

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

HURUM - VÆRMESSIG TILGJENGELIGHET
FOR EN FLYPLASS 290 M O.H.

KNUT HARSTVEIT, LARS ANDRESEN
BJØRN AUNE, MARGARETH HANSEN, PER OVE KJENSLI

RAPPORT NR. 11/90



Lars Andresen

DNMI - RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3
TELEFON : (02) 60 50 90

ISBN
RAPPORT NR. 11/90 KLIMA
DATO 23.04.1990

TITTEL

**HURUM - VÆRMESSIG TILGJENGELIGHET
FOR EN FLYPLASS 290 M O.H.**

UTARBEIDET AV

KNÜT HARSTVEIT, LARS ANDRESEN
BJØRN AUNE, MARGARETH HANSEN, PER OVE KJENSLI

OPPDRAKSGIVER

LUFTFARTSVERKET
HURUM - PROSJEKTET

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

Rapporten presenterer observasjoner av meteorologisk instrumentsikt fra målestasjonene Stikkvannskollen, Nilsåsen og St. Hansberget frem til 31.03.1990.

Data fra målestasjonen på Stikkvannskollen er vurdert som de mest representative for det fremtidige flyplassområdet.

Beregnete gjennomsnittlige siktforhold på Stikkvannskollen for tidsrommet 1957-88 er utgangspunkt for beregningene av rullebanesikt i flyplassnivå. Beregningene viser at det kan forventes rullebanesikt under 200 m i 2,9 % av tiden på årsbasis. Sidevind over 5 m/s ved rullebanesikt mellom 200 og 550 m er beregnet til 1,1 %. En rullebaneretning på mellom 180/360° og 190/010° gir minst sidevind.

UNDERSKRIFT

Lars Andresen.....

Lars Andresen

SAKSBEHANDLER

Bjørn Aune.....

Bjørn Aune

FAGSJEF

SAMMENDRAG

Det norske meteorologiske institutt har i drift 2 vindmålestasjoner, 4 siktmålestasjoner og 3 skyhøydemålestasjoner på Hurum.

Siktmålestasjonen på Stikkvannskollen (350 m o.h.) er vurdert til å være den mest representative stasjonen for en fremtidig flyplass på Hurum (290 m o.h.), med hensyn til å gi en best mulig beskrivelse av siktforholdene.

Forskjellen i sikt mellom stasjonene Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget er små for de viktigste tåkeførende vindretningene. Siktmålestasjonen ved Stikkvann er skjermet av terreng og vegetasjon og representerer ikke siktforholdene på en ferdig utbyggt flyplass.

Ved bruk av lange datarekker (1957-89) fra nærliggende værstasjoner (Fornebu, Rygge og Tryvasshøgda) er det beregnet gjennomsnittlige siktforhold på Stikkvannskollen for en 32-års periode. Det er disse gjennomsnittlige siktforhold som danner grunnlaget for beregningene av rullebanesikt på Hurum.

De beregnede langtidsfrekvenser av lave siktverdier på Stikkvannskollen er omregnet fra 350 til 290 meters nivå. Data fra værstasjonen St.Hansberget er brukt i denne omregningen. Med tåke og vind fra sektoren 180-230° har vi pr. 15.1.1990 regnet med en bedring i sikten på 8 m fra Stikkvannskollen til flyplassnivå, ved sikt på 50 m på Stikkvannskollen. Beregninger med flere måledata (pr. 31.3. 1990) indikerer at forskjellen er noe mindre, slik at frekvensene av lave siktverdier er noe større enn angitt i rapporten.

Langtidsverdiene av meteorologisk instrumentsikt (MOR) fra 290 meters nivå er omregnet til rullebanesikt (RVR) på en fremtidig flyplass. Ved denne omregningen er standard formelverk benyttet, der RVR avhenger av tåketetthet, bakgrunnsbelysning og styrken på rullebanelys. Bakgrunnsbelysningen er bestemt ved å bruke ICAO's anbefalinger tilpasset norske lysforhold. Styrken på rullebanelysene er satt til verdier anbefalt av ICAO.

Beregninger viser at man i gjennomsnitt over en lang tidsperiode kan forvente rullebanesikt under 200 m (dvs. under Kategori IIIA-forhold) i 2.9 % av tiden på årsbasis. Det vil imidlertid være store variasjoner gjennom året : under 1% om sommeren, 3-4 % om høsten og 4-5 % om vinteren. Ved rullebanesikt mellom 200 og 550 m (dvs. Kategori II- og Kategori IIIA-forhold) kan det forventes en sidevindskomponent over 5 m/s, ved rullebaneretning 160/340°, i 1.1 % av tiden på årsbasis. Dette innebærer at Kategori IIIA-operasjoner ikke vil være mulig i 4 % av tiden på årsbasis.

Kategori IIIA- og Kategori II-forhold forventes i hhv. 5.8 og 2.7 % av tiden på årsbasis. Her vil sidevind over 5 m/s redusere frekvensene til hhv. 5.1 og 2.3 % . Tabellen nedenfor gir en oversikt over den værmessige tilgjengelighet på årsbasis. Tallene til venstre gjelder siktforholdene alene, tallene i parentes til høyre gjelder sikt og sidevind i kombinasjon.

En rullebaneretning på mellom 180/360° og 190/010° gir minst hyppighet av sidevind over 5 m/s (0.5 %).

FREKVENSER (%) AV RULLEBANESIKT (OG SIDEVIND > 5 m/s)				
1957-1989	≥ KAT I (+ vind)	KAT II (+ vind)	KAT IIIA (+ vind)	< KAT IIIA (/ vind)
ÅR	88.6 (88.6)	2.7 (2.3)	5.8 (5.1)	2.9 (4.0)

Hyppigheten av nedbørforhold som kan gi glatte rullebaner på Hurum, antas å være sammenlignbar med andre flyplasser på Østlandet. Hyppigheten av tett tåke ved kuldegrader er imidlertid høyere på Hurum (årgjennomsnitt 2 %). Under slike forhold vil det kunne bli glattere rullebaner enn det man er kjent med fra Østlandet forøvrig i strålingståkesituasjoner.

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	1
2. PROSJEKTBEKRIVELSE	2
2.1. DEFINISJONER	2
2.2. HISTORIKK	3
2.3. OMRÅDEBEKRIVELSE	5
2.3.1. Regional beskrivelse	5
2.3.2. Lokal beskrivelse	6
2.3.3. Tåkeforholdene i området	7
2.4. VALG AV MÅLESTEDER OG VÆRSTASJONER	9
2.4.1. Værstasjonen ved Stikkvann	9
2.4.2. Valg av nye målesteder ved prosjektstart	9
2.4.3. Værstasjonene St.Hansberget og Vingården	10
2.4.4. Nærliggende værstasjoner	10
2.5. DATAINNSAMLING	11
2.5.1. Instrumenter	11
2.5.2. Innsamling av sikt- og skyhøydedata	14
3. MÅLERESULTATER FRA HURUM I 1989 / 1990	15
3.1. SIKT	15
3.2. VIND	21
3.3. SIKT OG VIND I KOMBINASJON	23
4. METEOROLOGISKE FORHOLD PÅ EN FREMTIDIG FLYPLASS I 290 METERS HØYDE	25
4.1. METEOROLOGISK SIKT (MOR)	25
4.1.1. Normalisering av siktforholdene på Stikkvannskollen	25
4.1.2. Omregning av siktfrekvenser til flyplassnivå	26
4.1.3. Horisontale variasjoner i siktforholdene på Hurum	28
4.1.4. Effekter av varme- og fuktighetsutslipp på en fremtidig flyplass	29
4.2. RULLEBANESIKT (RVR)	30
4.2.1. Omregning fra MOR til RVR	30
4.2.2. Bakgrunnsbelysning i tåke på Hurum	30
4.2.3. Resultater av RVR-beregningene	31
4.3. SIKT OG SIDEVIND	34
4.3.1. Vurdering av vindforhold på flyplassen	34
4.3.2. Beregning av sidevindskomponenter ved redusert sikt	34

4.4. VINTERFORHOLD	36
4.4.1. Snøfall	36
4.4.2. Ising	37
4.4.3. Glatte rullebaner	38
4.5. VÆRMESSIG TILGJENGELIGHET	39
4.5.1. Rullebanesikt	39
4.5.2. Rullebanesikt og sidevind i forhold til 160/340°	41
4.5.3. Sterk vind og turbulens	42
5. KONKLUSJON	44
6. REFERANSER	45

APPENDIKS

APPENDIKS A. TERRENGSNITT PÅ HURUM	49
APPENDIKS B. DATAINNSAMLING	51
APPENDIKS C. METEOROLOGISK SIKT OG RULLEBANESIKT	56
C1. MÅLING AV SIKT	56
C2. OMREGNING AV MOR TIL RVR	61
C3. BAKGRUNNSBELYSNING I TÅKE PÅ HURUM	63
APPENDIKS D. OMREGNING AV SIKT TIL FLYPLASSNIVÅ	66
D1. METODE FOR Å BEREGNE HØYDEVARIASJONER I SIKT OVER HURUMLANDET	66
D2. HORIZONTAL VARIASJONER I SIKT OG VANNINNHold	69
D3. AKTIVITETER PÅ EN FREMTIDIG FLYPLASS (VARME- OG FUKTIGHETSUTSLIPP)	72
APPENDIKS E. VINDFORHOLD I OMRÅDET	74
E1. VINDFORHOLD PÅ EN FREMTIDIG FLYPLASS	74
E2. VINDDATA FRA 1989-1990	79

SLUTTORD

1. INNLEDNING

Det norske meteorologiske institutt (DNMI) har fått i oppdrag fra Luftfartsverket (LV) å utrede de meteorologiske forhold i det planlagte flyplassområdet på Hurum. Arbeidet med å etablere to automatiske målestasjoner i området ble påbegynt høsten 1988, og de første målingene ble igangsatt omkring midten av desember.

I denne rapporten vil vi legge hovedvekten på de værforhold som har betydning for en vurdering av flyplassens værmessige tilgjengelighet og operative kapasitet.

De viktigste emnene som blir behandlet, er siktforhold, vindforhold sammen med siktbegrensninger og forhold som kan medføre glatte rullebaner. Den anvendte metodikk er beskrevet i Appendiks A-E.

Ved avslutningen av måleprosjektet, årsskiftet 1990/91, vil DNMI gi en mer fullstendig beskrivelse av værforholdene på Hurum (sikt, vind, nedbør, temperatur etc.).

2. PROSJEKTBEKRIVELSE

2.1. DEFINISJONER

I rapporten benyttes følgende forkortelser :

DNMI - Det norske meteorologiske institutt
 ICAO - International Civil Aviation Organisation
 (Den internasjonale sivile luftfartsorganisasjon under FN)
 LV - Luftfartsverket
 RAE - Royal Aerospace Establishment, UK

I rapporten benyttes følgende begreper :

Beslutningshøyde :

En fastsatt høyde ved en presisjonsinnflyging hvorfra en innflyging må avbrytes dersom nødvendige visuelle referanser for fortsatt flyging ikke er oppnådd.

Frekvens :

Antall observasjoner av en spesifisert begivenhet i forhold til et maksimalt mulig antall. Frekvenser angis i prosent.

Kategori I operasjon :

En presisjonsinnflyging og landing, med beslutningshøyde ikke lavere enn 60 m, og med meteorologisk sikt minst 800 m, eller rullebanesikt minst 550 m.

Kategori II operasjon :

En presisjonsinnflyging og landing, med beslutningshøyde under 60 m, men ikke lavere enn 30 m, og rullebanesikt minst 350 m.

Kategori IIIA operasjon :

En presisjonsinnflyging og landing, enten med beslutningshøyde lavere enn 30 m, eller uten beslutningshøyde, og rullebanesikt minst 200 m.

Median :

Den verdi som overskrides i 50 % av tilfellene. I en ordnet tallrekke ligger medianverdien nøyaktig midt i tallrekken.

Meteorologisk instrumentsikt (MOR - Meteorological Optical Range) :

Sikt beregnet ut fra målt transmittans (prosentvis lysgjennomgang fra sender til mottaker på en siktmåler), med 5 % kontrastterskel.

Meteorologisk visuell sikt : (MVR - Meteorological Visual Range) :

I dagslys den største avstand en mørk og tilstrekkelig stor gjenstand kan gjenkjennes, med tilstrekkelig tydelighet.

I mørke den største avstand et lys av middels styrke kan sees og gjenkjennes (gatebelysning, lys fra hus).

Profil :

Dråpeprofil. Vertikal fordeling av antall dråper pr. volumenhet.

Vindprofil. Vindhastighetens endring med høyden pga. friksjon.

Rullebanesikt (RVR - Runway Visual Range) :

Sikt langs rullebanen ved aktuell rullebanebelysning, fra et fly på banens senterlinje.

Skybasis / vertikalsikt :

Høyde til undersiden av et skydekke. Ved nedbør kan det være umulig å observere skybasis. Da brukes i stedet begrepet vertikalsikt, dvs. den høyde man kan se bakken fra.

Stråling :

Extraterrestrisk stråling. Kortbølget solstråling på en flate parallell med jordoverflaten utenfor atmosfæren.

Global stråling. Direkte solstråling og diffus himmelstråling mot et horisontalplan ved jordoverflaten.

Tåke :

Luft som inneholder en mengde bittesmå vanndråper. De små dråpene sprer lyset effektivt og nedsetter sikten. Først når den meteorologiske sikt er under 1000 m, sier vi at det er tåke. Populært sagt er tåke skyer som ligger på bakken.

Adveksjonståke. Når fuktig luft transporteres innover kaldere landområder, kan det dannes tåke ved at luften blir avkjølt, slik at vanndamp går over i dråpeform.

I forbindelse med lavtrykk, fronter og vidstrakte sky- og nedbørområder, vil det være tåke i et visst høydenivå, fordi lavtliggende skyer innhyller åser og høydedrag. Slik skytåke blir også betegnet som adveksjonståke.

Frostrøyk. Når kald luft kommer ut over varmere vann, vil luften like over vannflaten oppvarmes og samtidig tilføres fuktighet. Denne luften blander seg med kaldluften over og fuktigheten kondenseres til vanndråper, det dannes frostrøyk.

Orografisk tåke. Når fuktig luft heves mot høyereliggende terreng, vil det dannes tåke (skyer) i kondensasjonsnivået (nivå der vanndamp går over til skydråper). Hvis det allerede er adveksjonståke over høyereliggende terreng, kan den orografiske effekten føre til senkning av skybasis. Dette skyldes at luft fra lavereliggende områder inneholder mest fuktighet. Når denne luft utsettes for tvungen hevning, avkjøles den og kondensasjonsnivået blir liggende noe lavere enn i den omgivende luft, der naturlige blandingsprosesser bestemmer skybasis.

Strålingståke. I godværssituasjoner, med høytrykk og lite eller ingen skyer i midlere og høyere nivå, kan det dannes lokal tåke i lavlandet, ved at luften i nedre luftlag blir avkjølt på grunn av utstråling til verdensrommet. Strålingståke danner seg lettest om natten og om morgenen når temperaturen har sin minimumsverdi.

Vind :

Gustfaktor. Høyeste registrerte vindhastighet innenfor en 10-minutters periode, dividert med middelvindhastigheten innenfor samme tidsrom. Det er vanlig å operere med 3 sekunders og 60 sekunders gustfaktor.

Sidevind. Aktuell vindhastighetskomponent vinkelrett på rullebaneretningen.

Turbulensintensitet. Standardavviket (uttrykk for spredning) i vindhastighetens sekundverdier, dividert med 10-minutters middelvindhastighet.

2.2. HISTORIKK

Nedenfor følger en kort oppsummering av DNMI's arbeid med måleprosjektet på Hurum, etter Stortingets lokaliseringsvedtak den 8.juni 1988.

1988

4/7 : LV kontakter DNMI og tar opp spørsmålet om et nytt måleprosjekt på Hurum.

- 11/7 : LV ber DNMI bestille utstyr til to automatiske værstasjoner for måling av sikt og skyhøyde på Hurum.
- 27/7 -
19/10 : Befaringer på Stikkvannskollen og Nilsåsen, de to mest aktuelle målesteder i flyplassområdet.
- 6/9 -
29/9 : Avmerking av områder for skogsrydding og nøyaktige instrumentplasseringer.
- 5/10 : Klarsignal for arbeid på Stikkvannskollen. Avtale mellom LV og grunneier.
- 25/10 -
9/12 : Etablering av værstasjonen på Stikkvannskollen.
- 7/11 -
30/12 : Skogsrydding på Stikkvannskollen.
- 9/12 : Skyhøydemåler ved Stikkvann i regulær drift.
- 10/12 : Vindmålere i 30-meters mast på Stikkvannskollen i regulær drift.
- 29/12 : Siktmåleren ved Stikkvann settes på nytt i drift. (Tidligere driftsperiode : September 1986 - mai 1988.)
- 1989
- 5/1 : Siktmåler på Stikkvannskollen i regulær drift.
- 8/5 : Klarsignal for arbeid på Nilsåsen. Avtale mellom LV og grunneier.
- 1/6 -
2/8 : Etablering av værstasjonen på Nilsåsen.
- 2/8 : Vindmålere i 30-meters mast på Nilsåsen i regulær drift.
- 23/8 : Vedtak om å etablere en skyhøydemålestasjon langt sør på Hurumlandet, for å måle skyhøyden på skyer som driver inn mot Hurum fra sør.
- 8/9 -
17/10 : Sikt- og skyhøydemåler på/ved Nilsåsen i prøvedrift. Driftsproblemer. Ordinær drift fra 17/10 kl.1420.
- 23/9 -
28/11 : Skogsrydding på Nilsåsen.
- 29/9 : Vedtak om å etablere en siktmålestasjon ca 300 m o.h. helt sør i flyplassområdet. Vedtaket ble gjort på grunn av de lave siktverdier som var målt på Stikkvannskollen frem til 31/8.
- 3/10 : Befaring av flyplassområdet omkring sørenden av vestre rullebane. St.Hansberget valgt som målested for sikt, Vingården som målested for skyhøyde.
- 30/10 -
10/11 : Skogsrydding på St.Hansberget.
- 27/10 -
24/11 : Etablering av værstasjonen på St.Hansberget.
- 24/11 : Siktmåler på St.Hansberget i regulær drift. Skyhøydemåler ved Vingården i regulær drift.

2.3. OMRÅDEBESKRIVELSE

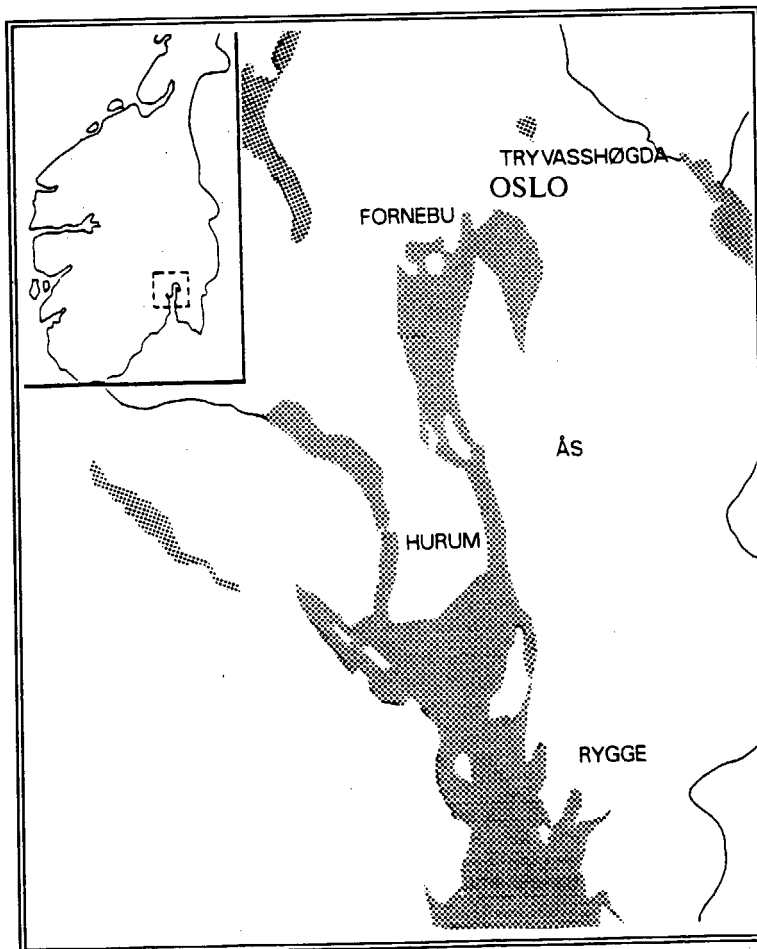
Planlagt beliggenhet for flyplassen på Hurum er den nordlige del av Hurumlandet, på et høydeplatå 290-293 m o.h. (1). Avstanden i luftlinje til Oslo er 35 km i retning NNØ og 20 km til Drammen i retning NV.

2.3.1. Regional beskrivelse

Hurumlandet er nærmest å beskrive som en halvøy, som deler Oslofjorden i et indre fjordbasseng i nord og et ytre basseng i sør. Øst for området ligger Drøbak-sundet og mot vest og nordvest, Drammensfjorden.

På regional skala er det naturlig å trekke en linje NNØ-SSV gjennom Hurumlandet. Vest for denne linjen vil terrenget jevnt over øke i høyde opp mot Langfjellene. Hurumlandet blir liggende i le for vær og vind i sektoren SV-N. Øst for nevnte linje vil det være lavereliggende terreng. Innenfor en avstand av 100 km er det relativt få og små områder med skjermende terreng over 300 m-nivået. Dette medfører at flyplassområdet får en meget fri beliggenhet i sektoren NØ-S-SSV. I spesielt en sektor omkring S vil fuktig luft fra Skagerrak og Ytre Oslofjord trenge uhindret inn mot Hurumlandet.

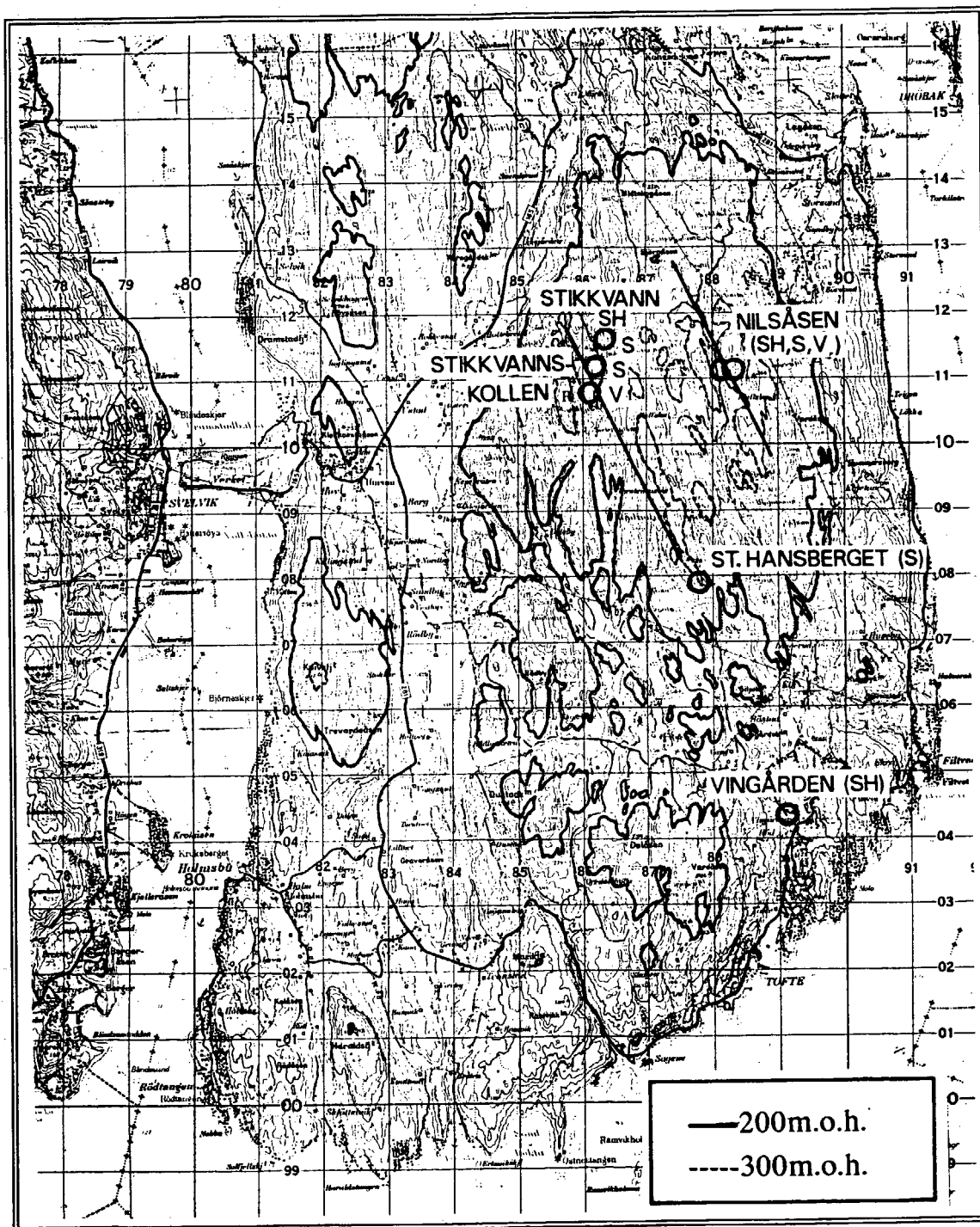
Se figur 2.1.



Figur 2.1. Kart over Oslofjord-området. Værstasjonene i området er inntegnet.

2.3.2. Lokal beskrivelse

Flyplassområdet ligger i et meget kupert terreng, som består av høydedrag og dalsøkk. Typisk lengderetning er SSØ-NNV. Området er skogbevokst. Flyplassen vil bli bygget der det nå er koller og høydedrag over 290 m-nivå. Terrenget faller bratt av i sektorene SSV-NV og SØ-NØ, og delvis også mot N (se forøvrig Appendiks A). Mot S og SSØ er terrenget noe slakere. En utbygging av flyplassområdet vil medføre terrengutjevning og avskoging slik at en fremtidig flyplass vil være meget eksponert for vær og vind. Se figur 2.2.



Figur 2.2. Kart over Hurumlandet. Målestedene er angitt. S står for sikt-, SH for skyhøyde- og V for vindmålinger.

2.3.3. Tåkeforholdene i området

På Hurum-plataet er en blanding av adveksjonståke (skytåke) og orografisk tåke (se definisjon) den vanligste tåkeform. Slik tåke er typisk ved transport av fuktige luftmasser fra sørlig kant, gjerne i forbindelse med nedbør og vandrende lavtrykk.

Rendyrkede former av strålingståke og frostrøyk i Oslofjordområdet forekommer mindre hyppig. Da er en kombinasjon mer vanlig, med fjordtåke som resultat. En slik strålingsbetinget fjordtåke når en høyde på maksimalt noen få hundre meter. I mange tilfelle vil det fremtidige flyplassområdet på Hurum da ligge over denne type tåke, men det vil også forekomme situasjoner der slik tåke driver innover flyplassen.

Lokal strålingståke i de indre områder av Hurum forekommer idag sjelden. En flyplassutbygging vil ikke endre dette.

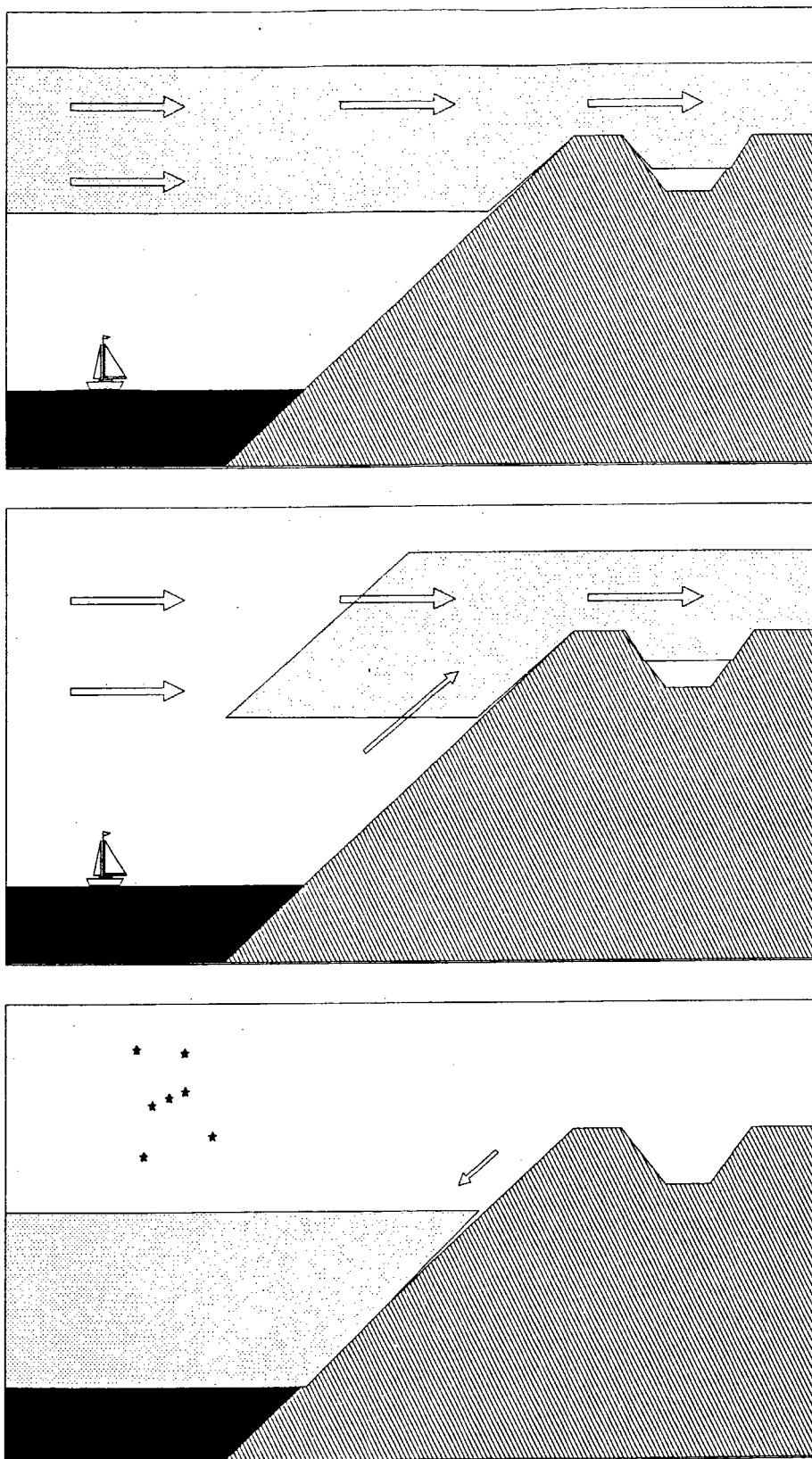
Tåkestatistikk for tidsrommet 1957-1988 fra værstasjonene i Oslofjordområdet illustrerer betydningen av strålingsbetinget tåke, som dannes i godværssituasjoner, kontra adveksjonståke (skytåke), som oftest dannes i vær-situasjoner med mye skyer og nedbør.

Fornebu har en årsfrekvens på 2.2 % av sikt under 1000 m (tåke). Bare i 0.4 % av tiden er sikten under 200 m. Tåkedannelsen er hovedsaklig strålingsbetinget. På Rygge er det både adveksjonståke og strålingsbetinget tåke. Årsfrekvensen av tåke er 4.6 %, sannsynligvis noenlunde likt fordelt på de to tåketyper. I 0.6 % av tiden er sikten under 200 m. Det er altså sjelden at tåken blir meget tett i lavlandet omkring Oslofjorden.

I de høyereliggende og fritt eksponerte områder omkring Oslofjorden er tåkeforholdene annerledes. Over 150 m-nivået er det hovedsaklig skyer som er årsak til tåken. Tryvasshøgda (514-528 m o.h.) har en årsfrekvens av tåke på 22.4 %, og en frekvens av sikt under 200 m på 13.6 %. På Hurum (350 m o.h.) ligger de tilsvarende tall på omkring 17-18 % og 12-13 %. Adveksjonståken forekommer altså langt hyppigere enn strålingsbetinget tåke, og når den dannes er den som oftest meget tett. Tåkehyppigheten er avhengig av høyden over havet, dvs. frekvensene øker med økende høyde.

Se forøvrig "Tåkeforholdene på norske flyplasser" (2).

På neste side er forskjellige tåkesituasjoner illustrert i figur 2.3.



Figur 2.3. Eksempler på de mest vanlige tåketypene på Hurum.
Øverst: Adveksjonståke (skyer driver innover området).
I midten: Orografisk tåke (hevning av fuktig luft gir skydannelse). Adveksjonståke og orografisk tåke virker sammen på Hurum. **Nederst:** Strålingsbettinget fjordtåke (dannes oftest i klarværssituasjoner). Dersom det er vind, kan fjordtåken heve seg til et tåkeskylag, med noen få hundre meters tykkelse.

2.4. VALG AV MÅLESTEDER OG VÆRSTASJONER

2.4.1. Værstasjonen ved Stikkvann

Fra september 1986 til mai 1988 hadde DNMI i drift en siktmåler ved Stikkvann (250 m o.h.). Målestasjonens representativitet i forhold til fremtidig flyplass er vurdert i (3). Rapporten konkluderer bl.a. :

"Åsene omkring Stikkvann vil i betydelig grad skjerme siktmåleren for tåkeskyer, med skybasis under 250 m, som driver innover Hurumlandet. Måledataene vil således heller ikke være representative for et fritt eksponert 250 m-nivå på Hurum.

En del tåkeskyer, med skybasis over 250 m, vil innhulle åser og høydedrag i området, uten at Stikkvann blir berørt.

Selv med fortsatte siktmålinger ved Stikkvann vil man ikke, ved bruk av slike data alene, kunne angi frekvenser av sikt under gitte grenser for det planlagte flyplassområdet i 300 meters høyde."

Videre målinger av sikt på Hurum har måttet baseres på andre, fritt eksponerte, målesteder. Ved å beholde målestasjonen ved Stikkvann, har man samtidig fått registrert omfanget av skjermingen i en forsenkning i 250 m-nivå. For sammenligningens skyld ble siktmåleren ved Stikkvann oppgradert til samme standard som de nye målerne, men basislinjen på 75 m er beholdt.

2.4.2. Valg av nye målesteder ved prosjektstart

Ved valg av målesteder er det lagt vekt på å få mest mulig representative målinger for det fremtidige rullebanenivå og da spesielt for områdene omkring hver ende av rullebanene. Det har også vært viktig å kunne sammenlikne forholdene på de to banene. Vi har vurdert følgende forhold (se også (4)) :

På grunn av skogbevokste åser opp til 350 m o.h. er det ikke mulig å finne en måleroppstilling i rullebanenivå, som er like uskjermet i alle retninger som en fremtidig flyplass vil være.

Siktmålere i rullebanenivå kan bare beskrive siktforholdene på luvsiden av flyplassområdet. Målte siktfrekvenser, som skulle gi et totalbilde av forholdene, ville måtte korrigeres for skjerming. Med kun 2 siktmålere vil det være vanskelig å dekke alle tåkeførende vindretninger.

Det er lettere å foreta en høydekorreksjon av målt sikt enn å foreta en skjermingskorreksjon. Sistnevnte korreksjon vil dessuten variere med vindretningen og vil ikke være den samme på to målestasjoner, på grunn av forskjellig terreng omkring stasjonene.

Dette er de viktigste grunner til at målesteder for sikt ble valgt nær høyeste punkt på hver rullebanestrekning : Nilsåsen (350 m o.h.) for østre rullebane og Stikkvannskollen (350 m o.h.) for vestre rullebane. I Appendiks A er vist snitt gjennom det mest aktuelle landingsområdet på østre rullebane, fra 5 forskjellige kompassretninger. Dette gir et bilde av den terrengmessig skjerming for en tenkt målestasjon i et landingsområde, før flyplassutbygging. I tillegg kommer skjerming på grunn av vegetasjon.

For å få minst mulig lokal påvirkning av vindmålingene, ved vind fra sør og sørvest, ble målestedet på Stikkvannskollen lagt 400 m mot sørsørvest (335 m o.h.) i forhold til siktmålerne. Vindmålermasten på Nilsåsen ble plassert ved siktmåleren.

Skyhøydemålerne ble plassert i et lavere nivå, hhv. 275 m og 255 m for stasjonene Nilsåsen og Stikkvannskollen. Hensikten var å avgjøre om skylagene som gir tåke i 350 meters nivå, også gir tåke i rullebanenivå.

Alle målestedene er vist i figur 2.2.

2.4.3. Værstasjonene St.Hansberget og Vingården

Formålet med måleprosjektet har vært å få en mest mulig detaljert beskrivelse av værforholdene i området, med tanke på planlegging og fremtidig operativ drift av flyplassen.

Etter en periode på 8 måneder ble måleresultater presentert for LV (5). Foreløpige beregninger indikerte at siktforholdene var dårligere enn tidligere antatt. Stortinget vedtok å redusere videre planlegging av Hurum-prosjektet inntil det forelå flere meteorologiske målinger.

For å kunne basere høydekorreksjonen på målt sikt i 350 m-nivå på observasjoner i to høydenivåer, og ikke bare på teoretiske utledninger, ble ny siktmåler satt opp ved sørenden av vestre rullebane i høydenivå 310 m. Stedet er av lokalbefolkningen benevnt St.Hansberget. Målestedet ligger på en smal åsrygg, fritt eksponert i sektoren østsørøst-sørvest.

For å kunne danne seg et bilde av skyforholdene når det ble observert tåke på St.Hansberget, ble det satt opp en skyhøydemåler ved Vingården, høydenivå 100 m, i en avstand av 4 km sørsørøst for St.Hansberget.

2.4.4. Nærliggende værstasjoner

I analysen av værforholdene på Hurum er benyttet siktdata fra Tryvasshøgda og værdato fra Fornebu og Rygge. Disse værstasjonene har lange observasjonsserier. I rapporten er det brukt data for perioden 1957-1989. Skyobservasjoner (skyhøyde og skymengde) for 1989 fra Fornebu og Rygge, og siktobservasjoner fra Tryvasshøgda, er sammenliknet med siktobservasjonene på Hurum. Dette gir en sammenheng mellom været på Hurum og på nabostasjonene, som kan utnyttes i en beskrivelse av forholdene over et lengre tidsrom. Norsk Regnesentral har gitt en beskrivelse av siktforholdene på Hurum for perioden 1957-1989. Se forøvrig kap.4.1.1.

I tillegg er benyttet strålingsdata fra Ås.

Nevnte stasjoner er vist på figur 2.1.

2.5. DATAINNSAMLING

Pr. rapportdato samles det inn meteorologiske data fra følgende steder : Stikkvannskollen, Stikkvann, Nilsåsen, St.Hansberget og Vingården. Fra de tre førstnevnte stasjonene overføres dataene automatisk til DNMI, på de to andre registreres data grafisk. I en periode har det også vært grafisk registrering av data på Stikkvannskollen og ved Stikkvann.

2.5.1. Instrumenter

Det er 4 siktmålere i drift på Hurum : Stikkvannskollen, Stikkvann, Nilsåsen og St.Hansberget. Hovedstasjonene Stikkvannskollen og Nilsåsen registrerer også vind. De har dessuten tilknytning til hver sin skyhøydemåler, plassert 95 og 75 m lavere enn siktmålerne. En mobil skyhøydemåler er plassert ved Vin-gården, 3.7 km sør for St.Hansberget og 210 m lavere enn denne. Den øvrige meteorologiske instrumentering er beskrevet i Appendiks B.

Sikt.

Sikt måles av et transmissometer (figur 2.4). En sender- og en mottakerenhet står B meter fra hverandre. Mottakerenheten måler mottatt lys, T (transmittansen), i prosent av utsendt lys, i ca 2.5 meters høyde over bakken. Av Koschmieders lov (se Appendiks C1) beregnes meteorologisk instrumentsikt, MOR :

$$\text{MOR} = B \cdot \ln(0.05) / \ln(T) \quad \text{lign.2.1,}$$

der ln er den naturlige logaritmen.

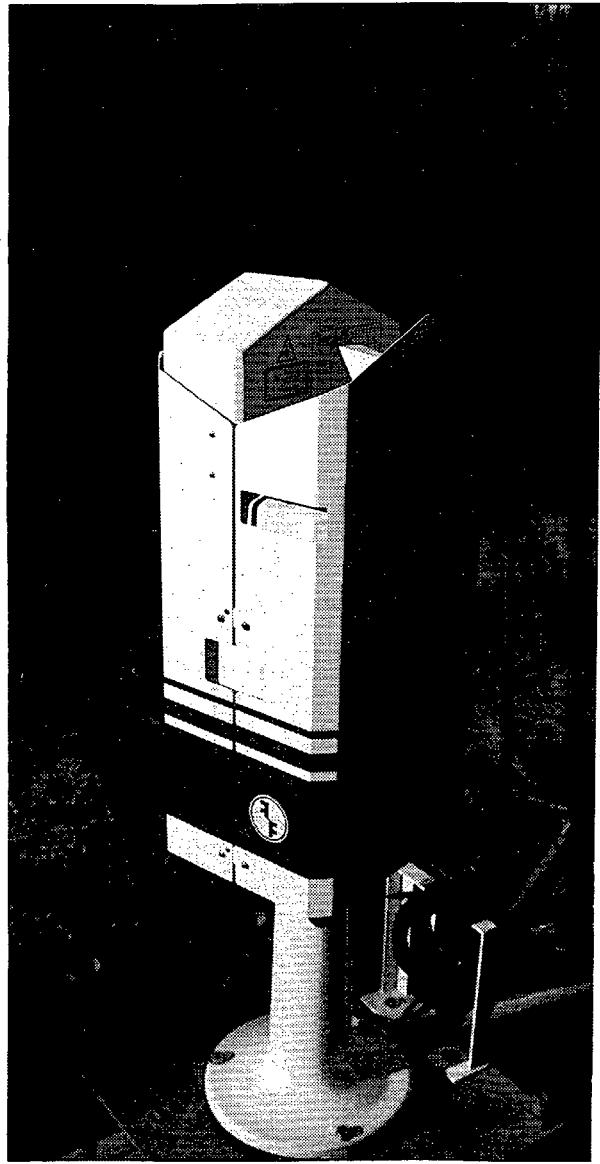
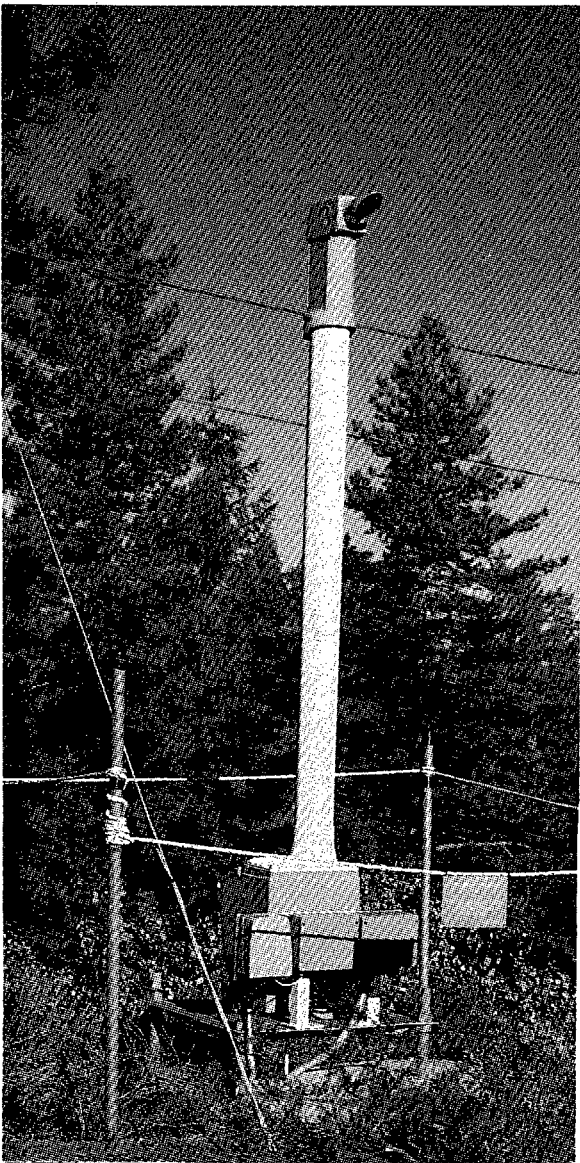
Vind.

I en 30 m høy mast foretas vindmålinger i 3 nivåer : 10, 18 og 30 m (figur 2.5). I tillegg til midlere vindhastighet og vindretning over 10 minutter måles 3 og 60 sekunders vindkast og 3 horisontale turbulensparametre i alle nivåer.

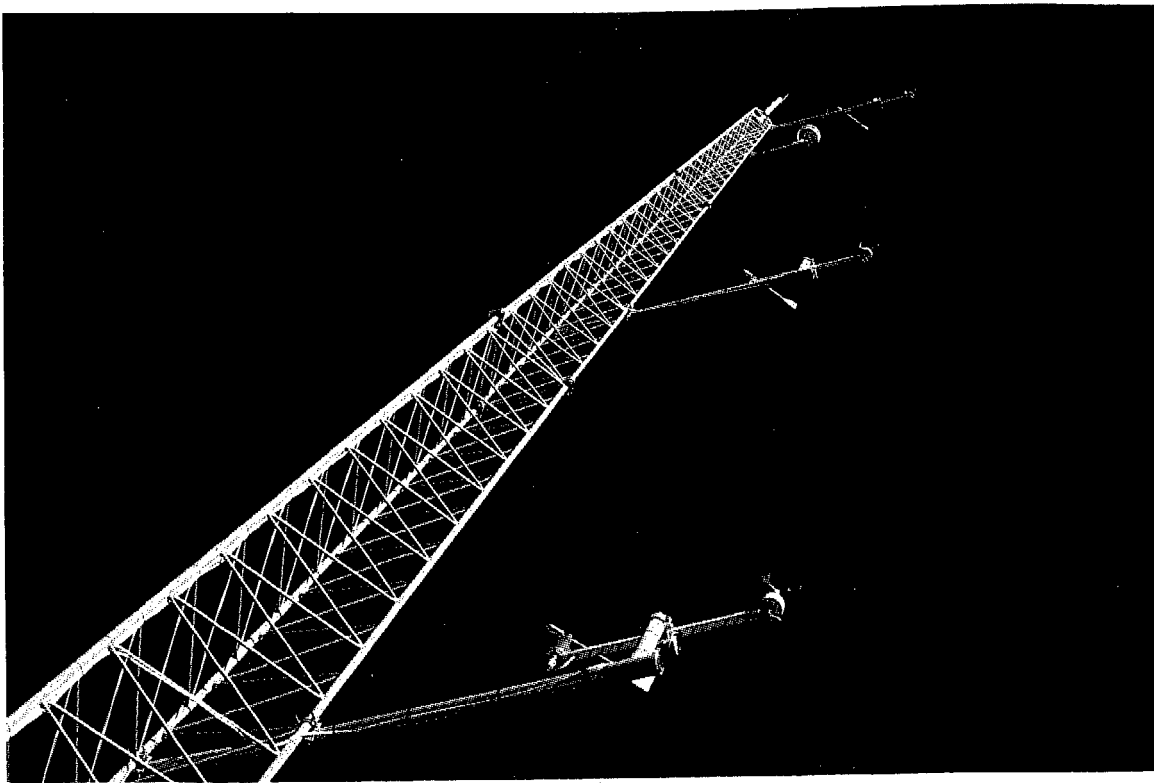
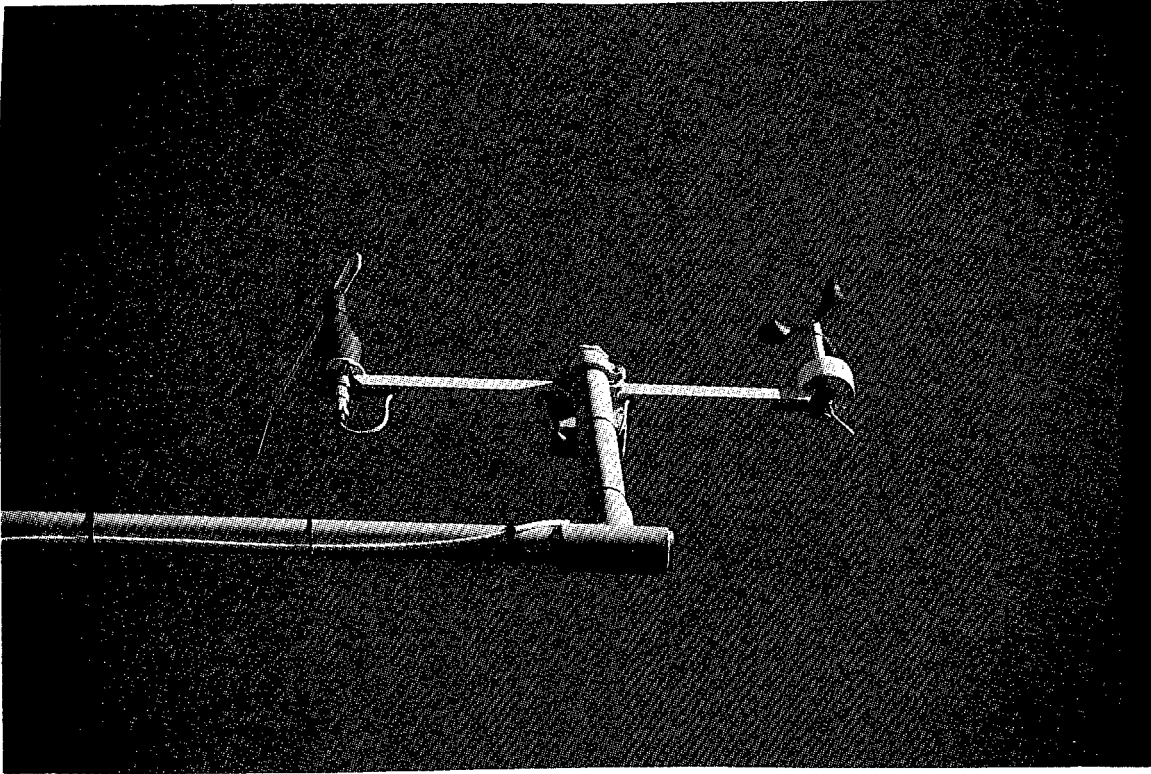
Målinger i 3 nivåer gjør det mulig å beskrive vertikalt vindprofil og turbulensnivå. Dette er svært viktige forklarende elementer i beskrivelse av vind- og tåkeforhold (se Appendiks D2). Målepunktet i 30 meters høyde er dessuten nødvendig for å kunne registrere vind som er minst mulig påvirket av lokalt terreng. Dette er en forutsetning for å kunne beskrive vindforholdene i flyplassnivå.

Skyhøyde.

Skyhøyde måles av et ceilometer (figur 2.4), der sender og mottaker sitter i samme enhet. En laserstråle som sendes ut, blir delvis reflektert tilbake til mottaker når den treffer skydråper. Beregning av høyden opp til nærmeste skylag gjøres på grunnlag av tidsforskjellen mellom utsendt og reflektert laserstråle.



Figur 2.4. Til venstre : Siktmåler (transmissometer, sender-
enhet) på Nilsåsen. Til høyre : Skyhøydemåler (ceilometer).



Figur 2.5. 30-meters mast med vindretnings- og vindhastighets-sensorer i nivåene 10, 18 og 30 m.

2.5.2. Innsamling av sikt- og skyhøydedata

Sikt- og skyhøydetelegrammer sendes hvert 30. sekund til en PC, som kan lagre slike data for et tidsrom på inntil 3 uker. Et utdrag av dataene sendes som eget telegram videre til en innsamlingsstasjon.

EDAS datainnsamlingsstasjon.

Værstasjonene Stikkvannskollen og Nilsåsen er hver for seg helt automatiserte datainnsamlingsenheter. Sentralt i systemet står EDAS-stasjonen, som har til oppgave å :

1. Samle inn data. (Prosesserte data fra vindmålerne via en EDAS maststasjon. Sikt- og skyhøydedata fra PC-enheten. Data fra enkeltstående sensorer.)
2. Foreta en videre prosessering (beregning av spesielle parametre, se Appendiks B) av sikt- og skyhøydedataene og øvrige data.
3. Lagre data.
4. Sende data til DNMI over telenettet.

Overføring av data for de siste 40 timene skjer to ganger pr. døgn. Dermed har man en god datasikring i fall det skulle være sporadiske feil på telelinjene fra Hurum til DNMI. Dataene gjennomgår en daglig kontroll på DNMI. Det er dessuten en direkte forbindelse mellom DNMI og PC-enheten (for innsamling av sikt- og skyhøyde-data) og mellom DNMI og EDAS-stasjonen (innsamling av samtlige data), slik at en rask aksjon kan gjennomføres ved eventuelle mistanker om feil på utstyret.

3. MÅLERESULTATER FRA HURUM I 1989/1990

3.1. SIKT

Målinger av sikt (MOR, se definisjon) på Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget i 1989/90 er presentert i tabellene 3.1-3. Med unntak for august, som gjelder perioden 1-14/8 og 22-31/8, er alle månedene fullstendige.

Tabell 3.1. Akkumulerte månedsfrekvenser og årsfrekvenser (%) av sikt under 40-350 m på Stikkvannskollen. 0.0 betyr at minst ett tilfelle er registrert, - betyr ingen tilfelle registrert.

STIKKVANNSKOLLEN									
1989	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100	≤150	≤350
JAN	0.3	2.3	4.8	6.6	7.5	7.9	8.3	8.9	10.4
FEB	0.1	0.8	2.9	6.4	10.5	13.9	16.4	21.2	25.5
MAR	1.9	8.3	16.7	21.3	24.7	26.8	28.6	33.1	37.4
APR	1.8	4.7	8.2	11.1	13.5	14.3	15.3	18.5	21.1
MAI	0.1	0.7	1.5	2.2	2.8	3.3	4.0	5.1	6.5
JUN	-	0.0	0.4	0.6	1.0	1.3	1.7	2.7	4.3
JUL	-	-	0.0	0.2	0.6	0.8	1.0	1.9	3.7
AUG	0.3	1.8	2.9	4.0	5.1	6.4	7.4	10.4	13.5
SEP	2.2	5.6	9.2	11.5	12.4	12.9	13.4	14.6	15.7
OKT	1.1	4.3	6.8	9.0	11.4	13.4	15.2	20.0	23.6
NOV	0.2	2.6	6.9	10.8	14.4	17.5	20.0	25.8	30.4
DES	0.3	2.5	4.2	6.0	7.8	9.0	10.4	13.0	18.2
ÅR	0.7	2.8	5.4	7.5	9.6	10.6	11.8	14.6	17.5
1990	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100	≤150	≤350
JAN	1.8	7.6	11.3	13.8	16.4	18.8	20.1	24.8	30.0
FEB	3.0	8.6	13.7	18.4	21.0	23.9	27.0	34.7	44.4
MAR	2.2	5.6	7.6	9.0	10.1	10.7	11.6	13.6	16.7

Tabell 3.2. Akkumulerte månedsfrekvenser (%) av sikt under 40-350 m på Nilsåsen. 0.0 betyr at minst ett tilfelle er registrert, - betyr ingen tilfelle registrert.

NILSÅSEN									
1989	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100	≤150	≤350
NOV	-	0.5	2.9	6.3	11.1	15.1	19.0	25.7	30.6
DES	-	0.9	2.5	4.3	5.7	7.3	8.5	11.1	14.5
1990	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100	≤150	≤350
JAN	0.2	4.0	8.8	11.0	13.4	16.3	18.6	24.2	29.9
FEB	1.4	5.8	11.1	15.9	21.4	25.1	27.9	34.3	42.1
MAR	1.5	5.1	7.2	9.0	10.0	11.1	11.7	13.4	15.7

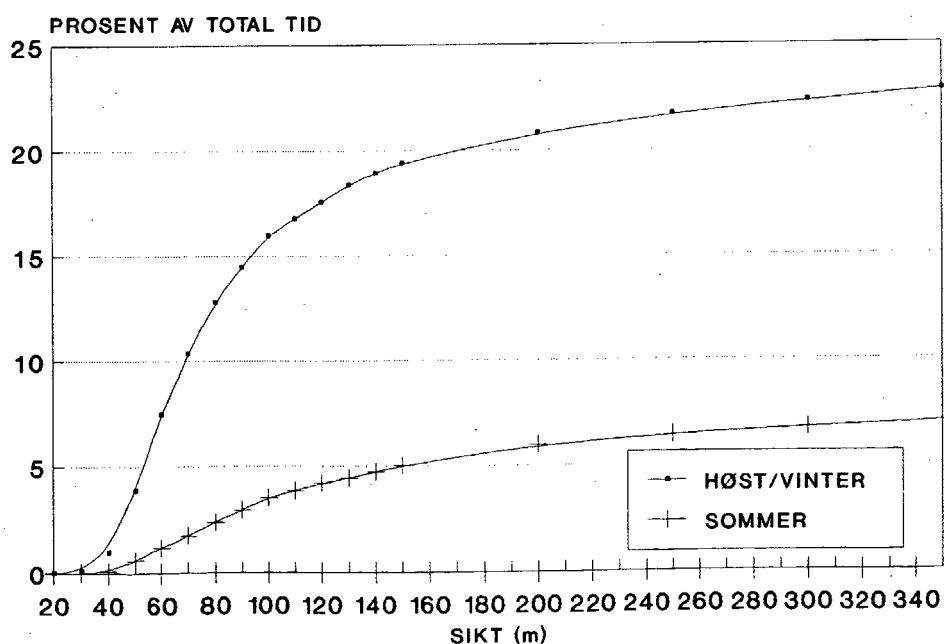
Tabell 3.3. Akkumulerte månedsfrekvenser (%) av sikt under 40-350 m på St.Hansberget. 0.0 betyr at minst ett tilfelle er registrert, - betyr ingen tilfelle registrert.

ST.HANSBERGET									
1989	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100	≤150	≤350
DES	0.5	2.1	3.7	5.4	6.3	7.2	7.6	8.8	10.8
1990	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100	≤150	≤350
JAN	1.2	6.1	10.8	13.6	16.1	18.2	19.4	24.1	28.5
FEB	1.8	6.3	13.0	17.5	21.2	24.2	26.4	34.2	41.8
MAR	2.2	5.4	8.0	9.6	10.5	11.1	11.6	13.7	15.9

Tabell 3.1 viser tydelig den store variasjonen gjennom året i tåkeforholdene på Hurum. Månedene mai-august har en klart lavere frekvens av lave siktverdier enn månedene september-april. Figur 3.1 viser den store forskjellen mellom høst/vinter- og sommersesong.

Variasjonene fra måned til måned er fremstilt i figurene 3.2 og 3.3. Normalverdiene for langtidsperioden 1957-1988 er også vist på figurene.

AKKUMULERTE SIKTFREKVENSER 1989 Stikkvannskollen



Figur 3.1. Akkumulerte siktfrekvenser (%) på Stikkvannskollen for høst/vinter- og sommersesong 1989.

Siktobservasjonene fra september og oktober på Nilsåsen er ufullstendige og er av den grunn ikke med i tabell 3.2.

Skogen i områdene omkring værstasjonene har betydning for siktforholdene ved at den øker avsetningen av skydråper, slik at sikten bedres. Skogryddingen på kollene der værstasjonene er plassert, har ført til at denne effekten er redusert. Men vegetasjonen i nærområdene til stasjonene har fortsatt så stor betydning for siktforholdene at de kan forklare de små forskjellene i sikt mellom stasjoner i samme høydenivå.

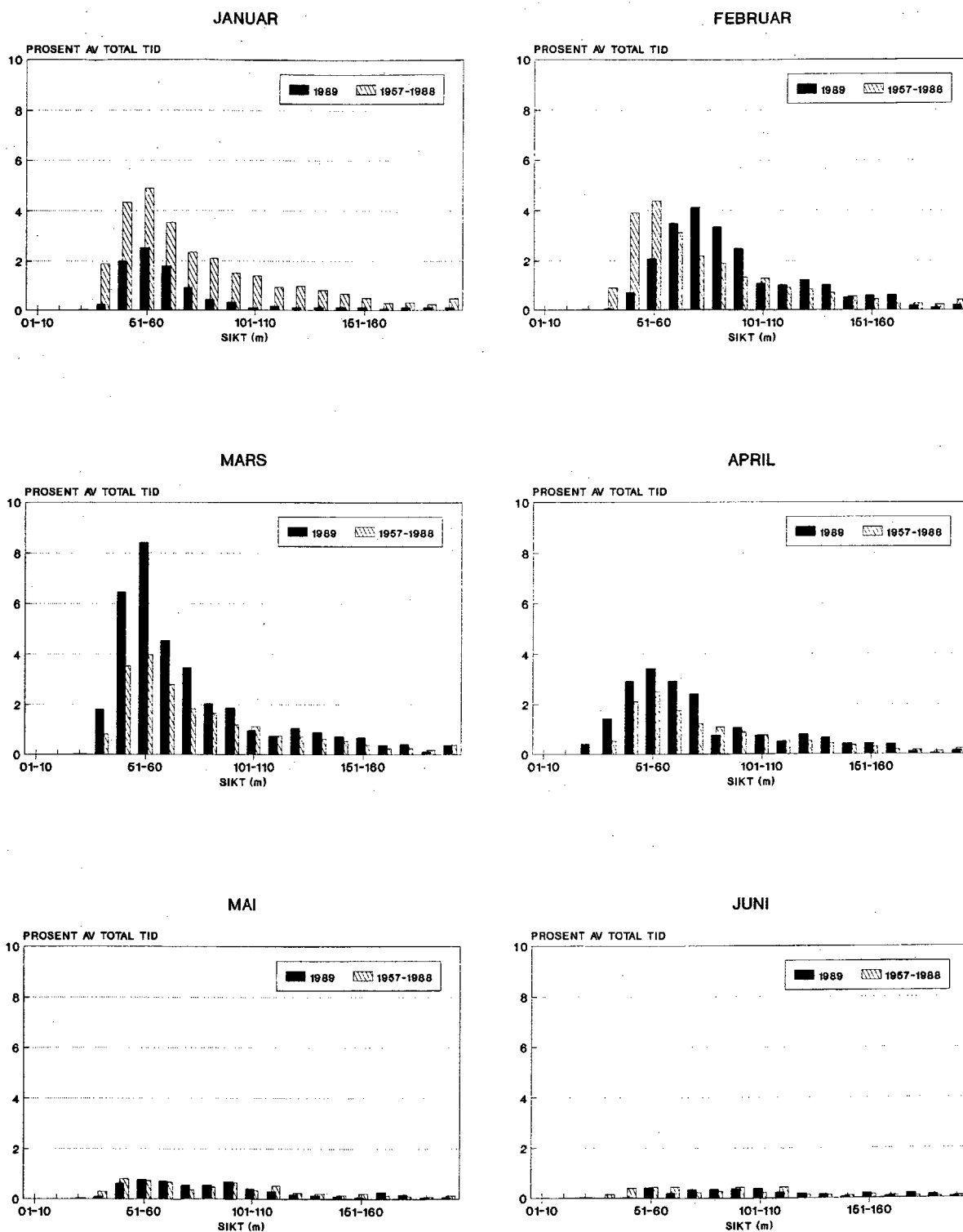
Ved sammenlikning av stasjonene må man derfor være klar over følgende forhold :

1. Skogsryddingen på Nilsåsen var ikke avsluttet før 28/11-1989. Den siste hogsten førte til siktforverring ved vind fra sør og sørsørvest (den dominerende tåkesektor på Hurum). Se kap.4.1.3 og Appendiks D2. Novembertallene for Nilsåsen viser derfor noe mindre forekomst av lave siktverdier enn det som ville vært tilfelle, dersom hogsten hadde blitt utført tidligere.
2. I sektor 345-045° er Nilsåsen skjermet av furuskog. Siktforholdene ved tåke og vind fra denne sektor er vesentlig bedre enn de ville vært ved en helt fri eksponering. Med mye tåke og vind fra denne sektor vil Nilsåsen få vesentlig lavere frekvenser av sikt under 150 m enn Stikkvannskollen. Dette var tilfellet i desember, da det var større hyppighet av nordøstlige vinder enn vanlig.
3. St.Hansberget er skjermet av skog og høyereliggende terreng ved vind og tåke fra nordlig sektor. Stasjonen er også noe skjermet mot øst, men har ellers en fri beliggenhet.

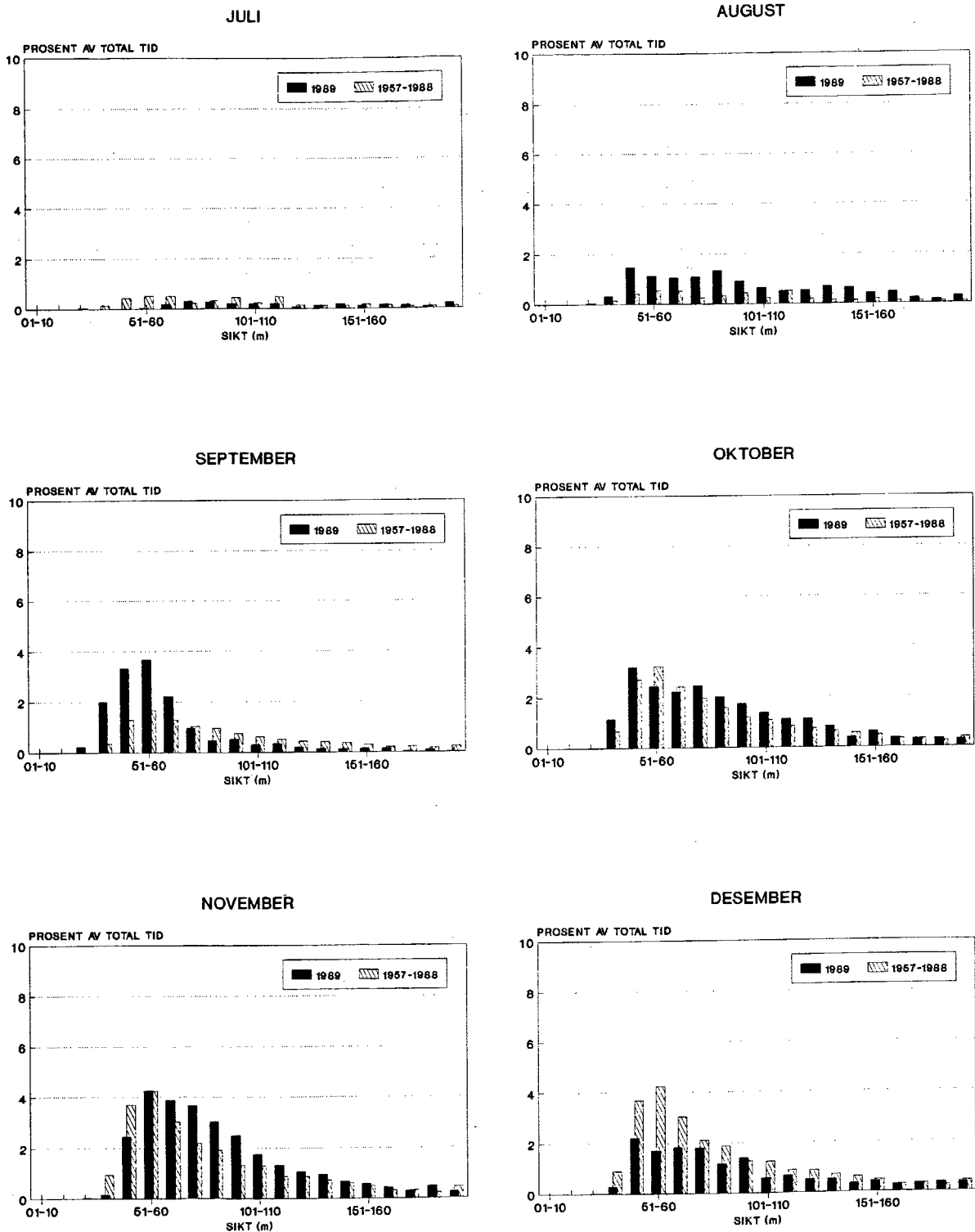
De forskjellene man i dag kan registrere mellom Stikkvannskollen og Nilsåsen kan derfor ikke uten videre tolkes som reelle forskjeller i siktforholdene mellom østre og vestre rullebane etter utbygging.

Tabellene 3.1-3 viser at siktforbedringen fra Stikkvannskollen til St.Hansberget er svært liten, til tross for høydeforskjellen på 40 m. F.eks. er gjennomsnittlig frekvens, desember-mars, av sikt under 60 m hhv. 9.2 og 8.9 % .

Det er de lave siktverdiene som er viktige ved vurdering av den værmessige tilgjengelighet for flyplassen. I måleperioden har St.Hansberget hatt høyere frekvens enn Nilsåsen av lave siktverdier, helt opp til 90 m.



Figur 3.2. Frekvensfordeling av sikt (MOR) på Stikkvannskollen, i grupper på 10 m, for månedene januar-juni 1989.

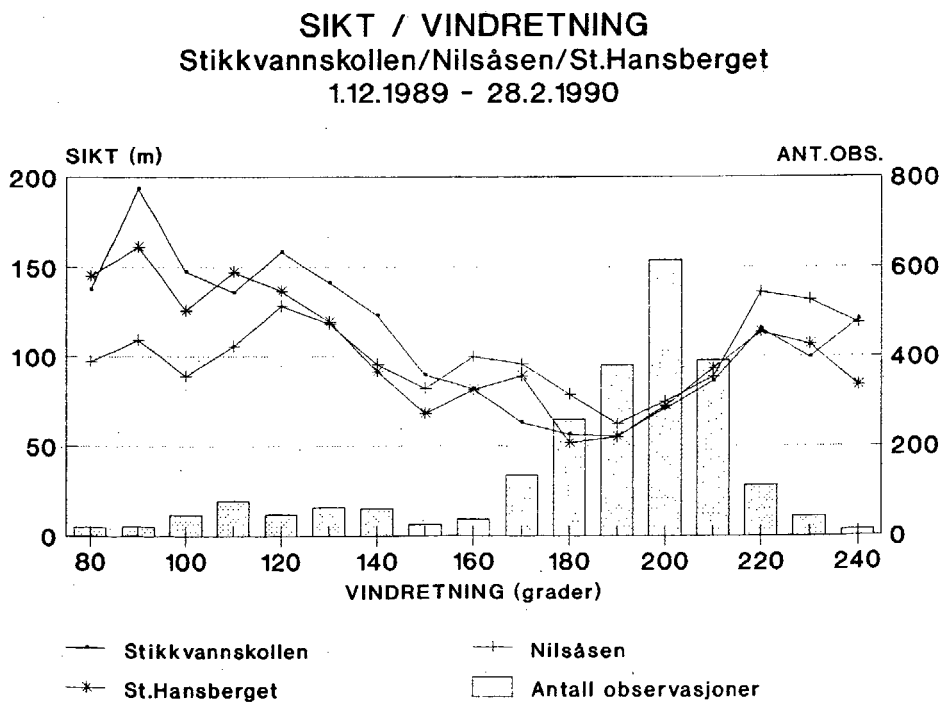


Figur 3.3. Frekvensfordeling av sikt (MOR) på Stikkvannskollen, i grupper på 10 m, for månedene juli-desember 1989.

Ved tilførsel av fuktige luftmasser fra sørlig kant får vi skydannelse med lav skybasis over Hurumlandet og dårlig sikt i hele området. Det er sørlige vinder som hyppigst bidrar til tåkedannelse over høyereliggende terreng (se figur 3.6).

En sammenlikning mellom Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget i tidsrommet desember 1989 - februar 1990 viser at det er svært liten forskjell i sikt mellom de tre stasjonene når vinden kommer fra sør eller sørsørvest (190-210°, se figur 3.4).

Figuren under gir et bilde av hvordan siktforholdene varierer med vindretningen. Det forekommer også sikt under 100 m på alle tre stasjonene med vind fra sektoren 080-140°. Forskjellen i sikt mellom stasjonene under slike forhold er da vesentlig mindre enn figuren viser.



Figur 3.4. Gjennomsnittlige siktforhold ved sikt under 350 m på Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget, fordelt på vindretning på Nilsåsen, for tidsrommet 1.12.1989 - 28.2.1990.

3.2. VIND

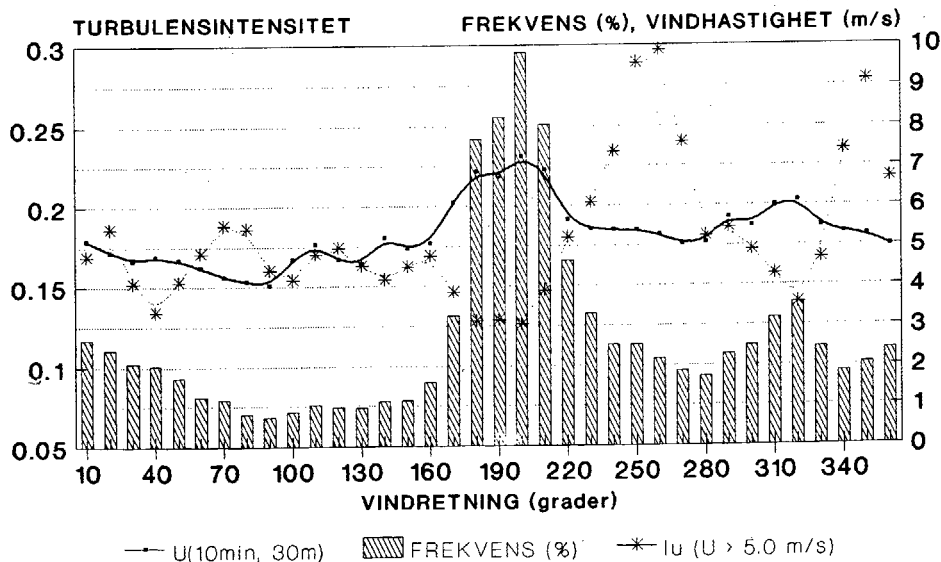
Det er utført vindmålinger på Stikkvannskollen (fra 10.12.1988) og på Nilsåsen (fra 2.8.1989). Begge steder måles vindhastighet og retning 10, 18 og 30 m over bakken. I Appendiks E1 er det vist hvorfor vind i 30 m-nivå på Stikkvannskollen kan representere vindkravene 10 m over bakken i det mest aktuelle landingsområdet på en ferdig utbygd flyplass. I kapitlene 3.2 og 3.3 er det derfor presentert frekvenser av 10 minutters middelvind for Stikkvannskollen, 30 meters nivå.

Tabellene 3.4-5 viser opptellinger av vindforekomst i intervaller. Intervallene gjelder 10 minutters middelerverdier av vindhastighet og retning fra periodene 1.9. - 31.12.1989 og 1.1. - 31.3.1990. Høsten 1989 hadde mer nordlig vind enn vinteren 1990, som hadde et overskudd av sørvestlig, forholdsvis sterk, vind.

Data fra perioden frem til september 1989 er gitt i (4) og er ikke tatt med her. Figur 3.5 inneholder derimot informasjon om retningsfordelt middelvind for hele måleperioden, 10.12.1988 - 31.3.1990. Figuren viser at sørlig vind dominerer. Fra denne sektor er også vinden sterkst. Turbulensen er rimelig lav, bortsett fra ved vestlig og tildels ved nordlig vind. Dette skyldes lokaleffekter fra koller i nærheten.

En fullstendig beskrivelse av vindmåleresultatene vil bli gitt i sluttrapporten fra prosjektet.

HURUM - STIKKVANNSKOLLEN 10.12.88 - 31.03.90



Midlere vindhastighet : 5.8 m/s.
1.5 % med vindhastighet 0 m/s,
skyldes delvis nediset vindmåler.

Figur 3.5. Frekvensfordeling, middelvind (U) og turbulensintensitet (Iu) på Stikkvannskollen fordelt på vindretning for hver 10. grad i perioden 10.12.1988-31.3.1990.

Tabell 3.4. Frekvenstabell av vindhastighet fordelt på vindretning for registreringsperioden 1.9. - 31.12.1989.

HURUM - STIKKVANNSKOLLEN 01.09.89 - 31.12.89

Horisontal: U(30m,Hurum-Stikkvannskollen) (m/s)
 Vertikal : Vindretning, 30m, Hurum-Stikkvannskollen
 Datasett : 10 min. middelerverdi av vindretning og vindhastighet.

	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	SUM	%	MID	STD
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5				
360	298	602	524	232	63	12	1	.	.	1732	10.1	5.06	2.64
30	239	624	616	118	6	8	4	2	.	1617	9.4	4.78	2.25
60	157	390	314	41	.	.	.	.	.	908	5.3	4.44	2.03
90	132	180	61	1	.	.	.	.	.	374	2.2	3.30	1.68
120	145	111	174	64	11	.	.	.	.	505	2.9	4.66	2.69
150	187	236	181	114	48	10	.	.	.	776	4.5	5.05	3.05
180	276	879	551	319	203	87	27	.	.	2342	13.6	5.90	3.33
210	267	1087	1162	575	268	100	29	.	.	3488	20.3	6.17	2.96
240	161	598	392	47	1	.	.	.	.	1199	7.0	4.45	1.73
270	165	496	215	25	1	.	.	.	.	902	5.2	4.00	1.69
300	165	660	466	94	38	12	1	.	.	1436	8.3	4.88	2.25
330	248	592	687	126	76	34	6	.	.	1769	10.3	5.28	2.65
0	165	.	.	.	.	.	.	.	.	165	1.0		
SUM	2605	6455	5343	1756	721	263	68	2	.	17213		5.15	2.76
%	15.1	37.5	31.0	10.2	4.2	1.5	0.4	0.0	.				

Tabell 3.5. Frekvenstabell av vindhastighet fordelt på vindretning for registreringsperioden 1.1. - 31.3.1990.

HURUM - STIKKVANNSKOLLEN 01.01.90 - 31.03.90

Horisontal: U(30m,Hurum-Stikkvannskollen) (m/s)
 Vertikal : Vindretning, 30m, Hurum-Stikkvannskollen
 Datasett : 10 min. middelerverdi av vindretning og vindhastighet.

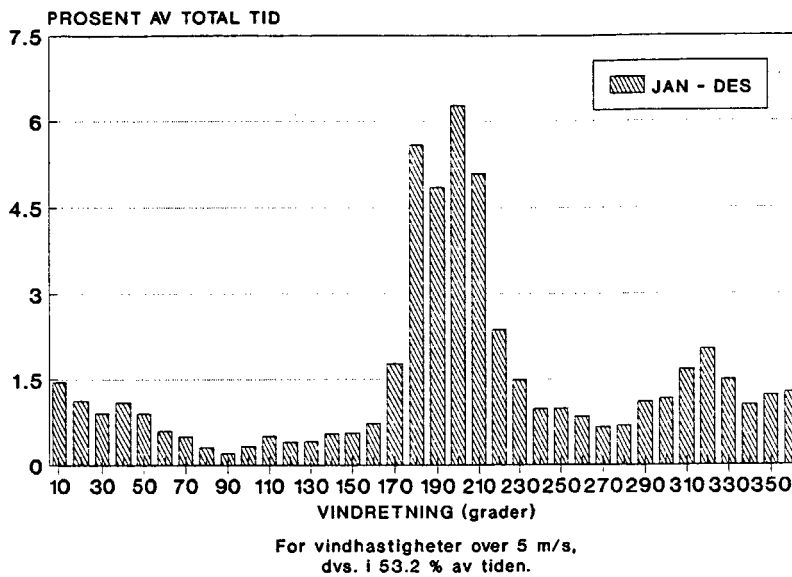
	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	SUM	%	MID	STD
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5				
360	96	153	153	55	10	1	.	.	.	468	4.2	4.83	2.48
30	81	69	112	32	.	.	.	.	.	294	2.6	4.56	2.35
60	51	34	10	13	23	.	.	.	.	131	1.2	4.64	3.63
90	34	23	38	62	1	.	.	.	.	158	1.4	5.72	2.91
120	63	93	157	95	.	.	.	.	.	408	3.6	5.44	2.41
150	64	78	111	101	14	3	.	.	.	371	3.3	5.71	2.78
180	93	277	521	739	459	232	125	18	1	2465	21.9	8.75	3.64
210	53	319	1041	1026	624	155	15	1	.	3234	28.8	8.05	2.69
240	27	219	513	215	108	39	4	.	.	1125	10.0	6.87	2.60
270	28	175	191	237	56	7	.	.	.	694	6.2	6.74	2.59
300	43	197	322	215	122	39	.	.	.	938	8.3	7.03	2.88
330	71	154	221	145	53	19	1	.	.	664	5.9	6.37	3.01
0	294	.	.	.	.	.	.	.	.	294	2.6		
SUM	998	1791	3390	2935	1470	495	145	19	1	11244		7.14	3.36
%	8.9	15.9	30.1	26.1	13.1	4.5	1.3	0.2	0.0				

*Det relativt høye tall med 0 i registrert vindhastighet skyldes vesentlig en periode med nediset vindmåler.

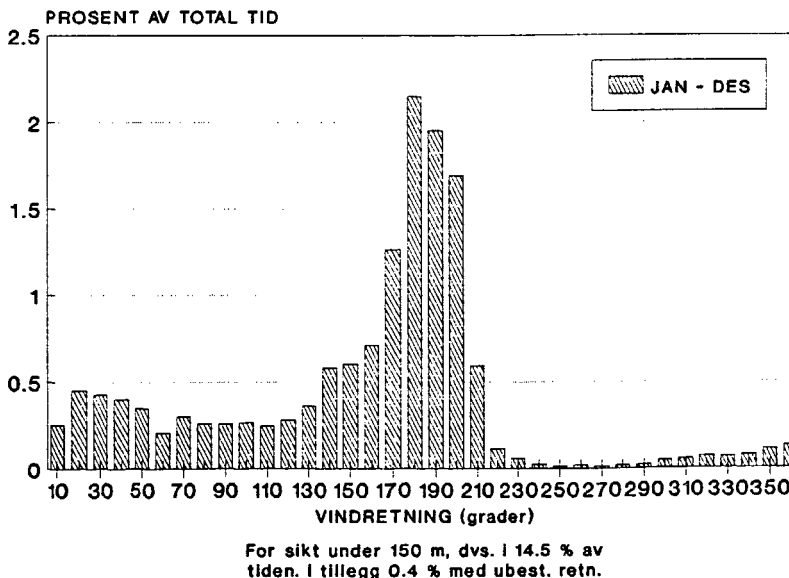
3.3. SIKT OG VIND I KOMBINASJON

Vindretningsfordelingen i 1989 på Stikkvannskollen er vist i figur 3.6, først for vindhastigheter over 5 m/s uansett sikt, dernest for alle vindhastigheter ved sikt under 150 m. Figuren viser at fremherskende vindretninger på Stikkvannskollen er 180-210° (se kommentar i forhold til Nilsåsen i Appendiks E2). Tåkesituasjonene kommer med vind fra sektor 010-210°, med et klart maksimum fra 170-200°. I tabell 3.6 er presentert hyppighetsfordelingen av vindhastighet og vindretning ved sikt mellom 50 og 120 m for 1989.

VINDRETNINGSFORDELING Stikkvannskollen 1989



VINDRETNINGSFORDELING I TETT TAKE Stikkvannskollen 1989



Figur 3.6. Vindretningsfordelingen på Stikkvannskollen i 1989. Øverst : Vindhastighet over 5 m/s. Nederst : Sikt under 150 m.

Tabell 3.6. Antall observasjoner av vindhastighet på Stikkvannskollen i 1989 fordelt på vindretning ved sikt mellom 50 og 120 m. Totalt antall tilfelle (eksklusive dd=0) er 4995.

HURUM - STIKKVANNSKOLLEN 5.1. - 31.12.1989

Forutsetning : Meteorologisk instrumentsikt er i intervallet 50-120 m. Dette tilsvarer omtrent 200-550 m RVR i flyplassnivå (290 m).

Horisontalt : 10-min middelvindhastighet 30 m over bakken.

Vertikalt : 10-min middelvindretning 30 m over bakken.
Hver vindretning gjelder intervallet <dd-5.0,dd+4.9>

dd	0.10 -2.50	2.51 -5.00	5.01 -7.50	7.51 -10.00	10.01 -12.50	12.51 -15.00	15.01 -17.50	SUM
10	13	70	21	3				107
20	11	95	68	5				179
30	20	74	72	2				168
40	14	66	62	4				146
50	7	54	58					119
60	10	40	30					80
70	19	39	64	4				126
80	17	35	54	2				108
90	22	55	25	3				105
100	27	55	20	3				105
110	16	51	23	4				94
120	31	36	33	5				105
130	29	55	47	5	1			137
140	43	64	87	33	16	2		245
150	41	59	80	41	15	2		238
160	41	75	62	69	17	1		265
170	51	101	82	74	56	23	1	388
180	23	134	153	150	62	21	7	550
190	33	137	200	133	77	26	6	612
200	37	141	152	89	128	70	8	625
210	14	50	96	33	21	6	1	221
220	10	26	7	1	1			45
230	4	12						16
240	4	2						6
250	1	3						4
260	4	1						5
270	5							5
280		4						4
290	3	5						8
300	7	8						15
310	6	8	4					18
320	7	9	2					18
330	17	8						25
340	15	7						22
350	18	12		5				35
360	10	32	3	1				46
0								169

0 betyr antall tilfelle (169) med vindhastighet 0 i 30 m-nivå. Dette er ikke et uttrykk for et stort antall observasjoner av vindstille, men skyldes for det meste ising i kombinasjon med vind.

4. METEOROLOGISKE FORHOLD PÅ EN FREMTIDIG FLYPLASS I 290 METERS HØYDE

En kort måleperiode gir resultater som ikke nødvendigvis er representative for et lengre tidsrom. Dette må det korrigeres for. Observasjoner gjennom en lang tidsperiode fra nærliggende stasjoner er brukt til dette. Fordi siktforholdene spesielt er avhengig av høyden over havet, må det korrigeres for høydeforskjellen mellom værstasjonene på Hurum og flyplassnivået. Dernest må alle siktdata omregnes til rullebanesikt for at den værmessige tilgjengelighet skal kunne estimeres. Metodikken for disse beregningene skisseres her.

4.1. METEOROLOGISK SIKT (MOR)

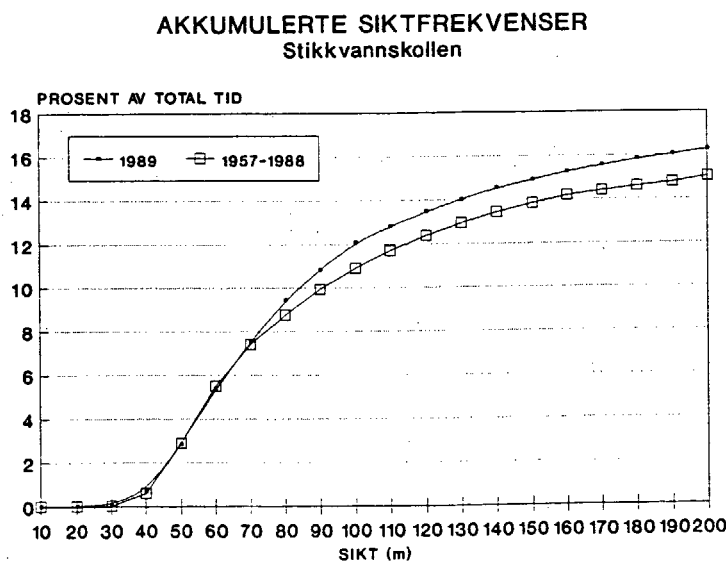
4.1.1. Normalisering av siktforholdene på Stikkvannskollen

Norsk Regnesentral har i (6) beskrevet metodikken for beregning av siktfrekvenser for tidsrommet 1957-1988. Arbeidet er basert på observasjoner fra værstasjonene Rygge, Fornebu og Tryvasshøgda. Det er benyttet en multippel regresjonsanalyse for å få frem gjennomsnittsforhold og usikkerhet i estimatene. Akkumulerte siktfrekvenser for Stikkvannskollen for 1989 ligger litt over verdiene for langtidsperioden 1957-1988 (for sikt over 70 m). Se figur 4.1. For sikt under 150 m er forskjellen 1.1 prosent-enheter, eller en relativ forskjell på 7-8 %. Dette er innenfor et konfidensintervall på 90 % .

Norsk Regnesentral skriver :

"Resultatene tilsier at 1989 har vært et temmelig typisk år når det gjelder siktforhold på Stikkvannskollen i perioden 1957-1989."

At det har vært til dels store forskjeller mellom enkelte måneder i 1989 og langtidsforhold for tilsvarende måneder, går frem av figurene 3.2-3.



Figur 4.1. Akkumulerte siktfrekvenser (%) på Stikkvannskollen for 1989 og langtidsperioden 1957-1988.

4.1.2. Omregning av siktfrekvenser til flyplassnivå

Det er dårlig sikt på Hurum når skydekket ligger lavt, dvs. skybasis ligger godt under flyplassnivå. Vi forutsetter at :

1. vanninnholdet i skyen øker lineært med høyden over skybasis (H),
2. dråpeantallet er konstant med høyden over skybasis,
3. sikten (V) er proporsjonal med dråperadius og omvendt proporsjonal med vanninnholdet.

Da kan det vises (se Appendiks D1) at sikten er en funksjon av høyden over havet (h) :

$$V(h) = B_k \cdot (h-H)^{-2/3} \quad \text{lign.4.1,}$$

der B_k er en konstant som bl.a. fanger opp adiabatisk vannøkning (her uttrykk for et maksimalt tilskudd av vann, bestemt av luftens temperatur) med høyden i fri atmosfære og intersepsjon (avsetning av dråper) på underlaget. Ved sammenligning av siktforholdene i to nivåer er B_k bare konstant hvis dråpeprofilen er i likevekt begge steder og ruheten i underlaget er den samme.

Værstasjonene Stikkvannskollen (350 m o.h.) og St.Hansberget (310 m o.h.) er begge plassert på høydedrag med fri eksponering i sektoren sørøst-sørvest. Vi antar derfor at forholdene er nokså like på de to steder, slik at formelen ovenfor kan benyttes. Ved å bruke siktobservasjoner fra disse stasjonene, kan B_k og H bestemmes. Med den korte observasjonsperioden vi hadde etter at St.Hansberget kom i drift, frem til 15.1.1990, har det bare vært mulig å bestemme B_k og H ved sikt under 80 m. Beregningen av sikt i 290 m-nivå når sikten er kjent i 350 m-nivå, er derfor mest nøyaktig for de laveste siktverdiene. Resultatet av disse beregninger er vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1. Sikt (MOR, m) beregnet i 290 meters nivå, med siktverdier fra 350 m-nivået.

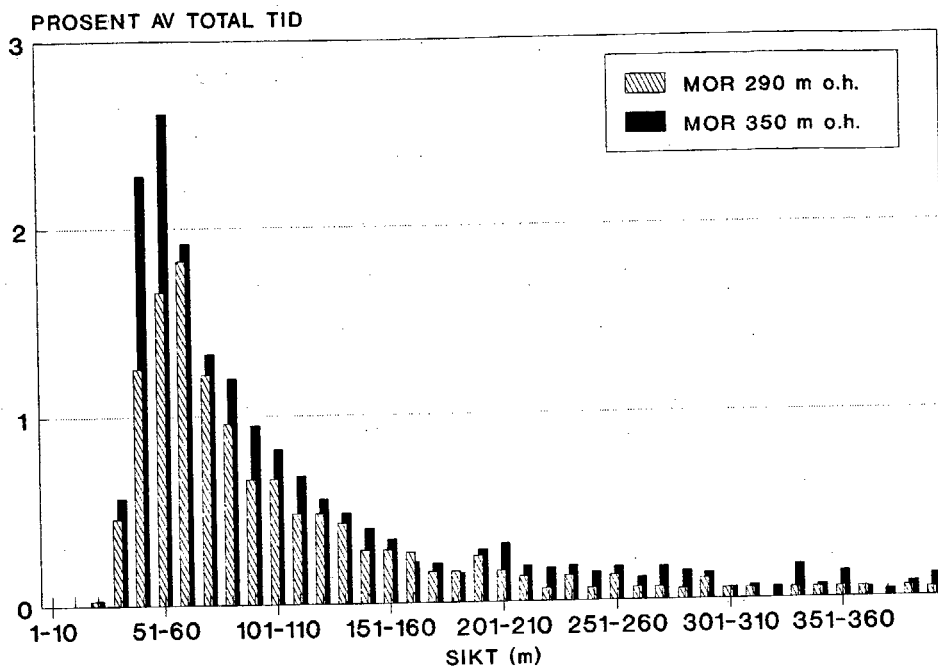
V(350 m o.h.)	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
V(290 m o.h.)	32	44	58	74	92	113	140	174	354	-

Av tabell 4.1 ser vi at siktforbedringen fra 350 til 290 meters nivå er forholdsvis beskjeden når sikten er lav, mens den er markant ved noe bedre sikt. Dette henger sammen med at sikten varierer raskt med høyden like over skybasis, men langsommere høyere opp. Ved dårlig sikt ligger begge høydenivåer høyt over skybasis. Beregninger på data frem til 31.3.1990 gir noe mindre forskjell mellom de to høydenivåene enn tabell 4.1 viser.

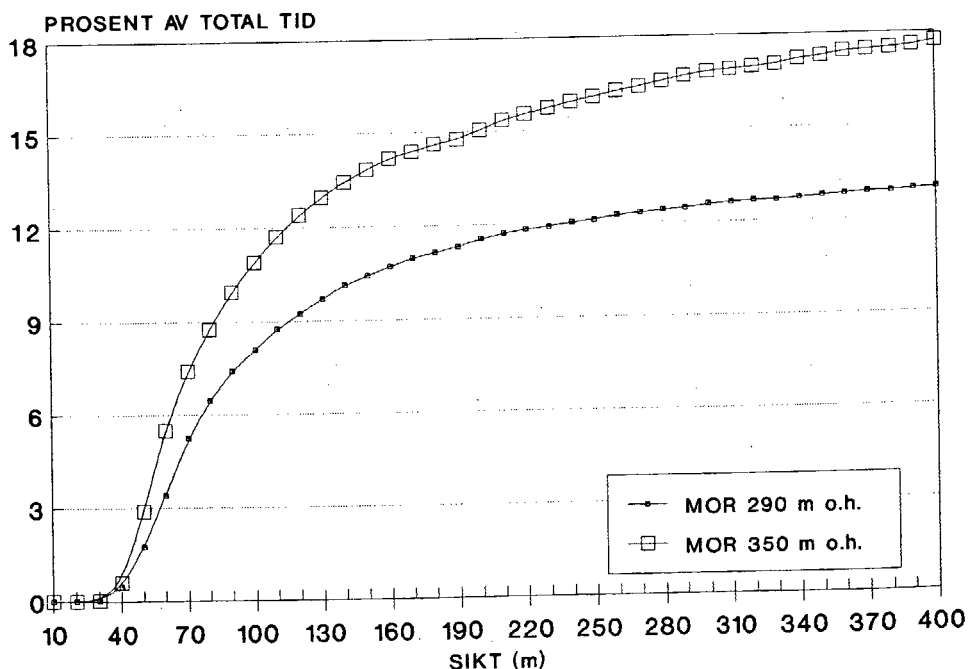
Vi kan nå høydekorrigere siktfordelingen fra Stikkvannskollen, MOR(350), over en langtidsperiode. Dette gjøres for året som helhet, for hver enkelt måned og fordelt over døgnet. Dette gir oss MOR-data fra 290 meters nivå, MOR(290), eksponert som på Stikkvannskollen.

Figur 4.2 viser resultatet av en slik omregning for et gjennomsnittssår. Man ser at det i tåke er hyppigst sikt mellom 51 og 60 m på Stikkvannskollen. I flyplassnivå er dette forskjøvet til 61-70 m.

SIKTFREKVENSER PÅ HURUM



AKKUMULERTE SIKTFREKVENSER PÅ HURUM



Figur 4.2. Øverst : Estimert frekvensfordeling av meteorologisk instrumentsikt (MOR) i flyplassnivå for langtidsperioden 1957-1988. Nederst : Akkumulerte siktfrekvenser (MOR) i flyplass-nivå for 1957-1988. Til sammenlikning er vist tilsvarende frekvenser i 350 m-nivå i begge figurer.

4.1.3. Horisontale variasjoner i siktforholdene på Hurum

Siktmålestasjonene på Stikkvannskollen og Nilsåsen ligger begge i samme høydenivå. Opprinnelig skulle disse to stasjonene registrere horisontale variasjoner i området. Stikkvannskollen skulle representere forholdene på vestre rullebane og Nilsåsen forholdene på østre rullebane (etter omregning fra målenivå til rullebanenivå).

Nå ble Nilsåsen ikke driftsklar før september/oktober 1989 pga. at avståelse av grunn og veirett i området kom opp som en prinsippsak mellom grunneiere og Luftfartsverket. Det har derfor ikke vært noen data å rapportere i tidligere rapporter.

På grunn av en misforståelse ble skogen rundt siktmåleren på Nilsåsen ikke hogget før målingene kom i gang, og hoggingen fant sted i to omganger. Dette førte paradoksalt nok til at vi fikk økt vår kunnskap om tåkeforhold i et vegetasjonsområde. Vi har nå samtidige målinger på Nilsåsen og Stikkvannskollen i tre perioder hvor det har vært ulik skogsdekning mot sektor 190-240°. Tabell 4.2 viser hvorledes sikten på Nilsåsen forverres etter hver som trærne i nærheten blir hogget. Ved 50 m sikt på Stikkvannskollen, var typisk sikt på Nilsåsen før 28. november, 65 m; etter nevnte dato har typisk sikt vært 54 m. Forklaringen på denne effekten finnes i Appendiks D2. En må bemerke at det forsatt er hogget mer skog rundt måleroppstillingen på Stikkvannskollen enn på Nilsåsen.

Vegetasjonen rundt måleroppstillingen har tydeligvis mye større innflytelse på måleresultatene enn horisontale variasjoner over plataet (se også Appendiks D2). Sammenligning mellom sikt-målinger fra St.Hansberget og Nilsåsen (se figur 3.4, kap.3.1) viser at denne effekten raskt kan komme til å utligne og endog overstige høydevariasjoner innenfor 50-60 meters høydeintervaller i området.

De lave siktverdiene målt samtidig på St.Hansberget, Nilsåsen og Stikkvannskollen bekrefter at tåken på Hurum har en horisontal skala på flere kilometer og dekker høydedragene over ca 200 m o.h. (typisk skybasis : 100-200 m). Bare nede i dalsøkk og skogsgater o.l. vil sikten bedres.

Vi vet at en flyplass er et planert og skogfritt område. Det vil derfor være naturlig å velge en målestasjon som er minst mulig påvirket av skogeffekter, slik at forholdene omkring stasjonen ligner mest mulig på forholdene på en fremtidig flyplass. Siden Stikkvannskollen er den stasjonen som kommer nærmest et slikt krav, og dertil har lengst måleserie, velger vi denne stasjonen som basisstasjon.

Vindprofil og ruhetsparameter, beregnet av vinddata fra målemasten på Stikkvannskollen (se Appendiks E2), er tilnærmet like de som kan forventes på en ferdig utbygd flyplass, med vind fra den mest tåkeførende sektor. Det kan således forventes at siktforholdene på en fremtidig flyplass på Hurum, vil ligge nær opp til de forhold som måles på Stikkvannskollen i dag.

Tabell 4.2. Vegetasjonens betydning for siktforholdene i tåke på Nilsåsen. Forholdstallet i siste kolonne er beregnet som forholdet mellom medianverdier på Nilsåsen (N) og Stikkvannskollen (S), fremkommet av et datautvalg der $MOR(N,S) < 350$ m.

PERIODE	SEKTOR	HOGST	MOR(N)/MOR(S)
8/9 - 22/9	190 - 240°	INGEN	1.34
18/10 - 27/11	"	NOE	1.27
29/11 - 31/1	"	MER	1.08

4.1.4. Effekter av varme- og fuktighetsutslipp

På en fremtidig flyplass slippes det ut store mengder varme og fuktighet fra bygninger, fly o.l. til omgivelsene. I tett tåke vil varmeutslipp alene gi en liten bedring i sikten, men som vist i Appendiks D3, vil denne kunne motvirkes av økt fuktighetsutslipp. Slike utslipp er vanskelig å kartlegge, det vil derfor ikke være mulig å gi et sikkert svar på om effekten vil gi positive eller negative utslag på siktforholdene. På grunn av de høye vindhastighetene ved tåke vil det imidlertid foregå en effektiv uttynning av utslippene og en rask utskifting av luftmassene. Det er derfor lite sannsynlig at man får noen merkbar endring av sikten.

4.2. RULLEBANESIKT (RVR)

4.2.1. Omregning fra MOR til RVR

Rullebanesikt (RVR) er som navnet sier, sikt langs en rullebane på en operativ flyplass, fra et fly som står på banens senterlinje.

RVR er først og fremst avhengig av tåketettheten. Jo tettere tåke, desto mindre RVR. Men RVR vil variere med den kontrastvirkning lyspunkter (eller andre kjennetegn langs rullebanen) har i forhold til bakgrunnsbelysningen. Det betyr i praksis at ved samme tåketetthet er RVR bedre om natten enn ved lys dag. RVR vil også øke med tiltagende styrke på rullebanelysene, men bare opp til en viss grense i tett tåke. Ved høyere lysstyrke vil kontrastvirkningen svekkes, dvs. "kontrastterskelen" heves (7, kap.6.6.7), og RVR avtar.

På Hurum blir det målt meteorologisk instrumentsikt (MOR). Denne kan regnes om til RVR når man kjenner rullebanelysenes styrke, bakgrunnsbelysningen og øyets belysningsterskel.

RVR beregnes ved bruk av Koschmieders og Allards lov :

$$\text{MOR} = B \cdot \ln(0.05) / \ln(T) \quad \text{lign.4.2}$$

og

$$E_t / I = T^{\text{RVR}/B} / \text{RVR}^2 \quad \text{lign.4.3,}$$

der B er basislengden mellom sender og mottaker for transmissometeret, T er transmittansen, E_t er øyets belysningsterskel i forhold til bakgrunnsbelysningen og I lysstyrken i rullebanelysene.

I formlene ovenfor er T (og dermed MOR) målt på Hurum. Denne settes så inn i Allards lov sammen med E_t -verdiene fra kapittel 4.2.2. Etter ICAO's anbefalinger er brukt en lysstyrke på senterlinjelysene på $I=7000$ candela.

4.2.2. Bakgrunnsbelysning i tåke på Hurum

I DNMI's måleprosjekt ble ikke værstasjonene utstyrt med belysningsmålere, og det er således ikke foretatt målinger av bakgrunnsbelysning på Hurum. Grunnen er at bakgrunnsbelysningen på en fremtidig flyplass ble antatt å være avhengig av rullebanebelysning og eventuelt andre lyskilder. Belysningsmålinger på Hurum ble derfor ikke ansett for representative for en fremtidig rullebane. DNMI vurderte ICAO's anbefalte verdier for bakgrunnslys i tåke som tilstrekkelig for beregning av rullebanesikten.

Det fremkom senhøstes 1989 synspunkter om at bakgrunnsbelysningen ikke påvirkes vesentlig av lyskildene på en operativ flyplass. Det ble videre hevdet at bakgrunnsbelysningen om dagen i adveksjonståke er svakere enn det som fremgår av ICAO's tall.

DNMI bestemte seg etter dette for å estimere bakgrunnslyset på Hurum ut fra strålingsdata og værdata fra nærliggende stasjoner.

Ved bruk av tabeller for extraterrestrisk stråling og målinger av globalstråling på Ås i overskyet vær med lavt skydekke (skybasis under 350-400 m o.h.) i hele Oslofjord-området, dvs. tåke (typisk sikt under 100 m) på Hurum, fant man at globalstrålingen i middel på Ås var redusert til 13 % av extraterrestrisk stråling. Ved å bruke midlere månedlige timeverdier av extraterrestrisk stråling og redusere med "tåke-faktoren" 0.13 og regne om til bakgrunnsbelysning, får vi figur C2, Appendiks C3.

Døgnet kan nå deles inn i soner etter bakgrunnsbelysningens styrke. Vi har ved våre beregninger valgt å dele døgnet inn i tre soner : natt, skumring og dag.

Belysningstersklene for natt og skumring er valgt i hht. ICAO's anbefalinger, mens vi har funnet belysningsterskelen for dag ut i fra middelet av den presenterte bakgrunnsbelysningen (2354 cd/m^2) i figur C2. Den tilhørende terskelverdi, $10^{-3.9\%}$ lux, er funnet av (8), se Appendiks C2, lign. C20. Dette er tilnærmet lik ICAO-verdien 10^{-4} . Benyttede terskelverdier for natt, skumring og dag er angitt nedenfor.

	bakgrunnsbelysning	belysningsterskel
natt:	4 - 50 cd/m^2	10^{-6} lux
skumring:	50 - 1000 cd/m^2	10^{-5} lux
dag:	1000 - 12000 cd/m^2	10^{-4} lux

4.2.3. Resultater av RVR-beregningene

RVR er en funksjon av MOR og en faktor $f(E_t)$:

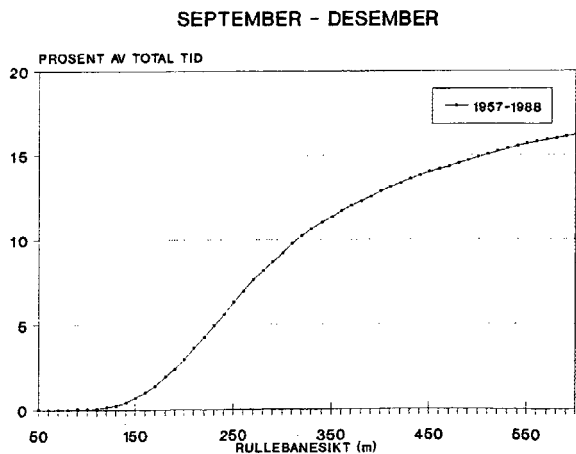
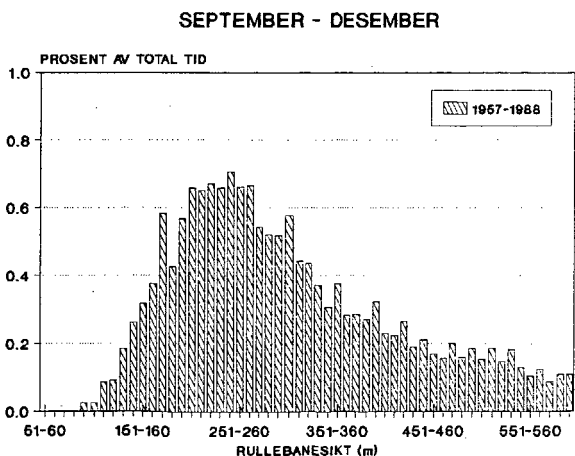
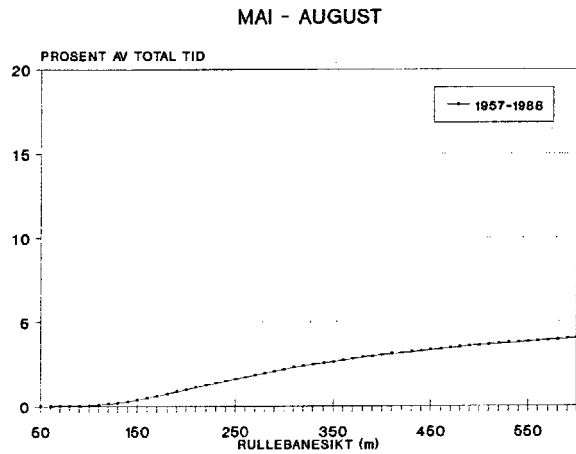
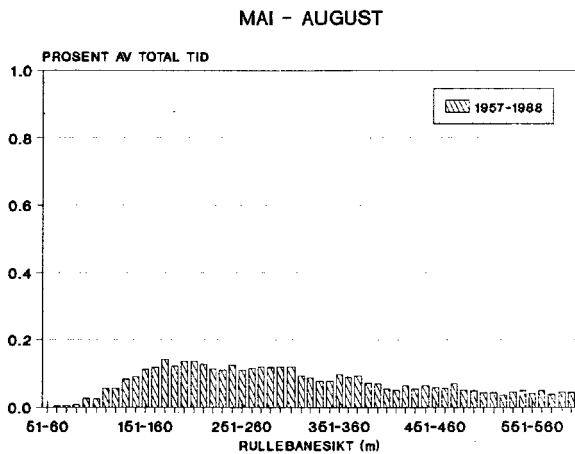
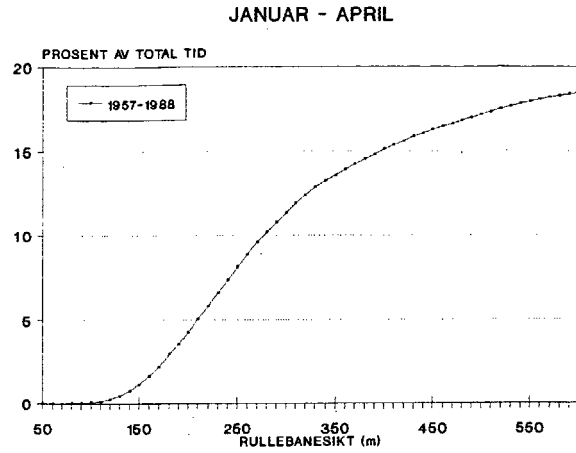
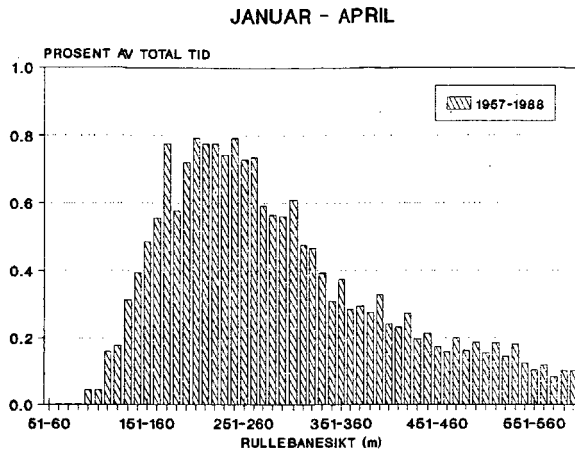
$$\text{RVR} = f(E_t) \cdot \text{MOR} \quad \text{lign.4.4}$$

$f(E_t)$ vil anta forskjellig verdi om natten, i skumring og om dagen for hver enkelt MOR-verdi. Med de verdier som valgt ovenfor varierer faktoren $f(E_t)$ mellom 4.32 (MOR=30 m om natten) og 1.75 (MOR=350 m om dagen).

Da Allards formel er tungvint å bruke i praksis (RVR må beregnes ved iterasjon), benyttes en approksimasjon (et algebraisk uttrykk, utviklet av RAE (8)). Se Appendiks C2, lign. C15, C18 og C19.

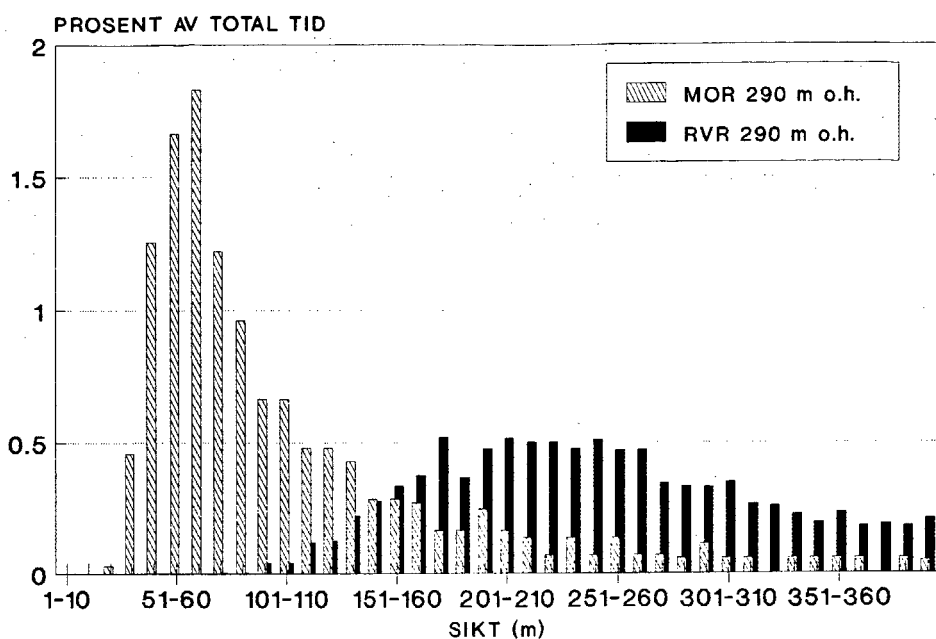
Ut i fra frekvensfordelingen for sikt (MOR i flyplassnivå, se kap.4.1.2) kan vi nå finne frekvenser for RVR innen de gitte grensene: 0-200 m, 200-350 m, 350-550 m og over 550 m.

Resultatet av disse beregningene er vist i figurene 4.3-4. Man ser at hyppigste rullebanesikt ligger mellom 170 og 270 m, når det er tåke. Forøvrig ser man igjen den store skiftningen i siktforholdene mellom vinter, sommer og høst.

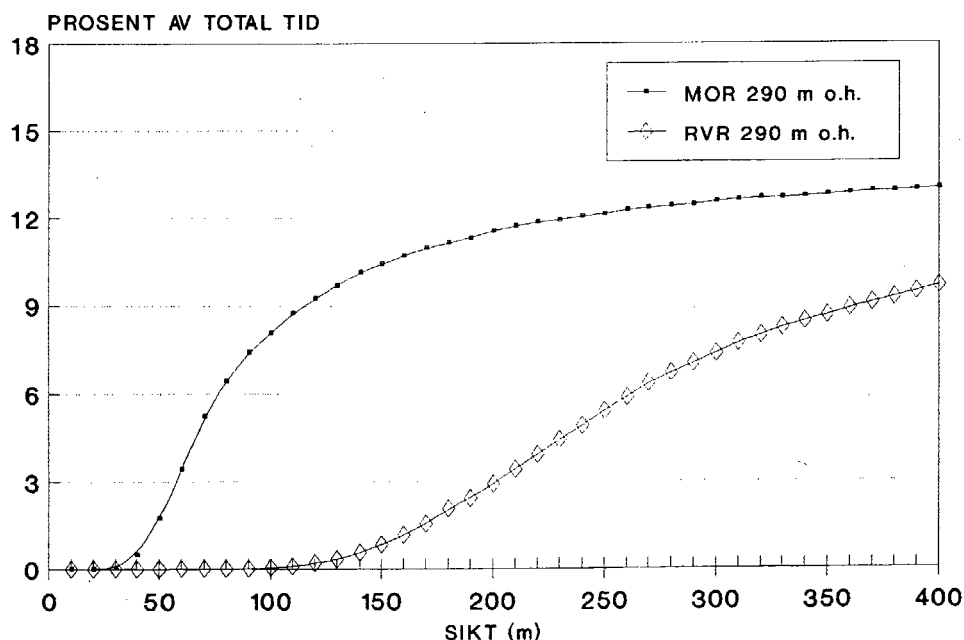


Figur 4.3. Venstre : Estimert frekvensfordeling av rullebanesikt (RVR) på Hurum, i grupper på 10 m, for januar-april, mai-august og september-desember 1957-1988. Høyre : Tilsvarende akkumulerte siktfrekvenser.

SIKTFREKVENSER 1957-1988 I FLYPLASSNIVA PÅ HURUM



AKKUMULERTE SIKTFREKVENSER 1957-1988 I FLYPLASSNIVA PÅ HURUM



Figur 4.4. Øverst : Estimert frekvensfordeling av rullebanesikt (RVR) på Hurum, i grupper på 10 m, i gjennomsnitt for året i tidsrommet 1957-1988. Nederst : Tilsvarende akkumulerte sikt-frekvenser. Til sammenlikning er vist frekvenser av MOR i flyplassnivå.

4.3. SIKT OG SIDEVIND

4.3.1. Vurdering av vindforhold på flyplassen

I Appendiks E1 har vi argumentert for at vindhastigheten i 10-meters nivå på nordre del av østre rullebane på en fremtidig flyplass er 0-15 % lavere enn den som i dag måles i 30-meters nivå på Stikkvannskollen. Denne forskjellen varierer med vindretningen.

Vindretningen på Stikkvannskollen er noe påvirket av tvungen føring ved vind omkring sørvest (se Appendiks E2). Ved vind i sektor 190-250° vil vindretningen på flyplassen være ca 10° forskjøvet mot vest i forhold til Stikkvannskollen, dvs. 200° på Stikkvannskollen blir 210° på flyplassen. Vindretninger utenfor ovennevnte sektor er derimot uforandret.

Forskjellene over må sies å være såvidt små at en presentasjon av vindstatistikk for Stikkvannskollen, 30-meters nivå kan sies å beskrive vindforholdene på den ferdige flyplass, så lenge det er snakk om rene oversiktsstatistikker.

4.3.2. Beregning av sidevindskomponenter ved redusert sikt

Ved beregning av sidevindskomponenter benyttes høyeste 2-minutters middelvind innenfor en 10-minutters periode (2 min. maks. vind), 10 m over rullebanenivået. For å transformere 10-minutters middelvind til en slik parameter, multipliseres middelvinden med en faktor på 1.1-1.2 (se Appendiks E1). Derved kan målingene av 10-minutters middelvind, 30-meters nivå på Stikkvannskollen, som er 0-15 % for høye i forhold til vinden på rullebanen, brukes direkte som et uttrykk for 2 min. maks. vind samme sted.

En naturlig metode å velge for beregning av frekvenser av sidevind kombinert med redusert sikt, er å foreta beregningene på data fra Stikkvannskollen for 1989 og deretter korrigere for :

1. Manglende data i måleperioden.
2. Avvik fra langtidsperioden 1957-1988.

Ved beregning av sidevindskomponenter i forbindelse med KAT II- og KAT IIIA-forhold, må man kjenne RVR i 290 m-nivå. Da denne ikke er kjent for hver eneste observasjon, men som en total frekvens for måneder og år, har vi brukt en tilnæringsmetode. De MOR-intervaller på Stikkvannskollen som gir samme frekvens av KAT II- og KAT IIIA-forhold i rullebanenivå, er brukt i beregningen av redusert sikt / sidevind for 1989.

Året 1989 adskiller seg ikke vesentlig fra et gjennomsnittsåår når det gjelder redusert sikt (KAT II- og KAT IIIA-forhold). Korreksjonen i frekvensen av redusert sikt/sidevind pga. siktavvik i forhold til langtidsperioden, blir derfor liten. I tillegg har vi regnet med en mindre korreksjon for avvik fra gjennomsnittlige vindforhold.

Resultatet av beregningene av rullebanesikt fra og med 200 m til 550 m, samtidig med vind med sidevindskomponent over 5 m/s, er vist i tabell 4.3.

Tabell 4.3. Effekt av dreining av rullebaneretning ved KAT II- og KAT IIIA-forhold, med bruk av vinddata fra Stikkvannskollen. Frekvensene gjelder langtidsperioden 1957-1988.

200 m \leq RVR < 550 m + SIDEVINDSKOMPONENT > 5 m/s	
RULLEBANERETNING	FREKVENS
150/330°	1.6 %
160/340°	1.1 %
170/350°	0.8 %
180/360°	0.5 %
190/010°	0.6 %
200/020°	0.8 %

Tabell 4.3 viser at det er minst hyppighet av sidevind ved rullebaneretning 180/360°, når vinddata fra Stikkvannskollen brukes i beregningene. Ved vind i sektoren 190-250° er imidlertid vindretningen på Nilsåsen dreid ca 10° mot vest (se Appendiks E2). Man vil derfor anta at en rullebaneretning på mellom 180/360° og 190/010° gir minst hyppighet av sidevind. Men som tabellen viser, vil det uansett baneretning være en frekvens på minst 0.5 % av KAT II- og KAT IIIA-forhold, samtidig med sidevind over 5 m/s.

Vedrørende rullebaneretning på Hurum, har følgende retninger vært nevnt for DNMI : 153/333°, 163/343° og 169/349°. På grunn av tidsnød i januar 1990, ble det ikke tid til å foreta mer enn en sidevindsberegning. Rullebaneretning 160/340° ble da valgt. Det er denne beregningen som inngår i tabellene utover i rapporten.

4.4. VINTERFORHOLD

I tidsrommet oktober - april (helt unntaksvis utenom denne tiden) må det i perioder foretas snørydding for å holde flyplassen åpen for operativ drift.

I forbindelse med nedbør omkring 0 °C og tåke ved kuldegrader vil man periodevis få glatte rullebaner. Under slike forhold vil det i en del av tiden forekomme vind over 5 m/s.

For å beregne vinterforholdene på Hurum (290 m-nivå), er det hovedsaklig brukt generelle værddata fra Rygge og nedbørdata fra en rekke stasjoner i Oslofjord-området. Temperaturen i flyplassområdet, ved overskyet vær og vind, er estimert til 1.5 °C lavere enn temperaturen på Rygge. Tåke uten nedbør på Hurum er estimert ut fra skyhøydedata og nedbørdata. Alle tallene i dette kapitlet gjelder tidsrommet 1957-1989.

4.4.1. Snøfall

Flyplassen på Hurum har en beregnet gjennomsnittlig årsnedbør på 975 mm. Beregningene viser at 250 mm vil falle som snø.

Snønedbøren vil i gjennomsnitt fordele seg på ca 80 forskjellige døgn i vinterhalvåret. Det vil falle snø i ca en tredjedel av tiden innenfor disse 80 døgn. Snønedbøren (inkludert yr og regn som fryser på bakken) fordeler seg slik på de enkelte måneder :

Tabell 4.4

viser i hvor stor del av tiden i gjennomsnitt pr. år man har hatt nedbør ved temperatur under +1 °C på Hurum (kolonne 1). I kolonne 1 er inkludert nedbør omkring 0 °C (kolonne 2) og yr eller regn som fryser på bakken (kolonne 3). Kolonne 3 har ikke data felles med kolonne 2.

HURUM						
1957- 1989	SNØFALL TOTALT T ≤ +1 °C		SNØFALL -1°C ≤ T ≤ 1°C		YR/REGN FRYSER T < 0 °C	
	%	TIMER	%	TIMER	%	TIMER
JAN	20.7	154	3.4	25	1.2	9
FEB	17.3	116	2.8	19	0.7	5
MAR	14.9	111	4.8	36	0.5	4
APR	5.6	40	3.4	24		
MAI	0.3	2	0.3	2		
JUN						
JUL						
AUG						
SEP						
OKT	1.4	10	1.1	8	0.0	0
NOV	10.0	72	4.5	33	0.4	3
DES	15.7	117	3.3	25	0.6	4
ÅR	7.1	622	2.0	172	0.3	25

Tabell 4.5

viser antall døgn med snønedbør med en gitt intensitet pr. døgn. En nedbørmengde på over 25 mm pr. døgn som snø kan forventes 1 gang pr. år.

HURUM				
MIDLERE ANTALL DØGN PR. ÅR MED SNØNEDBØR ≥				
1957-1989	2.5 mm/ 24 t	5.0 mm/ 24 t	7.5 mm/ 24 t	10.0 mm/ 24 t
JAN	6.9	4.6	3.1	2.0
FEB	5.2	3.2	2.0	1.4
MAR	5.8	4.1	2.7	1.7
APR	2.6	1.9	1.2	0.9
MAI	0.1	0.0	0.0	
JUN				
JUL				
AUG				
SEP				
OKT	0.8	0.6	0.5	0.4
NOV	4.4	3.2	2.4	1.9
DES	6.3	4.2	3.0	2.3
ÅR	32.1	21.8	14.9	10.6

4.4.2. Ising

I adveksjonståke ved kuldegrader vil man få ising på alle vertikale strukturer og på underlaget. Spesielt vil all instrumentering utendørs være utsatt, som f.eks. vindmålere, antenner og andre faste installasjoner.

Tabell 4.6

viser hyppigheten av tåke (sikt under 300 m) ved temperatur under 0 °C, uten nedbør. Typisk sikt i slik tåke er 50-80 m.

HURUM										
TÅKE VED KULDEGRADER										
1957-1989	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	SEP	OKT	NOV	DES	ÅR
FREKVENS (%)	5.3	6.8	3.6	1.1		0.2	2.8	4.6		2.0
TIMER	40	45	27	8		2	20	34		176

4.4.3. Glatte rullebaner

Glatte rullebaner vil kunne forekomme under pågående nedbør, men også etter nedbørens opphør.

Med glatte rullebaner menes i denne sammenheng rullebaner, der målt friksjonskoeffisient er 0.30 eller lavere :

1. rullebaner som utsettes for yr eller regn som fryser på bakken,
2. rullebaner som utsettes for snøfall ved lufttemperatur omkring 0 °C,
3. rullebaner som utsettes for avsetning av underkjølte skydråper,
4. rullebaner som utsettes for kombinasjoner av temperatur- og fuktighetsforhold, slik at friksjonskoeffisienten underskrider 0.30.

Hyppigheten av nedbørforhold som kan gi glatte rullebaner, antas å være av samme størrelsesorden på Hurum som på andre flyplasser i Østlandsområdet. Det spesielle med Hurum er imidlertid at slik nedbør har en større intensitet der og at snøfall omkring 0 °C kan forekomme med relativt sterk sidevind (i forhold til 160°). Gjennomsnittlig snønedbør pr. år for hhv. Hurum (290 m o.h.), Gardermoen, Rygge og Fornebu er 250, 240, 147 og 124 mm.

Hyppigheten av tett tåke ved kuldegrader er høyere på Hurum enn på andre flyplasser i Østlandsområdet. Vanninnholdet i adveksjonståke er større enn i strålingståke og vinden fører til at stadig nye skydråper vil avsettes på underlaget. Dette vil kunne medføre glattere rullebaner enn det man er kjent med fra Østlandet forøvrig. Også slike forhold kan forekomme med relativt sterk sidevind på Hurum, i motsetning til de øvrige flyplassene på Østlandet, der strålingståke er dominerende tåketype.

Hvor lang tid man har glatte rullebaner er avhengig av hvilke midler man har til rådighet for preparering av rullebanene. En del av vær-situasjonene som kan gi glatte rullebaner, forekommer også ved sikt- og vindforhold som er dårligere enn det Kategori IIIA-operasjoner tillater.

4.5. VÆRMESSIG TILGJENGELIGHET

Meteorologisk instrumentsikt for nivå 290 m er omregnet til rullebanesikt i kapittel 4.2. For flyoperative vurderinger må resultatene presenteres i forhold til Kategori I-, II- og IIIA-operasjoner.

4.5.1. Rullebanesikt (RVR)

≥ KAT I	:	RVR ≥ 550 m
KAT II	:	350 m ≤ RVR < 550 m
KAT IIIA	:	200 m ≤ RVR < 350 m
< KAT IIIA	:	RVR < 200 m

Tabell 4.7

viser i hvor stor del av tiden det har vært Kategori I-, Kategori II- og Kategori IIIA-forhold på Hurum, og hvor lang tid forholdene har vært for dårlige for Kategori IIIA-operasjoner, når man ser bort fra eventuell sidevind.

Frekvensene av de forskjellige kategoriene ovenfor er gitt som prosent av 4-måneders periodene januar-april (vinter), mai-august (sommer) og september-desember (høst), og av året som helhet, i gjennomsnitt for tidsrommet 1957-1989. Døgnet er delt i tidsrommene 07-23 (vanlig trafikkperiode) og 23-07 (lav trafikkperiode).

HURUM				
FREKVENSER (%) AV RULLEBANESIKT				
1957-1989	≥ KAT I	KAT II	KAT IIIA	< KAT IIIA
J - A	83.6	3.6	8.3	4.5
07-23	84.1	3.1	7.4	5.4
23-07	82.2	4.7	10.3	2.8
M - A	96.7	0.9	1.4	1.0
07-23	97.3	0.7	1.0	1.0
23-07	95.3	1.5	2.1	1.1
S - D	85.7	3.6	7.5	3.2
07-23	86.4	3.1	6.9	3.6
23-07	84.4	4.5	8.8	2.3
ÅR	88.6	2.7	5.8	2.9
07-23	89.3	2.3	5.1	3.3
23-07	87.2	3.6	7.1	2.1

På neste side er vist tilsvarende tabell for hver måned.

Tabell 4.8.
Tilsvarende tabell 4.7 på månedsbasis.

HURUM						
FREKVENSER (%) AV RULLEBANESIKT						
1957-1989	≥ KAT I	KAT II		KAT IIIA		< KAT IIIA
JAN	80.0	4.9		11.1		4.0
07-23	80.9		4.4		10.3	4.4
23-07	77.9		5.9		12.9	3.3
FEB	81.5	4.2		9.4		4.9
07-23	82.3		3.5		8.4	5.8
23-07	80.1		5.4		11.5	3.0
MAR	83.5	3.3		7.9		5.3
07-23	83.9		2.7		6.7	6.7
23-07	82.3		4.6		10.4	2.7
APR	89.2	2.1		4.9		3.8
07-23	89.5		1.7		4.2	4.6
23-07	88.5		3.0		6.3	2.2
MAI	95.5	1.2		1.8		1.5
07-23	96.5		0.8		1.3	1.4
23-07	93.7		1.9		2.8	1.6
JUN	97.2	0.8		1.1		0.9
07-23	97.7		0.6		0.9	0.8
23-07	96.1		1.2		1.7	1.0
JUL	96.9	0.9		1.3		0.9
07-23	97.6		0.6		0.9	0.9
23-07	95.8		1.3		1.9	1.0
AUG	97.0	0.9		1.3		0.8
07-23	97.5		0.7		1.0	0.8
23-07	95.8		1.4		2.1	0.7
SEP	92.2	1.9		3.7		2.2
07-23	92.2		1.6		3.4	2.8
23-07	91.8		2.6		4.4	1.2
OKT	85.6	3.5		7.1		3.8
07-23	86.2		2.9		6.3	4.6
23-07	84.7		4.6		8.6	2.1
NOV	82.3	4.5		9.7		3.5
07-23	83.3		4.0		8.9	3.8
23-07	80.6		5.4		11.1	2.9
DES	82.7	4.4		9.7		3.2
07-23	83.6		4.0		9.0	3.4
23-07	80.8		5.2		11.1	2.9

4.5.2. Rullebanesikt og sidevind i forhold til 160°/340°.

De forskjellige kategorier av flyforhold er definert ut fra rullebanesikt alene. I tillegg til sikt kan sidevind redusere den værmessige tilgjengelighet. Det har fra en flyoperativ synsvinkel vært interesse for å studere følgende alternativer :

≥ KAT I	+ vindkrav :	RVR ≥ 550 m	&	s.V ≤ 16 m/s
KAT II	+ vindkrav :	350 m ≤ RVR < 550 m	&	s.V ≤ 5 m/s
KAT III	+ vindkrav :	200 m ≤ RVR < 350 m	&	s.V ≤ 5 m/s
< KAT IIIA	/ vindkrav :	RVR < 200 m		
		+ 200 m ≤ RVR < 550 m	&	s.V > 5 m/s
		+ RVR ≥ 550 m	&	s.V > 16 m/s,

der s.V er sidevind normalt på rullebanen.

For beregning av sidevindskomponenter er brukt det høyeste 2-minutters middelet innenfor en 10-minutters periode (2-minutters gustfaktor). Momentanvinden overskrider denne verdi i gjennomsnitt hvert 5. sekund.

Tabell 4.9

viser i hvor stor del av tiden det har vært Kategori I-, Kategori II- og Kategori IIIA-forhold, når man har tatt hensyn til at akseptabel sidevindskomponent (i forhold til 160°) er begrenset oppad til 5 m/s for RVR under 550 m. Kolonnen til høyre viser i hvor stor del av tiden forholdene er dårligere enn Kategori IIIA eller når sidevind og redusert sikt i kombinasjon ikke er akseptabel.

Frekvensene av de forskjellige kategoriene ovenfor er gitt som prosenter av 4-måneders periodene januar-april, mai-august og september-desember, og av året som helhet, i gjennomsnitt for tidsrommet 1957-1989. Døgnet er delt i tidsrommene 07-23 (vanlig trafikkperiode) og 23-07 (lav trafikkperiode).

HURUM				
FREKVENSER (%) AV RULLEBANESIKT OG SIDEVIND > 5 m/s				
1957-1989	≥ KAT I + vindkrav	KAT II + vindkrav	KAT IIIA + vindkrav	< KAT IIIA / vindkrav
J - A	83.6	3.0	7.1	6.3
07-23	84.1	2.6	6.4	6.9
23-07	82.2	3.6	9.1	5.1
M - A	96.7	0.8	1.3	1.2
07-23	97.3	0.6	0.9	1.2
23-07	95.3	1.4	1.9	1.4
S - D	85.7	3.0	6.8	4.5
07-23	86.4	2.5	6.4	4.7
23-07	84.4	3.7	8.0	3.9
ÅR	88.6	2.3	5.1	4.0
07-23	89.3	1.9	4.6	4.2
23-07	87.2	2.9	6.4	3.5

Ved Kategori I-forhold vil det i en del av tiden være rullebanesikt ned mot 550 m. Da vil skybasis ligge under 290 m-nivå. Det kan også ligge skyer med skybasis mindre enn 60 m over flyplassnivå, slik at beslutningshøyden fortsatt ligger i skyer. Den totale frekvens av slike forhold som her er nevnt, er av størrelsesorden 8 % høst og vinter, 4 % om sommeren, dvs. et årsmiddel på ca 7 % . I 1.5 % av tiden på årsbasis kan en regne med sidevind over 5 m/s under slike forhold.

Tabell 4.10

viser i hvor stor del av tiden det har vært Kategori I-, Kategori II- og Kategori IIIA-forhold, når man har tatt hensyn til at akseptabel sidevindskomponent (i forhold til 160°) er begrenset oppad til 7.5 m/s for RVR under 550 m. Kolonnen til høyre viser i hvor stor del av tiden forholdene er dårligere enn Kategori IIIA eller når sidevind og redusert sikt i kombinasjon ikke er akseptabel.

Frekvensene av de forskjellige kategoriene ovenfor er gitt som prosenter av 4-måneders periodene januar-april, mai-august og september-desember, og av året som helhet, i gjennomsnitt for tidsrommet 1957-1989.

HURUM				
FREKVENSER (%) AV RULLEBANESIKT OG SIDEVIND > 7.5 m/s				
1957-1989	≥ KAT I + vindkrav	KAT II + vindkrav	KAT IIIA + vindkrav	< KAT IIIA / vindkrav
J - A	83.6	3.5	7.9	5.0
M - A	96.7	0.8	1.4	1.1
S - D	85.7	3.5	7.3	3.5
ÅR	88.6	2.6	5.6	3.2

4.5.3. Sterk vind og turbulens

Sterk sidevind.

I 1989 har det vært registrert middelvind opp til 20 m/s og vindkast på 29 m/s. Det er imidlertid svært sjelden at middelvinden går over 16 m/s (antall 10-minutters perioder : 0.1 %). Maksimale vindkast derimot overstiger 16 m/s relativt ofte (antall 10-minutters perioder : 3 %). Hovedtyngden av observasjoner med sterk vind ligger i sektoren 170-210°. Med disse vindretninger vil det sjelden forekomme sidevindhastigheter over 16 m/s.

Turbulens.

Turbulens (vinduro) vil forekomme på Hurum på forskjellig skala. Nærliggende koller eller høydedrag som luften strømmer over, inn mot flyplassområdet, vil gi opphav til turbulens, likeledes terminalbygg, hangarer og andre bygninger. Lokalt kan flyplassens avgrensning (skråninger, skjæringer, fyllinger) mot terrenget omkring forårsake turbulens, som transporteres med vinden over flyplassen. Jo mer uryddig avgrensningene er, desto større er sjansen for vinduro. En fornuftig plassering av bygninger i forhold til rullebanene og en gunstig helning på fyllingene, kan redusere turbulensen.

Turbulensens omfang kan bare avdekkes gjennom modellforsøk. Det er gjort forsøk med en stilisert modell i vindtunnelen på NTH, med vind langs rullebanene. Forsøkene viser at det vil dannes virvler på utsiden av banekantene under slike forhold, mens det bare blir mindre turbulens over flyplassen og rullebaneendene (9). Det er imidlertid ikke gjort forsøk på NTH med vind skrått inn mot rullebanene, noe som er en aktuell problemstilling på Hurum. For å få avklart hvordan terrenget innvirker på turbulensforholdene, må det gjøres forsøk i en terrengmodell, med hensiktsmessig skala, med fremherskende vindretninger. Forskjellige helningsvinkler på fyllingene bør legges inn i modellen, sammen med mest mulig realistiske bygningsplasseringer.

5. KONKLUSJON

Stikkvannskollen (350 m o.h.) er den av værstasjonene på Hurum som har de mest representative data for siktforholdene på en fremtidig flyplass i 290 m-nivået.

Forskjellen i sikt mellom værstasjonene på Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget er små for de viktigste tåkeførende vindretninger. Ved lav sikt har vegetasjonen rundt måleroppstillingene større innflytelse enn den forskjell som skyldes ulik høyde over havet (40 m).

Beregninger viser at man i gjennomsnitt over en lang tidsperiode kan forvente rullebanesikt under 200 m (dvs. under KAT IIIA-forhold) i 2.9 % av tiden på årsbasis. Det vil imidlertid være store variasjoner gjennom året : Under 1% om sommeren, 3-4 % om høsten og 4-5 % om vinteren. Ved rullebanesikt mellom 200 og 550 m (dvs. KAT II- og KAT IIIA-forhold), kan det forventes en sidevindskomponent over 5 m/s, med rullebaneretning 160/340°, i 1.1 % av tiden på årsbasis. KAT IIIA-og KAT II-forhold forventes i hhv. 5.8 og 2.7 % av tiden på årsbasis. Her kan sidevind over 5 m/s redusere frekvensene til hhv. 5.1 og 2.3 % . Ved å dreie rullebanen til retning 180/360°-190/010°, kan hyppigheten av sidevind over 5 m/s reduseres med 0.6 prosent-enheter.

De beregnede verdier er beheftet med usikkerheter. Det er indikasjoner på at forekomsten av lave siktverdier er litt større enn tallene viser.

Dataene fra stasjonene gir ikke grunnlag for å si noe om sikt-forskjellen mellom rullebanene på en ferdig utbygd flyplass, men regneeksempler basert på fysiske betraktninger, indikerer at slike forskjeller neppe er særlig store.

Hyppigheten av nedbørforhold som kan gi glatte rullebaner antas å være av samme størrelsesorden på Hurum som på andre flyplasser i Østlandsområdet. Hyppigheten av tett tåke ved kuldegrader er imidlertid høyere på Hurum (årgjennomsnitt 2 %). Under slike forhold vil det kunne bli glattere rullebaner enn det man er kjent med fra Østlandet forøvrig i strålingståkesituasjoner.

6. REFERANSER

1. Stortingsproposisjon nr.1. Tillegg nr.1.
6.oktober 1989.
2. Vebjørn Hoem og Petter Dannevig :
Tåkeforholdene på norske flyplasser.
Det norske meteorologiske institutt.
Technical Report No.57
Oslo 1982
3. Lars Andresen og Knut Harstveit :
Stikkvatnet på Hurum. Vurdering av siktmålinger.
DNMI-rapport 2/88 KLIMA
19.januar 1988
4. Lars Andresen og Knut Harstveit :
Meteorologisk måleprosjekt på Hurum. Kartlegging
av værforhold i flyplass-området.
DNMI-rapport 22/88 KLIMA
4.oktober 1988
5. Lars Andresen og Knut Harstveit :
Hurum-prosjektet. Meteorologiske observasjoner
pr. 31.august 1989.
DNMI-rapport 27/89 KLIMA
14.september 1989
6. Magne Aldrin og Erik Bølviken :
Siktforhold på Stikkvannskollen, Hurum.
Norsk Regnesentral STAT/01/90
Januar 1990
7. Manual of Runway Visual Range.
Observing and Reporting Practices.
ICAO Doc. 9328-AN/908
1981
8. W.D.Brown :
Notes on a meeting at CAA house.
National Air Traffic Services,
Directorate of Engineering,
Navigation 3d
6.desember 1989
9. Torfinn Losnedahl og Per-Åge Krogstad :
Vindtunnelundersøkelse av rullebaneende.
Vind langs rullebanen.
SINTEF-rapport STF67 F89015
30.juni 1989
10. Teknisk manual for målestasjonene på Hurum.
EDAS målesystemer Eidsvoll
Februar 1989
11. W. E. Knowles Middleton :
Vision through the atmosphere.
University of Toronto Press
1952

12. Yngvar Gjessing, Arvid Skartveit, Kåre Utaaker :
Vurdering av sikt- og vindforhold på Hurumåsen.
Meteorological report series
Universitetet i Bergen
Rapport nr.1-1990

13. Per-Åge Krogstad, Lars Roar Sætran
og Øivind Jacobsen :
Vindtunnelundersøkelse av Hurum flyplass.
Luftfartsverkets alternativ.
Vind fra syd og sydvest.
SINTEF-rapport STF67 F89010
21.4.1989

14. Torfinn Losnedahl og Per-Åge Krogstad :
Vindtunnelundersøkelse av Hurum flyplass.
Luftfartsverkets alternativ. Vind fra vest.
SINTEF-rapport STF67 F 8012
8.5.1989

APPENDIKS

Appendiks A - E gir en mer utførlig beskrivelse av data-innsamling, måling av sikt og bearbeidelse av sikt og vinddata. Den anvendte metodikk for omregning fra meteorologisk sikt i 350 meter nivå til rullebanesikt i 290 meter nivå er beskrevet.

Appendiksdelen vil kreve en del forkunnskaper av leseren. Lesere med bakgrunn i matematikk og feilteori vil kunne ha utbytte av Appendiks C1 og C2, mens også meteorologisk kompetanse forutsettes i Appendiks C3, D og E.

9

2

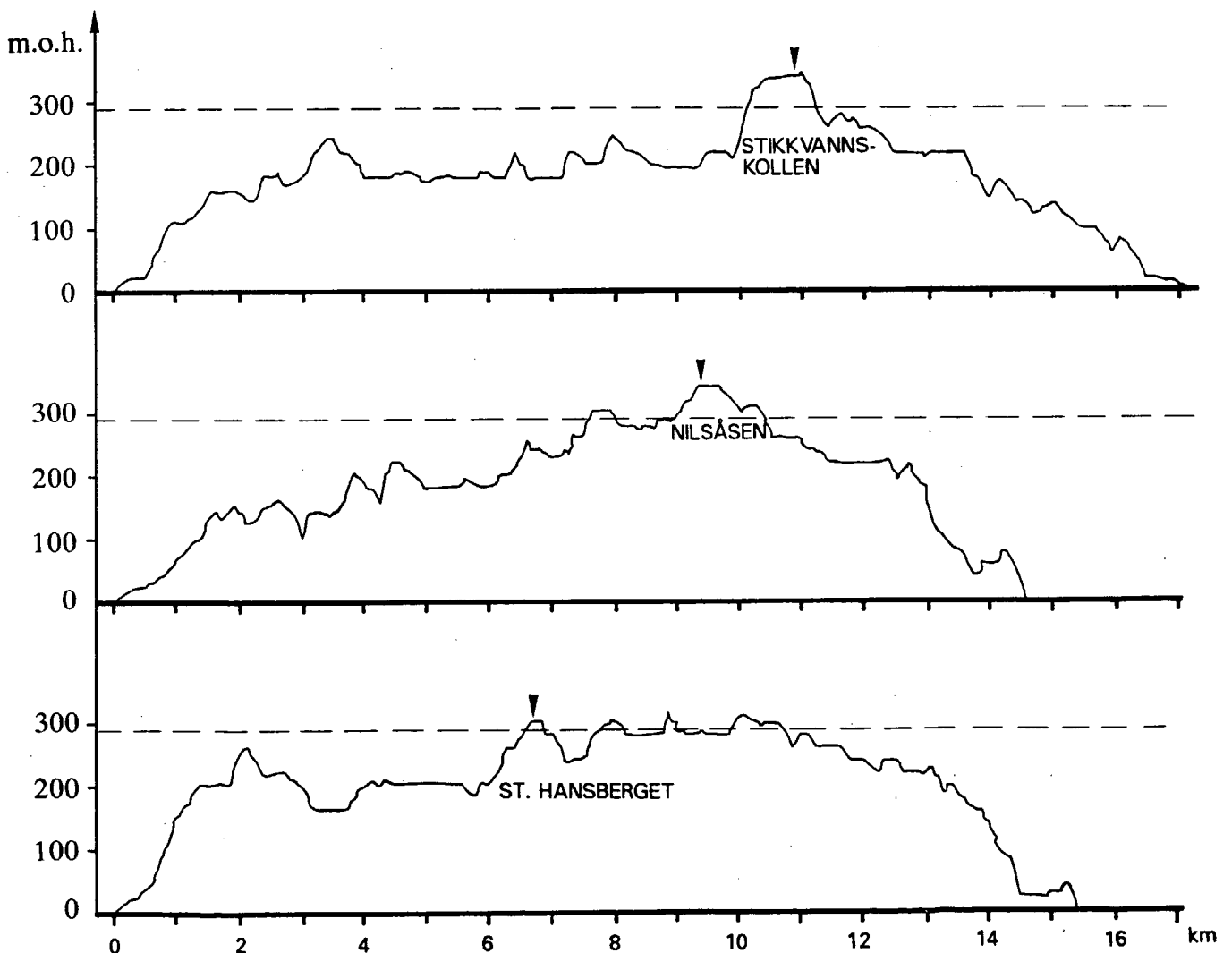
4

APPENDIKS A. TERRENGSNITT PÅ HURUM

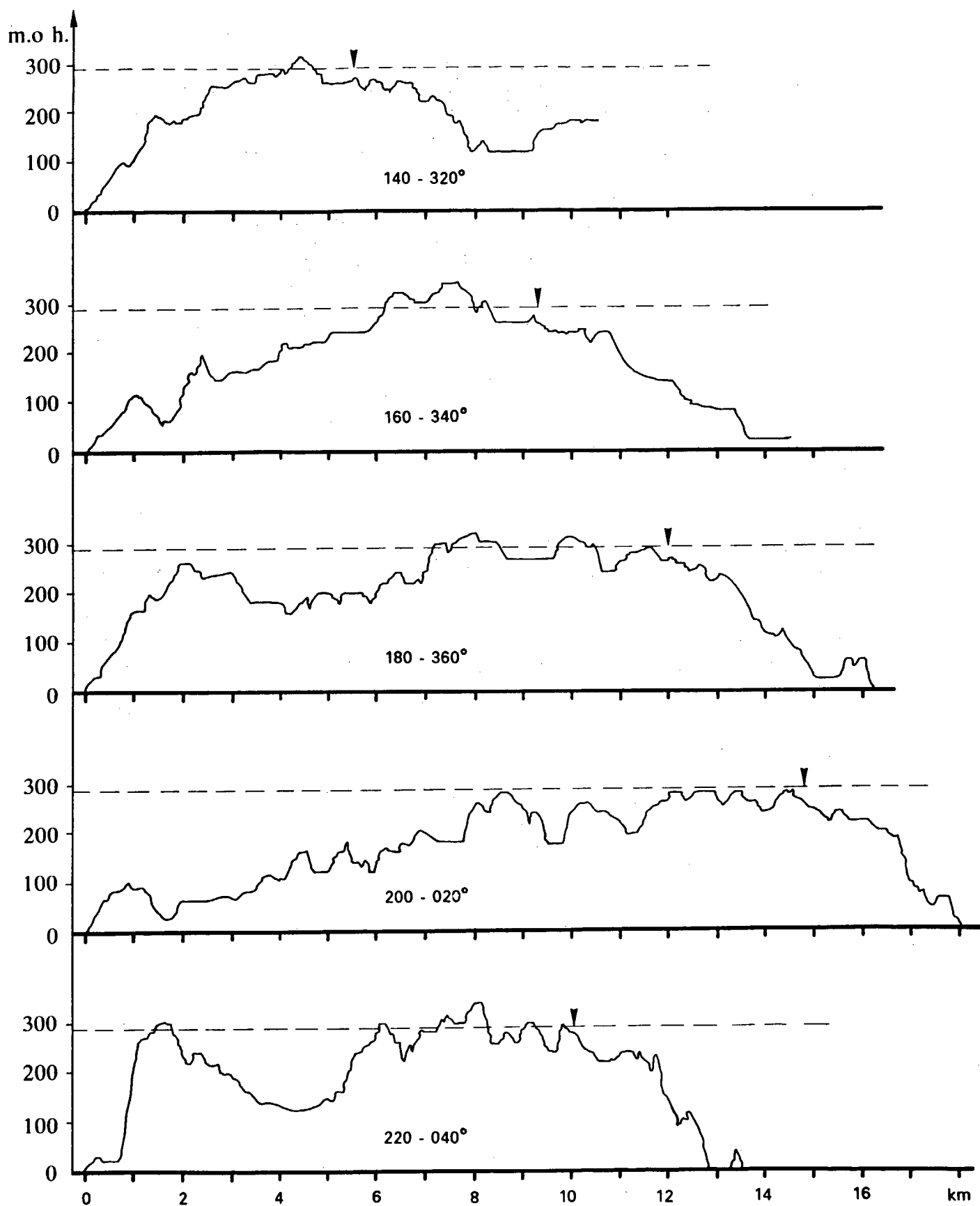
Et vertikalt snitt i lengderetningen 200-020° gjennom værstasjonene Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget vises i figur A1. Flyplassnivået, 290 m o.h., er vist med stiplet strek. Figuren viser at sentrale deler av Hurumlandet består av et sammenhengende høydedrag på ca 200 - 350 m o.h.

Figur A2 viser snitt gjennom det nordlige landingsområdet på østre rullebane fra forskjellige kompassretninger. Figuren viser at dette området for en stor del er skjermet av høyereliggende terreng når tåkeførende vinder blåser fra sektoren 140 - 220°. I tillegg kommer skjerming på grunn av vegetasjon.

Flyplassområdet vil etter utbygging ligge på toppen av Hurumplatået, uten skjerming for skytåke som kommer drivende inn over området.



Figur A1. Terrangsnitt gjennom Hurumlandet i lengderetningen 180-360°, gjennom værstasjonene Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget. Stasjonenes plassering er vist med pil. Den vertikale skala er 10 ganger overdrevet i forhold til den horisontale.



Figur A2.
 Terrangsnitt gjennom Hurulandet i 5 forskjellige lengde-
 retninger, gjennom det nordlige landingsområdet på østre
 rullebane. Landingsområdet er vist med pil. Den vertikale skala
 er 10 ganger overdrevet i forhold til den horisontale.

APPENDIKS B. DATAINNSAMLING

Værstasjonene Stikkvannskollen og Nilsåsen er hver for seg helt automatiserte innsamlingsenheter. Dataene overføres automatisk til et arkiv på DNMI. Vi skal her se nærmere på de værparametre som registreres, innsamlingsenheten og datastrømmen.

Sentralt i systemet står EDAS-stasjonen. Denne datainnsamlingsenheten er utviklet av EDAS A/S, Eidsvoll. EDAS-stasjonens oppgave er:

- * Samle inn prosesserte data fra perifert utstyr.
- * Videre prosessering av data.
- * Lagre data.
- * Sende data til DNMI over telenettet.

EDAS-stasjonen samler inn data fra en PC-enhet, en mast-enhet og noen enkeltstående sensorer.

Vind / temperatur

Først skal vi se nærmere på mast-enheten. Denne enheten er en EDAS-felt-kontroller som samler inn rådata fra sensorene i vindmasten. De parametre som beregnes i mast-enheten før de sendes til EDAS-stasjonen er vist i tabell B1.

Tabell B1.

Parametre beregnet i mast-enheten på værstasjonene.
Værparametrene T og RF måles bare på Nilsåsen.

Symbol	Parameter	Beskrivelse
U	Vindhastighet.	10 minutters middel [m/s]
D	Vindretning.	10 minutters middel [grad]
Iu	Turbulensintensitet langs vindretning.	10 minutters verdi.
Iv	Turbulensintensitet på tvers av vindretn.	10 minutters verdi.
Icov	Kovarians, innbyrdes variasjon av hastighetens komponenter.	10 minutters verdi.
G	Gustfaktor.	Høyeste 3 og 60 s. middel delt på 10 min. middelvind
T	Lufttemperatur	10 minutters middel [°C]
RF	Relativ luftfuktighet	10 minutters middel [%]

EDAS-felt-kontrolleren samler rådataene som momentane verdier hvert sekund. Parametrene beregnes etter kjente algoritmer som er definert i Teknisk manual, EDAS (10). Vindparametrene måles i tre nivåer: 10 m, 18 m og 30 m over bakken.

Parameteroppsettet gjør det mulig å beskrive vertikalt vindprofil og turbulensnivå. Dette er svært viktige forklarende elementer i beskrivelsen av vind- og tåkeforhold.

Målepunktet i 30 meters nivå er dessuten nødvendig for å kunne registrere vind som er minst mulig påvirket av det rent lokale terreng rundt selve mastene. Dette er en forutsetning for å kunne beskrive vindforholdene i flyplassnivå. Vindparametre i 30 meters nivået vil dessuten bli brukt i operasjonelle kriterier for sidevind.

Lufttemperaturen måles i to nivåer: 2 m og 27 m over bakken. Relativ luftfuktighet måles i 2 meters nivå. Disse parametrene uttrykker stabiliteten i lufta og bidrar til å klarlegge tubulensforholdene. Dessuten vil temperaturen si noe om nedbørtype og isingsforhold. Lufttemperatur og relativ fuktighet måles bare ved Nilsåsen.

Nedbør

Noen enkeltstående sensorer behandles direkte på EDAS-stasjonen. Dette gjelder lufttrykk og nedbør. Disse lagres med en verdi hvert tiende minutt.

Tabell B2.
Parametre beregnet i EDAS-stasjonen.
Disse måles bare på Nilsåsen.

Symbol	Parameter	Beskrivelse
P0	Luftrykk	1 minutts middel [mb]
RR(G)	Akkumulert nedbør	1 minutts middel [mm]
RR(V)	Nedbør / ikke nedbør	1 minutts verdi

Sensoren for nedbør / ikke nedbør har en kontrollfunksjon for den akkumulerende nedbørmåleren. Samtidig gir den informasjon om det er nedbør i øyeblikket. Dette kan gi oss en bedre forståelse av variasjoner av MOR i forskjellige faser i vær-situasjonene.

Nedbørintensiteten kan beregnes fra akkumulert nedbør på tidsskalaen 10 minutter. En bedre oppløsning på intensiteten får vi fra en separat automatisk nedbørmåler. Denne kan bare brukes så lenge nedbøren kommer som regn. Lufttrykk og nedbør måles bare på Nilsåsen.

Sikt / skyhøyde

Prosesseringen og innsamlingen av disse parametrene skjer fullstendig automatisk. Det gjør det mulig for oss å fjernovervåke instrumenter og innsamling av data fra DNMI. Resultatet av dette er høy datadekning og kvalitetsmessig svært gode data. IMPULSPHYSIK GMBH, Hamburg har utviklet systemet.

Instrumentene som måler sikt og skyhøyde leverer prosesserte data ut. Dataprogrammet i instrumentene analyserer de målte verdier og beregner halvminuttsmidler. En kontrollenhet overvåker instrumentene og tar imot datatelegrammene. PC-enheten samler inn sikt og skyhøydedata automatisk fra kontrollenheten. Verdiene er halvminuttsmidler som sendes videre til EDAS-stasjonen for beregning av flere parametre som vist i tabell B3.

Tabell B3.

Sikt- og skyhøydeparametre som beregnes ved EDAS-stasjonen.

Symbol	Parameter	Beskrivelse
S	Sikt, middel	10 minutters middel [m]
Smed	Sikt, median	Medianverdi over 10 min [m]
Smax	Sikt, maksimum	Maksimum over 10 min [m]
Smin	Sikt, minimum	Minimum over 10 min [m]
H	Skyhøyde, middel	10 minutters middel [m]
Hmed	Skyhøyde, median	Medianverdi over 10 min [m]
Hmax	Skyhøyde, maksimum	Maksimum over 10 min [m]
Hmin	Skyhøyde, minimum	Minimum over 10 min [m]
Hstd	Skyhøyde, std.avvik	Standardavvik over 10 minutter [m]

Disse er også beregnet etter algoritmer beskrevet i (10). Hovedparametrene er 10 minutters middel av sikt og medianverdien av skyhøyde. Alle parametrene er til hjelp ved kvalitetskontrollen av dataene. Spesielt har vi kunnet etablere en sammenheng mellom skyhøyde og sikt, og har utnyttet dette ved interpolasjon når en av parametrene har manglet.

Samtidig med at 30 sekunders verdiene blir overført til EDAS-stasjonen, blir all bakgrunnsinformasjon for disse verdiene lagret på PC. Lageret har kapasitet for 3 uker. Disse "rådata" avspilles på magnetbånd og lagres rutinemessig. Sikt- og skyhøydeepisoder kan dermed granskes i detalj om nødvendig. Rådataene inneholder også mye informasjon om instrumentenes tilstand til enhver tid.

I begynnelsen ble sikt og skyhøyde registrert grafisk på papir. Det var i påvente av det automatiske systemet. De samme kontroll-

funksjoner var også mulig da, men det måtte skje fra den enkelte stasjon. Ved målestasjonen St.Hansberget er registreringen grafisk. Ved Vingården registreres skyhøyden i tallform på papir.

De grafiske registreringene bearbeides manuelt på DNMI, og det avleses middelvei over 10 minutter.

Sikt- og skyhøydemåler

Transmissometeret (siktmåleren) består av sender og mottaker. Signalet er lyspulser i det synlige området av spekteret. Prinsippet for beregning av meteorologisk instrumentell sikt (MOR) er skissert i appendiks C1.

Avstanden mellom sender og mottaker, basislinjen, er 45 m for alle stasjonene (unntatt Stikkvann som har 75 m). Dette innebærer at MOR kan måles i området fra 30 til 1800 m. Nøyaktigheten (absolutt nøyaktighet i meter) er størst, $\pm 2.5\text{m} - \pm 3.5\text{m}$, i området fra 40 til 100 m. Ved MOR under 30 m kan man med 45m basislinje bare oppnå informasjonen om at $\text{MOR} < 30\text{ m}$. Kalibrering etter leverandørens normer sikrer at instrumentet tilfredsstiller denne nøyaktigheten. Slik kalibrering er utført 2-4 ganger pr. år pr. instrument.

Ceilometret (skyhøydemåleren) består av sender og mottaker i en enhet. Laserlys sendes ut vertikalt i pulser. Tiden fra sendt laserpuls til mottatt refleks fra skydråpene forteller i hvilken høyde skybasis befinner seg. Siden laserstrålen må være svært svak (uskadelig) kreves en avansert prosedyre for å bestemme skyhøyder.

Instrumentet måler skyhøyder i området fra 8 til 3600 m. Best er påliteligheten for skyhøyder som er større enn 20 m og når det ikke er nedbør.

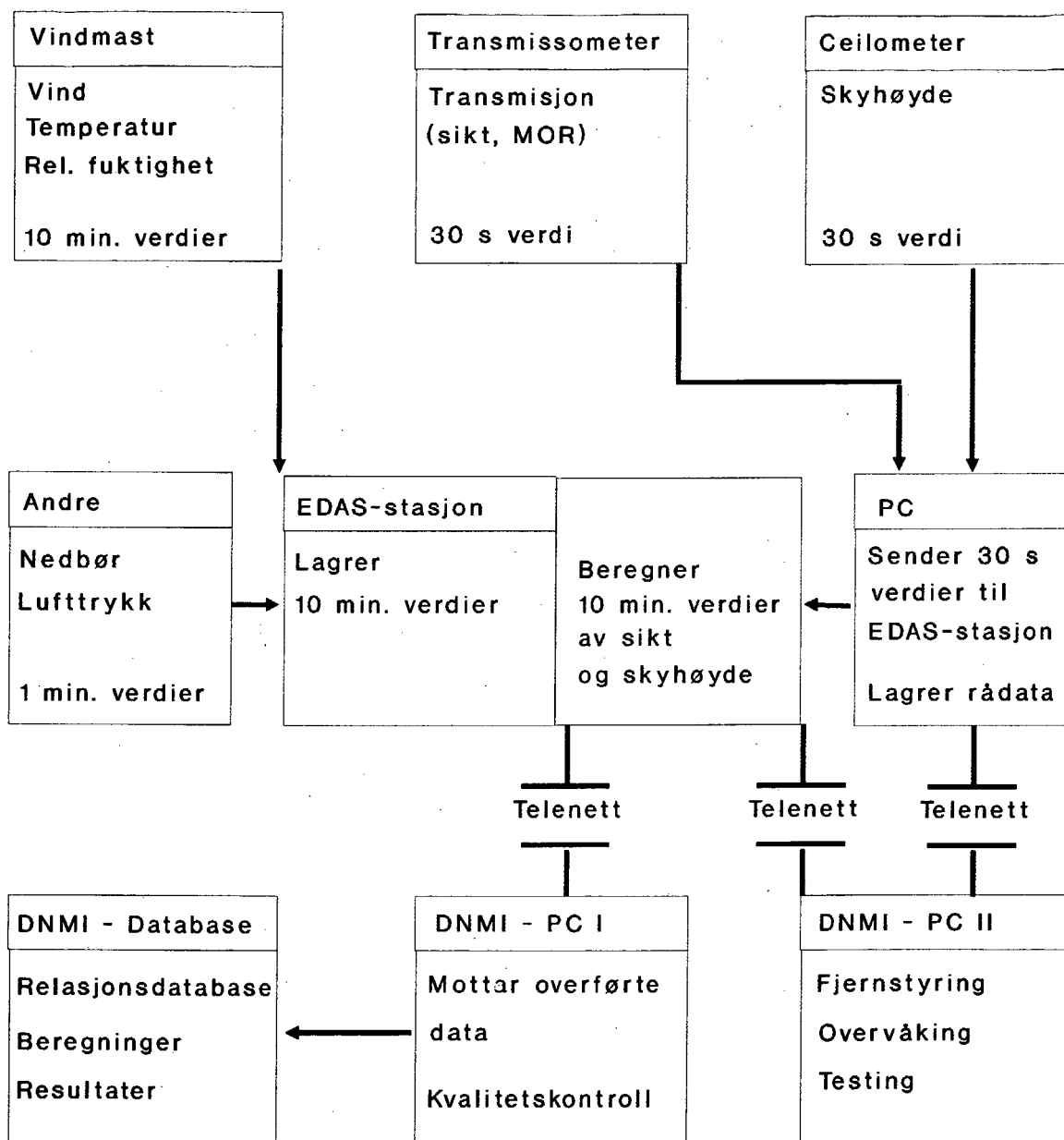
Overføring av data til DNMI / datastrøm / datakontroll

I EDAS-stasjonen er alle parameterverdiene for de siste 40 timer lagret. Fra DNMI ringes EDAS-stasjonen opp automatisk to ganger i døgnet og av alle lagrede data overføres. Det blir da en stor overlapping av tidligere overførte data. Dette fungerer som en sikkerhet i tilfelle en overføring skulle mislykkes, og bidrar til den høye datadekningen.

De overførte data går gjennom en subjektiv kvalitetskontroll. Månedsvi blir de lagt inn i en relasjonsdatabase der alle beregninger blir gjort.

Daglig kvalitetkontrolleres innkomne data. Dette skjer ved å sammenholde observasjoner fra forskjellige instrumenter. Over telenettet kan EDAS-stasjon og PC fjernstyres. På denne måten kan instrumentenes tilstand til enhver tid overvåkes. Dette systemet er spesielt velutviklet for sikt- og skyhøydemålere, slik at disse instrumentene også kan testes fra DNMI.

I figur B1 er datainnsamlingen skissert.



Figur B1. Skjema over datastrøm og kontroll.

APPENDIKS C. METEOROLOGISK SIKT OG RULLEBANESIKT

C1. MÅLING AV METEOROLOGISK SIKT

Dette kapittel er skrevet med referanse til B. Middleton: "Vision through the atmosphere (11)."

Definisjoner:

T: Transmittans	-	Et tall mellom 0 og 1 som angir hvor stor lysgjennomgangen i et medium (f.eks. luft) er.
B: Basislinje	-	Avstanden som T måles over.
σ : Ekstinksjonskoeffisient $T = \exp(-B \cdot \sigma)$	-	Et tall mellom 0 og ∞ [m^{-1}]. Dette tallet er <u>kun</u> en funksjon av mediets lysegenskaper.

Siden σ er uavhengig av basislinjen, og kun avhenger av luftas strålingsegenskaper, er den en nyttig parameter. Imidlertid er transmittansen, T, mye brukt fordi den har et lett forståelig fysisk innhold.

Lysgjennomgang i tåke

Lysintensiteten fra et objekt reduseres på sin vei gjennom tåkelufta fordi lyset treffer de små vanndråpene og spres. Samtidig spres lys fra omgivelsene inn i siktelinjen mot objektet.

På sin vei gjennom tåka vil en stadig mindre andel av lysintensiteten stamme fra det objektet som betraktes. Derimot vil en stadig større andel komme fra de mange tåkedråpene.

Lyset fra et objekt inneholdt opprinnelig informasjon om objektets lysstyrke (plassering på en gråskala), bølgelengde (farge) og retningsorientering. Alle disse informasjonene tapes ved spredning i tåka, lyset blir ensidig grått, og kommer inn med lik styrke fra alle kanter dersom vi ikke er tilstrekkelig nær objektet.

Kontrastterskel

Begrepet kontrast kommer inn fordi det ved sikt er essensielt å skille ut det lyset som kommer fra et bestemt objekt fra det innsprede lyset fra omgivelsene.

En impuls som mottas av det menneskelige øyet, må ha en viss styrke for å kunne oppfattes. Ved begrepet sikt skal det skilles mellom det lyset som kommer fra objektet og det lyset som kommer fra omgivelsene. Det viser seg at minst 1 - 5 % av lyset i siktelinjen må komme fra objektet for at informasjonen skal kunne mottas og objektet gjenkjennes. Dette kalles øyets kontrastterskel, ϵ . Den varierer noe fra person til person.

Når vi har en kjent avstand, S og lyset er redusert til kontrastterskelverdien, ϵ av det opprinnelige lyset, er sikten, V lik avstanden, S , dvs.

$$\epsilon = \exp(-(\sigma \cdot S)) = \exp(-(\sigma \cdot V)) \Rightarrow$$

$$V = -\ln \epsilon / \sigma$$

Transmittansen er uavhengig av lysstyrken fra et objekt, dvs. vi snakker om relativ lysgjennomgang. Ved instrumentell bestemmelse av transmittans kan man derfor benytte en kunstig lyskilde som er synlig på vesentlig lenger avstand enn et passivt objekt.

Instrumentell sikt (MOR)

ICAO har anbefalt bruk av en kontrastterskelverdi, $\epsilon = 0.05$. Avstanden mellom sender og mottaker kalles basislinjen, B . Siden MOR pr. definisjon er den avstand som medgår før transmittansen er redusert til 5% av sin opprinnelige verdi, vil MOR være lik B når transmittansen måles til 0.05.

$$\text{MOR} = -\ln(0.05) / \sigma = B \cdot \ln(0.05) / \ln(T)$$

Dette er Koschmieders lov.

Vurdering av målenøyaktighet

Vi skal se på hvilke nøyaktigheter som sikten kan måles med og hvorledes disse varierer med sikten. Etter definisjonene på sikt, V og transmittans, T har vi:

$$V = (B \ln \epsilon) / \ln T \quad (\text{lign. C1})$$

hvor $\ln = \log_e$ står for naturlig logaritme. Vi har også

$$T = \exp(B \ln \epsilon / V) \quad (\text{lign. C2}).$$

Differensiering av lign. C1 på begge sider gir:

$$dV = Bl\epsilon(-\ln^2 T)^{-1} T^{-1} dT \quad (\text{lign. C3}).$$

Vi innsetter ligning C2 i ligning C3, forkorter og får følgende to ligninger:

$$dV/V = -(Bl\epsilon)^{-1} V \cdot \exp(-Bl\epsilon V^{-1}) dT \quad (\text{lign. C4})$$

$$dV = -(Bl\epsilon)^{-1} V^2 \cdot \exp(-Bl\epsilon V^{-1}) dT \quad (\text{lign. C5})$$

og ved innsetting av lign. C2 i lign. C4:

$$dV = -(Bl\epsilon)^{-1} V^2 dT/T \quad (\text{lign. C6})$$

Ligningene C4 - C6 uttrykker fysiske forhold ved måleprinsippet og gir teoretiske begrensninger for målenøyaktigheter. Ligning C4 og C5 gir henholdsvis relativ nøyaktighet (%) og absolutt nøyaktighet (m) som en funksjon av kontrastterskel, basislinje og transmissometernøyaktighet. Ligningen kan brukes når feilen, dT er konstant over måleområdet.

Ligning C6 gir absolutt nøyaktighet, dV , i sikten når feilen i et system er relativ. Dette vil f.eks. være tilfelle dersom skalaen fra 0 - 100% feilaktig er innstilt fra 0 til 100- δT dvs. ved feil instrumentinstilling, smuss, væte eller annen tildekking av linsene. Da er leddet $dT/T = \delta T = \text{konstant}$.

Ligningene C4 og C5 kan differensieres på ny for å bestemme hvilken V som gir minimumsverdi av dV og dV/V . Dette gir uttrykkene

$$V(\text{min } dV/V) = -Bl\epsilon \quad (\text{lign. C7})$$

og

$$V(\text{min } dV) = -\frac{1}{2}Bl\epsilon \quad (\text{lign. C8}).$$

For $\epsilon = 0.05$ og $B = 45$ m ser vi at den relative feil er minst ved $MOR = 135m$, mens den absolutte feil er minst ved $MOR = 67.5m$.

Ligningene C4 - C6 blir når $\epsilon = 0.05$ og $B=45\text{m}$:

$$dV/V = 0.0074 \cdot V \cdot \exp(135 \cdot V^{-1}) dT \quad (\text{lign. C9})$$

$$dV = 0.0074 \cdot V^2 \cdot \exp(135 \cdot V^{-1}) dT \quad (\text{lign. C10})$$

$$dV = 0.0074 \cdot V^2 dT/T \quad (\text{lign. C11})$$

Fabrikanten opplyser at nøyaktigheten, dT , er typisk $\pm 1\%$ (av full lysgjennomgang), men at den varierer noe over måleområdet, forutsatt at kalibrering er gjort etter forskriftene. I tabell C1 vises relative og absolutte feil for denne nøyaktighet.

Av tabell C1 ser vi at for MOR - målinger mellom 40 og 100m vil MOR måles med en nøyaktighet på $\pm 2.5 - \pm 3.5\text{m}$, dersom renhold, montering og kalibrering er utført i henhold til forskriftene.

Av lign C.11 kan vi sette opp tabell C2. Denne tabellen viser hvorledes tilsmussede linser vil nedsette nøyaktigheten. Dette vil bli en systematisk feil slik at sikten måles for lavt, men som tabellen viser er effekten på de lave siktverdier meget liten. Selv ved en tilsmussing på 10% blir feilen bare 2 m ved MOR = 50 m. Så sterk tilsmussing har ikke vært målt på Hurum, men rent unntaksvis har den ligget på noe over 5%. Vi ser også at en eventuell effekt av regn på linsene på 5 - 10% vil ha tilsvarende liten effekt på de lave siktverdiene.

Inspeksjon av instrumentene under værforhold med nedbør og sterk vind (også vind langs basislinjen) har ikke avdekket dråper på glassene. En vifte blåser luft ut gjennom overbygget omkring lysåpningen. Luftstrømmen hindrer regndråpene i å komme inn. Et varmeelement bidrar også til å holde glassene tørre. Det er derfor ikke sannsynlig at en så stor effekt som 5 - 10% vil forekomme.

Tabell C1.

Relativ og absolutt nøyaktighet i sikten ved transmissometermålinger når feilen i transmittans, $dT = \pm 1\%$, basislinjen 45m og kontrastterskelen 5% .

V [m]	25	30	40	50	60	70	100	200	500	1000	1800
dV/V[%]	± 40	± 20	± 9	± 5.5	± 4.2	± 3.6	± 2.9	± 2.9	± 4.9	± 8	± 40
dV [m]	± 10	± 6	± 3.5	± 2.7	± 2.5	± 2.5	± 2.9	± 6	± 24	± 85	± 260

Tabell C2.

Siktmålingsfeil som følge av tilsmussing av linsene. Feilen er gitt ved forskjellige siktverdier og ved tre tilsmussingsgrader, der transmittansen er kunstig redusert med $dT/T = 1, 5$ og 10% . Instrumentutslaget blir da 99, 95 og 90 % ved full lysgjennomgang i lufta mellom sender og mottaker. Tabellen sier f.eks. at ved målt sikt 50 m er sikten i virkeligheten 50.9 m dersom kunstig reduksjon er 5 % .

dT/T	V=40m	V=50m	V=60m	V=70m	V=100m	V=500m	V=1000m	V=1800m
0.01	-0.1m	-0.2m	-0.3m	-0.4m	-0.7	-20m	-70m	-240m
0.05	-0.6m	-0.9m	-1.3m	-1.8m	-3.7m	-90m	-370m	-1200m
0.10	-1.2m	-1.9m	-2.7m	-3.6m	-7.4m	-200m	-700m	-2400m

C2. OMREGNING AV MOR TIL RVR

En lyskilde med intensitet, I , produserer en belysning (illuminans), E , på et plan normalt på lysstrålene i en avstand, x , fra lyskilden. For at lyset skal bli sett må belysningen overstige øyets belysningsterskel, E_t . Avstanden hvor $E_t = E$ er den visuelle lysvidde, R (The visual range of the light). På flyplasser brukes betegnelsen "The Runway Visual Range", RVR. Rullebanesikten, RVR (m), beregnes av Allards lov :

$$E_t = I \cdot RVR^{-2} \cdot \exp(-\sigma \cdot RVR) \quad (\text{lign. C12}),$$

der σ er ekstinksjonskoeffisienten (se appendiks C1), E_t er øyets belysningsterskel i forhold til bakgrunnsbelysningen (lux) og I lysstyrken på rullebanelysene (candela).

RVR er etter dette avhengig av målt transmittans, og uavhengig av om kontrastterskel er 2% eller 5% i instrumentet.

Tilnæringsmetode for beregning av RVR

Ligning C12 kan ikke løses aritmetisk. Ved hjelp av iterativ approksimasjon kan man imidlertid finne RVR med så stor nøyaktighet man ønsker. RAE har utviklet en metodikk (8) for å beregne RVR ved et aritmetisk tilnæringsuttrykk. Metodikken er beskrevet nedenfor :

Man tar logaritmen med grunntall 10, \log , til C12 :

$$\log(E_t) = \log(I) - 2 \cdot \log(RVR) - \sigma \cdot RVR \cdot \log(e) \quad (\text{lign. C13})$$

og setter inn for $\sigma = 2.996/MOR$:

$$\log(E_t) = \log(I) - 2 \cdot \log(RVR) - 1.3011 \cdot RVR/MOR \quad (\text{lign. C14}).$$

Forholdet mellom RVR og MOR kan uttrykkes ved omregningsfaktoren, G :

$$RVR = G \cdot MOR \quad (\text{lign. C15}).$$

RVR fra siste ligning settes inn i C14. Det gir :

$$\log(E_t) = \log(I) - 2 \cdot \log(G \cdot MOR) - 1.3011 \cdot G \quad (\text{lign. C16}).$$

Ligning C16 kan omformes til :

$$2 \cdot \log(G) + 1.3011 \cdot G = -\log(E_t) + \log(I) - 2 \cdot \log(\text{MOR}) \quad (\text{lign. C17}).$$

Høyre side av ligningen :

$$F = -\log(E_t) + \log(I) - 2 \cdot \log(\text{MOR}) \quad (\text{lign. C18}),$$

består nå av kjente størrelser, dvs. gitt E_t og I , så kan F beregnes for forskjellige MOR-verdier.

Ved en matematisk tilnæringsmetode kan lign. C17 skrives :

$$G \approx \exp(-0.37 \cdot F) + 0.69 \cdot F - 0.516 \quad (\text{lign. C19}).$$

Ved hjelp av ligningene C18 og C19 kan samhørende verdier av F og G beregnes.

Rullebanesikten, RVR, beregnes slik :

1. Meteorologisk instrumentsikt, MOR, måles ved bruk av transmissometer.
2. F beregnes ved hjelp av de kjente størrelsene E_t , I og MOR (lign. C18).
3. Omregningsfaktoren, G , beregnes ved hjelp av F (lign. C19).
4. RVR beregnes ved hjelp av MOR og G (lign. C15).

For G mellom 0.5 og 4.6 er feilen i RVR pga. denne tilnæringsmetode mindre enn $\pm 0.1 \%$.

Beregning av E_t ved hjelp av bakgrunnsbelysningen

Terskelverdien for bakgrunnsbelysningen måles ikke direkte, men er en funksjon av bakgrunnsbelysningen, B_t (8) :

$$\log(E_t) = -6.95 + 0.8875 \cdot \log(B_t) \quad (\text{lign. C20}).$$

C3. BAKGRUNNSBELYSNING I TÅKE PÅ HURUM

Extraterrestrisk stråling

Utgangspunktet for beregning av bakgrunnsbelysningen ved ned-satt sikt er publiserte tabeller over den ekstraterrestriske strålingen, dvs. den solstråling som kan måles på et plan parallelt med jordoverflaten utenfor atmosfæren. Denne strålingen reduseres ved spredning og absorpsjon nedover i atmosfæren. Ved overskyet vær vil bare en mindre del nå jordoverflaten.

Global stråling / ekstraterrestrisk stråling

For å anslå hvor mye den ekstraterrestriske strålingen er svekket når den når jordoverflaten, har vi benyttet strålingsdata fra Ås på 2 måter:

I)

Målte dagsummer av globalstråling på Ås (Fysisk institutt, NLH) er sammenliknet med dagsummer av ekstraterrestrisk strålingen målt på 60° N. Bare hele dager (kl. 0700-1900) med tett skydekke og antatt lave skyer over Ås (tåke på Hurum) er brukt i sammenlikningen. Disse er valgt ut ved å sette som krav at følgende skyobservasjoner skal være oppfylt på Fornebu og Rygge samtidig :

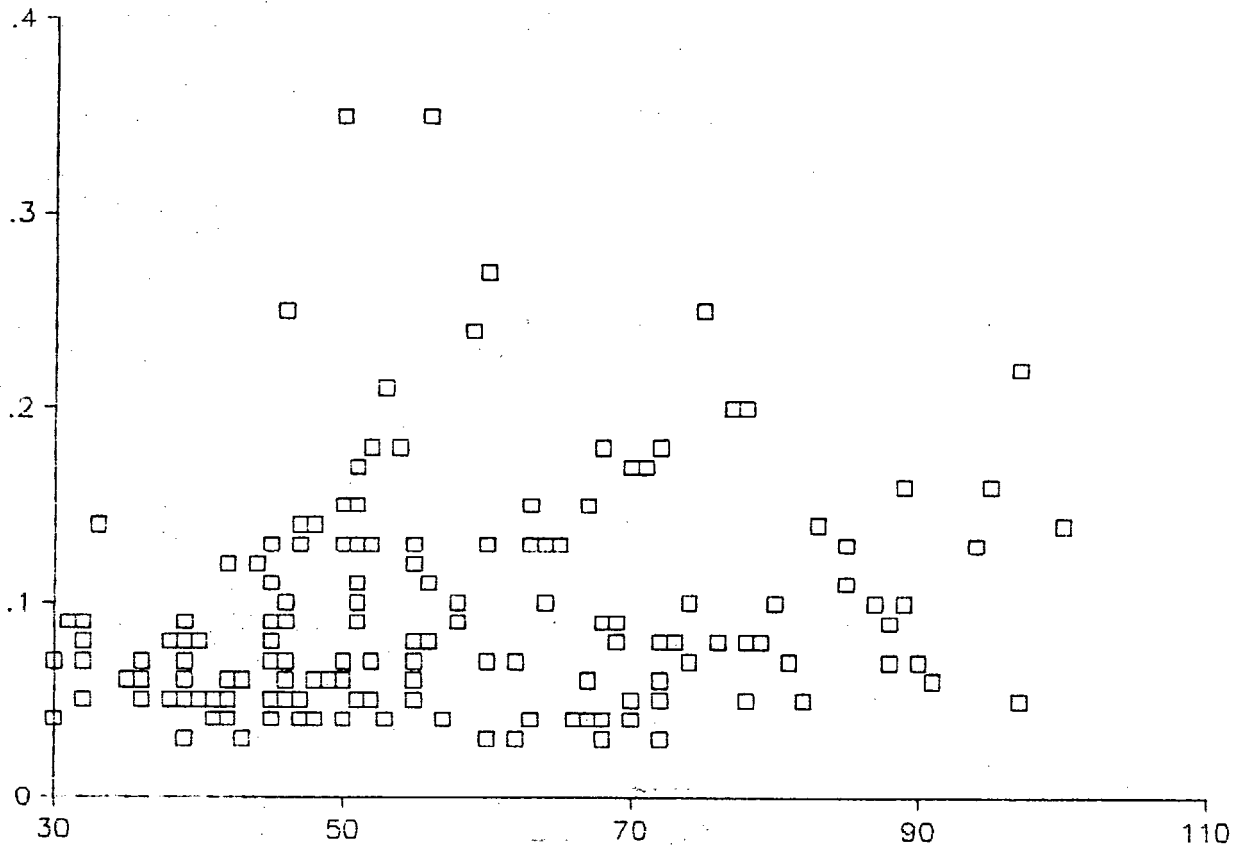
1. Samlet skydekke er lik kode 8 (helt overskyet) eller 9 (mengden av skyer kan ikke observeres pga. tåke eller nedbør).
2. Mengden av lave skyer er lik 8 eller 9 for begge stasjoner.
3. Høyden opp til laveste skylag er lik kode 0-3(4), dvs. 300 m eller mindre på Rygge og 600 m eller mindre på Fornebu, både kl. 07, 13 og 19.

I perioden 1976 til 1989 tilfredsstilles disse kravene 70 dager. Forholdet mellom den ekstraterrestriske og globalstrålingen disse dagene kunne så beregnes. Det ble funnet at strålingen i middel var redusert til 13 % av den målte ekstraterrestriske strålingen i disse vær-situasjonene. Vi vil her si at "tåkefaktoen" er 0.13.

II)

I 1989 er forholdet mellom globalstrålingen på Ås og den ekstraterrestriske strålingen også beregnet alle dager med sikt (MOR) mindre enn 100 meter på Stikkvannskollen og globalstrålingen tilnærmet lik diffusstrålingen (dvs. tett skydekke) på Ås. Hele 180 time-verdier er sammenlignet, fordelt på 27 dager (fig. C1). Den ekstraterrestriske strålingen reduseres her med mellom 65% og 97%; dvs. tåkefaktor mellom 0.03 og 0.35, med 0.09 som medianverdi.

Tåke-
faktor



Sikt (MOR) Stikkvannskollen

Figur C1.

Tåkefaktorens variasjon med sikten, målt på Stikkvannskollen i 1989.

Det kan nå diskuteres om man skal bruke 0.09 eller 0.13 som tåkefaktor. Vi skal da huske på at tåke-faktoren er funnet ved å sammenligne den extraterrestriske strålingen med globalstrålingen på Ås (95 m o.h.) som ligger atskillig lavere enn flyplassnivå på Hurum (290 m o.h.). Siden Stikkvannskollen (spesielt i dårlig sikt) ligger "lenger oppe i skyene" enn Ås, vil det nok være lysere her enn hva som kan registreres samtidig på Ås. Reduksjonen av den extraterrestriske strålingen kan derfor bli noe mindre for de laveste siktverdiene enn hva som er registrert på Ås, og den høyeste tåke-faktoren, 0.13, blir derfor benyttet.

Midlere månedlige time-verdier for strålingen i tåke (typisk sikt under 100 m), beregnes nå ved å redusere den extraterrestriske strålingen med tåkefaktoren 0,13. Bakgrunnsbelysningen kan så avledes fra denne i det en globalstråling på 1 ly/t gir en belysning på 1085 lm/m² :

1 ly/t gir 1085 lm/m² = 1085 lux, og 1 cd/m² = π lux.

Midlere bakgrunnsbelysning pr. time og måned er gitt i figur C2.

Døgnet kan nå deles inn i soner etter bakgrunnsbelysningens styrke. Vi har ved våre beregninger valgt å dele døgnet inn i tre soner : natt, skumring og dag.

Belysningstersklene for natt og skumring er valgt i hht. ICAO's anbefalinger. Fra middelet av den presenterte bakgrunnsbelysningen ($B_l=2354 \text{ cd/m}^2$) i figur C2, har vi funnet belysningsterskelen for dag av ligning C20.

Benyttede terskelverdier for natt, skumring og dag er angitt nedenfor.

	bakgrunnsbelysning		belysningsterskel	
natt	4	50	cd/m^2 (26cd/m^2)	10^{-6} lux
skumring	50	1000	cd/m^2 (500cd/m^2)	10^{-5} lux
dag	1000	12000	cd/m^2 (2354cd/m^2)	$\approx 10^{-4}$ lux

MND	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Jan							74	467	706	786	706	467	74						
Feb						229	750	1141	1388	1141	1388	1141	750	229					
Mar					638	1105	1622	2017	2264	2349	2264	2017	1622	1105	638				
Apr			103	733	1361	1945	2448	2830	3072	3153	3072	2830	2448	1945	1361	733	103		
Mai	188	786	1383	1977	2529	3006	3364	3593	3669	3593	3364	3006	2529	1977	1383	786	188		
Jun	559	1092	1662	2237	2772	3226	3576	3796	3872	3796	3576	3226	2772	2237	1662	1092	559		
Jul	445	952	1532	2110	2656	3118	3473	3693	3769	3693	3473	3118	2656	2110	1532	952	445		
Aug			418	746	1195	1617	2672	3045	3279	3360	3279	3045	2672	1617	1195	746	418		
Sep				238	849	1442	1949	2336	2583	2664	2583	2336	1949	1442	849	238			
Okt						647	1068	1460	1707	1792	1707	1460	1068	647					
Nov							207	660	898	984	898	660	207						
Des								260	499	57	499	260							

Figur C2.

Estimert midlere bakgrunnsbelysning pr. time og måned ved sikt under 100 m på Hurum. (Ikke korrigert for avvik mellom sann soltid og norsk normalt看.)

Om 0.09 hadde vært benyttet som tåkefaktor i stedet for 0.13 ville vi fått en noe annen fordeling mellom skumring og dagforhold enn hva som er vist i figur C2. Midlere bakgrunnsbelysning ville vært redusert med ca. 30% i forhold til hva som er presentert her, og perioden med dagslysførhold ville da for de fleste månedene blitt to timer kortere. Konsekvensene for RVR - beregningene ville likevel blitt små, og mindre enn andre usikkerheter i resultatene.

APPENDIKS D. OMREGNING AV SIKT TIL FLYPLASSNIVÅ

D1. METODE FOR Å BEREGNE HØYDEVARIASJONER I SIKT OVER HURUMLANDET

Metoden beskriver siktvariasjoner med høyde over havet, når skybasis er lavere enn det betraktede terrengnivå og bygger på følgende 3 forutsetninger :

1. Vanninnholdet, w , øker lineært med høyden, $h-H$ over skybasis, H , der H er gitt i forhold til havnivå. Dersom referansepunkter i forskjellig høydenivå ligger nær bakken, forutsettes samme overflateruhet og lik målehøyde over terrenget. k -verdien avhenger av den adiabatisk skyvanngradient, og nær bakken også av intersepsjonen på underlaget, noe som er turbulens-avhengig. k -verdien avtar således med økende ruhet på underlaget.

$$w(h) = k \cdot (h-H) \quad (\text{lign.D1}).$$

2. Dråpetallet, N , forutsettes konstant og uavhengig av høyden (over havet) over skybasis i den fri atmosfære. Dette gjelder også for to punkter med samme høyde over bakken, dersom overflateruheten er den samme. Vanninnholdet er gitt ved :

$$w(h) = N \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot r(h)^3 \quad (\text{lign.D2}),$$

hvor $r(h)$ er midlere dråperadius.

3. Sikten forutsettes proporsjonal med dråperadius og omvendt proporsjonal med vanninnholdet. Dette er vist empirisk (Traberts formel) og kan vises teoretisk ved hjelp av Mie-teori for spredning av lys i et dråpe-miljø. Approksimasjonen gjelder for dråper som er store i forhold til bølgelengden av synlig lys. Dette er tilfredsstillt oppover i skyen, men kan svikte når vi er meget nær skybasis, der dråpene er mindre.

$$V(h) = a \cdot r(h) / w(h) \quad (\text{lign.D3}).$$

Forutsetningene ovenfor vil delvis svikte nær toppen av skyene pga. innblanding av tørrere luft. Formlene og forutsetningene er ellers drøftet mer utførlig i (12). Metoden bygger nå på å lage en formel for sikt i ett høydenivå basert på langtidsdata fra et annet høydenivå. Dette gjøres ved å benytte ligningene D1-D3 og tilpasse formelen til målinger fra en kortere periode der det eksisterer målinger i begge nivåer. Metoden blir således halvempirisk.

Siden dråperadius, $r(h)$, varierer med høyden og vi ikke har målinger av denne parameter, ønsker vi å eliminere $r(h)$. Dette gjøres ved å kople ligning D2 og ligning D3, som gir en ligning mellom $w(h)$ og $V(h)$. Dette uttrykket settes inn i ligning D1, og vi får en ligning mellom $V(h)$ og h :

$$V(h) = B_k \cdot (h-H)^{-2/3} \quad (\text{lign.D4}),$$

hvor H er skybasis og B_k er en konstant som bl.a. fanger opp adiabatisk vannøkning med høyden i fri atmosfære og intersepsjon på underlaget.

Ligning D4 gir et uttrykk for hvorledes sikten (i en fast høyde over bakken), forandres med høyde over havet. Forutsetningen er at dråpeprofilen over de to stasjonsnivåene er det samme. Dette er oppfylt dersom profilene er i likevekt og ruheten er den samme. Dersom ruheten varierer, vil B_k ikke være konstant, men være en funksjon av stasjonsplasseringene.

Det viser seg at vindprofilen på Stikkvannskollen (350 m o.h.) er nærmere likevekt enn profilen på Nilsåsen (350 m o.h.). I tillegg ligner profilen på Stikkvannskollen mer på hva som kan ventes på en ferdig flyplass enn tilfellet er på Nilsåsen. Dessuten har vi en mye lengre måleserie fra Stikkvannskollen. Vi vil derfor benytte data fra denne stasjonen i det videre arbeidet.

St.Hansberget siktmålestasjon (310 m o.h.) har vært i drift fra 24. november 1989. Det er registrert en del samtidige episoder med lav sikt fra St.Hansberget og Stikkvannskollen. Der eksisterer ikke vindmålinger fra St.Hansberget. Lave siktverdier forekommer vesentlig i sektor omkring sør (170-220°). Siktfor-skjellen mellom de to stasjoner ved 50 m sikt ligger i området 0-4 m i denne sektor, med en differans i medianverdiene på 2 m. Ved beregning av høydekorreksjoner pr. 15. januar 1990 ble 5 m forskjell benyttet. Denne verdien er brukt i videre beregninger. Dette innebærer at alle siktoverslag (MOR(290m), RVR(290m)) gir litt for lave frekvenser av lave siktverdier.

Vi bruker de overnevnte data (55 m sikt i 310 m nivå ved 50 m sikt i 350 m nivå) for å bestemme skybasis, H og koeffisienten, B_k i ligning D4. Vi har da tilpasset kurven til måleverdier i lave siktintervall. Dette er naturlig, dels fordi det er mest kritisk å finne riktige verdier her, dels fordi siktavlesingene er mest nøyaktige ved lav sikt, og dels fordi det i sammenligningsperioden er flest verdier i dette området.

Vi får da følgende formel til å bestemme sikten i flyplassnivå ut fra sikten i 350 meters nivå:

$$V(290m) = 2242 \cdot [2242^{1.5} \cdot V(350m)^{-1.5} - 60]^{-2/3} \quad (\text{lign.D5})$$

Tabell D1.

Sikt (MOR,m) beregnet i 290 meters nivå når sikten i 350 meters nivå har en del aktuelle verdier.

V(350m)	40	45	50	60	75	100	125	150
V(290m)	44	51	58	74	99	174	354	-

Av Tabell D1 ser vi at siktforbedringen fra 350 til 290 meters nivå er forholdsvis beskjeden når sikten er lav, mens den er markant ved noe bedre sikt. Dette henger sammen med at sikten varierer raskt med høyden like over skybasis, men langsommere høyere opp. Ved dårlig sikt ligger begge høydenivåer høyt over skybasis.

Vi kan nå høydekorrigere siktfordelingen fra Stikkvannskollen over en langtidsperiode, beregnet av Norsk Regnesentral ut fra observerte data fra Stikkvannskollen og sammenhengen med sikt-/skyhøydedata fra faste værstasjoner. Dette gjøres for året som helhet, for hver enkelt måned og fordelt over døgnet. Dette gir oss MOR-data for 290 meters nivå, eksponert som på Stikkvannskollen.

D2. HORIZONTALA VARIASJONER I SIKT OG VANNINNHOOLD

Sammenligninger av sikt på Nilsåsen og Stikkvannskollen viser at det er forskjeller i sikten innenfor samme høydenivå, selv i forholdsvis eksponerte punkter i terrenget. Vi har siktmålinger fra Nilsåsen fra den 8. september 1989.

Det ble foretatt en del hogst av trær på Nilsåsen, nær siktmåleren mellom septembermålingene og 18. oktober. Dessuten ble det hugget noe den 28. november i sektor 190-240°. Sammenligning av sikt på Stikkvannskollen (VS) og Nilsåsen (VN) i de tre periodene (8. - 22. september (I), 18. oktober - 27. november (II) og 29. desember - 31. januar (III)) viser en tydelig "vegetasjonseffekt". I sektor 190-240° var forholdet VN/VS = 1.34 i september, 1.27 i oktober/november og 1.08 i desember/januar. Forholdet er det samme i alle siktintervaller, og viser altså ingen økning ved siktforbedring, slik tilfellet var med høyde-reduksjonen. Det er et stort antall observasjoner i nevnte sektor i alle periodene. Vi skal se litt på årsaken til disse forholdene.

Vind- og dråpeprofil

Hvis vi forutsetter at vi har homogene forhold, stiller vindprofilen seg inn på et logaritmisk profil, dess ruere overflate, dess skarpere profil (større endring av vindhastigheten med høyden). Nå er bakken et sluk for momentum, og ved tåkeluft også et sluk for dråper. Dersom dråpetettheten i utgangspunktet var konstant med høyden, kan det vises at dråpeprofilen over en flate stiller seg inn omtrent på samme måte som vindprofilen.

Det kan da vises at ved lav sikt og nøytral eller stabil sjiktning er

$$V_2/V_1 \approx U_1/U_2 \quad (\text{lign. D6}),$$

der V er sikt, U er vindhastighet og 1 og 2 er høydenivåer. Tilnærmelsestegnet brukes fordi vi har sett bort fra endring av vanninnhold og radius med høyden som skyldes temperatureffekter og som har et forløp som høydevariasjoner beskrevet i Tabell D1.

Over en ikke-homogen flate der profilene ikke er i likevekt, vil utvekslingen av momentum kunne skje noe raskere enn utveksling av dråper og vi får

$$V_2/V_1 \approx k \cdot U_1/U_2 \quad (\text{lign. D7}).$$

der $k < 1$.

Ligning D6 og D7 sier at et slakt vindprofil gir et slakt siktpprofil, dvs., ved et flatt, jevnt landskap blir sikten lav helt ned mot bakken, på samme måte som vindhastigheten blir høy helt ned mot bakken. Over et skogsterreng, derimot, vil vi ha et skarpt vindprofil og en markant siktforbedring i nederste lag. Videre, dersom tåkelufta blåser over skog og deretter over en

åpen flate, vil sikten ved bakken forverres utover den åpne flaten inntil et nytt grenselag har kommet i likevekt.

Det viser seg at vindprofilen er skarpere på Nilsåsen enn på Stikkvannskollen. Vindprofilen på Stikkvannskollen ligger nær det som vil være tilfelle på en ferdig flyplass. Vi har derfor valgt å se bort fra målingene på Nilsåsen i den videre diskusjon.

La nå f.eks. nivåene 1 og 2 representere 2 m og 30 m. Sikten i 2 m er altså bedre enn sikten i 30 m, og denne forskjellen øker med økende ruhet. På en flyplass med ruhet 0.02 m er $U(30m)/U(2m) \approx 1.5$, mens forholdstallet blir 2.0 i landskap med tregrupper og bølgete åkre, ruhet 0.3 m. Dvs., MOR målt i 2m's nivå er nesten 30 % lavere på flyplassen enn i landskaps-terrenget allerede etter 2-300 meters innsig på flyplassen. En må også være klar over at sikten under forhold med turbulent strømming reduseres med høyden over bakken. Ved flyplassforhold er f.eks. MOR 47 m i 10 meters nivå, ved MOR = 60 m i 2 meters nivå. Av disse eksempler kan sees at overflatens beskaffenhet betyr mer enn høydeforskjellen fra 350 til 290 m o.h..

Luft som strømmer fra et "glatt" område inn over et skogsterreng vil få en tilsvarende siktforbedring, innenfor de tåkeførende sektorer, etter få kilometers innstrømming. Tilsvarende vil skybasis senke seg dersom skogen hogges.

Data fra St.Hansberget og Stikkvannskollen i sektor øst viser at St.Hansberget har lavere sikt enn Stikkvannskollen omkring øst og sørøst, men at det er tilnærmet de samme siktverdier omkring sør (se figur 3.4). Dette viser at terreffeffer i enkelte sektorer helt oppveier høydeforskjellen.

Intersepsjon.

Det kan nå reise seg et spørsmål om avsetning av skydråper på underlaget (intersepsjon) kan føre til siktforbedring innover en flate. Vi vil se litt på størrelsesordenen av en slik effekt. Vi benytter ligninger fra utvekslingshypotesen, som ved homogene forhold og nøytral sjiktning gir :

$$N_f = - [K^2 \cdot U(z) \cdot N(z)] / [\ln(z/z_0)]^2 \quad (\text{lign. D8}),$$

hvor N_f er dråpefluksen som er lik avsetningshastigheten av dråper på underlaget, U og N er vindhastighet og dråpeantall i høyde z over bakken, z_0 er overflateruhet, 0.02 m på rullebanen av en flyplass, og K von Karman's konstant (0.41).

Ligning D8 viser at dråpeavsetningen øker med vindhastigheten, dråpeantallet, og overflateruheten. Vi antar at dråperadius ikke varierer så mye i et 30-50 m tykt grenselag, derved vil ligning D8 også gi et uttrykk for endring i vanninnhold og således den siktløstheten som kan ventes. Hvis f.eks. vinden måles i 10 meters høyde og sikten 2 meters høyde, har vi :

$$W_f \approx -[0.17 \cdot U(10) \cdot (2/10)^{0.15} \cdot W(2)] / [\ln(2/0.02)]^2 \quad (\text{lign. D9})$$

og

$$W_f \approx 0.006 \cdot U(10) \cdot W(2) \quad [g/m^2/s] \quad (\text{lign.D10}),$$

der W_f er vannavsetningshastighet [$g/m^2/s$] og W er vannavsetning, gitt som spesifikt vanninnhold [g/kg]. Ligningen viser at samlet avsetning på flyplassen etter en viss tid er tilnærmet proporsjonal med vindhastigheten.

Dersom vi følger en luftpakke som driver innover flyplassen, kan vannavsetningen i denne luftpakken uttrykkes ved :

$$\delta W = W_f \cdot \delta t \approx 0.006 \cdot U(10) \cdot \delta t \cdot W(2) = 0.006 \cdot \delta s \cdot W(2) \quad (\text{lign.D11}),$$

der δs representerer innstrømningslengden. Ligningen viser at vannavsetningen fra en slik luftpakke er uavhengig av vindhastigheten, så lenge denne er såvidt sterk at vinden er turbulent, dvs. over 3 m/s. Dette medfører at siktendringen over flyplassen, målt etter f.eks. 3 km innstrømning, er uavhengig av vindhastigheten.

Dersom sikten (MOR) var 50 m ved rullebanens innstrømningsende, og dråperadius er 2-4 μ , vil dette gi en vannavsetning etter 3 km på 3-6 g i en enhets søyle på 1 m^2 . Dette vil da være omtrent den vannmengde som finnes i en 10 m høy luftsoyle (merk vannøkning med høyden over underlaget), eller det svarer til den vannmengde som frigjøres ved avkjøling i en luftsoyle på 30 - 60 m som heves 50 m ved 0 °C. Dette er minst en størrelsesorden mindre enn det som frigjøres ved heving av luftmassene over Hurum.

Det er altså ikke sannsynlig at avsetningseffekten gir målbar siktlette på en fremtidig Hurum-flyplass. Årsaken er at typiske forhold ved lav sikt er tykke, fuktige luftmasser som strømmer innover plataet. Etter at alle profiler er i likevekt, vil påføringen ovenfra være lik avsetningen på underlaget. Siden det er snakk om vannholdige skyer, er det så mye dråper å ta av, at avsetningen har svært liten betydning, før det er snakk om distanser som er 1 til 2 størrelsesordner større enn rullebanelengden. En kan jamføre med vind, der det er rikelig energi i de høyere luftlag, slik at etter at et nytt grenselag er kommet i likevekt, vil det ta lang tid før vindhastigheten bremses ved uttapping av vindenergi.

D3. AKTIVITETER PÅ EN FREMTIDIG FLYPLASS (VARME- OG FUKTIGHETSUTSLIPP)

En flyplass i drift produserer varme og vanndamp. Den varmemengde som frigjøres vil føre til siktforbedring. Tilførsel av fuktighet vil gi siktforverring. Vi vil se nærmere på disse effekter.

Det meste av energien som brukes på flyplassen slippes ut i luften. Med moderne isolasjon, vil dette være varm luft som slippes ut gjennom dører, vinduer og ventilasjonsanlegg. Utslippene vil være punktkilder i forhold til flyplassens areal. En effekt av varme- og fuktighetsutslipp vil måtte finnes innenfor avgrensede "plumer" i flyplassområdet. Disse luftvolumenes lokalisering bestemmes av vindretning, vindhastighet og turbulensparametre. Med de tåke- og vindforhold som er beskrevet, vil eventuelle effekter finnes i svært begrensede lokaliteter.

Utslippsluft må erstattes av uteluft, som ved tåke er mettet av vanndamp. Denne vanndampmengde vil ikke kunne forsvinne i en vanlig isolert bygning med oppvarming, hvis utetemperaturen er lavere enn innetemperaturen. Hvis f.eks. utetemperaturen er 5 °C, og innetemperaturen er 20 °C, svarer dette til et vanndampinnhold på 6.8 g/m³, og en relativ fuktighet på 100 % ved 5 °C og 39 % ved 20 °C. En relativ fuktighet på 39% vil føre til at innelufta vil oppta en del fuktighet fra omgivelsene (direkte utslipp fra personer, vasking, vannsøl, bad, kjøkken, serveringssteder osv.).

I flg. Norges Byggforskningsinstitutt (E. Skåret, pers.komm.) går det meste av luften ut gjennom ventilasjonsanlegg der disse er installert. Dette må sies å gjelde kontorer, ventehaller, oppholdsrom, etc.). Absolutt fuktighet (AF) i luft som slippes ut gjennom ventilasjon, er da lik absolutt fuktighet i erstatningslufta + produsert fuktighet i innemiljøet:

$$AF_{UT} = AF_{INN} + AF_{PROD} \quad (\text{lign.D12}).$$

Lufta som slippes ut blandes med tåkelufta i omgivelsene. Siden metningskurven for vanndamp krummes, risikerer vi at blandingskurven skjærer metningskurven for vanndamp, og kondensasjon inntreffer ved en høyere temperatur enn utetemperaturen. Tabell D2 viser hvilket fuktighetsinnhold innelufta må ha for at denne kondensasjonstemperaturen skal heves.

Tabell D2.

Grense for fuktighetsinnhold i inneluft ved 20 °C, som blandes med mettet uteluft, for at metningstemperaturen i blandingslufta skal heves signifikant i forhold til utelufta.

UTETEMPERATUR	INNELUFT, 20 °C		
	RF	e(inne)	e(inne)-e(ute)
100% RF			
0 °C	65 %	15.2 mb	9.1 mb
5 °C	75 %	17.5 mb	8.8 mb
10 °C	85 %	19.9 mb	7.6 mb

Ved 5 °C og 75 % relativ fuktighet i innelufta tangeres metningskurven. Ved 80 % heves metningstemperaturen i blandingslufta til 8 °C. En differans i vanninnhold mellom inneluft og uteluft på 8-9 mb vandamptrykk er 6-7 g/m³, som altså er den omtrentlige grense for at produsert fuktighet i bygningene skal bidra til økning av kondensasjonstemperaturen i "varmluftsplumen" fra bygningene.

Kontoranlegg skal etter bygningsforskriftene dimensjoneres for en luftutskiftning på 5 m³/time/person. En person slipper ca 1 liter vann/døgn, eller 0.04 liter vann/time ut i lufta i form av vandamp ved normal aktivitet. Dersom luftingsanlegget kjøres på dimensjoneringsgrensen, vil altså vandampproduksjonen være 8 g/m³, hvilket vil gi den signifikante økning av blandingsluftas kondensasjonstemperatur. I ventehaller, spisesteder, kjøkken og bad vil luftutskiftningen være større, men der er også fuktighetskildene større. I hangarer e.l. vil ventileringen være mindre, og fuktighetskildene færre. Dette medfører at fuktighetsutslippene på en flyplass kan bidra til siktforverring, evt. til å motvirke siktforbedring som skyldes varmeutslipp alene.

All motorisert trafikk på flyplassen fører til varme og fuktighetsutslipp. Det er f.eks. et forholdsvis stort utslipp fra fly som lander og tar av. Det er uvisst om dette gir positive eller negative sikteeffekter.

Varmeutslippet medfører også økt turbulens. Dette vil kunne endre dråpeprofilet. Men profilene vil være irregulære, slik at det ikke vil være lett å si hvilken effekt dette vil få for siktforholdene.

Konklusjonen må bli at det er vanskelig å si om aktiviteten på en ferdig flyplass fører til forbedring eller forverring av sikten. Men vi må huske på at tåkelufta driver innover området med en vindhastighet på 5-10 m/s, slik at effektiv utblanding foregår. Effektene blir derfor trolig små.

APPENDIKS E. VINDFORHOLD I OMRÅDET.

E1. VINDFORHOLD PÅ EN FREMTIDIG FLYPLASS.

Bruk av vindmålinger og vindtunneldata

Vi er interessert i å beskrive vindforholdene i landingsområdet på en fremtidig flyplass, 10 m over rullebanen. Vi benytter da følgende metodikk:

Vinden måles i et fast referansenivå i området (fullskala måling, f.sk.) over en periode på 1 - 2 år. En kan da anta at vinden 10 m over rullebanenivået på en fremtidig flyplass kan beskrives ved å multiplisere vinden i målepunktet med en overgangsfaktor. Denne faktor, k_f , søkes funnet ved å gjøre vindtunnelforsøk på en terrengmodell av området, både før og etter utbygging, men med samme bakgrunnsvind.

$$\frac{U(10m, f.sk., etter utb.)}{U(Ref., f.sk., før utb.)} = \frac{U(10m, mod., etter utb.)}{U(Ref., mod., før utb.)} = k_f,$$

som gir lign. E1:

$$U(10m, f.sk., etter utb.) = k_f \cdot U(Ref., f.sk., før utb.).$$

Nå er det meget viktig at vinden i referansepunktet representerer et såvidt stort område at informasjon ikke går tapt ved skalering fra full skala til modell. Det er derfor viktig at målemastene er godt eksponerte. Det er også viktig å måle så høyt over bakken som praktisk mulig. På grunn av den ujevne topografien i Hurumområdet har en valgt å benytte to referansepunkter, og midle måleverdiene i disse to punktene. Denne middelveiden kan så koples til det referansepunktet som har lengst måleserie og resultater herfra kan koples til langtidsserier på godt eksponerte værstasjoner.

Vindmåledata fra fullskala master på Stikkvannskollen (desember 1988 -) og Nilsåsen (august 1989 -) brukes som fullskala målemaster. Det måles i 10, 18 og 30 m i disse master. Målepunktene i 30 m brukes som referansepunkter.

Ved SINTEF, NTH er det kjørt vindtunnelforsøk over Hurumlandet (13,14). Det er gjort målinger ved vind fra 180, 210 og 270°. Vi benytter målinger fra simulerte master for Stikkvannskollen, Nilsåsen og en målemast på nordre del av rullebane øst (mast NØ). Dessuten har vi brukt målinger fra 5 enkeltpunkter i 20 m's nivå som dekker nordre del av østre rullebane. Dette er det mest aktuelle landingsstedet. Gjennomsnittet av vindhastigheten i de 5 punktene beregnes (Tabell E1), og verdien reduseres til 10 m's nivå ved bruk av profiler fra masten (mast NØ) i området (Tabell E2). Dette gir 10 min. middelvind i 10 m's høyde i det mest aktuelle landingsområdet ($U(10m, mod. etter utb.)$), ved en fast referansehastighet.

Tabell E3 viser midlingen av modellerte vindmålinger fra Stikkvannskollen og Nilsåsen. Tabell E4 kopler overføringen fra vindtunnelen til full skala.

Tabell E1.

Målte middelvindhastigheter i vindtunnelen ved fastsatt referansehastighet, Uref.

Rullebane øst		Vindhastighet, m/s (20m's nivå)				
Vindretning	p.11	p.12	p.13	p.14	p.15	M
180°	9.2	9.8	9.9	9.9	10.1	9.8
210°	11.3	10.0	9.3	10.0	9.3	10.0
270°	9.2	9.3	7.7	8.9	9.3	8.9

Tabell E2.

Målte profilfaktorer fra målemast i vindtunnelen på rullebane øst (mast NØ) etter utbygging.

Vindretning	U(10)/U(20)
180°	0.97
210°	0.96
270°	0.83

Tabell E3.

Målte middelvindhastigheter fra Nilsåsen og Stikkvannskollen i vindtunnelen, før utbygging, ved fast referansehastighet, Uref.

Vindhastighet, m/s	180°	210°	270°
Nilsåsen (30m)	6.97	9.65	10.04
Stikkvannskollen(30m)	12.03	14.28	10.28
(U(S) + U(N))/2	9.50	11.97	10.16

Tabell E4.

Overføringsfaktorer (kf) for 10 min. middelvind hastighet (vindhastighet) fra midlere forhold mellom Stikkvannskollen og Nilsåsen (30 m's nivå, før utbygging) til 10 min. middelvindhastigheter i 10 m's nivå på nordre del av østre rullebane etter utbygging.

180°	$(0.97 \cdot 9.8)/9.50$	= 1.00
210°	$(0.96 \cdot 10.0)/11.97$	= 0.80
270°	$(0.83 \cdot 8.9)/10.16$	= 0.73

Siden vi har lengst serie med fullskala vinddata fra Stikkvannskollen, er det naturlig å bruke data fra denne stasjonen som referansestasjon i området. Nå er vindhastigheten noe forskjellig på Nilsåsen og Stikkvannskollen, slik at vi får en korreksjonsfaktor når vi skal benytte midlere forhold mellom de to stasjonene. Dette er vist i Tabell E5.

Tabell E5.

Overføringsfaktorer fra 10 min. middelvindhastighet på Stikkvannskollen (30m) til midlere forhold mellom Nilsåsen (30m) og Stikkvannskollen, full skala.

180°	$U(N) = 1.07 U(S) \Rightarrow (U(N)+U(S))/2 = 1.035 U(S)$
210°	$U(N) = 1.17 U(S) \Rightarrow (U(N)+U(S))/2 = 1.085 U(S)$
279°	$U(N) = 1.33 U(S) \Rightarrow (U(N)+U(S))/2 = 1.165 U(S)$

Det er verd å legge merke til et resultat som svekker tilliten til vindtunnelen. Vinden i 30 m's nivå på Stikkvannskollen viser vesentlig høyere verdier enn for Nilsåsen i S og SSV - sektor ved vindtunnelforsøkene (Tabell E3). Fullskalamålingene viser imidlertid at dette ikke er i samsvar med realitetene, fordi her er vindhastigheten (30m) sterkest på Nilsåsen (Appendiks E2). Dette kan skyldes randeffekter i modellen, eller det kan være at modellen ikke har klart å fange opp viktige egenskaper i vindfeltet. Bruk av middelveiden mellom hastigheten i 30 m's nivå for de to stasjonene fra modell og full skala, reduserer denne feilkilden.

Siden vi velger å bruke datarekken for Stikkvannskollen ved videre beregninger, må vi først transformere disse data til midlere forhold mellom Nilsåsen og Stikkvannskollen i full skala. (Tabell E5). Deretter må disse forholdene transformeres over til rullebane øst ved hjelp av vindtunnelen (Tabell E4). Dette er vist i Tabell E6.

Tabell E6.

Overføringsfaktorer fra fullskala 10 min. middelvindhastighet på Stikkvannskollen (30m, før utbygging) til 10 min. middelvindhastigheter i 10 m's nivå på nordre del av østre rullebane etter utbygging.

180°	$U(R.\emptyset, 10m) = 1.035 \cdot 1.00 \cdot U(S) = 1.04 U(S)$
210°	$U(R.\emptyset, 10m) = 1.085 \cdot 0.80 \cdot U(S) = 0.87 U(S)$
270°	$U(R.\emptyset, 10m) = 1.165 \cdot 0.73 \cdot U(S) = 0.85 U(S)$

Vi ser altså at målte fullskala verdier fra 30 m's mast på Nilsåsen og Stikkvannskollen omtrent svarer til forholdene 10 m over nordre del av rullebane øst etter utbygging for sørlig vind, mens vestlig og sørvestlig vind blir noe redusert.

Beregning av 2 min. gustfaktor og 2 min. max.vind

Ved sørlig vind (170 - 190°) er turbulensintensiteten, I (definert som standardavviket dividert på middelvinden) på Stikkvannskollen (10m) 23%, i (30m) 14%. På den planerte flyplass, nordre del av rullebane øst, er den 13 % i 10 m's nivå av målemasten, dvs. at turbulensen er lavere enn på kollen. Den høye turbulensintensitet på Stikkvannskollen skyldes at vinden stryker langs lengdeaksen på kollen. Det er ingen forsterkning pga. overstrømning i denne sektor. Ved sørsørvestlig (200 - 220°) vind strømmer derimot vinden mer på tvers av kollens akse. Dette fører til forsterkning av vindfeltet og lavere turbulens, hhv. 17% (10m) og 13% (30m). Turbulensforholdene ved nordlige del av østre rullebane (10m) er 15%, omtrent som på Stikkvannskollen.

Ved vestlig vind (260 - 280°) er vinden både på Stikkvannskollen og nordlige del av østre rullebane turbulent. På Stikkvannskollen har vinden strømmet over en skogdekket nabokolle og turbulensen er høy, 28% i 30 m's nivå, og 31% i 10m's nivå. Middelvinden er bremsert av nabokollen, men er så noe akselerert opp over selve Stikkvannskollen. På rullebanen i nordøst er turbulensintensiteten 26% i 10 m's nivå.

Ved antagelse om normalfordelte gustverdier er høyeste gustavvik med varighet t, fra middelverdien, proposjonalt med standardavviket, ST(u) av momentanverdiene :

$$U_{max}(t) - U(10min) = k(t) \cdot ST(u) \quad (\text{lign.E2})$$

Ved divisjon av begge sider med 10 min. middelvind, og innføring av gustfaktor som $U_{max}(t)/U(10min)$, får vi følgende sammenheng mellom turbulensintensitet og gustfaktor

$$G(t) = 1 + k(t) \cdot I \quad (\text{lign. E3})$$

k(t) kan nå finnes av statistiske normaltabeller. For 2 min. blir k(t) 0.85. Ved 13 % turbulensintensitet (I=0.13) blir $G(2min) = 1.11$, ved 15%, 1.13 og ved 26%, 1.22.

På Stikkvannskollen har vi målte verdier av både gustfaktorer (3 sek og 1 min) og turbulensintensitet. Målingene verifiserer lign.E3 når profilene er i likevekt, og vi får konstanter som er uavhengig av turbulens, nivå, stasjon, vindhastighet og vindretning, og tilnærmet lik det som kan finnes fra statistiske normalfordelingstabeller. Ved profiler ute av likevekt finnes avvik. Typiske målte verdier er 2.3 - 2.5 på de to stasjonene.

2 min. max. vind kan nå finnes fra Tabell E6 med $G(2min)=1.11$ for sørlig vind, 1.13 for sørsørvestlig vind og 1.22 for vestlig vind. Dette gir overføringsfaktorer på 1.15, 0.98 og 1.04 (se Tabell E7). Disse ligger alle meget nær 1, og siden det både eksisterer en rekke usikkerheter omkring vindtunnelforsøket og det er kjørt bare for et begrenset antall sektorer, velger vi å benytte 10 min. middelvind fra Stikkvannskollen som et direkte uttrykk for 2 min. max. vind 10 m over nordlige del av østre rullebane. Disse verdier vil således gå direkte inn i alle

beregninger av sidevindskomponenter.

Tabell E7.

Beregning av overføringsfaktorer fra U(30m, 10 min.), Stikkvannskollen til 2 min. max vind i nordre del av rullebane øst (10m's nivå) på en fremtidig flyplass i området.

180°	1.04 · 1.11	=	1.15
210°	0.87 · 1.13	=	0.98
270°	0.85 · 1.22	=	1.04

E2. VINDDATA FRA 1989 - 1990

Vi har sett på vindretningsforskjeller mellom Nilsåsen og Stikkvannskollen. Figur E1 viser at det er visse avvik omkring SSV og NV. Årsakene er nok føringseffekter på Stikkvannskollen. En opprinnelig sørlig til sørvestlig vind dreies 10 grader med urviseren på Stikkvannskollen, mens en opprinnelig nordvestlig vind tilsvarende dreier 10 grader mot klokken. Dette fører til at sidevindskomponenter ved rullebaneretning 150 - 170 grader, beregnet for sørlig til sørvestlig vind på Stikkvannskollen, blir underestimert.

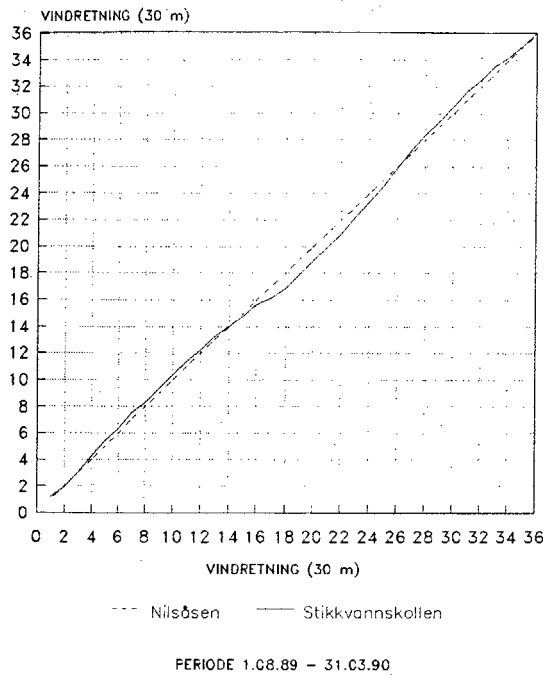
Figur E2 viser at det blåser mer på Nilsåsen enn på Stikkvannskollen i sørlig, sørvestlig, vestlig og nordvestlig sektor (160 - 360°), mens østlige og sørøstlige vinder er noe sterkere på Stikkvannskollen.

Tabell E8 - E14 viser vindprofiler, turbulensintensiteter, kastfaktorer, friksjonshastigheter og ruhetsparametre fra Stikkvannskollen. Ruhetsparametrene er beregnet fra middelvindprofiler og fra turbulensintensiteter. Ved enkelte vindretninger (210 - 300°) er strømmingen over kollen forsterket i 10 m's nivået i forhold til den turbulens som er skapt av skog og koller i nærheten. Beregnet ruhet fra profilfaktorer blir da meningsløs.

Tabellene illustrer ellers at ruheten i mange sektorer ligger nær det som kan forventes på en ferdig flyplass (0.02m), men i enkelte sektorer noe høyere.

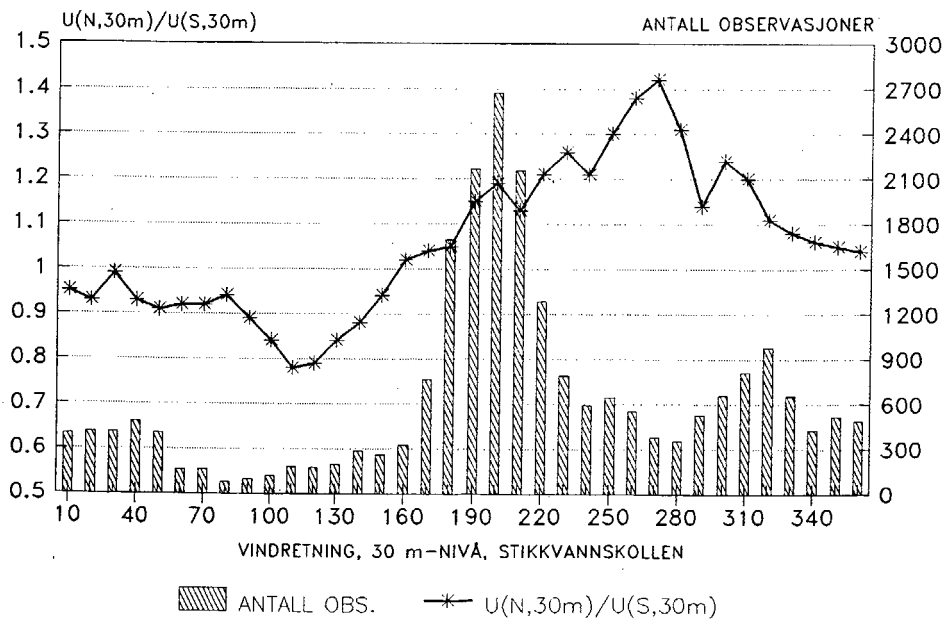
Tabellene illustrerer også at forholdene i 10 m's nivå er lokalt påvirket i enkelte vindretninger. F.eks. er turbulensintensiteten (Tabell E10) ved østlig (50 - 100°), sørlig (170 - 190° og nordvestlig (310 - 340°) vind spesielt høy i dette nivå. Den faller raskere av opp mot 30 m's nivået enn middelvinden.

SAMMENLIGNING AV VINDRETNING
STIKKVANNSKOLLEN - NILSÅSEN
KRAV: $U_{(30m)} > 3.0 \text{ m/s}$



Figur E1.
Sammenligning av vindretning, Stikkvannskollen - Nilsåsen.

STIKKVANNSKOLLEN - NILSÅSEN
01.08.89 - 31.03.90



Figur E2.
Sammenligning av vindhastighet, Stikkvannskollen - Nilsåsen.

Tabell E8. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

Forholdet mellom vindhastigheten i nivåene
 30/18, 30/10 og 18/10.

Vindretning i 30 m-nivå, V(30m) > 5.0m/s.

DD	VF12	VF13	VF23	N12	N13	N23
10	1.122	1.255	1.117	800	798	798
20	1.118	1.226	1.096	659	659	659
30	1.136	1.241	1.092	556	555	555
40	1.136	1.251	1.101	566	566	566
50	1.105	1.242	1.123	455	455	455
60	1.134	1.345	1.184	309	309	309
70	1.182	1.465	1.238	260	260	260
80	1.194	1.494	1.250	170	170	170
90	1.160	1.405	1.211	124	124	124
100	1.110	1.294	1.165	222	222	222
110	1.169	1.243	1.123	342	342	342
120	1.089	1.239	1.137	278	278	278
130	1.103	1.266	1.148	279	279	279
140	1.109	1.302	1.174	358	358	358
150	1.114	1.319	1.184	321	321	321
160	1.133	1.354	1.194	441	441	441
170	1.147	1.384	1.205	1149	1149	1149
180	1.140	1.366	1.200	3335	3335	3335
190	1.100	1.290	1.172	3488	3488	3488
200	1.064	1.199	1.127	4472	4472	4472
210	1.051	1.148	1.091	3661	3661	3661
220	1.098	1.137	1.069	1757	1757	1757
230	1.112	1.218	1.100	1141	1141	1141
240	1.091	1.193	1.093	784	784	784
250	1.103	1.199	1.087	799	799	799
260	1.124	1.220	1.087	646	646	646
270	1.110	1.197	1.078	508	508	508
280	1.100	1.177	1.069	504	504	504
290	1.085	1.160	1.068	841	841	841
300	1.102	1.218	1.104	849	849	849
310	1.110	1.261	1.135	1197	1197	1197
320	1.108	1.263	1.140	1412	1401	1401
330	1.130	1.308	1.158	889	796	796
340	1.166	1.365	1.170	589	555	555
350	1.142	1.292	1.132	636	629	629
360	1.117	1.245	1.115	682	682	679

Tabell E9. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

GF(1-60 s/10 min) / nivå (30,18,10 m over bakken).
 Vindretning i 30 m-nivå, V(30m) > 5.0m/s.

DD	3/30	3/18	3/10	60/30	60/18	60/10	N3s30m	N3s18m	N3s10m
10	1.40	1.47	1.56	1.19	1.21	1.23	800	798	798
20	1.37	1.44	1.51	1.18	1.19	1.21	659	659	659
30	1.42	1.51	1.58	1.19	1.22	1.24	556	555	555
40	1.35	1.44	1.50	1.17	1.21	1.22	566	566	566
50	1.33	1.39	1.48	1.16	1.19	1.21	455	455	455
60	1.36	1.46	1.61	1.18	1.22	1.27	309	308	308
70	1.41	1.55	1.76	1.19	1.26	1.33	260	260	260
80	1.46	1.62	1.84	1.22	1.29	1.37	170	170	170
90	1.47	1.58	1.77	1.21	1.27	1.33	124	124	124
100	1.40	1.48	1.59	1.19	1.22	1.27	222	222	222
110	1.38	1.49	1.54	1.19	1.26	1.24	342	342	342
120	1.43	1.49	1.58	1.20	1.22	1.24	278	278	278
130	1.43	1.51	1.60	1.21	1.24	1.26	279	279	279
140	1.40	1.48	1.59	1.19	1.22	1.26	358	358	358
150	1.37	1.46	1.59	1.17	1.21	1.25	321	321	321
160	1.39	1.50	1.62	1.19	1.23	1.26	441	441	441
170	1.39	1.50	1.65	1.19	1.23	1.26	1149	1149	1148
180	1.33	1.44	1.58	1.16	1.20	1.23	3335	3335	3322
190	1.32	1.38	1.50	1.14	1.17	1.21	3488	3488	3479
200	1.33	1.37	1.45	1.15	1.16	1.20	4472	4472	4463
210	1.31	1.34	1.41	1.14	1.15	1.18	3661	3661	3659
220	1.36	1.40	1.44	1.15	1.16	1.17	1757	1756	1756
230	1.43	1.50	1.58	1.19	1.21	1.24	1141	1141	1138
240	1.49	1.54	1.62	1.22	1.24	1.28	784	784	771
250	1.57	1.63	1.70	1.25	1.26	1.29	799	799	791
260	1.70	1.78	1.84	1.30	1.32	1.35	647	647	644
270	1.73	1.80	1.87	1.32	1.34	1.37	508	508	507
280	1.58	1.64	1.70	1.27	1.28	1.30	504	504	503
290	1.43	1.48	1.54	1.21	1.23	1.26	841	841	838
300	1.46	1.53	1.62	1.22	1.24	1.28	849	849	847
310	1.42	1.49	1.61	1.20	1.22	1.26	1197	1197	1194
320	1.38	1.45	1.57	1.18	1.21	1.25	1412	1401	1395
330	1.32	1.41	1.52	1.15	1.18	1.22	889	796	793
340	1.37	1.46	1.57	1.17	1.19	1.21	589	555	554
350	1.46	1.51	1.58	1.19	1.20	1.22	636	630	630
360	1.46	1.51	1.58	1.17	1.19	1.21	681	681	679

Tabell E10. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

Longitudinal turbulensintensitet i nivåene
 30, 18 og 10 m over bakken .
 Vindretning i 30 m-nivå, V(30m) > 5.0m/s.

DD	IL30	IL18	IL10	N12	N13	N23
10	.217	.236	.255	800	798	798
20	.169	.192	.217	659	659	659
30	.186	.212	.229	556	555	555
40	.152	.187	.208	566	566	566
50	.134	.168	.203	455	455	455
60	.153	.207	.267	309	308	306
70	.171	.251	.336	260	260	260
80	.188	.275	.368	170	170	169
90	.186	.251	.324	124	124	123
100	.160	.200	.259	222	222	222
110	.154	.181	.224	342	334	342
120	.170	.194	.227	278	278	278
130	.174	.204	.236	279	279	279
140	.163	.196	.237	358	358	358
150	.154	.190	.239	321	321	321
160	.162	.207	.256	441	441	441
170	.169	.219	.270	1149	1149	1148
180	.146	.198	.250	3335	3335	3334
190	.128	.161	.221	3488	3488	3487
200	.129	.144	.196	4472	4472	4470
210	.126	.134	.174	3661	3660	3660
220	.147	.151	.175	1757	1750	1757
230	.180	.197	.225	1141	1139	1141
240	.202	.220	.248	784	784	784
250	.234	.251	.272	798	799	799
260	.289	.308	.324	647	647	647
270	.297	.312	.326	508	508	508
280	.240	.253	.270	504	504	504
290	.181	.196	.220	841	841	839
300	.186	.205	.240	848	848	848
310	.172	.193	.239	1197	1197	1197
320	.157	.185	.234	1412	1401	1400
330	.139	.175	.225	889	795	795
340	.167	.206	.249	589	555	555
350	.235	.258	.280	635	629	629
360	.278	.284	.291	681	681	679

Tabell Ell. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

EkspONENT i potensformelen ved bruk av nivåene
 30/18, 30/10 og 18/10.
 Vindretning i 30 m-nivå, $V(30m) > 5.0m/s$.

DD	n12	n13	n23	N12	N13	N23
10	.225	.204	.192	796	795	786
20	.217	.186	.168	658	652	630
30	.250	.196	.153	553	554	547
40	.249	.202	.168	566	566	557
50	.196	.196	.197	454	455	453
60	.245	.270	.291	309	308	308
70	.326	.345	.362	260	260	260
80	.345	.363	.378	170	170	170
90	.289	.307	.323	124	124	124
100	.203	.232	.258	222	222	222
110	.222	.197	.225	342	342	332
120	.167	.194	.219	278	278	276
130	.191	.213	.234	279	279	278
140	.201	.239	.272	358	358	358
150	.211	.251	.286	321	321	321
160	.245	.275	.301	441	441	441
170	.268	.294	.317	1148	1149	1149
180	.252	.283	.311	3331	3332	3332
190	.186	.231	.270	3484	3488	3484
200	.121	.164	.203	4419	4469	4471
210	.104	.124	.149	3440	3643	3652
220	.133	.116	.120	1663	1746	1738
230	.200	.178	.165	1138	1141	1136
240	.168	.158	.150	783	784	784
250	.191	.164	.141	793	799	798
260	.225	.178	.138	646	647	647
270	.203	.163	.127	507	508	508
280	.185	.147	.114	504	504	500
290	.158	.133	.112	839	841	841
300	.189	.178	.168	849	849	849
310	.204	.210	.215	1194	1196	1196
320	.200	.211	.223	1406	1401	1398
330	.239	.243	.249	887	796	795
340	.301	.282	.266	587	555	555
350	.259	.230	.207	634	630	630
360	.217	.200	.185	680	680	677

Tabell E12. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

Friksjonshastigheten, u^* , bestemt ut fra nivåene
 30/18, 30/10 og 18/10.
 Vindretning i 30 m-nivå, $V(30m) > 5.0m/s$.

DD	u12	u13	u23	N12	N13	N23
10	.615	.532	.460	796	795	786
20	.570	.462	.368	658	652	630
30	.626	.473	.339	553	554	547
40	.626	.484	.361	566	566	557
50	.495	.469	.447	454	455	453
60	.614	.618	.623	309	308	308
70	.786	.747	.713	260	260	260
80	.810	.762	.720	170	170	170
90	.728	.698	.672	124	124	124
100	.558	.593	.622	222	222	222
110	.517	.506	.497	342	342	332
120	.457	.499	.536	278	278	276
130	.494	.517	.537	279	279	278
140	.573	.634	.687	358	358	358
150	.612	.674	.728	321	321	321
160	.704	.729	.750	441	441	441
170	.854	.856	.858	1148	1149	1149
180	.808	.831	.851	3331	3332	3332
190	.602	.694	.775	3484	3488	3484
200	.393	.524	.638	4419	4469	4471
210	.289	.372	.445	3440	3643	3652
220	.298	.295	.292	1663	1746	1738
230	.507	.445	.392	1138	1141	1136
240	.455	.417	.383	783	784	784
250	.513	.427	.353	793	799	798
260	.624	.475	.346	646	647	647
270	.562	.435	.324	507	508	508
280	.487	.375	.277	504	504	500
290	.427	.349	.282	839	841	841
300	.508	.460	.418	849	849	849
310	.590	.577	.565	1194	1196	1196
320	.580	.583	.586	1406	1401	1398
330	.646	.611	.583	887	796	795
340	.833	.725	.626	587	555	555
350	.711	.597	.497	634	630	630
360	.583	.507	.443	680	680	677

Tabell E13. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

Ruhetsparameteren, zoA, bestemt ut fra nivåene
 30/18, 30/10 og 18/10.

Vindretning i 30 m-nivå, V(30m) > 5.0m/s.

DD	zo12	zo13	zo23	N12	N13	N23
10	.262	.048	.015	796	795	786
20	.127	.015	.223	658	652	630
30	.250	.004	.002	553	554	547
40	.234	.002	-1.000	566	566	557
50	.049	.003	.005	454	455	453
60	.229	.116	.148	309	308	308
70	.861	.609	.533	260	260	260
80	1.122	.767	.606	170	170	170
90	.522	.288	.316	124	124	124
100	.045	.033	.074	222	222	222
110	.375	.008	.974	342	342	332
120	-1.000	-1.000	.013	278	278	276
130	.032	.019	.076	279	279	278
140	.049	.032	.088	358	358	358
150	.033	.012	.045	321	321	321
160	.116	.039	.047	441	441	441
170	.224	.114	.101	1148	1149	1149
180	.117	.054	.092	3331	3332	3332
190	.029	.012	.013	3484	3488	3484
200	.029	.011	.005	4419	4469	4471
210	.043	.009	.009	3440	3643	3652
220	.114	.002	.192	1663	1746	1738
230	.178	.007	.078	1138	1141	1136
240	.125	.017	-1.000	783	784	784
250	.137	.011	.003	793	799	798
260	.161	.013	.008	646	647	647
270	.105	.005	-1.000	507	508	508
280	.127	.003	-1.000	504	504	500
290	.043	.003	-1.000	839	841	841
300	.077	.006	-1.000	849	849	849
310	.069	.008	-1.000	1194	1196	1196
320	.065	.010	.010	1406	1401	1398
330	.177	.032	.036	887	796	795
340	.650	.087	.025	587	555	555
350	.284	.029	.008	634	630	630
360	.136	.003	.007	680	680	677

Tabell E14. Vindstatistikk fra Stikkvannskollen.

Første record : 10/12 - 1988 kl.1520
 Siste record : 31/ 3 - 1990 kl.2350
 Antall rec. : 63064
 Stasjon : Hurum - Stikkvannskollen

Ruhetsparameteren, zoB, bestemt av longitudinal
 turbulensintensitet i nivåene 30, 18 og 10 m.
 Vindretning i 30 m-nivå, V(30m) > 5.0m/s.

DD	zo30	zo18	zo10	N12	N13	N23
10	.455	.321	.222	800	798	798
20	.180	.150	.130	659	659	659
30	.237	.228	.161	556	555	555
40	.116	.148	.113	566	566	566
50	.087	.111	.110	455	455	455
60	.127	.234	.281	309	308	306
70	.176	.405	.531	260	260	260
80	.235	.536	.670	170	170	169
90	.201	.382	.466	124	124	123
100	.089	.161	.234	222	222	222
110	.072	.102	.127	342	334	342
120	.108	.118	.127	278	278	278
130	.119	.148	.149	279	279	279
140	.079	.120	.151	358	358	358
150	.059	.104	.156	321	321	321
160	.090	.163	.207	441	441	441
170	.111	.208	.253	1149	1149	1148
180	.056	.134	.192	3335	3335	3334
190	.035	.061	.137	3488	3488	3487
200	.033	.037	.093	4472	4472	4470
210	.032	.027	.057	3661	3660	3660
220	.077	.055	.058	1757	1750	1757
230	.198	.162	.151	1141	1139	1141
240	.284	.225	.195	784	784	784
250	.512	.375	.272	798	799	799
260	1.007	.724	.462	647	647	647
270	1.115	.762	.481	508	508	508
280	.593	.408	.282	504	504	504
290	.224	.174	.145	841	841	839
300	.224	.190	.189	848	848	848
310	.156	.152	.184	1197	1197	1197
320	.120	.140	.175	1412	1401	1400
330	.116	.150	.168	889	795	795
340	.233	.238	.226	589	555	555
350	.584	.447	.303	635	629	629
360	.892	.552	.327	681	681	679

SLUTTORD

Hurum-prosjektet har engasjert følgende personer på Det norske meteorologiske institutt :

Instrumentavdelingen :

Ove Grasbakken (ansvarlig for instrumentering og teknisk vedlikehold)

Gunnar Meyer
Carl Kolderup Jensen
Ragnar Brækkan

Klimaavdelingen :

Lars Andresen (daglig leder, juli 88 - august 89)
Per Ove Kjensli (daglig leder, august 89 -)
Knut Harstveit
Margareth Hansen
Henning Halvorsen
Nils O. Langgård
Ruth Arntzen
Else Blakarstugun
Anne Eriksen El Ansari
Tove Langgård
Per Olav Polle

Avdeling for flymeteorologi :

Kristen Gislefoss

Avd. for øk. og pers. :

Jan-Erik Evnum (tegner)

Hurum-prosjektet har vært (og er fortsatt) et arbeidskrevende og tidkrevende prosjekt. Jeg takker alle medarbeidere for helhjertet innsats.

Prosjektleder Bjørn Aune