

|   |  |                           |
|---|--|---------------------------|
| <b>Retningslinjer for hydrologiske undersøkelser</b>  |  |                           |
| <b>Retningslinjer for massebalansemålinger på bre samt innsending av massebalansedata til Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)</b> |  |                           |
| <b>Vedtatt: 28.04.2008</b>  |  | <b>Utarbeidet av: NVE</b> |

## 1. Formål

Retningslinjene skal sørge for en enhetlig og kvalitativ god gjennomføring av målinger av massebalanse på bre, og beregning og registrering av data. Dette skal sikre at kvaliteten på de hydrologiske data i den nasjonale hydrologiske databasen blir den samme uavhengig av hvem som har samlet inn data.

## 2. Omfang

Retningslinjene gjelder alle konsesjonspålagte målinger av breers massebalanse. Avvik fra retningslinjene skal dokumenteres i forbindelse med innsending av data til NVE.

## 3. Ansvar og myndighet

NVE bestemmer/godkjenner lokaliteter hvor målinger skal foretas og har ansvar for utarbeidelse av nødvendige retningslinjer. NVE kan bidra til opplæring av personell som utfører målingene. Konsesjonæren har ansvaret for at målingene utføres og at de følger disse retningslinjene. NVE har ansvaret for endelig kontroll av dataene.

## 4. Utførelse av massebalansemålinger på bre

### 4.1 Måleopplegg

Fem til ti målesteder der netto endring fra år til år og sommersmelting måles, fordeles ut over breen primært basert på breens høydefordeling. Målestedene skal gi et representativt bilde av snømengde og smelting i de ulike høydeintervallene på breen. Områder der snø blåser av (høyder, kanter) eller der snøen samler seg (nedafor kanter, lesider o.l) bør unngås. Dersom breen har stor utstrekning i enkelte høydeintervall eller ujevn topografi kan det være aktuelt med flere målested i tilnærmet samme høyde. Målestedenes posisjon bestemmes på forhånd fra kart. For å gi et bedre bilde av snøfordelingen sonderes snødyptet i 50 til 200 punkt langs profil mellom stakeposisjoner og andre faste posisjoner. For omregning av snødypt til vannekvivalentverdi måles snøens tetthetsprofil ved et målested nær breens høydeyngdepunkt.

### 4.2 Feltnålinger

#### *Stakemålinger*

Smelting og netto endring måles på staker som viser overflatens høyde i forhold til bunnen av staken. Repetert måling viser smelting eller snødypt som høydeendring i forhold til staken. Der det regelmessig er store snødypt kan fagverkstårn benyttes i noen stakeposisjoner.

Som målestaker anbefales **aluminiumsrør (Al)**. Indre diameter er 33 mm, godstykkelse er 3 mm. Lengde er 2,0 m eller 6,0 m. Stakene skjøtes med skjøtetapper som er 400 mm Al-rør med ytre diameter 25 mm og godstykkelse 3,5 mm. Legering: AA7108-50. Forslag til forhandler er Astrup &

Sønn i Oslo. Skjøtetapp sikres med tape rundt midten av skjøtetappen (i skjøtepunkt mellom to stakelodd) og med tape utenpå stakene rundt skjøten. Det må brukes tape som holder seg elastisk i kulde. Tradisjonelt er det brukt tjærebånd.

Som tårn brukes såkalte **kalendermaster**. Det er 3 meter lange segmenter med gitterverk og trekantprofil med sidekanter 300 mm. Tårnleddene skjøtes sammen med 6 stk. galvaniserte bolter M-12, diameter 12 mm, lengde 50 mm. Bruk stoppskive! Til skruing brukes 2 stk. 19 mm fastnøkkel. Forslag til forhandler: Brødrene Berntsen, Hønefoss

### *Utsetting*

- Staker (og tårn) plasseres i henhold til bestemte posisjoner (bruk GPS), fortrinnsvis på steder med liten overflategradient. De blir lettere skjeve og brekker ned der helningen er stor. Stakene skal ikke plasseres nær sprekker både pga. personellsikkerhet og at sprekker kan utvide seg og påvirke forholdene (særlig smelting) på stakene.
- I blåisområdet bores stakene ned i is. Det er viktig å bore så dypt at stakene ikke smelter ut innen neste besøk. I snøområdet bores stakene minst 10 cm under sommeroverflaten (SO) eller godt ned i firn dersom snødyb og normal sommersmelting tilsier at all vintersnø kan smelte vekk. I snøområdet må stakene ha trepropp eller lignende i bunnen for å unngå synking. Staker i is kan også understøttes.
- Staker bør ikke være mer enn 4 meter over snøoverflaten, i skrånende terreng kan selv det være for mye. Høye staker kan lettere bøyes ned av vinden om vinteren eller helle om sommeren. Tårn bør maksimalt være 9 meter høye. Tårn kan forlenges med Al-stake som settes ned i tårnet og fundamenteres på skjøten mellom to tårnledd.
- Stakene merkes med nummer og år (10-01). Merkingen gjøres med DYMO-tape (festet med tjærebånd), påskrift med blyant/ sprittusj (leside og loside), eller inngraving med rissenål. Dersom forsvunnet stake skal erstattes kalles første erstatning for eksempel 110-01 (posisjon 10, ny stake etter brudd).
- Staker og tårn posisjoneres med GPS.

### *Måling og vedlikehold*

- Måling av staker og tårn gjøres fra topp stake/tårn og ned til overflaten. På høsten måles også ev. nysnø ved sondering eller graving.
- Det er viktig å være oppmerksom på at målinger på skjeve staker viser for stort snødyb. Tilsvarende vil man registrere for stor avsmelting på skjeve staker. Hellingsvinkelen må måles. Vær oppmerksom på at staken kan være bøyd i et punkt (for eksempel en stakeskjøt), eller hele staken kan stå skrått/bøyd. Ved skjøting av en skjev stake er det viktig å rette den opp. En skjev stake bøyes raskere ned – spesielt om den er lang.
- Tårn i akkumulasjonsområdet kan være forlenget flere ganger, og kan derfor ha sin basis langt under siste års sommeroverflate. Firn over bunnen av tårnet fortsetter sin kompaksjon. En må derfor være oppmerksom på at siste års sommeroverflate kan synke i forhold til tårnet i løpet av vinteren. Det medfører at **faktisk snødyb kan være større enn** beregnet snødyb fra endring i tårnets lengde. Dette forhold er viktig å være oppmerksom på dersom det bare er tårn som har overlevd og således danner grunnlaget for å bestemme snødypet.
- Staker og tårn posisjoneres regelmessig med GPS/GDM.

### *Kjerneboring*

Kjerneboring gjøres for å sette ut staker, for å ta tetthetsprøve, eller for å undersøke snøpakken for å påvise SO der denne er vanskelig å identifisere ved sondering.

## Utstyr

Utstyret omfatter **kjerneboret, sveiv** og et antall 1 m lange **boreforlengelser** samt 2 stk. 17 mm **fastnøkler**. Ved bruk av mer enn 5 skjøteledd bør sveiva tas av ved heising og senking av kjerneboret. Vedlikehold: Skruer som fester lokket i øvre ende må skrues til.

## Påvisning av SO

Påvisning av SO ved hjelp av kjerneboring kan gjøres ut fra flg. kriterier:

- Visuell påvisning i form av et tydelig skittlag som består av organiske partikler – særlig lav. Dette skjer helst på dalbreer med nærliggende bart fjell. På de store breplataene er det så få partikler at laget sjelden er synlig.
- Et tydelig islag som danner et klart skille mot fastere og hardere snø. Kan også inneholde partikler.
- Tetthetsøkning til over  $0,6 \text{ g/cm}^3$ . NB – vær oppmerksom på usikkerhet i tetthetsmålingene. Metoden er lite anvendelig ute.
- Selv om ikke SO kan defineres nøyaktig, er det svært ofte en overgangssone med overgang til grovere snøkrystaller. Vanligvis er det også en tetthetsøkning i denne sonen. I slike tilfelle kan man som regel bestemme SO med en nøyaktighet på under 0,5 meter. Det er da trolig skjedd en delvis omdannelse til begerkrystaller, og det er trolig at SO er lokalisert til nedre del av overgangslaget.
- Det kan være til hjelp å legge kjerneprøvene etter hverandre på overflaten. Husk å markere dyp. Ofte vil overgangen mellom årssnø og gammel snø/firn bli synlig etter å ha ligget i fri luft en stund (gammel snø synes å være mørkere).

## Tetthetsmåling

### Utstyr

Tetthetsmåling utføres med tetthetssylinder og/eller kjernebor. Anna utstyr: kniv til reinskjæring av kjerner, pose til oppbevaring av snø fra sylinder eller kubbe fra kjernebor. Vekta må ha en oppløsning på minst 20 g slik at vekt kan avleses inntil 10 gram. Fjærvekt som kan registrere vekt inntil 2 kg er praktisk.

### Utførelse

- Tetthetsmåling gjøres ved snømåling om våren, og om høsten dersom det er mye gjenliggende snø. Målingen gjøres på en eller flere representative lokaliteter (jf. målekart). Snødyppet sonderes på forhånd for å kontrollere at man har et representativt snødyp, og at ikke prøven tas i en sprekk.
- Under snømålingen gjøres tetthetsmålingen ned til minst 1,5 meter dyp med tetthetssylinder i gravet sjakt. Det tas to parallelle målinger. Ved store avvik gjøres en tredje måling. Fra bunn sjakt og videre ned til SO tas tetthetsprøven med kjernebor. Dersom snødyppet er over 7 meter er det tilstrekkelig å måle ned til 7 meter. Tettheten videre ned til sommeroverflaten kan ekstrapoleres mot  $0,6 \text{ g/cm}^3$ .
- Prøvene som veies må være regelmessige sylindere slik at volumet kan bestemmes nøyaktig. Bruk kniv eller sag for å lage rette kubber. Noter hvor mye som fjernes. Dersom en del av kjernen skades slik at volumet ikke kan bestemmes nøyaktig, forkastes prøven. Kubben noteres likevel med lengde, men uten vekt. For at tetthetsprofilen og bestemmelsen av snødyppet skal være så nøyaktig som mulig, må det legges vekt på å bestemme dypet hver kubbe representerer. Under målingen bør derfor lengdene (og det som er kappet vekk) summeres. Dette gir et minimumsdyp. Dypet til kjerneboret før boret dras opp gir et maksimumsdyp. Borehullets dybde måles med sonde for hver meter. Pass på å måle midt i hullet slik at toppen av eventuell gjenstående kerne måles.

## Sondering

Sondering av snødyp gjøres hovedsakelig under snømålingen om våren for å måle snødyp i mange punkt slik at snøens fordeling over breen kan kartlegges. Det kan også være aktuelt å sondere snødyp ved stakene om høsten (dersom det har kommet mye nysnø) og under vinterbesøket (for å påvise eventuell smelting etter minimumsmålingen).

### Utførelse

- Sondering gjøres i rettlinjede profiler mellom faste punkt (staker, tårn, GPS-posisjoner) (jf. målekart). Avstanden mellom sonderingspunktene i et profil er 100 – 250 meter, avhengig av breens størrelse og topografi, og snødyp og -fordeling. Ved sondering bør GPS benyttes til navigering og avstandsmåling langs profil. Eventuelt kan hvert sonderingspunkt være markert som veipunkt på forhånd, eller registreres som veipunkt ved måling.
- Dersom staker har overlevd bør sonderingene starte ved en stake der snødyppet er kjent. Man vil da "føle" SO samtidig som man får kartlagt beliggenheten til islag og andre variasjoner i snøpakken i forhold til denne. Alternativt bør man starte sonderingene i blåisområdet og arbeide seg oppover. Vær imidlertid oppmerksom på eventuell gjenliggende snø fra tidligere vintere.
- Dersom sommeroverflaten ikke var frossen da den første snøen kom, vil varmen i løpet av vinteren trenge opp i nysnøen og omdanne snøkrystallene til begerkrystaller, eller såkalt sukkersnø. Et slikt lag er svært vanlig, særlig på de maritime breene, og laget kan være opp til 30-40 cm tykt. Ved sondering er dette laget lett å identifisere ved at snøen er svært løs slik at sonden går lett igjennom. Ofte kjennes laget litt "grumsete" ut, dvs. at man kjenner at det består av grove krystaller. SO ligger da i underkant av dette laget. Dette laget kan ofte være vanskelig å finne i borkjerne fordi snøen er for porøs til å holde seg i en kjernebubbe.
- Antall sonderinger i hvert målepunkt avgjøres etter skjønn. Dog rapporteres unntaksvis mer enn ett tall. Dersom SO er utvilsom, er det tilstrekkelig med én sondering. I blåisområder er overflaten ofte ujevn og oppsprukket. Det vil da være nødvendig å utføre flere sonderinger innenfor et lite område for å finne et representativt snødyp. Det er hensiktsmessig å forflytte seg på tvers av sprekkeretningen. Ved usikker sondering, eller når sonderingen gir et helt uventet resultat, utføres flere sonderinger. Gå gjerne noen meter til siden.
- Dersom SO er vanskelig å kjenne, kan det enkelte ganger være et markert islag som ligger litt over, og som er dannet av et kraftig mildvær etter det første snøfallet på høsten. En slik flate kan da vanligvis følges over store deler av breen. Dette kan da brukes som referanseflate dersom man kjenner dens beliggenhet i forhold til sommeroverflaten (ved staker o.l).
- Dersom sonderingene gjøres over flere dager må endring i snødyp i perioden registreres ved staker.

## 4.3 Dataorganisering

### Stakemålinger

For hver målestake ved hvert besøk skal det registreres:

Dato, observatør, stakenummer/årgang, stakeposisjon (UTM/EUREF89), stakelengde målt fra staketopp ned til overflate før og eventuelt etter skjøting, avkorting eller omboring (kommentarfelt – omboring, avkorting, skjøting), total stakelengde (f. eks 6+2), ev. nysnø og i kommentarfeltet hvilken type overflate (snø, firn eller is).

Det kontrolleres at dataene harmonerer med tidligere observasjoner. Ev. avvik markeres.

### *Tetthetsmåling*

For hver tetthetsmåling registreres observatør, sted (stakenummer / posisjon), dato.

En tetthetsmåling består av flere kjerneprøver, enten målt i en standard sylinder, eller målt på snøkubbe tatt opp med et kjernebor.

For hver kjerneprøve registreres dyp nedre ende, lengde, tetthet, eventuelt tap mellom kjerneprøver, sylinder/kjerneprøve, kommentarer (informasjon om sylinder, kommentar om islag i overgang mellom snøprøvekjerner, påvist sommeroverflate etc.).

Basert på innlagt informasjon beregnes tetthet og vannverdi for hver enkelt prøve og kumulativ vannekvivalent for alle prøvene. Det kontrolleres at dataene harmonerer med tidligere observasjoner. Ev. avvik markeres.

### *Sondert snødyp*

For hvert målt punkt registreres posisjon (UTM/EUREF89), snødyp, (mest sannsynlig dyp, ev. alternativ kan gis som kommentar/merknad), observatør.

## **4.4 Beregninger**

### *Konvertering fra tetthetsmåling ett sted til vannekvivalentprofil gyldig for et større område*

Lengdene og vannverdiene kumuleres nedover i snøpakken til SO. Basert på tallpar for akkumulert dyp og akkumulert vannverdi beregnes en funksjon/trendlinje for tallparene. Anbefalt trendlinje er 2. grads polynom eller geometrisk fordi de tar med effekten av økende tetthet med dypet.

### *Konvertering av målte dyp/endringer til vannekvivalenter*

Konverteringen baserer seg på at tetthetsprofilen er det samme over et større område, slik at variasjoner i snødyp medfører variasjoner i middel tetthet. Der det gjøres flere tetthetsprøver kan hver enkelt prøve tilordnes et høydeintervall.

### **Snødyp bestemt ved sondering, kjerneboring eller stakemåling (vinterbalanse)**

Snødyp konverteres til vannekvivalent ved hjelp av funksjonen bestemt fra akkumulert dyp/akkumulert vannverdi i tetthetsmålingen.

### **Konvertering av smeltet is/firn eller gjenværende snø til vannekvivalent (nettobalanse)**

Smeltet is konverteres til vannekvivalent ved å multiplisere med tetthet for is, som er satt til  $0,9 \text{ g/cm}^3$ . Smeltet firn konverteres til vannekvivalent ved å multiplisere med tetthet ( $0,65\text{-}0,75 \text{ g/cm}^3$ ) avhengig av alderen på firnen (ett eller flere år). Gjenværende snø konverteres til vannekvivalent ved å multiplisere med tetthet  $0,60 \text{ g/cm}^3$  (basert på tidligere målinger), eller målt tetthet hvis denne avviker vesentlig fra  $0,60 \text{ g/cm}^3$ . Dersom det påvises påfrossen is må denne medregnes.

### **Beregning av sommerbalanse ved målestake**

Sommerbalanse ved en målestake beregnes fra beregnet vinter- og nettobalanse ( $b_s = b_n - b_v$ )

### *Balanseverdiens høydefordeling*

#### **Vinterbalanse**

Punktverdiene (vannekvivalentverdi) plottes mot høyde. I tillegg plottes middelverdi for alle målepunkt innenfor et høydeintervall mot middelhøyde for målepunktene innenfor høydeintervallet. En høydefordelingskurve trekkes etter skjønn der det tas hensyn til områder som

ikke er representert med målinger. Verdier for høydeintervallenes middelhøyde bestemmes så fra høydefordelingskurven.

### **Sommerbalanse**

Punktverdiene (vannekvivalentverdi) plottes mot høyde, og en utjevnet høydefordelingskurve trekkes. Verdier for høydeintervallenes middelhøyde bestemmes så fra høydefordelingskurven.

### **Nettobalanse**

Verdier for høydeintervallenes middelhøyde bestemmes som sum av vinter- og sommerbalansen i høydeintervallenes middelhøyde (fra høydefordelingskurvene).

### **Tabeller og figurer**

Vinter- og sommerbalansens verdier for middelhøyden i høydeintervallene legges inn i standard tabeller. Datoer for periodene balanseverdiene gjelder for skal legges inn. Sommerbalansens stakeverdier skal også legges inn.

### *Likevektslinnehøyde (ELA) og Akkumulasjonsområdets arealandel (AAR)*

**ELA** (Equilibrium Line Altitude) bestemmes som nettobalansekurvens skjæring med balanseaksens 0-verdi. ELA sammenlignes om mulig med temporær snølinnehøyde ved minimumsmåling.

Spesialtilfelle 1: avsmelting over hele breen, eller akkumulasjon over hele breen. ELA settes til hhv. større enn breens høyeste punkt, eller lavere enn breens laveste punkt.

Spesialtilfelle 2: nettobalansekurven krysser balanseaksens 0-verdi flere ganger. ELA blir da ubestemt.

**AAR** (Accumulation Area Ratio) bestemmes fra ELA og en kumulativ høydearealfordelingskurve som starter med 100 % i breens laveste punkt og slutter med 0 % i breens høyeste punkt.

### *Vinterbalansekart*

Basert på vannekvivalentverdi i koordinatfesta sonderinger, kjerneprøver og stakemålinger kan vinterbalansen interpoleres for hele brefeltet. Anbefalt interpolasjonsmetode er kriging fordi den også ekstrapolerer utenfor målepunktene og har mulighet for å angi en usikkerhet i enkeltpunkt (Surfer 7.0 – Nugget effect). For å støtte interpolasjonen kan det legges inn ekstra punkt. Disse ekstraverdiene må dokumenteres slik at de lett kan identifiseres i datagrunnlaget for interpolasjonen. Framgangsmåte og muligheter i analysen vil variere med programvare som brukes.

## **5. Datainnsending til NVE**

Registrert informasjon fra stakemålinger og data fra kjerneboringer, tetthetsmålinger og sonderinger, samt dokumentasjon og resultater av beregninger rapporteres til NVE. Tidsfrist for rapportering av vinterbalansen er 1. juli, mens sommer- og nettobalansen skal rapporteres innen 1. februar påfølgende år.