

DNMI - RAPPORT

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

ISBN

RAPPORT NR.

8/88 KLIMA

DATO

17.03.1988

TITTEL

FROSTRØYK VED OSEN AV VÅGÅVATNET

Foredrag ved NLVF-seminar 22.-23. mars 1988.

UTARBEIDET AV

PER ØYVIND NORDLI

OPPDRAKSGIVER

STATKRAFT

OPPDRAKSNR.

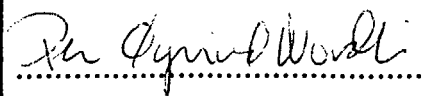
SAMMENDRAG

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

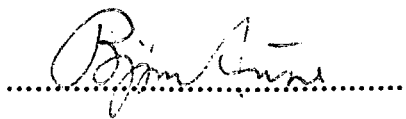
Sannsynet for frostrøyk vart funne som funksjonar av såkalla frostrøykindeksar. Dei indeksane som nytta kombinasjonar av vassstemperatur, lufttemperatur og skydekke, gav dei beste frostrøykprognosane.

Over Vågåvatnet danna det seg stundom låge lagskyer, som var avgrensa av sjølv dalen, dalstratus. Desse skyene kom seks gonger så ofte når Vågåvatnet var ope 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 FROSTRØYKPRODUKSJON OVER OPE VATN | 4 |
| 1.1 Generelt om frostrøyk | 4 |
| 1.2 Kritisk temperatur for frostrøykdanning | 5 |
| 2 OBSERVASJONAR AV FROSTRØYK PÅ VÅGÅMO | 6 |
| 2.1 Stad og topografi | 6 |
| 2.2 Frostrøykobservasjonane | 7 |
| 2.3 Største høgda til frostrøyken | 9 |
| 2.4 Sikt inne i frostrøyken | 10 |
| 3 SANNSYNET FOR FROSTRØYK | 12 |
| 3.1 Innleiing | 12 |
| 3.2 Frostrøykindeksar | 12 |
| 3.2.1 Formulering av frostrøykindeks A | 12 |
| 3.2.2 Formulering av frostrøykindeks B | 16 |
| 3.2.3 Formulering av frostrøykindeks C | 17 |
| 3.2.4 Formulering av frostrøykindeks D | 20 |
| 3.2.5 Formulering av frostrøykindeks E | 22 |

| <u>Seksjon</u> | <u>Side</u> |
|--|-------------|
| 4 PRØVING AV DEI ULIKE FROSTRØYKINDEKSANE | 24 |
| 5 KONSEKVENSAAR AV ENDRA VASSAREAL | 31 |
| 5.1 Låge lagskyer mellom dalsidene over Vågåvatnet | 31 |
| 5.2 Frostrøyk-klassifiseringa ved Vågåvassosen | 33 |
| 6 DØGNLEG VARIASJON AV FROSTRØYKEN VED VÅGÅMO | 36 |
| 7 LITTERATUR | 40 |

ABSTRAKT

FROSTRØYK VED OSEN AV VÅGÅVATNET.

Vågåvatnet ligg nær bygdesenteret Vågåmo i Vågå kommune i Gudbrandsdalen der det i 14 vintrar vart observert frostrøyk. Sesongen vara frå november til mars utan eit einaste hol i materialet. Frostrøyken vart inndelt i klassar etter ein skala frå 1 til 5, di høgre klasse di mektigare frostrøyk.

Etter definisjonen var frostrøyk i dei 3 øvste klassane mektig nok til å kunne spreie seg utover frå det isfrie området og stundom vera til ulempe ved at han kom inn over busette delar av bygda. I den statistiske behandlinga av dataene vart desse klassane slegne saman til ei gruppe som vart kalla gruppe 3.

For frostrøyk i gruppe 3 vart den største høgda, h_x , rekna frå dalbotnen til toppen av frostrøyklaget, observert. Det synt seg h_x svært sjeldan var lågare enn 50 m, som oftast var høgda under 250 m. Sikta inne i slikt frostrøyk varierte mellom 50 m og 200 m.

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

Det vart lagt vinn på å finne samanhengar mellom meteorologiske observasjonar og frostrøykdanning. I alt vart det formulert fem ulike indeksar for frostrøyken. Indeksane var funksjonar av ein eller fleire meteorologiske variable og dessutan vasstemperaturen.

Dei ulike frostrøykindeksane vart vurderte ved å jamføre dei med observasjonane. Det synt seg at dei indeksane som nytta kombinasjonar av lufttemperatur og skydekke, var dei beste. Teoretisk skulle også relativ råme i lufta spela ei rolle for frostrøykdanninga. To av indeksane vart utvida ved å ta relativ råme inn i indeksen utan at dette gav seg mælbare utslag i resultatet.

Ved hjelp av frostrøykindeksar og dei meteorologiske observasjonane vart det funne kor ofte det etter modellen kunne ha vore frostrøyk i laupet av ein 30-årsperiode. Det synt 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 styrken, F_2 er all velutvikla frostrøyk og F_3 er alle tilfella av frostrøyk som breidde seg lenger² 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 | 43.6 | 33.1 | 17.0 |
| Minst frostrøyk | 15 | 32.1 | 24.2 | 12.5 |
| Medel over døgnet | 0 - 23 | 38.4 | 28.9 | 14.8 |

Dei oppgjevne frostrøykindeksane må ein rekne med vil passe godt i dalar med stagnerande kaldluft og der vassarealet er av same storleiksorden som i Vågåmo. For å få litande utrekningar av talet på frostrøyktilfelle, er det dessutan viktig å ha temperatur-observasjonar som er representative for dalbotnen. Helst bør stasjonen også observere skydekke.

Med dei reservasjonane som er tekne ovafor skulle frostrøykindeksane eigne seg godt til å gje prognosar for framtidig frostrøyk for eventuelle nye kraftutbyggingar.

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 : $T_s - T_a + 0,84(T_r - T_a) = A + 0,84(T_r - T_a)$

F Ø R E O R D

Dette foredraget er eit utdrag frå DNMI-rapport nr 7/88, sjå litteraturlista. I den rapporten er fleire detaljar tekne med enn det har vore rom for i dette foredraget og rapporten inneheld også eit eige kapittel der spesielle frostrøyk-situasjonar er omtala. Dessutan finst der fleire appendiks som går inn på spesialemne.

I dette foredraget legg eg vinn på å ta med minst mogleg av matematiske formlar. Dei formlane som trass i dette står her, vil ein finne att i rapport nr. 7/88 med same formelnummer.

1 FROSTRØYKPRODUKSJON OVER OPE VATN

1.1 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 høgre 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 bilkøyring 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.

I Noreg finn ein frostrøyk over fjordar der kald luft frå innlandet strøymer utover vatnet. Det skjer ofte i Finnmarks-fjordane og i Oslofjorden. I innlandet skjer det om hausten over elvar og vatn og om vinteren over elvar som held seg isfrie, gjerne i samband med tapping av varmt vatn frå eit kraftverksmagasin.

Observasjonar og teoretiske arbeid viser at det er temperaturdifferensen mellom vatnet og lufta i tillegg til andre faktorar som er avgjerande for frostrøykdanninga. Det

har vist seg at det sjeldan blir frostrøyk dersom denne temperaturdifferensen er mindre enn 10°C . Dette er eit tilnærma naudsynt vilkår for frostrøykdanning, men langt frå tilstrekkeleg. Det er altså ofte temperaturdifferensar større enn 10°C utan at det blir danna frostrøyk.

1.2 Kritisk temperatur for frostrøykdanning

Vi vil her stø oss til eit arbeid av Golitsyn og Grasjov (1964) som har formulert eit vilkår for kondensasjon av vassdamp over ei vassflate. Teorien gjeld berre dersom det er "fri konveksjon" over vassflata, d.e. vindstille eller svak vind. I praksis reknar forfattarane med at vinden ikkje må vera sterkare enn 3 m/s 10 meter over bakken. Teorien skulle dermed kunne brukast i Vågåmo da sterkare vind enn dette kombinert med temperaturar under -10°C er sjeldsynte.

Vilkåret for frostrøyk er da gjeve ved likning (29).

$$(29) \quad \left[\frac{k_q}{k_T} \right]^{1/2} \cdot \frac{L_v \Delta T_{sa}}{R_v T_s^2} \geq 1 - f \cdot \exp \left[\frac{L_v}{R_v} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_a} \right) \right]$$

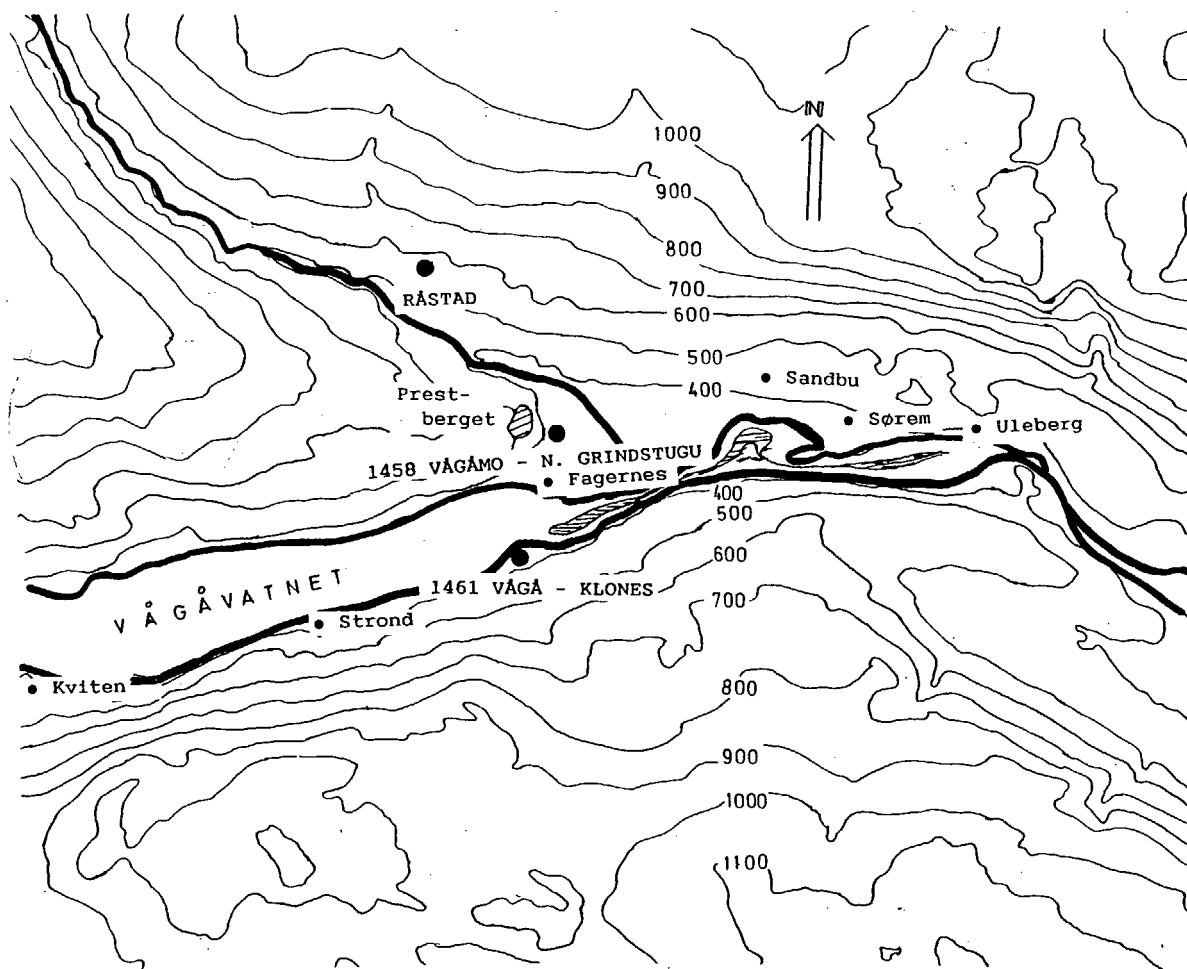
Når det gjeld symbola som er brukte i likninga, viser vi til symbollista på baksida av framsidebladet i rapporten. T_a og f kan finnast av meteorologiske observasjonar. T_s kan finnast med god tilnærming ved å observere temperaturen i elvevatnet.

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.

2 OBSERVASJONAR AV FROSTRØYK PÅ VÅGÅMO

2.1 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 nær aust-vest. Bygdesentret Vågåmo ligg nær osen av eit større vatn som heiter Vågåvatnet, som ligg 362 m.o.h. Det er lite fall i dalbotn og dermed lite sno i kaldt vinterver.



Figur 2.1. Skisse over observasjonsområdet i Vågå og dei meteorologiske stasjonane som var i drift under prosjektet. Dei områda som held seg isfrie heile året er skraverte.

Gardane ligg spreidde langs elva og oppetter lia, slik at skogen dermed er rydda i store delar av dalen. Det er likevel att eit samanhengande belte med skog mellom dei øvste gardane og fjellet. Ved Vågåmo blir åskammene brotne av ein djup sidedal der elva Finna renn.

På Klones landbruksskule har det vore ein ordinær meteorologisk verstasjon i drift sidan 1949. Klones ligg nær Vågavatnet 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 da også nær det tørraste område i landet og har ein årsnormal i perioden 1931-60 på 326 mm for stasjonen 1460 Vågåmo. 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.

Dei nemnde observasjonane frå Klones er godt representative for veret i dalbotnen der frostrøyken blir utvikla. Dei er difor brukte i denne rapporten i den statistiske bearbeidenga av frostrøykobservasjonane. I tillegg til desse dataene blir også data frå den private stasjonen Råstad brukte. Han ligg oppe i dalsida om lag 570 m.o.h. og gjev saman med Klones eit mål for den statiske stabiliteten i lufta. I tillegg til dei nemnde data har vi også supplert med data gjeve av observatøren frå sin private verstasjon 1458 Vågåmo - N. Grindstugu.

2.2 Frostrøykobservasjonane

Observasjonane starta den 1. november 1973 og vart avslutta den 31. mars 1987. I heile denne tida har observasjonane gått utan avbrot kvar vinter i gjennom slik at ein i alt rår over eit datamateriale på 14 vintrar. Observasjonsstaden var Sundbrua som ligg nær osen av Vågavatnet. Frå brua har ein utsyn vestover mot vatnet og austover langs elva, sjå figur 2.1.

Vestafor brua er osen av Vågavatnet open heile vinteren. Utpå vinteren minkar det opne vassarealet til ei råk som er om lag 500 m lang og 200 m brei. Nedafor vatnet er elva open langs ei strekning som er om lag 4 km lang og 175 m brei. Men i den siste delen av observasjonsperioden hende det at

kraftlaga reduserte tappinga av magasinina for ikkje å få isgangsskader ved Otta tettstad. Desse periodane var i regelen kuldeperiodar og det førte til at den opne råka da var monaleg mindre enn det som er nemnt ovafor.

Observasjonane vart tekne om morgonen, ofte så snart det vart ljost nok til å observere. Dermed varierte observasjonstidspunkta gjennom året alt etter dagsljøset. I spesielt velutvikla frostrøyksituasjonar vart frostrøyken og veret observert frå time til time.

Som allereie nemnt i kapittel 1 kan styrken og utbreiinga av frostrøyken variere sterkt. For å kunne observere dette på ein mest mogleg objektiv måte, vart frostrøyken inndelt i klassar med faste kriterier som galt for heile observasjonsperioden. Kriteria som i si tid vart formulerte av observatøren sjølv, cand. real. Sigmund Høgåsen, er sette opp i tabell 2.2.

Tabell 2.2 Kriterier for klasseinndeling av frostrøyk.

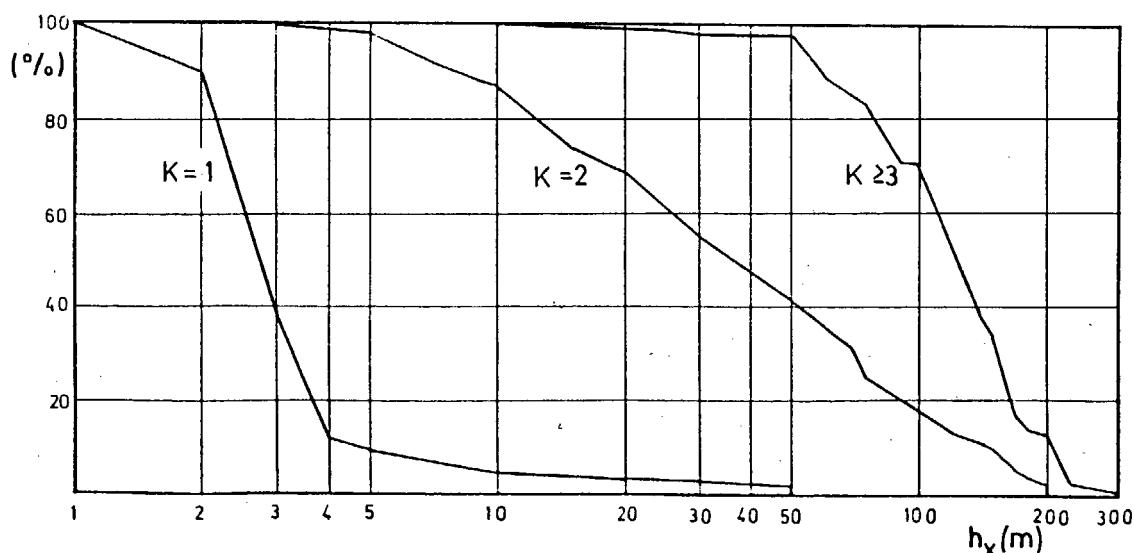
| Klasse | Kriterium |
|--------|---|
| 0 | Ingen frostrøyk |
| 1 | Så vidt synleg frostrøyk over rennande vatn frå osen og nedetter |
| 2 | Velutvikla frostrøyk som ikkje når utanom isfri vassflate |
| 3 | Frostrøyk, <u>delvis</u> tett som <u>tidvis</u> breier seg utanom isfritt vatn. Sterk riming av 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 månads-skjema. 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 frostrøykobservasjon omtala nærare i originalnotata til observatøren.

2.3 Største høgda til frostrøyken

Før vi gjev oss til å analysere observasjonsmaterialet nærare, vil vi sjå på den maksimale høgda, h_x , som frostrøyken når, rekna frå dalbotnen til toppen av frostrøyklaget. Dette er ein storleik som er lett å observere i motsetnad til medelhøgda da overflata på toppen av frostrøyklaget ofte er ujamn.

Før sesongen 1979/80 da det gamle observasjonsskjemaet var i bruk, vart høgda av frostrøyk i klasse 1 og 2 berre observert sporadisk. Likevel kjenner vi høgda for 127 tilfelle i klasse 1 og 199 tilfelle i klasse 2. For frostrøykklasse 3 eller større er materialet svært nær komplett og desse klassane inneheld 246 tilfelle av frostrøyk med kjend maksimalhøgd.



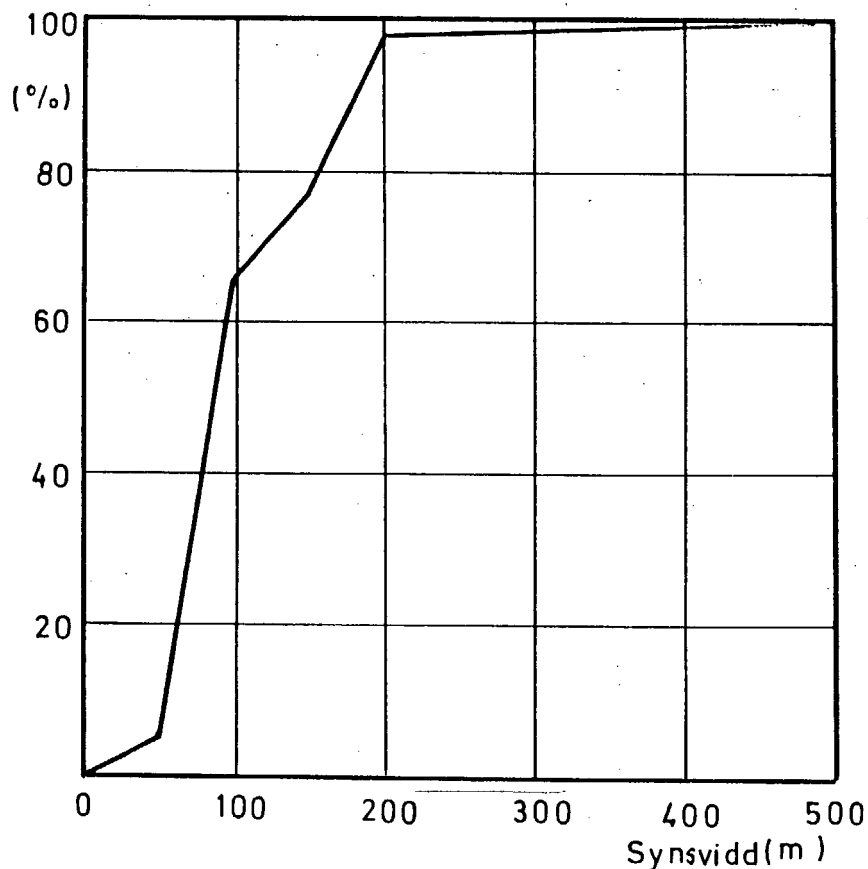
Figur 2.4. Kumulativ fordeling av største høgda til frostrøyken, h_x , for frostrøykklasse, K . Diagrammet inneheld klasse $K=1$, $K=2$ og $K=3$.

Resultata finst på figur 2.4 som viser ei kumulativ fordeling av den største høgda frostrøyken har, h_x . Figuren viser såleis at for klasse 1 er nesten all frostrøyken grunnare enn 4 meter medan han i regelen har ei maksimalhøgda som når opp til 2 meter.

I klasse 2 har så og seia alle tilfella $h_x > 5$ m og $h_x < 200$ m, men mellom desse grensene varierer høgda sterkt. Om lag 50% av tilfella har største høgda større enn 30 meter. Vi noterer oss at nesten 20 % av tilfella har høgda større enn 100 meter utan at frostrøyken spreier seg utover frå det isfrie området.

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.

2.4 Sikt inne i frostrøyken



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

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.

3 SANNSYNET FOR FROSTRØYK

3.1 Innleiing

Målet med denne granskinga er å finne sannsynet for frostrøyk utan at ein treng å starte lange og tidkrevjande observasjonsseriar. Vi vil prøve å finne metodar til å rekne ut sannsynet for frostrøyk når vi kjenner klimaet på staden gjeve ved standard verstasjonar. Som eit første hjelpemedel vil vi utvikle såkalla frostrøykindeksar som er funksjonar av meteorologiske og hydrologiske parametrar. Desse indeksane vil vi gje symbola A, B, C, osv..

3.2 Frostrøykindeksar

3.2.1 Formulering av frostrøykindeks A

I denne frostrøykindeksen er to variable representert, lufttemperaturen, T_a , og temperaturen i vassoverflata, T_s . Indeksen vil vi definere som differensen mellom vass-temperaturen og lufttemperaturen, $A = T_s - T_a$. Som nemnt er dette den vanlegaste meteorologiske parameteren som blir brukt når ein vil rekne ut sannsynet for frostrøyk. Vass-temperaturen vart observert i elva ved osen av Vågåvatnet og lufttemperaturen på den før omtalte stasjonen 1461 Vågå - Klones. Vass-temperaturen var berre nokre tidels gradar ut på seinvinteren, men kunne vera opp til 5 gradar i november. For dette føremålet reknar vi at lufttemperaturen på Klones er representativ for dalbotnen nær den opne elva.

For å få ei systematisk registrering av frostrøyken, har vi på grunnlag av observasjonsmaterialet definert eit normaltidspunkt for observering som vi vil halde oss til under den statistiske bearbeidinga. Men likevel slik at vi utan vidare godtar ein tidsdifferens på 1 time mellom aktuelt tidspunkt og normaltidspunkt. Skulle avviket vera meir enn 1 time, har vi gått igjennom kvar enkelt observasjon og gjort ei vurdering ut frå versituasjonen. I praksis viste det seg å vera svært få tvilstilfelle. Normaltidspunkta er viste i tabell 3.1.

Tabell 3.1 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 Klones 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 Klones 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.

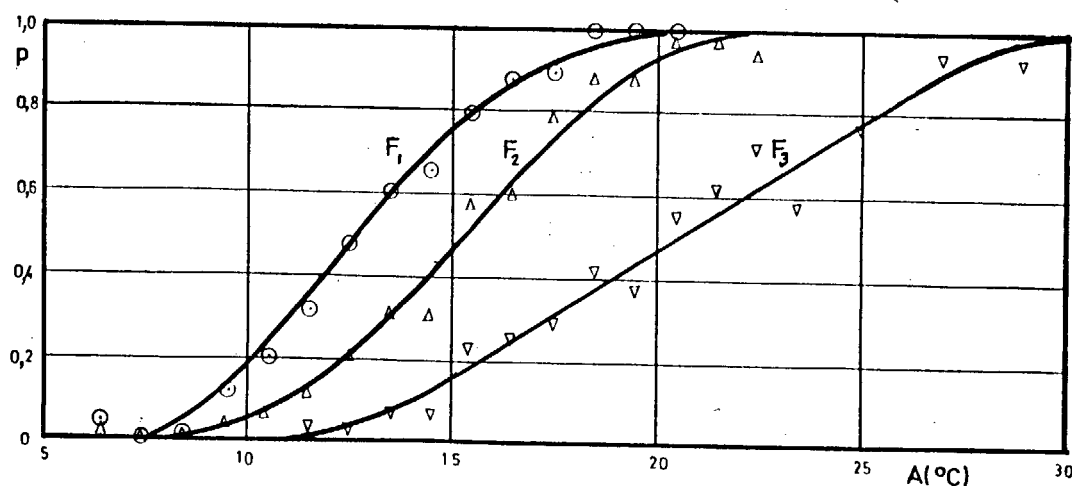
Frostrøykklassane vil vi telja opp kumulativt og gje dei namnet frostrøykgrupper med symbola F_1 , F_2 og F_3 . Opp-
teljinga er gjort slik at F_1 femnar om all frostrøyk, F_2 omfattar klassane ≥ 2 , og F_3 omfattar klassane ≥ 3 . Klassane større enn 3 inneheldt for få observasjonar til at dei åleine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

Av dette ser ein at alle observasjonane i gruppe 2 også høyrer heime i gruppe 1 og at alle observasjonane i gruppe 3 høyrer heime både i gruppe 1 og gruppe 2.

Resultata finst på figur 3.1. Alle observasjonane er delte inn etter indeks A i intervall på 1° og eit estimat for $p(A)$ er rekna ut innafor kvart intervall og frostrøykgruppe og markert med punkt i diagrammet.

Vi brukte så grafisk utjamning til å lage ei glatt kurve som best mogleg var tilpassa punkta. Under teikninga av kurva tok vi omsyn til at kvart temperaturintervall ikkje inneheldt like mange observasjonar. Da ein ved grafisk tilnærming vil få utjamna tilfeldige avvik frå intervall til intervall, vil den glatte kurva vera eit betre estimat for sannsynet for frostrøyk enn ei alternativ "trappetrinnskurve".



Figur 3.1 Sannsynet for frostrøyk $p(A)$ som funksjon av frostrøykindex, A , for frostrøykgruppene F_1 , F_2 og F_3 .

Ei tilsvarende gransking har vore gjort i Sverige, vesentleg i Norrland, (Rodhe, 1965). Dataene vart samla frå sju stader som alle låg nær opne straumdrag som ikkje fraus til sjølv i streng kulde. På desse stadene vart det observert tåke, dvs. at frostrøyken måtte koma inn over land før han vart registrert. Observasjonane til Rodhe kan dermed jamførast med gruppe F_3 .

Det viser seg at ved lufttemperatur på -10°C , har Rodhe funne at sannsynet for tåke var om lag 15 %, medan $p(10)$ var svært nær null. Ein kan difor rekne med at dei aller fleste

tåketilfella til Rodhe ikkje var frostrøyk ved denne temperaturen. Ved -20°C har Rodhe fått 0,42 som høver godt med det som vart funne i Vågåmo der $p(20)=0,46$. Ved -30°C har Rodhe fått 0,79 medan $p(30)=0,99$. Kurva frå Vågåmo stig såleis noko brattare enn kurva frå Sverige og gjev høgre sannsyn for dei lågaste lufttemperaturane. I eit område frå -15 til -20°C ligg kurvene svært nær kvarandre.

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.

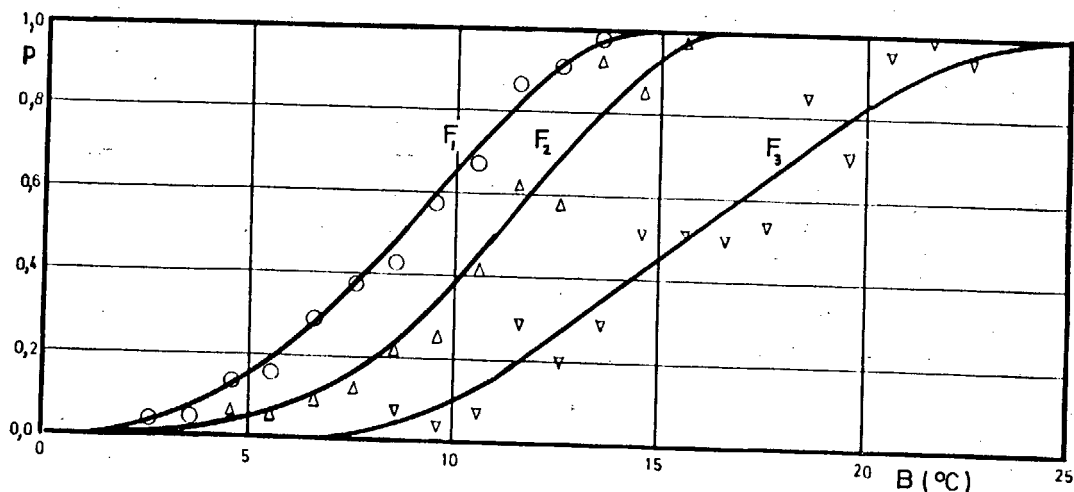
Det gjennomsnittlege sannsynet for frostrøyk ved lufttemperaturar lågare enn -10°C er rekna ut for "Østlandet i området Hallingdal - Femunden", (Kanavin, 1971). For desember var sannsynet 0,36 og for januar 0,48. Dei tilsvarande tala for Vågåmo var 0,32 og 0,40 for gruppe F_3 og heile 0,66 og 0,67 for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

3.2.2 Formulering av frostrøykindeks 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 likning (29) som finst i kapittel 1.2. Di større differensen er mellom den kritiske temperaturen og temperaturen i lufta, di større er sjansen for frostrøyk. Vi vil bruke dette til å formulere ein frostrøykindeks, $B = T_k - T_a$

Likning (29) viser kva slags meteorologiske parametrar som er med å bestemmer indeks B. Det er temperaturdifferensen mellom vatn og luft, $T_s - T_a$, liksom for indeks A. Dessutan står T_s og T_a også i likninga utanom i differensen. Og vi ser at den relative råmen i lufta, $f = U/100$ er med.



Figur 3.2 Sannsynet for frostrøyk $p(B)$ som funksjon av frostrøykindeks, B , for frostrøykgruppene F_1 , F_2 og F_3 .

Den kritiske temperaturen vart nå rekna ut for kvar frostrøykobservasjon. For at det skal vera mogleg, må ein i tillegg til dei parametrane som vart brukte i indeks A, også kjenne den relative råmen i lufta. Liksom dei andre meteorologiske parametrane, vart den relative råmen i lufta observert på Klones. I den tida stasjonen var manuell, vart råmen observert kvar sjette time. For å kunne finne tilmærma den relative råmen på observasjonstidspunktet for frostrøyken, vart han interpolert lineært mellom observasjonstidene. Den tida stasjonen var automatisk, vart den timesverdien som låg nærast i tid til frostrøykobservasjonen

brukt. På den automatiske stasjonen svikta hygrometeret ein periode. Dermed vart i alt 7 % av observasjonane borte og vi kunne i alt nytte 1971 observasjonar av i alt 2117 moglege.

Resultata er gjevne på figur 3.2 der sannsynet for frostrøyk er vist som funksjon av indeks B. Av figuren går det fram at forma på kurvene ligg svært nær den som galt for indeks A.

Etter teorien skal det ikkje kunna bli frostrøyk når indeks $B < 0^{\circ}\text{C}$. Figuren viser da også at det ikkje finst 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 frostrøykobservasjonane skulle slumpe til å ha negativ indeks.

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

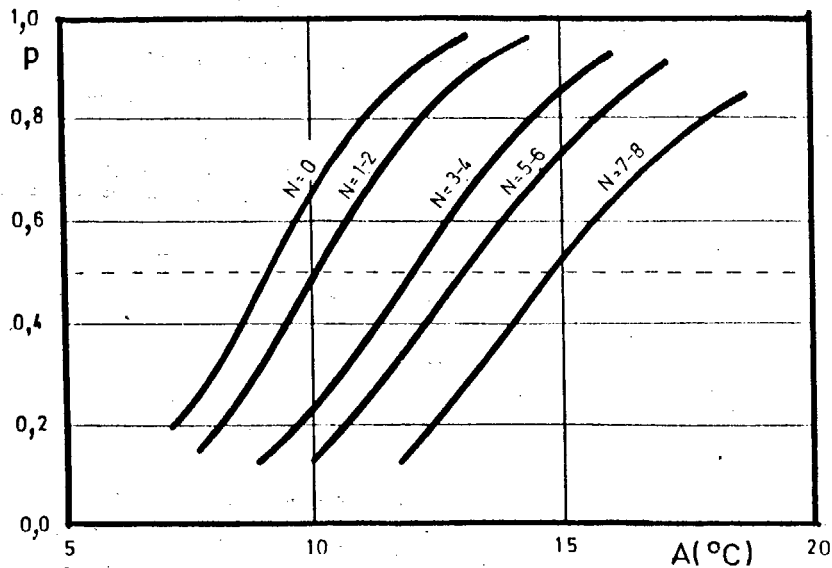
På data frå Glomma ved Rena og frå Otra har det vore gjort gransking av frostrøyk jamført med den kritiske temperaturen, T_k , (Utaaker, 1979). Utaaker fann at frostrøyk ikkje kunne bli danna før T_a var $2,5^{\circ}$ til 3° lågare enn T_k . (Eigentleg $1,5^{\circ}$ til 2° lågare enn ein T_{k0} definert litt annleis. T_k i arbeidet til Utaaker er om lag 1° lågare enn den som er brukt i denne artikkelen).

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

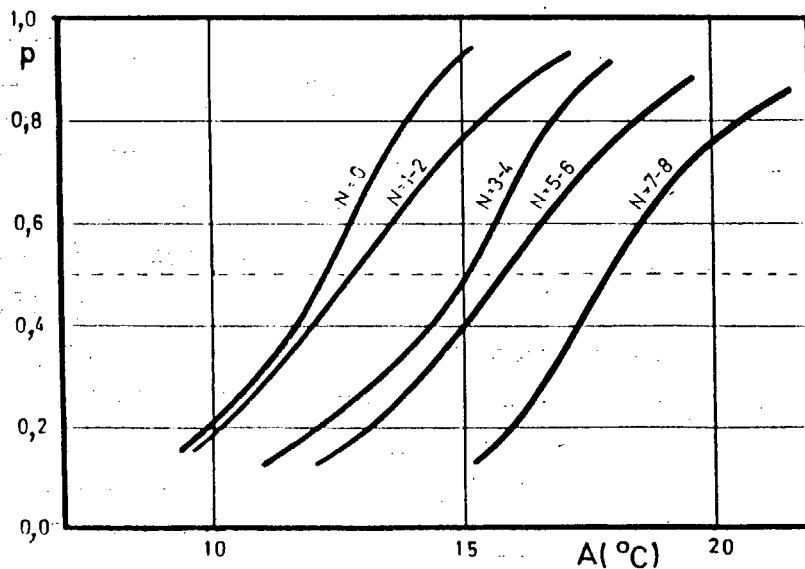
3.2.3 Formulering av frostrøykindeks C

Vi har sett under indeks A at sannsynet for frostrøyk var avhengig av temperaturdifferensen mellom vatn og luft, $T_s - T_a$. Nå veit vi at denne differensen er negativt korrelert med skydekket. Dermed må ein vente at sannsynet for frostrøyk også er korrelert med skydekket. Ei plotting av sannsynet for frostrøyk som funksjon av skydekket, ville ikkje gje effekten av skydekket åleine, men mest vera uttrykk for ein bakandeforliggjande faktor, nemleg temperaturdifferensen, $T_s - T_a$.

For å sjå om skydekket påverkar sannsynet for frostrøyk når $T_s - T_a$ er konstant, har vi delt skydekket inn i grupper. Grupperinga vart gjort såleis: 0, 1 og 2, 3 og 4, 5 og 6, 7 og 8.



Figur 3.3 Sannsynet for frostrøyk som funksjon av $A = T_s - T_a$ og med skydekket, N , som parameter. Frostrøykgruppe F_1 .



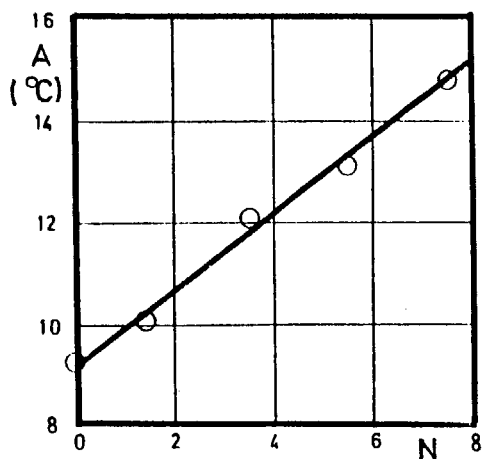
Figur 3.4 Sannsynet for frostrøyk som funksjon av $A = T_s - T_a$ og med skydekket, N , som parameter. Frostrøykgruppe F_2 .

Kurvane viser tydeleg at skydekket spelar ei rolle for frostrøyken. Når ein tek omsyn til at det innafor kvar

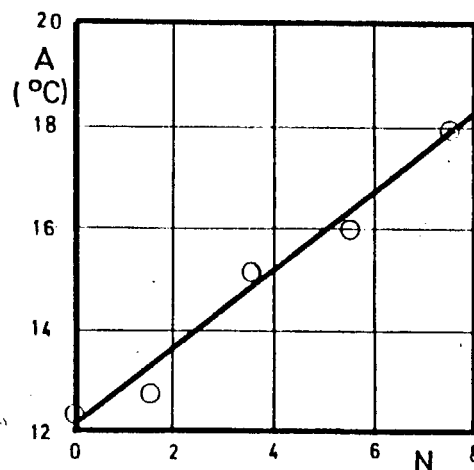
gruppe er få observasjonar slik at kurvene delvis gjev uttrykk for tilfeldige variasjonar, ser det ut til at avstanden mellom kurvene held seg rimeleg konstant når ein går frå låge til høge sannsyn for frostrøyk. Difor antar vi at skydekket spelar den same rolla både for høge og låge sannsyn og vi nøyer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

Resultata er gjevne på figurane 3.3 for F_1 og 3.4 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.

På figurane 3.3 og 3.4 har vi drege ei line ved $p=0,5$. Skjeringspunkta mellom linene og kurvene er framstilte i to nye diagram, figurane 3.5a og 3.5b der skydekket, N , er abscisse og $A=T_s-T_a$ er ordinat.



a) Gruppe F_1



b) Gruppe F_2

Figur 3.5 Kurvene 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 lineær 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 det nærliggjande å anta at vinkelkoeffisienten for dei to frostrøykgruppene er den same. Vi adopterer $0,77^\circ$ som vi

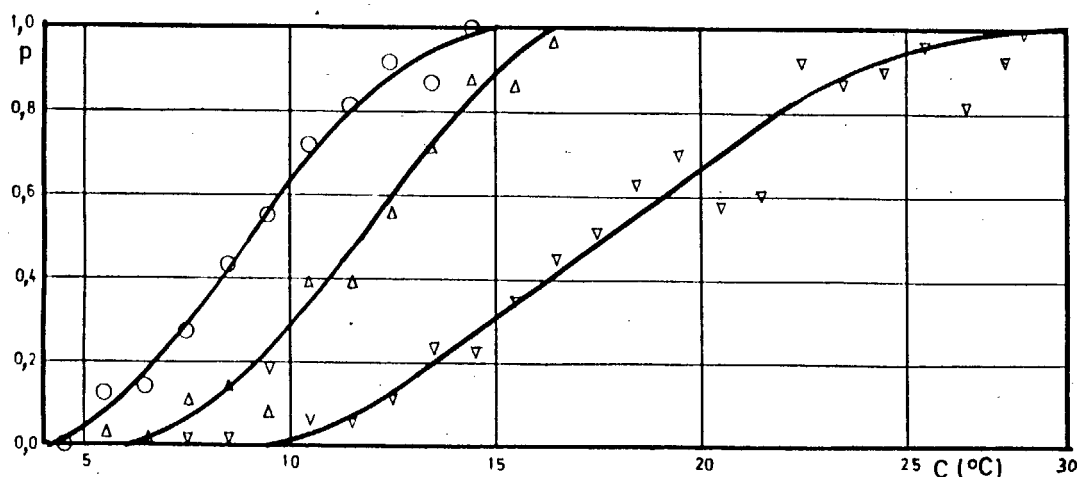
også vil bruke i gruppe F_3 der vi ikkje kan få sjekka resultatet på grunn av for få observasjonar.

Granskinga ovafor fører fram til formuleringa av ein ny frostrøykindex som vi kallar C.

$$(13) \quad C = T_s - T_a - 0,77^\circ \cdot N = A - 0,77^\circ \cdot N$$

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

På figur 3.6 er sannsynet for frostrøyk vist som funksjon av indeks C. Av figuren går det fram at forma på kurvene ligg svært nær den som galt for indeks A.



Figur 3.6 Sannsynet for frostrøyk $p(C)$ som funksjon av frostrøykindex, C, for frostrøykgruppene F_1 , F_2 og F_3 .

3.2.4 Formulering av frostrøykindex 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

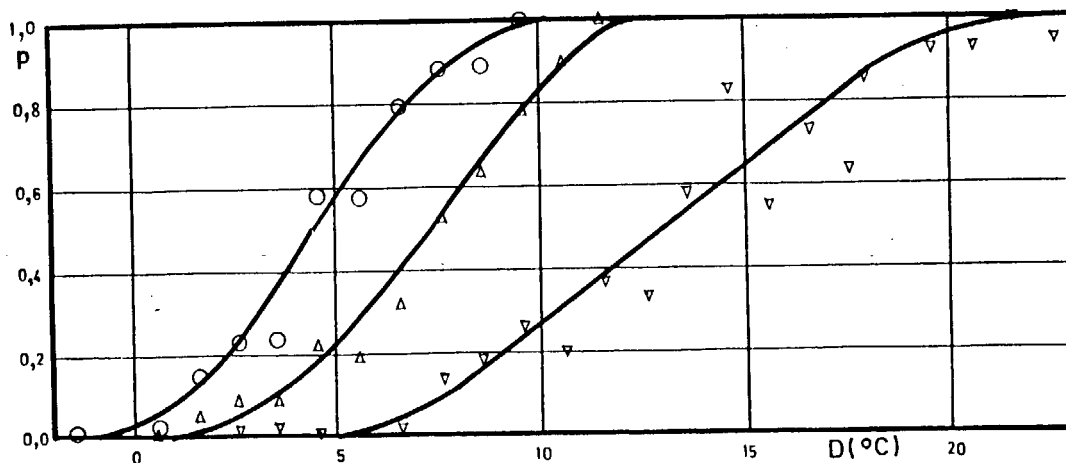
$B = T_k - T_a$ og med skydekke som parameter. Framstillinga vart gjort for gruppene F_1 og F_2 . Gruppe F_3 inneheldt for få observasjonar med overskyå ver til at framstillinga let seg gjennomføre. Desse figurane svarar til figurane 3.3 og 3.4, men med $A = T_s - T_a$ erstatta av $B = T_k - T_a$.

Deretter vart indeks $B = T_k - T_a$ framstilt som funksjon av skydekket når sannsynet for frostrøyk var konstant, tilsvarande kurvene 3.5 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. Sannsynet for frostrøyk som funksjon av indeks D er vist på figur 3.7.



Figur 3.7 Sannsynet for frostrøyk $p(D)$ som funksjon av frostrøykindeks, D , for frostrøykgruppene F_1 , F_2 og F_3 .

3.2.5 Formulering av frostrøykindex E

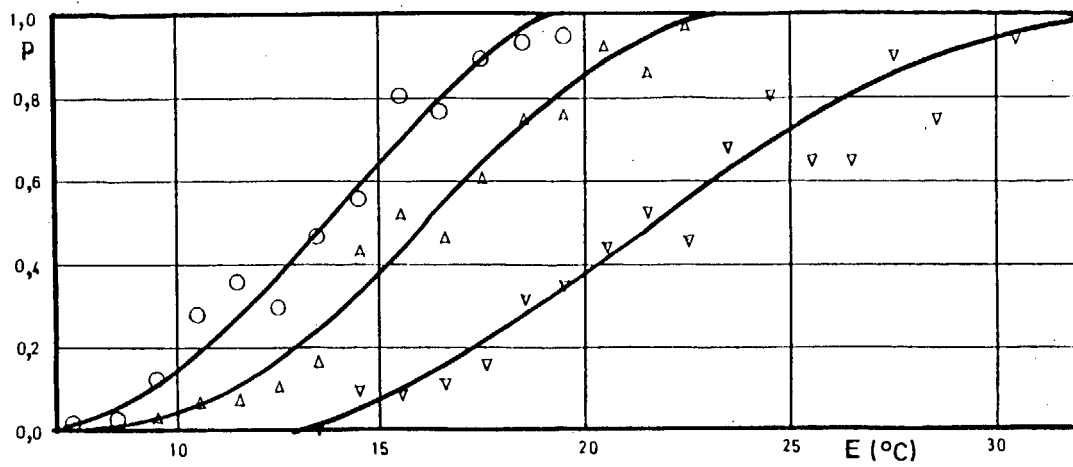
Vi vil nå granske om sannsynet for frostrøyk varierer med stabiliteten i lufta når temperaturdifferensen mellom vatn og luft blir halden konstant. Til det føremålet har vi brukt data frå ein privat meteorologisk stasjon, Råstad, som ligg 570 m.o.h., sjå figur 2.1. Stasjonen ligg såleis om lag 200 m høgre enn 1461 Vågå - Klones. Som eit uttrykk for stabiliteten i lufta vil vi bruke temperaturdifferensen mellom stasjonane, $T_r - T_a$, der T_r står for temperaturen på Råstad og T_a for temperaturen i dalbotnen representert ved Klones.

Vi formulerte ein frostrøykindex 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 frostrøykindex 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 3.8.



Figur 3.8 Samnsynet for frostrøyk $p(E)$ som funksjon av frostrøykindex, E , for frostrøykgruppene F_1 , F_2 og F_3 .

4 PRØVING AV DEI ULIKE FROSTRØYKINDEKSANE

I førre kapitlet fann vi i alt fem frostrøykindeksar som alle var funksjonar av meteorologiske variable og dessutan ein hydrologisk variabel. Ved hjelp av meteorologiske og hydrologiske observasjonar kunne indeksane reknast ut. Det viste seg at sannsynet for frostrøyk, til nå gjeve i diagramform, også kunne gjevast som kontinuerlege og deriverbare matematiske funksjonar av indeksane.

Funksjonane vart tilpassa slik at den utrekna summen av frostrøyktilfelle i observasjonsperioden, R , vart lik talet på observerte frostrøyktilfelle, P . Dette kan skrivast:

$$(16) \quad R = \sum_{i=1}^N p(I_i) \quad R = P$$

der I = ein av dei fem frostrøykindeksane.

N = talet på observasjonar for heile obs.perioden.

Dersom observasjonsmaterialet blir delte inn i undergrupper, vil til vanleg $R \neq P$ innafor kvar undergruppe. Da kan differensane mellom R og P brukast som mål for kor gode dei ulike frostrøykindeksane er. Di mindre skilnad, di betre er indeksen. Vi har valt å dele opp materialet i sesongar, og som nemnt har vi 14 i talet. Når det gjeld indeksane B og D, er det tre sesongar som ikkje er komplette. For å gjera jamføringa "rettvis", tok vi ut dei tilsvarande observasjonane for dei andre indeksane. Vi sit da att med 1971 observasjonar i staden for det komplette som er 2117.

For å rekne ut talet på frostrøyktilfelle innafor kvar sesong, brukte vi formel (16), men nå står N for talet på observasjonar i kvar sesong. Resultata finst i tabell 4.1 som inneheld verdiane P (Obs), R (Utr) og $R-P$ (Dif). Vi ser at samsvaret stort sett er bra mellom observert og utrekna frostrøyk, men det finst einskilde vintrar der samsvaret ikkje er bra. Det gjeld vinteren 1974/75 for F_1 der alle indeksane utanom indeks C grovt undervurderer frostrøyken. Vinteren 1984/85 blir frostrøyk i gruppe 3 sterkt overvurdert av alle indeksane.

Tabell 4.1 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 |

For på ein objektiv måte å velja ut dei beste indeksane, har vi rekna ut standardavviket i differensen mellom observasjonane. Desse resultatane er gjevne i tabell 4.2. Vi ser av tabellen at indeksane C og D har mindre standardavvik enn dei andre. Det gjeld for alle tre frostrøykgruppene. Men før vi dreg vidare slutningar, vil vi også teste indeksane ved ein annan metode.

Tabell 4.2 Standardavvik av den årlege differensen mellom observert og utrekna frostrøyk.

| Indeks | F ₁ | F ₂ | F ₃ |
|--------|----------------|----------------|----------------|
| A | 4,66 | 4,01 | 2,68 |
| B | 5,90 | 4,41 | 3,02 |
| C | 3,55 | 3,21 | 2,20 |
| D | 4,01 | 3,23 | 2,41 |
| E | 4,86 | 3,52 | 2,50 |

I staden for å bruke formel (16), vil vi nå rekne eitt frostrøyktilfelle for kvar gong $p(I_i) \geq 0,5$ og ingen frostrøyk når $p(I_i) < 0,5$. Resultatet blir oversynleg når det blir sett opp i 2x2-tabellar slik som i tabell 4.3. I ruta (P,R) står tilfelle der både observasjonar og utrekning gav frostrøyk, i ruta (i-P,i-R) gav korkje observasjonar eller utrekning frostrøyk. Alle tilfella i desse rutene viser altså samsvar mellom modell og observasjonar og di betre modellen er, di fleire tilfelle er samla i desse to rutene. Dei to andre rutene femner tilfelle der det ikkje er samsvar.

Å teste samsvar i 2x2-tabellar er vanleg i samfunnsforskning og det er utvikla mål for dette samsvaret (eng. association) og det finst fleire slike mål i statistisk litteratur, (Kendall, Stuart, 1961). Vi har brukt to av dei, som her er kalla Y og V. Til liks med "vanlege" korrelasjonskoeffisientar, har dei verdien +1 ved fullt samsvar og verdien 0 dersom det ikkje finst samsvar.

Vi har brukt Y og V til å teste samsvaret mellom observert og utrekna frostrøyk. Resultatane finst i tabell 4.4. Vi ser at det er stor skilnad på verdien av Y og V brukt på same dataene, men det er uvesentleg for vårt bruk. Det vesentlege er at dei er samstemte når det gjeld å vurdere kor gode dei ulike indeksane er. Slik sett gjev dei nær same resultat. Der Y har den høgste verdien, har også V stort sett den høgste verdien.

Tabell 4.3 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 |

Tabell 4.4 Korrelasjonsmatrise

| Indeks | F ₁ | | F ₂ | | F ₃ | |
|--------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | Y | V | Y | V | Y | V |
| A | 0,980 | 0,798 | 0,985 | 0,800 | 0,969 | 0,652 |
| B | 0,980 | 0,791 | 0,984 | 0,795 | 0,971 | 0,669 |
| C | 0,989 | 0,845 | 0,991 | 0,847 | 0,980 | 0,723 |
| D | 0,990 | 0,853 | 0,992 | 0,849 | 0,986 | 0,763 |
| E | 0,982 | 0,798 | 0,982 | 0,786 | 0,971 | 0,670 |

For å betre oversynet har vi i tabell 4.5 sett opp rekkjefølgja mellom dei ulike indeksane etter kor gode dei er. Resultata frå både metodane er med i tabellen. Kolonnen merka s vart ordna på grunnlag av standardavviket i tabell 4.2, slik at di lågare standardavvik di høgre opp i tabellen vart vedkomande indeks sett. Kolonne merka Y,V gjev rekkjefølgja basert på medelverdien av Y og V, di høgre verdi di høgre opp i tabellen vart vedkomande indeks sett.

Tabell 4.5.

| Orden | F ₁ | | F ₂ | | F ₃ | |
|-------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | s | Y,V | s | Y,V | s | Y,V |
| 1 | C | D | C | D | C | D |
| 2 | D | C | D | C | D | C |
| 3 | A | E | E | A | E | E |
| 4 | E | A | A | B | A | B |
| 5 | B | B | B | E | B | A |

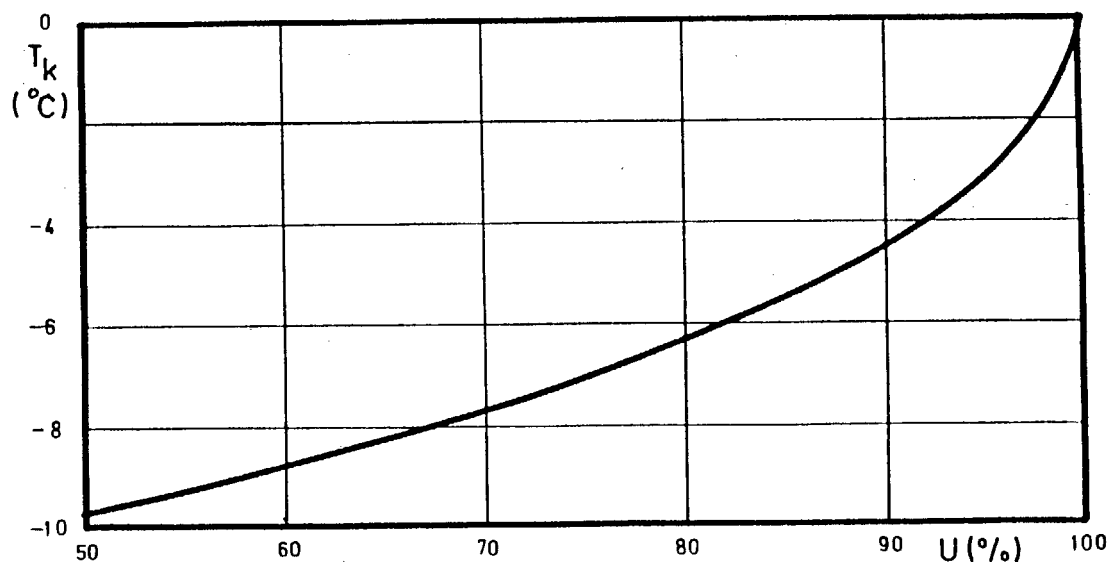
Av den siste tabellen kan vi trekkje nokre viktige konklusjonar:

- 1) Dei to indeksane C og D er dei beste. Dei står på dei to første plassane i tabellen utan omsyn til kva frostrøykgruppe det gjeld eller kva testmetode som er brukt.

Kommentar: Det spesielle med indeksane C og D er at skydekket er teke med i indeksane. Reint fysisk påverkar skydekke netto langbølgja utstråling frå skydråpane. Er det heilt overskya, er energitapet ved stråling ofte nær null. Di mindre skydekket er, di større vil energitapet til vanleg bli. Utstrålinga frå dråpane verkar til å kjøle dei ned og dermed lettare hindre at dei fordampar. Energitalet vil vera spesielt stort frå toppen av frostrøyklaget.

- 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 4.1.



Figur 4.1. 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 4.1. Til jamføring minner vi om at skydekket reduserte indeksane med om lag 6° når det

auka frå 0 til 8. Når vi tek omsyn til at skydekket er U-fordelt, dvs. at dei fleste obdervasjonane ligg i ytterkantane, kan ein av dette slutte at skydekket betyr meir for sannsynet for frostrøyk enn den kritiske temperaturen, som i det vesentlege representerer den relative råmen i lufta.

Grunnen til at den kritiske temperaturen ikkje ser ut til å betre indeksane, kan vera at T_k har så lite å seia for resultatet at innverknaden frå han har vorte borte på grunn av tilfeldige variasjonar i materialet.

- 3) Den frostrøykindeksen som brukte den gjennomsnittlege stabiliteten i dalatmosfæren var dårlegare enn dei indeksane som brukte skydekket.

Kommentar: I definisjonen for indeks E går temperaturdifferensen mellom to stasjonar inn som eit mål for stabiliteten av dalatmosfæren. Høgdeskilnaden mellom stasjonane var om lag 200 meter. Rangeringa av indeksane i tabell 4.5 syner at i gruppene F_1 og F_2 , gjev indeksen snautt betre resultat enn den mest enkle indeksen, A, som berre gjer nytte av temperaturdifferensen mellom vatn og luft. For gruppe F_3 viser tabellane at indeksen blir klårt betre enn både A og B, men også for denne gruppa er han klårt dårlegare enn C og D.

5 KONSEKVENSAV ENDRÅ VASSAREAL

5.1 Låge lagskyer mellom dalsidene over Vågåvatnet

Før isen legg seg på Vågåvatnet, er det om lag 12 km² ope vatn på strekninga mellom Garmo og Vågåmo. I 13 vintrar har observatøren Sigmund Høgåsen studert låge lagskyer, innestengd mellom dalsidene over vatnet både før og etter at isen har lagt seg. I desse åra har isen lagt seg tidlegast 14. november og seinast den 1. januar.

I observasjonane vart det skilt mellom to typer lagskyer.

- 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.

I tabell 5.1 er talt opp tilfelle av ekte og uekte dalstratus i to sesongar.

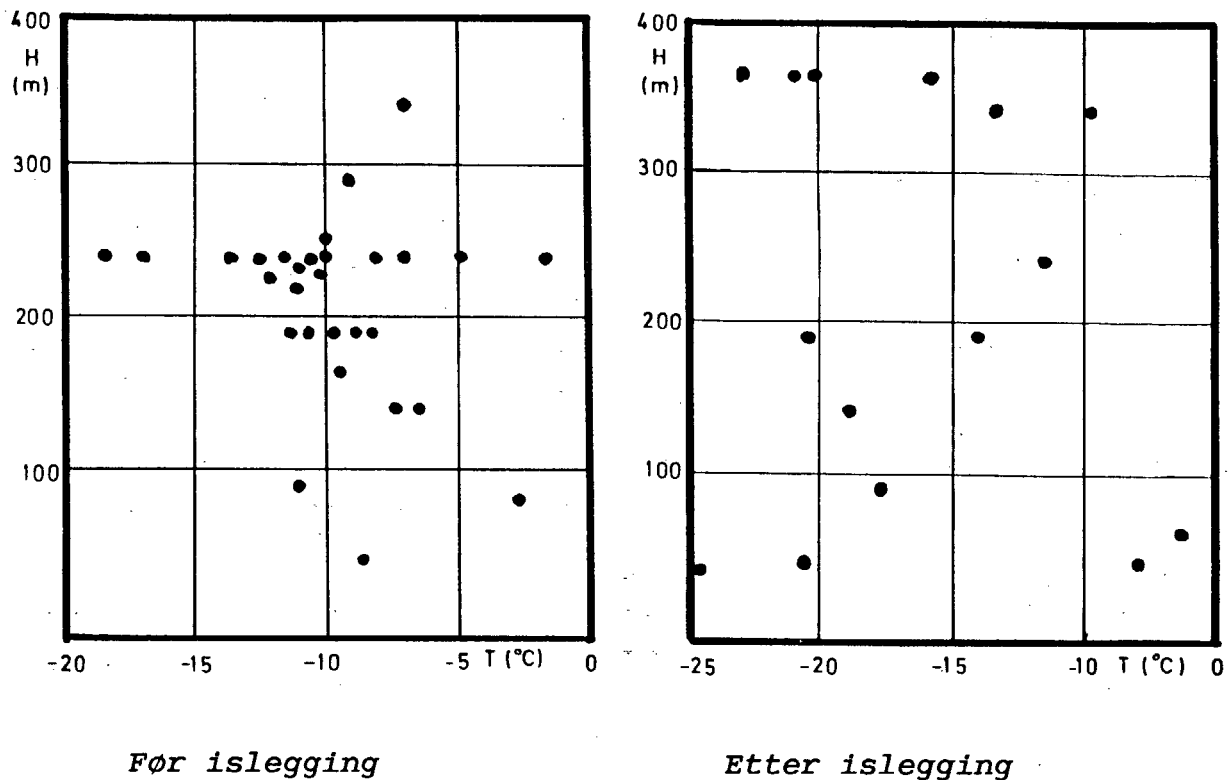
Sesong I Frå 1. november til isen har lagt seg på Vågåvatnet.

Sesong II Frå dagen etter islegginga og til 31. mars.

Tabell 5.1 Ekte og uekte dalstratus.

| Ekte dalstratus | | | | | | | Uekte dalstratus | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frå 1. november til full islegging av Vågåvatnet | | | | | | | | | | | | |
| Kl. | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Tilfelle | 30 | 26 | 24 | 21 | 23 | 22 | 12 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 |
| 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 |
| Frå dagen etter full islegging av Vågåvatnet fram til 31. mars. | | | | | | | | | | | | |
| Tilfelle | 15 | 15 | 14 | 13 | 9 | 6 | 35 | 35 | 29 | 24 | 20 | 14 |
| 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 |

Tabell 5.1 viser at det er om lag seks ganger så ofte ekte dalstratus over Vågåvatnet før isen har lagt seg som etter at vatnet er islagt. Den uekte dalstratusen har derimot frekvensar som er om lag like store i dei to sesongane tidleg på dagen. Utover dagen går sannsynet for dalstratus i sesong II ned på grunn av soloppvarminga.



Figur 5.1 Ekte dalstratus over Vågåvatnet før og etter islegging. H = Høgde over dalbotnen til underkanten av skylaget. T = Lufttemperatur på stasjonen 1458 Vågåmo - N. Grindstugu.

På figur 5.1 er alle observasjonane av ekte dalstratus plotta inn. Det viser seg at underlaget av den ekte dalstratusen er vanlegast omkring 200 meter over dalbotnen når Vågåvatnet er isfritt. Er vatnet islagt er variasjonen større frå tilfelle til tilfelle. Vi legg merke til at sesong II er lenger enn sesong I slik at diagrammet gjev eit skeivt inntrykk av sannsynet for dalstratus dei to sesongane imellom.

Den viktigaste av dei prosessane som skaper ekte dalstratus kan forklarast slik: Kald luft kan skli nedover dal-skråningane og møte Vågåvatnet i dalbotnen. Vassflata er varmare enn kaldlufta som blir vermt opp av varmetransporten frå vatnet. Over vassflata vil lufta difor ta til å stige oppover.

Er differensen mellom vasstemperaturen og den kritiske temperaturen stor nok, når lufta metningspunktet kloss nede ved vatnet, og vi får frostrøyk. Men om ikkje dette er tilfelle, kan lufta nå metning etter å ha stigi høgt nok, på grunn av ekspansjonsavkjøling. Dermed har vi fått ekte dalstratus så framt metningsnivået ikkje ligg for høgt. Det er eit avgjerande vilkår at vatnet er så stort at ikkje den oppstigande lufta ved blanding med umetta luft ikring fjernar seg frå metningspunktet. Der ope vatn fyller mest heile dalbotnen, slik som det er etter Vågåvatnet så lenge det er ope, er det sistnemnde vilkåret oppfylt.

Vi kan nå konkludere med at ope vatn er årsak til ekte dalstratus. Det er dokumentert ved denne statistiske granskinga og kan også forklarast teoretisk. Dersom ei kraftutbygging skaper store areal ope vatn, kan det føre til at det oftare legg seg lagskyer i dalen eller fjorden. Omvendt vil det vera dersom ein fjord oftare frys til, da vil lagskyene bli sjeldnare.

5.2 Frostrøyk-klassifiseringa ved Vågåvassosen

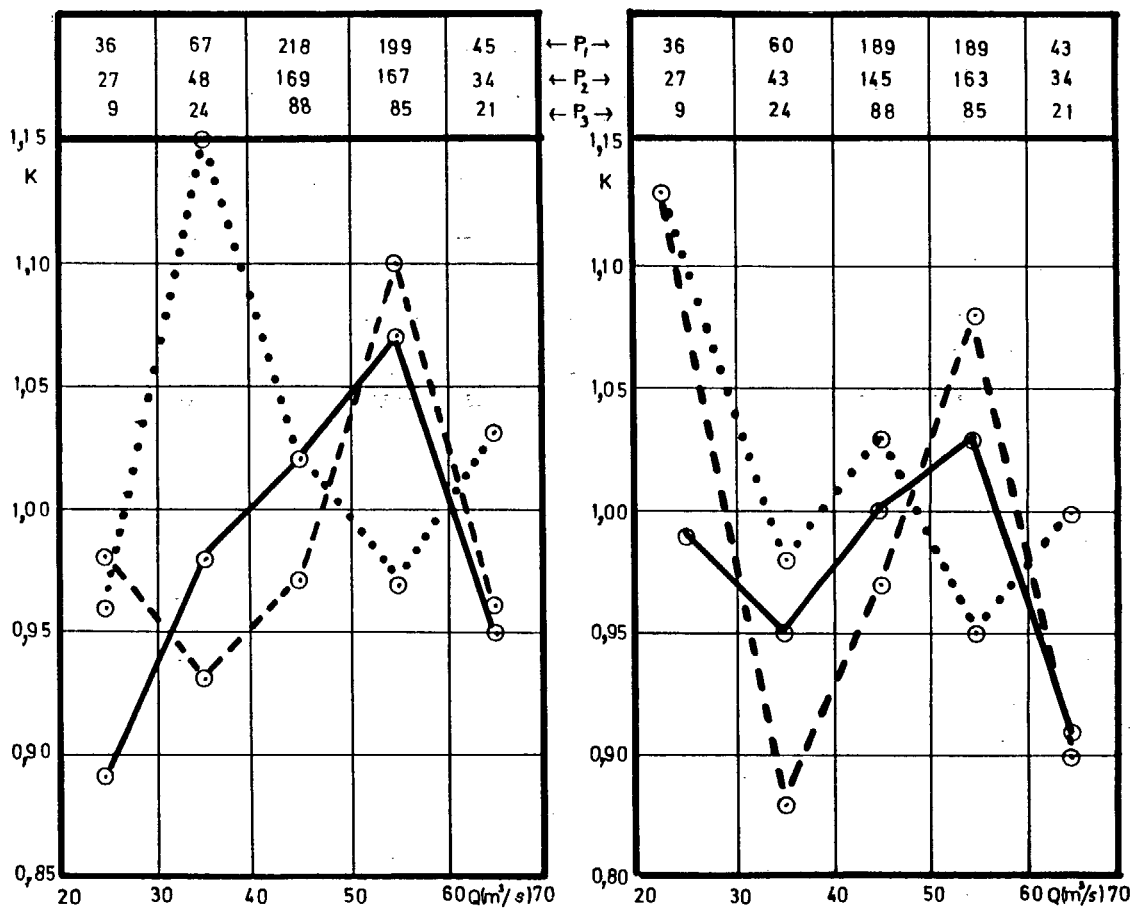
Vi har nå sett at islegginga av Vågåvatnet har store konsekvensar for danninga av dalstratus. Når det gjeld frostrøyken er det greitt at produksjonen vil auke med aukande vassareal når dei meteogologiske vilkåra for frostrøyk held seg konstante. Men spørsmålet er om dette påverkar vår registrering av frostrøyken i klassar. Har han til dømes lettare for å koma inn over land når vassarealet er stort enn når det er lite slik at det blir fleire tilfelle av klasse 3?

For å få granska dette skulle vi hatt observasjonar over vassarealet til kvar tid. Men det finst ikkje og vi vil bruke vassføringa i staden. Det finst ein positiv korrelasjon mellom vassføring og vassareal slik at når vassføringa er stor, har også vassarealet ein tendens til å vera stort. Vi reknar med at korrelasjonen er betre dersom vi berre tek med observasjonar etter at Vågåvatnet er fullt islagt. Vi bukar dei same datoane som for dalstratusen, sjå kapittel 5.1. Dette fører til at observasjonane blir reduserte frå 2117 til 1597 i dei 14 vintersesongane observasjonane vara.

Vi har delt vassføringa inn i intervall på $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Dei fleste av observasjonane høyrer heime i intervalla $[40,50>$ og $[50,60>$. Vassføringar over $70 \text{ m}^3/\text{s}$ var svært sjeldne og det same galdt vassføringar under $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Observasjonar ved

vassføringar over $70 \text{ m}^3/\text{s}$ eller under $20 \text{ m}^3/\text{s}$ vart difor lagt inn under nabointervalla.

Innafor kvart intervall av vassføring har vi så brukt dei to beste indeksane, C og D, til å rekne ut kor mange frostrøyk dagar ein skulle ha etter modellen. Deretter er det talt opp kor mange observasjonar av frostrøyk som verkelege 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 5.2 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. Dersom ein tek til å sjå på større opne areal, areal av ein annan storleiksorden enn ved osen, har vi alt sett at dette kan skape større sjanse for låge skyer oppe i dalsidene.

Ein må også vente at sjansen for frostrøyk ikkje vil halde seg konstant i dei ulike klassane dersom vassarealet skulle bli svært lite, til dømes gå over til å bli ei råk med ei breidd på ein meter eller to. Truleg vil da sannsynet for at frostrøyken skulle spreie seg utover frå råka minke.

Når det gjeld nye kraftutbyggingar er det ofte aktuelt å lage prognosar for frostrøyk utan at arealet av ope vatn er kjent i detalj på førehand. Dersom areal ope vatn er av same storleiksorden som på Vågåmo og kombinasjonar av sterk vind og kulde er sjeldne, skulle dei frostrøykindeksane som her er funne også kunne brukast andre stader i landet.

6 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.

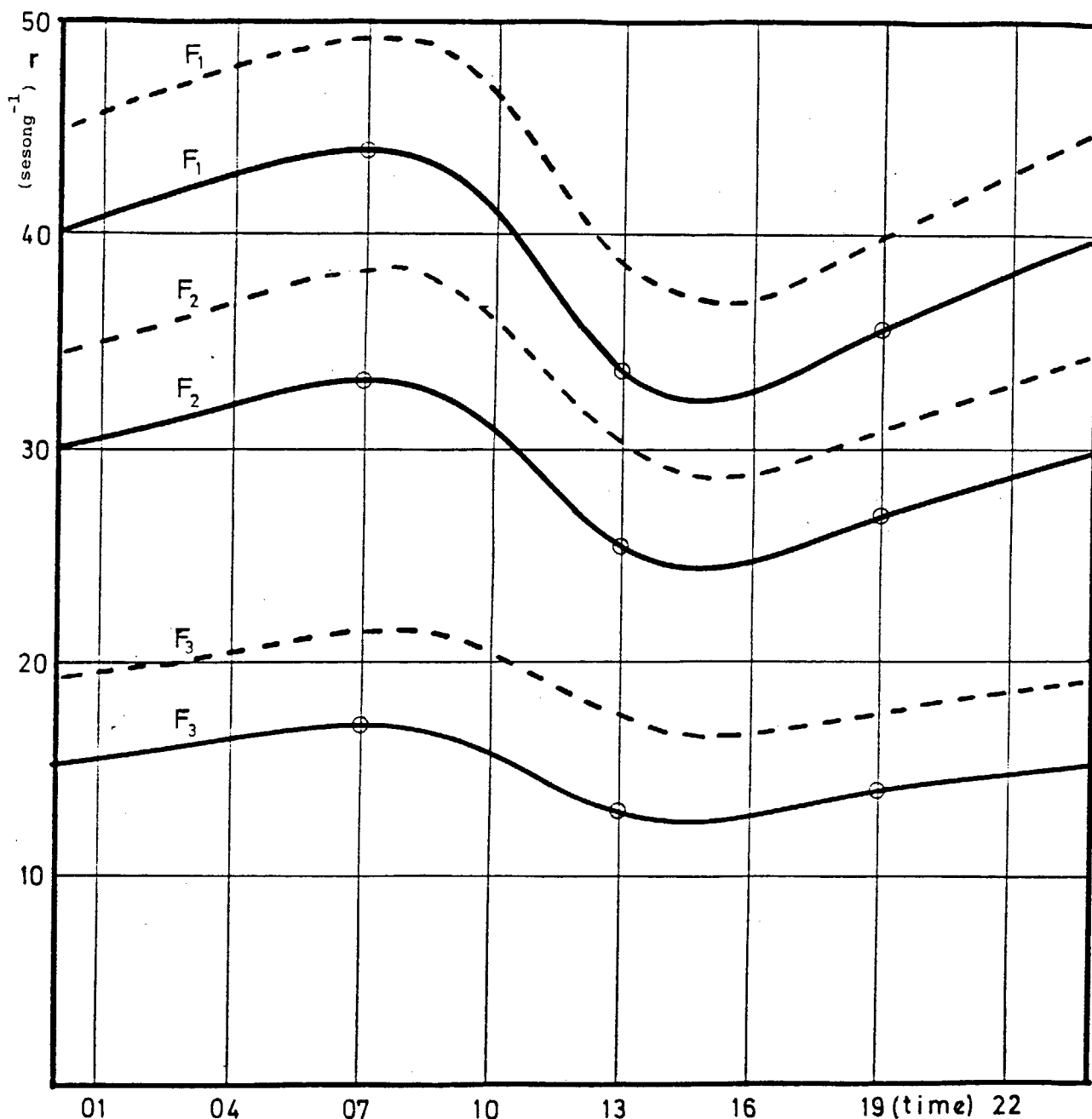
Vi vil nå bruke desse observasjonane saman med frostrøyk-formlane i førre kapitlet til å finne korleis frostrøyken fordeler seg utover døgnet. Den datamengda som da er til rådvelde er frå 1. november 1977 til den 31. mars 1987, dvs. 10 år med observasjonar. Som før har vi berre teke med observasjonane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

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 6.1 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 døgnleg variasjon i alle månadene med unntak av desember.



Figur 6.1 Frostrøyk rekna i tilfelle pr. sesong.

———— 1/1 1957 til 31/3 1987 (minus 3 mån.)

----- 1/11 1977 til 31/3 1987

Den tiårsperioden som dei timevise observasjonane dekte, var ein svært kald periode. Det er etter alt å dømmе 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. Den manuelle stasjonen observerte ved klokkesletta 07, 13 og 19.

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 pr. år i 10-årsperioden mot berre 41,0 i 20-årsperioden (gruppe 1). 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:

$$(18) \quad r_{30} = (20 \cdot r_{20} + 10 \cdot r_{10}) / 30$$

Resultatet er avmerkt som punkt på dei heildregne kurvene på figur 6.1.

Vi ynskjer nå å finne eit uttrykk for den døgnlege variasjonen også for 30-årsperioden. Til hjelp har vi sett på uttrykket $s = r_{30} / r_{10}$ for klokkesletta 07, 13 og 19. Resultata finst i tabell 6.1.

Tabell 6.1 Høvet s mellom r_{30} og r_{10}

| Gruppe | s | | |
|--------|-------|-------|-------|
| | 07 | 13 | 19 |
| 1 | 0,892 | 0,869 | 0,889 |
| 2 | 0,870 | 0,838 | 0,872 |
| 3 | 0,800 | 0,746 | 0,801 |

Av tabellen ser vi at s praktisk tala har same verdien klokka 07 og klokka 19 for same frostrøykgruppa. Vi vil nå anta at dette også er tilfelle for alle timeverdiane frå klokka 19 om kvelden og heile natta til klokka 07 om morgonen. Ved hjelp av kurvene for r_{10} , kan nå r_{30} finnast for dette tidsrommet.

For observasjonen klokka 13 er s monaleg mindre enn for klokka 07 og 19. Det er uråd å veta i detalj korleis høvet s varierer frå 07 til 13 og frå 13 til 19. Vi finn det rimeleg å interpolere lineært både mellom 07 og 13 og mellom 13 og 19. Dermed har vi timevise verdier for s også for tidsrommet 07 til 19 og kurvene for r_{30} kan konstruerast. Dei finst som heildregne kurver på figur 6.1.

Ut frå grunnlagsmaterialet for kurvene har vi gjeve nokre interessante tal for frostrøyken i 30-årsperioden. Dei er sette opp i tabell 6.2.

Tabell 6.2 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 sannsynet for frostrøyk, reknar vi med at tala i tabell 6.2 er toleg representative for den nemnde 30-årsperioden.

7 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.

Nordli, P. Ø. 1988. Frostrøyk og dalstratus i Gudbrandsdalen. Analyse av observasjoner ved osen av Vågåvatnet. DNMI-RAPPORT, Klima nr. 7.

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.