Måling av snø ved hjelp av gammasensor

Heidi Bache Stranden , Bjørg Lirhus Ree og Knut M. Møen

10
2014

OPPDRAGSRAPPORT A

Måling av snø ved hjelp av gammasensor

Norges vassdrags- og energidirektorat
2014

Rapport nr 10

Måling av snø ved hjelp av gammasensor

Oppdragsgiver: Statkraft Energi AS

Forfattere: Heidi Bache Stranden, Bjørg Lirhus Ree og Knut M. Møen

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 15
Forsidefoto: Måling av snø på stasjonen. Foto: Statkraft.

Sammendrag:

Emneord: snømåling, gammasensor, Campbell CS725, snøens vannekvivalent, SWE

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Desember 2014

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Innledning **6**

1.1 Om gammasensoren CS725 6

1.1.1 Snømåling ved gammasensor 7

1.2 Formålet med prosjektet 8

1.3 Hestavollen prosjektstasjon 8

2 Måleresultat **11**

2.1 Snøens vannekvivalent 11

2.1.1 SWE ved gammasensoren 12

2.1.2 SWE ved snøputen 13

2.2 Snødyp 15

2.3 Kontrollmålinger 16

2.4 Lufttemperatur og nedbør 16

2.5 Vind 18

2.6 Stråling 19

2.7 Snøtemperatur 21

3 Diskusjon **23**

Snøens vannekvivalent fra gammasensoren 23

Snøens vannekvivalent ved snøputen 28

Snøtemperatur 29

Kontrollmålingene 29

4 Konklusjon og anbefalinger **30**

5 Referanser **31**

Vedlegg 1 - 5

Forord

På oppdrag for Statkraft Energi AS har NVE, Hydrologisk avdeling, utført analyser av snømålingene på stasjon 70.17 Hestavollen på Vikafjellet.

Undersøkelsene har i tillegg til analyse og rapportering, omfattet oppsett av software til gammasensor og klargjøring og konfigurering av denne. I forbindelse med prosjektet har NVE kjøpt inn snødypsensor og sensorer for registering av snøtemperatur til stasjonen.

Arbeidet er blitt utført i perioden oktober 2013 – desember 2014.

Heidi Bache Stranden har vært ansvarlig for oppdraget fra NVEs side, i tillegg har Knut M. Møen og Bjørg Lirhus Ree arbeidet på prosjektet.

Oslo, desember 2014

Rune Engeset
Seksjonssjef

Heidi Bache Stranden
prosjektleder

Sammendrag

Denne rapporten beskriver analysene som er utført i forbindelse med måling av snøens vannekvivalent (SWE) ved hjelp av passiv gammasensor (Campbell CS725) på Statkraft sin stasjon «Hestavollen» på Vikafjellet (NVE-ID 70.17.0 Hestavollen).

Vinteren 2013/2014 var relativt snørik på Vikafjellet og vi fikk testet gammasensoren under langt større snømengder enn det som produsenten oppgir å være største begrensning (600 mm). I hele perioden 21. februar til 12. mai var snømengden større enn 600 mm. Kontrollmålinger bekrefter også at snømaksimum var minst 900 mm.

Frem til 600 mm SWE viser gammasensoren jevnt over troverdige data uten nevneverdige dropp og sprang. Når SWE passerer 600 mm øker usikkerheten i målingene vesentlig. Opp mot 800 mm er det noe flere dropp og sprang, men særlig nedsmeltings-forløpet fra 800 mm virker troverdig. Det er derfor mulig at 800 mm kan være en øvre begrensing gitt den mengde barmarksstråling vi har på Hestavollen. Når SWE overstiger 800 mm er strålingsmengden målt av sensoren så liten at beregnet SWE er av liten verdi.

På steder med vesentlig høyere barmarksstråling enn på Hestavollen kan det tenkes at også noe høyere SWE-verdier kan måles. Ved en dobling av strålingsmengden kan det måles omlag 100 mm høyere SWE-verdier.

Andre måter å øke måleområdet på kan være å sette på en blyskjerm eller å øke samplingsvinduet (fra 24 h til 48 h). Sistnevnte må utføres av produsenten, Campbell.

En gammasensor er en strømkrevende sensor, og krever i utgangspunktet faststrøm. Ved å kombinere en vindgenerator og et solcellepanel, samt ha tilstrekkelig batterikapasitet kan det likevel være mulig å benytte denne type sensor på stasjoner uten faststrøm.

Snøputen som er plassert på stasjonen er ikke egnet til å måle de snømengdene som kan påregnes i et nedbørrikt vestlandsklima. Til det er puten for liten, slik at snøen altfor enkelt avlastes utenfor puten. I tillegg er det ikke anbefalt å benytte etanol som frostvæske i snøputer generelt, da den diffunderer gjennom PVC-duken. Dels er dette med på å ødelegge selve puten, dels bidrar etanol-dampen til at snøen smelter og danner hulrom over puten.

1 Innledning

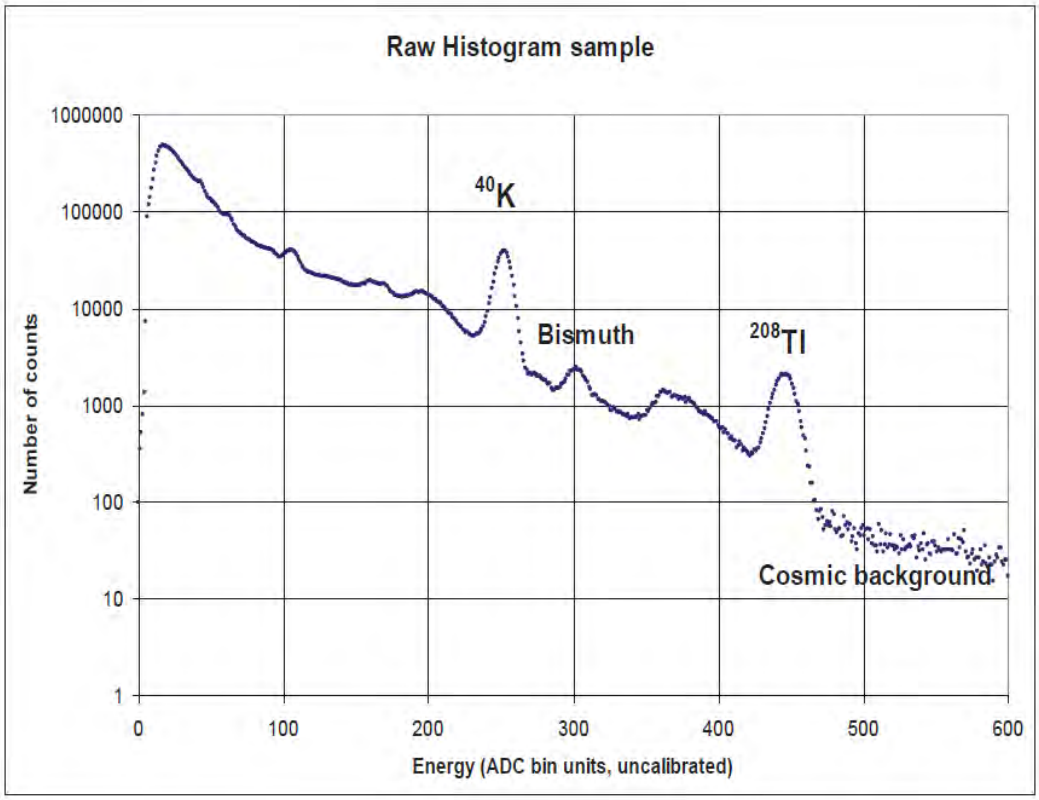
Denne rapporten beskriver analysene som er utført i forbindelse med måling av snøens vannekvivalent (SWE) ved hjelp av passiv gammasensor (Campbell CS725) på Statkraft sin stasjon på «Hestavollen» på Vikafjellet, (NVE-ID 70.17.0 Hestavollen).

1.1 Om gammasensoren CS725

En gammasensor måler demping i naturlig radioaktiv stråling som emitteres fra bakken under sensoren. Sensoren er passiv, det vil si at den kun måler den naturlige strålingen fra bakken. Den sender ikke ut egen stråling, og det er ikke noe strålingsfare forbundet med instrumentet. Naturlig radioaktivitet finnes overalt i naturen, men mengden varierer fra sted til sted avhengig av bergarter og jordtyper. En av de større bidragsyterne til strålingen er de naturlig radioaktive isotopene kalium-40 (^{40}K), og thallium-208 (^{208}Tl). ^{40}K sender ut stråling som er mindre energirik enn ^{208}Tl, men begge kan benyttes i beregning av vannekvivalent. Gammastråling dempes av blant annet vann. Desto mer snø og større vanninnhold i snøpakken, desto mer blir gammastrålene fra bakken dempet.

Sensoren består av en scintillasjonsdetektor, som igjen består av en scintillatorstav, en fotomultiplikator og en kontrollenhet. Når strålingen treffer scintillatoren genereres små «lysglimt». Lysglimtene er sterkere desto høyere energi strålingen har. På denne måten skilles de ulike isotopene fra hverandre. Disse lysglimtene fanges så opp av en fotokatode og omformes til elektriske pulser i fotomultiplikatoren. Fotomultiplikatoren forsterker signalet fra et foton, og gjør det mer detekterbart for kontrollenheten. Signalbehandlingsenheten (kontrollenheten) teller alle signalpulsene i ett gitt tidsintervall. Nøyaktigheten i beregningene av SWE er likevel proporsjonal med kvadratroten til tidsintervallet. Campbell anbefaler å benytte 24 t måling, særlig ved store snødyp. Man har likevel en mulighet til å få ut «6-timers» verdier, men da som et gjennomsnitt av de forgående 24 t hver 6. time. 6 timesverdiene er da som glidende gjennomsnitt å regne.

For hver tidsenhet (i praksis hver 24 t) lages et histogram der all den radioaktive strålingen telles opp. Et eksempel på et slikt histogram er hentet fra Campbell (2014) og gjengitt i Figur 1. Hver radioaktiv isotop har sin egen tilhørende energinivå slik det fremkommer i figuren. Antall «counts» svarer til hvor mye stråling (målt i energienheter) sensoren måler og derav avledes SWE. Siden «toppen»/ «peaken» til for eksempel ^{40}K i histogrammet ikke er helt definert, beregner sensoren både en «uncorrected» og en «corrected» verdi for total antall «counts». Det er den «correctede» verdien som benyttes i beregningen av SWE.



Figur 1. Gammastrålingshistogram.

1.1.1 Snømåling ved gammasensor

Sensoren plasseres over bakken, og måler snøens vannekvivalent (SWE) over et relativt stort areal sammenliknet med tradisjonelle snøputer. Om sensoren plasseres ~3,5 m over bakken vil målearealet være ~100 m^2 ifølge produsenten. Signalbidraget fra hele dette området vil ikke være homogent. Det største bidraget kommer fra området rett under sensoren. Bidraget avtar jo lengre ut fra sentrum av sirkelen signalene kommer fra. Beregnet SWE fra gammasensoren gir derfor ikke en direkte gjennomsnittsverdi for SWE over de 100 m^2 den måler, men heller et vektet gjennomsnitt av snømengdene under sensoren.

En av fordelene ved å benytte gammasensor til å måle snøens vannekvivalent, sammenliknet med for eksempel tradisjonelle snøputer, er at registreringene ikke påvirkes av inhomogeniteter i snøpakken som for eksempel is- og skarelag. Ree m.fl. (2011) analyserte data fra flere snøputestasjoner, og fant at det ved flere puter konsekvent var vanskelig å få korrekte og troverdige data. Dette var blant annet klimatisk betinget. Siden 2009 har derfor NVE testet ut andre typer instrumenter deriblant gammasensor (Stranden og Grønsten, 2011, Fjeldheim og Barfod, 2013, Stranden og Ree, 2014).

Foreløpige analyser fra NVEs gammasensorer på Filefjell og Anestølen viser at instrumentet ser ut til å fungere godt, også på steder der det har vært problematisk å måle med snøputer (Stranden og Ree, 2014). Sensoren kan imidlertid bare benyttes i områder som har en tilstrekkelig mengde barmarksstråling, og hva som er tilstrekkelig er oppgitt fra produsenten (Campbell, 2014, gjengitt i vedlegg 1). Ved tilstrekkelig mengde barmarksstråling, mener Campbell at sensoren kan måle opp til 600 mm SWE med en nøyaktighet på ±15 %. Ved høyere SWE enn dette vil strålingsmengden som registreres av sensoren bli for lav. Fra 0-300 mm har sensoren en nøyaktighet på ±15 mm, mens nøyaktigheten fra 300 – 600 mm, dom tidligere nevnt, er ±15 %.

På NVE sine to stasjoner med gammasensorer har vi hatt tilstrekkelig mengde barmarksstråling, og ved en av stasjonene har vi også langt mer stråling enn dette. Det har derfor vært ønskelig å finne ut hvorvidt det er mulig, gitt en tilstrekkelig mengde barmarksstråling, å måle høyere SWE enn det produsenten av sensoren oppgir som maksimum. Merk at barmarksstrålingen på Hestavollen ble ikke kontrollmålt før prosjektet startet. Vi hadde derfor ingen formening om hva som kunne være den maksimale grensen for troverdige data på stasjonen.

Både målinger av ^{40}K og målinger av ^{208}Tl, eller en kombinasjon av disse kan benyttes for å beregne SWE. NVE har i hovedsak benyttet SWE beregnet fra ^{40}K ved tidligere anledninger (Fjeldheim og Barfod, 2013, Stranden og Ree, 2014), og det er da også det som primært er benyttet i analysen av data fra Hestavollen.

En annen svakhet ved gammasensoren er at den virker å være noe påvirket av mark- og grunnvannsnivået under smelteperioden. Det er også nevnt i Campbell (2014)[1] og omtalt i Stranden og Ree (2014).

1.2 Formålet med prosjektet

Formålet med dette prosjektet har vært å avdekke hvorvidt det er mulig å få troverdige data for SWE ved snømengder større enn 600 mm gitt en relativt høy barmarksstråling ved snøfri forhold.

På Statkraft sin stasjon på Vikafjellet skjer det år om annet at det er mer snø enn 600 mm SWE. Statkraft har også slitt med å få troverdige data fra snøputen på stasjonen (Loe, 2014 - pers. kom.). I lys av dette har Statkraft Energi AS gitt NVE i oppdrag å:

1) «*Analysere og vurdere målte snødata fra gammasensoren opp mot andre snømåleinstrumenter på stasjonen samt sette resultatene fra analysen i sammenheng med analyser NVE har gjort på andre lokasjoner der man bruker gammasensor.*»

2) *«Vurdere om gammasensoren kan brukes med tilfredsstillende nøyaktighet på snødyp over 600 mm, gitt at det i sesongen 2013/2014 kommer nok snø på lokasjonen til å vurdere dette.»*

1.3 Hestavollen prosjektstasjon

Høsten 2013 ble en gammasensor, av typen Campbell CS72, satt opp på Statkraft sin stasjon «Hestavollen». I tillegg ble det satt opp en ny snødypsensor (Campbell SR50AT, bekostet av NVE) og instrumenter for måling av snøtemperatur i to ulike høydenivåer (bekostet av NVE). Fra før hadde Statkraft en snøpute, en Geonor nedbørmåler, instrumenter for måling av vindretning og vindhastighet, lufttemperatursensor og en snødypsensor (Campbell SR50) på stasjonen. Stasjonen er lokalisert ved Målsetevatnet på Vikafjellet, ca. 50 km nord for Voss (Figur 2).

Figur 4 viser hvordan stasjonen er instrumentert opp. Bildet er tatt i juli 2014. Snøputen ligger i front under trelokket (om sommeren). Figur 3 viser stasjonen høsten 2013 da gammasensoren og flere av de øvrige instrumentene ble satt ut. Snøputen sees i sin helhet i bildet, og sensorene som måler snøtemperatur står på eikelisten foran snøputen. Gammasensoren henger på samme arm som vindmålerne, til høyre for masten på bildene. Snødypsensorene henger i armen foran masten i Figur 4, og til venstre for masten i Figur 3. Begge sensorene «ser ned» på snøputen. Denne type plassering av snødypsensorer har vært standard i NVE siden Ree m. fl. (2011).

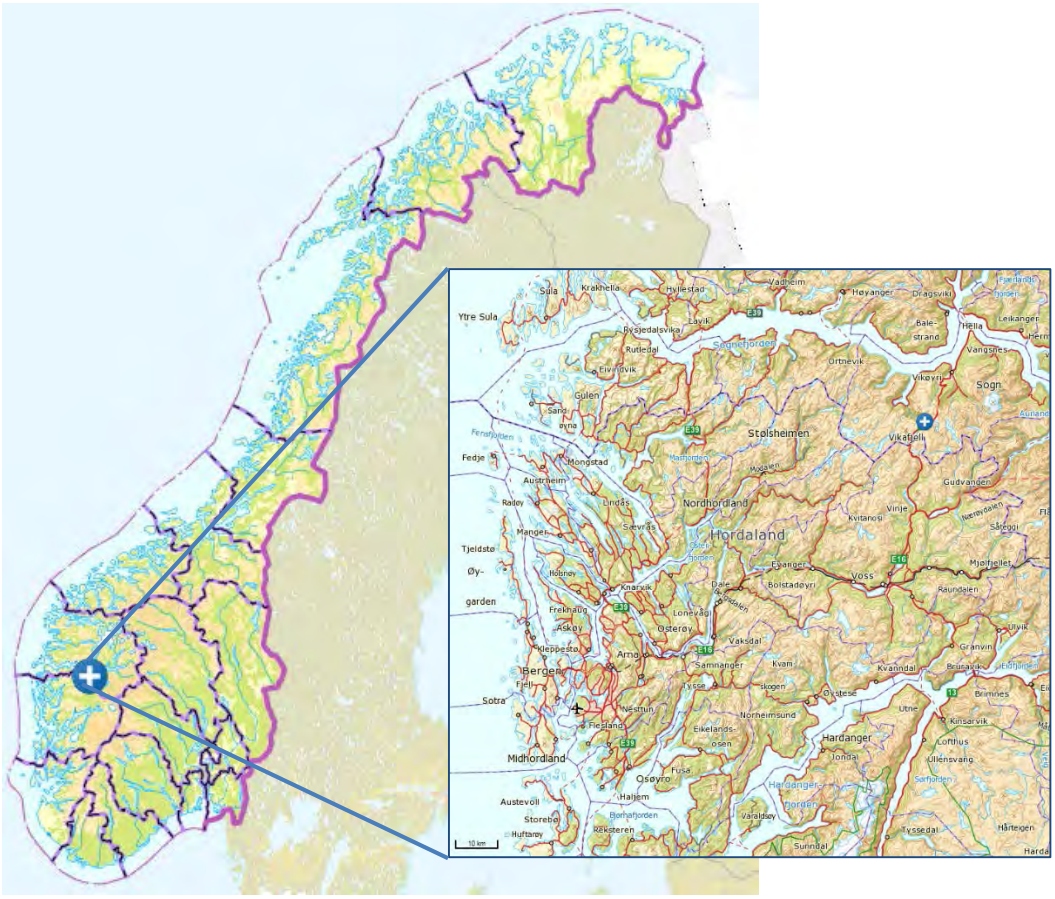
[1] Campbell (2014): Sensoren kan påvirkes av markvannsinnhold (…) Unngå å plassere sensoren i lavereliggende områder der smeltevann samles om våren eller i myr der vann-nivået generelt sett er høy.

Måling av lufttemperatur skjer ved sensoren festet ytterst på armen til venstre på masten i Figur 4, samt i snødypsensoren SR50AT. Geonor for måling av nedbør sees i bakgrunnen i Figur 4. Snøputen er av tilvarende type som NVE1997 – rund, PVC pute, diameter 2 m, fylt med etanol. Ut i fra bildene kan det virke som om puten er fylt med mindre væske enn det som er standard hos NVE.

Snødypsensorene er ultralydsensorer som sender lydbølger (50kHz) ned mot snøoverflaten. En slik sensoren måler distansen til snøoverflaten ved å sende ut ultralydpulser og måler tidsforsinkelsen på ekkoet som reflekteres tilbake fra overflaten. Siden hastigheten til lyd i luft varierer med temperaturen, må temperaturen også måles for å kunne kompensere for dette. NVE har erfart at differansen mellom temperaturkorrigert og ikke temperaturkorrigert snødyp data kan være opp til flere titalls centimeter (Ree m. fl., 2011). Eldre snødypsensorer (eks, Campbell SR50 og SR50A) har ikke egen temperatursensor, og temperaturkorrigeringen må gjøres i ettertid enten i loggeren eller via hjelpeserier i databasen. Nyere snødypsensorer (som for eksempel Campbell SR50AT og Sommer Messtechnik USH-8) har egen temperatursensor, og temperaturkorrigering skjer i selve sensoren.

Allerede høsten 2013 ble det påpekt at den gamle sensoren til Statkraft, SR50 trolig hadde defekt sensor-membran. Denne sensoren fungerte heller ikke vintersesongen 2013/2014. Det har vært et gjengående problem med NVE sine snødypsensorer av samme type at de har hatt relativ kort levetid. Leverandøren er kjent med problemet og det er derfor mulig å skifte ut kun membranen til sensoren uten å skifte hele sensoren.

Kontrollmålinger av snødyp og snøens vannekvivalent gjennom vinteren er foretatt av personell fra Statkraft.



Figur 2. Kart over stasjonen. Kilde: norgeskart.no/Kartverket.

Figur 3. Montering av gammasensor m.m. høsten 2013. Sensorer for måling av snøtemperatur sees i front foran snøputen. Foto: Statkraft

Figur 4. Måleinstrument som finnes på 70.17 Hestavollen. Gammasensoren, Campbell CS725 (markert) henger på armen til høyre for masten. Foto: NVE/Ree.

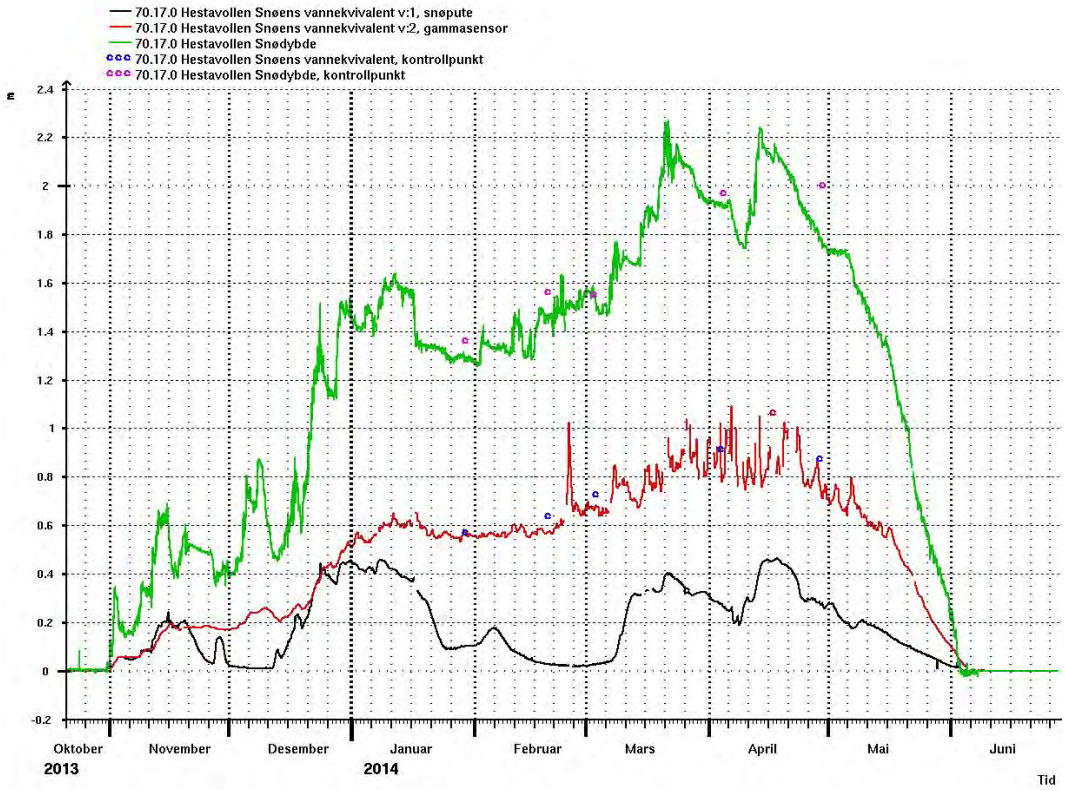
2 Måleresultat

Før data er analysert, er snødyp og data for snøens vannekvivalent kontrollert i henhold til NVEs rutiner for primærkontroll (Ree m. fl. 2011). I primærkontrollen blir det kontrollert for støy i målingene og manglende nullstilling. For å belyse usikkerhetene i måling av SWE ved store snødyp er likevel data fra gammasensoren presentert ukorrigert der det er naturlig.

Statkraft sin snødypsensor har ikke fungert vinteren 2013/2014 og det er derfor ikke vist data fra denne i rapporten. Rådata fra snødypsensoren til NVE, samt rådata for SWE fra gammasensor og snøpute er vist i vedlegg 2.

2.1 Snøens vannekvivalent

Figur 5 gir en oversikt over alle snømålingene som er gjort på Hestavollen vinteren 2013/2014. Snøens vannekvivalent (SWE) er målt ved hjelp av gammasensor (Campbell CS725) og snøpute (tilsvarende NVE1997). I tillegg er det tatt flere kontrollmålinger gjennom vinteren av personell fra Statkraft (se avsnitt 2.3). Kontrollmålingene er foretatt ved å måle snødyp på flere steder rundt snøputen, i gammasensorens influensområde og rett under snødypsensorene. Det er tatt tetthetsmålinger med Songarør i sjakt, og SWE er beregnet ut fra dette.



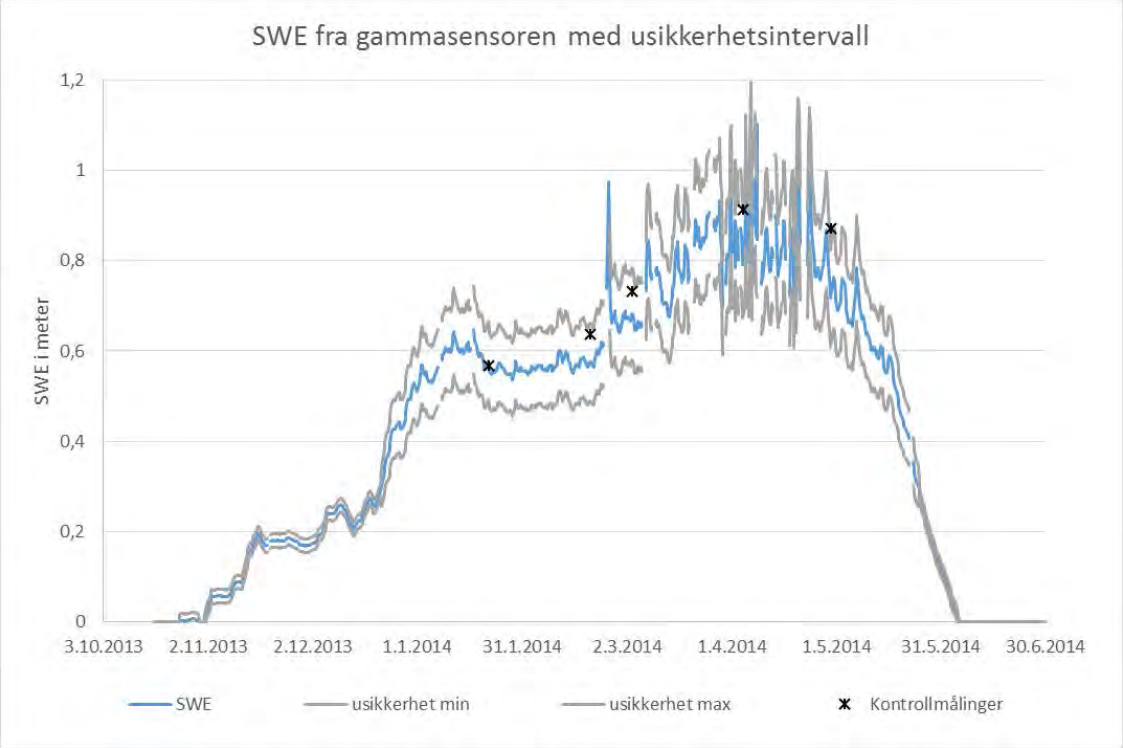
Figur 5 Plott som viser alle snømålingene som blir gjort på stasjonen sammen med kontrollpunkt for de ulike sensorene. SWE fra gammasensoren (rød kurve), SWE fra Statkraft sin snøputen (sort kurve), kontrollmålt vannekvivalent (blå punkt), og snødyp fra NVEs snødypsensor (grønn kurve) og kontrollmålt snødyp (lilla punkt).

2.1.1 SWE ved gammasensoren

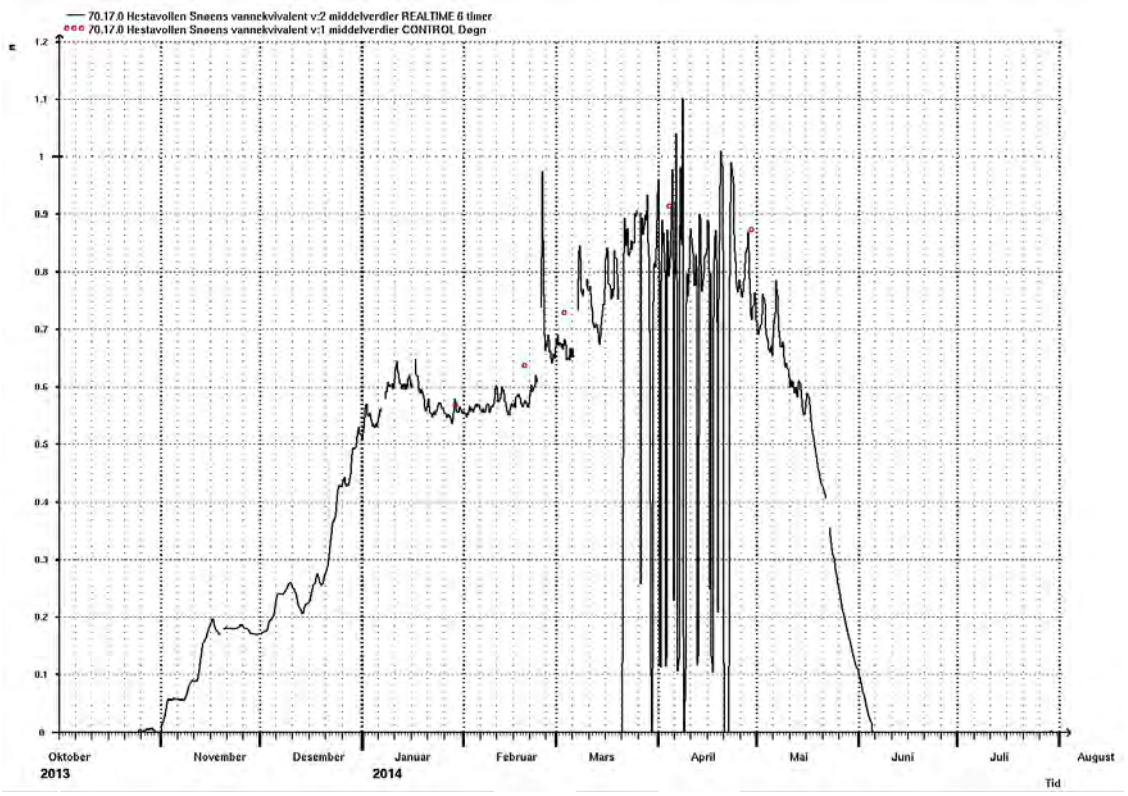
Rådata fra gammasensoren er vist i Figur 7 sammen med manuelle kontrollmålinger av SWE. SWE fra gammasensoren er i utgangspunktet basert på målinger av ^{40}K. Målinger basert på ^{208}Tl er presentert i vedlegg 5.

Data fra gammasensoren viser at snøen la seg i månedsskiftet oktober- november, og allerede i midten av november var det registrert 200 mm SWE. Sensoren viste at det var i underkant av 200 mm gjennom hele november. Bortsett fra et lite dropp, som trolig skyldes mildvær og smelting i første halvdel av desember, ble det akkumulert snø gjennom hele desember. Mot midten av januar nådde akkumulasjonen av snø 600 mm SWE, og i perioden 20. januar til 20. februar lå antall mm vannekvivalent rundt 560 mm. 29. januar er det tatt en kontrollmåling som viser at gammasensoren trolig angir korrekt mengde snø på det tidspunktet. Kontrollmålingene som er tatt 19. februar ligger derimot i overkant av det som er registrert av gammasensoren, men like fullt innenfor det oppgitte usikkerhetsintervallet (Figur 6).

20. februar øker antall mm vannekvivalent over det garanterte nivået, og sett bort i fra manglende data en periode og en «spiker» på opp mot 1000mm, øker SWE til 700 mm i månedsskiftet februar/mars. Kontrollmålingen som er foretatt 3. mars ligger litt høyere enn hva gammasensoren viser. Etter ca. en uke på dette nivået, øker antall mm SWE til over 800 mm. Bortsett fra et dropp til under 700 mm i midten av mars, registrerer gammasensoren SWE mellom 750 og 850 mm frem til 20. mars. I perioden 21. mars til 23. april er det store variasjoner i hvor mye snø gammasensoren tror at det er på stasjonen, og SWE varierer i hovedsak mellom ca. 800 og 1000 mm (se Figur 7 for rådata). Kontrollmålingene viser at det kan være over 900 mm SWE 4. april, og den 29. april er kontrollmålt SWE 874 mm.



Figur 6. SWE fra gammasensoren med usikkerhetsintervall (grå kurver); Fra 0- 300 mm er usikkerheten/ nøyaktigheten i målingene ±15 mm, og over 300 mm er usikkerheten/nøyaktigheten i målingene ± 15 %. Kontrollmålingene er angitt med kryss.



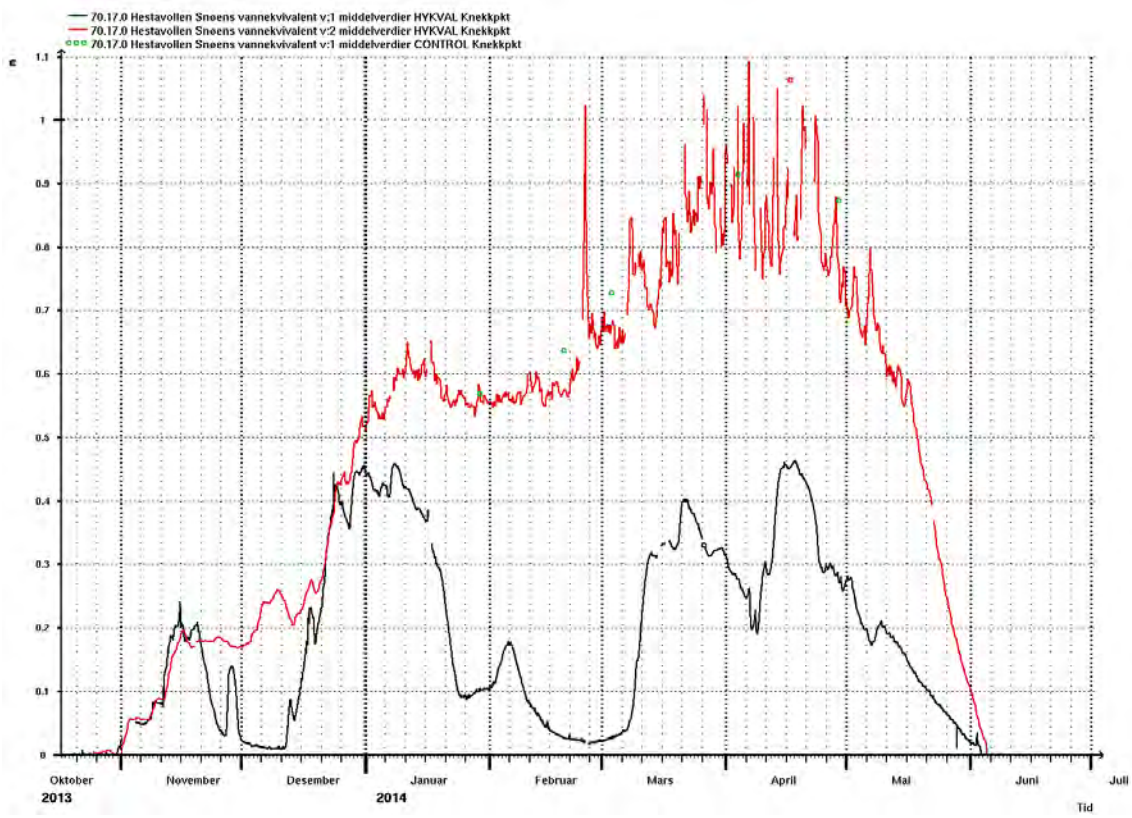
Figur 7. Rådata av snøens vannekvivalent (SWE) i meter, målt av gammasensor. Kontrollmålingene er vist som røde punkt.

Gammasensoren viser at SWE reduseres gradvis fra rundt 23. april, men det er merkbart flere små «sprang» i registrert SWE fram til nivået er nede på 650 mm SWE. Nedsmeltingsforløpet fra 650 mm den 9. mai til det er snøfritt er jevnt og uten de store droppene eller sprangene (sett bort i fra noen dager med manglende data). I følge gammasensoren er det snøfritt rundt 4. juni, og det stemmer bra med data fra snøputen og snødypsensoren (avsnitt 2.2).

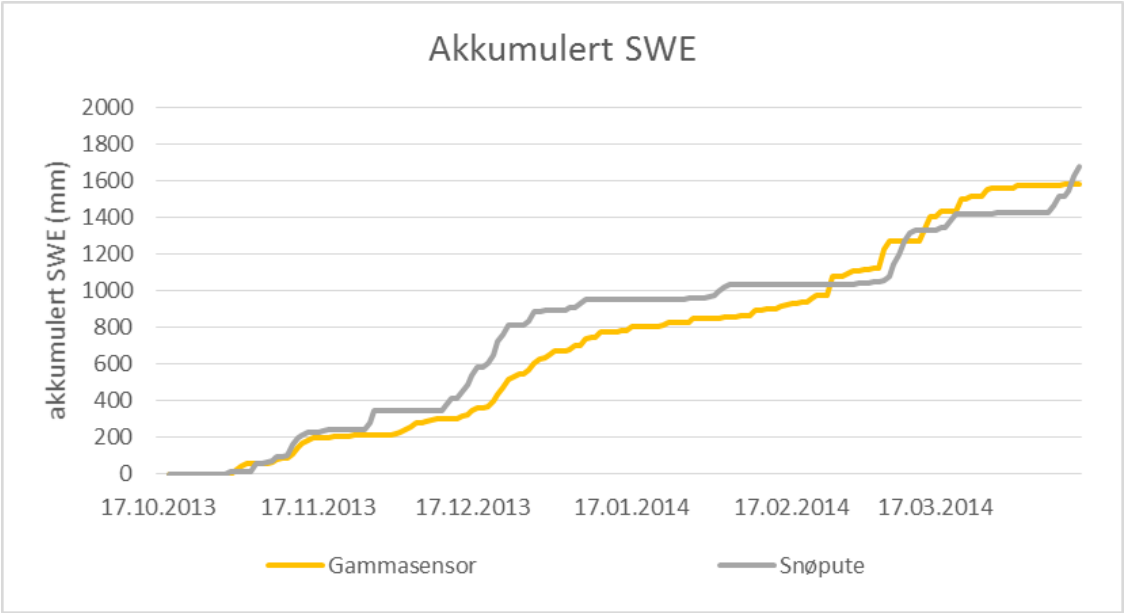
2.1.2 SWE ved snøputen

Også snøputen viser at snøen la seg i månedsskiftet oktober –november (Figur 8). Både gammasensoren og snøputen følger det samme akkumuleringsforløpet frem til midten av november. I midten av november avtar snømengden ved snøputen, for deretter å få en kortvarig økning i slutten av november. Rundt 10. desember øker igjen den registrerte vannekvivalenten ved snøputen, og når et maksimum omtrent en måned senere. Rundt 10. januar avtar registrert SWE ved snøputen igjen, og i slutten av mars viser data fra snøputen tilnærmet ingen SWE. I begynnelsen av mars øker igjen den registrerte SWE ved snøputen, og mellom ca. 20. mars og 15. april er det igjen et dropp i registreringene. Snøputen sin høyeste registrerte SWE denne vinteren var 18. april med 454 mm SWE. Det er langt lavere det som både gammasensoren og kontrollmålingene viser. Nedsmeltingsforløpet ved snøputen går litt i «rykk-og-napp», med kraftig nedgang i SWE mellom 18. og 23. april, og mindre kraftig nedgang etter dette. Snøputen er snøfri omtrent på samme tidspunkt som gammasensoren, det vil si i løpet av den første uken i juni.

Selv om akkumulasjonsforløpet av SWE ved snøputen utelukkende er preget av dropp og sprang, er det interessant å se at akkumulert gjennom vinteren gir snøputen omtrent like mye SWE ved antatt snømaksimum i midten av april som det gammasensoren viser (Figur 9). Merk at data fra gammasensoren er heftet med en større usikkerhet i perioden 21. februar til 12. mai der registeringene overstiger 600 mm.



Figur 8. SWE ved gammasensoren (sort kurve) og snøputen (rød kurve).

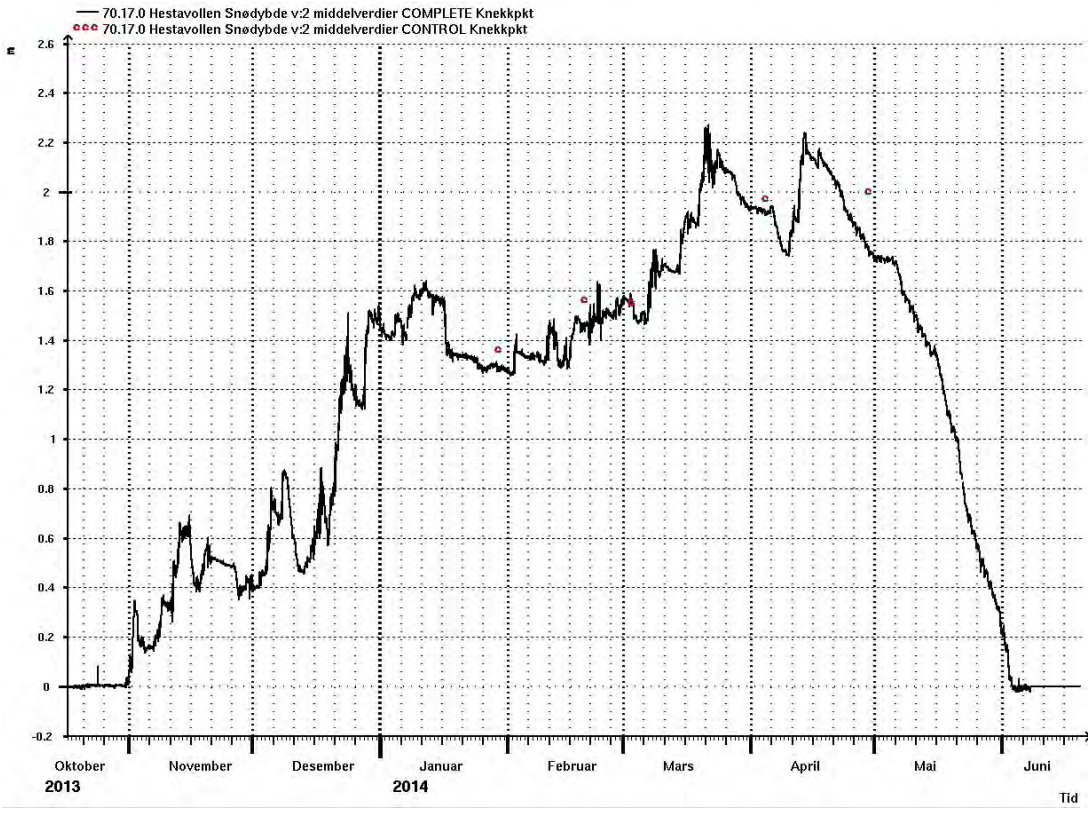


Figur 9. Akkumulert SWE ved gammasensoren og snøputen frem til antatt snømaksimum i midten av april.

2.2 Snødyp

Som data for SWE viser (avsnitt 2.1.1og 2.1.2) la snøens seg i månedsskiftet oktober/november. Naturlig nok er det større variasjoner i snødypet gjennom vinteren enn i SWE. Under snøfall vil snødypet øke, mens snøen i tiden etterpå vil synke sammen og «sette» seg. Det målte snødypet vil derfor både øke og avta gjennom hele akkumulasjonssesongen. Målt snødyp er hentet fra NVEs sensor (SR50AT).

Allerede i midten av november lå det en halv meter snø ved stasjonen. Rundt 21. desember var det rundt 1 m snø ved stasjonen, og det økte til 1,6 m i første halvdel av januar, før snødypet sank til rundt 1,3 meter frem til midten av februar. Kontrollmålingen som ble foretatt 29. januar antyder at kontrollmålt snødyp ligger over det som registreres av snødypsensoren. I løpet av siste halvdel av februar økte snødypet, og selv om kontrollmålingene tatt 19. februar ligger i overkant av det som registreres, samsvarer registeringene og kontrollmålingen som er tatt 3. mars. I løpet av mars økte snødypet fra snaue 1,6 meter i starten til rundt 2,2 meter 20. mars. Fra dette maksimumet avtok snødypet, og ved kontrollmåling 4. april viste snødypsensoren 1,92 m mens kontrollmålingen viser 1,97 m. Omkring 10. april hadde snødypet sunket til 1,75 m, før snødypet igjen økte. Sesongens maksimale snødyp ble notert 13. april, rett over 2,2 m. Fra 13. april avtok snødypet, og ved kontrollmåling 29. april var det relativt stor forskjell mellom kontrollmålt snødyp og snødyp fra snødypsensoren. Kontrollmålt snødyp viste 2,0 m, mens sensoren antydet at det kun var 1,77 m snø. 3. juni var det snøfritt under snødypsensoren.



Figur 10. Snødyp fra NVEs snødypsensor (sort kurve). Kontrollmålinger av snødyp er vist som røde prikker.

2.3 Kontrollmålinger

I løpet av vinteren ble det foretatt kontrollmålinger av snødyp og SWE ved fem ulike tidspunkt. Målingene er utført ved å måle snødypet ti ulike steder, samt en til tre tetthetsprøver. Måleopplegget er skissert i vedlegg 3. I Tabell 1 er kontrollmålt SWE og snødyp listet opp. Det kontrollmålte snødypet øker fra 133 cm i slutten av januar til 197 cm og 176 cm i april. SWE øker fra 568 mm i januar til 914 og 872 mm i april. Grunnlagsdataene til Tabell 1 er vist i vedlegg 4. Ved hvert måletidspunkt i vedlegg 4 er det ikke mer enn ca. 25 -36 cm som skiller laveste og høyeste snødyp, og standardavviket i målingene er mellom 7 og 8,8 cm. Det tyder på at området er relativt homogent når det gjelder fordeling av snø. Som vist i de foregående avsnittene, er det jevnt over godt samsvar mellom kontrollmålingene og instrumentverdiene.

Tabell 1. Kontrollmålinger av SWE og snødyp gjennom vinteren.

Dato	Snittdyp (cm)	SWE (mm)
29.01.2014	134	568
19.02.2014	148	636
03.03.2014	161	731
04.04.2014	197	914
29.04.2014	176	872

Ved sammenlikning av kontrollmålt snødyp og snødyp fra SR50AT er det snødyp rett under sensoren som er brukt som kontrollverdi dersom det er oppgitt (se under «kommentar» i vedlegg 4). Ved måling 29. april skiller snødyp målt under SR50AT (200 cm) seg fra både det som måles fra sensoren (177 cm), gjennomsnittet av de øvrige målingene (175 cm) og hver av de øvrige målingene (161-188 cm).

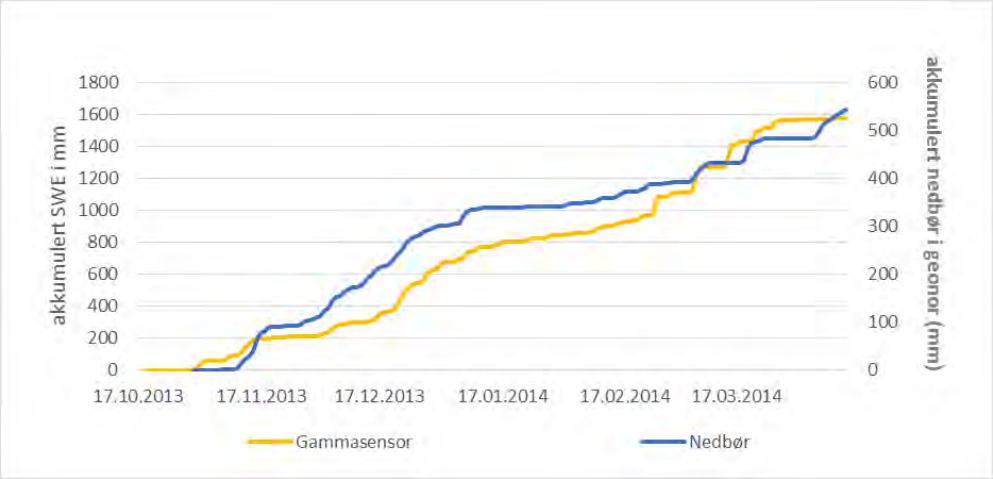
2.4 Lufttemperatur og nedbør

Figur 11 viser målt nedbør ved Geonor sammen med snødyp. Figuren viser at de største nedbørhendelsene inntraff som regn i siste halvdel av oktober. Gjennom vinteren var nedbøren unntaksvis større enn 10-12 mm per døgn. Rådata fra Geonoren er vist i vedlegg 2. Som vist i Figur 12 er det rimelig godt samsvar mellom når Geonoren akkumulerer nedbør og når SWE øker. Like fullt viser Figur 12 at det akkumuleres nesten tre ganger så mye nedbør som snø (vist ved akkumulert SWE fra gammasensoren og snøputen) enn det som registreres av nedbør i Geonoren.

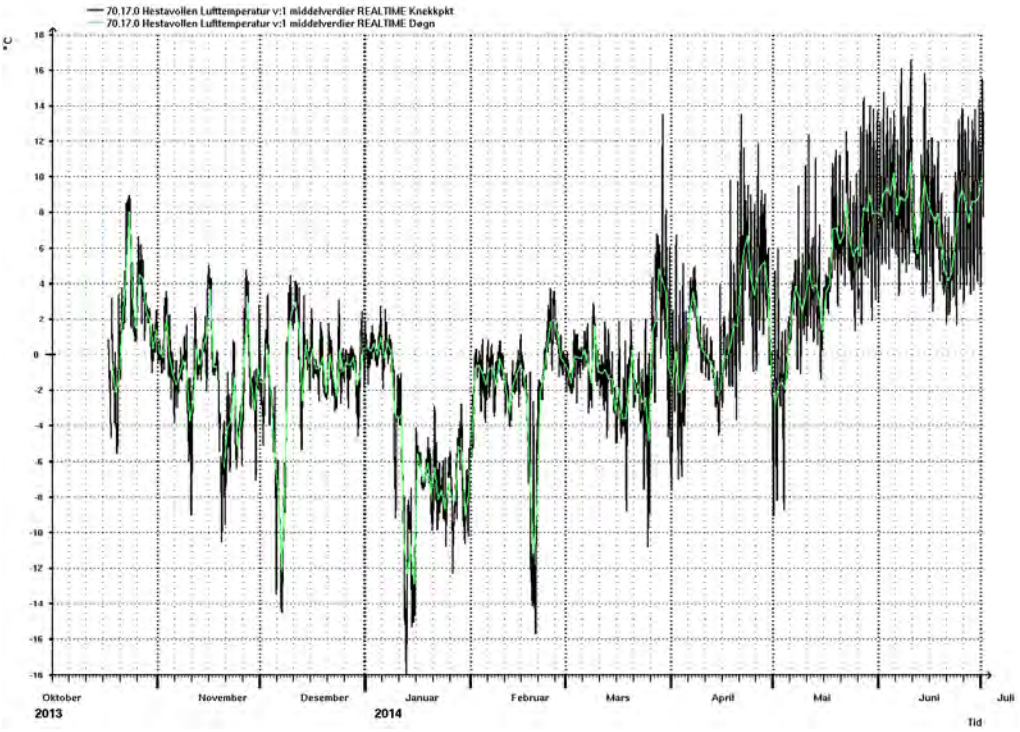
Særlig desember var nedbørrik, før det var en nedbørfattig periode i januar. Etter dette kom det jevnt med nedbør, kun avbrutt av noen nedbørfattige uker i månedsskiftet mars/april og i midten av mars. Data fra snødypsensoren viser at snødypet avtar i disse periodene, og fra temperaturdata (Figur 13) er det nærliggende å anta at dette er perioder med lite nedbør og snøsmelting.

Figur 13 viser lufttemperaturdata (målt med SR50AT). Både døgnmiddeltemperaturen og 30-minuttersverdier er vist. I slutten av oktober 2013 ble det målt hele +8°C, men så sank temperaturen. Enkelte dager i november var temperaturen mellom 2 og 4°C, men det var i hovedsak minusgrader i november. I første halvdel av desember sank temperaturen ned under -10°C, før den steg igjen til over 0°C. I flere uker etter dette lå lufttemperaturer rundt 0°C, før den sank til rundt -15°C over flere dager i midten av januar. Resten av januar var også relativt kald, og selv om det var mildere i februar, var det stort sett temperaturer under 0°C helt fremt til slutten av februar.

Figur 11. Målt nedbør på Hestavollen med Geonor (blåstolper) og målt snødyp (blå graf)



Figur 12. Akkumulert SWE (primær akse) ved gammasensor og akkumulert nedbør (sekundær akse)

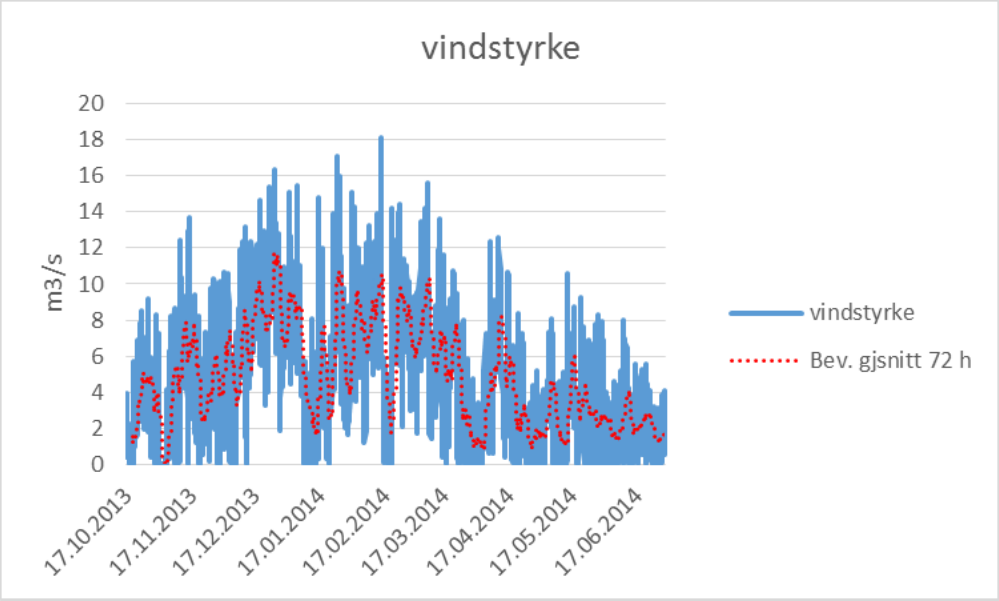


Figur 13. Lufttemperatur fra NVES sensor (sort kurve), og døgnmiddeltemperatur fra samme sensor (grønn linje)

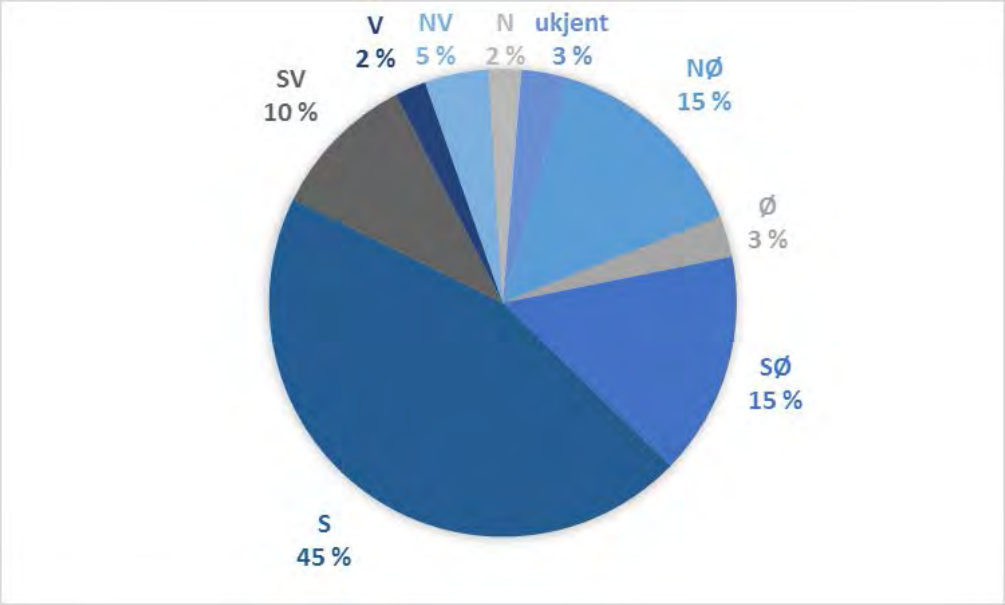
I løpet av mars gikk temperaturen fra å være rundt 0°C til -6°C rundt den 20. mars, før den igjen steg til ca. +5°C i slutten av mars. April var mildere og temperaturen vekslet mellom å ligge 1-3 grader under 0°C til over +6°C. I begynnelsen av mai var det kjølig, før temperaturen steg jevnt og trutt resten av sesongen. Figur 13 viser betydelige døgnfluktuasjoner i månedsskiftet mars/april, samt i siste halvdel av april. Det er derfor nærliggende å anta at dette er perioder med klarvær og lite nedbør (underbygget av Figur 11).

2.5 Vind

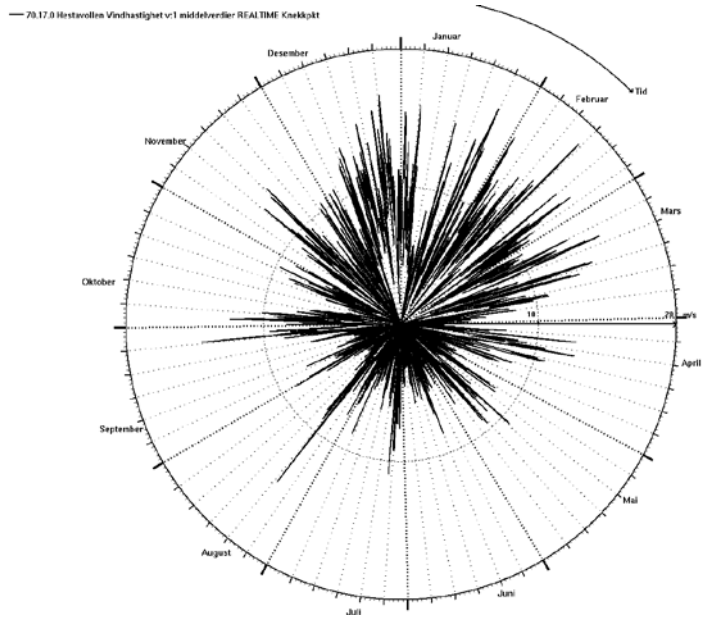
Figur 14 viser vindhastigheten ved stasjonen gjennom vinteren. Utgangspunktet for plottene er timesdata fra vindhastighet fra stasjonen. Vinterstid er det sjelden vindstille, men det er heller ikke de største vindhastighetene. Merk at figuren viser timesdata av vind. Den reelle maksimale vindhastigheten er større.



Figur 14. vindstyrke



Figur 15. fordeling av vindretning i perioden oktober til og med juni.



Figur 16. vindhastighet gjennom sesongen

Slik Figur 15 viser er det mest vind fra sør (45%), og 70 % av tiden er det vind enten fra sør, sørvest eller sørøst. Det er kun sporadisk vind rett fra nord, nordvest eller vest, og stasjonen ligger primært i le for vind fra rett vest.

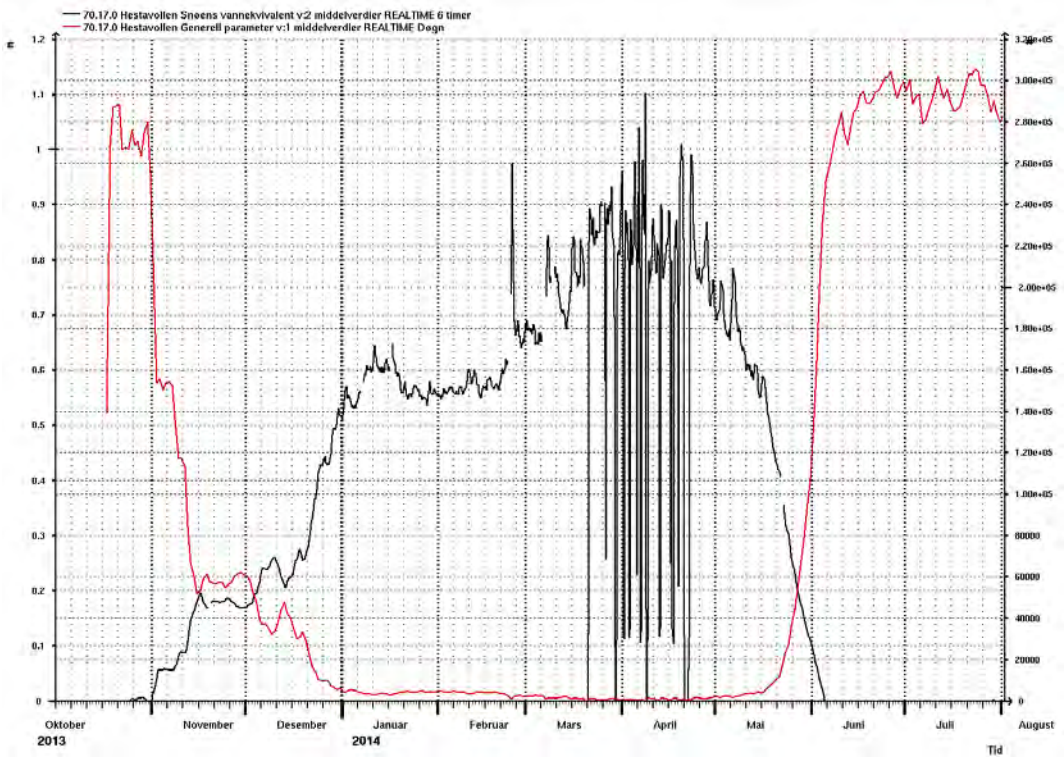
Polarplottet i Figur 16 viser at det stort sett er jevnt fordelt med vind gjennom året, dog noe mer vind midtvinters enn om sommeren. Også her er figuren basert på timesverdier av vind.

2.6 Stråling

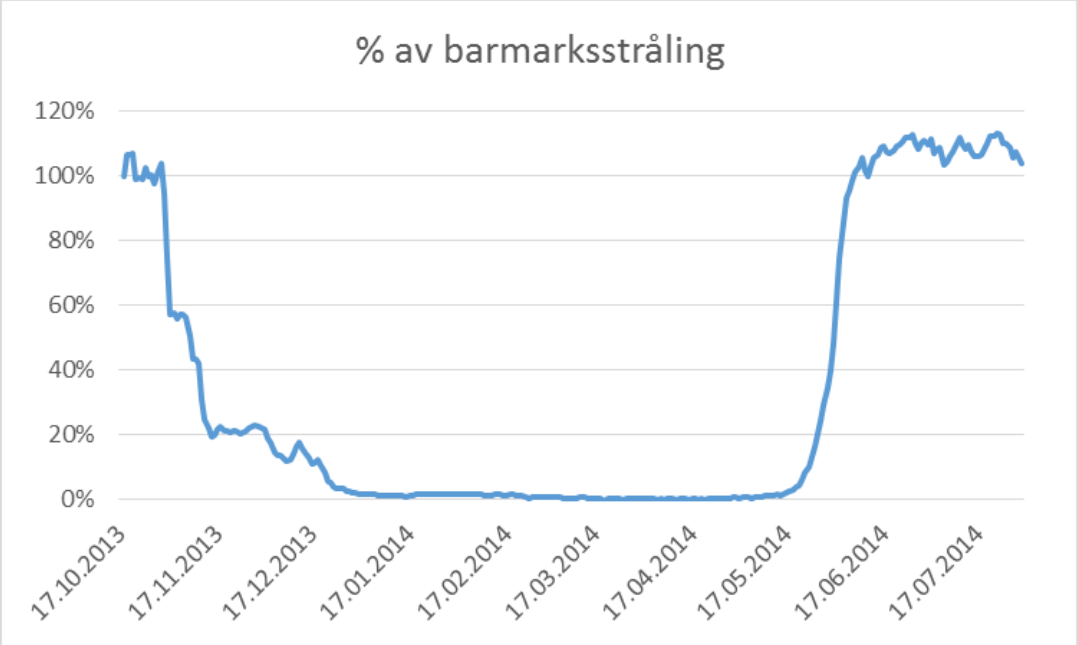
Før snøen kommer er barmarksstrålingen, målt i antall energienheter av ^{40}K, mellom 260 000 og 280 000 enheter per dag (^{40}K count per day). Som vi ser i Figur 17, dempes strålingen fra ^{40}K betraktelig straks snøen legger seg. Ved 180 mm SWE i midten av november, er strålingen nede i under 60 000 ^{40}K count per day. Ved 600 mm SWE i starten av januar, registreres det ca. 3500 ^{40}K count per day. Det tilsvarer 1/74 av den strålingen som ble målt før snøen kom. SWE lik 700 mm tilsvarer en stråling på ca. 1700 ^{40}K count per day, som er 1/153 av barmarksstrålingen. Ved 800 mm SWE registreres det kun rundt 1000 ^{40}K count per day, som tilsvarer 1/260 av barmarksstrålingen. Når registreringen blir under 500 ^{40}K count per day registreres det 0 mm SWE. Det høyeste døgnmiddelet av SWE, 960 mm, svarer til 840 ^{40}K count per day.

I takt med at snøen smelter øker også andel stråling som registreres ved gammasensoren. Registrert stråling er lavere enn 3500 ^{40}K count per day (600 mm SWE) frem til 12. mai. Ved snøfrie forhold 5. juni er strålingen igjen oppe i 250 000 ^{40}K count per day. Strålingen øker imidlertid utover sommeren, og ligger på et nivå mellom 280 000 og 300 000 ^{40}K count per day gjennom resten av juni og juli. Det at strålingen ligger på et høyere nivå gjennom sommeren enn det den gjorde før snøen kom, kan skyldes at det er mer fuktighet i grunnen sent på høsten enn på sommeren.

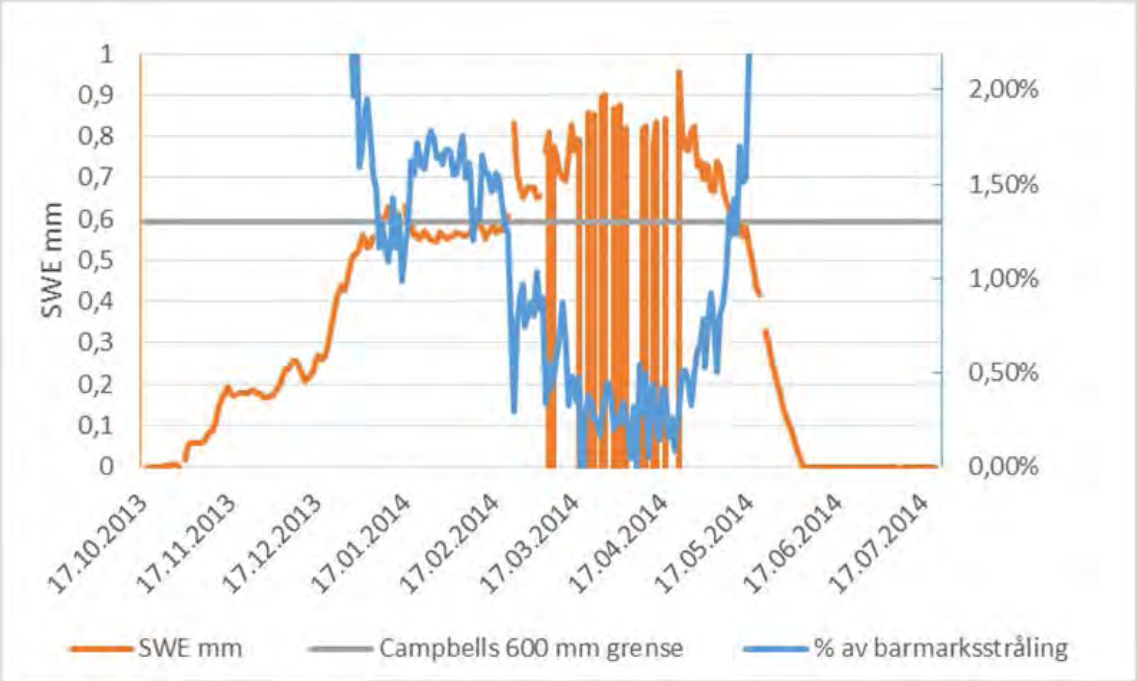
Figur 18 viser strålingen gjennom vinteren i % av stråling ved snøfrie forhold (barmarksstråling). Naturlig nok er utviklingen i grafen i Figur 18 identisk med kurven som viser stråling i Figur 17, men figuren er presentert for å understreke hvor mye strålingen reduseres gjennom vinteren.



Figur 17. Rådata for SWE fra gammasensoren (svart kurve, primær akse) og målt stråling – antall ^{40}K counts per day (rød kurve, sekundær akse).



Figur 18. Strålingen gjennom vinteren i % av stråling under snøfrie forhold (barkmarksstråling, 270 000 ^{40}K counts per day)



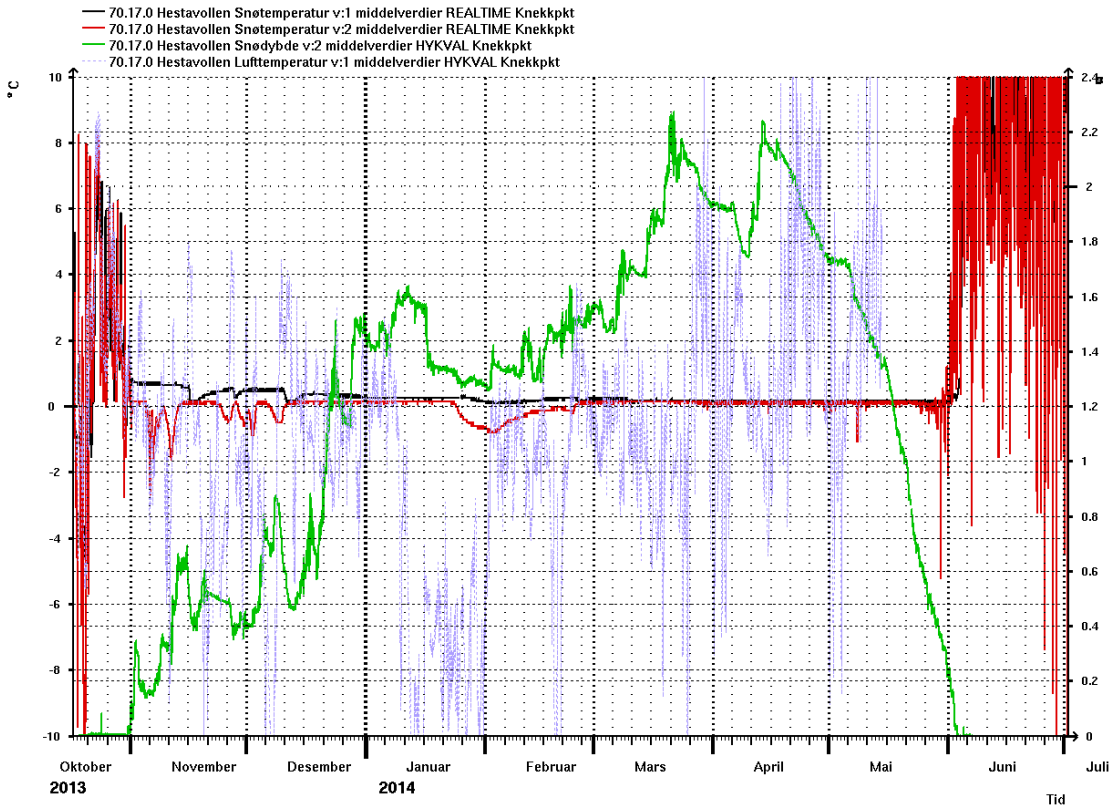
Figur 19. Strålingen gjennom vinteren i % av barmarksstråling, 270 000 ^{40}K counts pr day (blå graf, sekundær akse) og snøens vannekvivalent (oransje graf, primær akse). Figuren viser strålingen når den er mindre enn ca. 2% av barmarksstrålingen. 600 mm SWE (tilsvarer 1,3% av barmarksstrålingen), er markert med grå linje.

Figur 19 viser også stråling i % av barmarksstråling, men i denne figuren er kun stråling lavere enn 2% av barmarksstrålingen vist. 600 mm SWE, som på Hestavollen tilsvarer 1,3 % av barmarksstrålingen, er også inkludert i figuren. Figuren synliggjør usikkerheten i måling av store snømengder og en kan tydelig se at usikkerheten øker når strålingen blir lavere enn 0,5 – 1% av barmarksstrålingen. Ved stråling lavere enn 500 ^{40}K count per day registrerer gammasensoren 0 mm SWE.

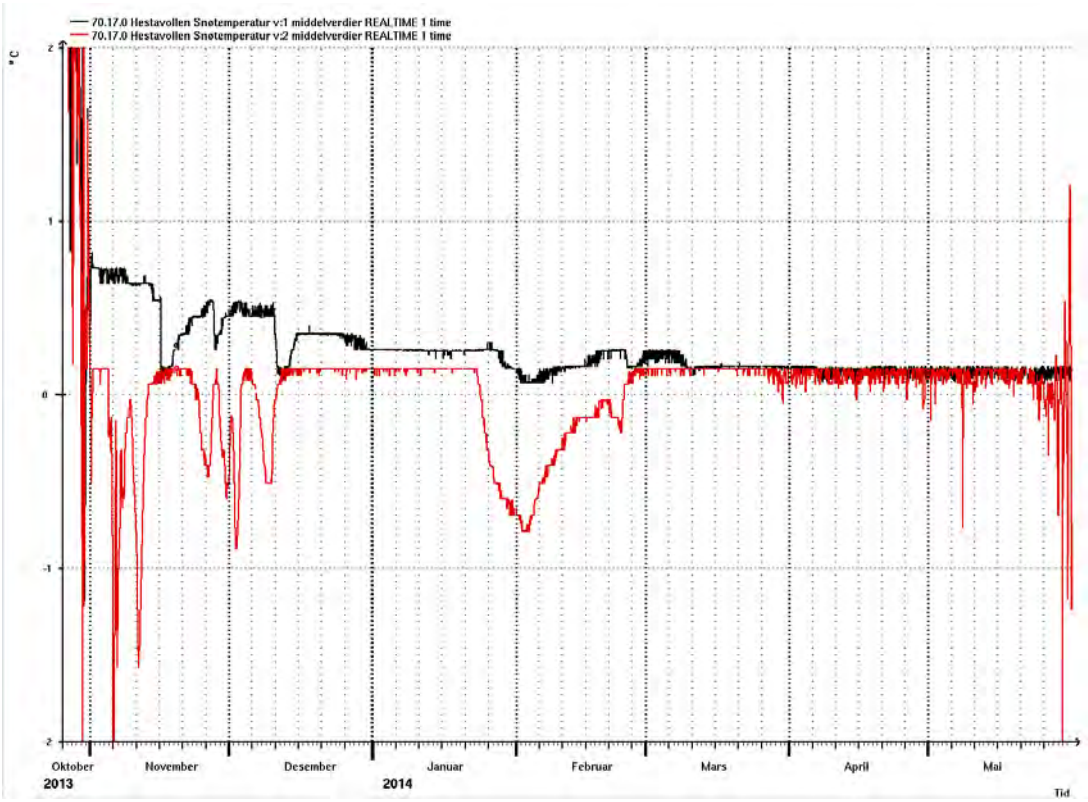
2.7 Snøtemperatur

På Hestavollen er det montert temperatursensorer henholdsvis 0 cm og 15 cm over bakken. Formålet med de er å kunne se hvorvidt vi har forhold under eller i snøen som vil kunne påvirke eller forklare registeringene av SWE. Figur 20 og Figur 21 viser hvordan temperaturen varierer i snøen gjennom vinteren. Merk at sensorenes nullpunkt ligger noe over 0°C, og det skyldes en produksjonsfeil fra leverandøren. Ved 0°C viser sensoren ved bakken (T_0) + 0,16°C, mens sensoren som ligger 15 cm over bakken (T_{15}) viser + 0,15°C. I den videre omtalen av sensorene er dette korrigert for.

Frem til snøen kommer varierer både T_0 og T_{15} mer eller mindre i takt med luft-temperaturen. Slik som både Figur 20 og Figur 21 viser er temperaturen ved T_0 stort sett høyere enn 0°C i første halvdel av sesongen. Ved enkelte anledninger synker temperaturen ved bakken til 0 °C, og fra og med 25. februar er temperaturen ved begge sensorene 0 °C. Temperaturen ved T_{15} synker ved første snøfall, og ligger stort sett på et nivå under 0°C frem til 25. februar. Når snøen forsvinner i juni varierer både T_0 og T_{15} i takt med lufttemperaturen igjen.



Figur 20. Temperaturforholdene i høyde 0 cm over bakken (sort) og 15 cm over bakken (rød). Snødyp er vist med grønn kurve, mens lufttemperaturen er vist i lilla.



Figur 21. Temperaturforholdene i høyde 0 cm over bakken (sort) og 15 cm over bakken(rød). Figuren viser et utsnitt av Figur 20.

3 Diskusjon

Vinteren 2013/2014 var en relativt snørik vinter på Vikafjellet, og således en godt egnet vinter for å undersøke hvorvidt gammasensoren, CS725 fra Campbell, gir troverdige data på store snømengder.

Snøens vannekvivalent fra gammasensoren

Snøen la seg i månedsskiftet oktober-november og allerede i midten av januar var SWE over antatt målemaksimum for gammasensoren. Det bekreftes av en kontrollmåling sent i januar hvor kontrollmålingen og sensoren gir relativ like verdier for SWE. Likevel, allerede i midten av februar ligger kontrollmålt SWE i overkant av hva som registreres ved gammasensoren, men det er like fullt innenfor det oppgitte nøyaktighetsintervallet på ±15%. I Figur 6 er SWE fra gammasensoren plottet sammen med et usikkerhetsintervall på ±15 mm fra 0-300 mm SWE og ± 15% for SWE mer enn 300 mm. Som det fremkommer av figuren er mer eller mindre alle kontrollmålingene innenfor usikkerhetsintervallet som er oppgitt fra Campbell. Den siste kontrollmålingen 29. april ligger i overkant av usikkerhetsintervallet på ±15%, men ved SWE lik ca. 870 mm er vi langt over det garanterte nivået til Campbell, og større usikkerhet må påregnes. 29.april er det også stor forskjell i snødyp målt under NVEs sensor og rundt stasjonen generelt. Hvorvidt det gjenspeiler de naturlige forskjellene eller belyser usikkerhetene i de manuelle målingene er usikkert.

Frem til ca. 530 mm viser gammasensoren en jevn akkumulasjon av SWE. Fra dette nivået er det flere sprang og dropp i data, og med økende snømengde blir også droppene og sprangene større. Fra 15. januar til 30. januar avtar SWE ved gammasensoren med ca. 50 mm. Det er kaldt i perioden, så smelting kan i utgangspunktet utelukkes. Sammenliknet med vinddata er det heller ingen unormal kraftig vind i perioden, tvert imot var det ganske lite vind i perioden (ref. Figur 14). Snødypet avtar også gradvis gjennom siste halvdel av januar, og snøputen registrerer også der et av sine mange dropp. Avtagende snødyp kan forklarer ved at snøen synker sammen, mens droppet til snøputen kan skyldes dannelse av is- og skarelag som er nærmere diskutert i avsnittet om snøputer. Hva nedgangen i SWE ved gammasensoren skyldes er derimot ikke entydig, men det kan skyldes at snøen sublimerer. Sammenliknet med total SWE er droppet likevel relativt beskjedent, siden snømengdene går fra rundt 600 mm til ca. 550 mm. Det er derfor ikke forsøkt å besvare dette ytterligere.

Den plutselige økningen i SWE fra 600 – 650 mm til 970 mm i slutten av februar kommer trolig av kraftig nedbør, muligens som regn siden temperaturen tidvis var over + 2°C i denne perioden. I forkant av dette spranget ligger SWE rundt 610 mm, og etter spranget ligger SWE rundt 665 mm. Nedbørmåleren mangler data for dagene rundt 24. februar. MET sin nedbørstasjon i Myrkdalen-Vetlebotn[2] har registrert ~100 mm nedbør på tre dager rundt denne datoen, mens snødypet på Hestavollen bare økte marginalt. Det underbygger at nedbøren kom som regn, og at spranget kan skyldes kraftig nedbør. Samme spranget i målingene vises også til en viss grad i SWE beregnet fra ^{208}Tl i vedlegg 5.

Manglende data fra nedbørmåleren i den perioden kan være en tilfeldighet, men det er likevel påfallende stor forskjell mellom akkumulert vinternedbør ved nedbørmåleren og gamma-sensoren. Slik Figur 12 viser, akkumuleres det tre ganger så mye nedbør ved gammasensoren

[2] Stasjonen ligger på den andre siden av Vikafjellet, 10-15 km sør for Hestavollen. Selv om stasjonen ikke ligger så langt fra Hestavollen ligger den i et mer nedbørrikt område. Man bør derfor ikke bruke målt nedbør ved Vetlebotn direkte som et mål på nedbøren på Hestavollen, men data fra stasjonen kan gi en pekepinn på hvordan forholdene har vært på Hestavollen.

som ved nedbørmåleren. Det er i overkant av hva en kan tenkes skyldes oppfangningssvikt, men det er ikke sett nærmere på årsaker til dette i denne rapporten.

Campbell garanterer en nøyaktighet på ±15% på SWE opp til 600 mm. Ved SWE høyere enn dette vil ikke Campbell garantere for nøyaktigheten. Dette fordi signalet som kommer til gammasensoren blir for lite. Fra stasjonen på Hestavollen har vi sett at ved SWE større enn 600 mm reduseres signalet til 1/75 (1,3%) av den strålingen vi registrerte før snøen kom (Figur 19). I hele perioden fra 21. februar til 12. mai er strålingen lavere enn dette.

Ved 700 mm er strålingen redusert til 0,8 % av barmarksstrålingen, og ved 800 mm under 0,5%. Ved så lite stråling er usikkerheten i beregningene stor, og ved 0,19% av barmarksstrålingen (500 ^{40}K counts) klarer heller ikke sensoren å tolke snømengdene (SWE = 0).

Det er fristende å prøve å interpolere/ekstrapolere oss til en utvikling i SWE i den perioden det er mye støy. Det er da greit å ha i mente at utregningen av SWE ved så store snømengder er basert på en veldig liten andel stråling, som beskrevet i avsnittet ovenfor. Usikkerheten er stor fordi strålingen er så liten, og selv små forskjeller i strålingsmengde per tidsskritt gir store forskjeller i beregnet snømengde. Stort sett ligger beregnet snømengde mellom 800 og 1000 mm, men tidvis er verdier ned mot 100-200-300-400 mm også beregnet.

Vi har dessverre ingen kontrollmålinger som kan underbygge at det var mer enn 917 mm SWE (kontrollmåling 4. april) på stasjonen. For å få et estimat på hva som antagelig var SWE-maksimum, kan vi ta utgangspunkt i snødyp fra snødypsensoren. Det var frem til kontrollmålingen 29. april godt samsvar mellom kontrollmålt snødyp i området og snødyp fra snødypsensoren, så det å ta utgangspunkt i snødypdata for beregning av SWE virker ikke urimelig. Det er to perioder med maksimum snødyp, men for dette formålet virker det mest riktig å vektlegge maksimumsmålingen den 13. april med 2,24 m snø. Det er nærliggende å tro at SWE-maksimum inntreffer omtrent på samme tidspunkt, eventuelt med noen dagers etterslep. Dersom vi bruker tetthet fra kontrollmålingene 4. og 29. april (ca. 0,480 g/cm^3 i gjennomsnitt) og snødyp fra snødypsensoren (2,24 m), gir det et snømaksimum på 1075 mm SWE i midten av april.

Høyeste målte SWE fra gammasensoren ligger rundt 1100 mm, og er observert 8. april. Snødyp maksimum inntraff 13. april. Det virker noe urimelig at SWE maksimum skal inntreffe før snødyp maksimum, så da virker det mer rimelig at snømengdene registrert ved gammasensoren 13. april er underestimert, og at dette er et tydelig eksempel på at gammasensoren har nådd sin aller ytterste målebegrensing. SWE basert på ^{208}Tl (vedlegg 5) underbygger at det ikke er utenkelig med snømaksimum i siste halvdel av april.

Nedsmeltingsforløpet fra gammasensoren virker troverdig, og vi ser ingen klare påvirkninger fra økende mark- og grunnvannsinnhold, slik vi for eksempel har sett på NVEs stasjoner på Filefjell og Anestølen (Stranden og Ree, 2014). Ut fra temperaturdata ved bakken (T_0) er det nærliggende å tro at det skyldes at det ikke var tele i bakken på Hestavollen.

Kan større barmarksstråling gi bedre data?

Det kan jo spekuleres i hvorvidt betydelig høyere barmarksstråling ville gitt oss mulighet til å måle mer vannekvivalent eller gitt oss mindre støy i data.

På NVEs stasjon på Anestølen (~500 meter over havet) har vi en barmarksstråling på omkring 660000 ^{40}K counts per day, mens barmarksstrålingen på Hestavollen ligger rundt 270 000 ^{40}K counts per day. Anestølen ligger i et mer nedbørfattig område sammenliknet med Hestavollen,

og sesongen 2013/2014 målte vi derfor ikke mer enn 240 mm her. I retningslinjene fra Campbell (2014) er det oppgitt at desto høyere count en har, desto bedre resultat vil en få.

Dersom vi bruker data for SWE og demping av stråling fra Hestavollen er det mulig å estimere og ekstrapolere seg frem til hva som er teoretisk mulig å måle gitt den naturlig høye barmarksstrålingen på for eksempel Anestølen (Tabell 2).

Ved 800 mm SWE på Hestavollen er beregningene av SWE basert på ca 1000 ^{40}K count per day (Tabell 2). 1000 ^{40}K count per day på Anestølen tilsvarer 900-1000 mm SWE. 600 mm, tilsvarer ca 4000 ^{40}K count per day på Hestavollen, og 4000 ^{40}K count per day ville tilsvart en snømengde på over 700 mm på Anestølen (se Tabell 2).

Selv om barmarksstrålingen på Anestølen er dobbelt så høy som det vi finner under snøfrie forhold på Hestavollen, viser Tabell 2 at vi ikke kan forvente å kunne måle dobbelt så mye snø på Anestølen. Gitt at vi aksepterer usikkerheten i en 800 mm-måling på Hestavollen, er 1000 mm på Anestølen innen rekkevidde.

En må derfor anta at for å kunne måle 1000 mm SWE med større grad av nøyaktighet enn 800 mm-måling på Hestavollen, må barmarksstrålingen være betydelige høyere enn det som er tilfellet ved Anestølen (660 000 ^{40}K count per day). I Tabell 3 er konsentrasjonen av ^{40}K i ulike bergarter og jordtyper listet opp. Konsentrasjonen varierer mellom de ulike bergartene og jordtypene, og de mest fordelaktige bergartene og jordtypene med tanke på høy gammastråling er thorium, uranrik granitt og alunskifer. Har en denne type bergarter på stasjonen vil en derfor kunne forvente høyere stråling.

Tabell 2. Estimat på mulig troverdige målinger av SWE gitt barmarksstråling på Anestølen og snømengden på Hestavollen.

SWE Hestavollen	^{40}K count per day Hestavollen	SWE Anestølen	^{40}K count per day Anestølen
100	107720	100	227250
200	48990	200	105000
300	24217	*300*	*52173**
400	12801	*400*	*27500**
500	6645	*500*	*14347**
600	4000	*600*	*8505**
700	2083	*700*	*4459**
800	1000	*800*	*2129**
900	690	*900*	*1470**
		1000	*700**

*estimert/ekstrapolert fra forholdene på Hestavollen

Tabell 3. Konsentrasjoner av isotoper i noen bergarter og jordtyper, deriblant ^{40}K. Tabellen er hentet fra NOU 2001/30

Bergart / jordtype	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
Granitt	20-120	20-80	600-1800
Thorium og uranrik granitt	100-500	40-350	1200-1800
Gneis	20-120	20-80	600-1800
Sandstein	5-60	4-40	300-1500
Kalkstein	5-20	1-10	30-150
Skifer	10-120	8-60	600-1800
Alunskifer (fra kambrium)	120-600	8-40	1000-1800
Alunskifer (nedre ordovicium)	600-4500	8-40	1000-1800
Alunskiferrik jord	100-1000	20-80	600-1000
Morenejord	20-80	20-80	900-1300
Leire	20-120	25-80	600-1300
Sand og salt	5-25	4-30	600-1200

Vil bruk av ^{208}Tl gi andre resultater?

Det kan også være at man ved å basere målingene på ^{208}Tl istedenfor ^{40}K får litt annenledes resultater. Stranden og Ree (2014) og Fjeldheim og Barfod (2013) har utelukkende benyttet målinger fra ^{40}K i sine analyser. SWE fra ^{208}Tl på Hestavollen (vedlegg 5) har noe mer støy i målingene over 500 mm, men ingen dropp midtvinters slik SWE fra ^{40}K har. ^{208}Tl er mer energirik stråling (2,613 megaelectronvolts, MeV) enn ^{40}K (1,460 MeV), så det kan teoretisk være at målinger basert på ^{208}Tl vil være bedre for store snømengder. Det understøttes av at antall ^{208}Tl-counts som måles midtvinters er høyere enn antall ^{40}K-counts på samme tidspunkt. Selv om ^{40}K er brukt med hell på andre stasjoner, kan det være at det vil være bedre å basere seg på data fra ^{208}Tl på Hestavollen.

Kan vi bedre kvaliteten på høye målinger av SWE ved å øke tidsvinduet?

En annen måte å forbedre kvaliteten på SWE ved store snømengder kan i teorien være å øke tidsvinduet det beregnes SWE over. Det er nærliggende å tenke seg at dersom man midler signalet over flere døgn, vil nøyaktigheten på estimatet av SWE bli bedre. Det er imidlertid verdt å huske på at nøyaktigheten i beregningene er proporsjonal med kvadratroten til tiden den måles over. Foreløpig er ikke dette testet ut hverken på Hestavollen eller på NVEs øvrige stasjoner. Å øke tidsvinduet vil imidlertid også medføre dobbelt så mye støy (kosmisk stråling), og et slikt oppsett med midling over 48 timer istedenfor 24 timer er noe som må utføres av Campbell.

Kan vi bedre kvaliteten på høye målinger ved å benytte blyskjerm?

I Campbell (2014) står det at blyskjerm bør benyttes når det er kilder av ^{40}K og ^{208}TI på lokaliteten som ikke blir dekket av snø om vinteren. Blyskjermen vil hindre at beregningen av SWE blir forstyrret av stråling fra for eksempel trær eller bygninger i nærheten. Tabell 4 gjengir Campbell sin anbefalinger for når blyskjerm bør brukes.

Campbell (2014) nevner ingen ting om hvorvidt blyskjermen kan bidra til å øke målenøyaktighet til sensoren der det er forventet mye snø. Vedlegg 1 viser grenseverdiene for hvor mye stråling en bør ha på stasjonen for at målingene skal være troverdige. Grenseverdiene er gitt med og uten blyskjerm. Sesongen 2011/2012 testet NVE ut sensorer med og uten

blyskjerm på stasjonen på Anestølen. Fjeldheim og Barfod (2013) fant ingen store forskjeller i SWE målt ved sensoren med og uten blyskjerm, men analysen baserte seg kun på studier av snømengder opp mot 550 mm SWE. Ved større snømengder kan det ikke utelukkes at det er fordelaktig med blyskjerm. Blyskjermen selges separat og kan monteres i ettertid. Beregning av SWE med og uten blyskjerm er ulik, så det er viktig at dette er sett opp korrekt i loggeren.

Tabell 4: Tabell med Campbell sin anbefaling for når gammasensoren skal ha blyskjerm. Tabellen er i sin helhet hentet fra Campbell (2014).

Site Characteristics	Maximum SWE 300mm	Maximum SWE 300 - 400mm	Maximum SWE > 400mm
Very open site with no proximity to trees, buildings or tall vegetation within a 48m (160ft) radius.	Optional	Optional	Optional
No trees, buildings or tall vegetation within a 24m (80ft) radius.	Optional	Optional	Required
No trees, buildings or tall vegetation within a 12m (40ft) radius.	Optional	Required	Required
Site with minimum clearance radius of 6m (20ft) radius.	Required	Required	Required

Andre begrensinger ved bruk av gammasensor?

I utgangspunktet er det anbefalt å utplassere sensoren på stasjoner der det er faststrøm. En "gammastasjon" bruker 20 ganger mer strøm enn en «ordinær» snøputestasjon[3]. Dette skyldes:

1) at gammasensoren måler gjennom hele døgnet for å få talt opp nok gammafotoner til at den kan beregne vannekvivalent. Dette skiller seg fra for eksempel snødypsensorer og vannstandssensorer som måler over et mye kortere tidskritt en gang i timen og følgelig bare trenger å stå på de de aktuelle sekundene som de måler.

2) at fotomultiplikatoren i sensoren er strømkrevende. Fotomultiplikatoren forsterker den ørlille energien i et gammafoton slik at den blir målbart.

Et vanlig solpanel gir 80W energi ved maksimal solinnstråling ved ekvator. Naturlig nok klarer vi å høste langt mindre stråling i Norge, både på grunn av at det er relativt mørkt i vinterhalvåret, tidvis overskyete forhold og at solcellepanelene stort sett står vertikalt (altså ikke vinkelrett mot sola). Gitt gode forhold og tilstrekkelig batterikapasitet er det teoretisk mulig å få til 5 W *i gjennomsnitt*. I praksis kan det likevel gå flere uker (måneder) med overskyet vær eller mørketid og liten ladning av batteriet, mens gammasensoren like fullt krever 4,5 W per dag. Det kreves derfor en betydelig batterikapasitet som en «buffer» i perioder med lite ladning. En løsning for stasjoner uten faststrøm er å benytte en vindgenerator i kombinasjon med solcellepanelet. Det er tidligere gjort med hell ved en av NVEs stasjoner (Filefjell). En vindgenerator vil generere strøm så lenge det blåser, og vår erfaring fra Filefjell er at det i mange tilfeller i vertfall vil blåse om det ikke er sol. En kan derfor anta at selv på stasjoner uten faststrøm vil måling av SWE ved hjelp av gammasensor være mulig dersom man sørger for tilstrekkelig strømforsyning ved hjelp av vindgenerator og solcellepanel(er), samt tilstrekkelig batterikapasitet.

[3] En «ordinær» snøputestasjon hos NVE består av minimum, logger, snødypsensor, to trykkceller for måling av SWE i snøputen, lufttemperatur og dataoverføring i via GPRS.

Snøens vannekvivalent ved snøputen

De første fjorten dagene av sesongen virker snøputen til å fungere bra, men i midten av november og ved SWE lik 200 mm avtar registrert snømengde ved snøputen. Dersom en ser på nedbør og temperaturdata for november – desember kan de se ut til at det har vært mildvær og nedbør i forkant, og når temperaturen bikker under 0°C blir det en reduksjon i SWE på snøputen i etterkant av dette. At putene ikke fungerer like bra i etterkant av enkelte mildværsperioder er også beskrevet blant annet i Furemyr og Tollan (1975), Ree m. fl. (2011) og Fjeldheim og Barfod (2013). Furemyr og Tollan (1975), Ree m.fl. (2011) og Stranden og Ree (2014) ser mildværsperioden og den påfølgende kuldeperioden i sammenheng og hevder at når regnet i snøpakken fryser til is i den påfølgende kuldeperioden, dannes det islag som fører til avlasting over puten. Rundt 10. januar avtar igjen registrert snømengde ved snøputen. Dette sammenfaller også mer eller mindre med at lufttemperaturen faller fra over 0°C og til -10°C og videre til -16°C. Det kom nedbør i forkant av dette, muligens som regn siden temperaturen var over 0°C. Det er derfor nærliggende å tenke seg at regnet som perkolerer gjennom snøpakken igjen fryser til is, slik at puten avlastes.

Der kulde får is til å dannes og avlastes i snøpakken, er det nærliggende å tro at varmegrader får de samme islagene til å bryte. I slutten av november øker SWE på snøputen. Det kan skyldes at plussgrader (26.-27. november) som sammen med nedbør får is-/skarelag til å bryte. Når det så blir minusgrader igjen fører til frysing av den vasstrukne snøpakken til ny avlastning av snøputen.

Ved snøputen på Hestavollen ser vi likevel langt større dropp og sprang sammenliknet med for eksempel med snøputen på NVEs stasjon på Anestølen. Ree m. fl. (2011) viser til forsøk med ulike type frostvæske, og konkluderer med at etanol er lite egnet som frostvæske i nåtidens snøputer da den diffunderer gjennom PVC-duken. Dette gjør at det lettere smelter snø rundt snøputene. Ree m. fl. (2011) refererer til flere forsøk der ulike snøputer er gravd opp midtvinters og det har luktet etanol, og i mange tilfeller har det vært fritt vann på snøputen og/eller kraftige islag og luftlommer. Som følge av funnene i Ree m. fl. (2011) brukes nå glykol som frostvæske i NVEs puter. Selv om vi ser antydninger til likedan dropp i snømengdene med snøputene, er droppene likefult mindre, og putene fungerer tilsynelatende bedre. Merk at type materiale puten er laget av (PVC-type og mykneren i PVCen) er av betydning når det er snakk om etanolens diffusjon. Det er mulig å fortsatt benytte etanol som frostvæske i snøputer, men da anbefales det å benytte en annen type PVC-duk.

Trondsen og Kvernhaugen (2010) viste at dersom en snøpute blir 1/3 fri for snø, vil den vise tilnærmet 0 mm snø. Basert på funnene til Trondsen og Kvernhaugen (2010) kan vi derfor anta at det ikke skal mer til enn at 1/3 av snøpakken avlastes før puten viser 0 mm SWE, og det kombinert med mildvær, skarelag og etanol i snøputen er trolig årsaken til at snømengdene ved snøputen reduseres i løpet av vinteren. Figur 9 viser likevel at ved snømaksimum har snøputen akkumulert like mye snø som gammasensoren. Dette støtter teorien om at det er skare- og islag rundt snøputen som påvirker målingene. Selve akkumulasjonsforløpet ved gammasensoren og snøputen er noe ulikt, og ved enkelte anledninger «akkumulerer» snøputen mer snø enn gammasensoren. Dette kan skyldes at det er skarelag i snøpakken som brister, gjerne kombinert med ytterligere snøfall. Dersom man klarer å unngå avlasting på snøputen vil man, *i teorien*, klare å måle SWE korrekt ved bruk av snøpute. Merk at det også kan være tilfeldig at det er såpass godt samsvar. Verdier fra gammasensoren er jo heftet med stor usikkerhet ved så store snømengder.

Snøtemperatur

På Hestavollen er det montert temperatursensorer i henholdsvis 0 cm og 15 cm over bakken. Som nevnt tidligere var formålet med de å kunne se hvorvidt vi har forhold under eller i snøen som vil kunne påvirke eller forklare registeringene av SWE

Det at T_0 tidvis ligger høyere enn 0°C i første halvdel av sesongen tyder på at det ikke er frost i bakken. Varme fra jorden, kombinert med at sensoren trolig ligger litt «beskyttet» i gresset og således tidvis på starten av sesongen ikke har direkte kontakt med snøen, bidrar til dette. Ved mildværsperioder, for eksempel i midten av november, synker temperaturen ved T_0 fordi smeltevann (med temperatur lik 0°C) kommer nedover i snøpakken. Ved T_{15} er det i utgangspunktet kuldegrader, og av det nevnte mildværet får vi motsatt effekt. Ved T_{15} stiger temperaturen fra under 0°C til 0°C. Denne motfaseutviklingen mellom T_0 og T_{15} skjer flere ganger på starten av sesongen, og er godt korrelert med mildvær. Når det blir kaldt etter disse mildværsperiodene synker T_{15} og stiger T_0 fordi tilførselen av smeltevann stopper opp.

Utover sesongen blir antageligvis snøpakken så tung at T_0 har fullstendig kontakt med snøen. Snøen pressen vekk den lille «lommen» T_0 trolig har hatt i gresset mellombakken og snøen. .

Denne utviklingen mellom de ulike temperatursensorene har vi ikke sett på NVEs øvrige snøforskningsstasjoner (Stranden og Grønsten, 2011, Fjeldheim og Barfod, 2013 og Stranden og Ree, 2014). I samtlige sesonger ved Filefjell og Anestølen har det vært tele i bakken, slik at T_0, naturlig nok, har ligget under 0°C. Manglende tele i vil også føre til at smeltevann i løpet av vinteren lettere renner vekk fremfor å akkumuleres i snøpakken. Blant annet har vi ikke sett sprang i registeringene av snøens vannekvivalent av gammasensoren som følge av mye smeltevann på Hestavollen, slik som vi for eksempel tidvis har sett på Anestølen og Filefjell (Stranden og Ree, 2014).

Kontrollmålingene

Det er stort sett godt samsvar mellom de automatiske målingene av SWE og snødyp, og de manuelle kontrollmålingene. De ligger likevel litt i overkant av de automatiske målingene, men ikke mer enn det en må forvente ut i fra usikkerhet i de automatiske målemetodene (se for eksempel Figur 6) og naturlig variasjon. Ved målingen den 29. april er både manuelt målt SWE og manuelt målt snødyp rundt 15% større det som måles automatisk. Ved gammasensoren kan det skyldes at vi er langt over 600 mm, og at de automatiske målingene derfor blir mer usikre. Gjennomsnittet av de ulike manuelle snødyp målingene er 175 cm den 29. april, mens manuelt målt snødyp under snødypsensoren er oppgitt å være 200 cm. Variasjonen mellom de øvrige manuelle målingene er fra 161 – 188 cm. Ved ingen av de tidligere målingene er det så stor forskjell mellom kontrollmålt snødyp under snødypsensoren og kontrollmålt snødyp generelt. Det kan selvsagt være en reelt forskjell som følge av for eksempel vind, men vi finner likevel målingen noe usikker siden den avviker såpass mye fra de øvrige.

Ved de to første kontrollmålingene av tetthet er det foretatt henholdsvis tre og to ulike tetthetsprøver. Det er god konsistens mellom de ulike prøvene, så kvaliteten kan antas å være god. Den temporære utviklingen i tetthet ved de tre siste prøvene gir grunn til å tro at de også er av god kvalitet.

4 Konklusjon og anbefalinger

Vinteren 2013/2014 ble gammasensoren CS725 fra Campbell Scientific testet ut på stasjonen Hestavollen på Vikafjellet. Hestavollen ligger ca. 900 meter over havet, i et relativt snørikt klima, og i et område hvor måling av snø med snøputer kan være utfordrende (Ree m fl. 2011). Både Stranden og Ree (2014) og Ree m. fl. (2011) hevder at en gammasensor vil være bedre egnet til å måle snøens vannekvivalent i disse områdene enn det tradisjonelle snøputer er.

Gammasensoren er forholdsvis enkel å sette opp og plasseres over snøpakken i motsetning til snøputer som måler vekten av overliggende snø. Den måler snøen indirekte, ved å beregne snømengde ut ifra reduksjonen i gammastrålingen fra bakken. Det er isotopene ^{40}K og ^{208}Tl som måles. Begrensingen ved bruk av gammasensor ligger i hvor mye snø den kan måle. I tillegg er den relativt dyr i anskaffelse sammenliknet med for eksempel snøputer. Fordelen er at den fungerer tilsynelatende bra i klima hvor det kan forventes mye skare- og islag i snøpakken.

Campbell hevder at gammasensoren viser troverdige resultater opptil 600 mm. Utover det vil ikke Campbell garantere for nøyaktigheten da strålingen som målingene beregnes ut fra blir uforholdsmessig lave. Like fullt ønsket vi å teste gammasensoren på snømengder større enn dette. Til alt hell var vinteren 2013/2014 relativt snørik på Hestavollen, og i hele 69 dager var snømengdene på Hestavollen større enn det oppgitte maksimal nivået til Campbell. Basert på data fra gammasensoren sesongen 2013/2014 mener vi at opp til anslagsvis 800 mm er registeringene rimelig troverdige forutsatt at en er villig til å aksepterer noe større usikkerhet og støy i data. Ved store snømengder (større enn 800 mm) blir strålingen så liten, og tidvis blir all strålingen dempet av snøen, slik at usikkerheten og unøyaktigheten i målingene utover 800 mm blir uforholdsmessig stor.

En kan tenke seg at større barmarksstråling vil øke snømengden som kan måles. Sammenlikning av steder med høyere barmarksstråling viser likevel at det må betydelige større stråling til før en får en merkbar økning i kvalitet og mengde SWE som kan måles. Det er også spekulert i om et større tidsvindu (for eksempel 48 timers innsamlings vindu) kan bidra til å øke kvaliteten på data ved store snømengder. Dette må imidlertid gjøres i samarbeid med leverandøren av sensoren. Et tredje tiltak som er skissert for å øke troverdigheten til data ved store snømengder, er å montere blyskjerm på sensoren. Blyskjerm er ekstrautstyr, og i utgangspunktet anbefalt der skog, bygninger og andre installasjoner vil påvirke målingene.

Analysene fra gammasensoren i denne rapporten er basert på SWE fra ^{40}K. Ved fremtidige analyser bør SWE basert på ^{208}Tl inkluderes i større grad, da det kan tenkes at det vil gi noe annenledes resultater.

Gammasensoren er strømkrevende og krever i utgangspunktet faststrøm. På steder der faststrøm ikke er tilgjengelig kan solcellepanel, kombinert med en vindgenerator gi tilstrekkelig strømforsyning.

Det anbefales ikke å benytte snøputer av tilsvarende type som den som står på Hestavollen verken på Vestlandet eller på andre steder med mye snø og ikke-alpine-vinter klima. Årsaken til dette er snøputen sitt lille areal, kombinert med at snøputen må ha jevnt fordelt vekt over hele puten for å fungere optimalt. I tillegg vil etanol som frostvæske diffundere igjennom PVC-membranen og danne et unaturlig varmt lokalt klima rundt puten. Et alternativ til gammasensor og snøputer kan være å benytte snøvekt (type Møen2525, se Ree m. fl., 2011). NVE har gode erfaringer med den type snøvekt ved sine forskningsstasjoner (Stranden og Ree, 2014, Fjeldheim og Barfod, 2013, Stranden og Grønsten, 2011), men vekten er enda ikke testet ved så store snømengder som det var på Vikafjellet vinteren 2013/2014.

5 Referanser

Campbell (2014): CS725 Snow water equivalent sensor – instruction manual, Campbell Scientific (Canada) Corp. Copyright © 2012-2014. http://www.campbellsci.ca/cs725, dato 08.12.2014

Engeset, R. red 2000. NOSIT-utvikling av NVEs operasjonelle snøinformasjonstjeneste. *Norges Vassdrags- og energidirektorat*, dokument1, 2001.

Fjeldheim L. H og E. Barfod (2013): Filefjell og Anestølen forskningsstasjon, Evaluering av måledata for snø sesongen 2011/2012. *Norges Vassdrags- og energidirektorat*, rapport 51, 2013.

Furemyr, S. og A. Tollan (1975): Resultater og erfaringer av snøundersøkelser i Filefjell representative område, 1965-1975. *Den norske komité for Den internasjonale hydrologiske dekade*, Oslo.

Loe, E. (2014, pers. kom.)

NOU 2001/30: Vurdering av strategier for sluttlagring av høyaktivt reaktorbrensel. Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 22. desember 1999. Avgitt til Nærings- og handelsdepartementet desember 2001. *Statens forvaltningstjeneste, Informasjonsforvaltning*

Ree, B. L., H. Landrø, E. Trondsen, K. M. Møen (2011). Evaluering av NVE sitt snøstasjonsnettverk. *Norges Vassdrags- og energidirektorat*, rapport 4, 2011.

Sorteberg, K.H. (2001). Operasjonell snøinformasjon. *Norges Vassdrags- og energidirektorat*, rapport 2, 2001.

Stranden, H. B. og H. A. Grønsten (2011). Filefjell forskningsstasjon Evaluering av måledata for snø, sesongen 2009/2010 og 2010/2011. *Norges Vassdrags- og energidirektorat*, rapport 23, 2011.

Stranden, H. B. og B. L. Ree (2014). Filefjell og Anestølen – Evaluering av måledata for snø, sesongen 2012/2013. NVE rapport nr. 73/2014

Trondsen, E. og F. Kvernhaugen (2010). Oppgraving av snøputa på stasjon 12.142 Bakko. Internt NVE-notat, gjengitt i sin helhet i Appendiks K i Ree m. fl. (2011)

Vedlegg 1

Retningslinjer for barmarksstråling ved måling av SWE ved hjelp av gammasensor.

Table B-1 viser 24-timersverdier av ^{40}K-counts (Potassium). Figuren er i sin helhet hentet fra Campbell (2014). Merk at det er opptil flere skrivefeil i tabellen. **Blant annet skal nedre grenseverdi for målinger uten blyskjerm være 144 000** (ikke 14000 som oppgitt).

TABLE B-1. Potassium Count (Cnt Tl) Guideline for SWE – 24 hour Reading

With Collimator	Without Collimator	Description
< 96000	14000	Insufficient K at site
96000 to 180000	14000 to 270000	Usable Cnt K range. May experience larger errors for higher SWE values
180000 to 264000	270000 to 396000	Good Cnt K range. Should maintain specified operating characteristics
> 264000	> 396000	Excellent Cnt K range

Table 6-2 viser 1-timesverdier av ^{40}K-counts (Potassium) (også hentet fra Campbell, 2014). Tabellen underbygger at de nedre grenseverdiene for måling uten blyskjerm i Table B-1 ikke er korrekte (6000 x 24 = 144 000)

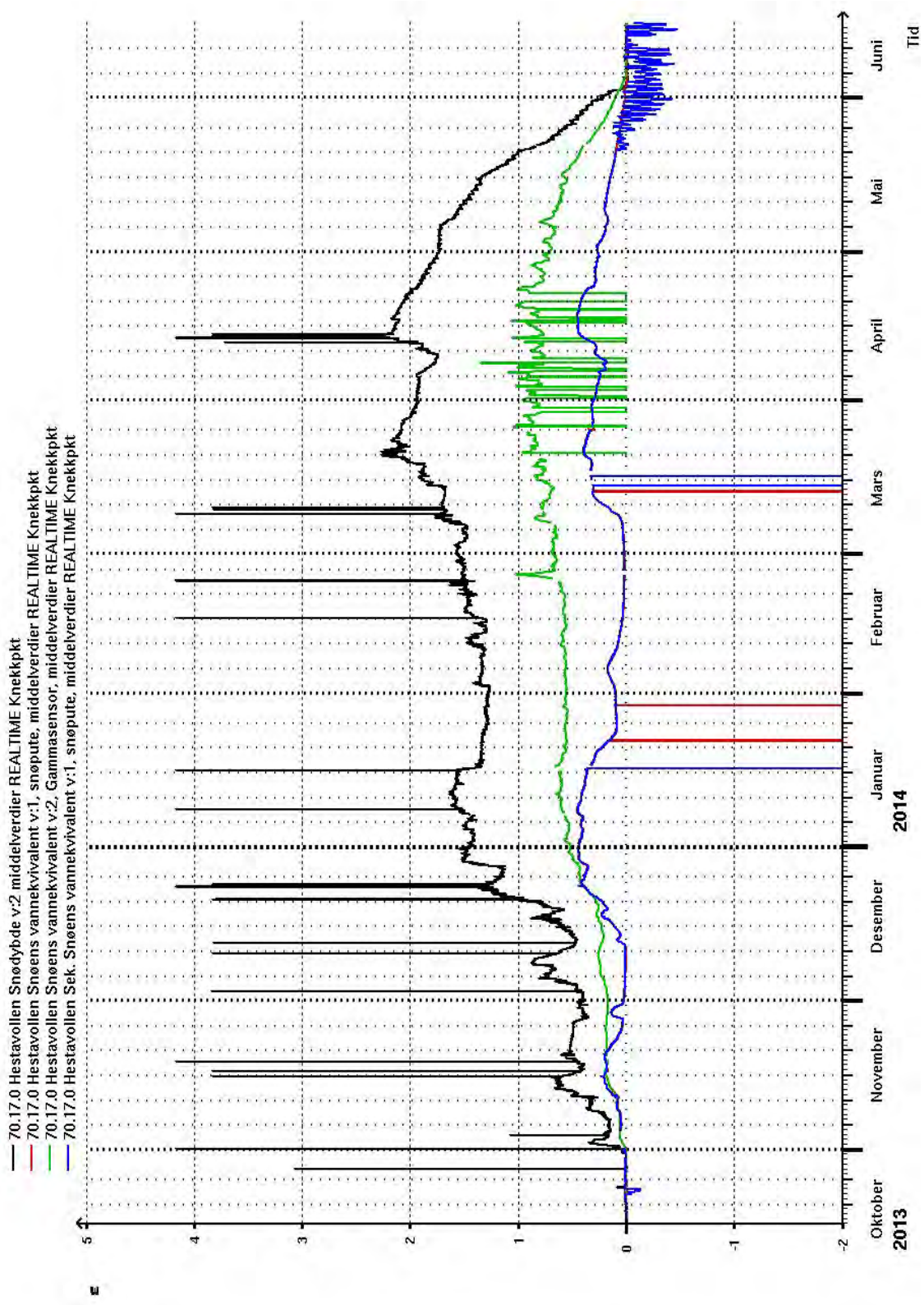
TABLE 6-2. Potassium Count (Cnt K) Guideline for SWE – 1 hour Reading

With Collimator	Without Collimator	Description
0 to 4000	0 to 6000	Insufficient K at site
4000 to 7500	6000 to 11250	Usable Cnt K range. May experience larger errors for higher SWE values
7500 to 11000	11250 to 16500	Good Cnt K range. Should maintain specified operating characteristics
> 11000	> 16500	Excellent Cnt K range

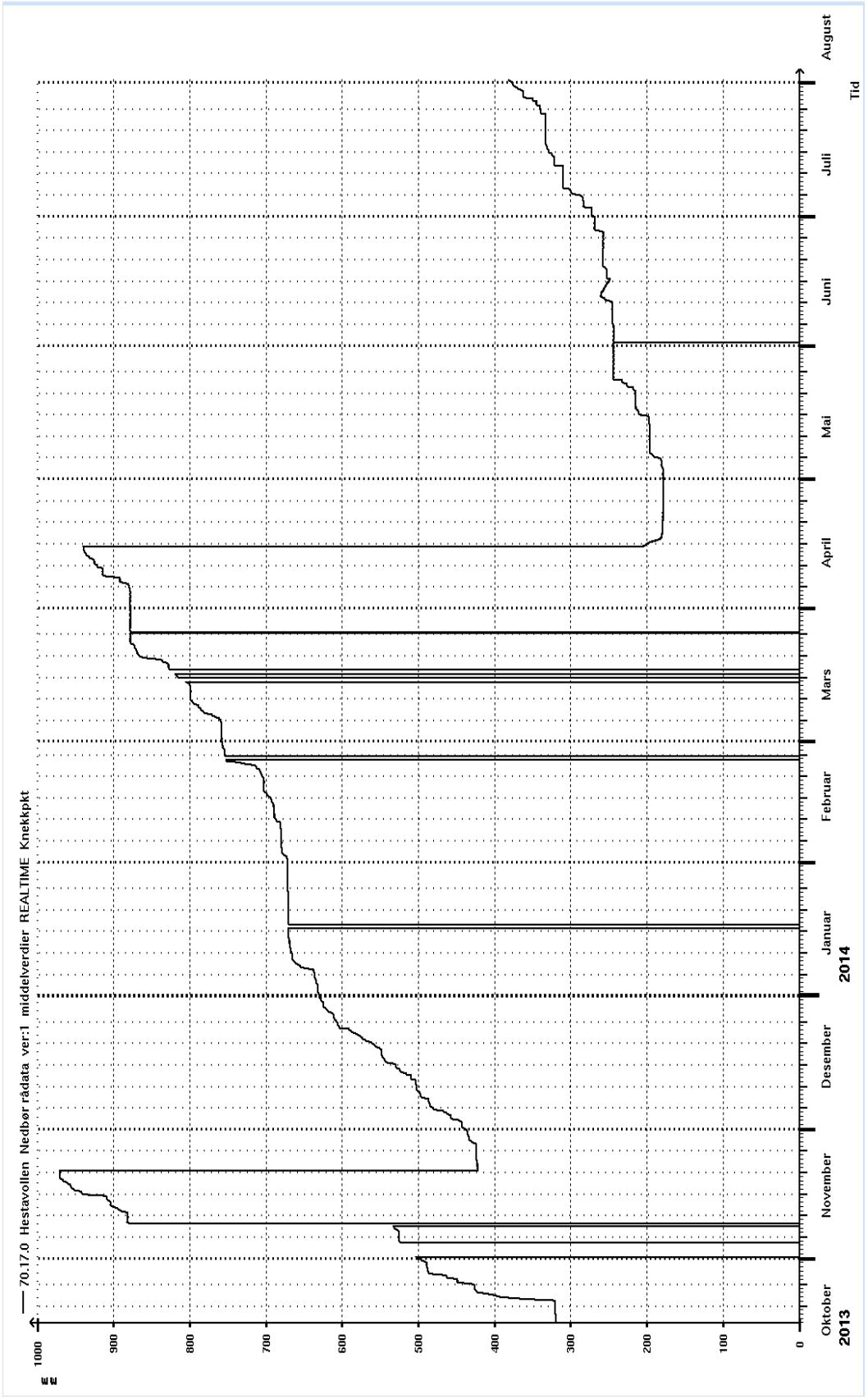
Vedlegg 2

Rådata:

Rådata for snøens vannekvivalent (SWE) fra gammasensor (grønn kurve), snøpute (blå kurve) og snødypsensoren til NVE (sort kurve).



Rådata for nedbør fra geonoren (sort kurve).



Vedlegg 3

Instruks for kontrollmålinger:

Kontrollmålingene av snødyp og snøens tetthet på Hestavollen er i utgangspunktet utført etter samme prinsipp som ved NVEs snøforskningsstasjoner (se for eksempel Fjeldheim og Barfod, 2013 og Stranden og Grønsten, 2011).

Forslag til hvordan og hvor kontrollmålingene skulle tas ble oversendt Statkraft ved Even Loe og Stian S. Johansen per e-post 20.1.2014. Instruksene er gjengitt her:

(…)
Stasjonen på Hestavollen er jo ganske kompakt i forhold til det vi har på Filefjell, så det kontrollprogrammet vi har der, er nok ikke direkte overførbart til Hestavollen. Jeg forslår derfor at dere måler som følger:

Snødyp: (4-8 stikk) rundt snøputen (selv om det vil forstyrre snøpakken hvor gammasensoren måler, men prøv å unngå å gå så veldig mye på kryss og tvers i det minste), og så 6-8 målinger i en radius 4-5 meter ut fra gammasensoren? Dere kan jo prøve å legge stedet der dere graver sjakt til i utkanten av gammasensorens influensområde. Gammasensoren måler jo i et forholdsvis stort område (~100m2), men det som gjøres i utkanten av dens influensområde tillegges ikke så stor vekt, sammenliknet med det som er rett under. Jeg foreslår kanskje et sted 6-7 m unna masten dersom det er mulig å få til? Ta helst to tetthetsprøver i samme sjakt, så får vi et mål på usikkerheten også.

I tillegg foreslår jeg at dere tar 3 målinger av snødypet under dybdesensoren, så får vi et mål på hvorvidt den viser riktig.
(…)

Vedlegg 4

Kontrollmålinger:

29. januar 2014:

Snødyp (cm)	**Tetthets-prøver**	vekt (kg)	dyp (m)	tetthet (kg/m3)	Kommentar
146		7,640	1,00	402	
147		5,285	0,32	482	
134	prøve 1	12,925	1,32	**421**	
131					
114					
131		6,375	0,67	401	
140		6,480	0,61	459	
140	prøve 2	12,855	1,28	**429**	
126					
130					
129		6,120	0,64	378	
135		6,650	0,69	436	
128	prøve 3	12,770	1,33	**406**	
130					
129					
150					
Gjennomsnitt 133,75 cm			**SWE 568 mm**		

19. februar 2014:

Snødyp (cm)	**Tetthets-prøver**	vekt (kg)	dyp (m)	tetthet (kg/m3)	Kommentar
132					
135					
144					
143					
152					
150					
155					
152					
142		7,420	0,93	407	
147		6,410	0,56	487	
151	prøve 1	13,830	1,49	**437**	
155					
151					Denne prøven har jeg ikke fått oppgitt de to enkeltvektene på. Bare summen.
150	prøve 2	13,600	1,49	**421**	
157					
155					
Gjennomsnitt 148,19 cm			**SWE 636 mm**		Målt 156 cm rett under NVE sin dybdesensor

3. mars 2014:

Snødyp (cm)	**Tetthets-prøver**	vekt (kg)	dyp (m)	tetthet (kg/m3)	Kommentar
160					
161					
166					
170					
150					
151					
151					
152					
158					
162					
165					
161		7,410	0,87	434	
150		7,200	0,74	481	
169	prøve 1	14,610	1,61	**456**	
171					
172					
Gjennomsnitt 160,56 cm			**SWE 731 mm**		Målt 155 cm rett under NVE sin dybdesensor, blåser visst bort litt snø akkurat der i følge Jon Risløv.

4. april 2014

Snødyp (cm)	**Tetthets-prøver**	vekt (kg)	dyp (m)	tetthet (kg/m3)	Kommentar
190					
200					
211					
209					
181					
192					
195					
200					
185					
192					
201					
202		7,780	1,00	417	
193		8,510	0,96	514	
200	prøve 1	16,290	1,96	**464**	
201					
198					
Gjennomsnitt 196,88 cm			**SWE 914 mm**		Målt 197 cm rett under NVE sin dybdesensor

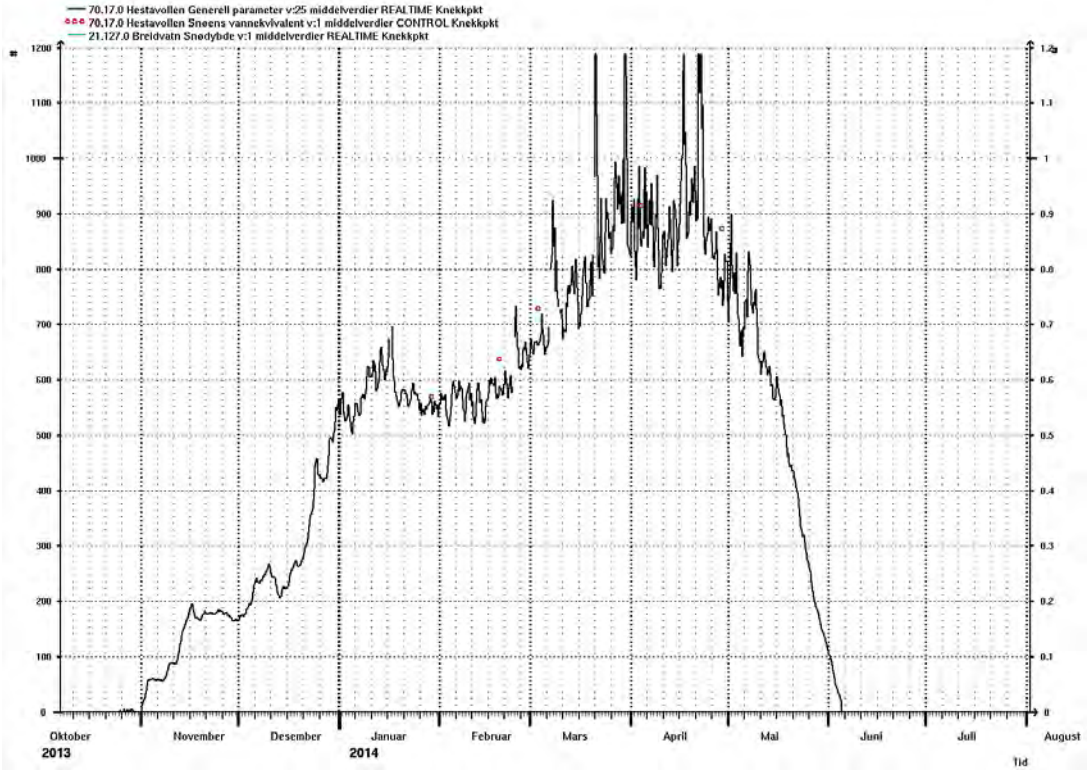
29. april 2014:

Snødyp (cm)	**Tetthets-prøver**	vekt (kg)	dyp (m)	tetthet (kg/m3)	Kommentar
175					
173					
188					
183					
161					
168					
172					
168					
169					
175					
185					
187		8,550	1,00	498	
171		7,350	0,75	496	
176	prøve 1	15,900	1,75	497	
177					
180					
Gjennomsnitt 175,50 cm			**SWE 872 mm**		Målt 200 cm rett under NVE sin dybdesensor

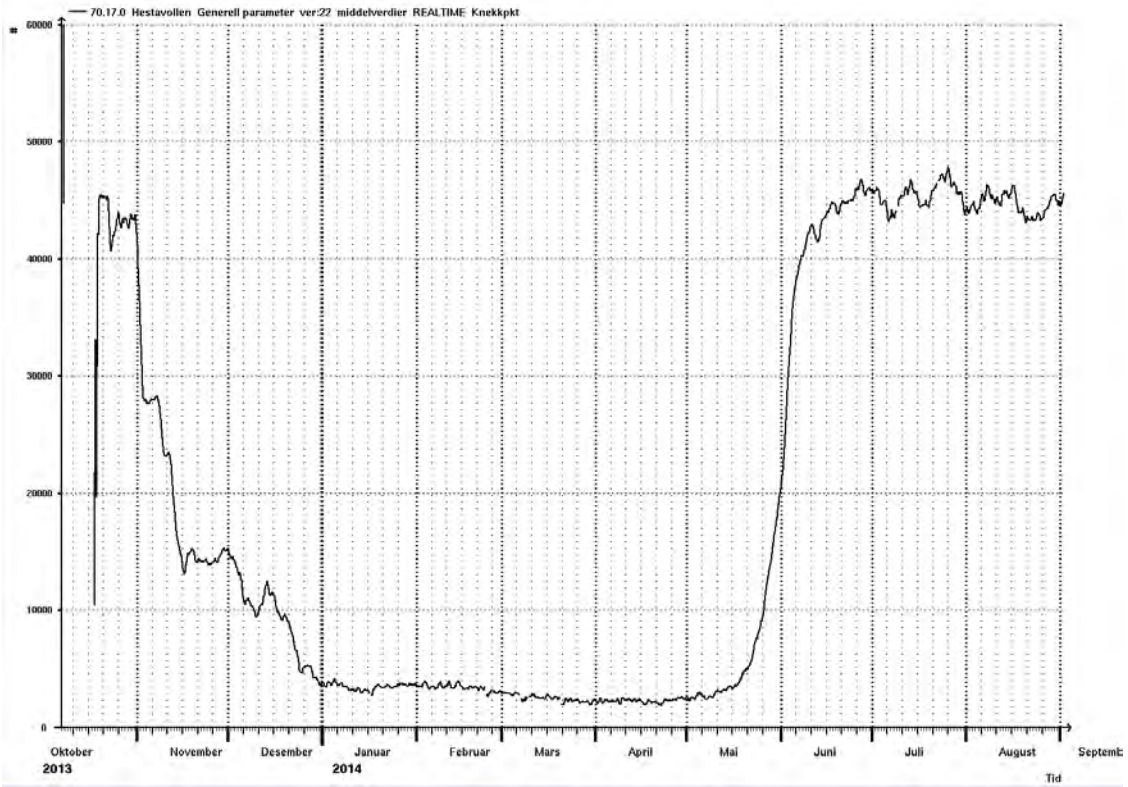
Vedlegg 5

Målinger basert på ^{208}Tl

Øverst: Snøens vannekvivalent inkl. kontrollmålinger i mm.



Nederst: Stråling i antall «counts per day».



Utgitt i Oppdragsrapport A-serien i 2014

Nr. 1 Filefjell - Kyrkjestølane (073.Z). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser. Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 2 Groset forsøksfelt (016.H5). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 3 Lappsætra tilsigsfelt (156.DC). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 4 Skurdevikåi tilsigsfelt (015.NDZ). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 5 Manøvrering av Reinforsen/ Langvatn i forkant av potensiell isgang. Ånund Kvambekk.
Nr. 6
Nr. 7 Flomberegning for Lundeelva ved Kielland. Per Ludvig Bjerke.
Nr. 8 Storglomfjordutbyggingen – Hydrologiske undersøkelser 2014. Margrethe Elster.
Nr. 9 Glasiologiske undersøkelser på Folgefonna 2002-2013. Sluttrapport. Bjarne Kjøllmoen.
Nr. 10 Måling av snø ved hjelp av gammasensor. Heidi Bache Stranden.

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no