

<b>Retningslinjer for hydrologiske undersøkelser</b>		
<b>Retningslinjer for massebalansemålinger på bre</b>		
Vedtatt: 20.06.2016		Utarbeidet av: NVE

## 1. Formål

Retningslinjene skal sikre at gjennomføring av målinger av massebalanse på bre, og beregning og registrering av data utføres etter standardiserte metoder og at kravene til dataleveranse og nøyaktighet tilfredsstilles uavhengig av hvem som utfører målingene.

## 2. Omfang

Retningslinjene gjelder alle pålagte målinger av breers massebalanse.

## 3. Ansvar og myndighet

NVE er nasjonal faginstans for hydrologi. Det innebærer at NVE har et nasjonalt ansvar for å sikre innhenting av hydrologisk data av god kvalitet og sørge for at data er tilgjengelig for samfunnet i ettertid. En del av dette arbeidet innebærer at NVE gir pålegg om hydrologiske undersøkelser og har ansvar for utarbeidelse av og veiledning i nødvendige retningslinjer. Den som er pålagt hydrologiske undersøkelser har ansvaret for at målingene utføres tilfredsstillende, og med tilstrekkelig datakvalitet. NVE fører tilsyn med at den som er pålagt hydrologiske undersøkelser utfører disse, og at innrapporterte data har nødvendig kvalitet og tilfredsstiller retningslinjene.

## 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 snødyppet i 50 til 200 punkt langs profil mellom stakeposisjoner og andre faste punkter, eller i rutenett tilpasset breens areal og terreng. For omregning av snødypp til vannekvivalent måles snøens tetthet i et profil ved et målested nær breens høydeytngdepunkt.

### 4.2 Feltnmålinger

#### *Stakemålinger*

Snødypp, smelting og årlig endring måles på staker som viser overflatens høyde i forhold til bunnen av staken. Gjentatt måling viser smelting eller snødypp som høydeendring i forhold til staken. Der det regelmessig er store snødypp kan fagverkstårn benyttes i noen stakeposisjoner.

Som målestaker anbefales aluminiumsrør (Al), med indre diameter 33 mm, godstykkelse 3 mm og lengde 2,0 m eller 6,0 m. Stakene skjøtes med skjøtetapper i aluminium (legering AA7108-50) med lengde 400 mm, ytre diameter 25 mm og godstykkelse 3,5 mm. Skjøtetappen 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 anbefales 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.

### *Utsetting*

- Staker (og tårn) plasseres i henhold til gitte posisjoner (bruk håndholdt GPS), fortrinnsvis på steder med liten helningsgradient. 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 snødyp og normal sommersmelting tilsier at all vintersnø kan smelte vekk. I snøområdet må stakene ha trepropp eller lignende i bunnen for å unngå at de synker ned i snøen. Staker i is kan også understøttes på samme måte.
- 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 (for eksempel 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 10-01B (posisjon 10, år 2001, ny stake).
- Staker og tårn posisjonbestemmes med GPS.

### *Måling og vedlikehold*

- Måling av staker og tårn gjøres fra topp stake/tårn og ned til overflaten. På høsten måles også evt. nysnø ved sondering eller graving.
- Det er viktig å være oppmerksom på at målinger på skjeve staker viser for stort snødyp. 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 nedre del av tårnet fortsetter sin komprimering. En må derfor være oppmerksom på at siste års sommeroverflate kan synke i forhold til tårnet i løpet av vinteren. Det medfører at faktisk snødyp kan være større enn beregnet snødyp fra endring i tårnets lengde. Dette er viktig å være oppmerksom på dersom det bare er tårn som har overlevd vinteren og således danner grunnlaget for måling av snødyper.
- Staker og tårn posisjonbestemmes regelmessig med GPS.

### *Kjerneboring*

Kjerneboring gjøres for å sette ned staker, for å ta tetthetsprøve, eller for å påvise sommeroverflaten (SO) der denne er vanskelig å identifisere ved sondering.

### *Anbefalt utstyr*

Utstyret omfatter kjernebor, 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. For kjernebor med lokk er det viktig å regelmessig skru til skruene som fester lokket i øvre ende. Det er ingen faste leverandører av kjernebor, utstyr lages på bestilling hos mekaniske verksted. |

### *Påvisning av sommeroverflaten (SO)*

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

- a) 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 breplatåene er det så få partikler at laget sjelden er synlig.
- b) Et tydelig islag som danner et klart skille mot fastere og hardere snø. Kan også inneholde partikler.
- c) Tetthetsøkning til over  $600 \text{ kg/m}^3$ . NB – vær oppmerksom på usikkerhet i tetthetsmålingene. Metoden er lite anvendelig ute på breen.
- d) 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. Det er trolig skjedd en delvis omdannelse til begerkrystaller, og det er sannsynlig at SO er lokalisert til nedre del av overgangslaget. I slike tilfeller kan man som regel bestemme SO med en nøyaktighet på under 0,5 meter.
- e) 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**

### *Anbefalt utstyr*

Tetthetsmåling utføres med snøsylder og/eller kjernebor. Annet utstyr: kniv til reinskjæring av kjerner, pose til oppsamling og veiing av snø fra sylinder eller kubbe fra kjernebor. Prøvene veies med pose, og type pose (og antall gram, om mulig) noteres. Vekta må ha en oppløsning på maks 20 g slik at vekt kan avleses inntil 10 gram. Fjærvekt som kan registrere vekt inntil 2 kg er praktisk. Vekten må kontrolleres mot kjente vekter (f.eks lodd) før feltmåling.

### *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). Snødypet 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 avvik større enn 5% av middel gjøres en tredje måling. Fra bunn sjakt og videre ned til SO tas tetthetsprøven med kjernebor. Dersom snødypet er over 7 meter er det tilstrekkelig å måle ned til 7 meter. Tettheten videre ned til sommeroverflaten kan ekstrapoleres mot  $600 \text{ kg/m}^3$ .

- Prøvene som veies må være regelmessige snøsyndere slik at volumet kan bestemmes nøyaktig. Bruk kniv eller sag for å lage rette kjernebubber. 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 dyppet hver kubbe representerer. Under målingen bør derfor lengdene (og det som er kappet vekk) summeres. Dette gir et minimumsdyp. Dyppet 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 kjerne måles.

## Sondering

Sondering av snødypp gjøres hovedsakelig under snømålingen om våren, der snødyppet i mange punkt måles slik at snøens fordeling over breen kan kartlegges. Det kan også være aktuelt å sondere snødypp 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, kjente punkt) eller i rutenett (jf. målekart). Avstanden mellom sonderingspunktene i et profil er 100 – 250 meter, avhengig av breens størrelse og topografi, og snødypp og -fordeling. Ved sondering bør håndholdt GPS benyttes til navigering og avstandsmåling langs profil. Eventuelt kan hvert sonderingspunkt legges inn 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 kjenne hvordan SO er utviklet 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 vintre.
- 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. Men det rapporteres kun unntaksvis mer enn ett tall. Dersom SO er tydelig, er det tilstrekkelig med én sondering. I blåisområder er overflaten ofte ujevn og oppsprukket. Det vil da være nødvendig å gjøre flere sonderinger innenfor et lite område for å finne et representativt snødypp. Det er hensiktsmessig å forflytte seg på tvers av sprekeretningen. Ved usikker sondering, eller når sonderingen gir et helt uventet resultat, gjøres 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 snødypp i perioden registreres ved staker.

### 4.3 Dataorganisering

#### *Stakemålinger*

For hver målestake ved hvert besøk skal følgende 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), eventuell nysnø og i kommentarfeltet hvilken type overflate (snø, firn eller is).

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

#### *Tetthetsmåling*

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

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

For hver kjerneprøve oppgis beregnet dyp nedre ende, lengde, tetthet, eventuelt tap mellom kjerneprøver, om den er målt med syndler eller kjernebor, kommentarer (informasjon om syndler, kommentar om islag i overgang mellom snøprøvekjerne, 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 snødyb*

For hvert målt punkt registreres posisjon (UTM/EUREF89), snødyb, (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 summeres nedover i snøpakken til SO. Basert på tallpar for akkumulert dyp og akkumulert vannverdi beregnes en funksjon/trendlinje for snødypets vannekvivalentverdi ( $SWE = f(SD)$ ). Anbefalt benyttet trendlinje er 2.grads polynom med konstantledd lik 0 eller geometrisk fordi de får med effekten av økende tetthet med dypet grunnet kompresjon.

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

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

#### **Konvertering av snødyb bestemt ved sondering, kjerneboring eller stakemåling til vannekvivalentverdier (vinterbalanse)**

Snødyb 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 (årlig balanse)**

Smeltet is konverteres til vannekvivalent ved å multiplisere med tetthet for is, som er satt til  $900 \text{ kg/m}^3$ . Smeltet firn konverteres til vannekvivalent ved å multiplisere med tetthet ( $650 \text{ } 750 \text{ kg/m}^3$ ) avhengig

av alderen på firnen (ett eller flere år). Gjenværende snø konverteres til vannekvivalent ved å multiplisere med tetthet  $600 \text{ kg/m}^3$  (basert på tidligere målinger), eller målt tetthet hvis denne avviker vesentlig fra  $600 \text{ kg/m}^3$ . Dersom det påvises påfrossen is må denne medregnes.

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

Sommerbalanse ( $b_s$ ) ved en målestake beregnes fra beregnet vinter- ( $b_v$ ) og årlig balanse ( $b_a$ ) ved  $b_s = b_a - b_v$ .

### *Balanseverdiens høydefordeling*

#### **Vinterbalanse**

Punktverdiene (i vannekvivalent) plottes mot høyde. I tillegg plottes middelerdi 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.

#### **Årlig balanse**

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/regneark. Datoer for periodene balanseverdiene gjelder for, skal legges inn. Sommerbalansens stakeverdier skal også legges inn. Se eksempel i NVEs rapportserie «*Glaciological investigations in Norway in 2010*» NVE-Report 3-2011.

### *Likevektslinjehøyde (ELA) og akkumulasjonsområdets arealandel (AAR)*

**ELA** (Equilibrium Line Altitude) bestemmes som balansekurvens skjæring med balanseaksens 0-verdi. ELA sammenlignes om mulig med temporær snølinjehøyde 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: balansekurven krysser balanseaksens 0-verdi flere ganger. ELA blir da ubestemt.

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

### *Vinterbalansekart*

Basert på vannekvivalent 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.

#### **4.5 Kontroll av data**

Den som er pålagt undersøkelsene skal påse at datasettet er fullstendig og konsistent før innsending av data.

NVE gjøre en endelig kontroll av data. Dette innebærer å sjekke at datasettet er konsistent, og at dataene er behandlet riktig fram mot endelige resultat. Det endelige resultatene vurderes om de harmonerer med resultat fra andre breer og [www.senorge.no](http://www.senorge.no). Resultat for punktmålinger og balanseverdier for hele breområdet legges inn i Hydra2. Når det også er pålagt repetert kartlegging av breområdet, skal beregning av volumendring for perioden mellom kartleggingene brukes som kontroll på resultatene fra de årlige målingene.

### **5. Datainnsending og dokumentasjon til NVE**

Data skal sendes elektronisk til NVE, [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no).

Registrert informasjon fra stakemålinger og data fra kjerneboringer, tetthetsmålinger og sonderinger, samt dokumentasjon og resultater av beregninger skal rapporteres til NVE.

Tidsfrist for rapportering av vinterbalansen er **1. juli**, mens sommer- og nettobalansen skal rapporteres innen **1. desember**.

Avvik fra retningslinjene skal dokumenteres i forbindelse med innsending av data til NVE.

### **6. Henvendelser**

Faglig rådgivning og datainnsending: Kontakt seksjon for bre, is og snø (HB) ved hydrologisk avdeling, [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no).

Spørsmål knyttet til det aktuelle pålegget om hydrologiske undersøkelser: Kontakt seksjon for miljøtilsyn (TBM) ved avdeling for tilsyn og beredskap, [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no).