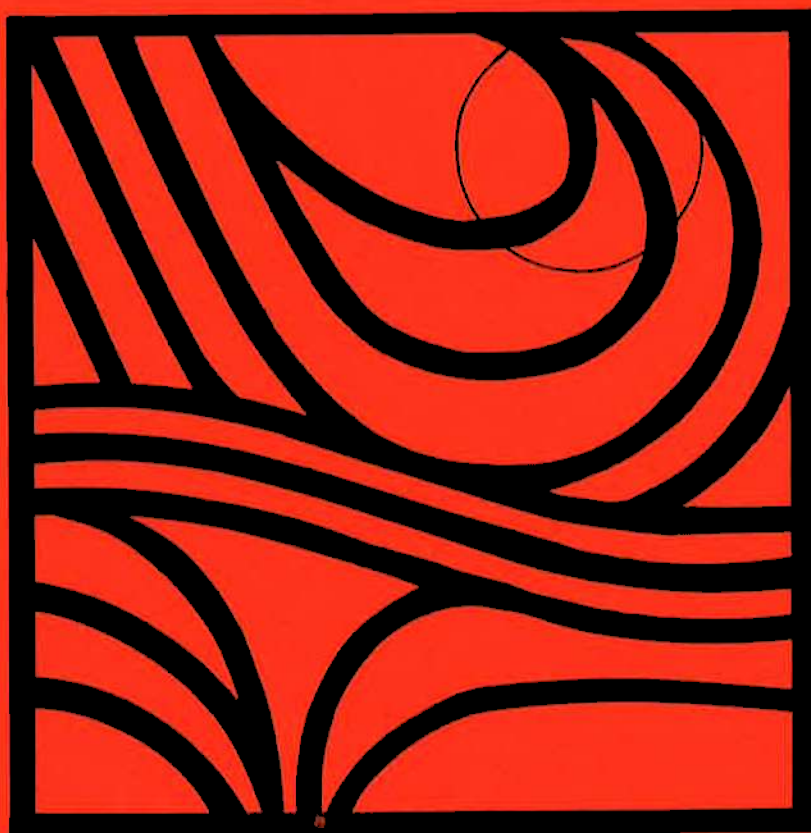


AUTOMATISK REGISTRERING AV SNØENS VANNEKVIVALENT VED SNØPUTER



**INTERN RAPPORT NR. 6
NORSK HYDROLOGISK KOMITÉ
1981**

**NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET**

Tom Andersen

**AUTOMATISK REGISTRERING AV SNØENS
VANNEKVIVALENT VED SNØPUTER**

Delrapport nr. 3 (A-105)

til

Rådet for den kraftverkshydrologiske tjenesten

Intern rapport nr. 6

Norsk hydrologisk komité
Prosjektet for snøhydrologi

Oslo, januar 1981

Innhold	Side
Sammendrag.....	3
1. INNLEDNING.....	5
2. SNØPUTENS KONSTRUKSJON OG VIRKEMÅTE.....	7
3. UTVIKLING AV SNØPUTER.....	8
3.1 Kort historikk.....	8
3.2 Konstruksjon.....	10
3.3 Størrelse.....	13
4. SNØPUTER I NORGE.....	15
4.1 Installasjon og lokalisering.....	15
4.2 Erfaringer.....	19
5. SNØPUTER AV METALL.....	21
5.1 Bakgrunn og utvikling.....	21
5.2 Beskrivelse.....	23
5.3 Kort vurdering.....	26
6. KONKLUSJON.....	28
7. LITTERATUR.....	29

SAMMENDRAG

Rapporten er den tredje og siste fra prosjektet "Automatisk registrering av snøens vannekvivalent", som er gjennomført av Norsk hydrologisk komité's snøprosjekt med støtte fra Rådet for den kraftverkshydrologiske tjenesten. Hensikten med denne delen av prosjektet har vært å undersøke hvilke nye typer snøputer som er utviklet i andre land i de seneste år og å vurdere om disse kan få anvendelse i Norge.

En snøpute er en flat væskefylt beholder som ligger på bakken. Et snølag fører til et trykk i væsken som kan registreres. Idéen bak snøputen ble satt ut i livet i U.S.A. omkring 1960. Etter noen år med utstrakt testing av snøputens form, størrelse og konstruksjon, ble det slått fast at snøputen er en tilfredsstillende sensor for automatisk registrering av snøens vannekvivalent. Det ble anbefalt å benytte en rund gummipute med diameter 3,7 m.

I Norge ble den første snøputen installert på Fillefjell i 1967 og siden er ytterligere 8 snøputer tatt i bruk. Snøputene er spredt over hele Sør-Norge og ligger i forskjellig høyde og terrengtype. Alle snøputene er av gummi og er sirkulære med diameter 3,7 m. Driftserfaringene er meget gode, og snøputen har stort sett vist seg å gi konkrete registreringer av snøens vannekvivalent. Imidlertid er holdbarheten for dårlig; 2 av snøputene er gått i stykker etter h.h.v. 8 og 9 år. En snøputestasjon krever stor plass og etableringen er relativt tungvint.

En rekke forbedringer av de tradisjonelle snøputene er oppnådd de seneste år. Nye gummityper gir større holdbarhet. En noe endret konstruksjon fører til at snøputens størrelse kan reduseres avhengig av snømengden som skal måles. I Norge bør snøputer med diameter 3,0 m kunne benyttes uten redusert nøyaktighet. Ny konstruksjon fører til at væskevolumet kan reduseres til 500-700 l, som er under en tredel av dagens behov.

Rustfritt stål er tatt i bruk som materiale i nye typer snøputer som er utviklet i U.S.A. Snøputene er firkantet med areal 1,85 m². Fire stykker benyttet sammen gir en nøyaktighet som er like god som de tradisjonelle snøputene. Væskevolumet er

omkring 80 l for fire snøputer. Metallputene er mer holdbare, de er lettere å reparere og enklere å installere. Trykket i snøputen registreres som oftest med trykksensor uten bruk av stigerør.

De nye typer snøputer bør tas i bruk i Norge og erfaringene med de tradisjonelle snøputer bør følges opp. Dette vil lede til at snøputer blir vesentlig mer anvendelige for operativ bruk enn dagens snøputer.

1. INNLEDNING

Operative snømålinger som til nå er utført i Norge, har alle vært lagt opp etter den konvensjonelle metode. Denne metoden er basert på at snødybde og tetthet måles manuelt på en rekke steder i et felt. Metoden benyttes fremdeles ved alle ordinære snøtakseringer, men Statskraftverkene utfører i tillegg også snømålinger fra fly etter den såkalte gammastrålingsmetoden i en rekke av sine felt.

For å kunne gjennomføre manuelle snømålinger, kreves det at kvalifisert mannskap er disponibelt. Videre stilles det krav til tilgjengelighet til målestedene, transportkapasitet og værforhold. I praksis blir derfor snømålinger for kraftverksformål foretatt bare 1 eller 2 ganger hver vinter.

En økende knapphet på tilgjengelig energi har ført til en sterkere satsing på en effektivisering av kraftverksdriften. Bruk av hydrologiske modeller for prognosering av tilsig vinner stadig terreng, og dette stiller krav til det hydrologiske datamaterialet. I norske høyfjell kan over 50 prosent av årsnedbøren falle som snø, og kjennskap til snøakkumulasjonen og snømagasinenes størrelse har fått stor betydning for en mer rasjonell kraftverksdrift.

Også innenfor operativ hydrologisk virksomhet foregår det nå en utvikling mot sterkere automatisering av datainnsamlingen. Utvikling av nye systemer for automatisk registrering og overføring av data, fører til et behov for automatiske sensorer også for snømålinger.

Snøen har betydning for en rekke virksomheter i samfunnet, med samferdsel som den dominerende. Det er imidlertid satset lite på snøhydrologien i Norge i forhold til snøens betydning for samfunnet. Tilgang på automatiske instrumenter for snømålinger, vil gi økte muligheter for anvendelse av snødata for en rekke av disse aktiviteter. I tillegg har forskningsstasjoner stort behov for pålitelige instrumenter for kontinuerlig registrering av tilstandene i snødekket. På bakgrunn av de forhold som det er redegjort for ovenfor, har det vært et behov for å kartlegge og vurdere de sensorer som er tilgjengelige for automatiske snømålinger. Norsk hydrologisk komité's snøprosjekt har tatt

opp dette arbeidet og har gjennomført et prosjekt kalt "Automatisk registrering av snøens vannekvivalent". Prosjektet er gitt økonomisk støtte fra Rådet for den kraftverkshydrologiske tjenesten.

Prosjektet har vært tredelt og hver del er avsluttet med en delrapport. I den første delen er det gitt en oversikt over metoder for registrering av snøens vannekvivalent ved hjelp av instrumenter med kunstige radioaktive kilder og en vurdering av metodenes anvendelighet i Norge (Andersen, 1980). I andre del er det gjennomført et feltforsøk for å undersøke om bakkens naturlige gammastråling har en slik styrke og karakter at den kan anvendes for stasjonære snømålinger (Andersen, 1981). I den tredje delen av prosjektets mandat har Rådet for den kraftverkshydrologiske tjenesten ønsket å få opplysninger om og en vurdering av nye typer snøputer som er utviklet i andre land de senere år. Foreliggende rapport er delrapport nr. 3 fra prosjektet og skal dekke denne delen av prosjektets oppgave. Delrapport nr. 1 som er utgitt som Intern rapport nr. 3 fra Norsk hydrologisk komité, gir en mer detaljert beskrivelse av bakgrunnen for prosjektet.

Alle metoder som hittil er utviklet for automatisk registrering av snøens vannekvivalent på faste målestasjoner, er i prinsippet punktmålinger. For operative formål vil verdien av slike målinger være bestemt av representativiteten til målestedet. Et målepunkts representativitet er vanskelig å vurdere, spesielt i fjellområder. Imidlertid vil det ikke i overskuelig framtid bli utviklet metoder som kan bestemme arealverdier av snøens vannekvivalent med en arealoppløsning som gjør metodene anvendelig i operative snømålinger. Det er derfor riktig også å arbeide for en videreutvikling av de metoder som i dag er i bruk for bedring av informasjonen om snømagasinet.

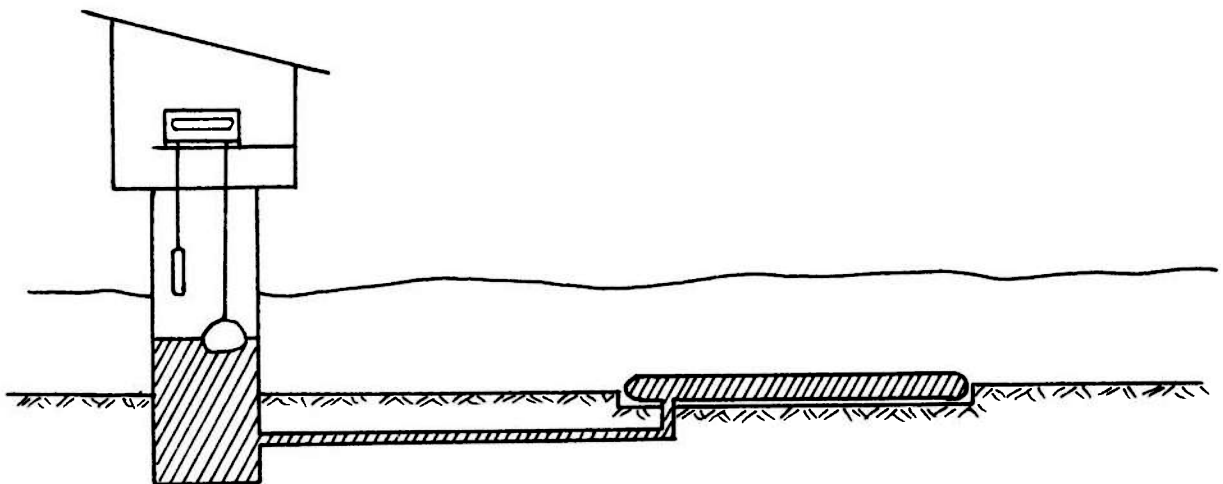
2. SNØPUTENS KONSTRUKSJON OG VIRKEMÅTE

For fullstendighets skyld skal det gis en kort beskrivelse av snøputenes konstruksjon og virkemåte.

En snøpute er en flatpute fylt med en væske eller væskeblanding som ikke fryser (frostvæske). Puten kan lages av plast, gummi, tynt metall eller annet materiale som ikke giren stiv konstruksjon. Snøputens form kan være rund, mangekantet eller rektangulær og størrelsen kan variere. De putene som er i bruk i Norge er sirkulære med 3,7 m i diameter. Puten er forbundet med et åpent stigerør via en slange eller et rør. Se figur 1 som viser en prinsippskisse av en snøpute.

Når snø legger seg på en snøpute, øker trykket i væsken. Trykkøkningen fører til en heving av væsknivået i stigerøret. Endringer i snøens vekt og dermed snøens vannekvivalent på snøputen, kan registreres direkte som en endring av væsknivået i stigerøret. Ved beregning av snøens vannekvivalent på snøputen må nivåendringen i stigerøret korrigeres for tetthetsforskjellen mellom vann og frostvæsken. Som alternativ til registrering ved limnigraf kan trykket registreres ved hjelp av en trykksensor direkte i snøputen eller i bunnen av stigerøret.

I senere kapitler vil det bli gitt en nærmere beskrivelse av snøputens konstruksjon. Detaljer om etablering av snøputestasjoner



Figur 1. Prinsippskisse av en snøpute.

anses for å ligge utenfor rapportens ramme, men interesserte kan henvende seg til NVE-Hydrologisk avdeling.

3. UTVIKLING AV SNØPUTER

3.1 Kort historikk

Prinsippet for måling av snøens vannekvivalent ved hjelp av snøputer eller trykkputer som de da ble kalt, ble først presentert i 1957 av R.T. Beaumont ved Soil Conservation Service i Oregon, U.S.A. Den første snøputen ble installert av det amerikanske "Agricultural Research Service" ved Moscow i Idaho. Dessverre falt det ikke tilstrekkelig snø i prosjektperioden til at hydrologiske studier kunne foretas i noen utstrekning, men det ble demonstrert at snøputen rent teknisk oppfylte de forutsetninger som var stilt opp (Warnick og Penton, 1963).

På prøvefeltet Mt.Hood i Oregon utførte Soil Conservation Service selv undersøkelser av snøputens anvendelighet for snømålinger vinteren 1961-62, i samarbeid med University of Idaho og Pacific Power & Light Company. De første snøputene ble laget av plast. Dette var et for svakt materiale og lekkasjer oppstod ofte. Ganske raskt gikk de derfor over til å lage snøputene av en 1,6 mm tykk nylonduk belagt med butylgummi.

På prøvefeltet ble det de tre første årene forsøkt med en rekke snøputer av forskjellig størrelse, form og materiale. Se figur 2. Forskjellige metoder for overføring og registrering av trykket i snøputene ble også undersøkt. Den generelle konklusjonen på prøveprosjektet var at snøputene gav et nøyaktig mål for snøens vannekvivalent, og endringer i snøens vannekvivalent på 0,8 mm kunne registreres. Metoden hadde vist seg å være godt egnet for automatisk dataoverføring og ville derfor kunne bli et verdifullt hjelpemiddel i operativ hydrologi (Beaumont, 1965).

De optimistiske resultatene av Beaumont prøveprosjekt, gav støtet til opprettelsen av en rekke snøputestasjoner, spesielt i den vestlige delen av U.S.A. Etter omkring 10 år var antall snøputestasjoner passert 100. Alle varianter av stasjoner ble etablert. Noen var rene forskningsstasjoner hvor snøputenes



Figur 2. Mt. Hood forskningsstasjon i Oregon. U.S.A.
hvor de første snøputer ble uteksperimentert.

konstruksjon ble undersøkt i alle tenkelige aspekter, mens andre stasjoner var operative med direkte tilknytning til irrigasjon, vannverks- og kraftverksdrift.

En slik mengde av forsøk førte til ønsket om en standardisering. Selv om de enkelte stater i U.S.A. selv har egne organer som tar seg av den hydrologiske virksomhet, er de fleste regulære snømålinger for operative formål koordinert av det føderale organ Soil Conservation Service (SCS). En bredt anlagt analyse av tilgjengelige sensorer for automatiske snømålinger ble foretatt av Soil Conservation Service i 1976-77 (Soil Conservation Service, 1978). Bakgrunnen var behovet for å standardisere snøsensorer til bruk i SCS's SNOTEL-program. Dette er en plan

for opprettelse av et nett av automatisk registrerende snøstasjoner med en sentral innsamling av data. I første fase vil SNOTEL-nettet bestå av 160 stasjoner i den vestlige delen av U.S.A. Den omfattende undersøkelsen av alle tilgjengelige automatiske snøsensorer resulterte i at en snøpute ble valgt som standard sensor. Denne snøputen lages av metall og skal beskrives senere.

3.2 Konstruksjon

Som nevnt i forrige kapittel, har det vært foretatt en utstrakt uttesting av snøputenes konstruksjon, for å komme fram til den best egnede sensor. Her skal kort redegjøres for noen av de undersøkelser som er foretatt med de tradisjonelle snøputer. De siste nye snøputer som er tatt i bruk avviker en del i konstruksjon fra de tradisjonelle snøputer. Disse vil bli beskrevet spesielt i kapittel 5.

De tradisjonelle snøputene er laget av to tynne stykker duk av plast eller gummi, som er sveiset sammen langs kantene på en slik måte at snøputen blir 10-20 cm tykk når den fylles med riktig mengde frostvæske. Sveisen langs kanten er snøputens svake punkt, og den er utført på forskjellige måter av forskjellige fabrikanter. På overflaten har putene vært påført en hvit plastmaling for å redusere absorpsjon ved stråling.

Plastmaterialet som ble benyttet i de første snøputene var for svakt når snømengdene ble store. Det neste materialet som ble benyttet var butylgummi forsterket med nylonduk. Butylgummi er en sterk gummiblanding som brukes i snøputer fremdeles. Imidlertid er den ikke helt tett. Hvis temperaturforholdene gjør det nødvendige med ren sprit som frostvæske, vil det foregå en transport av sprit gjennom snøputen slik at væskeinnholdet tappes ut. For å unngå dette har en annen gummitype kalt neoprene eller kloroprene blitt tatt i bruk. Denne er tettere og er like sterk som butylgummi. I de senere årene er de fleste snøputene av den tradisjonelle typen blitt laget av neoprene. I de senere årene har noen snøputer også blitt laget av en gummitype som heter hypalon. Den er svært bestandig mot påvirkning av oson og vekslende værforhold.

Det har også vært gjort eksperimenter med to-lags gummityper.

Noen av de siste snøputene som er laget i Norge er av en slik type. Utvendig benyttes en gummitype som er bestandig mot vær- og temperaturendringer, mens det innvendig benyttes en gummitype som har stor motstandskraft mot spriten i frostvæskan.

De første snøputene som ble laget var runde. Årsaken var at snøputens kantlengde skulle være så liten som mulig i forhold til snøputens areal. Snøputens nøyaktighet er for en stor del knyttet til ytterkantens form. Videre ønsket man å unngå markerte hjørneeffekter. Imidlertid viste det seg at det var forholdsvis vanskelig å produsere helt runde snøputer, spesielt når de skulle være under 2,5 m i diameter. En rekke av de snøputene som er laget senere er derfor 8-kantet eller 12-kantet.

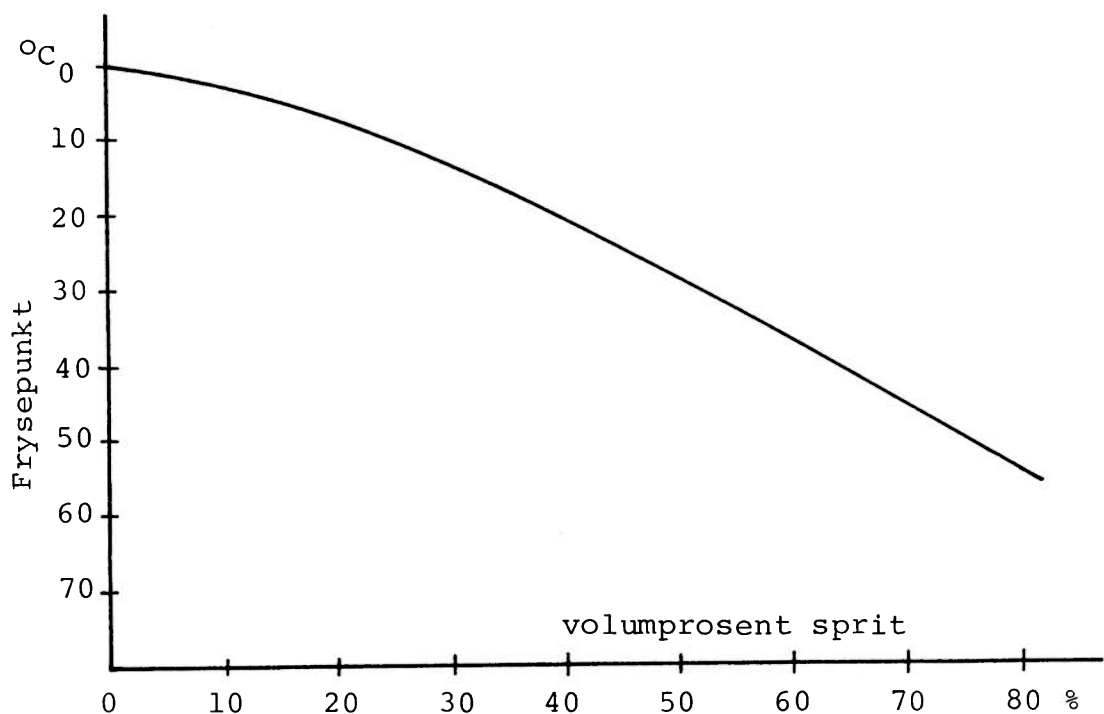
Tidsforsinkelsen mellom starten av et snøfall og en reaksjon på snøputens registreringsutstyr, har vært undersøkt av mange. De fleste konkluderer med at det kun er snakk om få minutter før et snøfall er registrert av snøputen. Vi vet fra undersøkelser i Norge at islag i snøen kan medføre at det går noe tid før et snøfall fører til en trykkøkning i snøputen. Hvis det er tykke islag ved bakken kan det dannes en isbru over snøputen som kan hindre registrering av små endringer i snødekkeket. Spesielt vil dette være merkbart for små snøputer.

Snøputens følsomhet er avhengig av hvilken metode som benyttes for registrering av trykket i snøputen og spesifikasjonene på de instrumenter som benyttes. Hvis forholdene i snødekket er gunstige, vil selv små snømengder kunne registreres. I U.S.A. er dette spesielt undersøkt ved veiing av nysnøen på snøputen og registrering av trykket i snøputen ved hjelp av en trykksensor. Konklusjonen var at snømengder ned til 0.75 mm kan registreres av en snøpute (Beaumont, 1965).

Det er også undersøkt om lengden av forbindelsesrøret mellom snøputen og registreringsenheten (stigerør eller trykksonde) har betydning for tidsforsinkelsen. Konklusjonen var at for rør opp til 40 m vil det ikke forekomme økt tidsforsinkelse (Peterson, 1968).

En rekke varianter av snøputen har vært utprøvd for å forsøke

og eliminere eller redusere svakhetene ved de tradisjonelle snøputene. Prinsippet har for alle vært å overføre vekten fra snødekket til et trykk i en væske. En variant har hatt betydning for en videreutvikling av snøputen til en helt ny konstruksjon. På sin prøvestasjon for nye instrumenter, Alpha Instrument Evaluation Site, konstruerte Department of Water Resources i California en sensor som er kalt "en membran sensor". Den består av en rund metallplate med diameter 1,8 m. Langs kanten av platen er det festet en ring som gir feste til en gummiduk som er strukket over platen. Sensoren er fylt med sprit slik at gummiduken står i spenn. Høyden av sensoren er omkring 1 cm langs kanten og 15 cm på midten. Med en slik konstruksjon oppnådde de å eliminere trykket på kantene som er en feilkilde for snøputer. Når denne feilkilde er eliminert vil selv små snøputer gi en nøyaktig registrering av snøens vannekvivalent. Resultatene av utprøvingen av denne sensoren førte til konstruksjonen av en snøpute i bare metall. Denne skal beskrives senere.



Figur 3. Frysepunktstemperatur for en væskeblanding av vann og sprit som en funksjon av blandingsforholdet.

Frostvæsken har naturlig nok vært vurdert i en rekke eksperimenter. Det er forsøkt med forskjellige typer frostvæsker og med forskjellige blandingsforhold. Ved montering av snøputer

i avsides terreng kan frostvæsken utgjøre et stort transportproblem. Imidlertid går utviklingen av snøputene mot mindre frostvæskelvolum og en nærmere redegjørelse for typer av frostvæsker blir derfor ikke tatt med her. Blandingen av sprit og vann som er benyttet i Norge, er en velprøvd og tilfredsstillende frostvæske. Denne vil fortsatt være i bruk og for en vurdering av blandingsforholdet tas med en figur som viser frostvæskens frysetemperatur ved forskjellige blandingsforhold. Se figur 3. Av figuren går det fram at en blanding med halvparten sprit og halvparten vann vil fryse ved omkring -30°C . Dette er den væskeblanding som er benyttet i snøputene som er installert i Norge.

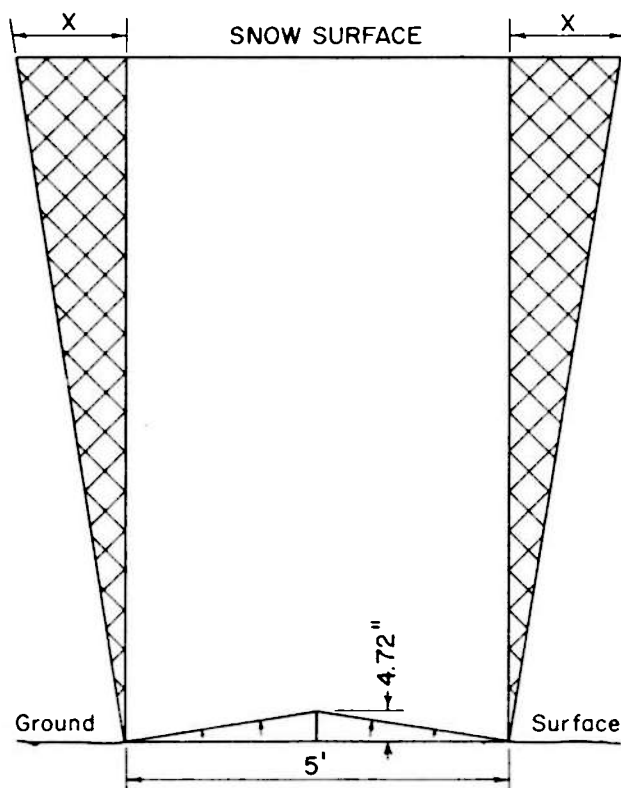
3.3 Størrelse

Snøputenes størrelse har stor betydning for prisen på en snøputestasjon og for mulighetene for en praktisk anvendelse. Følgelig er det gjort en rekke undersøkelser av hvilken betydning størrelsen har for nøyaktigheten av snøputenes registreringer.

I de fleste undersøkelser varierer snøputenes størrelse mellom 1,5 m og 3,7 m i diameter. Det har vist seg at små snøputer overestimerer snøens vannekvivalent. Feilen øker med avtakende størrelse på snøputen og med økende vannekvivalent. I tillegg har flere undersøkelser vist at trykket på små snøputer fortsetter å øke lenge etter at et snøfall har sluttet. Setningen i snødekket ble registrert som en økning av snøens vannekvivalent på snøputen.

En forklaring på at små snøputer viser for høy verdi av snøens vannekvivalent, er at de små snøputene har et "kantareal" som er større i forhold til snøputens areal enn de store snøputene. Årsaken til dette er at tykkelsen på snøputer av forskjellig størrelse er omtrent den samme. I og med at trykkkraften i væsken er rettet normalt på snøputens overflate, vil snøputen registrere et trykk fra en snømengde som er noe større enn den som dekker snøputens areal. På figur 4 er vist en forenklet skisse som illustrerer dette.

Det er undersøkt om grupper av små snøputer koplet sammen kan gi et pålitelig resultat. F.eks. er det i California gjennom-



Figur 4. Prinsippskisse som på en forenklet måte viser hvorfor snøputen registrerer en større vannekvivalent i snøen enn snølaget over snøputen representerer.

ført målinger av snøens vannekvivalent med grupper på h.h.v. to og fem snøputer med diameter 0,9 m. Konklusjonen var ikke overraskende at en slik sammensetning av små snøputer ikke reduserte tendensen til overestimering, som er typisk for små snøputer.

Betydningen av trykket på snøputens sidekant er også påvist ved at snøen rundt snøputen er fjernet ved hjelp av nøyaktige ringer av snøputens størrelse. Dette har medført et fall i trykket i snøputen som er større for de små snøputene.

Undersøkelsene de første årene konkluderte gjerne med at snøputer med diameter 3,7 meter (12 fot) gav de beste resultater. Dette må vurderes på bakgrunn av at snømengdene i fjellområdene i den vestlige delen av Nord-Amerika kan være meget store. Det er ikke uvanlig at snøputestasjonene ligger i en høyde av over 3 000 m o.h. og registrerer vannekvivalenter over 2 000 mm.

For å ta hensyn til de varierende snømengder ved valg av snøpute har Soil Conservation Service i U.S.A. gjennomgått en rekke

undersøkelser av snøputer og har kommet fram til en norm for snøputenes areal, som må ses på som minstekrav (Barton, 1974). Tabell 1 gjengir de nevnte normtall. Årsaken til de ujamne verdier er at størrelsene opprinnelig er gitt i gamle amerikanske enheter. Betingelsen for å bruke disse tallene er at snøputene er forholdsvis tynne, slik at feilregistrering ved randeffekter blir redusert mest mulig. Av tabellen går det fram at de vanlige snøputene på 12 fot i diameter egentlig bare er nødvendig i områder med svært store snømengder.

Tabell 1. Anbefalt minimumsstørrelse av snøputer avhengig av snømengder, gitt av Soil Conservation Service, U.S.A.

Snøputens areal	Diameter for sirkulær snøpute	Måleområde av snøens vannekvivalent
3,72 m ²	2,18 m	0 - 762 mm
5,57 m ²	2,66 m	762 - 1270 mm
7,43 m ²	3,08 m	1270 - 1905 mm
11,15 m ²	3,77 m	> 1905 mm

4. SNØPUTER I NORGE

4.1 Installasjon og lokalisering

Erfaringene fra utviklingen av snøputer i U.S.A. ble raskt presentert og godt dokumentert gjennom tidsskrifter og ved konferanser. Mulighetene for automatisk registrering av snøens vannekvivalent vakte stor interesse i Norge, og i forbindelse med arbeidet i Den internasjonale hydrologiske dekade ble den første snøputen installert her i landet i 1967.

Snøputen, som var kjøpt i U.S.A., ble installert på Fillefjell hvor det var etablert et hydrologisk forskningsfelt. I de påfølgende tre år ble ytterligere 4 snøputestasjoner etablert. I tabell 2 er det gitt en oversikt over snøputestasjoner i Norge, som er eller har vært i drift og som er under etablering. Snøputenes lokalisering går fram av kartet på figur 5.

Tabell 2. Oversikt over snøputer i Norge. (VH står for Hydrologisk avdeling).

Sted	Installert år	Av- sluttet	H.o.h. i m	Ansvarlig
1. Kyrkjestølane Fillefjell, Oppland	1967		955	NVE-VH
2. Lybekkbråten Romerike, Akershus	1968	1976	200	IHD NVE-VH
3. Sagelva Tr.heim, Sør-Tr.lag	1968	1976	300	NTH, Inst. for vassbygg.
4. "	1980/81			"
5. Vauldalen Røros, Sør-Tr.lag	1970		830	NVE-VH
6. Grosetfeltet Tinn, Telemark	1970		950	NVE-VH
7. Treungen, Nissedal, Telemark	1975		540	SNSF NVE-VH
8. Nigardsbreen Jostedalen Sogn og Fjordane	1980		1630	NTNF NVE-VH
9. Sollihøgda Hole, Akershus	1980		365	NTNF NVE-VH
10. Osen Hedmark	1981			

De fem første snøputene som ble installert var et ledd i utprøvnningen av slike instrumenter i Norge. Alle ligger i forskjellige områder i landet og i forskjellige høydenivå og terrengtype. Snøpute nr. 7 ble montert i forbindelse med forskningsprosjekt "Sur nedbørs virkning på skog og fisk", hvor den ble benyttet i studier av forurensning av snø og smeltvann. Snøpute nr. 8 og nr. 9 benyttes som sensor i et prosjekt for utvikling av nye metoder for automatisk overføring av hydrologiske data fra fjerntliggende målestasjoner. Den siste snøputen som er oppført skal benyttes ved prognosering av tilsig og flom i Glommavassdraget. Interessen for snøputer har vært stigende de siste årene, og det er planlagt opprettelse av flere snøputestasjoner de nærmeste årene.

Den første snøputen som ble installert i Norge var laget i

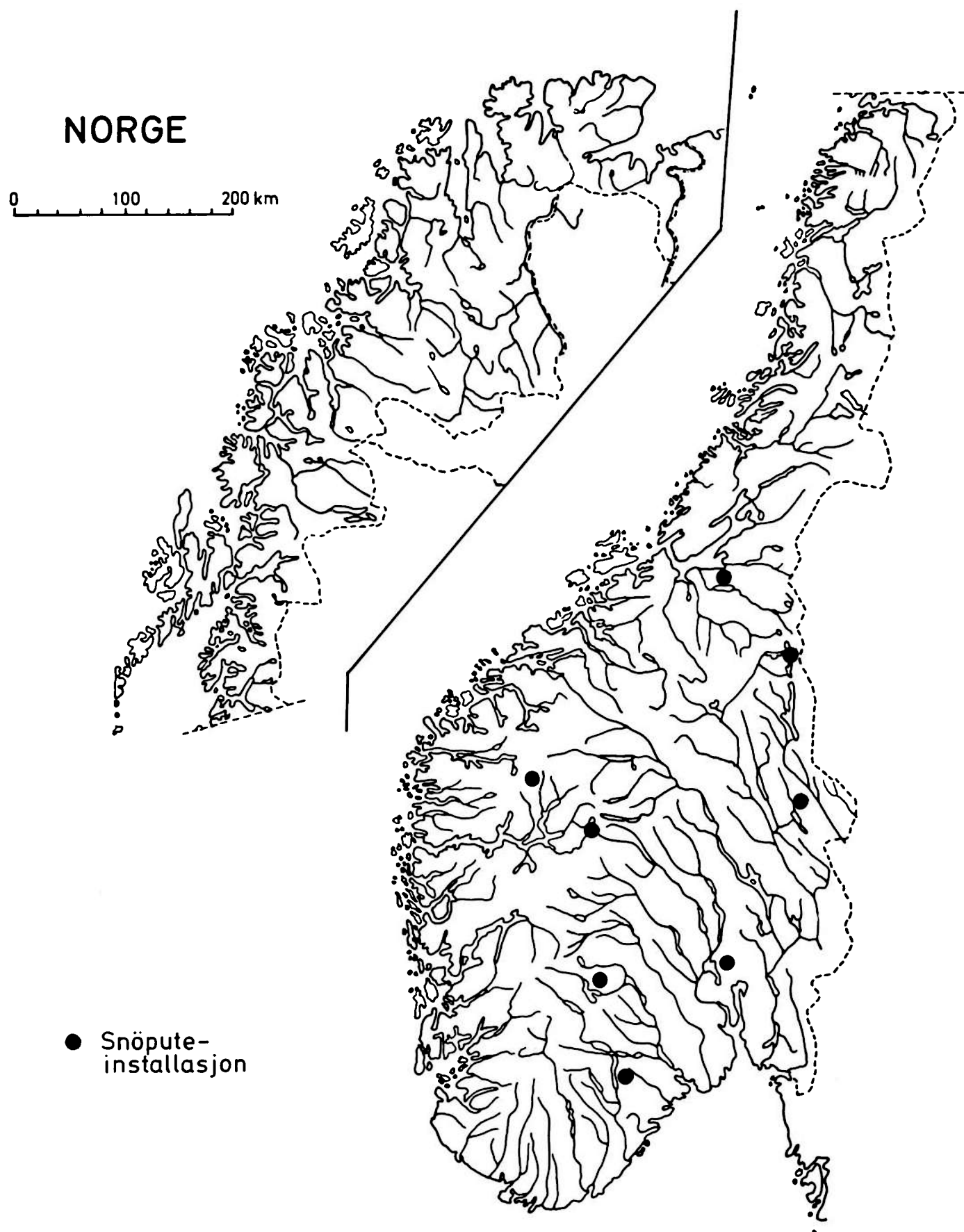


Fig. 5. Snøputestasjon i Norge 1981.

U.S.A. av E. Bollay Associated, Inc. De fem neste ble laget i Sverige av Trelleborg Gummi A/S, Av de snøputene som er produsert de siste årene er 3 laget i Norge av Viking Stavanger A/S og 5 stykker av Trelleborg Gummi A/S.

Alle snøputene er runde og har diameter 3,7 m. De er fylt med 2000-3000 liter frostvæske som består av 50% vann og 50% sprit. Materialet i snøputene er nylonvev belagt med en gummitype som heter kloropren og som ofte kalles neopren. Gummiduken er 1,6 mm tykk og er sveiset sammen på noe forskjellig måte av de ulike leverandørene.

Ved alle snøputene som er i drift i Norge registreres trykket på snøputen som en nivåforandring i et stigerør, som tidligere forklart. Væsknivået registreres med flottør og limnigraf. Ved snøputen på Fillefjell registreres nivåendringene også ved hjelp av et potensiometer og en datalogger, sammen med data fra meteorologiske instrumenter på stasjonen. Snøputene på Nigardsbreen og Sollihøgda har også nivåregistrering ved hjelp av en trykksensor i bunnen av stigerøret. Registreringene overføres automatisk ved hjelp av h.h.v. telefonlinje og satellitt. Andre opplysninger om de norske snøputene går fram av tabell 2.



Figur 6. Snøputestasjon på Fillefjell. Dette er den første snøputen som ble installert i Norge og stasjonen er fremdeles i drift.

Det tas ikke sikte på med denne rapporten å gi en detaljert framstilling av snøputestasjonenes konstruksjon og praktiske forhold ved installasjonen. Nærmere opplysninger om dette kan fås ved Hydrologisk avdeling i NVE, som også har detaljerte arbeidstegninger til snøputestasjoner. På figur 6 er vist et bilde av snøputestasjonen på Fillefjell, der en kan se snøpute, tårnet med stigerør, limnigrafhus og gjerdet omkring.

4.2 Erfaringer

Rent teknisk er snøputens virkemåte svært enkel. Registrering kan foretas uten bruk av elektronikk eller mekaniske bevegelige deler. Driftssikkerheten for en snøpute er derfor i det alt vesentligste bestemt av registreringsutstyrets kvalitet. Til nå har limnigraf og flottør vært mest anvendt. Dette er en velkjent og utprøvd metode for nivåregistrering i Norge, og regulariteten i snøputeregistreringene har derfor vært meget god. Når trykkfølere og elektronisk registreringsutstyr tas i bruk for å gi anledning til å fjerneoverføre snøputedata, vil sannsynligvis regulariteten bli redusert. På steder der regelmessig ettersyn ikke kan foretas, vil det fremdeles være ønskelig med registrering ved hjelp av limnigraf for å sikre at de observerte snødata ikke mistes hvis det elektroniske utstyret faller ut.

Selv om regulariteten av snøputeregistreringene er god, er ikke snøputenes holdbarhet tilfredsstillende. Som det går fram av tabell 2 er registreringene ved to av de tidligst installerte snøputene avbrutt. Dette skyldes at snøputene har gått i stykker. Sprekker i overflaten og langs kanten har ført til lekkasjer, og frostvæskene har helt eller delvis lekket ut. Snøputen på Fillefjell begynner også å bli dårlig og må snart kasseres. Det virker som om påvirkning av sol, regn og andre væreffekter er en stor belastning på gummiduken i snøputene. De snøputene som alltid har vært beskyttet med presenning eller plastduk om sommeren, synes å ha den best bevarte overflate og lengst levetid.

Under 10 års levetid på snøputene kan ikke anses som tilfredsstillende. Ved senere produksjoner bør det derfor vurderes om en mer bestandig gummitype bør benyttes og om det er aktuelt med et tykkere gummilag. Det fins i dag gummityper med bedre

motstandsevne mot oson- og værpåvirkning og mot lave temperaturer. Selv om disse gummityper er dyrere vil det lønne seg å lage snøputer med lengre levetid. Det bør videre bli regel at snøputene tildekkes i den snøfrie periode i året.

Det er benyttet relativt mye frostvæske i de norske snøputene. I enkelte er det 3000 l frostvæske. Med så mye frostvæske vil de runde kantene bli fremtredende og unøyaktigheten i registreringene vil øke. Når det ikke er registrert feil i registreringene skyldes det at snøputenes overflate er større enn nødvendig i forhold til de snømengder som måles i Norge. I tillegg vil så mye frostvæske føre til en ekstra trykkbelastning på snøputen som reduserer levetiden. Hvis snøputens underlag er fast og skikkelig planert, er det ikke nødvendig med mer enn 600-1000 l frostvæske i snøputene. Med riktig konstruksjon av snøputen vil feilregistrering på grunn av kanteffekten bli redusert betraktelig. Forutsetningen for at en så liten frostvæskemengde kan benyttes er at luftepluggen på snøputens overside er liten og laget av et lett materiale. Hvis ikke vil pluggen lage en grop på overflaten der det vil samle seg smeltetvann som eventuelt kan fryse til is. En reduksjon av frostvæskemengden og dermed mengden av sprit slik det er angitt ovenfor, vil redusere prisen på en snøputestasjon og forenkle installasjonen.

Snøputene som benyttes i Norge er alle av samme størrelse; diameter 3,7 m. Den første som ble kjøpt i U.S.A. var basert på de første tester av snøputer og dimensjonert for amerikanske forhold. Senere hardet i Norge ikke vært vurdert om andre størrelser kan være like nøyaktige. I følge de amerikanske anbefalingene som er gitt i tabell 1, vil en i Norge kunne redusere snøputenes diameter til omkring 3 meter uten at det går på bekostning av nøyaktigheten, selv for relativt store snømengder. Volumet av frostvæske vil dermed kunne reduseres til 500-700 l, hvorav spritmengden utgjør halvparten. I følge anbefalingene vil man kunne gå enda lengre ned i størrelse, men det er kjent at små snøputer gir en overestimering av snøens vannekvivalent. En sterkere reduksjon bør derfor ikke foretas før nærmere undersøkelser er gjort. Det er ønskelig at snøputenes størrelse blir undersøkt og ved Hydrologisk avdeling er det innkjøpt en snøpute med diameter 1,80 m, som skal

utprøves neste vinter.

Det er i denne rapporten forsøkt lagt vekt på de tekniske og konstruksjonsmessige sider ved snøputer. Forutsetningen for at snøputer er aktuelle som automatiske snøsensorer er imidlertid at de fungerer tilfredsstillende også fra et hydrologisk synspunkt. Det er ikke gjennomført en samlet vurdering av de snøputeregistreringer som er foretatt i Norge. De kontroller av snøputer som er foretatt ved direkte målinger av snøens tetthet og snødybden, har vist at snøputene stort sett gir korrekte registreringer av snøens vannekvivalent. Snøputer plassert i områder med stabilt vinterklima er de mest pålitelige. Vinddrift og store temperatursvingninger gjennom vinteren kan gi feilregistreringer som er vanskelig å korrigere. Feilregistreringene kan bli store dersom en betydelig del av snølaget er skare. Det kan danne seg isbruer over snøputen. Blir skaren bløtt opp av mildvær eller regn vil de største feilregistreringene forsvinne igjen. For å kunne følge og forklare unormale utslag i snøputeregistreringene bør snøputestasjonene utstyres med meteorologiske instrumenter som registrerer nedbør, vind og temperatur.

5. SNØPUTER AV METALL

5.1 Bakgrunn og utvikling

Selv om de tradisjonelle snøputer av gummi hadde vist seg å være gode sensorer for automatiske snømålinger, hadde de svakheter og ulemper som medførte at det fortsatt ble satset på videreutvikling av prinsippet bak snøputen. Utviklingen har foregått parallelt med en økende bruk av snøputer i både operativ og mer forskningsrettet virksomhet.

Snøputenes størrelse medførte at en snøputestasjon fikk forholdsvis stor utstrekning. En reduksjon av snøputenes størrelse måtte foregå på bekostning av nøyaktighet i registreringene. Væskemengden som er nødvendig i de tradisjonelle snøputene er stor, og medfører i tillegg til utgiftene ved innkjøp, også vanskeligheter med transport og påfylling.

Den største svakheten ved de tradisjonelle snøputene er den begrensede holdbarheten. En lekkasje i en snøpute kan ikke repareres på stedet. Ved reparasjon må frostvæsken tappes ut og oppbevares. I verste fall renner all frostvæsken ut før lekkasjen er oppdaget. Det er lite trolig at det har noen hensikt å reparere en snøpute som er mer enn 6 år, hvis skaden i det hele tatt kan repareres. De snøputer som har gått i stykker i Norge har vært av en slik beskaffenhet at overflaten nærmest har råtnet opp eller smuldret bort.

Forsøkene med en membran-sensor, som er nevnt i kapittel 3.2, gav gode resultater. I tiden som fulgte ble det utprøvet en rekke snøputer av metall med forskjellig form og størrelse. De første snøputene av metall ble prøvd i felt i 1972 i den vestlige delen av U.S.A.

De første snøputene av denne typen ble laget av galvaniserte stålplater. De var firkantet og vesentlig tynnere enn gummi-putene. Den største ulempen var rustdannelse, som kunne medføre at snøputene i dårligste tilfelle ikke vart lenger enn 6 år. Snøputene ble deretter laget av rustfritt stål, og dette har siden vært materialet i de nye snøputene. Form og utseende av disse snøputene går fram av figur 7.



Figur 7. Snøpute laget av rustfritt stål.

5.2 Beskrivelse

Det har etter hvert blitt utviklet to typer snøputer av metall, som begge er i utstrakt bruk i U.S.A. Den eldste typen kalles SNOTEL snøputen og den andre kalles California snøputen.

SNOTEL har fått sitt navn fra prosjektet SNOTEL (SNOW TELelemetry) som går ut på å etablere et nett av automatiske snøsensorer i den vestlige delen av U.S.A. SNOTEL-snøputen ble valgt som standard snøsensor da prosjektet ble startet. Etter flere utviklings-trinn, er en kommet fram til en konstruksjon av snøputen som er vist på figur 8.

Størrelsen er 4" x 5" eller 1,22 m x 1,52 m. Tykkelsen er under 2 cm, og mengden av frostvæske er omkring 20 liter. Snøputens areal er for lite til å gi tilstrekkelig nøyaktighet ved store snømengder. Fire snøputer er derfor ofte montert inntil hverandre, og forbindelsesrørene fra snøputene er koplet sammen slik at trykket måles samlet.

Et av de største problemene med disse putene har vært deformasjon av metallet. Dette skyldes delvis spenninger på grunn av sveisingen, og delvis at det er benyttet ren sprit som frostvæske. Nye sveiserutiner og annen frostvæskeblanding har eliminert de fleste av disse problemene.

Den andre typen er utviklet av California Department of Water Resources (DWR). Denne snøputen er av samme størrelse som den første, 1,22 m x 1,52 m. Materialet er rustfritt stål, men konstruksjonen er noe annerledes. På figur 9 er vist en konstruksjonstegning for denne snøputen. På samme måte som SNOTEL-puten benyttes denne gjerne i grupper på 2, 4 eller flere snøputer.

De to typene er relativt like. Den sistnevnte er den nyeste og den som nå er valgt som standard i SNOTEL-programmet. Årsaken er at det er rapportert færre feil på denne snøputen. Sammenliknende målinger med manuelt utstyr har vist at det ikke kan påvises forskjell i nøyaktighet mellom de to snøputetyperne av metall (Soil Conservation Service, 1978).

STAINLESS STEEL SNOW PILLOW

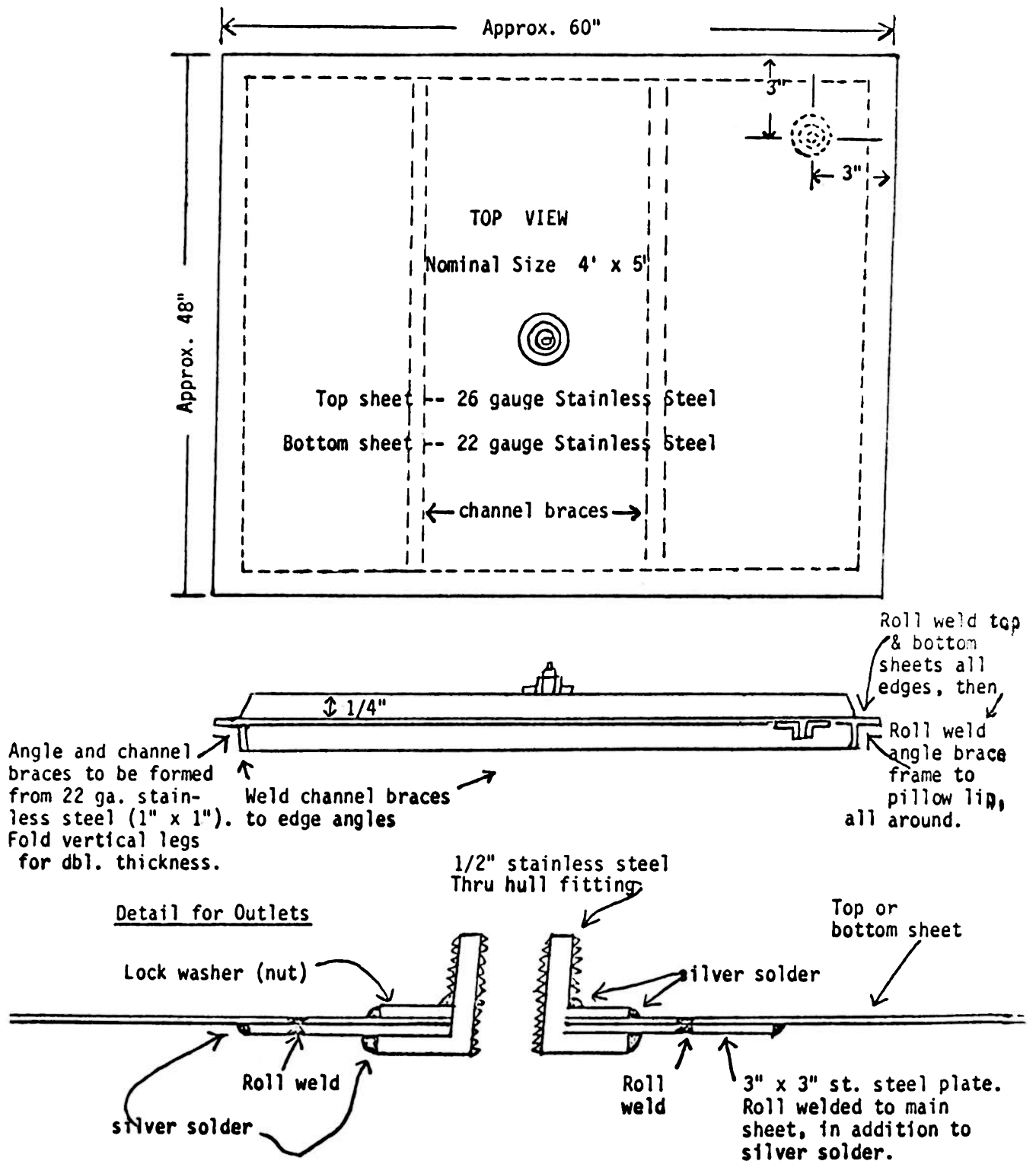


Fig. 8. Skisse av en snøpute av SNOTEL-typen laget av rustfritt stål.

SNOW PRESSURE PILLOW

PLATE 1

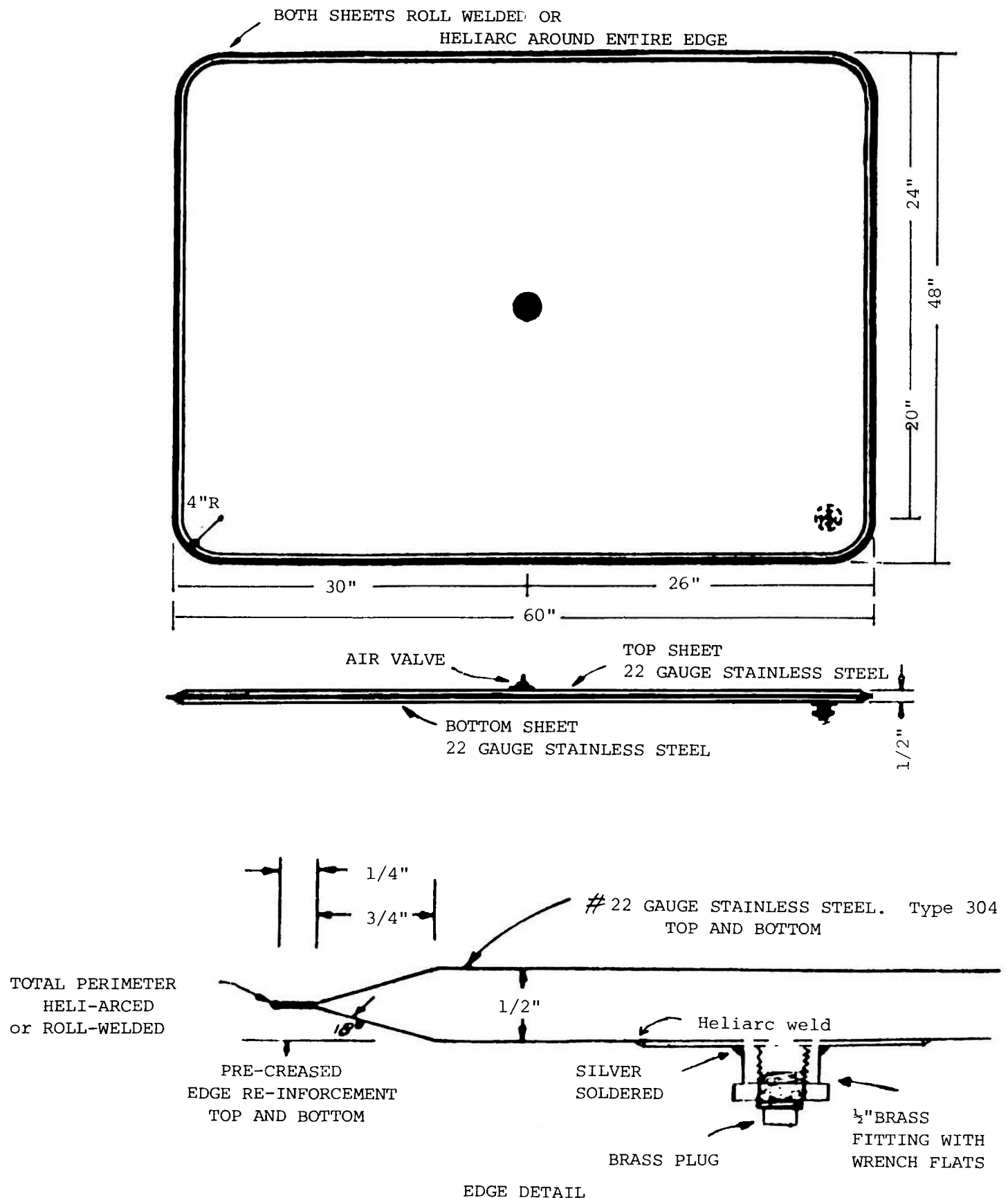
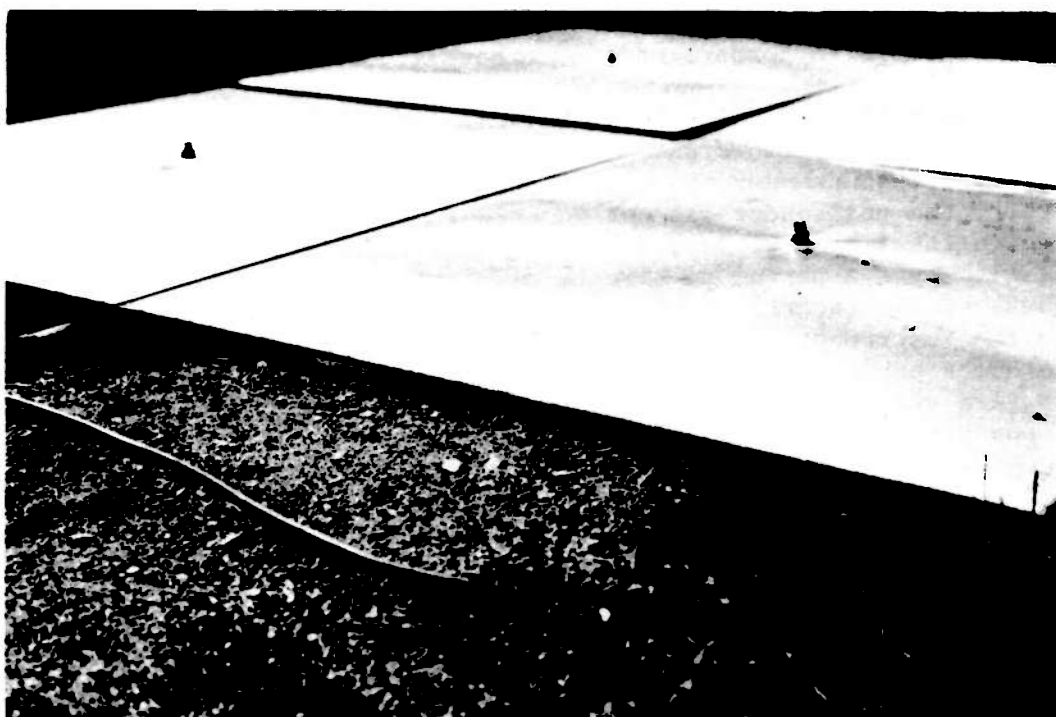


Fig. 9. Skisse av snøpute laget av rustfritt stål. Konstruksjonen kalles California-typen.

5.3 Kort vurdering

Som et ledd i utprøvnningen av sin snøpute utført DWR en rekke hydrologiske testforsøk på forsøksstasjonen Alpha Test Site. Konklusjonen på forsøkene var at fire metallputer som er koplet sammen gir like nøyaktige målinger som en 12 fot snøpute av gummi. Når data fra andre stasjoner også tas med blir korrelasjonen mellom manuelle snømålinger og snøputeregistreringer noe bedre for gummiputer enn metallputer, men forskjellen kan ikke sies å være signifikant.

Undersøkelsene viste også at for store snømengder bør det ikke benyttes snøputer med mindre areal enn 7 m^2 hvis det er gummiputer og $4,5 \text{ m}^2$ hvis det er metallputer. Fire snøputer av metall som virker sammen har et areal på $7,4 \text{ m}^2$, som tilsvarer en rund snøpute med diameter omkring 3 meter. Figur 10 viser en slik oppstilling.



Figur 10. Snøputer av rustfritt stål. Fire stykker er lagt inntil hverandre og er koplet sammen ved hjelp av plastrør.

I undersøkelsen ble det sagt at det beste resultat ble oppnådd med metallputernår det ble benyttet et lukket system med fire snøputer sammen og trykket ble registrert med en trykksensor.

De nye snøputene har viktige fordeler framfor gummiputene. Størrelsen gjør at de er lett å håndtere. Transporten setter imidlertid store krav til beskyttelse av snøputene. Alle rapporter viser at metallputene er vesentlig lettere å installere. På den annen side må planering av grunnen der snøputene skal ligge utføres meget omhyggelig.

Væskemengden i de snøputene av metall som er i bruk er omlag 20 liter. Med bruk av samme frostvæskeblanding som idag, vil mengden av sprit utgjøre 10 liter pr. snøpute. Det vil si at for en ordinær snøputestasjon med fire metallputer vil det kreves 80 liter frostvæske, derav 40 liter sprit. Dette er under ti-delen av hva som er nødvendig i snøputer av gummi.

En annen fordel er at frostvæsken er fordelt på flere snøputer. Ved lekkasje eller andre skader, vil en snøpute kunne koples fra uten at de øvrige berøres. Ved at flere enheter benyttes sammen vil en kunne oppnå ulike størrelser på snøputer etter hvor den skal plasseres, samtidig som selve snøputen er standardisert.

En snøpute av metall kan i mange tilfeller repareres, fordi skaden som oftest oppstår i sveisen, koplinger e.l. Ofte er det også mulig å reparere en slik snøpute på stedet, dersom utstyr kan medbringes. Reparasjoner av snøputer av gummi er svært vanskelig og ofte upraktisk.

Selv om de gjennomsnittlige resultater av prøvene er svært gode, er det ikke klart om snøputene av metall er like følsomme ved små snømengder som snøputer av gummi. Et annet problem er at registrering av trykket i snøputen vil være vanskelig å utføre med stigerør og limnigraf slik det nå gjøres i Norge, på grunn av væskevolumet i snøputene. Dette er imidlertid ulemper som vil kunne løses i en aktuell målesituasjon, fordi alternative løsninger finnes. Imidlertid er det ønskelig at slike instrumenter utprøves i Norge for at det kan vinnes erfaring med virkemåten av selve snøputen og konstruksjon av en snøputestasjon med en slik sensor.

6. KONKLUSJON

Ulike typer snøputer har vært i økende bruk siden 1961, da den første snøputen ble konstruert. Det er fremdeles et stort behov for sensorer for automatiske snømålinger. Snøens betydning innen operativ snøhydrologi er økende. Tilfredsstillende metoder for bestemmelse av arealverdien av snøens vannekvivalent er ikke utviklet og det må fortsatt arbeides med metoder basert på punktmålinger av snøens parametre.

De tradisjonelle snøputer av gummi er et resultat av en nitid utprøving av alle aktuelle sider ved konstruksjon, form, størrelse, materiale og frostvæske. Nye gummityper har gjort snøputene mer motstandsdyktige mot oson- og værpåvirkning. Det er også mulig å lage snøputer med to lags gummiduk, der den innerste har stor motstandsevne mot sprit og den ytre mot vær og annen ytre påvirkning. Snøputenes størrelse kan tilpasses snømengdene som skal måles; for små snøputer overestimerer snøens vannekvivalent. Imidlertid vil små snøputer kunne få store feilutslag ved islag i snøen, og det er derfor ikke å anbefale at det benyttes snøputer med diameter mindre enn 2,5 - 3,0 meter.

De nye snøputene av metall er firkantet og har størrelse 1,22 m x 1,52 m. Det anbefales at de benyttes i grupper på fire. Snøputenes areal blir da 7,4 m². Hver snøpute har et volum på omkring 20 liter. Behovet for frostvæske er dermed lite. Metallputene er vesentlig mer holdbare, og kan lettere repareres. Fabrikasjonen må imidlertid utføres omhyggelig og transport må foregå uten støt eller trykk.

Undersøkelser har vist at både snøputer av gummi og snøputer av metall gir registreringer som er meget godt korrelert med manuelle snømålinger omkring snøputene. Snøputene av metall er mer driftssikre og holdbare, og installasjonen er lettere å foreta. Det er sannsynlig at en snøpute av metall blir noe dyrere enn en gummipute. Forskjellen blir redusert av det reduserte behov for frostvæske. Prisvurderingene er svært usikre, fordi det foreløpig ikke er tatt i bruk en snøpute av metall i Norge. Mange faktorer ved vurdering av prisen er foreløpig ikke klarlagt.

I Norge har det til nå vært i drift 8 snøputer. 2 av disse er gått i stykker, de øvrige er fremdeles i drift. De norske snøputene er alle laget av gummi, men er av tre ulike fabrikkat. De er runde med en diameter på 3,7 m. Snøputene er fylt med en frostvæske av 50% sprit og 50% vann. Væskemengden varierer fra 1000 l til 3000 l. Selv om det er observert en rekke situasjoner hvor snøputene har gitt gale eller uforklarlige registreringer, er erfaringene i Norge at snøputene stort sett gir tilfredsstillende data for snøens vannekvivalent. Snøputene virker best i områder med stabile vinterforhold.

Ved anskaffelse av nye snøputer i Norge, bør de erfaringer som er høstet i utlandet tas med i betrakning. Konstruksjon og montering av lufteplugg på oversiden bør gjøres slik at væskemengden pr. snøpute kan reduseres til 800-1000 l. Videre bør mindre snøputer testes sammen med større, for å undersøke om ikke snøforholdene i Norge gjør det mulig å redusere snøputenes størrelse uten at nøyaktigheten blir dårligere. Videre bør det foretas forsøk med de nye snøputer av metall for å bli kjent med disse snøputetyper i Norge. Samtidig bør det foretas registrering av trykket i snøputene etter flere metoder, for at en bedre tilpasning til morgendagens fjernoverføringssystemer kan oppnås.

Med en slik videreutvikling av de snøputer som er benyttet i Norge, vil en kunne eliminere noen av de ulempene som foreløpig har hindret en større bruk av snøputer i Norge. En enklere konstruksjonsmessig og installasjonsmessig løsning vil gi en automatisk sensor for snømålinger som kan få en vesentlig bredere anvendelse enn dagens snøputer.

7. LITTERATUR

- Andersen, T.: Automatisk registrering av snøens vannekvivalent ved radioaktiv stråling. Intern rapport nr. 3. Norsk hydrologisk komité. Oslo, 1980.
- Andersen, T.: Automatisk registrering av snøens vannekvivalent lent ved naturlig gammastråling. Norsk hydrologisk komité. Rapport nr. 8. Oslo, 1981.

- Barton, M.: New Concepts in Snow Surveying to Meet Expanding Needs. Advanced Concepts and Techniques in the Study of Snow and Ice Resources. National Academy of Sciences. Washington, D.C., 1974.
- Beaumont, R.T.: Mt. Hood Pressure Pillow Snow Gage. Proceedings, Western Snow Conference, Colorado Springs, 1965.
- Peterson, N.R.: Snow Sensors in California - A Progress Report. Proceedings, Western Snow Conference, Nevada, 1968.
- Snow Sensor Evaluation in the Sierra Nevada, California. State of California, Department of Water Resources, Division of Planning. 1976.
- Soil Conservation Service (U.S. Department of Agriculture): Snow Sensor Evaluation. 1978.
- Warnick, C.C. and Penton, V.E.: Method for Automatic Measurements of Snow Water Content to Predict Water Supply. Final Report, University of Idaho. Moscow, 1963.

Utkommet i denne serie:

1. Oversikt over innsjøprosjekter.
Redigert av Erik Hansen og Arve Thendrup. Oslo 1978.
2. Innsjøers dynamikk. Foredrag ved seminaret på Lillehammer
28.-30. mars 1979.
Oslo 1979.
3. Automatisk registrering av snøens vannekvivalent ved radio-
aktiv stråling.
Av Tom Andersen, Oslo 1980.
4. Hydrologisk kartlegging. Sluttrapport fra NHK's engasjement
i prosjektet Konsistent kartlegging av nedbør, avløp og for-
dunstning.
Av Dan Lundquist, Oslo 1980.
5. Snømodellstudier i Dyrdaalen.
Av Dan Lundquist, Oslo 1981.
6. Automatisk registrering av snøens vannekvivalent ved snø-
puter.
Av Tom Andersen, Oslo 1981.

Rapportene distribueres av:
Norsk hydrologisk komité
Sekretariatet, Postboks 5091,
Majorstua, Oslo 3

