

<b>Retningslinjer for hydrologiske undersøkelser</b>		
<b>Retningslinje for massebalansemålinger på breer</b>		
<b>Vedtatt: 12.02.24</b>		<b>Utarbeidet av: NVE</b>

## 1. Formål

Denne retningslinjen skal sikre at målinger av massebalanse på breer utføres etter standardiserte metoder, og at kravene til dataleveranse og nøyaktighet tilfredsstilles uavhengig av hvem som utfører målingene.

## 2. Omfang

Retningslinjen gjelder målinger av breers massebalanse.

## 3. Ansvar og myndighet

NVE er nasjonal faginstitusjon for hydrologi og tilsynsmyndighet for vassdragsanlegg. Dette innebærer at NVE kan pålegge konsesjonshavere å gjøre hydrologiske undersøkelser. Den som er pålagt å gjøre hydrologiske undersøkelser, har ansvaret for at målingene blir utført på en tilfredsstillende måte, og at datakvaliteten er tilstrekkelig. For å sikre at de hydrologiske undersøkelsene gjøres likt, har NVE laget retningslinjer og veiledere om hvordan slike undersøkelser skal gjennomføres og rapporteres. NVE fører tilsyn med at den som er pålagt å gjøre hydrologiske undersøkelser, faktisk utfører undersøkelsene, og at de innrapporterte dataene har tilstrekkelig kvalitet og tilfredsstiller NVEs retningslinjer.

## 4. Utførelse av massebalansemålinger på bre

### 4.1 Ordlister

- **LIDAR/laserskanning** er en metode der man kartlegger overflater ved å måle avstander med lysstråler og posisjonere og orientere lysstrålekilden.
- **DTM (digital terrengmodell)** er en digital modell av terrenget som beskriver formen til terrengoverflaten (høydeforholdene).
- GNSS (Global Navigation Satellite System) er felles betegnelse på de satellittbaserte posisjoneringssystemene GPS (amerikansk), GLONASS (russisk) og GALILEO (europeisk) m.fl.
- **GPS (Global Positioning System)** er et satellittbasert posisjoneringssystem som brukes i de fleste håndholdte navigasjonshjelpemidler.

### 4.2 Kartgrunnlag

Prognosene for globalt og norsk klima fram mot år 2100 tilsier at breene vil minke i areal og tykkelse. For at massebalanseberegningene skal bli gode nok over tid, må beregningsgrunnlaget oppdateres etter som breene minker. Nytt kartgrunnlag gir også grunnlag for å verifisere de årlige resultatene. Internasjonalt er et gjentaksintervall på 10 år vurdert til å gi et godt grunnlag for revidering av årlige resultater.

Resultatet av massebalansemålinger for et brefelt avhenger av et godt kartgrunnlag både for å avgrense brefeltet, planlegge et godt måleopplegg og beregne massebalansen til brefeltet med god sikkerhet. Relevante metoder for kartlegging er laserskanning/LIDAR og bildematching av vertikale flybilder. Begge metodene har vært benyttet av Statens Kartverk til å lage den nasjonale digitale høydemodellen (NDH), men laserskanning anses å være best på store snø- og isflater. Flyfotografering og laserskanning skal gjennomføres etter Statens Kartverk sin standard *Kart og*

geodata (Versjon 2. 2009-01-01), kapittel 6.2 (flyfotografering) og kapittel 7 (kartlegging med flybåren laserskanning).

Rutestørrelsen i terrengmodellen (DTM) skal være 10x10 meter. For å bestemme breens areal og høydefordeling må breomkretsen bestemmes. Breomkretsen består av brekanten mot brefritt terreng og eventuelt isskillet mot andre brefelt (der breen er del av et større breområde). Brekanten bestemmes primært fra flybilder/ortofoto, men kartleggingen kan støttes av terrengmodellen, intensitetsverdier i laserskanning og andre flybilder. Kildegrunnlaget skal beskrives.

Isskillet beskriver grensen mellom områder der isen beveger seg mot forskjellige bretninger. Isskillet er i praksis vanskelig å bestemme nøyaktig og tilnærmes derfor ved å bestemme vannskillet ut ifra terrengmodellen på samme måte som vannskillet på en tett overflate. Høydearealfordeling (hypsometrisk kurve) viser hvordan arealet fordeler seg i forskjellige høydeintervall, vanligvis 50 meter. Arealene bestemmes fra terrengmodellen og breomkretsen.

#### **4.3 Valg av målested og måleopplegg**

Snødybde, sommersmelting og netto endring fra år til år måles med stakemåling på minst fem målesteder fordelt over breen, primært fordelt basert på breens høydefordeling. Målestedene skal gi et representativt bilde av snømengde og smelting i de ulike høydenivåene på breen. Områder der snø blåser av (høyder, kanter) eller samler seg (nedenfor kanter, lesider o.l.), bør unngås. Hvis breen har stor utstrekning i enkelte høydeintervaller eller ujevn topografi, kan det være aktuelt med flere målesteder i tilnærmet samme høyde. Målestedene skal fortrinnsvis ligge på steder med liten overflategradient. Målestakene blir lettere skjeve og brekker ned der helningen er stor. Målestedenes posisjon bestemmes på forhånd ut fra kart. Målestedene skal i minst mulig grad variere fra år til år. Målestedene er å regne som et område rundt en posisjon. Størrelsen på dette området vil variere ut fra terreng og brebevegelseshastighet. Målestedene gis nummer stigende fra fronten (f.eks. 10 – 20 – 30 – 40 –50).

For å gi et bedre bilde av snøfordelingen sonderes snødybden langs profilet mellom målestedene og andre faste posisjoner eller i et rutenett, tilpasset breens areal og terreng.

For å regne om snødybde til vannekivalent måles snøens tetthetsprofil ved et målested nær breens middelhøyde.

Målestedene og måleopplegget skal godkjennes av NVE før oppstart.

#### **4.4 Feltmålinger**

##### **4.4.1 Stakemålinger**

Snødybde, smelting og årlig endring måles på målestaker som viser overflatens høyde fra bunnen av staken. Gjentatte målinger viser smelting eller snødybde som høydeendring i forhold til staken. Der det regelmessig er store snødybder (> 4–5 meter), kan kalendermaster benyttes i et eller flere målesteder. Staker/master nummereres med målested og årstallet de ble satt ut. Hvis staken i posisjon 10 fra 2022 smeltet ut, vil erstatningsstaken få nummer 10-22B.

Som målestaker anbefales aluminiumsrør med en indre diameter på 33 mm, godstykkelse på 3 mm og lengde på 2,0 meter. Stakene skjøtes med skjøtetapper. Skjøtetappene er 400 mm aluminiumsrør (legering AA7108-50) med ytre diameter 25 mm og godstykkelse 3,5 mm. Skjøtetappene sikres med tape rundt midten av skjøtetappen (i skjøtepunktet mellom to stakeledd) og utenpå staken rundt skjøten. Det må brukes tape som holder seg elastisk i kulde.

Kalendermaster er 3 meter lange segmenter med gitterverk og trekantprofil med sidekanter på 300 mm. Leddene skjøtes sammen med seks galvaniserte bolter (M-12) med en diameter på 12 mm og lengde 50 mm. Bruk stoppskive! Til skruing brukes to stykk 19 mm fastnøkkel.

### *Utsetting*

- Staker (og master) plasseres i henhold til bestemte posisjoner (bruk GPS). Stakene skal ikke plasseres nær sprekker både av hensyn til personellsikkerhet og fordi 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 30 cm under sommeroverflaten (SO) eller godt ned i firnsnøen hvis snødybde 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 bør også understøttes med trepropp.
- Staker bør ikke være mer enn fire meter over snøoverflaten. I skrånende terreng kan selv det være for mye. Høye staker kan lettere bøyes ned av vinden om vinteren eller begynne å helle om sommeren. Master bør maksimalt være ni meter høye. Master kan forlenges med en aluminiumsstake som settes i toppen av masten og fundamenteres på skjøten mellom to mastledd.
- Staker og master posisjoneres minst en gang i året med differensiell GNSS.

### *Måling og vedlikehold*

- Måling av staker og master gjøres fra toppen av staken/masten og ned til overflaten. På høsten og ved behov måles også eventuell nysnø over sommeroverflaten ved å grave ned til gammel snø, kjernebore eller sondere.
- Det er viktig å være oppmerksom på at målinger på skjeve staker viser for stor snødybde. Tilsvarende vil man registrere for stor avsmelting på skjeve staker. Hellingsvinkelen må måles. Staken kan være bøyd i et punkt (for eksempel en stakeskjøt), eller hele staken kan stå skrått/bøyd. Ved skjøting av en skjev stake (mindre enn 20 grader) er det viktig å rette den opp hvis det kan gjøres ved å bytte ut bøyd skjøtetapper eller 2-meterledd. Ikke bøy staken eller skjøtetappen for å få staken til å stå rett – det er sjelden vellykket. En skjev stake bøyes raskere ned, spesielt om den er lang.
- Master i akkumulasjonsområdet kan ha sin basis langt under siste års sommeroverflate. Firnsnøen over bunnen av masten fortsetter sin kompaksjon. Man må derfor være oppmerksom på at siste års sommeroverflate kan synke i forhold til masten i løpet av vinteren. Det medfører at den faktiske snødybden kan være større enn snødybde som er beregnet ut fra endring i mastens lengde. Dette er det viktig å være oppmerksom på hvis det bare er måling av master som verifiserer målt snødybde.
- Staker og master posisjoneres regelmessig med differensiell GNSS.

### *Kjerneboring*

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

## Utstyr

Utstyret omfatter **kjernebor, sveiv** og et antall 1 meter lange **boreforlengelser** samt to stykk 17 mm **fastnøkler**. Ved bruk av mer enn fem skjøteledd bør sveiva tas av ved heising og senking av kjerneboret. Vedlikehold: Skruer som fester lokket i øvre ende må skrues til. Det er ingen faste leverandører av kjernebor – utstyret må lages på bestilling hos et mekanisk verksted.

## Påvisning av sommeroverflaten (SO)

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

- Visuell påvisning i form av et tydelig skittlag som består av lav og andre organiske partikler. Dette er mest aktuelt på dalbreer med nærliggende bart fjell. På de store breplatåene er det så få partikler at laget sjelden er synlig.
- Et tydelig islag som danner et klart skille mot fastere og hardere snø. Islaget kan også inneholde partikler.
- Tetthetsøkning til over  $600 \text{ kg/m}^3$ . Vær oppmerksom på usikkerhet i tetthetsmålingene. Metoden er lite anvendelig ute på breen.
- 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 tilfeller kan man som regel bestemme SO med en nøyaktighet på under 0,5 meter. Det har da trolig skjedd en delvis omdanning til begerkrystaller, og det er trolig at SO er i nedre del av overgangslaget.
- Det kan være til hjelp å legge kjerneprøvene etter hverandre på overflaten. Husk å markere dybden. 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).

## 4.4.2 Tetthetsmålinger

### Utstyr

Tetthetsmålinger utføres med en tetthetssylinder og/eller et kjernebor. Annet nødvendig utstyr kan være kniv til renskjæring av kjerner og pose til oppsamling og veiing av snø fra sylinder eller kubbe fra kjernebor. Prøvene veies med pose, og det skal noteres hvilken type pose som er brukt, og om mulig posens vekt. En digital vekt må ha en oppløsning på minst 10 gram. Mekanisk fjærvæker som kan registrere inntil 2 kilo er praktisk, og inndeling med delestreker er nyttig. Vekten må kalibreres mot kjente vekter jevnlig.

### Utførelse av tetthetsmålinger

- Tettheten måles samtidig med snømåling om våren, og om høsten hvis det er mye gjenliggende snø. Målingen gjøres på en eller flere representative målesteder (jf. målekart). Snødybden sonderes på forhånd for å kontrollere at man har en representativ snødybde, og at ikke prøven tas over en sprekk.
- Under snømålingen gjøres tetthetsmålingen ned til minst 1,5 meters dyp med tetthetssylinder i gravet sjakt. Det tas to parallelle målinger. Ved store avvik gjøres en tredje måling. Fra bunnsjakten og videre ned til sommeroverflaten tas tetthetsprøven med kjernebor. Hvis snødybden er over sju meter, er det tilstrekkelig å måle ned til sju meter. Tettheten videre ned til sommeroverflaten kan ekstrapoleres mot  $600 \text{ kg/m}^3$ .
- 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. Hvis en del av kubben skades, slik at volumet ikke kan bestemmes nøyaktig, forkastes denne kubben. Kubben noteres likevel med lengde, men uten vekt. For at tetthetsprofilen og bestemmelsen av snødybden skal være så nøyaktig som mulig, må det legges vekt på å bestemme dybden hver kubbe representerer. Under målingen bør derfor lengdene (og det som er kappet vekk) summeres. Dette gir en minimumsdybde. Dybden til kjerneboret før boret dras opp, gir en maksimumsdybde. Borehullets dybde måles med sonde for hver meter. Pass på å måle midt i hullet slik at toppen av en eventuell gjenstående kjerne måles.

#### 4.4.3 Sondering

Sondering av snødybde gjøres hovedsakelig under snømålingen om våren for å måle snødybde i mange punkter slik at snøens fordeling over breene kan kartlegges. Det kan også være aktuelt å sonde snødybden ved stakene om høsten (hvis det har kommet mye nysnø) og under vinterbesøket (for å påvise eventuell smelting etter minimumsmålingen).

##### *Utførelse av sondering*

- Sondering gjøres i profiler mellom faste punkter (staker, tårn, GPS-posisjoner) eller i rutenett (jf. målekart). Ved sondering bør GPS benyttes til navigering og avstandsmåling langs profilet. Eventuelt kan hvert sonderingspunkt være markert som veipunkt på forhånd eller registreres som veipunkt ved måling. Hvis det sonderes i et rutenett, anbefaler vi å referere til radene med bokstaver og kolonnene med tall (f.eks. A08 og F12). Sonderingene bør starte ved en stake der snødybden er kjent. Man vil da «føle» sommeroverflaten samtidig som man får kartlagt beliggenheten til islag og andre variasjoner i snøpakken i forhold til denne. Alternativt kan man starte sonderingene i blåisområdet og arbeide seg oppover. Vær imidlertid oppmerksom på eventuell gjenliggende snø fra tidligere vintre.
- Hvis 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 kan dette laget identifiseres ved at snøen er svært løs, slik at sonden lett går igjennom. Ofte kjennes laget litt «grumsete» ut, det vil si at man kjenner at det består av grove krystaller. Sommeroverflaten ligger da i underkant av dette laget. Dette laget kan ofte være vanskelig å finne i borekjernen fordi snøen er for porøs til å holde seg i en kjernecube.
- Hvor mange sonderinger som trengs i hvert målepunkt, avgjøres etter skjønn, men det skal kun unntaksvis rapporteres mer enn ett tall. Hvis sommeroverflaten 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 en representativ snødybde. Det er hensiktsmessig å forflytte seg på tvers av sprekeretningen. Ved usikker sondering, eller når sonderingen gir et helt uventet resultat, utføres flere sonderinger. Gå noen meter til siden på tvers av sprekeretningen.
- Hvis sommeroverflaten 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 breene. Den kan da brukes som referanseflate hvis man vet hvor flaten ligger i forhold til sommeroverflaten (ved staker o.l.).

- Hvis sonderingene gjøres over flere dager, må det registreres ved staker hvor mye snødybden endrer seg i perioden.

#### 4.5 Dataorganisering

##### *Stakemålinger*

For hver målestake skal følgende registreres ved hvert besøk:

- målested
- stake-ID
- måledato
- stakestatus (ny, uendra, nedsnødd, fjerna)
- posisjoneringsmetode (GNSS, GPS, estimert, beregnet med erstatningsstake)
- total lengde
- synlig lengde
- nysnø / sondert snødybde
- UTM-øst
- UTM-nord
- høyde
- observatør
- kommentar (overflatetype, smeltet ut, skjøtt, kortet, skeiv med helling og retning, annet)

Skeiv stake kan eventuelt dokumenteres med to bilder. Det kontrolleres at dataene harmonerer med tidligere observasjoner. Eventuelle avvik markeres.

##### *Tetthetsmåling*

En tetthetsmåling består av flere kjerneprøver, enten målt i en standard sylindere eller målt på en snøkubbe tatt opp med kjernebor. For hver enkelt prøve beregnes tetthet og øvre og nedre dybde for hver prøve, inkludert eventuelt tap over og under kubben. Basert på tettheten til prøvene beregnes kumulativ vannverdi, middeltetthet og en vannverdifunksjon [vannverdi =  $f(\text{snødybde})$ ].

For hver tetthetsmåling skal følgende registreres:

- målested
- høyde
- snøtetthet (midlet)
- snødybde bunn tetthetsmåling
- konverteringsformel
- observatør
- kommentar (problem, snødybde til SO hvis større, annet)

For hver kjerneprøve registreres beregnet øvre og nedre dybde og tetthet. Det skal kontrolleres at dataene harmonerer med tidligere observasjoner. Eventuelle avvik markeres.

##### *Sondert snødybde*

For et sett av snødybdemålinger registreres

- måledato
- dato for kartgrunnlag
- observatør
- hvem som har prosessert dataene

- tetthetsfunksjon
- kvalitet på målingene

For hvert målt punkt registreres

- posisjonsnavn
- posisjon (UTM/EUREF89)
- høyde i gjeldende DTM
- snødybde (den mest sannsynlige dybden, alternativer kan gis som kommentar/merknad)
- vannverdi
- observatør
- eventuell merknad

#### 4.6 Beregninger

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

Lengdene og vannverdiene kumuleres nedover i snøpakken til sommeroverflaten. Basert på tallpar for akkumulert dybde og akkumulert vannverdi beregnes en funksjon/trendlinje for tallparene. Anbefalt trendlinje er andregradspolynom eller geometrisk fordi de tar med effekten av økende tetthet med dybden på grunn av kompresjon.

*Konvertering av målte verdier til vannekvivalenter*

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

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

Snødybde konverteres til vannekvivalent ved hjelp av funksjonen bestemt fra akkumulert dybde og akkumulert vannverdi i tetthetsmålingen.

#### **Konvertering av smeltet is/firn eller gjenværende snø til vannekvivalentverdi (årlig balanse)**

Smeltet is konverteres til vannverdi ved å multiplisere med tettheten for is, som er satt til  $900 \text{ kg/m}^3$ . Smeltet firn konverteres til vannverdi ved å multiplisere med en tetthet som er avhengig av alderen på firnen (ett eller flere år,  $650\text{--}750 \text{ kg/m}^3$ ). Gjenværende snø konverteres til vannverdi ved å multiplisere med en tetthet på  $600 \text{ kg/m}^3$  (basert på tidligere målinger) eller med målt tetthet hvis denne avviker vesentlig fra  $600 \text{ kg/m}^3$ . Hvis det påvises påfrossen is, må denne medregnes.

#### **Beregning av sommerbalanse i stakeposisjon**

Sommerbalansen ved en målestake beregnes fra beregnet vinterbalanse og årlig balanse ( $b_s = b_a - b_v$ )

*Balanseverdiens høydefordeling*

#### **Vinterbalanse**

Vannverdiene plottes mot høyde. I tillegg plottes middelveien for alle målepunktene innenfor hvert høydeintervall mot middelhøyden for målepunktene innenfor hvert høydeintervall. En høydefordelingskurve trekkes etter skjønn der det tas hensyn til områder som ikke er representert med målinger. Verdier for høydeintervallenes middelhøyde bestemmes deretter 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 de respektive 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 og akkumulasjonsområdets arealandel*

Likevektslinnehøyden (ELA – Equilibrium Line Altitude) bestemmes som balansekurvens skjæring med balanseaksens 0-verdi. ELA sammenlignes om mulig med den temporære snølinnehøyden ved minimumsmåling.

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

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

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

### *Vinterbalansekart*

Basert på vannverdier i koordinatfestede 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 usikkerhet i et enkelt punkt. For å støtte interpolasjonen kan det legges inn ekstra punkter. Disse ekstraverdiene må dokumenteres slik at de lett kan identifiseres i datagrunnlaget for interpolasjonen. Framgangsmåte og muligheter i analysen vil variere med programvaren som brukes.

## 5. Innrapportering til NVE

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

Avvik fra retningslinjene skal dokumenteres i forbindelse med innrapportering.

## 6. Lurer du på noe?

Forespørsler om faglig rådgivning og spørsmål om datainnsending sendes til hydrologisk avdeling på e-post [hydrology@nve.no](mailto:hydrology@nve.no).

Spørsmål knyttet til det aktuelle pålegget om hydrologiske undersøkelser sendes til seksjon for miljøtilsyn vassdragsanlegg (TBMV) ved avdeling for tilsyn og beredskap på e-post [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no).