

DNMI - RAPPORT

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

ISBN

RAPPORT NR.

7/88 KLIMA

DATO

17.03.1988

TITTEL

FROSTRØYK OG DALSTRATUS I GUDBRANDSDALEN

Analyse av observasjoner ved osen av Vågåvatnet.

UTARBEIDET AV

PER ØYVIND NORDLI

OPPDRAGSGIVER

STATKRAFT

OPPDRAGSNR.

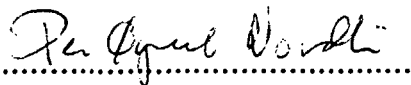
SAMMENDRAG

Sikt, maksimalhøgd og utbreiing av frostrøyk vart observert ved osen av Vågåvatnet gjennom 14 vintrar.

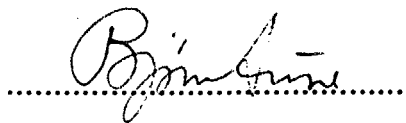
Sannsynet for frostrøyk vart funne som funksjonar av såkalla frostrøykindeksar. Dei indeksane som nytta kombinasjonar av vassstemperatur, lufttemperatur og skydekke, gav dei beste frostrøykprognosane.

Over Vågåvatnet danna det seg stundom låge lagskyer, som var avgrensa av sjølve dalen, dalstratus. Desse skyene kom seks gonger så ofte når Vågåvatnet var oppe som når det var islagt. Den opne vassflata vart funnen å vera årsaka til dette.

UNDERSKRIFT



Per Øyvind Nordli
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

I N N H A L D

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
1 SAMANDRAG OG KONKLUSJON	2
2 FROSTRØYK OG FROSTRØYKOBSERVASJONAR PÅ VÅGÅMO	5
2.1 Generelt om frostrøyk	5
2.2 Stad og topografi	5
2.3 Meteorologiske og klimatologiske data	7
2.4 Frostrøykobservasjonane	8
2.5 Største høgda til frostrøyken	12
2.6 Sikt inne i frostrøyken	13
3 GJENNOMGANG AV OBSERVASJONSMATERIALET	14
3.1 Innleiing	14
3.2 Frostrøyk under temperaturendring	14
3.3 Frostrøyk under skiftande skydekke	15
3.4 Korleis stabiliteten i lufta påverkar frostrøyken	16
3.5 Overgang, frostrøyk - dalstratus	18
3.6 Ein stabil dalstratussituasjon	19
3.7 Langtransport av frostrøyken	19

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
7 APPENDIKS II, KATEGORISERTE DATA	59
8 APPENDIKS III, SUBROUTINE FOR FROSTRØYKUTREKNING	61
8.1 Vilkåra for bruken av rutinen	61
8.2 Praktisk bruk av rutinen	61
8.3 Subrutinen skrivi i FORTRAN	62
9 APPENDIKS IV, DAL-STRATUS I OTTADALEN	65
9.1 Emne	65
9.2 Definisjonar	65
9.3 Observerings- og grupperingsteknikk	65
9.4 Areal av vatn	66
9.5 Islegging	66
9.6 Dalstratus-statistikk for Vågåmo	66
9.7 Lærerik situasjon: 19. - 23. november 1974	71
9.8 Teoretisk del	74
9.8.1 Det generelle årsakskomplekset som fører til skyer	74
9.8.2 Om avkjølingsårsak: Kontakt med kald flate	74
9.8.3 Ekte dalstratus primært produsert av ope vatn	76
9.8.4 Ekte dalstratus sekundert produsert av ope vatn	76
9.8.5 Uekte dalstratus	76

S Y M B O L L I S T E

N	: Samla skydekke
T_s	: Temperaturen i vassoverflata
T_a	: Lufttemperaturen på stasjonen 1461 Vågå - Klones
T_r	: Lufttemperaturen på stasjonen Råstad
T_k	: Kritisk temperatur for kondensasjon av vassdamp
T_{sa}	: $T_s - T_a$
q	: Spesifikk råme
r	: Blandingshøvet for vassdamp
k_q	: Molekylær diffusjonskoeffisient for latent varme
k_T	: Molekylær diffusjonskoeffisient for følbar varme
f	: U/100, Relativ råme
L_v	: Spesifikk kondensasjonsvarme for vassdamp
R_v	: Spesifikk gasskonstant for vassdamp.
I_i	: Verdien av frostrøykindeks I for observasjon nr. i
p(I)	: Sannsynet for frostrøyk når indeksen er I
h_x	: Maksimal høgd til overkant av frostrøyken rekna frå dalbotnen

Definisjon av spesielle frostrøykindeksar:

A	: $T_s - T_a$
B	: $T_k - T_a$
C	: $T_s - T_a - 0,77^\circ \cdot N = A - 0,77^\circ \cdot N$
D	: $T_k - T_a - 0,77^\circ \cdot N = B - 0,77^\circ \cdot N$
E	: $T_s - T_a + 0,84(T_r - T_a) = A + 0,84(T_r - T_a)$

Teoretisk skulle også relativ råme i lufta spela ei rolle for frostrøykdanninga. To av indeksane vart utvida ved å ta med relativ råme utan at dette gav seg mælbare utslag i resultatet.

Det vart også prøvd å trekkje stabiliteten i lufta inn i ein av frostrøykindeksane. Som mål for stabiliteten vart differensen i lufttemperatur mellom Råstad og Klones nytta. Råstad er ein privatstasjon som ligg oppe i ei dalside om lag 200 m over Klones. Indeksen som inneheldt ein kombinasjon av lufttemperatur og stabilitet, gav dårlegare resultat enn ein annan indeks som inneheldt ein kombinasjon av lufttemperatur og skydekke.

Ved hjelp av utrekna frostrøykindeksar og dei meteorologiske observasjonane vart det funne kor ofte det etter modellen kunne ha vore frostrøyk i laupet av ein 30-årsperiode. Det synte seg at sannsynet for frostrøyk varierte gjennom døgnet. Størst var sannsynet for frostrøyk ved 7-tida om morgonen, minst var sannsynet ved 3-tida om eftanen. Resultata er sette opp i ramma under der F_1 tyder all frostrøyk utan omsyn til styrke, F_2 er all velutvikla frostrøyk og F_3 er alle tilfella av frostrøyk som breidde seg lenger utover enn det isfrie området der frostrøyken vart danna.

Frostrøyk i gje.s. pr. sesong	Klokka	Tilfelle pr. ses.		
		F_1	F_2	F_3
Mest frostrøyk	07	44	33	17
Minst frostrøyk	15	32	24	13
Medel over døgnet	0 - 23	38	29	15

For å lette utrekningane av frostrøyk, vart det laga rekne-maskinprogram til føremålet. Sjølve utrekningane vart gjorde i ei subrutine som er attgjeven i rapporten. Rutinen kan under visse vilkår også brukast utafør Vågåmo.

Ved hjelp av rutinen er det mogleg å ta omsyn til vass-temperatur, lufttemperatur, skydekke og relativ råme når talet på frostrøyktilfelle skal finnast. I Vågå er det derimot sjeldan vind større enn 2 m/s under frostrøyk. Det var difor ikkje mogleg å få testa kva vinden hadde å seia for frostrøykdanninga. Frå andre stader veit vi at vind gjer sannsynet for frostrøyk mindre. Dersom rutinen blir brukt på stader der vind og kulde er vanlege kombinasjonar, vil

2 FROSTRØYK OG FROSTRØYKOBSERVASJONAR PÅ VÅGÅMO

2.1 Generelt om frostrøyk

Frostrøyk er ei form for tåke som kan koma i stand over isfritt vatn. Fenomenet er vanlegast om hausten og om vinteren over opne straumdrag i elvar eller over isfrie fjordar.

Luft inneheld vatn både i form av vassdamp og ørsmå vassdråpar. Di høgare temperaturen er i luftmassen, di meir vassdamp kan lufta innehalde. Når lufta har teke opp i seg så mykje vassdamp som mogleg, seier ein at ho er metta. Ved -20° tilsvarar det om lag 1 g pr. kubikkmeter luft, ved $+20^{\circ}$ kan same luftmassen innehalde 17 g vassdamp! Vassdampen er usynleg for auga. Dei ørsmå vassdråpane er for små til at ein kan sjå kvar einskild av dei, men samla set dei ned sikta og dannar tåke. Det er altså dråpane som er sjølve frostrøyken og som i einskilde tilfelle kan gjera menneskelege aktivitetar vanskelegare. Som døme kan nemnast bilkøyning i mørke når frostrøyken breier seg innover vegbanen. Da er ofte fjernljuset på bilen til liten nytte og farten må reduserast. I spesielt kaldt ver kan også frostrøyk innehalde iskrystallar som også set ned sikta.

Frostrøyk kan berre koma i stand når den isfrie vassflata er varmare enn den omgjevande lufta. Det vil da alltid fordampe frå vassflata samstundes som lufta over vatnet blir vermt opp slik at ho letnar. Dermed vil det bli sett i gang ein vertikal luftstraum over vassflata, og luft som før låg over land, sig utover vatnet. Når denne lufta kjem i kontakt med vatnet, kan ho i sin tur bli overmetta med vassdamp slik at ein kan observere frostrøyk. Da blir strøymingsbiletet over elva gjort synleg i det ein kan følgje vassdråpane (d.e. frostrøyken) på veg oppover. Det syner seg at rørsla er mykje kaotisk.

2.2 Stad og topografi

Prosjektet vart gjennomført i Vågå i Ottadalen som er ei grein av Gudbrandsdalen, figur 2.1. I dalbotnen renn elva Otta. I det ho passerer Vågå, er retninga både på elv og dal

2.3 Meteorologiske og klimatologiske data

På Klones landbruksskule har det vore ein ordinær meteorologisk verstasjon i drift sidan 1949. Klones ligg nær Vågåvatnet om lag ein km vestafor utlaupsosen. I perioden frå 1949 til desember 1976, heitte stasjonen 1460 Vågåmo (sjølv om stasjonen altså ikkje låg i bygdesentret) og var driven manuelt. I mars 1977 vart stasjonen automatisert ved hjelp av ein Aanderaa dataloggar og observasjonsprogrammet innskrenka til å gjelde vind, temperatur og relativ råme. Stasjonen fekk da namnet 1461 Vågå - Klones, men følarane for temperatur og relativ råme vart sette inn i same instrumenthytta som tidlegare.

Vågå er godt skjerma mot nedbørførande vindar av høge fjell, mellom desse er Jotunheimen. Staden ligg òg så nær det tørraste område i landet og har ein årsnormal i perioden 1931-60 på 326 mm for stasjonen 1460 Vågåmo, jamfør tabell 2.1. Nedbørfordelinga over året er typisk for stasjonar inne i landet med eit maksimum om sommaren og liten nedbør om vinteren og våren. Temperaturen om vinteren kan i sjeldne tilfelle koma ned mot -40°C medan temperaturar lågare enn -20°C er rett vanlege om vinteren. Om sommaren har det vore observert temperaturar høgare enn 30 gradar. I tre månader om sommaren er medeltemperaturen høgare enn 10°C . I følgje klassifikasjonen til Köppen gjev dataene frå Vågå klimatype Dfc, dvs. kaldt skogsklima med snødekke utan tørr periode om vinteren.

Tabell 2.1 Data for 1460 Vågåmo og 1461 Vågå - Klones

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| A. Medel av døgnmaksimumstemperatur | D. Nedbørnormal |
| B. Medeltemperatur | E. Høgaste observerte temperatur |
| C. Medel av døgnminimumstemperatur | F. Lågaste observerte temperatur |

Normalar 1931/60 (Nedbør i mm, temperatur i $^{\circ}\text{C}$)													
	jan.	feb.	mars	april	mai	juni	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	des.	året
A	-5.8	-4.6	1.2	7.0	13.0	17.3	19.7	17.8	12.8	6.1	0.6	-3.1	6.8
B	-9.6	-8.5	-3.7	2.2	7.8	11.9	14.5	13.0	8.4	3.0	-1.9	-6.4	2.6
C	-13.3	-12.0	-8.0	-1.6	2.8	7.0	10.1	9.1	4.7	0.5	-4.1	-9.5	-1.2
D	18	16	8	11	24	38	53	51	33	27	21	26	326
For tidsrommet 1/1 1949 - 1/4 1987													
E	12.0	9.7	12.3	17.7	24.5	30.6	30.8	31.4	23.2	19.2	11.8	9.6	31.3
F	-39.5	-35.0	-28.5	-19.1	-5.0	-1.8	1.8	-0.6	-5.6	-14.9	-23.6	-38.4	-39.4

MÅNADSSKJEMA FOR TÅKEOBSERVATORAR

Stasjon S. H. VÅGÅMO År 1985 Månad Januar

Dato	Klokkeslett	Frostrøyk		meter	oktas	Vind		Merknader
		Klasse	Maksimal høgd meter			m/s	deka- grad	
1	10 ⁰⁰	0	-	8	5	6	25	t _n -7,4 t _v -6,5, kl. 10 -9,8 * 0,6 natt t _p -10,0 t _x -6,0 Skift skydekke
2	"	0	-	8	7	4	30	t _n -7,5 t _v -1,8 kl. 10 -6,8 Skift skydekke
3	"	0	-	8	6	4	20	t _n 0,9 kl. 10 - 4,0 Overskya kl. 10-20 * 0,2 natt t _p -6,6 kl. 20. Meist skya kl. 9-20
4	"	0	-	N	8	3	07	t _n -8,5 kl. 10 -8,1 Skya, 6-8/8 * 1,8 natt t _p -10,9 kl. 20
5	"	0	-	N	8	3	07	t _n -15,0 kl. 10 Skya, 7-8/8 kl. 15 * 0,2 dag t _p -13,6 kl. 20
6	"	0	-	8	7	7	07	kl. 10 -11,6 Skya 5-7/8 kl. 4-13. 0,0 natt t _p -15,7 Skift skydekke 0-7/8 senere
7	"	2	6	8	7	3	04	kl. 10 -14,9 Meist t _n -15,0 t _x -12,5 Meist skya 7-8/8 * 0,1
8	"	0	-	N	8	2	07	kl. 10 -12,4 Meist skya 7-8/8. Natt 1,5 * t _v -11,5 kl. 20. dag 0,5 *
9	9 ⁴⁰	1	2	8	6	4	25	t _n -13,1 kl. 9-11,6 kl. 10-9,5 t _p -1,5 kl. 20. Skift skydekke
10	10 ⁰⁰	0	-	8	4	4	30	t _n -7,8 kl. 10 -4,5 t _v -1,5 kl. 20. Skift skydekke
11	"	0	-	8	7	3	07	t _n -5,2 kl. 10 Meist skya 7/8-8/8. t _x 2,0 kl. 20
12	"	0	-	8	8	5	07	kl. 10 -2,7 kl. 20 Skya 7-8/8. t _n -4,5 kl. 20
13	"	0	-	8	8	4	07	t _n -5,2 kl. 10 -4,9 Skya 6-8/8. * 2,3 mm t _x -4,4 kl. 20
14	"	0	-	T.D.	6	1	05	t _n -7,3 kl. 10 -5,9 Skya 4-8/8. * 0,7 natt t _x -4,8 kl. 20
15	10 ⁰⁰ 11 ⁰⁰	0 3	- 30	8 ↓ 100	6 1	2	25	Fall. temp. kl. 10 -8,5 kl. 11 -10,5 kl. 20 -12,5 Skift skydekke
16	10 ⁰⁰	3	130	↓ 100	0	0	00	t _n -23,2 kl. 10 -22,8 kl. 20 Klart t _p -25,4 kl. 20
17	"	3	100	↓ 150	0	3	29	t _n -26,1 kl. 10 -25,7 Skift kl. 11 kl. 12 kl. 20 -18,9 Meist overskya kl. 16.
18	"	1	3	T.D.	4	1	07	kl. 10 -14,4 kl. 20 -8,3 Skift skydekke * 0,0 mm kl. 20 -8,3 kl. 20. Natt * 0,2 mm
19	"	0	-	8	0	2	07	kl. 10 -6,0 Meist skya 6-8/8. Dag * 0,3 mm t _x -4,0 kl. 20. Natt * 0,1 mm
20	"	0	-	N	4	8	07	kl. 10 -9,5 kl. 20 Skift skydekke Natt * 0,7 mm t _n -10,5 kl. 20. Dag * 0,4 mm
21	"	0	-	N	7	2	07	t _n -13,0 kl. 10 -12,7 kl. 20 Skift skydekke Natt * 0,3 mm t _x -12,0 kl. 20. Dag * 0,3 mm
22	"	0	-	N	8	7	07	t _n -17,5 kl. 10 -10,7 kl. 20 Overskya Natt * 0,6 mm t _p -8,0 kl. 20. Dag * 1,6 mm
23	"	0	-	T.D.	8	1	07	t _n -10,3 kl. 10 -9,7 kl. 20 Meist skya 7-8/8 Natt * 2,1 mm t _p -8,7 kl. 20. Dag * 0,2 mm
24	"	2	20	T.D.	6	4	07	t _n -17,1 kl. 10 -15,0 kl. 20 Meist skya Natt * 0,3 mm t _x -13,4 kl. 20. Dag * 0,4 mm
25	"	0	-	N	8	2	07	t _n -16,4 kl. 10 -15,7 kl. 20 Meist skya Natt * 0,5 mm t _x -15,2 kl. 20. Dag * 0,1 mm
26	10 ³⁰	2	10	N	4	4	07	t _n -20,0 kl. 10 -18,0 kl. 20 Skift skydekke Natt * 0,3 mm t _x -16,6 kl. 20. Fall kl. 20-21. Dag * 0,3 mm
27	9 ⁴⁰	2	10	N	8	2	01	t _n -20,5 kl. 9 ⁴⁰ -21. kl. 20 Overskya Natt * 0,4 mm t _p -16,5 kl. 20. Dag * 2,2 mm
28	9 ⁴⁰	2	10	8	6	4	07	t _n -13,1 kl. 9 ⁴⁰ -17 kl. 20 Meist skya Natt * 0,1 mm t _p -11,9 kl. 20. Dag * 0,1 mm
29	10 ⁰⁰	0	-	N	8	1	X	t _n -12,1 kl. 10 -8,4 kl. 20 Meist skya Natt * 1,2 mm t _p -6,0 kl. 20. Dag * 0,5 mm
30	9 ³⁵	2	10	T.D.	4	1	X	t _n -12,5 kl. 9 ³⁵ -12 Overskya kl. 17 Natt * 2,4 mm t _x -8,0 kl. 17-17,8 kl. 20 Meist skya kl. 15. Dag * 0,1 mm
31	10 ⁰⁰	0	-	N	8	4	07	t _n -12,1 kl. 10 -7,0 kl. 20 Overskya Natt * 1,1 mm t _x -6,1 kl. 20. Dag * 0,5 mm

Vågåmo 1-2-1985

Figur 2.2

Sigmund Högsten

Tabell 2.2 Kriterier for klasseinndeling av frostrøyk.

Klasse	Kriterium
0	Ingen frostrøyk
1	Så vidt synleg frostrøyk over rennande vatn frå osen og nedetter
2	Velutvikla frostrøyk som ikkje når utanom isfri vassflate
3	Frostrøyk, <u>delvis</u> tett som <u>tidvis</u> breier seg utanom isfritt vatn. Sterk riming av tre, glas og metall ute i det fri
4	Tett frostrøyk som over isfritt vatn ligg utan avbrot i timesvis, og som halvparten eller meir av tida også ligg over alle plassar i dalbotnen, likevel med avbrot der. Sterk riming.
5	Tett frostrøyk utan avbrot i timesvis overalt i dalbotnen, til avstand av minst 1 km frå isfritt vatn. Sterk riming.

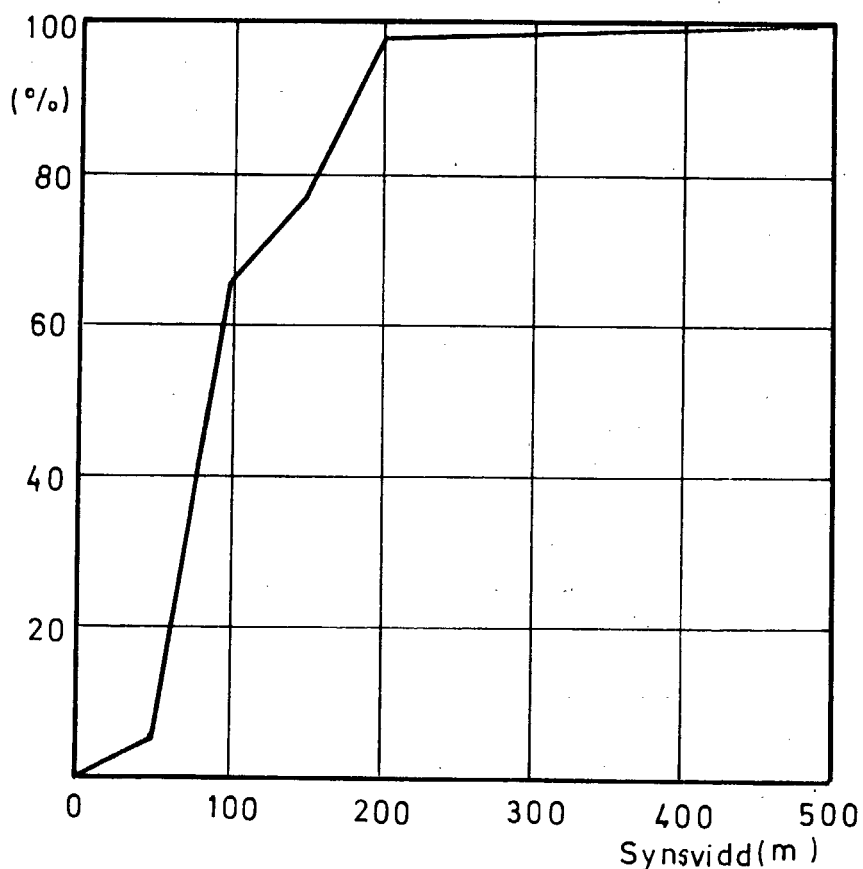
Frostrøykobservasjonane vart noterte ned på eit månadsskjema. Som døme er eitt av desse vist på figur 2.2. Ved sidan av klasse vart også maksimal høgd av frostrøyken notert. I tillegg til dette vart det ført på skjemaet meteorologiske observasjonar, d.e. sikt inne i frostrøyken, samla skydekke, vindstyrke og retning. Skjemaet kom først i bruk i sesongen 1979/80. Før den tid vart det brukt eit skjema utan plass til andre meteorologiske observasjonar enn sikt inne i frostrøyken.

Ved sidan av oversynsskjemaene vart kvar frostrøyk-observasjon omtala nærare i originalnotata til observatøren. Eit slikt notat er vist på figur 2.3. Som det går fram av figuren inneheld teksta meteorologiske observasjonar i ei knapp og konsis form.

For frostrøyk som kan gå innover land (klassane 3,4 og 5), viser figuren at høgda så og seia støtt er større enn 50 meter. Denne gruppa inneheld dessutan tilfelle av h_x på opp til 300 meter, 50 % har ein $h_x > 120$ meter.

2.6 Sikt inne i frostrøyken

Det seier seg sjølv at det er problem å observere sikta inne i lett frostrøyk som har ei sterkt avgrensa utbreiing. Det finst difor svært få observasjonar av sikt i frostrøyk i klassane 1 og 2. I klassane 3 eller større er derimot siktobservasjonane komplette. Resultata er gjevne på figur 2.5. I dei aller fleste tilfella er sikta inne i frostrøyken mindre enn 200 m og, 65 % mindre enn 100 meter. Så låg sikt som 50 meter eller mindre er observert i 5 % av tilfella.



Figur 2.5. Figuren viser ei kumulativ fordeling av sikta inne i frostrøyken for frostrøykclassane større enn eller lik 3.

3.3 Frostrøyk under skiftande skydekke

Ofte er det observert at endringar i frostrøyken skjer når skydekket endrar seg. Klårnar det opp, skyt frostrøykproduksjonen fart, skyar det til, blir frostrøykproduksjonen mindre. Nå er det slik at endring av skydekket i regelen også fører til endringar av lufttemperaturen. Difor kan det vera vanskeleg å sjå direkte av observasjonene kva effekt som skriv seg frå skydekket åleine da effekten av skydekket kan vera maskert av den bakanfor-liggjande endringa av temperaturen. For å få eit døme på effekten av skydekket, har vi difor funne fram til ein situasjon der ein vil sjå at frostrøyken har endra seg drastisk før temperaturen har fått endra seg meir enn eit par grader. Det var tilfelle den 21. januar 1977.

Til kl.10 overskya og smått snørusk, 0,0 mm. Frå kl. 11 lettskya: Cirrus 3/8, og frostrøykproduksjon skyt fart. Frå kl. 13 er det til dels tett frostrøyk over ope vatn og strendene ikring. Frå kl. 15 er dalen fylt frå dalside til dalside utfor Sandbu og sikt ned til 50 meter over osen, h om lag 80 meter. Utydeleg horisontaldrift, men frostrøyken breier seg sterkast mot vest. Flak losnar frå frostrøykteppet og driv på tvers av dalen kl. 15.40 mot Prestberget.

Klokka:	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	20	maks.
Temp. N. Grindstugu:	-18,8	-18,6	-18,4	-18,2	-18,0	-19,0	-19,4	-19,5	-20,0	-20,8	-23,6	-18,0
Frostrøykklasse:	x	x	x	x	x	2	3	3	3	3	x	
Temp. Råstad:			-18,2						-17,9		-20,2	-17,1

Ein situasjon med tilskyning skal også bli teken med her, d.e. den 11. januar 1978 som er referert nedafor. Vi legg merke til at frostrøyken ikkje stansar opp med det same skyene driv inn og at ein del av frostrøyken går direkte opp i skylaget. Er lufttemperaturen låg nok, kan ikkje skydekket hindre all frostrøykdanning.

Store mengder frostrøyk frå i natt: Klasse 3. Skydekket 1/8 ved daggry. h 200 meter kl.9. Null drift. Temperatur i N. Grindstugu kl.7: -18,8, kl.8 -18,9, kl.^x9 -19,1 tn -19,7 like etter kl.9. Invasjon av dalstratus frå vest, underkant 150 m over dalbotnen, like før kl.10. Kl.10 er det 7/8 Stratus og derunder frostrøykteppe med toppar som stikk opp i stratus-laget. Temp. i N. Grindstugu -18,9. Til kl.11 har mest all frostrøyken løyst seg opp, men klasse 2 så seint som kl.12 ved temp. -16,2 i N. Grindstugu under 6/8 Stratus-Stratocumulus.

Effekten av skydekket vil elles bli granska i den statistiske delen av rapporten, kapittel 4.2.

Frostrøyk fyller dalen frå i natt, og ligg utan avbrot til kl.11: Klasse 5. Sikt ned til 100 meter. Uttynning seinare med overgang til klasse 4. Kl. 13.30 ligg frostrøyken som roleg sjø, overkant 120 m over dalbotnen. Kraftig temperaturinversjon 100-120 m over dalbotnen. Klår himmel, bortsett frå Cirrus 1/8, og stilt. I dalbotnen vinddrag opp til 1 m/s tidvis. Markert tåkedislag 400-500 m over dalbotnen: Dette er rest etter skylag, og i søraust er dette enno godt synleg. Frostrøyken ligg ved denne tid (kl.13-14) i 28 km langt band etter dalen, frå Rådsbakken i vest (meldt pr.telefon av person i Lom) til Svendstadhølen i aust (opplyst av OKB-rute-sjåfør).

Aktuelle temperaturar:	kl. 8	kl. 15
N. Grindstugu (dalbotnen)	-20,3	-23,2
Råstad (200 m over dalbotnen)	-17,4	-16,7

Observatøren peikar vidare på at ved Svendstadhølen i aust sluttar isfritt vatn medan det isfrie vatnet ved osen sluttar allereie før Klones (bortsett frå ei mindre råk ved Tessand). Det har altså vore eit luftdrag vestgjennom dalen slik at frostrøyk er ført langt vestom isfritt område.

Den 16. januar 1985 var det også sterk inversjon, frostrøykclassen var nå 3.

Dalstratus i oppløysing kl.4-7. Deretter klart. Frostrøyk, klasse 3, heile dagen i tett banke over ope vatn og strendene i kring, med sikt ned til 100 meter. Null drift. "Lat" type, h_x 130 meter kl.9-10, 80 meter kl.11, 70 meter kl.13.

Klokka:	06	08	09	10	11	12	13	15	16	18	20
Temp. N. Grindstugu:	-21,5	-23,0	-23,1	-22,8	-23,6	-23,0	-23,2	-23,8	-24,1	-24,5	-25,2
Temp. Råstad:	-17,8	-18,7	-18,9	-19,0	-19,1	-18,7	-17,9	-17,8	-18,9	-19,4	-20,0

At frostrøyken blir karakterisert som "lat", tyder at konveksjonen og turbulensen i toppen av frostrøyklaget er liten. Det er rimeleg at det må vera slik når inversjonen er sterk. I dette tilfelle er temperaturdifferensen mellom Råstad og N. Grindstugu om lag 5 gradar.

Dei typiske frostrøyktilfella i klassene 3, 4 og 5 kjem i versitasjonar der temperaturdifferensen mellom vatnet og lufta er større enn 15 °C og der lufta er stabil utanfor frostrøyken. Men over den isfrie vassflata blir lufta sterkt instabil og livleg konveksjon og turbulens kjem i gang. Stabiliteten er avgjerande for kor høgt konveksjonen kan gå. Ved å observere den største høgda til frostrøyken, ser ein at konveksjonen svært sjeldan er under 50 meter, andre gonger blir konveksjonen synleggjort opp til 200-300 m.

3.6 Ein stabil dalstratussituasjon

I tidsrommet 19. til 23. november 1974 låg det dalstratus med underkant om lag i nivået 600 meter alle 5 dagane. I desse dagane fanst berre lett frostrøyk over ope vatn, men sidan dalstratusen hadde si årsak i fordamping frå ope vatn, høyrer situasjonen med i dette oversynet. Situasjonen er analysert av observatøren, cand. real. Sigmund Høgåsen, sjå kapittel 9.7.

3.7 Langtransport av frostrøyken

Dei eksempla vi til nå har sett på, viser at frostrøyken ikkje så lett let seg transportere langt frå kjelda si, det opne vatnet, utan at han tek til å tynnest ut ved snøoverflata. Men i eit nivå over bakken kan frostrøyken drive med vinden i lengre strekkingar utan at han tynnest ut. For ein observatør nede i dalbotnen vil dermed frostrøyken ikkje vera skodde, men lagskyer i dalen, altså dalstratus. Uttynninga ved bakken kan fysisk forklarast såleis:

Frostrøyken inneheld underkjølte vassdråpar og dersom temperaturen er lågare enn om lag -20° også iskrystallar. Sidan metningstrykket over vatn er større enn over is, kan ikkje vassdråpane vera stabile over isflata. Dei vil fordampe og frostrøyken tynnest ut nedanfrå. Ovanfrå kan toppen av frostrøyklaget misse varme ved hjelp av netto, langbølgja utstråling. Avkjølinga på toppen verkar da til å konservere frostrøyken eller stratuslaget som det nå er naturleg å kalle det.

Vi har allereie sett at dalstratus kan bli transportert langt av stad i og med at vi har tatt med observasjonen frå den 19. januar 1977. Vi skal ta med enda eit par døme på dette. Det første er frå den 30. november 1974 Lufttemperaturen indikerer at frostrøyken da berre inneheldt underkjølte vassdråpar og ingen iskrystallar. Temperaturen i vassflata var $2,5^{\circ}$

Lett frostrøyk, klasse 1, under 7/8 Stratus/Stratocumulus over osen i drift frå ENE 70° kl. 9. Temp. mellom -7 og -8° kl. 7-13.30; deretter temperaturfall og klårning. Kl. 15 -10° , kl. 16 $-11,5^{\circ}$. Kl. 15.30 velutvikla frostrøyk, klasse 2, til 100 m høgd, drift frå ENE 70° , over ope vatn. Isolerte flak finst i 200 m høgd (550 m.o.h.). Kl. 16 invasjon av frostrøyk i 150- 200 m høgd (500-550 m.o.h) frå WSW, sikkert frå området mellom Tessand og Garmo der det er isfritt. Frostrøyken i dalbotnen tetnar og breier seg med sterk riming. Klasse 3 kl. 16-19.

Når det storstilte vindfeltet er svakt, vil lokale vindfelt lettare gjera seg gjeldande. På ettervinteren kan soloppvarming påverke luftstraumane og dermed også utbreiinga av frostrøyken. Etter som dalen går aust-vest, vermer sola opp den nordre dalsida meir enn den søre og det kjem i stand ein sirkulasjon på tvers av dalen som ved bakken er retta frå dalbotnen mot den nordre dalsida. Dermed kan frostrøyken følgje med denne luftstraumen og til dømes gjera seg gjeldande på N. Grindstugu slik som i eksemplet nedafor som er frå den 25. februar 1977 da det var sol heile dagen og heilt klårt fram til kl.18.

Tett frostrøyk over ope vatn og strendene ikring på morgonen. Sol ned i dalbotnen frå kl.9 fører til termisk sirkulasjon på tvers av dalen og det er innslag av frostrøyk i N. Grindstugu kl 9.20 og kl 10. Minkande mengder og uttynning etter kvart, men enno kl.14.30 intens frostrøykproduksjon over osen, drift 2 m/s frå 270° (W) og sikt om lag 100 m i 2 m høgd, dette i full sol.

Klokka:	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Temp. N. Grindstugu:	-20,0	-21,0	-21,4	-19,7	-16,3	-15,0	-13,8	-13,2	-15,0	-13,5	-16,6
Frostrøykklasse:	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3
Maksimal høgd, h	40	100	80	x	60	40	30	30	30	x	30
Temp. Råstad:	x	-16,2								-7,8	

3.9 Ekstrem mengd av frostrøyk

Til slutt vil vi ta med det mest omfattande tilfelle av frostrøyk som observatøren har sett ved Vågåmo. Tilfellet skriv seg frå den 1. januar 1986. Vi let det elles tale for seg sjølv.

Største frostrøykvolum eg har sett. Var på obs.tur til Råstad kl. 8.15-8.50, og såg dalen full av frostrøyk frå botn til opp til 300 meters høgd. Flat overkant. Krystallklårt ovafor denne, og krystallklår himmel over Råstad, der temp. var -22,2°. I N. Grindstugu var temp. kl.8 -22,7°, kl.9 -23,0°, kl.10 -24,8°. Sett frå N. Grindstugu var det i dag dalstratus med underkant i 30-50 m høgd, men sett frå nær ope vatn taåke. Søre dalside usynleg frå N. Grindstugu det meste av dagen. I N. Grindstugu pendelvind 1 m/s på tvers av dalen. Natta føreåt var det kraftige innslag av frostrøyk i N. Grindstugu, med kraftig riming, såleis 0,3 mm i nedbørboksen, modell S.H. 1950, 0,1 mm i Met. inst. norsk boks, 0,05 mm kom ut frå svensk boks, men i dei to siste boksane sat det att ein god del smeltevatn.

Uttynning av frostrøyken kl.19-20, og klår himmel kjem til synes.

Når det gjeld symbola som er brukte i likninga, viser vi til symbollista framme i rapporten. T_a og f kan finnast av meteorologiske observasjonar. T_s kan finnast med god tilnærming ved å observere temperaturen i elvevatnet.

Vi kan nå definere ein kritisk temperatur, T_k , som er den høgste temperaturen lufta kan ha for at det skal vera mogleg å få danna vassdråpar eller iskrystallar. Denne temperaturen finn ein ved å sløyfe ulikskapsteiknet i (29) slik at vi får ei rein likning. Ho kan ikkje løysast analytisk, men T_k kan finnast ved ein itterasjonsprosess. Dermed er i teorien vilkåret for frostrøykdanning formulert. Men det er under idealiserte tilhøve. I praksis må lufta innehalde ei viss mengd dråpar eller iskrystallar for at frostrøyk let seg observere. Og det vil alltid foregå fordamping av dråpane ved innblanding av frostrøykfri luft. Dermed må nydanningsprosessen gå med ein viss intensitet for å kompensere for dette sluket.

Danninga av frostrøyk kan også bli sett på som ein blandingsprosess mellom ukile luftmassar, (Saunders, 1964). Det er kort gjort greie for hans arbeid i appendiks I. Det viser seg at Saunders kjem fram til nær dei same resultatata som Golitsyn og Grasjov sjølv om utgangspunktet var ulikt.

Vassinnhaldet i frostrøyken kan variere sterkt. Saunders (1964) refererer frå ei sovjetisk gransking som på grunn av språkproblema ikkje har vore tilgjengeleg for oss. (Basjkirova, Krasjov, 1958). Dei observerte vassinnhaldet direkte på to stader. Det eine var eit industriområde ved Angaraelva. Dei nemnde forfattarane delte tåka inn i tre kategoriar, tynn, moderat og tjukk og fann vassinnhald på $0,03 - 0,04 \text{ g/m}^3$, $0,05 - 0,11 \text{ g/m}^3$ og $0,08 - 0,37 \text{ g/m}^3$ i dei tre kategoriane. Dei fann at vassinnhaldet auka ved aukande temperaturdifferens mellom vatn og luft. I reinare luft over Kolabukta fann dei vassinnhald på $0,02 - 0,04 \text{ g/m}^3$ og $0,04 - 0,14 \text{ g/m}^3$ for moderat og tjukk tåke.

Granskingane frå Angaraelva og Kolabukta viste vidare at auka temperaturdifferens mellom vatn og luft førte til minka storleik på den mest vanlege dråpen og minka breidd på dråpespekteret, men altså som før nemnt, auka vassinnhald. Tilsvarande var det med iskrystallane.

I følgje ei gransking frå Fairbanks i Alaska (Huffman, Ohtake, 1971), viste dråpespekteret eit maksimum på $10 \mu\text{m}$ i diameter for iskrystallar danna ved fordamping frå Chena-elva som renn gjennom byen. Temperaturen var da så låg som $-30 \text{ }^\circ\text{C}$. I samband med kjøledammar for kraftverk i USA, fann

Tabell 4.1 Normaltidspunkt for frostrøykobservasjon.

Månad	Klokke	Toleranse
November	9 00	8 00 - 10 00
Desember	10 00	9 00 - 11 00
Januar	10 00	9 00 - 11 00
Februar, 1.-15.	9 00	8 00 - 10 00
Februar, 16.-28.	8 00	7 00 - 9 00
Mars	7 00	6 00 - 8 00

I den tida den meteorologiske stasjonen på Klonas var manuell, observerte den kl. 07, kl. 13 og kl. 19. Dermed var det ikkje alltid at observasjonstidene for temperatur passa med observasjonstida for frostrøyken. Difor vart det interpolert lineært mellom observasjonstidene 07 og 13. I ein periode frå 31. januar til 21. februar 1982 var stasjonen på Klonas ute av drift. Det vart da brukt data frå den private klimastasjonen 1458 Vågåmo - N. Grindstugu, sjå kartet figur 2.1.

Ved normaltidspunktet kjenner vi dermed både frostrøyk-klassen og frostrøykindeksen. Eit estimat for sannsynet for frostrøyk under ulike temperaturtilhøve i vatnet og lufta kunne dermed finnast. Dette sannsynet vil vi heretter notere med symbolet $p(A)$. Symbolbruken viser at sannsynet, p , er ein funksjon av indeksen, det er med andre ord eit betinga sannsyn.

Frostrøykclassane vil vi telja opp kumulativt og gje dei namnet frostrøykgrupper med symbola F_1 , F_2 og F_3 . Opp-teljinga er gjort slik at F_1 femnar om all frostrøyk, F_2 omfattar klassane ≥ 2 , og F_3 omfattar klassane ≥ 3 . Klassane større enn 3 inneheldt for få observasjonar til at dei åleine kunne behandlast statistisk. Med grunnlag i tabell 2.2 kan dermed inndelingane kort summerast opp såleis:

F_1 : All frostrøyk som kan observerast
F_2 : Velutvikla frostrøyk
F_3 : Frostrøyk som tidvis breier seg utanom isfritt vatn.

seg A_3 , ($d^2p/dA^2 < 0$). Ved A_3 eller høgre er $p(A) = 1$, dvs. at det alltid er frostrøyk ved så stor temperaturdifferens mellom vatn og luft.

Av (1) til (7) ser ein at funksjonen er bestemt dersom ein har bestemt punkta $(A_0, 0)$, (A_1, p_1) , (A_2, p_2) , $(A_3, 1)$ ved hjelp av grafisk utjamning. Dette vart gjort for å tilpasse funksjonen til frostrøykgruppe F_3 .

For frostrøykgruppene F_1 og F_2 kunne funksjonen gjerast noko enklare etter som kurvene ikkje såg ut til å ha nokon lineær del. Vi set difor $A_2 = A_1$. Det fører til at k_1 ikkje kan finnast av (6) sidan uttrykket blir udefinert. I staden kunne k_1 finnast grafisk. Det viste seg at kurvene skifta krumming i eit punkt nær verdien $p(A)=0,5$ og k_1 vart bestemt grafisk ved å dra opp tangenten i dette punktet. Funksjonen for dei to frostrøykgruppene kan dermed skrivast.

$$(8) \quad \begin{aligned} p(A) &= 0 & A \in \langle \leftarrow, A_0 \rangle \\ &= a(A-A_0)^m & A \in \langle A_0, A_1 \rangle \\ &= 1 - b(A_3-A)^n & A \in \langle A_1, A_3 \rangle \\ &= 1 & A \in \langle A_3, \rightarrow \rangle \end{aligned}$$

$$(9) \quad m = \frac{k_1(A_1 - A_0)}{p_1} \quad (10) \quad n = \frac{k_1(A_3 - A_1)}{1-p_1}$$

$$(11) \quad a = \frac{p_1}{(A_1 - A_0)^m} \quad (12) \quad b = \frac{1-p_1}{(A_3 - A_1)^n}$$

Det kan visast at også denne funksjonen er kontinuerleg og deriverbar og at krumminga skifter forteikn i punktet (A_1, p_1) . Vidare ser vi at dersom $A_1 - A_0 = A_3 - A_1$ og $p_1 = 0,5$, blir $m=n$ og $a=b$ og funksjonen blir dermed symmetrisk om punktet (A_1, p_1) .

Av (8) til (12) ser ein at funksjonen er bestemt dersom ein har bestemt punkta $(A_0, 0)$, (A_1, p_1) , $(A_3, 1)$ og dessutan k_1 i punktet (A_1, p_1) ved hjelp av grafisk utjamning. Dette vart gjort da vi tilpassa funksjonen til frostrøykgruppene F_1 og F_2 .

Funksjonen $p(A)$ er framstilt grafisk på figur 4.1 for alle tre frostrøykgruppene. Konstantane til funksjonen er gjevne i tabell 4.2. og kan setjast rett inn i uttrykka (1) og (8).

I Vågåmo ved det same straumdraget har det også vore observert frostrøyk tidlegare ved hjelp av fotografering, (Pytte Asvall, Roen, 1981). Same metoden vart brukt i Skjåk og sannsynet for frostrøyk frå dei to seriane var svært like. Resultata høver bra med gruppe F_3 i denne granskinga. Det tyder på at frostrøyken måtte vera mektig nok til å spreie seg innover land for at bileta skulle gje god nok kontrast. Fotograferinga vart gjort frå stader oppe i dalsida.

Ein serie frå Nesbyen i Hallingdal (Mook, 1964) frå åra 1960/61 til 1962/63 gav eit sannsyn for frostrøyk på 0,21 i intervallet -10 til -15°C og 0,31 i intervallet -15 til 20°C . Det første talet passar godt med F_2 i Vågåmo, det andre passar derimot med F_3 . For lågare temperaturar enn -20°C minkar sannsynet for frostrøyk i Nesbyen. Årsaka er at elva islegg seg i streng kulde.

Det gjennomsnittlege sannsynet for frostrøyk ved lufttemperaturar lågare enn -10°C er rekna ut for "Østlandet i området Hallingdal - Femunden", (Kanavin, 1971). For desember var sannsynet 0,36 og for januar 0,48. Dei tilsvarande tala for Vågåmo var 0,32 og 0,40 for gruppe F_3 og heile 0,66 og 0,67 for gruppe F_2 .

Dette oversynet viser at resultata er nær knytt til observasjonsmåten. Slik må det bli sidan frostrøyken varierer så drastisk i omfang frå det mektige til det heilt svake. Svak frostrøyk vil vera heilt usynleg på avstand og framfor alt på bilete der kontrasten mot snøflata kan bli for dårleg. Difor er det naudsynt presisere kva observasjonsmåte som er brukt når sannsynet for frostrøyk blir oppgjeve, allvisst gjeld dette når sannsynet for frostrøyk skal jamførast frå vassdrag til vassdrag. Elles vil ei slik jamføring kunne gje uttrykk for skilnader i observasjonsmåte snarare enn skilnader i sannsynet for frostrøyk.

4.2.2 Formulering av frostrøykindex B

Som før omtalt kan vi finne ein kritisk temperatur, T_k , som er ein grenseverdi for at kondensasjon over vassflata skal vera mogleg. Temperaturen er gjeven ved å nytte likskaps-teiknet i (29). Di større differensen er mellom den kritiske temperaturen og temperaturen i lufta, di større er sjansen for frostrøyk, sjå appendiks I. Vi vil bruke dette til å formulere ein frostrøykindex, $B = T_k - T_a$.

Tabell 4.3 Konstantar i formelen for $p(B)$

Gr.	m	n	a	b	k_1	K	B_0	B_1	B_2	B_3
F	2,025	1,275	$7,23 \cdot 10^{-3}$	$6,26 \cdot 10^{-2}$	0,1250		0,6	8,7		13,8
F ¹	2,567	1,303	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$6,06 \cdot 10^{-2}$	0,1290		1,1	11,0		16,1
F ²	4,434	3,077	$9,26 \cdot 10^{-6}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$	0,0747	-0,672	2,1	11,0	20,1	27,1
F ³										

Etter teorien skal det ikkje kunna bli frostrøyk når indeks $B < 0^\circ\text{C}$. Figuren viser da også at det ikkje finsst nokon observasjon av frostrøyk ved negativ indeks. Men dersom ein ser praktisk på problemet, er likevel dette resultatet noko overraskande. Ein må da hugse på den heller grove interpolasjonen av temperatur og relativ råme for ein del av tidsrommet, at Klonas ligg eit stykke frå det opne vassdraget og at relativ råme i lufta om vinteren er vanskeleg å måle slik at dataene kan ha vesentlege feil. På den bakgrunnen skulle ein vente at nokre få av frostrøyk-observasjonane skulle slumpe til å ha negativ indeks.

Resultatet kan difor tolkast som om vassinnhaldet må nå eit visst nivå før frostrøyken blir synleg og at temperaturen i luftmassen må liggje 1 eller 2° under den kritiske.

På data frå Glomma ved Rena og frå Otra har det vore gjort gransking av frostrøyk jamført med den kritiske temperaturen, T_k (Utaaker, 1979). For å definere kritisk temperatur vart arbeidet til Saunders nytta, dvs. at T_k vart definert ved likning (33) i appendiks I i staden for (29) slik som her. Det fører til at T_k i Utaakers gransking blir om lag 1° lågare enn den T_k som her er brukt. Utaaker fann at frostrøyk ikkje kunne bli danna før T_a var $1,5^\circ$ til 2° lågare enn de T_k som han brukte.

Tilpassing av metoden til eit observasjonsmaterial frå Orkdalen gav godt samsvar mellom observert og utrekna frostrøyk, (Utaaker, Skaar, 1986).

4.2.3 Formulering av frostrøykindeks C

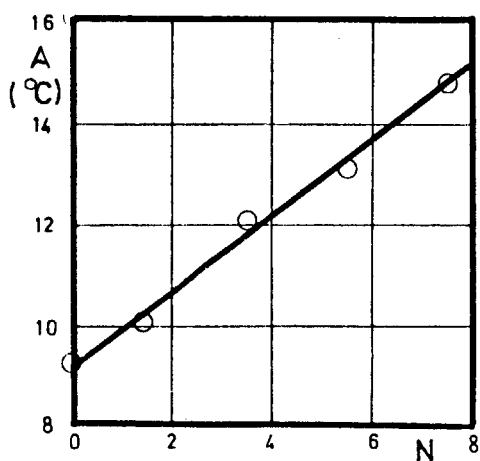
Gjennomgang av dei einskilde observasjonane viste at frostrøyken let seg påverke av skydekket, kapittel 3.3. Det vart observert på Klonas medan den manuelle stasjonen var i drift og interpolert lineært mellom observasjonstidene. Frå slutten av desember 1976 vart skydekket observert samstundes med frostrøyken slik det idelle er.

Det er såleis grunn til å ta skydekket med i ein frostrøyk-

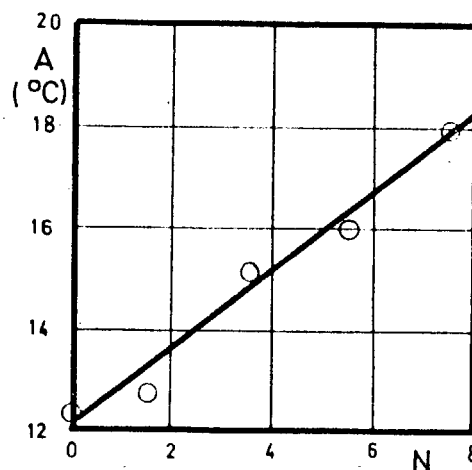
observasjonane blir delte inn i grupper etter skydekke. Grupperinga vart gjort såleis: 0, 1 og 2, 3 og 4, 5 og 6, 7 og 8. Resultata er gjevne på figurane 4.3 for F_1 og 4.4 for F_2 . Det synte seg at det ikkje let seg gjera å teikne opp eit tilsvarande diagram for F_3 på grunn av for få observasjonar under stort skydekke.

Kurvane viser tydeleg at skydekket spelar ei rolle for frostrøyken. Når ein tek omsyn til at det innafor kvar gruppe er få observasjonar slik at kurvane delvis gjev uttrykk for tilfeldige variasjonar, ser det ut til at avstanden mellom kurvane held seg rimeleg konstant når ein går frå låge til høge sannsyn for frostrøyk. Difor antar vi at skydekket spelar den same rolla både for høge og låge sannsyn og vi nøyer oss med å sjå nærare på tilhøva for $p=0,5$.

På figurane 4.3 og 4.4 har vi drege ei line ved $p=0,5$. Skjeringspunktta mellom linene og kurvane er framstilte i to nye diagram, figurane 4.5a og 4.5b der skydekket, N , er abscisse og $A=T_s-T_a$ er ordinat.



a) Gruppe F_1



b) Gruppe F_2

Figur 4.5 Kurvane viser indeks A som funksjon av skydekket når sannsynet for frostrøyk blir halde konstant.

Ut frå figurane er det rimeleg å anta at det er ein linear samanheng mellom N og A når sannsynet for frostrøyk er det same. I gruppe F_1 til dømes viser figuren at det er same sannsyn for frostrøyk ved $A=15^\circ$ og overskya som ved $A=9^\circ$ og klårver. Ved å dra opp liner som best mogleg tok omsyn til punkta på figurane, fekk vi vinkelkoeffisientar på $0,766^\circ$ for F_1 og $0,776^\circ$ for F_2 . Sidan skilnaden var så liten, er

Tabell 4.4 Konstantar i formelen for p(C)

Gr.	m	n	a	b	k_1	K	C_0	C_1	C_2	C_3
F_1	1.459	1.716	$4.64 \cdot 10^{-2}$	$2.31 \cdot 10^{-2}$	0.1430		3.9	9.0		15.0
F_2	1.516	1.277	$3.57 \cdot 10^{-2}$	$6.74 \cdot 10^{-2}$	0.1330		6.0	11.7		16.5
F_3	1.733	4.658	$1.51 \cdot 10^{-2}$	$1.25 \cdot 10^{-6}$	0.0711	-0.757	9.0	12.9	21.9	35.0

4.2.4 Formulering av frostrøykindeks D

Etter at vi nå har vist at skydekket påverkar frostrøyken, er det nærliggjande også å innføre skydekket i kombinasjon med den kritiske temperaturen, T_k . Framgangsmåten følgjer nøyaktig den som vart valt for indeks C og vi tek difor ikkje med heile den forklarande teksta på nytt og heller ikkje alle figurane.

Først vart sannsynet for frostrøyk framstilt som funksjon av $B = T_k - T_a$ og med skydekke som parameter. Framstillinga vart gjort for gruppene F_1 og F_2 . Gruppe F_3 inneheldt for få observasjonar med overskyå ver til at framstillinga let seg gjennomføre. Disse figurane svarar til figurane 4.3 og 4.4, men med $A = T_s - T_a$ erstatta av $B = T_k - T_a$.

Deretter vart indeks $B = T_k - T_a$ framstilt som funksjon av skydekket når sannsynet for frostrøyk var konstant, tilsvarende kurvene 4.5 a og b for frostrøykgruppene F_1 og F_2 . Dette gav vinkelkoeffisientane $0,829^\circ$ for F_1 og $0,750^\circ$ for F_2 . Vi antar at med den uvissa vi har i den grafiske framstillinga, er det ingen statistisk sikker skilnad på desse tala og vi vil bruke same talet både for F_1 og F_2 . Vi adopterer da verdien $0,77^\circ$ som er det same som for indeks C. Og vi brukar dette talet også for F_3 der inga gransking let seg gjennomføre.

Granskinga ovafor fører fram til formuleringa av ein ny frostrøykindeks som vi kallar D.

$$(14) \quad D = T_k - T_a - 0,77^\circ \cdot N = B - 0,77^\circ \cdot N$$

Vi ser at for $N=0$ er det ingen skilnad på indeksane B og C. Er det skyer blir indeks D mindre enn B. I indeks D er det teke omsyn til at sannsynet for frostrøyk minkar med aukande skydekke.

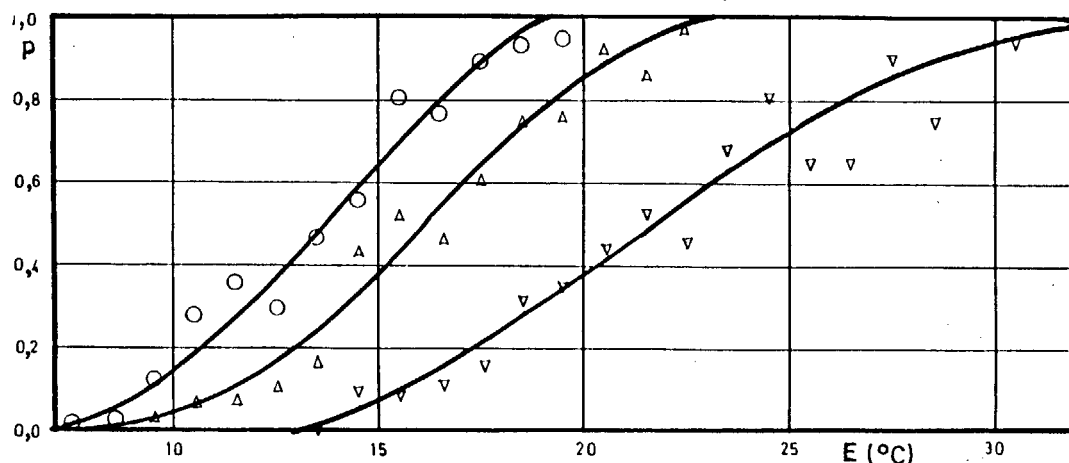
På figur 4.7 er sannsynet for frostrøyk vist som funksjon av indeks D, $p(D)$. Av figuren går det fram at forma på kurvene ligg svært nær den som galt for dei andre indeksane. Kurvene

Vi formulerte ein frostrøykindeks som tok omsyn både til $T_s - T_a$ og til $T_r - T_a$. Framgangsmåten var da akkurat som for indeks C, men med $T_r - T_a$ i staden for skydekket, N. Vi fann at $T_s - T_a$ varierte med stabiliteten i lufta sjølv om sannsynet for frostrøyk var konstant. Samanhengen såg ut til å vera lineær med vinkelkoeffisientane 0,795 for F_1 og 0,886 for F_2 . Uvissa i desse tala er større enn skilnaden mellom dei, og vi adopterer 0,84 både for F_1 og F_2 , og dessutan for F_3 der inga gransking let seg gjennomføre.

Definisjon på frostrøykindeks E blir såleis:

$$(15) \quad E = T_s - T_a + 0,84 \cdot (T_r - T_a) = A + 0,84 \cdot (T_r - T_a)$$

Sannsynet for frostrøyk, $p(E)$, er framstilt på figur 4.8. Det synte seg at $p(E)$ var gjeve med eit uttrykk av forma (x), dette gjeld for alle frostrøykgruppene. Konstantane i funksjonen er gjeve i tabell 4.6.



Figur 4.8 Sannsynet for frostrøyk $p(E)$ som funksjon av frostrøykindeks, E, for frostrøykgruppene F_1 , F_2 og F_3 .

Tabell 4.6 Konstanter i formelen for $p(E)$

Gr.	m	n	a	b	k_1	E_0	E_1	E_3
F_1	1,511	1,178	$2,76 \cdot 10^{-2}$	$7,02 \cdot 10^{-2}$	0,1111	6,9	13,7	19,0
F_2	1,843	1,529	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^{-2}$	0,1124	8,0	16,2	23,0
F_3	1,265	1,643	$3,24 \cdot 10^{-2}$	$9,31 \cdot 10^{-3}$	0,0727	13,0	21,7	33,0

Tabell 4.7 Observert og utrekna frostrøyk kvar vintersesong

FROSTRØYKGRUPPE F ₁											
Vinter	Obs	Indeks A		Indeks B		Indeks C		Indeks D		Indeks E	
		Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif
1973/74	19	21	2	16	-3	22	3	18	-1	21	2
1974/75	26	18	-8	12	-14	23	-3	17	-9	17	-9
1975/76	33	30	-3	26	-7	32	-1	29	-4	31	-2
1976/77	15	18	3	15	0	19	4	17	2	17	2
1977/78	30	36	6	35	5	36	6	35	5	35	5
1978/79	64	70	6	70	6	65	1	66	2	72	8
1979/80	64	63	-1	62	-2	61	-3	61	-3	61	-3
1980/81	42	49	7	51	9	47	5	49	7	49	7
1981/82	36	38	2	38	2	35	-1	34	-2	38	2
1982/83	25	22	-3	23	-2	25	0	26	1	24	-1
1983/84	33	29	-4	28	-5	31	-2	30	-3	31	-2
1984/85	36	35	-1	38	2	35	-1	37	1	33	-3
1985/86	78	72	-6	79	1	72	-6	79	1	73	-5
1986/87	55	52	-3	59	4	51	-4	57	2	50	-5
FROSTRØYKGRUPPE F ₂											
Vinter	Obs	Indeks A		Indeks B		Indeks C		Indeks D		Indeks E	
		Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif
1973/74	14	11	-3	9	-5	12	-2	9	-5	12	-2
1974/75	11	10	-1	6	-5	13	2	8	-3	8	-3
1975/76	24	23	-1	18	-6	25	1	22	-2	22	-2
1976/77	9	13	4	11	2	14	5	12	3	12	3
1977/78	23	26	3	25	2	27	4	26	3	26	3
1978/79	53	61	8	59	6	56	3	55	2	62	9
1979/80	50	49	-1	49	-1	49	-1	49	-1	49	-1
1980/81	36	35	-1	37	1	37	1	38	2	35	-1
1981/82	32	31	-1	32	0	29	-3	29	-3	31	-1
1982/83	19	13	-6	14	-5	16	-3	17	-2	15	-4
1983/84	27	22	-5	22	-5	25	-2	24	-3	25	-2
1984/85	23	24	1	26	3	24	1	26	3	22	-1
1985/86	67	60	-7	67	0	60	-7	65	-2	62	-5
1986/87	40	41	1	48	8	39	-1	46	6	40	0
FROSTRØYKGRUPPE F ₃											
Vinter	Obs	Indeks A		Indeks B		Indeks C		Indeks D		Indeks E	
		Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif	Utr	Dif
1973/74	3	3	0	2	-1	3	0	2	-1	3	0
1974/75	3	3	0	1	-2	3	0	1	-2	2	-1
1975/76	9	10	1	7	-2	11	2	9	0	9	0
1976/77	5	6	1	5	0	6	1	5	0	6	1
1977/78	14	13	-1	12	-2	13	-1	13	-1	13	-1
1978/79	34	38	4	37	3	37	3	36	2	40	6
1979/80	31	27	-4	27	-4	29	-2	28	-3	28	-3
1980/81	19	17	-2	17	-2	19	0	20	1	16	-3
1981/82	20	20	0	20	0	19	-1	19	-1	20	0
1982/83	6	4	-2	4	-2	5	-1	5	-1	4	-2
1983/84	13	13	0	12	-1	13	0	13	0	14	1
1984/85	6	11	5	12	6	10	4	11	5	9	3
1985/86	43	38	-5	43	0	38	-5	41	-2	40	-3
1986/87	22	23	1	28	6	23	1	27	5	23	1

Tabell 4.9 Testing av indeksane for heile perioden.

P = Obs. frostrøyk. i-P = Ikkje obs. frostrøyk

R = Utrekna frostrøyk. i-R = Utrekning gjev ikkje frostrøyk

Frostrøykindex A

Frostrøykgruppe F ₁			
	P	i-P	sum
R	466	70	536
i-R	90	1345	1435
sum	556	1415	1971

Frostrøykgruppe F ₂			
	P	i-P	sum
R	341	43	384
i-R	87	1500	1587
sum	428	1543	1971

Frostrøykgruppe F ₃			
	P	i-P	sum
R	140	42	182
i-R	88	1701	1789
sum	228	1743	1971

Frostrøykindex B

Frostrøykgruppe F ₁			
	P	i-P	sum
R	454	62	516
i-R	102	1353	1455
sum	556	1415	1971

Frostrøykgruppe F ₂			
	P	i-P	sum
R	343	49	384
i-R	85	1494	1579
sum	428	1543	1971

Frostrøykgruppe F ₃			
	P	i-P	sum
R	148	46	194
i-R	80	1697	1777
sum	228	1743	1971

Frostrøykindex C

Frostrøykgruppe F ₁			
	P	i-P	sum
R	487	54	541
i-R	69	1361	1430
sum	556	1415	1971

Frostrøykgruppe F ₂			
	P	i-P	sum
R	367	40	407
i-R	61	1503	1564
sum	428	1543	1971

Frostrøykgruppe F ₃			
	P	i-P	sum
R	164	44	208
i-R	64	1699	1763
sum	228	1743	1971

Frostrøykindex D

Frostrøykgruppe F ₁			
	P	i-P	sum
R	497	58	555
i-R	59	1357	1416
sum	556	1415	1971

Frostrøykgruppe F ₂			
	P	i-P	sum
R	363	34	397
i-R	65	1509	1574
sum	428	1543	1971

Frostrøykgruppe F ₃			
	P	i-P	sum
R	177	43	220
i-R	51	1700	1751
sum	228	1743	1971

Frostrøykindex E

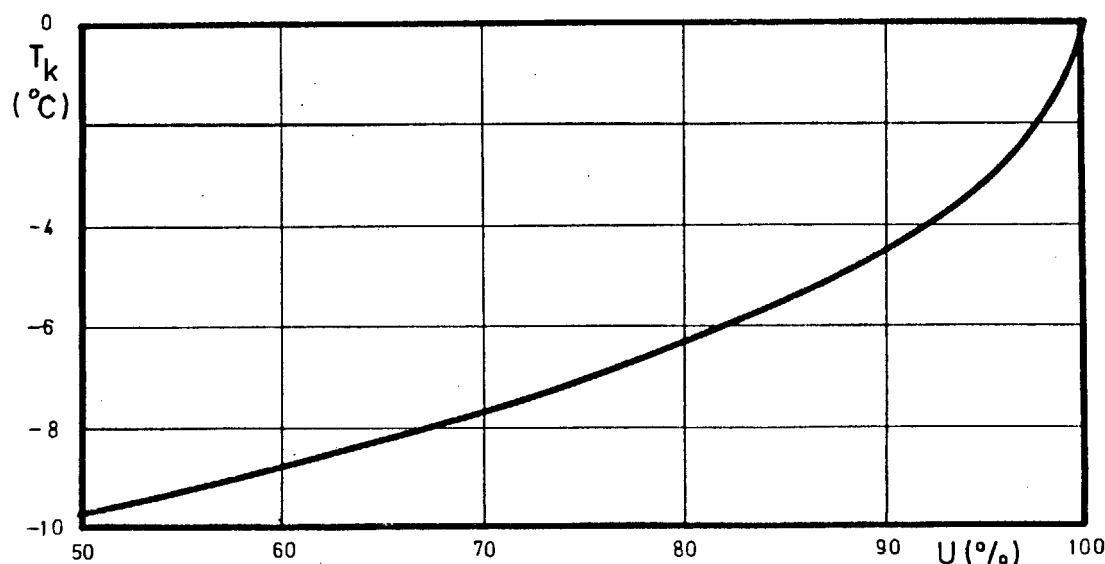
Frostrøykgruppe F ₁			
	P	i-P	sum
R	455	57	512
i-R	101	1358	1459
sum	556	1415	1971

Frostrøykgruppe F ₂			
	P	i-P	sum
R	343	55	398
i-R	85	1488	1573
sum	428	1543	1971

Frostrøykgruppe F ₃			
	P	i-P	sum
R	149	47	196
i-R	79	1696	1775
sum	228	1743	1971

- 2) Ein kan ikkje sjå noka vesentleg betring av frostrøyk-indeksane ved å føre inn den kritiske temperaturen som mellom anna er ein funksjon av den relative råmen i lufta.

Kommentar: Den kritiske temperaturen for danning av frostrøyk vart brukt i indeksane B og D. Indeks B skil seg frå indeks A einast ved at den kritiske temperaturen vart innført, og det same er tilfelle for indeks D kontra indeks C. Vi ser at tabellane ikkje eintydig viser at dette har betra indeksane. Dette resultatet var ikkje i samsvar med det ein kunne vente ut frå teorien om frostrøykdanning. For om mogleg å finne ei forklaring på dette, ser vi på figur 4.9.



Figur 4.9. Kritisk temperatur, T_k , som funksjon av relativ råme, U , ved vassstemperatur 0°C .

Figuren viser korleis den kritiske temperaturen, T_k , varierer med den relative råmen i lufta ved vassstemperatur, $T_s = 0^\circ\text{C}$. (Om T_s t.d. hadde vore 3°C , ville vi fått ei ny kurve for T_k svært lik i forma, berre med den skilnaden at T_k da ville vore svært nær 3°C høgre enn den på figuren). Vi ser at T_k varierer om lag 10° når den relative råmen varierer frå 50 til 100 %.

I dei aktuelle frostrøyksituasjonane, ved temperaturar lågare enn -10°C , ligg heile 75 % av observasjonane i intervallet [85-96] % relativ råme. Dette utgjer berre $3,3^\circ$ variasjonsbreidd i T_k , sjå fig 4.9. Til jamføring minner vi om at skydekket reduserte indeksane med om lag 6° når det

massane som inneheld frostrøyk.

- 2) Lågare frostrøykklasse enn venta. Den 30. desember 1978 var det svært kaldt, $-31,9^{\circ}\text{C}$, samstundes som det var eit lett snøfall. Frostrøykklassen var 2 og ikkje 3 som ein kunne vente ut frå temperaturen. Vi reknar med at fråveret av indeks 3 har samanheng med snøveret. Den luftmassen som da var i dalen var ekstremt kald og det er svært uvanleg med slik kulde under snøver.

Vanskelegare er det å forklare det som skjedde den 12., 13. og 15. januar 1987. Da var indeks C $32,4^{\circ}$, $27,5^{\circ}$ og $26,8^{\circ}$ utan at det var frostrøyk av klasse 3 ved hovudobservasjonen. Observatøren melder om "sterk konveksjon og diffusjon" og den høgste frostrøyken nådde 150-200 m over dalen, men spreidde seg altså ikkje horisontalt ut frå isfritt vatn.

- 3) Høgre frostrøykklassar enn venta. Den 27. februar 1974 var den relative råmen i lufta 96% ved observasjonstida og det hadde da nettopp klårna opp. Temperaturen i lufta var $-10,6^{\circ}\text{C}$ og skydekket var 1. Frostrøyk av klasse 3 vart observert og det er uvanleg ved så høg temperatur. Vi reknar med at den store utbreiinga av frostrøyk har delvis samanheng med den høge relative råmen. Indeks D skulle ta omsyn til den, men likevel blir ikkje $p(D)$ høgre enn 0,1.

4.5 Konsekvensar av endra vassareal

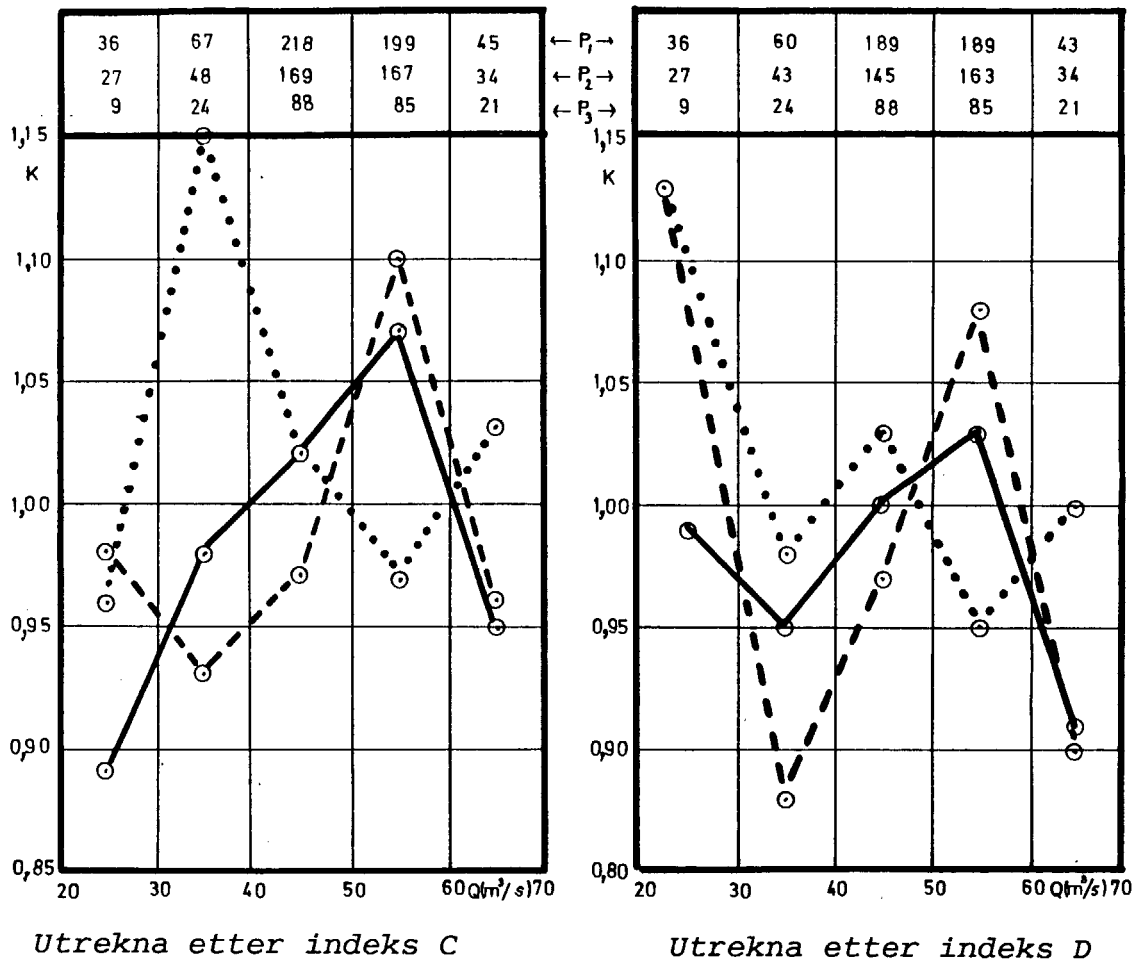
4.5.1 Dalstratus over Vågåvatnet

Før isen legg seg på Vågåvatnet, er det om lag 12 km^2 ope vatn på strekinga mellom Garmo og Vågåmo. I 13 vintrar har observatøren, cand. real. Sigmund Høgåsen studert låge lagskyer, innestengd mellom dalsidene, det er dalstratus. Han har sjølv gjort greie for dette studiet i appendiks IV, (kapittel 9).

I observasjonane vart det skilt mellom to typer dalstratus.

- 1) Ekte dalstratus: Lagskyer som er avgrensa til skjølve dalen.
- 2) Uekte dalstratus: Lagskyer som ser ut til å vera avgrensa til skjølve dalen sett frå dalbotnen, men som ligg over fjellviddene òg.

finst innafor kvart intervall. Vidare har vi definert ein testparameter, K , ved å dividere talet på observert frostrøyk på det talet utrekningane gav, alt innafor kvart intervall. På figur 4.10 er denne testparameteren framstilt grafisk som funksjon av vassføringa.



Figur 5.2. Høvet, K , mellom observert og utrekna frostrøyk som funksjon av vassføringa, $Q(\text{m}^3/\text{s})$

— Frostrøykgruppe F_1 , P_1 observasjonar av frostrøyk
 - - - Frostrøykgruppe F_2 , P_2 observasjonar av frostrøyk
 ····· Frostrøykgruppe F_3 , P_3 observasjonar av frostrøyk

Dersom det skulle vera slik at sjansen for frostrøyk auka med vassføringa, ville verdien av K stige med aukande vassføring. På figuren kan ein ikkje finne nokon slik samanheng. Innafor dei grensene av vassføring denne granskinga omfattar, ser det ikkje ut til at vassføringa verkar inn på sjansen for frostrøyk i dei ulike frostrøyk-gruppene.

Ein må likevel vera klår over at fordampinga frå ope vatn aukar med aukande vassareal og dermed også frostrøykproduksjonen.

5 DØGNLEG VARIASJON AV FROSTRØYKEN VED VÅGÅMO

I observasjonsperioden på 14 år er frostrøyktilhøva kjende ved hovudobservasjons-tidspunktet. Vi har også kjennskap til ei mengd tilfelle av frostrøyk utanom dette tidspunktet. Men fordelinga over døgnet kjenner vi ikkje. Derimot har vi som nemnt tidlegare timevise meteorologiske observasjonar på stasjonen 1461 Vågå - Klones.

Vi vil nå bruke desse observasjonane saman med frostrøyk-formlane i førre kapitlet til å finne korleis frostrøyken fordeler seg utover døgnet. Den datamengda som da er til rådvelde er frå 1. november 1977 til den 31. mars 1987, dvs. 10 år med observasjonar. Som før har vi berre teke med observasjonane i månadene november til mars.

Da vi ikkje hadde timevise observasjonar av skydekke og heller ikkje temperaturobservasjonar frå stasjonen Råstad, kunne ikkje indeksane C, D eller E brukast. Dermed stod valet mellom A og B og vi valde A sidan vi da også kunne bruke dataene i ein periode da hygrometeret var ute av drift.

Utan hjelp av datamaskinar ville utrekningane bli svært omfattande da metoden krev bruk av formlane (1) eller (8) i alt ca 36000 gonger. Difor vart eit reknemaskinprogram laga til føremålet. Den viktigaste delen av dette programmet er ein subrutine, FRIN, sjå appendiks III. Der finst også ei forklaring av bruken av rutinen.

For den nemnde 10-årsperioden har vi ved hjelp av rutinen funne talet på frostrøyktilfelle pr. tidseining, r_{10} . Som tidseining vil vi her bruke år. Utrekninga vart gjort etter formel (17) der n er talet på år i perioden. I dette tilfellet er altså $n=10$.

$$(17) \quad r_n = R/n = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n p(A_i)$$

Resultata er gjevne på figur 5.1 som stipla kurver for kvar av dei 3 frostrøykgruppene. Vi ser at det er oftast frostrøyk ved 7-8 tida og minst ved 15-16 tida. For F_1 til dømes har det i gjennomsnitt for året vore 49,0 tilfelle kl 8 mot 36,7 tilfelle kl 15. Underlagsmaterialet for diagrammet viser at frostrøyken har ein døgnsleg variasjon i alle månadene med unntak av desember.

Den tiårsperioden som dei timevise observasjonane dekte, var ein svært kald periode. Det er etter alt å dømme uheldig å bruke ho som ein referanse for det som ein kan vente seg på lang sikt. Vi vil difor utvide datagrunnlaget ved også å ta i bruk observasjonar frå den manuelle klimastasjonen som hadde verhuset plassert på same staden som automatstasjonen. Det har vist seg at dei to stasjonane er homogene når det gjeld temperatur. Den manuelle stasjonen observerte ved klokkesletta 07, 13 og 19.

Stasjonen har vore i drift sidan 1949, med sidan dataene ikkje er tilgjengeleg for reknemaskin lenger attende enn til 1957, har vi i denne granskinga berre brukt 20-årsperioden frå 1. januar 1957 til stasjonen vart nedlagt 31. desember 1977. Ved hjelp formel (17) med $n=20$ fann vi r_{20} for klokkesletta 07, 13 og 19. Da det vart observert skydekke på den manuelle stasjonen, vart indeks C nytta i utrekninga. Vi kjenner heller ikkje vass temperaturen for heile observasjonsperioden. I utrekningane brukte vi temperaturane i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Vass temperaturar brukte til frostrøykutrekning.

Månad	T_s
November	2,0
Desember	1,0
Januar	1,0
Februar	0,5
Mars	0,8

For å granske om desse temperaturane er realistiske gjennomsnitt for ein lengre periode, vart dei testa i den kjende 14-årsperioden der frostrøykobservasjonar er tilgjengelege. Utrekningar av frostrøyk ved bruk av T_s frå tabellen gav svært nær same resultatet som da den observerte T_s vart brukt. Vi antar difor at temperaturane i tabellen også er realistiske i 20-årsperioden.

Det synte seg at det var mykje mindre frostrøyk i 20-årsperioden enn i 10-årsperioden. Klokka 07 var det til dømes 48,9 tilfelle i gruppe F_1 i gjennomsnitt pr. år i 10-årsperioden mot berre 41,0 i 20-årsperioden. Av desse to periodane kunne vi nå lett lage ein meir representativ 30-årsperiode for klokkesletta 07,13 og 19. Perioden dekkjer dermed tidsrommet frå januar 1957 til mars 1987 med unntak av månadene januar, februar og mars 1977. Vi har da:

Tabell 5.3 Karakteristiske data for døgnvariasjonen.

Frostrøyk, r_{30}	Klokka	Tilfelle pr. ses.		
		F_1	F_2	F_3
Mest frostrøyk	07	44	33	17
Minst frostrøyk	15	32	24	13
Medel over døgnet	0 - 23	38	29	15

Vi legg merke til at medelet for døgnet ligg høgre enn gjennomsnittet av maksimal- og minimalverdien.

Sidan starten på 30-årsperioden i 1957 har det vore to tilleggsreguleringar i vassdraget ovafor Vågåmo. Elva Veo vart overført til Tesse i 1964 og Aursjøen vart regulert i 1965. Dette førte til ein viss auke i vintervassføringa, men sidan vi ikkje fann nokon samanheng mellom vintervassføring og vår klassifisering av frostrøyk, reknar vi med at tala i tabell 5.3 er toleg representative for den nemnde 30-årsperioden.

Korleis den spesifikke råmen ved mætning varierer med temperaturen kan uttrykkjast ved hjelp av Clausius-Clapeyrons likning. Tilmærma har ein:

$$(24) \quad q^* = q_s \cdot \exp \left[\frac{L_v}{R_v} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

der:

L_v = spesifikk kondensasjonsvarme for vassdampen
 R_v = spesifikk gasskonstant for vassdampen
 s = indeks som markerer tilhøva ved vassoverflata.

Ved å partiellderivere likninga med omsyn til z , får ein:

$$(25) \quad \frac{\partial q^*}{\partial z} = q_s \frac{L_v}{R_v T^2} \cdot \exp \left[\frac{L_v}{R_v} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} \right) \right] \frac{\partial T}{\partial z}$$

Her er $q_s = q^*(0)$. Ved overflata har vi vidare at $T = T_s$ og ved hjelp av (23) og (25) finn vi:

$$(26) \quad \left[\frac{\partial q_a}{\partial z} \right]_0 \geq q_s \frac{L_v}{R_v T_s^2} \cdot \left[\frac{\partial T}{\partial z} \right]_0$$

Dersom vilkåra for fri konveksjon gjeld, har ein (Golitsyn, Grasjov, 1986):

$$(27) \quad \left[\frac{\partial q_a}{\partial z} \right]_0 = \left[\frac{k_T}{k_q} \right]_0^{1/2} \cdot \frac{\Delta q_{sa}}{\Delta T_{sa}}$$

der: $\Delta q_{sa} = q_s - q_a$ og $\Delta T_{sa} = T_s - T_a$

$$(30) \quad r_a = \frac{e_v}{e_d} \quad \text{der: } e_d = \text{tettleiken til tørr luft}$$

Som før reknar vi med at lufta er mætta akkutatt i vassflata. Dermed er:

$$(31) \quad \theta_a(0) = \theta_s = T_s \quad \text{og} \quad r_a(0) = r^*(0)$$

Vi antar vidare at dei turbulente diffusjonskoeffisientane for følbar og latent varme er like store og at det over alt er ein lineær samheng mellom θ og r . Høvet β vil dermed vera konstant og så lenge vi er i eit grunt luftlag over vatnet, kan vi med god tilnærming erstatte den potensielle temperaturen med temperaturen sjølv.

$$(32) \quad \beta = \frac{r^*(0) - r_a}{\theta_s - \theta_a} = \frac{r^*(0) - r_a}{T_s - T_a} = \frac{\Delta r_{sa}}{\Delta T_{sa}}$$

Vi kan vidare tenkje oss at det går føre seg ein blandingsprosess mellom to luftmassar. Den eine er kaldlufta med blandingshøve, r_a , og temperatur, T_a . Den andre er ei luftmasse som blir danna i kontakt med vatnet og såleis har blandingshøve $r^*(0)$ og temperatur T_s . Som kjent vil resultatet av ei slik blanding liggje på ei line i r, T -planet gjennom punkta (r_a, T_a) og $(r^*(0), T_s)$. Dette er illustrert på figur 6.1 som er henta frå Saunders.

Kondensasjon av vassdamp kan berre koma i stand dersom lina skjer mætningskurva. Dette er mogleg berre dersom punktet (r_a, T_a) ligg ovafor tangenten til mætningskurva i punktet $(r^*(0), T_s)$. Den kritiske temperaturen for frostrøykdanning får ein difor ved likninga:

$$(33) \quad \beta = \left[\frac{dr^*}{dT} \right]_0$$

Ved å føre inn i (33) frå Clausius-Clapeyrons likning, ser ein at likning (33) tilsvarar likning (28) ovafor berre med den skilnaden at blandingshøvet i staden for spesifikk råme er brukt og at (33) manglar faktoren som tek omsyn til at dei to diffusjonskoeffisientane ikkje er heilt like.

7 APPENDIKS II, KATEGORISERTE DATA

La oss tenkje oss ei samling av data som er klassifisert etter eigenskapen A, om han finst eller ikkje. Vi kan også tenkje oss ein annan eigenskap B som dataene i samlinga kan klassifiserast etter. Vi har dermed fått i alt fire undergrupper av data. Det er:

- 1) Både eigenskapane finst. (A , B)
- 2) Eigenskapen A finst, men ikkje B. (A , i-B)
- 3) Eigenskapen B finst, men ikkje A. (B , i-A)
- 4) Ingen av eigenskapane finst. (i-A , i-B)

Innafor desse fire undergruppene fell det a, b, c og d observasjonar.

Dette kan oversynleg setjast opp i ein 2 x 2 - tabell.

	B	i-B	sum
A	a	b	a+b
i-A	c	d	c+d
sum	a+c	b+d	n

Dersom det er samanheng mellom eigenskapane A og B, vil det i dataene vera slik at element som har A også har ein tendens til å ha B, og element som ikkje har A vil ha ein tendens til ikkje å ha B. Dataene vil dermed samle seg om diagonalen a-d i tabellen.

Det finst utvikla ei mengd mål for samanhengen (eng. association) mellom dei to eigenskapane. Mykje brukt er ein koeffisient etter Yule.

$$(ad) \quad Y = \frac{ad-bc}{ad+bc}$$

8 APPENDIKS III, SUBROUTINE FOR FROSTRØYKUTREKNING

8.1 Vilkåra for bruken av rutinen

Denne subrutinen er basert på frostrøykdata frå eit isfritt område nær Vågåmo og meteorologiske data frå Klones landbruksskule som ligg nær dalbotnen. Vassføringa i elva under frostrøyk varierte frå $16 \text{ m}^3/\text{s}$ til $75 \text{ m}^3/\text{s}$.

Rutinen tek omsyn til variasjonar i lufttemperatur, relativ råme, skydekke og vassstemperatur, men rutinen tek ikkje omsyn til variasjon av vindstyrken. I Vågåmo var vinden sjeldan sterkare enn 2 m/s under frostrøyk.

Brukt på stader der kombinasjonen vind/kulde er vanleg, vil rutinen gje for mykje frostrøyk. Rutinen kan ventast å gje gode resultat på stader der kaldluft lett stagnerer slik tilfelle er i Vågåmo.

8.2 Praktisk bruk av rutinen

For kvart kall av subrutinen vil rutinen rekne ut sannsynet for frostrøyk. Ved å kalle rutinen så mange gonger som det finst observasjonar, vil ein få det gjennomsnittlege talet på frostrøyktilfelle pr. sesong, jamfør formel (17). Ved å gje månad og time på døgnet for kvar observasjon, vil rutinen telje opp for kvar månad og time i døgnet, sjå tabell 8.1 som er eit eksempel på utskrift frå rutinen. Horizontal variabel er tidspunkt på døgnet representert ved timane og vertikal variabel er tidspunkt på året representert ved månadene.

Tabell 8.1 Eksempel på utskrift frå subrutinen.

MÅN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	14.7	14.8	14.9	14.8	14.9	15.0	15.0	14.9	14.8	14.8	14.7	14.5	14.0	13.8	13.6	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.3	14.4	14.6
2	11.9	12.1	12.4	12.5	12.8	13.0	13.1	13.1	13.2	13.0	12.5	11.8	10.9	10.0	9.4	8.9	8.8	9.1	9.6	10.0	10.3	10.5	10.9	11.3
3	3.7	4.2	4.5	5.0	5.4	5.7	5.9	6.1	5.9	5.3	4.3	3.1	2.1	1.3	0.9	0.6	0.5	0.7	0.9	1.3	1.7	2.2	2.7	3.2
11	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.4	4.5	4.6	4.6	4.5	4.3	4.0	3.7	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4
12	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.4	10.5	10.5	10.3	10.1	10.0	10.0	10.0	10.1	10.1	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3
SUM	44.7	45.6	46.4	46.9	47.6	48.2	48.7	48.9	49.0	48.1	46.3	43.8	40.8	38.6	37.3	36.7	36.8	37.6	38.7	39.8	40.7	41.6	42.6	43.7

```

RM=1.325 ; RN=2.115 ; AA=.0563 ; BB=.00569 ; RK=.1274
TO= 7.5 ; T1=12.7 ; T2=12.7 ; T3=21.0
ELSEIF(IGRU.EQ.2) THEN
RM=2.075 ; RN=1.675 ; AA=.00619 ; BB=.0207 ; RK=.1250
TO= 7.0 ; T1=15.3 ; T2=15.3 ; T3=22.0
ELSEIF(IGRU.EQ.3) THEN
RM=2.407 ; RN=3.587 ; AA=.00208 ; BB=.0000944 ; RK=.0622
TO= 9.0 ; T1=15.0 ; T2=26.5 ; T3=34.0 ; RKON=-.777 ;
ENDIF
ELSEIF(CHIN.EQ.'B') THEN
IF(IGRU.EQ.1) THEN
RM=2.025 ; RN=1.275 ; AA=.00723 ; BB=.0626 ; RK=.1250
TO=0.6 ; T1= 8.7 ; T2=8.7 ; T3=13.8
ELSEIF(IGRU.EQ.2) THEN
RM=2.567 ; RN=1.303 ; AA=.00137 ; BB=.0606 ; RK=.1290
TO= 1.1 ; T1=11.0 ; T2=11. ; T3=16.1
ELSEIF(IGRU.EQ.3) THEN
RM=4.434 ; RN=3.077 ; AA=9.26E-06 ; BB=.000427 ; RK=.0747
TO= 2.1 ; T1=11.0 ; T2=20.1 ; T3=27.1 ; RKON=-.672 ;
ENDIF
ELSEIF(CHIN.EQ.'C') THEN
IF(IGRU.EQ.1) THEN
RM=1.459 ; RN=1.716 ; AA=.0464 ; BB=.0231 ; RK=.1430
TO= 3.9 ; T1= 9.0 ; T2=9.0 ; T3=15.0
ELSEIF(IGRU.EQ.2) THEN
RM=1.516 ; RN=1.277 ; AA=.0357 ; BB=.0674 ; RK=.1330
TO= 6.0 ; T1=11.7 ; T2=11.7 ; T3=16.5
ELSEIF(IGRU.EQ.3) THEN
RM=1.733 ; RN=4.658 ; AA=.0151 ; BB=1.25E-06 ; RK=.0711
TO= 9.0 ; T1=12.9 ; T2=21.9 ; T3=35.0 ; RKON=-.757 ;
ENDIF
ELSEIF(CHIN.EQ.'D') THEN
IF(IGRU.EQ.1) THEN
RM=1.728 ; RN=1.888 ; AA=.0271 ; BB=.0175 ; RK=.1600
TO=-0.9 ; T1= 4.5 ; T2=4.5 ; T3=10.4
ELSEIF(IGRU.EQ.2) THEN
RM=1.624 ; RN=1.258 ; AA=.0258 ; BB=.0695 ; RK=.1310
TO= 1.1 ; T1= 7.3 ; T2=7.3 ; T3=12.1
ELSEIF(IGRU.EQ.3) THEN
RM=4.685 ; RN=2.987 ; AA=1.38E-05 ; BB=5.79E-04 ; RK=.0758
TO= 1.1 ; T1= 7.9 ; T2=17.4 ; T3=24.1 ; RKON=-.489 ;
ENDIF
ENDIF

```

C

```

-----
* Rutinen tel frostrøyken
  ELSEIF(FLAG.EQ.'TELJ') THEN
    IF(CHIN.EQ.'A') THEN
* Reknar ut indeksen
  TI=TS-TA
  ELSEIF(CHIN.EQ.'B') THEN
* Må først finne TK med ein iterasjonsprosess
  X1=253.16 ; X2=TS
  Y1=AKRI(TS,X1,UU) ; Y2=AKRI(TS,X2,UU)
  DO FOR II=1,100
    X3=(X2-X1)/2.+X1
    Y3=AKRI(TS,X3,UU)
    IF( Y3.LT.0.) X2=X3
    IF( Y3.GT.0.) X1=X3
    IF((X2-X1).LT.0.05) TK=X3
    IF((X2-X1).LT.0.05) GOTO 123
  ENDDO

```

9 APPENDIKS IV, DAL-STRATUS I OTTADALEN

§ 1. Bane

Observatør Sigmund Høgåsen gjer i denne rapporten greie for eit studium han har gjort av ei spesiell gruppe skyer som spelar ei viss rolle for lokalklimaet i Ottadalen. Ved hjelp av statistikk for åra 1974 - 1987 og ved logisk resonnering ut frå velfunderte fysiske lover syner han at ei viss undergruppe av slike skyer er knytt til isfritt vatn i dalen, slik at det oftare ligg slike skyer i Ottadalen når arealet av isfritt vatn er stort enn når dette arealet er lite. Dette gjeld for sesongen november til mars.

§ 2. Definisjonar

Stratus er skylag som har underkant mindre enn 2 km over eit grunn-nivå, t.d. hav, sletteland, større dalbotn, og som har horisontal eller nær horisontal struktur.

Dalstratus er stratus innestengd mellom dalsider.

Ekte dalstratus er avgrensa til sjølve dalen.

Uekte dalstratus ser nok ut til å vera avgrensa til sjølve dalen, sett frå dalbotnen, men ligg over fjellviddene og. Desse to undergruppene skal pro definisjon ikkje ha samanheng med nedbør-skysystem.

§ 3. Observerings- og grupperingsteknikk

Observatøren har notert temperatur, vind og skydekke m.m. i kvar time, så sant mogleg, på observasjonsplassen stasjon nr. 1458 N.Grindstugu, Vågåmo (heretter kalla N.G.). Han har notert høgda over havet til underkant av dalstratus ved hjelp av topografisk kart. Gruppering er gjort slik:

1. Ved ein del tilfelle har observatøren gått til fots eller reist gjennom skylaget og sett det frå sida eller ovanfrå.
2. Når skylaget har lagt etter seg eit rimband i dalsidene, finn ein både høgda til under- og overkant av skylaget, og ei lettvin og sikker gruppering kan gjerast.
3. Det er sett på sky-observasjonane like før og like etter at dalstratus vart observert, og det er sett godt etter om blå himmel kunne skimtast over synsranda ein eller annan plass.
4. Det er sett på observasjonar frå meteorologiske stasjonar i fleire høgder over havet.
5. Det er sett på synoptiske verkart.

DALSTRATUS - STATISTIKK

for Vågåmo

for observasjonsperioden 1/11 1974 til 31/3 1987

Tabell A

Frå 1.november fram til full islegging av Vågåvatn

År	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	Kl. 10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
1974-75	5	5	5	5	6	5	3	3	3	3	3	3	46
1975-76	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	62
1976-77	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	33
1977-78	4	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	60
1978-79	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	28
1979-80	2	2	2	2	3	2	2	1	1	0	0	0	14
1980-81	7	6	4	2	3	4	0	0	0	0	0	0	16
1981-82	4	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	31
1982-83	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	38
1983-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
1984-85	1	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	58
1985-86	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	19
1986-87	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	50
Sum	30	26	24	21	23	22	12	11	11	11	12	12	485
Frekvens %	6,2	5,4	4,9	4,3	4,7	4,5	2,5	2,3	2,3	2,3	2,5	2,5	

Tabell B

Frå dagen etter full islegging av Vågåvatn fram til 31.mars

År	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	Kl. 10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
1974-75	1	1	1	1	1	1	6	6	4	4	2	1	105
1975-76	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	90
1976-77	4	4	4	3	0	0	1	1	1	0	0	0	118
1977-78	2	2	2	2	2	0	2	2	1	1	1	1	91
1978-79	1	1	1	1	1	0	3	3	2	2	0	0	123
1979-80	0	1	1	1	1	1	5	6	5	3	3	3	138
1980-81	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1	135
1981-82	0	0	0	0	0	0	7	8	8	6	6	6	120
1982-83	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0	113
1983-84	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	122
1984-85	0	0	1	1	1	1	3	3	1	1	1	0	93
1985-86	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	132
1986-87	4	4	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	101
Sum	15	15	14	13	9	6	35	35	29	24	20	14	1481
Frekvens %	1,0	1,0	0,9	0,9	0,6	0,4	2,4	2,4	2,0	1,6	1,4	0,9	

DALSTRATUS-STATISTIKK

OVER ALLE TILFELLE MED DALSTRATUS-SKYDEKKE 7/8 ELLER 8/8

over Vågåmo

i observasjonsperioden 1/9 1974 til 31/3 1987

Tabell Ca

September													
Kl.	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
Sum	6	6	2	1	1	0	2	1	1	1	1	0	390
Frekvens %	1,5	1,5	0,5	0,3	0,3	0,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	

Tabell Da

Oktober													
Kl.	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
Sum	13	10	7	6	6	6	11	9	7	6	6	6	403
Frekvens %	3,2	2,5	1,7	1,5	1,5	1,5	2,7	2,2	1,7	1,5	1,5	1,5	

, Frå 1.november fram til full islegging av Vågåvatn

Tabell Aa

Frå 1.november fram til full islegging av Vågåvatn													
Kl.	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
Sum	22	19	14	12	10	12	11	11	11	10	10	12	485
Frekvens %	4,5	3,9	2,9	2,5	2,1	2,5	2,3	2,3	2,3	2,1	2,1	2,5	

Tabell Ea

Frå dagen etter full islegging av Vågåvatn fram til 10.februar													
Kl.	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
Sum	11	8	4	6	4	4	17	18	16	13	12	10	841
Frekvens %	1,3	1,0	0,5	0,7	0,5	0,5	2,0	2,1	1,9	1,5	1,4	1,2	

Tabell Fa

Frå 11.februar til 31.mars													
Kl.	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
Sum	2	1	1	0	0	0	17	13	8	7	2	0	640
Frekvens %	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	2,7	2,0	1,2	1,1	0,3	0,0	

Frå dagen etter full islegging av Vågåvatn fram til 31.mars

Tabell Ba

Frå dagen etter full islegging av Vågåvatn fram til 31.mars													
Kl.	Ekte dalstratus						Uekte dalstratus						L
	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15	
Sum	13	9	5	6	4	4	34	31	24	20	14	10	1481
Frekvens %	0,9	0,6	0,3	0,4	0,3	0,3	2,3	2,1	1,6	1,4	0,9	0,7	

Dagleg solgang og solhøgde er nær symmetriske om 22. desember. 10. februar har same solgang og solhøgde som 1. november. Når effekt av sol på skyer skal vurderast, er det av interesse å ha ei del-sesongdeling ved 10. februar: Tabell E, F, Ea, Fa.

Ved jamføring er det verdt å ha i minne at i september, mars og ein stor del av oktober har solvarmen gjort seg gjeldande innan kl. 10 og varer ved enno kl. 15, slik at dalstratusmaksimum fell før kl. 10 og dalstratusminimum etter kl. 15.

Dersom det berre har vore observert spreidde flak av dalstratus, er det ikkje rekna som dalstratustilfelle i denne rapporten.

Kl. 15 har ekte dalstratus tidlegast vore observert 22. september (1980), og seinast 5. februar (1975).

Kl. 10 er dei tilsvarande datoane 11. sept. (1980) og 27. februar (1987).

Dersom vi ser bort frå faste klokkeslett og reknar 1 tilfelle for kvar dag dalstratus har vore observert, ser statistikken slik ut:

	Ekte dalstratus		Uekte dalstratus	
	Tilfelle	Frekvens %	Tilfelle	Frekvens %
September	15	3,8	5	1,3
Oktober	24	6,0	18	4,5
Frå 1. november fram til full islegging	38	7,8	19	3,9
Frå full islegging til 31. mars	22	1,5	39	2,6
Frå full islegging til 10. februar	20	2,4	21	2,5
11. feb.-31. mars	2	0,3	18	2,8

§ 7. Lærerik situasjon: 19. - 23. november 1974

Etterat milde sørlege til sørvestlege vindar med store sky- og nedbørområde hadde dominert over Sør-Skandinavia 10. - 18. nov. 1974, spakna vinden over fjellområda kring Ottadalen natt til 19., i samband med at eit lågtrykk vandra inn over Danmark frå England og la seg til ro. Nedstigande luft i fri atmosfære gjorde at skyer der oppe løyste seg opp. Over Mid-Skandinavia bygde det seg så litt om senn opp eit høgtrykk med lite vind og ingen skyer i fri atmosfære. Frå middag 23. vandra høgtrykket mot Baltikum. Sørleg vind friska på i fri atmosfære og skyer drog inn over Ottadalen.

Den storstila versituasjonen hadde her lagt alt til rettes for at Ottadalen liksom områda ikring skulle få ein finversbolk. Skjemaet på neste side syner korleis det gjekk.

Av stasjonane ligg Dombås 150 meter over dalbotnen i ein dal der det var minimalt med ope vatn. I Ottadalen var så godt som alt vatn isfritt til 19., 21. la isen seg over halve Vågåvatnet, men den djupe delen heldt seg isfri ut 23., og la seg ikkje før 16. desember.

Talet framfor stasjonsnamnet er høgda over havet til stasjonen. Vågåvatn har denne årstida høgde over havet 360 meter. G.T. står for stasjonsnamnet Øvre Tessa. H.skyer står for skyer med underkant over 1000 meter over havet.

Snøen hadde lagt seg kring Vågåvatn i alle nivå.

Etter radiosondedata frå Sola, Gardermoen, Ørlandet og Frøsøn skulle temperaturen i fri atmosfære i 1400 meter over havet desse dagane ha vore -3 til -4 .

Den 22. var det brann i eit hus 600 meter over havet nær Vågåmo. Brannrøyken steig vertikalt som ein stolpe til 800 meter over havet og flata der vinkelrett ut i horisontalplanet i sakte drift mot aust. I denne høgda var det såleis denne dagen eit sperrelag, ein temperaturinversjon konsentrert til kanskje nokre få dekameter, der mild luft låg over kald. Det var så heldig at dalstratuslaget sprakk opp over Vågåmo under brannen, slik at fenomenet kunne observerast.

Underkanten av dalstratuslaget heldt seg merkeleg konstant 600 meter over havet alle 5 dagane.

I og med at den djupe delen av Vågåvatn ikkje synte teikn til is enno, er det truleg at vatnet i overflata der hadde ein temperatur på 4° eller meir, altså 23° varmare enn lufttemperaturen i 2 meters høgde over bakken på stasjonen Øvre Tessa kl. 7 den 23. Dividerer vi 23° på høgdedifferensen mellom Øvre Tessa og Vågåvatn, finn vi ein eventyrleg vertikal temperaturgradient på 6° pr. 100 meter: Seksdobbel adiabatisk! No er denne fiktiv for såvidt som temperaturen 746 meter over havet rett over det opne vatnet sikkert var langt frå dei $-19,2$ som Øvre Tessa hadde, og lufttemperaturen nede ved det opne vatnet var sikkert langt frå 4° . At vi her har ei mektig kraftkjelde for omvelting av luft, er like sikkert.

Vi legg merke til at Råstad er kaldare enn N.G. ved alle terminar desse dagane, altså ingen temperaturinversjon under 600 meter over havet, der underkanten av dalstratus heldt seg, over Vågåmo.

Vinden heldt seg på nord i N.G. desse dagane, for det meste på 1 - 4 m/sek.

Av observasjonane frå Øvre Tessa ser vi at dalstratuslaget nådde opp til over 750 meter over havet kl. 7 og kl. 13 den 19. Det kunne det godt ha gjort seinare og, utan at det låg innpå denne stasjonen.

Den som går på ski i fjellet når kvelden nærmar seg etter ein solblank dag med lite eller ingen vind, ser merkelege optiske effekter over alle småhaugar. Dette er sikkert teikn på at avkjølingsprosessen er i full gang. Snøen med si store varmeutstrålingsevne misser varme frå overflata utan at inngåande stråling lenger er sterk nok til å vega opp varmetapet. Temperaturen på snøen fell drastisk, lufta nede ved snøen misser varme til snøen og avkjølar seg sterkt medan temperaturen i lufta litt høgare oppe til så lenge held seg som før. Ein stor temperaturgradient (temperaturfall pr. meter) er resultatet. Derav dei optiske effektene.

Over ein is- og snødekt innsjø i fjellet innestengd på alle kantar kjem den avkjøla lufta ingen veg. Ettersom temperaturen fell, minkar varmeutstrålinga, og når til slutt utstrålingsintensiteten er lik innstrålingsintensiteten, sluttar temperaturfallet. Etter ei lang, klår, vindstill natt kan snøen og lufta kloss nede ved snøen ha fått ein temperatur som er meir enn 20° lågare enn temperaturen i lufta nokre få hundre meter over sjøen. Med formuleringsmåte henta frå næringslivet kan vi seia at vi har fått produsert "prima vare" (ekstremt kald luft), men vi har hatt "produksjon for stagnasjon", i og med at den produserte kaldlufta ikkje kom nokon veg.

Over skrånande lende derimot renn den sterkt avkjøla lufta ved bakken som vatn etter sterkt regn, samlar seg i smådalar stadig mektigare, og fossar deretter ned i større dalar.

Ved ei bratt fjellside under ein fjelltopp renn den avkjøla lufta unna innan lufttemperaturen har fått tid til å gå nemnande ned, og uavkjøla kjem inn bak den utrennande lufta. Her er det nok stor "produksjon for eksport", men eksportvara (kaldlufta) er av "mindre god kvalitet" (lufta er ikkje så svært kald). Over slakke skråningar renn den avkjøla lufta saktare, så temperaturen får meir tid på seg til å gå langt ned. Det siste er allermost aktuelt ved lange, slakke skråningar.

Lange, slakt skrånande snødekte vidder under klår himmel og lite eller ingen vind er dei mest effektive kaldluftprodu-sentar"for eksport".

Under avkjølinga fell ein stor del av vassdampen ut som rim på underlaget eller set seg fast på snøkrystallane.

At avkjølingslufta fossar ned frå fjellet, merkar vi som lokal vind. Slik vind har fått namnet katabatisk vind.

Når denne lufta kjem ned i dalbotnen, har ho nok fått dynamisk varme undervegs, på grunn av større trykk og samannpressing. Denne varmen fører maksimalt med seg temperaturstiging på 1° pr. 100 meter vertikalt fall. Men lufta er likevel mykje kaldare enn 0° når ho kjem ned i dalbotnen, j.fr. 19.-23. november 1974 der N.G. låg under katabatisk vind og hadde -6 til -17° .

Er alt vatn islagt, fyller den nedfossande kaldlufta opp dalen frå botnen av, slik at den kaldaste lufta kjem djupast. Vi får ein temperaturinversjon.

Er det ope vatn i dalen, vil lufta over det opne vatnet få varme frå dette vatnet. Men når lufta over vatnet er varmare og dermed lettare enn lufta utanfor vatnet, er det ikkje lenger statisk jamvekt. Lufttrykket i nedste luftlag held seg på denne måten større utanfor vatnet enn over vatnet i same nivå, og overtrykket pressar luft inn mot vatnet frå alle kantar. Den lufta som ligg over vatnet, har ein veg å gå, og det er til vers.

10 LITTERATUR

- Asvall, R. P. og Roen, S. 1981. Virkninger av vassdragsreguleringer på vanntemperatur og isforhold i norske vassdrag, spesilet med henblikk på eventuelle klimapåvirkninger. Norsk hydrologisk komite. Intern rapport nr. 10.
- Currier, E. L., Knox, J.B., Crawford, T.V. 1974. Cooling Pond Steam Fog. Journal of Air Pollution Control Association. Volum nr 24, nr. 9.
- Golitsyn, G. S. og Grasjov, A. A. 1986. Free convection of multi-component media and parameterization of air-sea interaction at light winds. Ocean-Air Interaction. Volum 1.
- Huffman, P. J. og Othake, T. 1971. Formation and Growth of Ice Fog Particles at Fairbanks, Alaska. Journal of Geophysical Research. Volum 76, nr. 3.
- Kanavin, E. K. 1971. Fysikalske forutsetninger for tåke- og rimdannelse. En orientering for vassdragsskjønn. NVE, Hydrologisk avdeling.
- Kendall, M. A., Stuart, A. 1961. The advanced theory of statistics. Volum 2. Charles Griffin & company limited, London.
- Mook, R. H. G. 1964. Frostrauch an regulierten Flüssen. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Volum 14, nr. 3.
- Rodhe, B. 1965. The concentration of liquid water in the atmosphere. Tellus. Volum 18, nr.1.
- Saunders, P. M. 1964. Sea smoke and steam fog. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Volum 90, nr. 384.
- Utaaker, K. 1979. Frost smoke downstream of hydroelectric power plants. Universitetet i München. Met. inst. Wissenschaft. Mitt. Nr 35.
- Utaaker K., Skaar E. 1986. Virkningen av Orkla/Grana-reguleringene på lokalklimaet i Orkdalen. Meteorological Report Series, Universitetet i Bergen, nr. 5.