RAPPORT

11 1998

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Thomas Skaugen

STUDIE AV SKILLETEMPERATUR FOR SNØ VED HJELP AV SAMLOKALISERT SNØPUTE, NEDBØR- OG TEMPERATURDATA

TITTEL Studie av skilletemperatur for snø ved hjelp av samlokalisert snøpute, nedbør- og temperaturdata	**RAPPORT nr. 11** DATO 26. Mars 1998
FORFATTER Thomas Skaugen Hydrologisk avdeling (H), Seksjon Vannbalanse (HV) OPPDRAGSGIVER Hydrologisk avdeling (H), Seksjon Vannbalanse (HV)	ISBN 82-410-0337-4 ISSN 0802-2569

SAMMENDRAG

Ved hjelp av samlokaliserte snøpute, nedbør- og temperaturdata er temperaturskiller for avløp og akkumulasjon av nedbør studert. Ved å anvende indikator variable kan sannsynligheten for akkumulering av nedbør (som snø) estimeres for forskjellige temperaturintervall. Det er vist at denne sannsynligheten, under visse forutsetninger, er lik fraksjon akkumulert nedbør for samme temperaturintervall. Disse resultatene kan få betydning for nedbør-avløps modellering, der tradisjonelle metoder anvender en fiksert skilletemperatur. Ved å bruke indikator variable får man en meget robust estimator som i liten grad er påvirket av de feilkilder som er vanlige ved målinger av snø.

ABSTRACT

The transition temperature between solid and liquid precipitation is studied by using data from snow pillow, temperature- and raingauge located at the same place. By using indicator variables the probability of precipitation being accumulated (as snow) can be estimated for different temperature intervals. It is shown that, under certain assumptions, this probability is equal to the fraction of precipitation being accumulated for the same temperature interval. These results are of importance for rainfall-runoff modelling, and represent a different approach compared to tradiotional methods where a fixed transition temperature is applied. By using indicator variables, a very robust estimator is provided which is less influenced by the ususal errors associated with measuring snow.

EMNEORD

Snø, skilletemperatur, snøpute

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Arne Tollan
Avdelingsdirektør

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon s.1

2. Data s.2
   2.1 Feilkilder ved snøpute s.3
   2.2 Feilkilder ved nedbørsmålinger s.3

3. Bestemmelse av skilletemperatur s.5

4. Fraksjon nedbør som blir akkumulert s.7

5. Diskusjon og konklusjon s.9

Referanser s.11

1. Introduksjon

For avløpsprognosering ved hjelp av (mer eller mindre) fysisk baserte nedbør-avløps modeller tilstrebes det at de fysiske parametere som inngår i modellen er objektivt bestemt. For mange frihetsgrader (eller tuning-parametere) i en slik modell vanskeliggjør analyse av usikkerheten for de prognoserte delkomponentene i modellen, og typisk er at man ender opp med en modell hvis funksjonalitet (eller mangel på sådan) vanskelig kan forklares. I snørutinen på den HBV modellen (Bergstrøm, 1992) som er brukt operativt i Norge (av NVE, flomvarslingen og kraftselskaper) inngår skilletemperaturen mellom snø og regn (dvs den temperatur som avgjør om nedbøren går til avløp, akkumuleres som fritt vann i snøpakka eller blir akkumulert som snø) som en slik tuning-parameter. For å sikre at denne parameteren ikke skal få helt urealistiske verdier, er det i beskrivelser av HBV modellen angitt et gyldighetsområde for skilletemperaturen (T_x) på [–1.0-2.0 ^{0}C] (Killingtveit og Sælthun, p.115, 1995). Man kan for øvrig merke seg at modellen kan gi et utmerket resultat selv om T_x skulle bli satt utenfor dette gyldighetsområde.

I denne studien vil vi ved hjelp av samlokaliserte snøpute og nedbør- og temperaturstasjoner forsøke å objektivt estimere T_x. Fordelen med slike dataserier er at snøputa illuderer et lite nedbørsfelt, hvor vi kan registrere den umiddelbare responsen fra et nedbørstilfelle.

I prosjektets gang har det dukket opp to problemstillinger hvor det søkes svar.

1) Når det faller nedbør innenfor et visst temperatur intervall vil vi noen ganger finne at nedbøren akkumuleres og andre ganger går alt til avrenning. Det er av interesse å få undersøkt om dette foregår ved et skarpt trukket temperaturskille, eller om det er mer tilfeldig som følge av usikkerhet i målemetoder og/eller er styrt av stokastiske prosesser. Det første indikerer at prosessen er som beskrevet i HBV modellen. Skillet mellom fast og flytende nedbør kan settes til èn spesifikk temperatur som bør kunne bestemmes objektivt. Det andre alternativet krever andre løsninger til problemet enn de vi bruker i dag. Det vil her være hensiktsmessig å studere indikatorvariable, som *kun* tar hensyn til om det er registrert akkumulering eller ei, og ikke forholder seg til absolutte verdier. Akkumulasjon kan da betraktes som en sannsynlighet betinget av temperaturen.
2) Hvis akkumulasjon er registrert vil det muligens kun være en fraksjon av nedbøren som akkumuleres. Dette korresponderer med snøruitnen i HBV-modellen hvor

mengde fritt vann i snøpakka er satt til 5%. Denne fraksjonen kan muligens være temperaturavhengig, noe som *ikke* er tatt hensyn til i HBV-modellen. Det uheldige ved denne problemstillingen, sett med hensyn til de data som er til rådighet, er at vi her må analysere absolutte verdier og ikke indikator variable som for problemstilling 1). Målinger av fast nedbør både med nedbørsmåler og snøpute har mange feilkilder som gjør en slik analyse vanskelig (se kapittel 2).

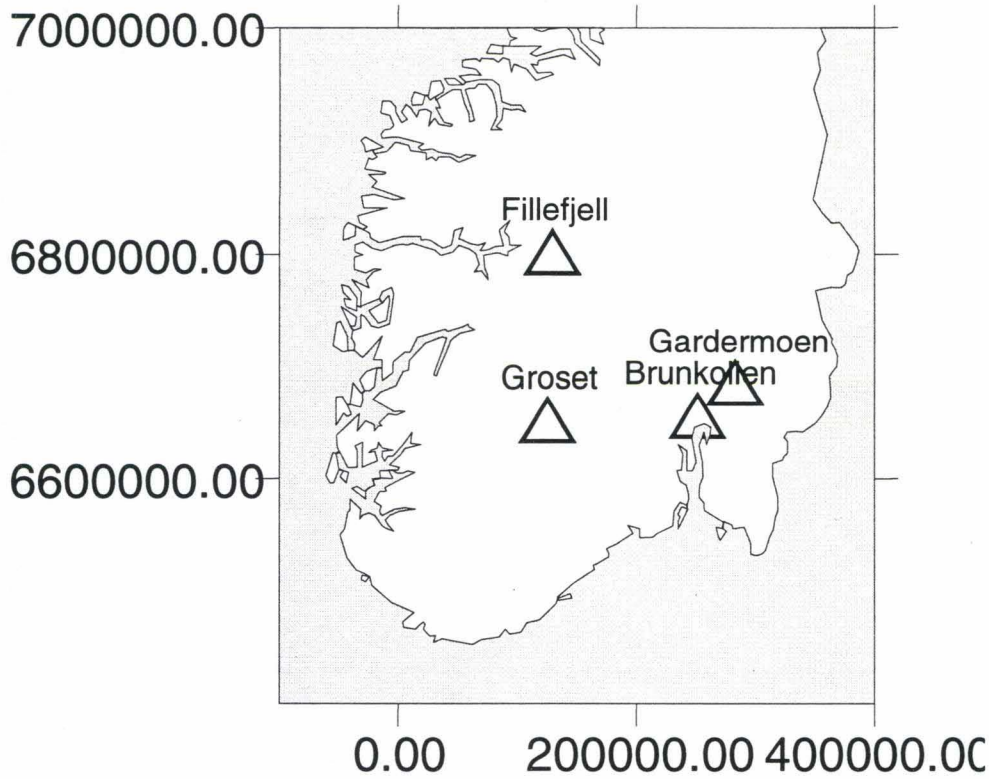
Neste kapittel inneholder en beskrivelse av de data som er anvendt. Problemstilling 1) og 2) vil bli behandlet i kapittel 3. og 4, og diskusjon og konklusjon finnes i kapittel 5.

2. Data

Vi har fire lokaliseringer i Sør-Norge hvor vi har samlokaliserte daglige observasjoner av nedbør, middel temperatur og snø (vannekvivalent): Gardermoen, Fillefjell, Groset og Brunkollen. Figur 1 viser hvor stasjonene er lokalisert, og Tabell 1 gir informasjon om lokalisering og observasjonsperiode.

Tabell 1 Lokalisering, h.o.h og observasjonsperiode for målepunkt.

Navn	H.o.h.	x-koord. (UTM)	y-koord. (UTM)	Obs. periode.
Brunkollen(pute)	370	586368	6648842	19831101-19860531
Brunkollen(nedb/tmp)	370	586368	6648842	Samme som over
Lybekkbråten (pute)	200	615318	6680791	19890101-19940126
Gardermoen (nedb/tmp)	202	613923	6666698	Samme som over
Groset (pute)	950	461595	6633317	19890101-19951231
Møsstrand II (nedb/tmp)	977	454077	6634068	Samme som over
Fillefjell (pute)	950	452219	6782992	19671001-19740630
Kyrkjestølane(nedb/tmp)	1000	452219	6782992	Samme som over



Figur 1. Oversikt over målestasjoner for snøpute, temperatur og nedbør

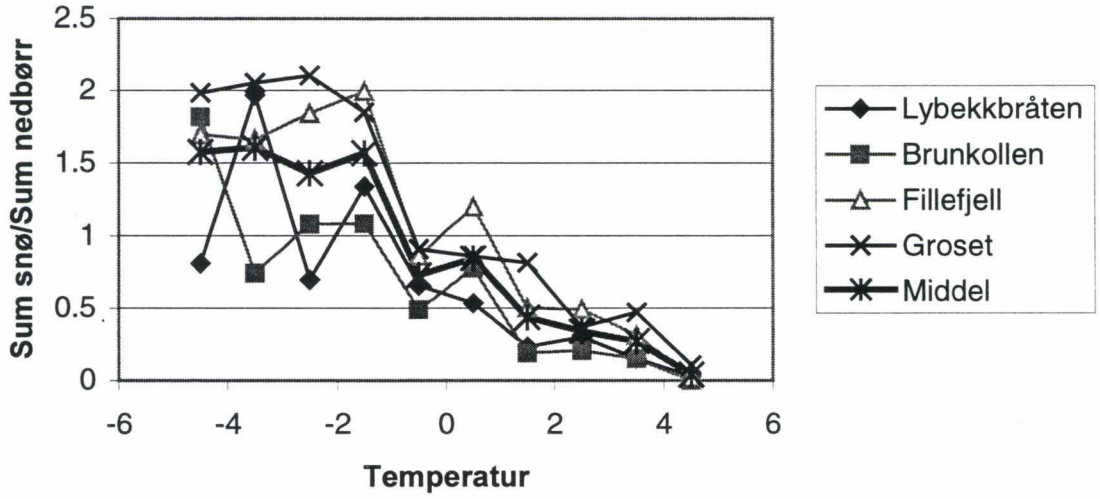
2.1 Feilkilder ved snøpute

Snøpute registrerer trykket som utgjøres av vekten på puta. Dette trykket blir så oversatt til mm vannekvivalent. Det er typisk to feilkilder man må være oppmerksom på med snøpute. 1) Systematiske feil kan forekomme på grunn av putas lokalisering. Hvis fremherskende vindretning er således at det stadig forekommer enten avblåsning eller akkumulering ved snøputens lokalisering, vil vi systematisk få avlest enten for mye eller for lite snø. 2) Etter en mild periode med påfølgende kulde vil det danne seg et skarelag. Dette skarelaget vil virke som bro som refordeler tyngden av eventuell ny snø til utenfor puta. Når tyngden av ny snø blir så stor at skarelaget bryter sammen vil vi oppleve et sprang i registreringene som om det kom ny nedbør. Verdien av dette spranget korresponderer således ikke med mengden nedbør som ble akkumulert ved siste nedbørstilfelle. Det kan derfor være vanskelig å sammenligne momentane verdier av nedbør og snøpute registreringer.

2.2 Feilkilder ved nedbørsmålinger

Det er flere kilder til feil ved måling av snø med nedbørsmålere. De store feilene tillegges aerodynamiske effekter ved kanten av måleren, men signifikante feil forekommer

også fra fordampning, snødrift, feilavlesninger, lekkasje etc. Fra et nordisk forskningsprosjekt for studier av oppfangningssvikt for snø fra nordiske nedbørsmålere, ble det konkludert med at mellom 30-50% av nedbøren ble ikke registrert, avhengig av vindhastighet (Førland et al., 1996). Temperatur burde også være en innvirkende faktor for oppfangningssvikt. Studier har vist at tettheten på snø avtar med synkende temperatur (Gray and Prowse, 1993, p.7.4) og det kan av den grunn forventes større oppfangningssvikt for samme vindhastighet. Som en illustrasjon på oppfangningssvikt ble nedbør for henholdsvis nedbørsmåler og snøpute, akkumulert over hele observasjonsperioden, sammenlignet for forskjellige temperaturintervall. Figur 2 viser at, for negative temperaturer, registrerer snøputa, i middel, omtrent dobbelt så mye nedbør som nedbørsmåleren. Dette forholdet endrer seg drastisk for temperaturer mellom –1.0 og 0 ^{0}C. Det ble ikke registrert signifikant forskjell i oppfangningssvikt for forskjellige negative temperaturer.



Figur 2. Forholdet mellom akkumulert nedbør for snøpute og nedbørsmåler for forskjellige temperaturintervall.

3. Bestemmelse av skilletemperatur

Vi anvender snøputen som en akkumulasjonsmåler. Snøputen simulerer nedbørsfeltet slik at hvis det er registrert nedbør ved en samlokalisert nedbørsmåler og snøputa har registrert akkumulasjon, vet vi at ved den aktuelle temperatur akkumulereres nedbøren. Vi anvender videre en indikatorvariabel som kun registrerer at en hendelse inntraff, og ikke hvor stor denne hendelsen var. Fordelen med en slik fremgangsmåte er at vi får kompatible data fra både nedbørsmåler, temperaturmåler og snøpute (1 eller 0) og slipper å sammenligne absolutte verdier. Det er forskjellige måleusikkerheter forbundet med de forskjellige målerne, og en del ev denne usikkerheten vil bli eliminert ved bruk av indikatorvariable i stedet for absolutte verdier (oppfangningssvikt ved nedbørmåler skal få mindre betydning ved bruk av indikator).

Indikator variabel:

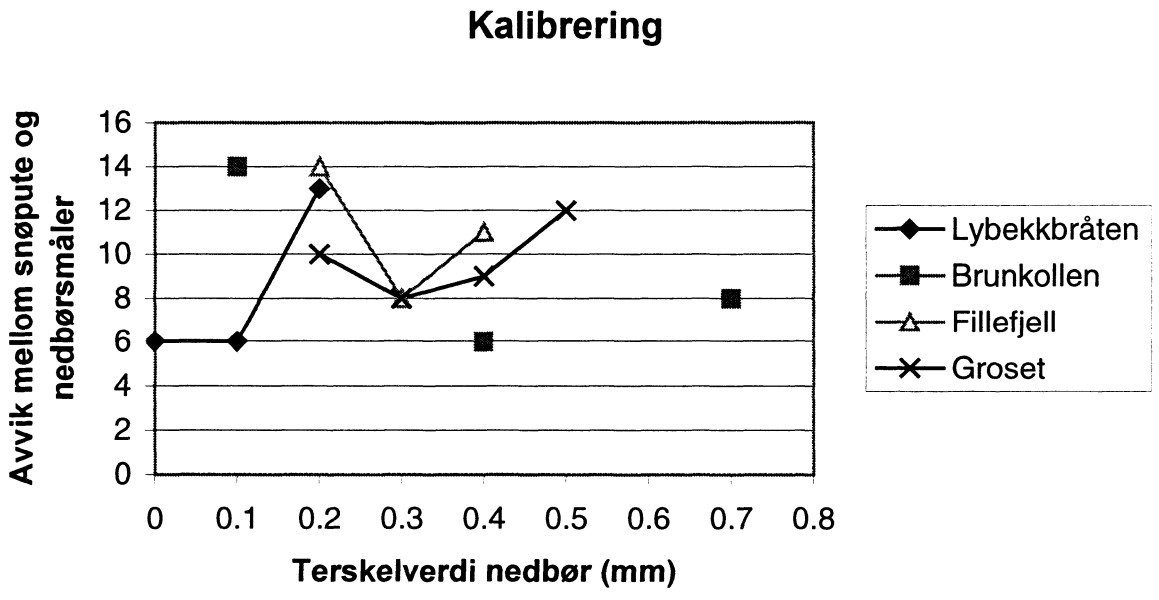
$$I_z = \begin{cases} 1 & hvis \quad z > 0 \\ 0 & ellers \end{cases} \tag{1}$$

hvor z er nedbør i mm. Vi kan her merke oss sammenhengen mellom forventningen til indikatoren og sannsynligheten for at hendelse skal inntreffe (Journel 1983):

$$E(I_z(T)) = P[z_T > 0] \tag{2}$$

hvor T indikerer målt temperatur innenfor et temperaturintervall.

Det må bestemmes ved hvilken nedbørsintensitet nedbørsmåler og snøpute reagerer samtidig. Hvis vi, for negative temperaturer hvor det ikke forekommer smelting, sammenligner antall reaksjoner for nedbørsmåler og snøpute for forskjellige terskelverdier av nedbør, finner vi et optimalt antall tidels mm som er tilstrekkelig for at vi får en reaksjon ved både nedbørsmåler og snøpute. En åpenbar feilkilde her er oppfangingssvikten ved nedbørsmåleren. Figur 3 viser optimal nedbørsterskel for sammenfallende reaksjoner for nedbørmåler og snøpute. Optimal terskelnedbør er bestemt som minimum av summert avvik i antall registreringer for hvert temperatur intervall($\Delta T = 0.25^oC$) for temperaturer mellom [-2.0, -1.0].



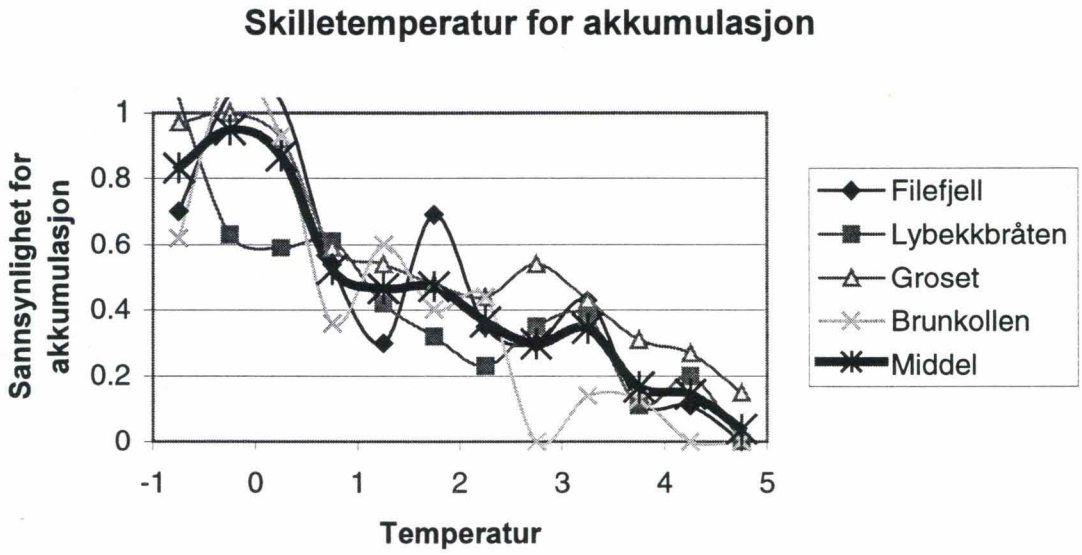
Figur 3 Kalibrering av målestedene. Optimal terskelnedbør er: Lybekkbråten, 0.1 mm, Brunkollen, 0.4 mm, Fillefjell, 0.3 mm og Groset, 0.3 mm.

Når målestedet er kalibrert vil vi for forskjellige temperatur intervall sammenligne antall hendelser (antall registreringer hvor $I_z = 1$) ved nedbørmåleren og snøpute, og analysere avvikene. Vi kan tenke oss et diagram hvor sannsynligheten for at nedbøren akkumuleres er beskrevet som en funksjon av temperaturen, som matematisk kan uttrykkes som:

$$E(I_{z_S}(T) \mid I_{z_P}(T)) = P\left[z_{S,T} > 0 \mid z_{P,T} > 0\right] \tag{3}$$

hvor $z_{S,T}$ og $z_{P,T}$ er nedbør registrert for gitt temperaturintervall ved respektive snøpute og nedbørsmåler.

. Liknende forsøk er gjort tidligere. Killingtveit og Sælthun (1995 p. 35) rapporterer om forsøk hvor sannsynligheten av nedbør som enten snø, sludd eller regn er gjort betinget av temperaturen. Figur 3 beskriver sannsynlighet for akkumulasjon ved forskjellige temperaturintervall.



Figur 4 Sannsynlighet for akkumulasjon ved forskjellige temperaturer for de forskjellige målepunkt og middelet av alle målepunkt.

4. Fraksjon av nedbør som blir akkumulert

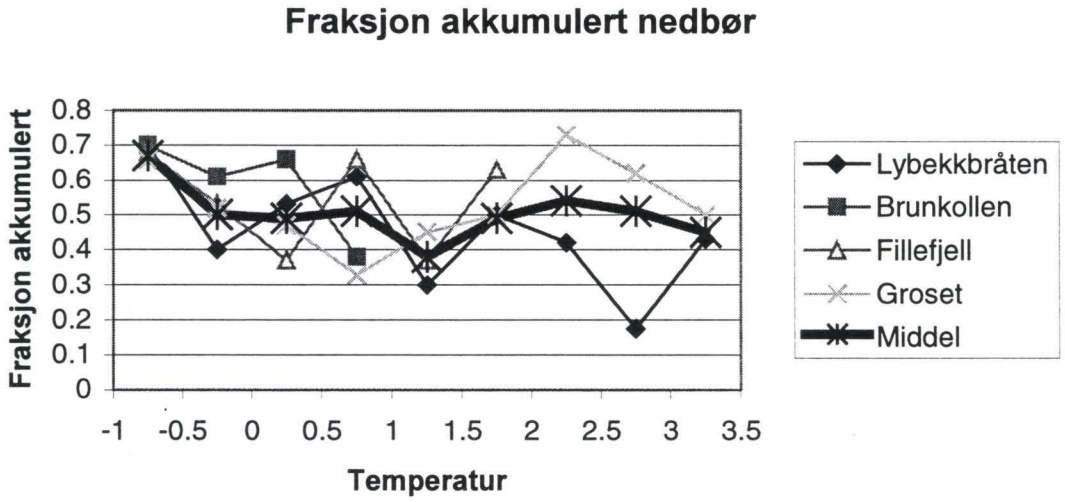
I foregående kapittel ble det beskrevet hvordan sannsynligheten for akkumulasjon er en funksjon av temperaturen. Det er naturlig i den sammenheng å spørre hvor mye av nedbøren blir akkumulert gitt at akkumulasjon forekommer, og er denne fraksjonen temperaturavhengig?

I denne analysen ble, hver gang det var registrert akkumulasjon innenfor et temperatur intervall, verdien ved snøpute og nedbørsmåler sammenlignet og fraksjon akkumulert nedbør z_{frc} beregnet ved:

$$z_{frc} = \frac{z_s}{z_p} \tag{4}$$

Som nevnt i introduksjonen innebar denne analysen en sammenligning av absolutte verdier. Da begge målerene er beheftet med til dels store feil, var det ikke mange hendelser som kunne brukes. Vi kunne bare bruke verdier der $z_{frc} \leq 1$, dette innebar at vi forlangte en momentan respons på snøputa i forhold til nedbørstilfellet. Ofte ble det funnet verdier av z_{frc} meget større enn 1, noe som enten kan bety stor oppfangningssvikt i nedbørsmåleren eller en tidsforsinkelse hos snøputa på tidligere nedbørshendelser. Den siste effekten er også beskrevet i Engeseth og Schjødt-Osmo (1997).

z_{frc} ble beregnet for hver stasjon (snøpute og nedbørsmåler utgjør til sammen en stasjon) for hvert temperatur intervall($\Delta T = 0.5^{o}C$) for temperaturer mellom [-1.0, 3.5]. Figur 5 viser akkumulert nedbør for hvert temperaturintervall for de fire stasjonene. Som vi ser er det mye støy i dataene, (hvert punkt er beregnet ut i fra svært få målinger, noen ganger bare to registreringer), men middelverdien for positive temperaturer ser ut til å ligge stabilt nær 0.5.



Figur 5 Fraksjon akkumulert nedbør som funksjon av temperatur.

Som en alternativ måte å estimere akkumulert nedbør kan vi gå tilbake til Figur 2 som viser forholdet mellom akkumulert nedbør, over alle sesonger, for snøpute og nedbørsmåler. Dette forholdet er altså beregnet ut i fra vesentlig mer data enn for eksperimentet over, og tidsforsinkelse ved snøputa skal ikke lenger representere noe problem. Vi ser (Figur 2) at fraksjonen nedbør som akkumuleres er, for positive temperaturer, en jevnt avtagende funksjon av temperaturen. Det ser videre ikke ut til at noe målested skiller seg vesentlig ut fra de andre.

5. Diskusjon og konklusjon

Erfaringer fra denne studien tilsier først og fremst at begrepet skilletemperatur i beste fall er relativt. Når man i operativ anvendelse av nedbør-avløpsmodeller i tillegg er nødt til å diskretisere nedbørsfeltet i forskjellige høydeintervall, med den unøyaktighet det innebærer, er det åpenbart at man vil gjøre feil i estimatene av hva som går til avrenning/akkumuleres av nedbøren.

Det er rimelig å spørre seg hvorfor akkumulering oppviser en stokastisk natur. Ved en gitt temperatur hadde man forventet lik respons fra snøputa, enten akkumulering eller ikke. Forklaringen ligger muligens i det at temperaturen som er målt (og som inngår i nedbør-avløpsmodellen) kun representerer temperaturen i en standard høyde over bakken og ikke reflekterer temperaturprofilet oppover i atmosfæren hvor nedbøren er dannet og utløst, eller inkluderer temperaturvariasjonene i måledøgnet. Man må derfor regne med at for samme målte temperatur kan snøens egenskaper være forskjellig med hensyn på for eksempel tetthet og grad av metamorfose, og at det er denne variabiliteten som er blitt anskueliggjort i Figur 4.

For fraksjon av nedbør som akkumuleres, kan resultatene som er gitt i Figur 2 knyttes til at både denne fraksjonen burde modelleres som en temperaturavhengig variabel, og at en temperaturavhengig modellering av korreksjonsfaktorene for henholdsvis fast og flytende nedbør kan gjøres. Middelverdien i Figur 2 antyder, for positive temperaturer, en lineært avtagende tendens av akkumulering ettersom temperaturen stiger, som er sammenlignbart med de tilsvarende verdier for sannsynlighet for akkumulering i Figur 4. Under antakelser om nedbøren som homogen prosess og at nedbørsmåleren og snøpute virker uten målefeil (at (4) alltid er i intervallet [0,1]), kan en sammenheng mellom sannsynlighet for akkumulering og fraksjon akkumulert nedbør utledes (se Figur 2 og 4). For den videre utledning gjelder at variablene betraktes i et gitt temperaturintervall. Hvis vi ut fra Figur 4 kan lese en sannsynlighet θ for akkumulering og at det over n nedbørstilfeller faller $Z_1, Z_2, ..., Z_n$ mm, vil snøputa ha akkumulert $n\theta\sum_i Z_i$ mm nedbør, med forventningsverdi:

$$E(z_S) = \theta E(z) \tag{5}$$

Hvis fluktuasjonene for z_s og z_P er uavhengige, kan forventningen til (4) ved (5) skrives som:

$$E(z_{frc}) = \frac{E(z_S)}{E(z_P)} = \frac{\theta E(z)}{E(z)} = \theta \tag{6}$$

hvilket gir at sannsynligheten for akkumulering, for et gitt temperaturintervall, er det samme som forventet fraksjon akkumulert nedbør for det samme temperaturintervall. Dette resultatet representerer en temperatur-følsom tilnærming til beskrivelsen av akkumulering/avløp i det kritiske temperaturområde rundt 0 ^{0}C, og burde representere en forbedring i forhold til konvensjonelle metoder med bruk av skilletemperatur.

Konklusjonene fra denne studien er som følger:

-Sannsynligheten for akkumulering er en funksjon av temperaturen.

- Det kan vises at sannsynlighet for akkumulering er under visse antagelser lik med forventet fraksjon akkumulert nedbør. Dette resultatet viser at bruk av en fiksert skilletemperatur for å bestemme om nedbør er flytende eller fast (og dermed akkumuleres eller går til avløp), er en for grov tilnærming.

- Ved bruk av indikatorvariable får vi også en robust estimator av fraksjon akkumulert nedbør i det vi unngår å analysere absolutte verdier som ofte, når det gjelder snø, er beheftet med store feil.

Referanser

Bergstrøm, S. The HBV- model, its structure and its applications. SMHI RH No. 4, Norrkøping, Sweden

Engeseth, R. og O. Schjødt-Osmo , 1997. Retrieval of snow information using passive microwave data in Norway. Preoc. EARSeL Workshop remote sensing of Land Ice and Snow, University of Freiburg, Germany.

Førland, E., P. Allerup, B. Dahlström, E. Elomaa, T. Jónsson, H. Madsen, J . Perälä, P Rissanen, H Vedin and F. Vejen, 1996. Manual for operational correction of Nordic precipitation data. DNMI report no. 24/96.

Gray, D. M. and T.D. Prowse, 1993. Snow and floating ice, in Handbook of Hydrology, D.R. Maidment (ed.), Mc. Graw-Hill, Inc., NY.

Journel, A.G., 1983. Nonparametric estimation of spatial distributions, Math. Geol. 15, 3, 445-465.

Killingtveit, Å. og N.R. Sælthun, 1995. Hydrology, Volume no 7 in Hydropower development. NIT, Trondheim, Norway.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1998 ER FØLGENDE RAPPORTER UTGITT:

Nr 1 Oslo Energi Konsult: Sluttbrukertiltak og lokal kraftsystemplanlegging. (55 s.)

Nr 2 Halfdan Benjaminsen, Jim Bogen, Truls Erik Bønsnes: Suldalslågens sedimentkilder. Fotoregistrering 1997 (149 s.)

Nr 3 Liss M. Andreassen: Volumendringer på Jostefonn 1966 - 93 (10 s.)

Nr 4 Tharan Fergus og Jim Bogen: Bunntransport i vassdrag - en gjennomgang av internasjonal litteratur (50s.)

Nr 5 Olvar Bergland: Verdsetjing av estetiske verdiar i tilknytning til tersklar i regulerte vassdrag. (69 s.)

Nr 6 Rolv Bjelland: KONTROLLBESØK 1997 Rapport fra NVEs kontrollbesøk ved 15 energiverk våren 1997 (10s.)

Nr 7 Inger Sætrang (red): Statistikk over overføringstariffer (nettleie) i regional- og distribusjonsnettet 1998 (64 s.)

Nr 8 Hilleborg Konnestad Sorteberg: Regional breovervåking i Sør-Norge 1997 (21 s.)

Nr 9 Hans Otnes, Frode Trengereid og Sjur Bjerkli: Årsrapport for Norges vassdrags- og energiverks(NVEs) havarigruppe (21 s.)

Nr 10 Randi Pytte Asvall, Ånund S. Kvambekk: Vanntemperatur- og isforhold i Jostedalen Virkninger av vannkraftutbyggingene i vassdraget (104 s.)

Nr.11 Thomas Skaugen: Studie av skillettemperaturen for snø ved hjelp av samlokaliserte snøpute, nedbør og temperaturdata (13 s.)

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
72026756