gardermoen. Tidligere har vi (se vedlegg) anslått at 5 m/s er en cirka nedre grense for sterk turbulens, utfra mer løse antagelser. Det synes være en rimelig grad av overenstemmelse i disse estimater. Vertikale standardavvik ligger på ca. halvparten av de horisontale verdier på Gardermoen (6).

#### Vestre og østre rullebanealternativ.

Sodarmålingene (6) har avslørt hyppige vindskjær ved vind i sektor vest til nordvest, 200 - 400 m over Stensgård, sørenden av Hurdalssjøen. Flyene må antas krysse denne sonen ved operasjoner i nordområdet ved en utbygget vestre rullebane. Det er ikke rapportert om høyere standardavvik, men dette ansees som sannsynlig ved særlig sterke vindfelt.

Vestre bane får derfor anslag på 0.5-1% for sterk turbulens og 2-4% for moderat. Vi vil i sluttrapporten, mars -92 drøfte dette forhold nærmere.

Ved utbygging av en eventuell østre bane vil turbulensen dempes pga. økt avstand til åsene. Vi anslår 0.1-0.2% og 1-2% som frekvenser av sterk og moderat turbulens.

#### Designkrav.

I [(5), vedlegg 2] er det referert til forskjellige designkrav der vertikal turbulens er uttrykt i form av maksimale vertikalgust. Turbulens er i denne sammenheng definert som vindhastighetsendringer som typisk oppleves på en tidsskala på inntil 3 sekunder [(5), vedlegg 5]. Det sies intet om midlingstid for slike gust. Imidlertid er flyets responstid 1-2 sek, og flystrekningen 300m ved 100 m/s over 3 sekunder.

Turbulens kan feks. uttrykkes som maksimale vertikalgust, slik det er gjort i vedlegg 2 i (5). Sidens flyets responstid er 1-2 sek. og hastigheten 100 m/s, bør gustene ha en utstrekning på 100 - 200 m. Ved vindhastighet på 20 m/s gir dette 10 sek. respons-

tid; ved 30 m/s, 5 sek. Det er derfor rimelig å benytte standardmidlede (3-5 sek.) vindkast for å uttrykke denne turbulensen.

Sodarmålingene (6) viser at vertikal turbulensintensitet i Gardermoenområdet er ca. 50 % av den horisontale. Dette gjelder både på Gardermoen flyplass og på Trugstad og Stensgård, nær inn/utflygningsbanen ved en planlagt vestre rullebane. (Under konvekktive forhold, feks. i bygeskyer, vil dette endre seg). Etter lign.13, kap.4.4 vil da fristrømskoblet vertikal turbulensintensitet,  $I_{Fw}$ , ligge på 18% av fristrøms hastigheten,  $U_F$ , ved vind omkring 300°.

I (7), (8) og (9) er det vist at sammenhengen mellom horisontal turbulensintensitet,  $I_u$  (koblet til lokal middelvind) og sterkeste vindkast innenfor en 10 min. periode er koblet ved lign.(14).

$$I_u = \frac{\sigma_u}{\bar{U}} = \frac{GF_{3-5sek} - 1}{2.6} = \frac{U_{3-5s} - \bar{U}}{2.6} \quad \text{lign. (14)}$$

$$2.6 \cdot \sigma_u = U_{3-5s} - \bar{U} \quad \text{lign. (15)}$$

som lett omregnes til lign. (15) og (16):

$$U_{3-5s} = 2.6 \cdot \sigma_u + \bar{U} \quad \text{lign. (16)}$$

Vi kan anta. Lign.(14)-(16) bør da også gjelde for vertikalhastigheten, og vi får

$$W_{3-5s} = 2.6 \cdot \sigma_w + \bar{W} \quad \text{lign. (17)}$$

Over eksisterende rullebane kan vi anta at det er meget små midlere vertikalhastigheter, unntatt ved situasjoner med konvektiv turbulens som vi ser bort fra her.

Derved gir lign. 17 (med  $\sigma_w=0.13U_F$ , se kap.4.4) at vertikale vindkast ved 30 knops fristrøms hastighet kommer opp i 17 fps (10 knop); ved 40 knop: 23 fps (13.5 knop) og ved 50 knop: 29 fps (17 knop). De store ruteflyene har strenge designkrav og skal tåle 60-70 fps (5). En del småfly har mindre strenge designkrav, Twinotter har iflg. K. Ausland (pers. komm.) krav på 50 fps.

Det ser ut til at moderat turbulens typisk vil ligge i området 15-20 fps, som i områder med ikke alt for kompleks topografi, slik som Gardermoen-området, gir horisontale standardavvik på ca. 5 m/s. Sterk turbulens ligger i området 20-30 fps, som svarer til horisontale standardavvik på ca. 6-8 m/s. En må imidlertid

understreke at begrepene ofte relateres til flybevegelser. Verdier basert på opplevelser er således avhengig av flytype, vekt og hastighet.

#### Vestre rullebane alternativ.

Sodarmålingene gir indikasjoner på at midlere vertikalhastigheter kan komme opp i 1.5 m/s ved 12 m/s i 400 m's nivået. Vertikalhastigheten synes da maksimalt å kunne komme opp i  $W=0.69 \times (1.5/12) \times U_F = 0.09 U_F$ . Vi har fra før at  $\sigma_w = 0.18U_F$ .

Dette gir at kastene i vertikalretningen kan bli ca.  $0.4U_F$ , hvilket er 20% høyere enn over Gardermoen nåværende flyplass.

Vertikalhastighetene over kan da økes med 20%.

#### **5.2. Retnings- og stillingskontroll av et luftfartøy.**

Dette har å gjøre med ulike vindlaster på flykroppen som kan medføre at flyet blir vanskelig å kontrollere. Det er iflg. (5) svært vanskelig å tallfeste disse effektene. Det må antas at kontrollproblemer oppstår i situasjoner der også 1) og 2) er relevante, men dette er neppe relevante problemer noe sted i Gardermoen-området.

#### **5.3. Luftfartøyet's yteevne.**

Ved signifikant endring av horisontal vindhastighetskomponent langs flybanen eller ved vertikalhastighetskomponent forskjellig fra 0, vil flyets høyde endres dersom ikke spesielle tiltak settes i verk. Dette kan være svært alvorlig og har vært medårsak i mange flyulykker. Ved flygning i lav høyde inn/ut fra en del flyplasser må slike vindskjærssoner ofte krysses.

Kraftoverskuddet flyet må ha defineres gjennom en F-faktor, se lign. 18. Ligningen er ment som en forenklet illustrasjon.

$$F = \frac{dV_s}{gdt} - \frac{V_w}{V_t} \quad \text{lign. (18)}$$

Her er  $dV_s$  endringen av horisontal motvindkomponent,  $V_s$ , i flybanens retning over tiden,  $dt$ .  $V_w$  er nedoverrettet vertikalvindkomponent og  $V_t$  flyhastigheten "initial groundspeed".

Som ligningen viser, forbrukes kraftoverskuddet (negativ F), dersom man flyr inn i en sone med økende medvind (negativ  $V_s$ , eller nedoverrettet vertikalvind (positiv  $V_w$ ). [Fortegniskonvensjonene kommer av at en benytter flyet som referansepunkt og definerer  $V_w$  som "downdraught" (nedslagsvind).]

Til tross for de høye verdiene er vindskjæret (her: vertikal endring i horisontalhastigheten) maksimalt på den utjevne kurven bare 1 m/s pr. 100 m ved 10 m/s og 2 m/s pr. 100 m ved 20 m/s, ved stabile forhold. Dersom flyene flyr 100 m/s og stiger  $3^\circ$ , vil de stige 100 m på 2 km i løpet av 20 sek og ha en stige-hastighet på 5 m/s. Ved vindhastighet 20 m/s vil vindskjæret gi 2 m/s i tapt stige-hastighet (relatert til underlaget), dersom dette oppleves langs flyruta.

Ytelsesligningen, lign. 18, gir et horisontalledd på ca.  $-1/100$ , eller ca. 5 % av det som var representativt for Værøy flyplass. Dette stemmer meget godt med erfaringen på Gardermoen: Det er sjelden problemer med vindskjær på nåværende rullebane (10).

Spredningsdiagrammet over vindprofilene (Figur 4.) viser at vindskjærene kan variere en god del. Sporadisk kan vindskjæret være relativt stort mellom 100 og 400 m. Største registrerte verdi i perioden 1.11.90 til 30.09.91 var den 20. juli kl 12Z,. Da var vindhastigheten 6.5 m/s i 100 m's nivå og 16.5 m/s i 400 m's nivå. Dette tilfellet hadde også en betydelig vinddreining fra  $290^\circ$  i 400 m's høyde til  $250^\circ$  i 100 m's høyde. Avgang mot vinden og dreining av kursen mot sørøst vil være en manøver som i en slik situasjon krever nødvendig kraftoverskudd. Da er motvinds-komponenten i 100 m's nivå  $6.5 \cos 50 = 4$  m/s, mens medvinds-komponenten etter sving og stigning til 400 m, 16.5 m/s. Endringen i medvinds-komponenten er da hele 20.5 m/s, hvilket gir 7 m/s pr. 100 m. Ytelsesligningen gir da, ved flyhastighet 100 m/s og stigning  $3^\circ$ :  $7\text{ms}^{-1}/(-10\text{ms}^2 \cdot 20\text{s}) = -0.04$ . Dette er en verdi som en kanskje bør være oppmerksom på.

Hovedkonklusjonen er: Vindskjær over Gardermoen representerer sjelden noe problem på dagens rullebane (10).

Nå må en straks tilføye at dersom det ligger skarpe vindskjær av 100 - 200 m's vertikal utstrekning kan radiosondedataene komme til å utjevne disse, slik at vindendringen kan komme til å bli fordelt over et større høydeintervall. Vi kan her rapportere at skarpe vindskjær ikke er målt, men slike skjær kan unnsnippe registreringen. På toppen av inversjonslag kan det helt klart ligge skarpere vindskjær enn det som her er framkommet. Erfaring med flygning på plassen tilsier imidlertid at slike vindskjær sjelden er av en slik størrelse at de gir operative problemer.

#### Vestre rullebane alternativ.

Det har vært målt med sodar ved Trugstad og Stensgård. Det vil føre for langt å foreta beregninger basert på disse målingene, det vil bli gjort i sluttrapporten. Men det er begge steder avdekket vindskjær ved vind i sektor sørvest til nordvest. (5) Ved Trugstad ligger skjæret i 200-300 m's høyde, ved Stensgård 300-350 m's høyde. Flyoperasjoner ved nordre del av den vestre bane vil typisk krysse dette vindskjæret, ved Trugstad i sør-området flys det typisk over slike vindskjær.

Med flyhastighet 100 m/s vil en endring av medvindskomponenten på 10 m/s over 300 m gi  $-1/3$  fra første ledd i lign. 7. For å få tilsvarende effekt av vertikalvindledet må vertikalvinden helt opp i 30 m/s. Slike vertikalhastigheter vil være langt unna relevante forhold på Gardermoen. Operativ erfaring tilsier at horisontale vindskjær ikke er noe problem på dagens rullebane.

Sodarmålinger på Stensgård viser imidlertid at det er registrert vindskjær på 5 m/s over et vertikalt område på 50 m. Dette gjennomflys ved 100 m/s og  $3^\circ$  på 1000m, eller ca. 10 sek. Skjæret oppstår ved vestlig vind. Dersom flyene kommer fra området sør for Stensgård i 2-300 m's høyde og legger seg i sving mot øst, vil ytelsesligningen gi  $-0.05$  for horisontalt ledd.

Figur 6 viser et kart over nordområdet ved vestre rullebane med inntegnet mulige flytraséer.

Ved nevnte episode var vinden i 400 m's nivå 12 m/s, hvilket gir en sannsynlig fristromshastighet på 16 m/s. Vi har foreløpig ikke nok data til å si om et vindskjær vil ha samme relasjon ved sterk vind. Inntil målinger viser noe annet, vil vi tro at dette er tilfelle, slik at en dobling av fristromshastigheten medfører dobling av vindskjæret.



Figur 6.

Kart over området nord for et vestlig rullebane på Gardermoen. Mulige flytraséer er inntegnet. Traséene splittes 5 km nord for baneenden, hvor det er påvist vindskjær.

Det er også usikkerheter knyttet til utbredelsen av vindskjæret i horisontalplanet. Dersom det er skjær i dette planet, kan de komme til å gjennomflys raskere og lage større tallverdier i ytelsesligningen.

Undersøkelsen sier heller ikke noe om endringer av vindhastigheten langs en inn/utflygningsbane som følge av horisontale endringer i vindhastighetsfeltet. Det er imidlertid intet i terrenget eller i flyerfaringen som tilsier at større skjær framkommer på en slik måte.

## 6. REFERANSELISTE.

- (1) **Vaisala:**  
Met Program Manual.  
Application Programs, APPL-p0039-7.4. Appendix B. Wind Editing.  
Helsingfors, 1989.
- (2) **Andresen, L. og Kjensli, K.:**  
Gardermoen-prosjektet.  
Meteorologiske målinger pr. 31. august 1991.  
DNMI KLIMA 37/91. Oslo 1991.
- (3) **Plate, E.:**  
Engineering meteorology.  
Chpt. 12: The interaction of wind and structures (by Davenport, A.G.).  
Elsevier, Amsterdam, 1982.
- (4) **Panofsky, H.A., and Dutton, J.A.:**  
Atmospheric Turbulence.  
John Wiley & Sons, U.S., 1984.
- (5) **Ausland, K.:**  
Hovedflyplass - Gardermoen - vindforhold.  
Luftfartsverket, Notat /KA/LV/SPP/, 7.10.91.  
Oslo 1991.
- (6) **Gjessing, Y. og Skartveit A.:**  
Sodarmålinger av vindskjær i atmosfærens grenselag rundt Gardermoen.  
Rapportutkast, Universitet i Bergen, 1991.
- (7) **Harstveit, K.:**  
Askøy bro. Vindmålinger på Storebuneset 01.12.87 - 29.02.88.  
Oppdragsrapport for Statens vegvesen. DNMI KLIMA 12/88.  
Oslo 1988.
- (8) **Harstveit, K.:**  
Hardangerbrua. Vindmålinger 11.11.88 - 01.09.90.  
Oppdragsrapport for Statens vegvesen. DNMI KLIMA 31/90.  
Oslo 1990.
- (9) **Harstveit, K.:**  
Vealøs. Vindmålinger 1989/90.  
Oppdragsrapport for Televerket.  
DNMI KLIMA xx/91. Under trykking.
- (10) **Dannevig, P., og Hoem, V.:**  
Turbulensforholdene ved norske flyplasser.  
Technical Report No. 30.  
DNMI 1979.

VEDLEGG 1

VI-1



**LUFTFARTSVERKET**

CIVIL AVIATION ADMINISTRATION, NORWAY

METEOROLOGISK  
INSTITUTT

*AB*

DNMI  
v/ B. Aune  
Postboks 43  
0313 Oslo 3

Saksnr. 1650 Dok.nr. \_\_\_\_\_  
KL A 314.2  
15/5-91 Eksp. 6/6-91

**IKKE OFFENTLIG**  
 ifr. offentlighetslovens  
 nr. 5

Vår saksbehandler:  
Olai R. Hjetland

Vår referanse:  
BU.MI.0348.008

Dato:  
06.05.91

**HOVEDFLYPLASS - GARDERMOEN - VINDFORHOLD**

Luftfartsverket vurderer, som instituttet vil være kjent med, plassering av ny hovedflyplass på Gardermoen. Arbeidet med alternative konsepter er nå ført så langt at det er ønskelig å avklare om det er turbulens av betydning for det aktuelle flyplassområdet eller om det er vesentlige vindmessige forskjeller mellom de aktuelle konseptene. Det bes om DNMI's hjelp til slik vurdering.

1. Erfaring

Et større flyselskap har erfart økt turbulens ved operasjoner vest for dagens rullebane, i forhold til normale operasjon på dagens bane på Gardermoen. Til orientering har SAS' flyplassmanual i sin beskrivelse av Gardermoen, et avsnitt om turbulens. Det gjøres her oppmerksom på at "moderate turbulense" kan oppstå ved vinder fra retning mellom 270 og 360°, med hastigheter over 30 knop.

2. Definisjon av begrep

Turbulens kategorieres i flyger-kretser, som "light", "moderate" og "severe". Forslag til definisjon av kvantitative størrelser som beskriver disse luft-bevegelsene bes utarbeidet i samråd med erfarne flyvær-meteorologer.

3. Oppgaven

LV har behov for å avklare:

- Omfanget og graden av turbulens som kan oppstå rundt de aktuelle rullebane-alternativene samt i forlengelsen av deres senterlinjer, ut til 10 km fra rullebanene og i høyder under 500 meter over terreng. Plassering av banene er vist i vedlegg.
- Hvilke vindstyrker og -retninger som gir turbulens av forskjellig kategori, og hvilke sikt-/skyforhold en da vil ha.
- Hyppigheten av de aktuelle og kritiske vindstyrker og -retninger som forårsaker turbulens av de forskjellige kategorier.

Postal address  
Postboks 8124 Dep.  
0032 OSLO 1, Norway

Office address  
Wergelandsveien 1  
Oslo

Telephone  
National (02) 94 20 00  
Internat. +47 2 94 20 00

Telefax  
National (02) 94 23 90  
Internat. +47 2 94 23 90

Telex  
71032  
enfb n

Telegrams  
CIVILAIR OSLO

4. Tidsplan

Det bes om tilbakemelding på når arbeidet kan startes og hvor lang tid det vil ta og hvilke resurser som vil medgå. På grunn av tidsplanen for prosjektets fremleggelse for Stortinget, ønskes utredningen ferdig snarest mulig.

5. Avtale

På bakgrunn av DNMI's tilbakemelding vil det bli utarbeidet utkast til avtale vedrørende arbeidet.

Med hilsen  
HOVEDFLYPLASS  
prosjektet

*Roar Bjordal*

Roar Bjordal

Vedlegg:

- Utdrag av SAS manual, Gardermoen
- Illustrasjon av aktuelle rullebaneplasseringer, 1 : 50.000

1. APPROACH/LANDING CHART

- 1.1. Observe the restricted areas Aur and Trandom where parachute jumping may occur.
- 1.2. The ground is fairly flat around the AD, except for the 2427FT hill (near NDB "EDL"). To the West the ground rises rapidly. Also beware of the 800FT high Garderfjell close to the beginning of RWY 19.
- 1.3. Gardermoen is a combined MIL/civil AD with experienced and cooperative civil staff.
- 1.4. As APL non-standard, be aware of X-bars on overrun edges short of THR 01/19 which may be mistaken as VASIS.
- 1.5. RWY 01/19 has a very slight downhill slope towards the south. (-0.2).  
  
Check the Traffic Notes on LC regarding use of stopways. Be aware of RAG in both RWY ends.
- 1.6. Civil apron situated W of the middle part of RWY.

2. WEATHER

Especially during late fall, the AD is sometimes closed due to fog.

Moderate turbulence may occur when wind 270°-360° and windspeed over 30 KT.

Vertical windshear associated with inversion (SW wind above inversion and calm near ground) is experienced frequently during wintertime.

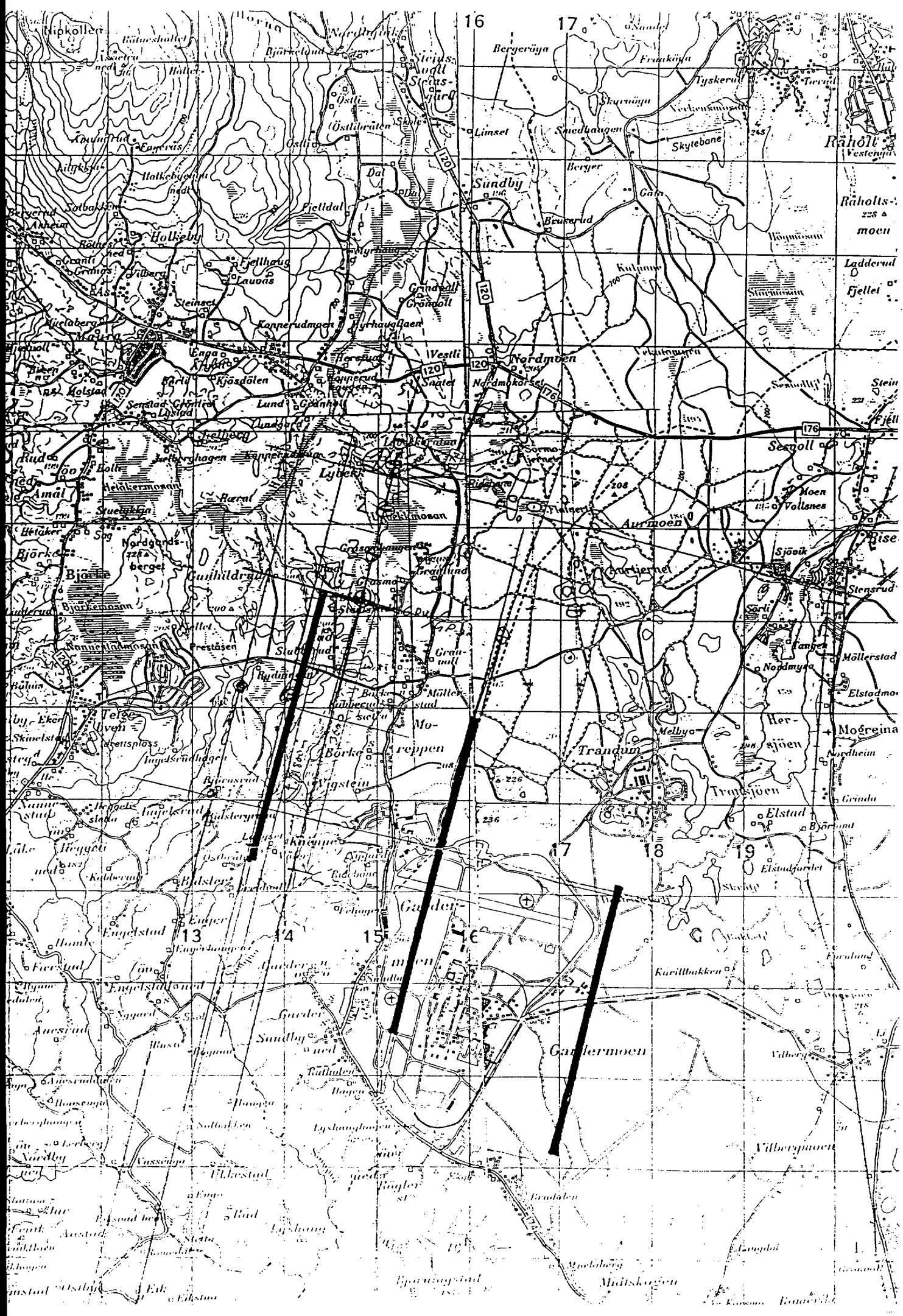
During a persistent high pressure over central southern Norway in winter, steam fog forming over the open water of southern lakes Mjösa and Hurdalsjøen which freezes very late due to their depth, may with a weak northerly wind drift over the airport. The occurrence and onset of this type of fog is a very difficult to forecast. Fogdispersal avbl by ice-seeding (dry ice) effective after 10-15MIN.

3. NAVIGATION

Note ILS GP RWY 19 3.2°. Circling to be made E of AD due to terrain.

4. COMMUNICATION

MIL traffic goes on UHF frequencies and as the TWR operators may be unable to give complete traffic information, all VHF transmitters will be switched on so that instructions on UHF will be heard also on VHF. This might help, even if our pilots will not hear UHF traffic from the MIL ACFT.



## DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

Luftfartsverket  
Postboks 8124 Dep.

0032 OSLO 1

Attn.: Roar Bjordal  
HOVEDFLYPLASS  
PROSJEKTET

Deres ref.:  
BU.MI.0348.008  
6.5.91

Vår ref.: (bes oppgitt ved svar)  
314.2/1650/91 KnH/gt

Dato:  
6. juni 1991

## HOVEDFLYPLASS - GARDERMOEN - VINDFORHOLD

Vi har diskutert Deres henvendelse på DNMI. I sakens anledning er det satt ned en arbeidsgruppe bestående av Lars Andresen (Klima), Knut Harstveit (Klima, leder for gruppen), Ole Nilsen (Flymet., ny sjef for Fornebu met.kontor) og Tom Aasen (Klima, tidl. flymet.). Gruppen samler således DNMI's ekspertise vedr. vurdering av klimatisk vind og turbulens og den praktiske og operasjonelle erfaring som finnes i fly-meteorologitjenesten.

Gruppen diskuterte henvendelsen fra LV og fant at det var nødvendig med en del dataanalyse fra Gardermoen (bakke data, sondedata). Dette er et tidkrevende arbeid, og gruppen vurderer dette til ca. 300 arbeidstimer. Rapport fra gruppen kunne da foreligge i oktober/november og prisrammen var kr. 150.000,-.

Etter denne diskusjonen kom det gruppen for øret at Geofysisk Institutt, Universitet i Bergen (v. førsteamanuensis Yngvar Gjessing) disponerer et måleapparat (SODAR) som kan måle vektorielle profiler av middelvind og st.avvik opptil 500 m over instrumentets plassering. Utstyret er flyttbart, og i løpet av en høstsesong vil man kunne få verdifull informasjon om hvorledes disse parameterne endrer seg fra dagens rullebane og vestover i retning av Romerikssåsen. Universitetet i Bergen har erfaring i bruk av instrumentet og analyse av innsamlede data.

Ovennevnte prosjekter ble fremlagt for O. Hjetland i telefon den 27.05. Man ble enig om følgende:

- 1) DNMI v. prosjektgruppen lager et hurtigsvar på henvendelsen. Dette svaret vil omfatte lite dataanalyse og må nødvendigvis bli av kvalitativ natur. Svaret leveres primo juni, helst allerede ved månedsskiftet mai/juni. Svaret følger vedlagt.

Brev adresseres til Det norske meteorologiske institutt, ikke til funksjonærer.

Postadresse:  
Postboks 43 - Blindern  
0313 OSLO 3

Kontoradresse:  
Niels Henrik Abels vei 40

Telegramadresse:  
Meteorologen  
Oslo 3

Telefon:  
(02) 60 50 90

Telex: 21564  
Telefax: 69 25 15  
Teletex: 18 04 80

Postgiro nr.: 0807 5052600  
Bankgiro nr.: 6094.05.00527

- 2) Prosjektgruppen setter opp en skisse for et prosjekt som tar sikte på å kartlegge omfanget av turbulens nær framtidig vestre rullebane på Gardermoen. Dette omfatter dataanalyse, litteratursøken og evt. bruk av utenforstående ekspertise. Gruppen leverer en rapport pr. 1. november. Prosjektskisse følger vedlagt.
- 3) Prosjektgruppen setter opp et forslag til måleprosjekt i samarbeid med Universitetet i Bergen. Man tar sikte på en hurtig avgjørelse slik at instrumentet kan være i drift pr. 20. juni. Det er meget viktig å ha etablert en god drift når høstsesongen kommer. Prosjektutkast følger vedlagt.

DNMI v. prosjektgruppen anbefaler at begge prosjektene settes i verk, både av hensyn til vurderingene omkring banevalget på Gardermoen, og generelt for å komme videre i problemområdet: Hvorledes måle turbulens? Hvorledes foreta en objektiv vurdering av turbulensforhold på aktuelle steder/banevalg ved bygging av flyplasser?

For å vurdere en flyterminologiskala (lett, moderat, sterk turbulens) mot fysiske størrelser er det nødvendig å ha data fra flygerhold som kan knytte observert turbulens til meteorologiske forhold.

Gruppen har fått vite at moderne fly har akselerometre ombord og at registreringer fra slike instrumenter er tilgjengelige. Foreløpig har vi fått signaler om oversendelse av data fra Gardermoen, registrert av Braathens SAFE.

Dersom det viser seg at akselerometerdata er anvendbare, kan DNMI tenke seg et samarbeid med flyselskapene/flygere for å få til prøveflygninger i interessante situasjoner når SODAR-måleren er i drift. Disse opplysninger, sammen med analyse av langtidsdata fra Gardermoen og bruk av SODAR dataene, vil gi et godt utgangspunkt for å vurdere turbulensforholdene ved aktuelle banevalg på Gardermoen i et flyoperativt aspekt. DNMI foreslår at Gardermoenprosjektet, LV, inkaller representanter for flyselskaper og DNMI til et møte for å

diskutere et slikt opplegg. Iniativ i saken bør skje etter at DNMI har vurdert dataene fra Braathen SAFE.

Med hilsen  
Bjørn Aune e.f.  
fagsjef

Knut Harstveit

Vedlegg:

- Hurtigvurdering av turbulensforholdene ved aktuelle banevalg på evt. hovedflyplass - Gardermoen.
- Prosjektforslag for mer fullstendig beskrivelse av turbulensforholdene inkludert måleopplegg med SODAR.

Kopi: Universitetet i Bergen  
Allègt. 70  
5000 Bergen

Attn.: Førsteamanuæsis Yngvar Gjessing  
Førsteamanuæsis Arvid Skartveit

## VEDLEGG

1

## VURDERING AV TURBULENSFORHOLDENE I GARDERMOENOMRÅDET.

## 1. Definisjon av begreper.

Fysiske målinger av turbulensrelaterte parametre.

Fysiske størrelser: Standardavvik,  $\sigma_u = 1/n \sqrt{\{\sum(\bar{u}-u_i)^2\}}$   
 Turbulensintensitet,  $I_u = \sigma_u/\bar{u}$   
 Gustfaktor,  $G_f(t) = u_{\max}(t)/\bar{u}$   
 Max-min gustavvik,  $\Delta u = u_{\max}(t) - u_{\min}(t)$   
 Standardavvik, vertikalvind  
 $\sigma_w = 1/n \sqrt{\{\sum(w-w_i)^2\}}$   
 Vindspektra

Med disse begreper benyttes vanligvis midlingstid 10 min. For gusttiden,  $t$ , benyttes 3 sek. Formelen  $I_u = \{G_f(3 \text{ sek.}) - 1\}/2.6$  gjelder når gustene er normalfordelt, hvilket nesten alltid gjelder, testet ut på bl.a. Hurum, Vealøs, Askøy, Bu i Hardanger. Omregning til andre gusttider kan da gjøres greitt ved å benytte normaltabeller.

Max-min gustavvik er av og til benyttet som indikasjon på vindvariasjon. Dette er en parameter som ved sterkt turbulente forhold må defineres i forhold til middelvindens retning, da negative vindgust vil kunne forekomme.

Standardavviket er en relevant parameter for å beskrive turbulensen. En kan regne med isotrope forhold vedr.  $u, v$  retning, dvs. det samme horisontale st.avvik kan regnes ut fra middelvindens retning og antas gjelde i alle horisontale retninger.

Det vertikale standardavvik er under sterk vind i regelen ca. halvparten av det horisontale. Ved konvektive forhold endrer dette seg, og  $\sigma_w$  kan bli det største leddet. Horisontalt standardavvik øker proposjonalt med middelvinden ved sterk vind, mens det vertikale kan øke mye uten sterk vind ved konvektive forhold.

Vindspekteret sier noe om energifordelingen på hvirvlenes størrelse. Vi gjør den tilnærmelsen at energitettheten av en bestemt hvirveldimensjon er proposjonalt med standardavviket. Proporsjonalitetsfaktoren er gitt ved å velge et anerkjent vindspekter. Ved mer detaljerte undersøkelser kan spekteret måles.

Ved observasjon av turbulens i fly er det flyets respons på turbulensen som observeres. Denne kan knyttes til den akselerasjon flyets tyngdepunkt utsettes for. Flyets størrelse, vekt og hastighet virker inn på slike observasjoner.

Flyterminologi:  
(LMS - skala)

Akselerasjon

Meget lett turbulens	(very light)	
xLett	"	(light) 0.2 - 0.5g
xModerat	"	(moderate) 0.5 - 1.0g
xSterk	"	(severe) >1.0g
Ekstrem	"	(extreme)

x Disse benyttes i praksis.

Flyets turbulensgenererte akselerasjon skyldes den varierende øyeblikksvind som flyet utsettes for. Flyhastigheten,  $U_F$  forutsettes stor i forhold til vindhastigheten,  $U$ .

Generelt har vi da:

$$DU_F/dt = U_F \Delta U = [U_F \delta u / \delta x]i + [U_F \delta v / \delta x]j + [U_F \delta w / \delta x]k \quad (1)$$

når aksesystemets x-retning følger flyhastigheten, som er horisontal og jevn i forhold til midlere vindhastighet.

Da har vi:

$$DU_F/dt = U_F (k_i \sigma_i i + k_j \sigma_j j + k_k \sigma_k k) \quad (2)$$

hvor  $\sigma_{i,j,k}$  beskriver vindens standardavvik i 3 dimensjoner og uttrykker således romlig turbulens. Denne ligning gjelder med god tilnærming. Vi ønsker å forenkle den og benytter da en grovere tilnærming:

Under ikke-konvektive forhold kan vi anta at standardavviket i vindens retning,  $\sigma_u$  er proporsjonalt med standardavvik i enhver annen retning. (Avvik fra dette finnes i fjellterreng). Vi holder flyets respons observert på samme måte i alle tilfelle som skal sammenlignes. Vi tar ikke stilling til om det er romlig sum, horisontal eller vertikal akselerasjon som diskuteres. Da har vi:

$$a = k \sigma_u U_F = kx \sigma_u / t = k' \sigma_u / t \quad (3)$$

$U_F$  er flyhastigheten og  $\sigma_u$  standardavviket for vindhastigheten, målt horisontalt i vindens retning.  $x$  er lengdeskala og  $t$  tidskala for den akselerasjon som er mest merkbar for flyet.

Ligning (3) gir det interessante resultat:

Den akselerasjon som flyet utsettes for øker proporsjonalt med produktet av vindhastighetens standardavvik og flyets hastighet.

Dette resultatet er anvendbart i praksis:

- 1) Dobling av standardavviket under samme flyhastighet vil doble akselerasjonen. Dersom lett turbulens defineres til 0.25g, moderat turbulens 0.5g og sterk turbulens 1g (alt gitt som nedre grenser), ser vi at dobling av standardavviket flytter turbulensresponsen 1 grad opp (feks. fra moderat til sterk turbulens). Kjennskap til standardavvikets romlige variasjon er derfor viktig ved vurdering av flyoperasjoner.
- 2) Ved samme forhold og referert til samme posisjon vil en dobling av middelvinden flytte turbulensresponsen opp 1 grad.
- 3) Dersom standardavviket er noenlunde konstant i de nederste 500 metre vil halvering av flyets hastighet føre til 1 grad lavere turbulensrespons og vice versa.
- 4) Flygning med stor hastighet inn i områder med turbulens kan gi stor respons selvom standardavviket ikke er dramatisk høyt (eks. uforutsett CAT, fjellgenert turbulens opp til noen tusen fots høyde). Flygeren bør redusere farten ved flygning inn mot turbulente områder (dersom han er i rimelig stor avstand fra bakken).

Dersom vi kan bestemme akselerasjonen,  $a$ , feks. empirisk gjennom g-målinger eller ved manuelle observasjoner (vær oppmerksom på at flytype og vekt vil påvirke flyets forflytning og tilsløre en manuell observasjon; observasjoner bør derfor gjøres for faste flytyper) og samtidig måle standardavviket, kan vi få kjennskap til  $k$ -faktoren.

Et enkelt regnestykke kan gjøres for å sannsynliggjøre hvilke  $k$ -verdier og  $\sigma_u$  vi snakker om. La flyhastigheten være 50 m/s og ha en turbulensgenerert akselerasjon på 1g, dvs 10 m/s<sup>2</sup>. Turbulensgraden ligger da på nedre grense for sterk turbulens. Med 50 m/s forflyttes flyet 50 m på 1 sek. Dersom dette er en typisk tid og lengdeskala for turbulensrespons, blir  $k'\sigma_u = 10$  m/s. Hastighetsendringen som er mest merkbar for flyet ligger da på 10 m/s pr. sek. Dersom  $\sigma_u = 5$  m/s er  $k'=2$ . På Gardermoen regnes sterk turbulens ved nordvestlige vindfelt over 40/50 knops (25 m/s).  $\sigma_u$  i vårt regneeksempel ligger da på 20 % av vindfeltet (fristøms-hastigheten). Faktoren,  $k$  er flyhastighetsuavhengig og blir 0.04m<sup>-1</sup>.  $k$  knytter sammen akselerasjonskraften med flyhastigheten og vindens standardavvik. 10 m/s

Flyets vekt (flytype etc,.) kommer inn ved betraktninger om flyforflytning. Vi har ikke tatt med i betraktning kontrollproblemer av annen art, slik som rotasjoner ved ulik vindbelastning på flyet. Slike kontrollproblemer vil være sterkt flytype/design - relatert. Vi føler et behov for å fortsette arbeidet med turbulensens respons på flyene og ønsker et samarbeid med erfarne flykonstruktører.

## 2. Omfanget og graden av turbulens omkring aktuelle rullebanealternativer.

Vedlagte kart viser at man ved forlengelse av påtenkt vestlig rullebane nærmer seg åsområdet sørvest for Hurdalssjøen. Dette vil øke standardavviket ved vind fra vest til nordvest. Ved fordobling av standardavviket vil flyenes turbulensgenererte respons fordobles og LMS - verdien flyttes en grad opp. Det er ikke usannsynlig at dette kan forekomme, men bare målinger av standardavviket og/eller prøveflygning vil gi svar.

Ved forlengelsen av påtenkte vestlige rullebane mot sør vil flyene komme svært nær Raudfjell vest for Holter krk. Disse kan gi turbulensproblemer ved SSW og SW som ved dagens rullebane ikke gir turbulensproblemer. Slike vindretninger kan være ledaget av lavt skydekke som vil innhulle Raudfjell.

Kartet viser skraverte soner med forventede turbulensproblemer større enn de som i dag er kjent på Gardermoen.

## 3. Hyppighetsfordeling av turbulente forhold.

Vedlagt følger frekvenstabell for middelvind 600 moh. (400 m over Gardermoen). Tabellen viser at SSW - SW (195 - 234°) i denne høyden forekom (1980 - 1987) i 15 % av tiden, WSW - W (235 - 274°) i 9.1% av tiden, mens den videre sektoren omkring nordvest WNW - NNW (275 - 334°) forekom i 13.8% av tiden. Vindhastigheten over 10 m/s, 12.5 m/s, 15 m/s, 17.5 m/s og 20 m/s var hhv. 3.3%, 1.6%, 0.7%, 0.2%, 0.1% (SSW-SW); 1.4%, 0.6%, 0.3%, 0.1%, 0.06% (WSW-W) og 2.2%, 1.2%, 0.5%, 0.2%, 0.04% (WNW-NNW).

Antatt hastighet over Romeriksåsen er 25 % høyere enn 300 m over plassen. Det er antatt moderat turbulens når denne overstiger 30 knop (15 m/s), retning vest - nord, og sterk turbulens ved 40/50 knop eller mer (>23 m/s), samme retning. Etter skjemaet over skulle da moderat turbulens forekomme i 1 - 1.5 % av tiden, mens sterk turbulens forekommer i 0.0 - 0.1 % av tiden.

Ved den planlagte vestre rullebane vil turbulensforholdene øke. Ved den nordvestlige sektor ser vi at flytting av grensene for moderat til sterk turbulens vil øke hyppigheten av sterk turbulens, men begrenset oppad til 1%. Men dersom det viser seg at

flyene må innom turbulensområdet fra sørsørvest - sørvest vil tallet kunne dobles.

Der er store usikkerheter i disse anslag, vi anbefaler måling med sodar for å få mer holdbare tall.

#### 4. Vindstyrke og -retning kombinert med sikt/skyhøyde.

Vi vil med noe mer tid kunne lage tabeller som kombinerer lav sikt/vindretning og lavtskydekke/vindretning. Derved kan man koble turbulens sammen med slike forhold.

Det som kan sies foreløbig er: Vindretning vest og nordvest vil meget sjelden være koblet til lav sikt - lavt skydekke. Derimot vil sørsørvest - sørvest ha en slik kobling. Da turbulensproblemene vil oppstå ved vind ut fra Romeriksåsen er det neppe lav sikt nede på flyplassen i slike situasjoner. Imidlertid vil man måtte regne med en del tilfelle med kombinasjonen sterk vind/turbulente forhold ved forlengelse mot sør av planlagt vestlig rullebane/lavt skydekke som innhyller Romeriksåsen.

