# Snøsmelteintensiteter og graddagsfaktorer

*Heidi Bache Stranden og Erik Holmqvist*

86
2017

RAPPORT

# Rapport nr 86-2017
# Snøsmelteintensiteter og graddagsfaktorer

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:**

**Forfattere:** Heidi Bache Stranden og Erik Holmqvist

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:**

**Forsidefoto:** Snøsmelting på Filefjell, våren 2012. Foto: IHA/NVE

**ISBN** 978-82-410-1640-0

**ISSN** 1501-2832

**Sammendrag:** Analyse av snøsmelteflommene i Nord-Norge 2010 og 2013, samt data fra snøstasjoner i Sør-Norge viser at avrenning på over 50 mm/døgn utelukkende basert på snøsmelting kan forekomme. Beregnede graddagsfaktorer fra de samme smelteperiodene viser at graddagsfaktoren kan variere mellom 4 og 10 mm/°C/døgn.

**Emneord:** Snø, snøsmelting, graddagsfaktorer, smelterater, snøstasjoner, vårflom,

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 2017

# Innhold

**Forord** ..... **4**

**Sammendrag** ..... **5**

**1. Innledning** ..... **6**

1.1 Forutsetninger og kriterier ..... 6

Stasjonsutvalg ..... 7

**2. Nord-Norge, mai 2010 og 2013** ..... **10**

2.1 Graddagsfaktorer ..... 11

2.1.1 Observerte verdier ..... 11

2.1.2 Modellkjøringer ..... 12

**3. Sør-Norge** ..... **14**

3.1 Våren 2015 ..... 14

Sognefjellet ..... 14

Vikafjellet ..... 16

3.2 Våren 2016 ..... 17

3.3 Fosen ..... 19

Januar 1932 ..... 19

Januar 2006 ..... 20

**4. Oppsummering** ..... **23**

**5. Diskusjon** ..... **25**

**6. Referanser** ..... **32**

**Vedlegg 1:** ..... **33**

**Vedlegg 2:** ..... **35**

**Vedlegg 3.** ..... **38**

**Vedlegg 4.** ..... **39**

# Forord

Denne rapporten er en del av et internt FoU-prosjekt som blant annet har som mål å gi bedre støtteverktøy for flomvarslingen. Deler av denne studien er også omtalt i Langsholt m.fl. (2015).

Med bakgrunn av de store snøsmelteflommene i Nord-Norge i 2010 og 2013 ønsket vi å beregne hvor mye snø det smeltet og hvor store graddagsfaktorer det kan påregnes under slike smeltehendelser. I tillegg har vi sett på data fra snøstasjoner i Sør-Norge og større flommer på Fosen-halvøya. Analysene i denne rapporten vil i tillegg til å gi indekstall for smelting og graddagsfaktorer til bruk i flomvarsling, kunne gi oss påregnelige maksimale verdier til bruk til for eksempel flomberegninger.

Takk til Statkraft for bruk av data fra stasjonen på Vikafjellet, til Gusong Ruan for modellkjøringer og til Tuomo Saloranta for rekjøring av R-script og tilgjengeliggjøring av tidligere analyser.

Oslo, desember 2017

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Rune Engeset
seksjonssjef

# Sammendrag

Formålet med denne rapporten er å analyse smelterater og graddagsfaktorer fra spesifikke smeltehendelser, som igjen kan benyttes for eksempel som indekser under fremtidige flomepisoder og i arbeidet med flomberegninger. Allerede fastsatte graddagsfaktorer benyttes i dag i flomberegninger, der det tas høyde for intensiteten og størrelsen på snøsmeltingene i tillegg til et påregnelig regnvær i de nedbørfeltene der det er aktuelt.

I vassdrag hvor regnflommene hovedsakelig er dominerende, spiller det mindre rolle hvilke graddagsfaktorer som ligger til grunn for eventuelle flomberegninger, da regnflommene trolig vil være større. I innlandsvassdrag som domineres av vårflommer vil det være av avgjørende betydning å benytte riktige graddagsfaktorer i flomberegninger, og ser vi på nedbørfelt hvor en kombinasjon av regnflommer og snøsmelteflommer er dominerende vil det også være av avgjørende betydning hvilken graddagsfaktor som benyttes. Ved å benytte en for lav graddagsfaktor kan for eksempel den påregnelige maksimale snøsmelteflommen bli for lav slik at en muligens feilaktig vil konkludere med at regnflommer er dominerende i nedbørfeltet. For rene snøsmeltefelt vil samme scenario føre til for lavt beregnede flommer.

Analyse av snøsmelteflommene i Nord-Norge 2010 og 2013 viser at avrenning på **over 50 mm/døgn** utelukkende basert på snøsmelting kan forekomme, men at det er store variasjoner fra flom til flom og fra felt til felt. Analyse av to stasjoner i Sør-Norge våren 2015 og 2016 viser at det kan smelte **opp mot 50 mm/døgn** i Sør-Norge. Snøsmeltingen i Nord-Norge de aktuelle årene var utelukkende preget av finvær, så analyse av de årene vil gi et godt bilde av snøsmeltingen under klarværsperioder, mens snøsmeltingen våren 2015 og 2016 i Sør-Norge også inneholdt noen perioder med regn.

Når temperaturen tas i betraktning, og en regner på graddagsfaktorer finner vi graddagsfaktorer stort sett mellom **4 og 10 mm/°C/døgn** fra vannføringsstasjonene, mens data fra snøstasjonene i Nord-Norge ga graddagsfaktor på rundt **4 - 6 mm/°C/døgn**. Snøstasjonene i Sør-Norge viser at graddagsfaktorer omkring **6 – 8 mm/°C/døgn** ikke er utenkelig. Modellberegninger fra ekstreme flommer på Fosenhalvøya i Trøndelag viser at avrenning på 70 – 100 mm/døgn kan forekomme, med tilsvarende graddagsfaktorer mellom 6-12 mm/°C /døgn.

Rekjøringer av hydrologiske modeller med nye graddagsfaktorer fører til at flomtoppene estimeres bedre, mens det øvrige smelteforløpet er av varierende samsvar.

# 1. Innledning

Formålet med denne rapporten er å analyse smelterater og graddagsfaktorer fra spesifikke smeltehendelser, som igjen kan benyttes for eksempel som indekser under fremtidige flomepisoder og i arbeidet med flomberegninger. Allerede fastsatte graddagsfaktorer benyttes i dag i flomberegninger, der det tas høyde for intensiteten og størrelsen på snøsmeltingene i tillegg til et eventuelt påregnelig regnvær i de nedbørfeltene der det er aktuelt. Det er både utfordringer og usikkerhet knyttet til flomfrekvensanalyse på rene snøsmelteflommer, hovedsakelig fordi datagrunnlaget er ganske tynt. Behovet for indeks-tall eller nøkkelverdier til bruk i flomberegninger er derfor stort.

Vårflommene i Nord-Norge 2010 og 2013 er gode eksempler på rene snøsmelteflommer. Ved å se på sammenhengen mellom vannføring, smelting ved snøputer og lufttemperatur kan vi beregne både smelterater og graddagsfaktorer som igjen kan komme til nytte under andre, liknende flomepisoder. Ved å se på snøsmeltingen fra høytliggende stasjoner i Sør-Norge våren 2015 og 2016 kan vi også regne på smelterater og graddagsfaktorer, både for dager med nedbør og dager uten nedbør.

Formålet med dette arbeidet er å finne tall på hvor mye smelting vi kan regne med under gitte situasjoner, og se om det vi finner av graddagsfaktorer stemmer overens med det som for eksempel er gitt i Midttømme m.fl. (2011). Saloranta (2014) analyserte data fra alle NVEs snøstasjoner og fant smelterater og graddagsfaktorer som avvikte fra det som tradisjonelt er benyttet i hydrologiske modeller og det som er oppgitt i retningslinjene til Midttømme m.fl. (2011). Mørk (1989) og Mørk (1990) analyserte data fra flommen på Fosen i 1932, og fant smelterater og graddagsfaktorer som er relativt høye sammenliknet med hva som vi i utgangspunktet forventer. Mens Saloranta (2014) analyserte data fra hele NVEs nettverk av snøstasjoner er det i denne rapporten sett på utvalgte flommer og utvalgte stasjoner. Ved å se på gitte flomhendelser istedenfor samtlige sesonger vil en ekstrem hendelse, som en flom er, vektlegges i større grad, og verdiene kan således tenkes å være mer ekstremverdier enn gjennomsnittlige verdier. Til bruk i prediksjon av flommer og i flomberegninger vil likevel en slik analyse være nyttig, da det i slike tilfeller er retningsgivende å benytte «worst case».

Denne studien er full av forbehold, både med tanke på at en enkelt flomhendelse kanskje ikke er retningsgivende for annet enn seg selv, og med tanke på at beregningene er fulle av forbehold om hvordan data fordeles over døgnet, når nedbør eventuelt observeres og hvordan en beregner graddagsfaktoren.

## 1.1 Forutsetninger og kriterier

Generelt er kun dager når smeltingen overstiger 5 mm /døgn inkludert i analysen, likeledes er det sagt at døgnmiddeltemperaturen må være over +2°C.

I de innledende analysene er det også gjort vurderinger på hvorvidt det er naturlig med en forsinkelse mellom observert temperatur og observert smelting, og i de fleste tilfellende var det slik at det passet best med 1. døgns forsinkelse, det vil si at for å beregne graddagsfaktor tar man utgangspunkt i temperaturen dag 0 og observert smelting dag 1 (Langsholt, 2015). Likevel, for å kunne sammenlikne dette med andre studier, og relatere

det til for eksempel flomberegningene, er det valgt å benytte temperatur og smelting fra samme dag.

## Stasjonsutvalg

**Nord-Norge:**

Smelting (M) per døgn er beregnet fra vannføring i mm/dag fra ni[1] utvalgte vannføringsstasjoner (se Tabell 1 og Figur 1), og som målt smelting (M) ved ulike snøputer i landsdelen (se Tabell 2 og Figur 1). Antall snøputer inkludert i analysen varierte mellom de ulike årene. Det skyldes stasjoner som ble lagt ned i mellomtiden og stasjoner som hadde manglende data eller for dårlig kvalitet på data et av årene. Temperaturen er beregnet fra temperatur registrert ved vannføringsstasjonene, skalert[2] til feltets middelhøyde med en faktor på -1°C/100 m.

**Sør-Norge:**

I Sør-Norge er det tatt utgangspunkt i de to snøstasjonene som fremdeles hadde snø igjen på de gitte tidspunktene, det vil si en til to høytliggende og snørike stasjoner: henholdsvis stasjonene på Sognefjellet (1440 moh) og på Vikafjellet (Hestavollen, 890 moh) (se Tabell 2 og Figur 1). Snøsmeltingen i Sør-Norge i 2015 kom sent i gang, men hadde ingen ekstreme utslag slik som flommene i Nord-Norge i 2010 og 2013. Snøsmeltingen i 2016 var heller ingen ekstrem hendelse.

**Fosen:**

Studie av snøsmeltingen på Fosen tar utgangspunkt i studien i Mørk (1989) og Mørk (1990). I tillegg er data fra flommen i januar 2006 analysert, se Tabell 3 og Figur 2 for stasjonsutvalg.

**Tabell 1. Feltkarakteristika for de utvalgte vannføringsstasjonene i Nord-Norge våren 2010 og våren 2013**

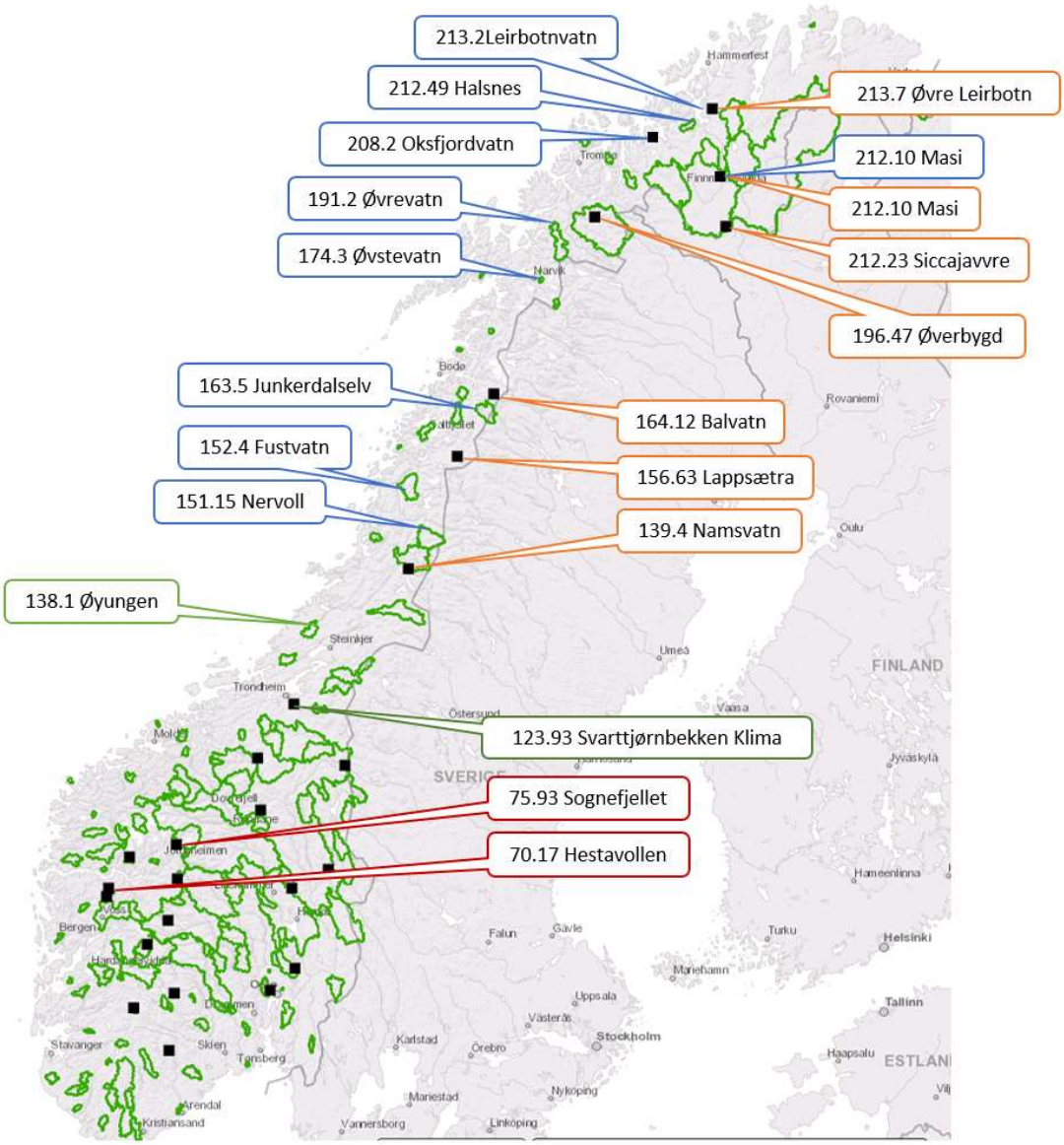
| Stasjons nr | Navn | Feltareal ($km^2$) | Stasjonshøyde (moh) | Middelhøyde (moh) |
|---|---|---|---|---|
| 212.10 | Masi | 5621 | 276 | 450 |
| 213.2 | Leirbotnvatn | 135 | 161 | 457 |
| 212.49 | Halsnes | 145 | 37 | 531 |
| 208.2 | Oksfjordvatn | 266 | 9 | 548 |
| 191.2 | Øvrevatn | 525 | 10 | 564 |
| 174.3 | Øvstevatn | 28,4 | 276 | 727 |
| 163.5 | Junkerdalselv | 422 | 118 | 834 |
| 152.4 | Fustvatn | 526 | 39 | 436 |
| 151.15 | Nervoll | 653 | 349 | 827 |

[1] Vannføringsstasjonen ble valgt ut etter flommen i 2010 på bakgrunn av 6 kriterier: 1) beliggenhet, 2) nærhet til fungerende snøpute, 3) stor flom i mai 2010 (basert på gjentaksintervall og maksimum spesifikt døgnmiddel vannføring), 4) rimelig god kvalitet på vannføringskurven, fortrinnsvis under flom, 5) HBV-felt og 6) tilgang på satellittbilder.

[2] En studie av temperaturgradienten mellom ulike stasjoner ved ulike høyder i nærheten konkluderte med at det i 2010, ikke var utenkelig med en temperaturgradient på 1 grad per 100 meter. Tilsvarende studie er ikke gjort for 2013, men 1 grad per 100 m er benyttet også der.

**Tabell 2. Snøstasjonene som er analysert med stasjonsnummer, stasjonshøyde og de årene som er inkludert i analysen**

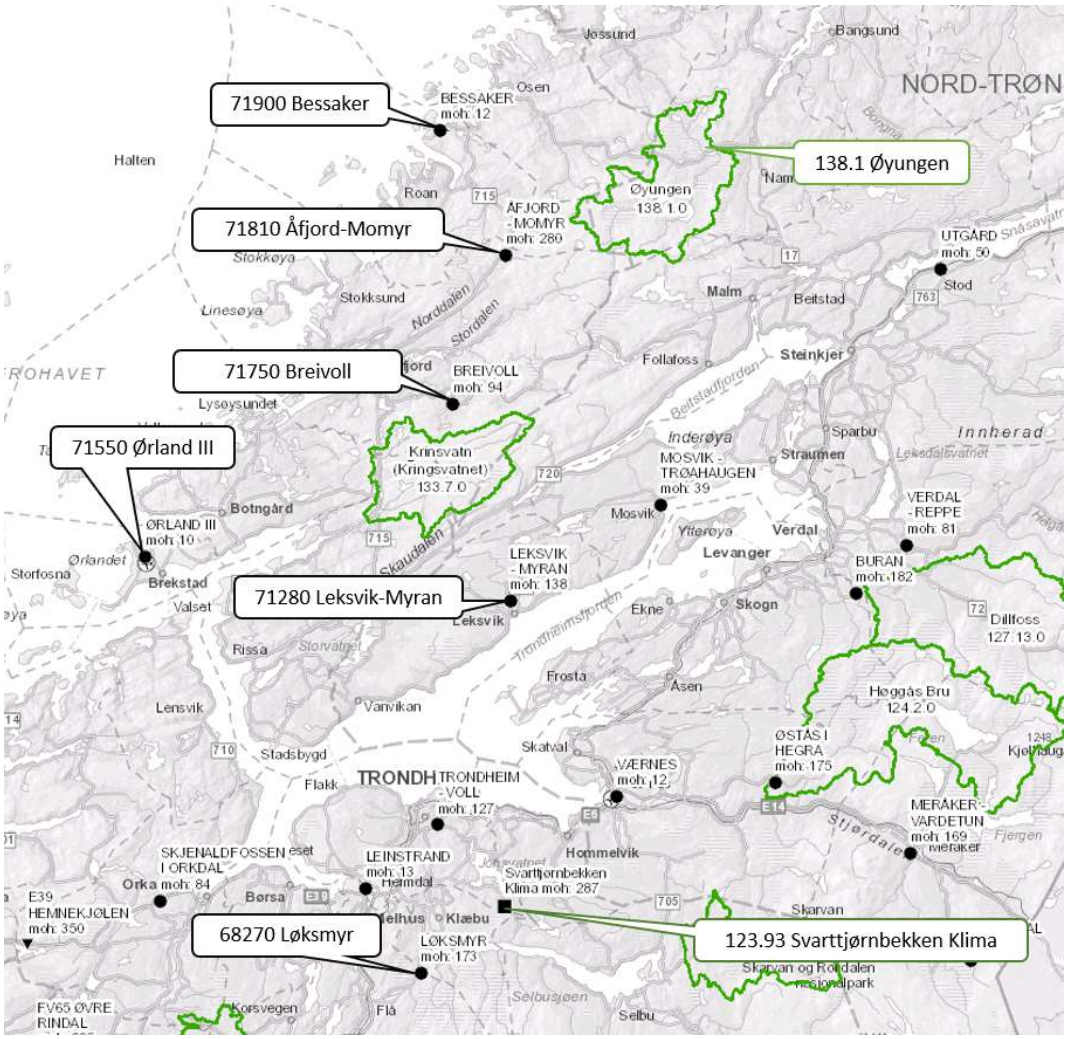
| Stasjons nr | Navn | Stasjonshøyde (moh) | Analysert år |
|---|---|---|---|
| 213.7 | Øvre Leirbotn | 190 | 2010 og 2013 |
| 212.10 | Masi | 272 | 2010 |
| 196.47 | Øverbygd | 85 | 2013 |
| 164.12 | Storstilla ndf. Balvatn | 565 | 2010 og 2013 |
| 139.4 | Namsvatn | 460 | 2010 og 2013 |
| 212.23 | Siccajavvre | 385 | 2013 |
| 156.63 | Lappsætra | 540 | 2013 |
| 75.93 | Sognefjellet | 1440 | 2015 og 2016 |
| 70.17 | Hestavollen | 890 | 2015 |




**Figur 1. Stasjonsoversikt. Snøstasjoner er markert i oransje (flommene i 2010 og 2013), rød (sommeren 2015 og våren 2016) og mørk grønn (2006-flommen). Vannføringsstasjonene er markert i blå (flommene i 2010 og 2013) og lys grønn (1932-flommen og 2006-flommen).**

**Tabell 3. Stasjonene som er analysert i forbindelse med Fosen-sammenlikningen. For Øyungen er det tatt utgangspunkt i analysen av 1932-flommen gitt i Mørk (1989) og Mørk (1990) samt flommen i 2006. For de øvrige stasjonene er flommen i januar 2006 analysert.**

| Stasjons nr | Navn | Feltareal ($km^2$) | Stasjons-høyde (moh) | Middel-høyde (moh) |
|---|---|---|---|---|
| 138.1 | Øyungen | 239 | 103 | 294 |
| 123.93 | Svarttjørnbekken Klima | - | 285 | - |
| 71900 | Bessaker – MET | - | 12 | - |
| 68270 | Løksmyr – MET | - | 173 | - |
| 71810 | Åfjord-Momyr – MET | - | 280 | - |
| 71550 | Ørland III – MET | - | 10 | - |
| 71280 | Leksvik-Myran – MET | - | 138 | - |
| 71750 | Breivold - MET | - | 94 | - |




**Figur 2. Stasjonsoversikt med fokus på Fosen-området. MET sine snødypstasjoner er markert i sort, mens NVE sine stasjoner er markert med grønt.**

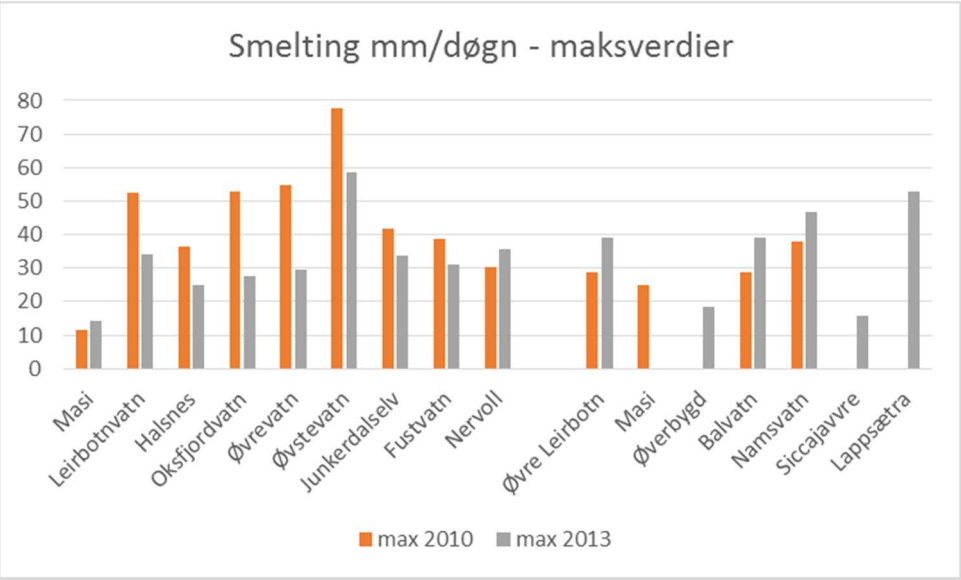
# 2. Nord-Norge, mai 2010 og 2013

Midt i mai **2010** ble Nord-Norge rammet av en sjeldent stor flom. Sterk varme førte til stor snøsmelting, flom i vassdrag og et stort antall skred i landsdelen. Mange steder var det godt over 20 °C som maksimaltemperatur over flere dager, og de varmeste dagene var 16. og 18. mai. Det var lite nedbør i tilknytning til varmen, så flommen var utelukkende et resultat av snøsmelting.

Basert på det vi på forhånd antok om snøsmelting, var det ingen som hadde sett for seg en så stor flom utelukkende på grunn av snøsmelting. Flommen var varslet, men flere veier ble stengt, bygder ble isolert og liv gikk tapt i sørpeskred. For mer informasjon om flommen, se Petterson (2010) og Holmqvist (2010).

Også i siste halvdel av mai **2013** var det varmt, og det førte til rask snøsmelting og stor flomvannføring i en del vassdrag i Nord-Norge. Det var lite nedbør i perioden, så denne flommen var i hovedsak resultat av snøsmelting. Jevnt over var flommen i 2010 betydelig større enn flommen i 2013, men enkelte steder var flommen i 2013 størst. For mer informasjon om flommen, se Stranden og Sund (2013).

Sett under ett var smeltingen og flommen mer intens i 2010 enn i 2013 (Figur 3). For eksempel kulminerte vannføringen på ~80 mm/dag ved Øvstevatn i 2010, mens nivået var ~60 mm/dag i 2013. Ved andre stasjoner, som for eksempel vannføringsstasjonen på Masi, var flommen i 2013 større enn i 2010 (til venstre i Figur 3). Smeltingen ved snøstasjonene var også kraftigere i 2010 enn i 2013. Det var omtrent likedan lufttemperatur i 2010 som i 2013. I Figur 3 er maks-verdiene for smelting (M) til de ulike stasjonene plottet opp. Medianverdier, samt 75- og 90-persentilen er gitt i vedlegg 1.




**Figur 3. Maksimale verdier for smelting i mm/dag. De ni stasjonene til venstre i grafen er vannføringsstasjoner, mens de syv stasjonene til høyre i grafen er snøstasjoner.**

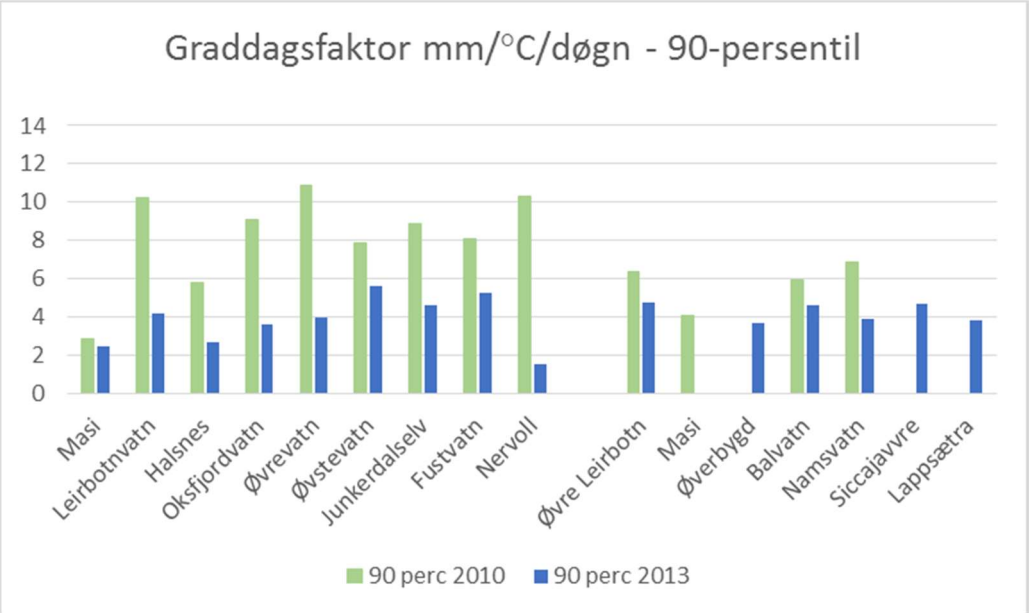
## 2.1 Graddagsfaktorer

### 2.1.1 Observerte verdier

Ut fra data for smelting og lufttemperatur kan graddagsfaktoren (CX) regnes ut. I Tabell 4 er medianen, gjennomsnittet, 75% persentilen, 90% persentilen og maksverdien for CX oppgitt. Verdiene for 2010 er høyere enn i 2013 for både vannføringsstasjoner og snøputer, og det er større forskjeller for CX beregnet fra vannføringsstasjonene enn fra snøputene. Det er imidlertid generelt små forskjeller mellom median- og gjennomsnittsverdiene. Figur 4 viser 90-persentilen for graddagsfaktoren beregnet for de ulike stasjonene de ulike årene. Stort sett er CX beregnet fra vannføringsstasjonene i 2010 mellom 6 og 11 mm/°C/dag i 2010, mens tilsvarende tall for 2013 er mellom 2 og 5 mm/°C/dag. For CX fra snøputer ligger det mellom 4 og 6,5 mm/°C/dag i 2010 og rundt 4 mm/°C/dag i 2013.

**Tabell 4. Beregnede graddagsfaktorer under flommen mai 2010 og 2013, beregnet fra både vannføring og smelting ved snøputene.**

| | 2010 –Cx (mm/°C/dag) - vf | 2013 –Cx (mm/°C/dag) - vf | 2010 –Cx (mm/°C/dag) - SWE | 2013 –Cx (mm/°C/dag) - SWE |
|---|---|---|---|---|
| **Median** | 5,3 | 2,5 | 2,9 | 2,8 |
| **Gjennomsnitt** | 5,6 | 2,8 | 3,5 | 3,0 |
| **75 % persentil** | 7,0 | 3,7 | 4,7 | 3,9 |
| **90 % persentil** | 10,1 | 5,0 | 6,2 | 4,7 |
| **Maks-verdier** | 15,3 | 6,3 | 9,6 | 7,4 |




**Figur 4. Graddagsfaktor, 90-persentilen, under de ulike flommene mai 2010 og 2013. Merk at vannføringsstasjonen Masi kun har et datapunkt i 2013, men data fra målestasjonen Kista indikerer at det trolig ikke er så gal verdi likevel.**

### 2.1.2 Modellkjøringer

For syv av de ni vannføringsstasjonene som er benyttet i analysene er det også HBV-modeller. Det gjelder Masi, Øvrevatn, Øvstevatn, Junkerdalselv, Fustvatn, Nervoll og Halsnes. For de seks sistnevnte varierer CX i modellene mellom 2,2 og 5,0 mm/°C/døgn. I tillegg endres CX mellom de ulike vegetasjonsklassene med en faktor (CXREL) som varierer mellom 0,9 og 1,1.

Tabell 6 viser modellens CX samt observert og modellert flomtopp på kulminasjons-dagen. Felles for alle feltene er at 2010-flommen underestimeres i alle modellene. Det er særlig påfallende ved bruk av HBV v2[3] som er modellen som benyttes operasjonelt. Ved Øvstevatn er den relative forskjellen mellom observert flomtopp og modellert flomtopp (v2) over 80% (Figur 5), mens flomtoppen i v2 for flere andre felt er halvparten av den observerte. Slik det vises i Figur 5 får ikke modellene smeltet ut all snøen under flommen og en relativ høy vannføring opprettholdes i modellene utover våren og sommeren. Det er minst forskjell mellom modellerte og observerte verdier ved Fustvatn, og for Fustvatn er det også minst relativ forskjell mellom den CX som er benyttet i modellen (5 mm/°C/ døgn) og den observerte 90-persentilverdier for CX våren 2010 (8 mm/°C/døgn).

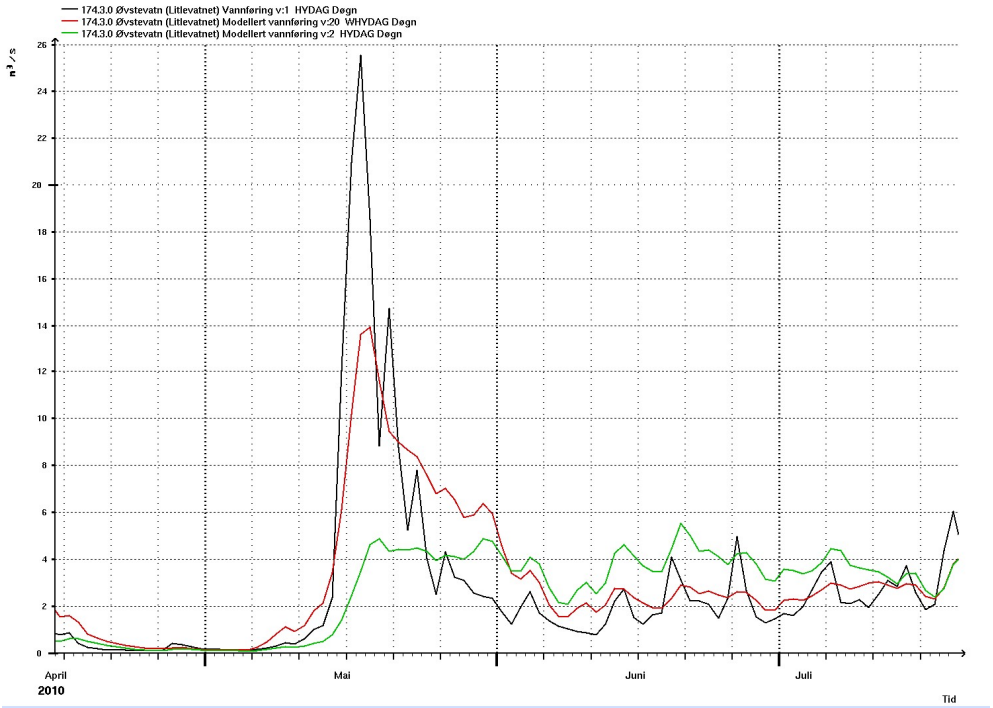
Siden det i utgangspunktet ikke var nedbør under flommen i 2010, er det nærliggende å tenke seg at det enten er lufttemperaturen som er underestimert, at graddagsfaktoren er for lav eller at det er andre hydrologiske faktorer som er vanskelig lar seg fange opp i en enkel graddagsmodell. Graddagsfaktoren skal i utgangspunktet ta høyde for sistnevnte, men det er likevel vanskelig å kalibrere inn en CX som både skal ta høyde for ekstrem vind og -luftfuktighet og mer normale verdier av tilsvarende parametere.

**Tabell 5. HBV modellens graddagsfaktor ('modell CX') for de ulike feltene, observert flomtopp (døgnmiddelverdi – m3/s) under 2010 –flommen, samt modellsimulerte døgnverdier verdier for tilsvarende flom. Tallene i parentes bak modellert døgnmiddelverdi angir den prosentvise forskjellen mellom observert og modellert flomtopp)**

| | | Modell CX | OBS | HBV v1[4] | HBV v2[3] |
|---|---|---|---|---|---|
| Stasjonsnr | Navn | mm/°C/døgn | $m^3/s$ | $m^3/s$ (%-vis forskjell) | $m^3/s$ (%-vis forskjell) |
| 191.2 | Øvrevatn | 2,51 | 245 | 184 (25 %) | 94 (62 %) |
| 174.3 | Øvstevatn | 2,20 | 26 | 8 (69 %) | 4,8 (82 %) |
| 163.5 | Junkerdalselv | 2,57 | 203 | 106 (48 %) | 92 (55 %) |
| 152.4 | Fustvatn | 5,00 | 233 | 160 (31 %) | 152 (35 %) |
| 151.15 | Nervoll | 2,60 | 228 | 140 (39 %) | 140 (39 %) |
| 212.49 | Halsnes | 2,19 | 61 | 39 (36 %) | 26 (57 %) |

[3] I HBV v2 er inndata til modellen (nedbør og temperatur) én gjennomsnittsverdi for hver av de 10 høydesonene i nedbørfeltet, basert på gridverdiene fra seNorge, versjon 2.

[4] I HBV v1 er inndata til modellen (nedbør og temperatur) én gjennomsnittsverdi for hele nedbørfeltet, basert på gridverdiene fra seNorge, versjon 1




**Figur 5. Observert flom (sort kurve) og modellert flom (rød kurve, HBV v1, grønn kurve, HBV v2) ved 174.3 Øvstevatn våren 2010.**

Rekjøringer av HBV-modellen for mai 2010 med graddagsfaktorene i Figur 4 viser at flomtoppen estimeres langt bedre med den observerte graddagsfaktoren enn standard graddagsfaktor, se vedlegg 4. Unntaket er Nervoll der timingen på flommen forskyves, og en økende graddagsfaktor også fører til en vannføringsøkning i april (se figurer i vedlegg 4). For de øvrige feltene er avviket mellom observert flomtopp og modellert flomtopp betydelig redusert. Nash-Sutcliff koeffisienten (NS) har økt for fem av de seks feltene, og for Øvstevatn er det en markant økning fra 0,32 til 0,68. Selv om flomtoppen treffes bedre, opprettholdes høye vannføringer utover i mai, samt i august og september. Merk at NS-verdien er beregnet for 2010, mens det i vedlegg 4 bare er vist data for april – oktober. Øvrevatn er timingen på flommen og den modellerte flomtoppen nesten identisk med det observerte flomforløpet, men de høye vannføringene 'henger litt' i modellen i siste halvdel av mai.

# 3. Sør-Norge

## 3.1 Våren 2015

Vinteren 2015 var nedbørrik og våren var kaldt, så midt i juni lå det fremdeles mye snø igjen i fjellet. Snømaksimum på snøputen på **Sognefjellet (1450 moh)** var 13. juni med 941 mm. Snømengdene er målt med en snøpute som har fungert relativt bra gjennom vinteren og data kan antas å være troverdige. På stasjonen **Hestavollen (890 moh)** på Vikafjellet hadde det også vært en snørik vinter. Snømaksimum var trolig på godt over 900 mm, men snømengdene måles med en passiv gammastrålings sensor («gammasensor») som på denne stasjonen ikke gir troverdige data over 600-800 mm (Stranden m.fl., 2014). Medio juni var imidlertid snømengdene redusert til snaue 500 mm.

For Sognefjellet er perioden 19. juni til 21. juli analysert, mens for Hestavollen er data fra 17. juni til 6. juli grunnlaget for analysen[5]. Selv om MET har en temperatursensor på Sognefjellshytta er det valgt å benytte temperaturen fra sensoren tilknyttet snødypsensoren (Campbell SR50AT). Denne har en nøyaktighet på ± 0,75°C (-45°C til 0°C), som kan antas å være tilstrekkelig for denne analysen. Data fra tilsvarende sensor er benyttet på Hestavollen.

For Hestavollen er det benyttet observert nedbør dersom det har vært nedbør i perioden, og nedbøren er trukket fra vannekvivalentdataene forut for analysen. For Sognefjellet er det benyttet griddede nedbørdata fra seNorge, versjon 2.0. I likhet med Hestavollen er eventuell nedbør tatt hensyn til i analysen.

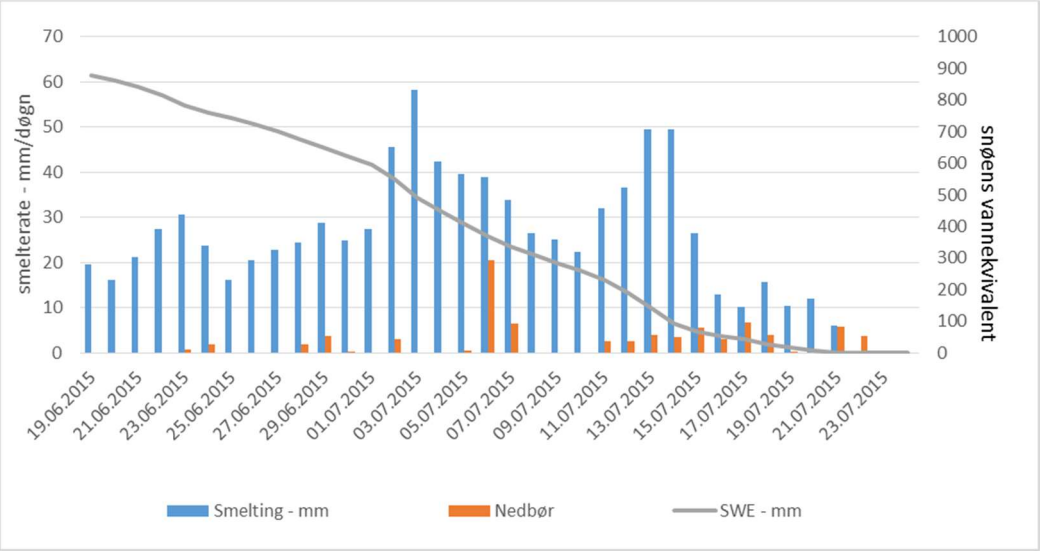
### Sognefjellet

I fem av de 32 aktuelle dagene er enten temperaturen eller registret smelting for lav (mindre enn 2 grader og/eller 5 mm/døgn). I 16 av 32 dager kom det nedbør, med 20 mm nedbør på det meste 6. juli. Nedbørdata er hentet fra senorge (versjon 2.0). I 12 av dagene var det ikke nedbør. Slik som Figur 6 viser smeltet det på det mest intensive opp mot 50 – 60 mm per dag, mest intensiv var smeltingen i starten av juli, samt mot midten av juli. Figur 7 viser daglig smelterate, nedbør samt lufttemperatur. Det er godt samsvar mellom høy lufttemperatur og økende smelting i perioden 2. – 6. juli, hvor det alle dager smelter mer enn 30 mm per døgn og er mer enn 6-7 °C i døgnmiddeltemperatur. Det er også påfallende at høy temperatur en dag medfører høyere smelting i dagene etter, siden temperaturen faller ned mot 2- 3°C i døgnmiddeltemperatur mens det fremdeles smelter godt over 20 mm/døgnet.

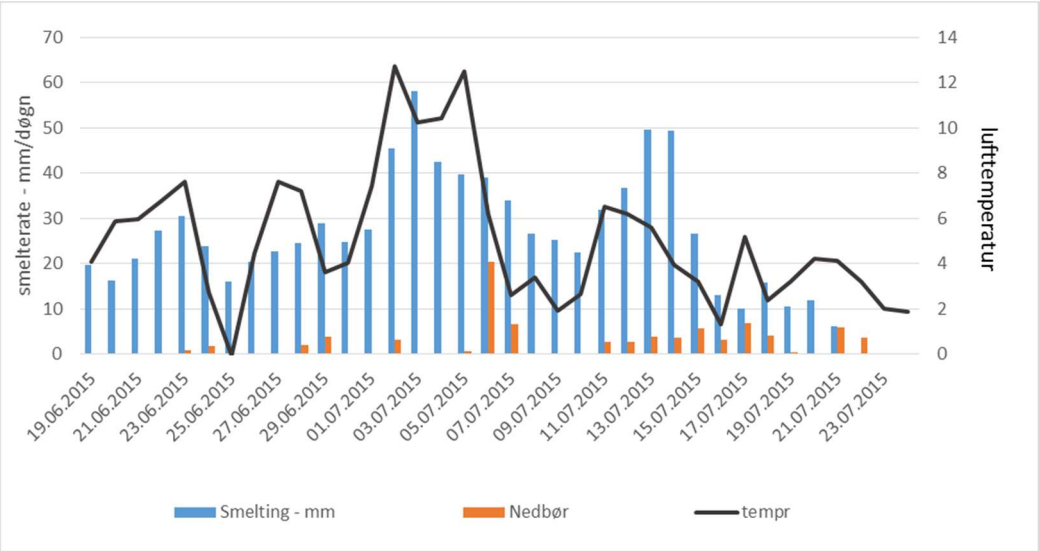
I den andre perioden med høy smelting (11. – 15. juli) observeres det nesten vel så høye smelterater som i starten av juli, men lufttemperaturen er langt i fra like høy. Årsaken til dette kan være flere, blant annet at snøen kan være mer vannmettet i den andre perioden, økt albedo som følge av økt innstråling, mer vind m.m. Data fra MET sin stasjon på Sognefjellet viser at det likevel var mindre vind den siste perioden (stort sett lavere enn 3 m/s) enn den første perioden (mellom 1 og 5 m/s). Det er observert nedbør i den siste perioden, noe som skulle tilsi at det var overskyet ivertfall deler av dagen.

[5] Merk at for praktiske hensyn er data fra Sognefjellet tatt ut i tidsrommet kl 12-12, mens data fra Hestavollen er fra kl 07-07.

Satellittbilder over området (fra xgeo.no) viser at det var overskyet vær i den siste perioden, mens det for eksempel 4. juli er et krystallklart bilde. Strålingsdata fra NVEs stasjon på Kyrkjestølane/Filefjell, 45 km SØ for Sognefjellet, viser at netto kortbølget innstråling var langt høyere i den første perioden enn den andre, noe som stemmer bra med at satellittbildene viser overskyet vær den siste av de to periodene. Siden verken strålingsdata, vind eller lufttemperaturdata kan forklare hvorfor det tilsynelatende er vel så høye smelterater i den andre perioden som den første, er det nærliggende å tenke at snøens evne til å holde på vann er forskjellig.




**Figur 6. Daglig smelterate på Sognefjellet våren 2015. Nedbør er vist i samme akse, mens utviklingen i snøens vannekvivalent er vist i y-aksen.**




**Figur 7. Daglig smelterate på Sognefjellet våren 2015. Nedbør er vist i samme akse, mens lufttemperaturen er vist i y-aksen.**

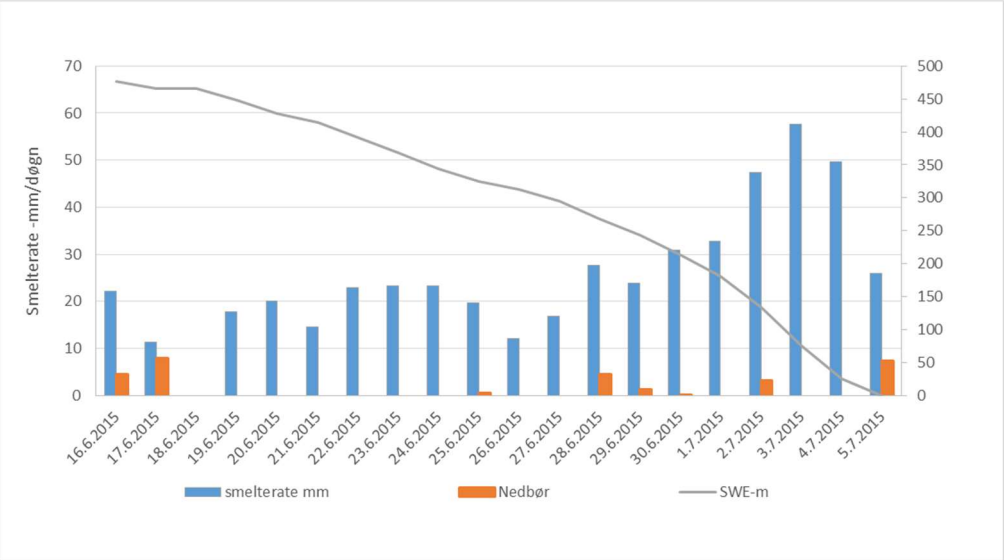
**Graddagsfaktoren** er beregnet både for hele perioden, og for dager uten nedbør og dager med nedbør separat. Det er tatt utgangspunkt i den reelle smelteraten, det vil si beregnet smelting fra snøputen fratrukket nedbøren som kom som regn. Om det har vært minusgrader er nedbøren lagt til som snø. Slik Tabell 6 viser er graddagsfaktoren høyere for dager med nedbør enn for dager uten nedbør.

**Tabell 6: Persentil-, gjennomsnitt- og maksverdier for beregnet CX fra Sognefjellet, våren 2015**

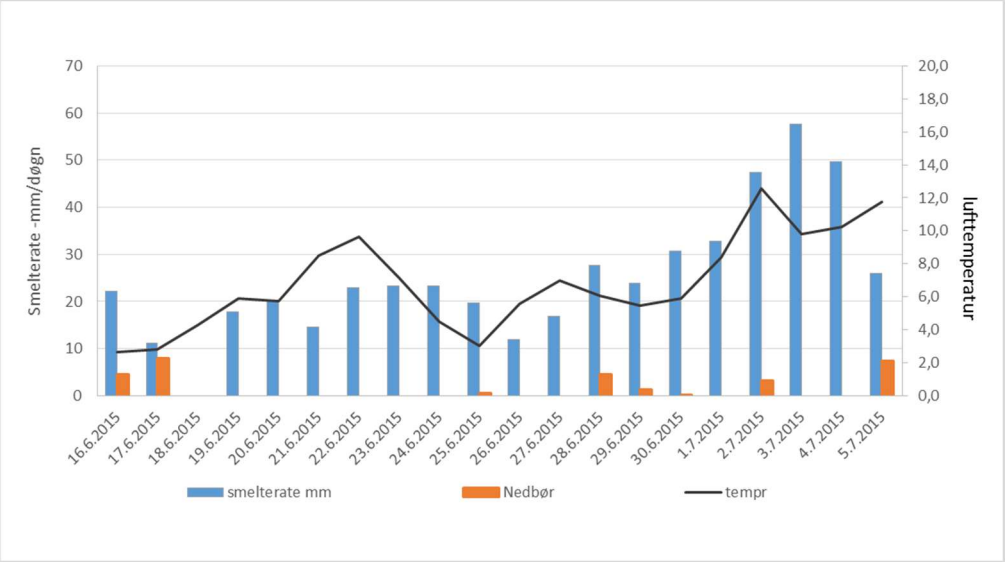
| | Samlet sett | Uten nedbør | Med nedbør |
|---|---|---|---|
| **Median** | 4,6 | 4,0 | 5,2 |
| **Gjennomsnitt** | 5,3 | 4,6 | 5,8 |
| **75 % persentil** | 6,7 | 5,0 | 7,2 |
| **90 % persentil** | 8,2 | 7,7 | 9,3 |
| **Maks-verdier** | 11,7 | 8,5 | 11,7 |

## Vikafjellet

Mesteparten av snøen på snøstasjonen på Vikafjellet hadde smeltet før den virkelige varme perioden slo til i slutten av juni/begynnelsen av juli. På det mest intensive smeltet det opp mot 50-60 mm/dag (Figur 8). Gjennom hele perioden fra 16. juni til 5. juli er døgnmiddeltemperaturen høyere enn 2 grader, og det er kun en dag hvor smeltingen ikke overskrider 5mm /dag. I 8 av de 20 dagene kom det nedbør. Mest nedbør kom det 17. juni med 7,9 mm (fra senorge v.2.0.) Nedbøren er trukket fra snømagasinet i forkant av analysen. Figur 9 viser smelteraten plottet opp mot lufttemperaturen, og som figuren viser er det først ved temperaturstigningen i starten av juli at smelteraten øker til over 30 mm/døgn.




**Figur 8. Daglig smelterate fra stasjonen på Vikafjellet. Nedbør er vist i samme akse, mens utviklingen i snøens vannekvivalent er vist i y-aksen.**




**Figur 9. Daglig smelterate på Vikafjellet våren 2015. Nedbør er vist i samme akse, mens lufttemperaturen er vist i y-aksen.**

**Tabell 7. Persentil-, gjennomsnitt- og maksverdier for beregnet Cx fra Vikafjellet, våren 2015**

| | Samlet sett | Uten nedbør | Med nedbør |
|---|---|---|---|
| **Median** | 3,9 | 3,3 | 4,5 |
| **Gjennomsnitt** | 4,1 | 3,5 | 4,9 |
| **75 % persentil** | 5,0 | 4,4 | 5,5 |
| **90 % persentil** | 6,0 | 5,2 | 7,1 |
| **Maks-verdier** | 8,4 | 5,9 | 8,4 |

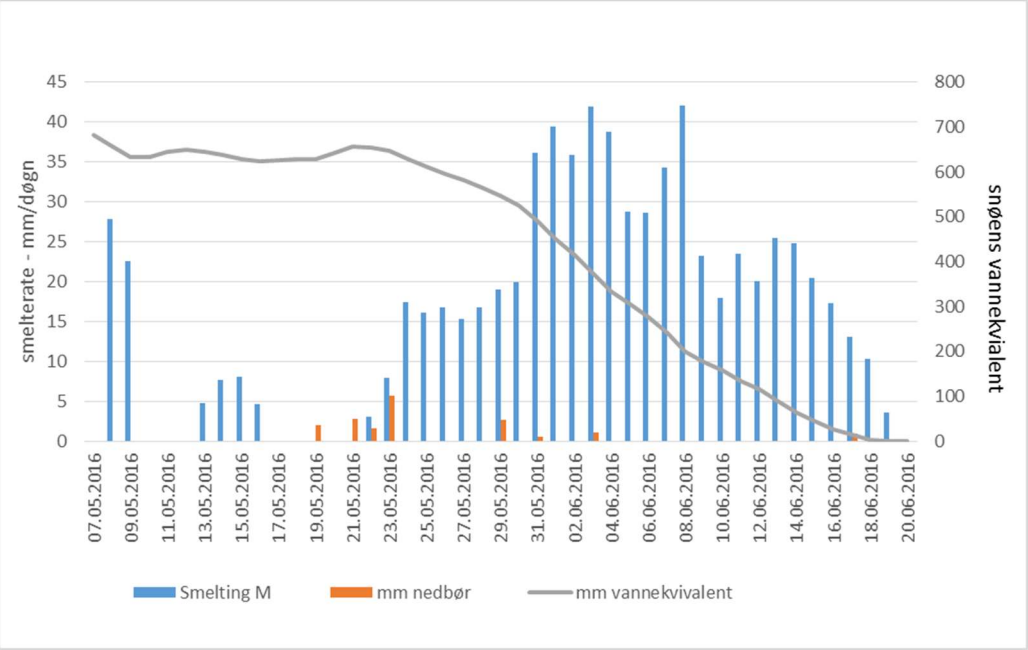
I likhet med analysen for Sognefjellet er det både beregnet en **graddagsfaktor** for hele perioden og en graddagsfaktor for dager med regn og en graddagsfaktor for nedbørfrie dager. Det er tatt utgangspunkt i den reelle smelteraten, det vil si beregnet smelting fra snøputen fratrukket nedbøren som kom som regn. Om det har vært minusgrader er nedbøren lagt til som snø. Slik Tabell 7 viser er graddagsfaktoren høyere for dager med nedbør enn for dager uten nedbør.

## 3.2 Våren 2016

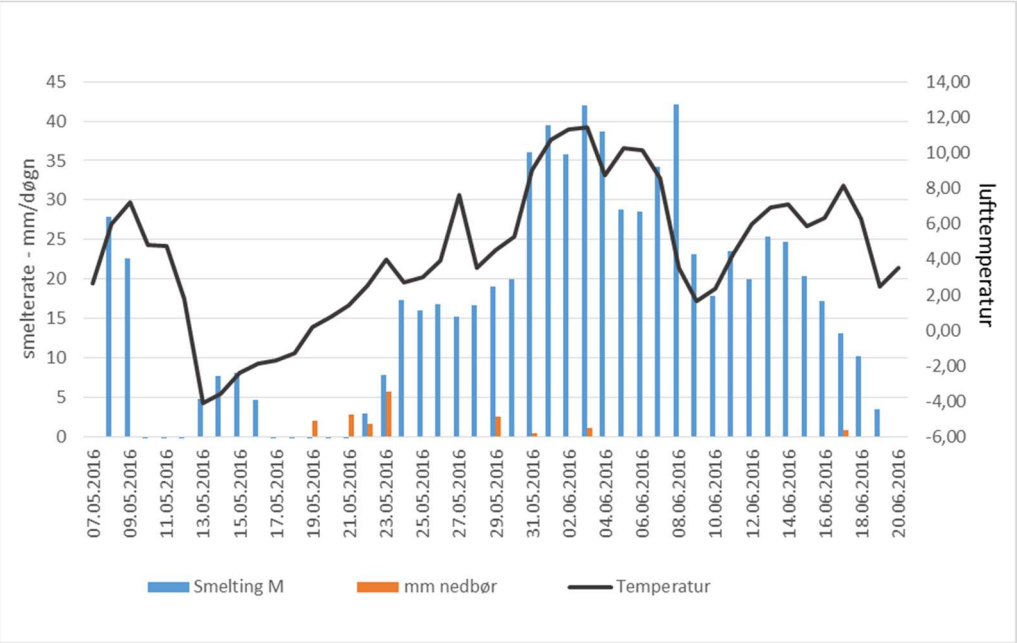
Vinteren 2016 var langt fra så nedbørrik som vinteren året før og snøen smeltet stort sett vekk på et tidligere tidspunkt enn våren 2015. I slutten av mai og utover i juni 2016 var det kun snøputen på Sognefjellet som hadde snø igjen av snøstasjonene. 24. mai var det likevel fremdeles 650 mm igjen på snøputen på Sognefjellet.

I 11 av de 44 aktuelle dagene er temperaturen for lav (mindre enn 2 grader). I 7 av dagene kom det nedbør, men nedbørmengdene var maksimalt 5,7 mm. Frem til rundt 23. mai var

det forholdsvis lite smelting og få endringer i snøens vannekvivalent (Figur 10). Et par dager med smelting i begynnelsen av mai ble avløst av en periode med kuldegrader og redusert smelting. Fra 22. – 23. mai økte temperaturen (Figur 11) og smeltingen eskalerte. Slik som Figur 10 viser smeltet det på det mest intensive opp mot 40 mm per dag, mest intensiv var smeltingen i starten av juni. I gjennomsnitt i perioden 24. mai til 20. juni smeltet det 24 mm/dag.




**Figur 10. Daglig smelterate fra stasjonen på Sognefjellet, våren 2016. Nedbør er vist i samme akse, mens utviklingen i snøens vannekvivalent er vist i y-aksen.**




**Figur 11. Daglig smelterate på Sognefjellet våren 2016. Nedbør er vist i samme akse, mens lufttemperaturen er vist i y-aksen.**

**Tabell 8: Persentil- og gjennomsnittverdier for beregnet CX fra Sognefjellet, våren 2016. Merk at datagrunnlaget for «med nedbør» er begrenset til fem verdier.**

| | Samlet sett | Uten nedbør | Med nedbør |
|---|---|---|---|
| **Median** | 3,7 | 3,7 | 3,7 |
| **Gjennomsnitt** | 4,3 | 4,3 | 3,1 |
| **75 % persentil** | 4,5 | 4,7 | 4,0 |
| **90 % persentil** | 6,8 | 6,3 | 4,1 |
| **Maks-verdier** | 12,0 | 12,0 | 4,2 |

**Graddagsfaktoren** er beregnet både for hele perioden, og for dager med og uten nedbør. Det er tatt utgangspunkt i den reelle smelteraten, det vil si beregnet smelting fra snøputen fratrukket nedbøren som kom som regn. Om det har vært minusgrader er nedbøren lagt til som snø. Slik Tabell 8 viser er graddagsfaktoren høyere for dager uten nedbør enn for dager med nedbør, men merk at det bare er fem datapunkt som ligger til grunn for beregningene «med nedbør».

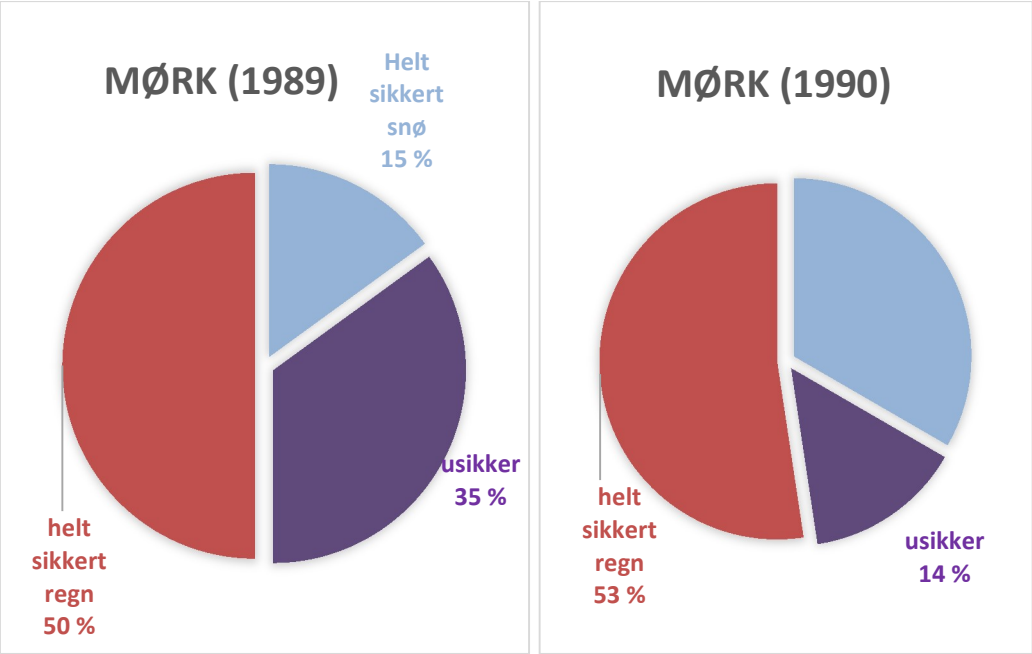
## 3.3 Fosen

### Januar 1932

I 26. – 27. januar 1932 ble Fosen rammet av en stor flom som skyldes både regn og snøsmelting. Frem til januar 2006 var det den største observerte flommen på vannføringsstasjonen Øyungen. Mørk (1989) og Mørk (1990) analyserte data fra flommen i 1932 og forsøkte å skille bidraget fra regn og snøsmelting. Estimatene til Mørk (1989 og 1990) er basert på nedbørdata og hydrologiske modeller for å skille nedbør og snøsmeltingens bidrag.

Ved å ta utgangspunkt i en CX på 3 mm/°C /dag mener Mørk (1989) at han med sikkerhet kan si at minst 15 % av avrenningen på flomdagen skyltes snøsmelting. Både fordi det vanskelig går opp at 85% av avrenningen skyldtes nedbør basert på nedbørmålinger og det faktum at det ble observert høye temperaturer og mye vind tyder på at en andel snøsmelting og derav en høyere graddagsfaktor ikke er utenkelig. Ved hjelp av noen enkle energibalansebetrakninger fant Mørk (1989) ut at CX burde være tre ganger så stor. En CX på 10 mm/°C /dag ga, ifølge Mørk (1989) langt bedre modellresultat, og det var således ikke utenkelig at CX kunne være så stor. Mørk (1989) hevdet derfor at CX 27. januar 1932 kunne ha vært 10,5 mm/°C /dag, etterfulgt av 9 mm/°C /dag dagen etter.

I Mørk (1990) er data fra flommen i 1932 reanalysert, og ved hjelp av bedre meteorologiske data og nye energibalanseberegninger har Mørk laget et nytt estimat av fordelingen mellom regn og snøsmelting under flommen i 1932 (Figur 12). Gitt effektiv nedbør på ca. 200 mm, hevder Mørk (1990) at snøsmeltingen utgjorde 70 – 100 mm. På de varmeste dagene var det 6,5 - 7,5°C i døgnmiddel i feltets middelhøyde, og Mørk (1990) beregner derfor CX til å kanskje være så høyt som 12-15 mm/°C /døgn. Han påpeker også at hele feltet neppe var snødekket.




**Figur 12. Smeltebidrag under Fosen-flommen 1932 fra regn, snø og det usikre bidraget fra Mørk (1989) og Mørk (1990). Mørk har både tatt utgangspunkt i estimert avrenning (127 mm/døgn) og effektiv nedbør (205 mm/døgn) i sine beregninger (Mørk, 1989 og Mørk, 1990)**

I Figur 12 er de ulike andelene i Mørk(1989) og Mørk (1990) forsøkt illustrert. Merk at Mørk (1989) benytter både estimert avrenning (127 mm/døgn) og effektiv nedbør (205 mm) i sine regnestykker, men den prosentmessige fordelingen er lik.

## Januar 2006

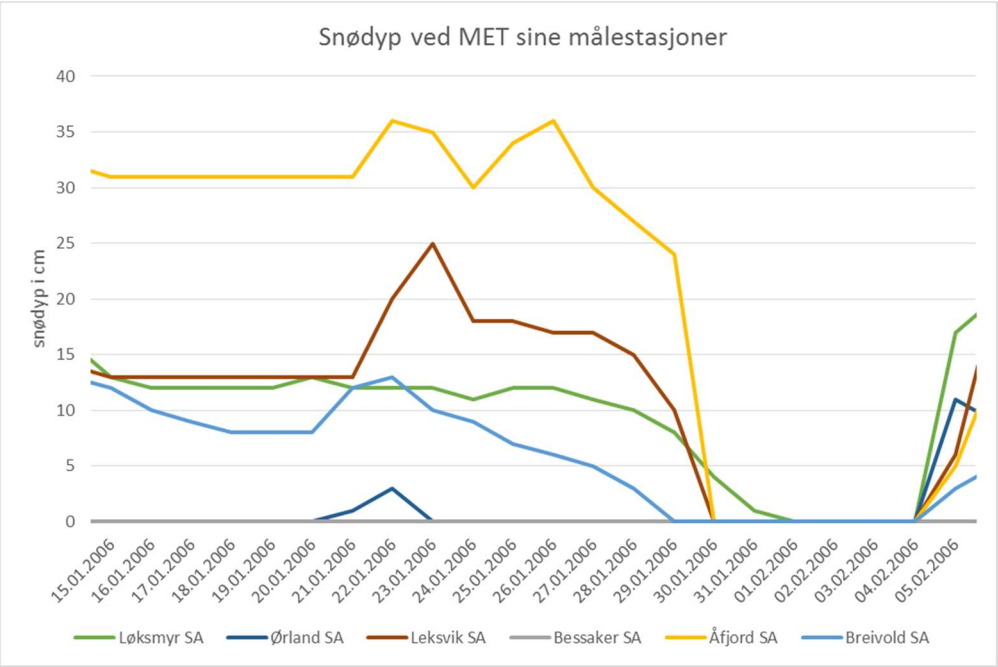
I Januar 2006 ble deler av Trøndelag, inkludert Fosen rammet av nok en stor flom. Ved vannføringsstasjonen Øyungen var flommen i 2006 større enn 1932. Flommen i 2006 skyldes i hovedsak mye nedbør som regn, men det er likevel interessant å se hva som smeltet av snø under hendelsen. NVEs snøstasjon på Svarttjørnbekken (se kart i Figur 2) hadde i 2006 to snøputer. En stor pute med metall lokk og en mindre pute av typen NVE1997 (se Ree m.fl. 2011 for detaljer om instrumentene). Ved den store puten er det knapt endring i registret vannekvivalent, og fra 26. januar til 2. februar er det kun 11 mm som smelter fra puten. Den andre puten har vist seg å fungere dårlig, både som følge av tekniske utfordringer (Ree m. fl. 2011) og som følge av det generelt er utfordrende å få snøputer til å fungere godt i skiftende vinterklima (Tveit, 1971, Ree m.fl. 2011). Selv om vannekvivalenten ved puten tilsynelatende ble redusert med 110 mm fra 26. januar til 2. februar er ikke det data som kan antas å være troverdige. Slike dropp av samme størrelsesorden har vi sett også ved andre stasjoner, og kan skyldes trykkavlastning og spritdiffusjon mer enn reel smelting (Ree m.fl, 2011). Per 2006 var det ikke snødypsensor på denne stasjonen.

På MET siden snødypsensorer på Fosenhalvøya var det variabelt med snø i den aktuelle perioden (Figur 13). Ved stasjonen Åfjord-Momyr (280 moh, se Figur 2) sank snødypet fra 27 cm 28. januar til 24 cm 29. januar til å være helt snøfritt 30. januar. Ved målestasjonen Leksvik (Figur 2), 138 moh, sank snødypet fra 15 cm 28. januar til 10 cm

29. januar til å være helt snøfritt 30. januar. Lufttemperaturen ved NVEs sin vannføringsstasjon på Krinsvatn, 89 moh (Figur 2), var rundt 5 grader 29. januar.

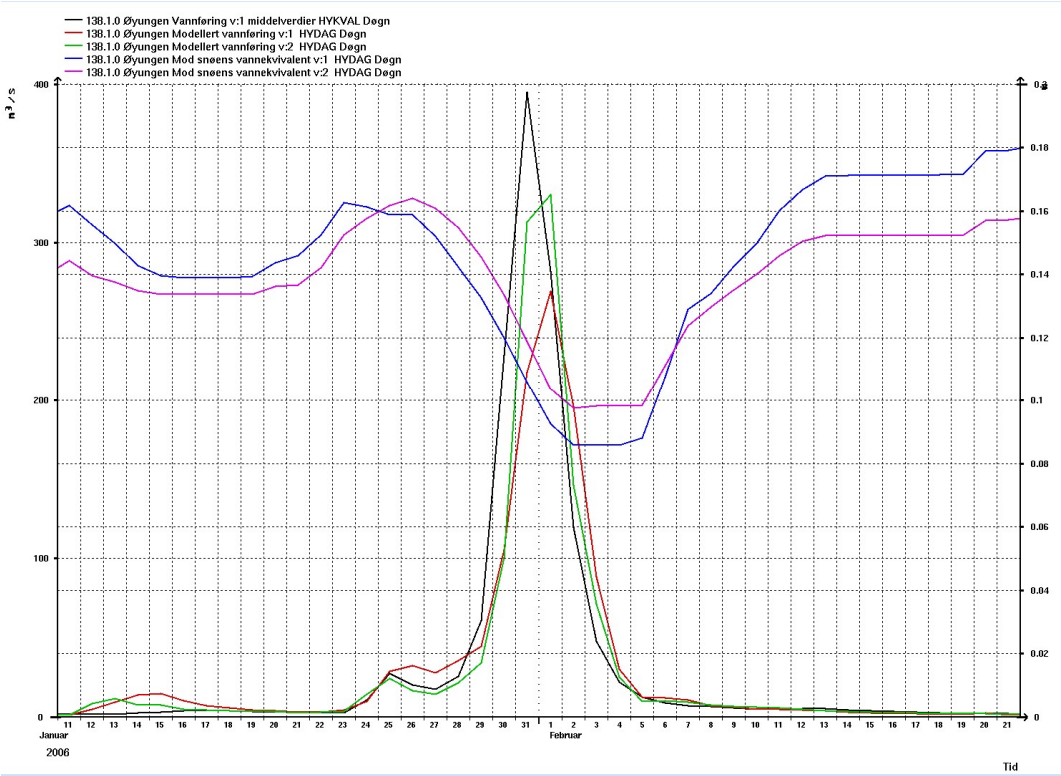
Dessverre har vi intet mål på snøens tetthet i den perioden, hverken fra manuelle målinger eller fra snøputene (siden vi ved snøputene per da ikke målte snødyp). Basert på kontrollmålinger foretatt på Svarttjørnbekken i februar samme år, og i februar og januar årene etter, er det ikke utenkelig at tettheten til snø på Fosen i januar kan være rundt 300 kg/m$^3$. Basert på det kan vi tenke oss at et estimat på vannekvivalenten på for eksempel Åfjord-Momyr 29. januar *kan* være 80 mm, mens det *kan* ha vært 30 mm på Leksvik. Gitt at alt dette forsvant fra 29. januar til 30. januar, *kan* vi ta kanskje tenke oss at det maksimalt smeltet opp mot 80 mm den dagen. Gitt lufttemperaturen på Krinsvatn er det trolig, med ulike forbehold, at graddagsfaktoren var mellom 6 og 15 mm/°C/dag også ved denne flomhendelsen på Fosen. Merk at antagelsene blant annet har forbehold om usikkerheten i estimeringen av snøens tetthet, representativiteten til snømålestasjonene, overførbarhetene mellom tettheten på Svarttjørnbekken (284 moh) øst for Trondheim og stasjonene på Fosen (138 og 280 moh), målt lufttemperatur ved vannføringsstasjonen Krinsvatn (89 moh) m.m. Ikke minst så vil det være av betydning hvor stor del av nedbørfeltene som var snødekket.

Mørk (1989) og Mørk (1990) hevder at modellverdiene blir underestimert dersom han benytter den «vanlige» graddagsfaktoren på 3 mm/°C/dag, og det igjen er en indikasjon på at CX var langt høyere under flommen i 1932. Modellresultater fra HBV-modellen viser at flomtoppen på Øyungen januar 2006 blir kun snaue 70% av observert flomtopp ved bruk av versjon 1 og 85 % av observert flomtopp ved bruk av versjon 2 (Figur 14). Dette inkluderer bruk av den CX som brukes operasjonelt i Øyungenmodellen (varierer mellom 3,23 og 3,94 avhengig av vegetasjonsklasse). Det er i generelt sett, ikke uvanlig at flomtoppene underestimeres (Ruan og Langsholt, 2017).




**Figur 13. Utviklingen i snødyp ved MET sine målestasjoner på Fosen januar 2006**

I de syv dagene forutfor flomtoppen reduseres snømagasinet i HBV-modellen med henholdsvis 73 og 66 mm, som gir et snitt på rundt 10 mm/dag. Modellert lufttemperatur var mellom 3 og 5°C i perioden. Det er jo nærliggende å tenke seg at med en høyere CX ville en fått smeltet ut mer snø og således kanskje truffet flomtoppen bedre, men versjon 2 treffer i utgangspunktet flomtoppen forholdsvis godt. Det er selvsagt også mange andre årsaker til at en modell underestimerer flomtoppen, og underestimert nedbør kan være en av årsakene.




**Figur 14. Modellert vannføring (t.v.) og snømengde (t.h) ved Øyungen januar 2006. Sort kurve viser observert vannføring. I HBV v1, rød vannføringskurve og blå snøkurve, er inndata til modellen (nedbør og temperatur) én gjennomsnittsverdi for hele nedbørfeltet, basert på gridverdiene fra seNorge, versjon 1. I HBV v2 (grønn og rosa kurve) er inndata til modellen (nedbør og temperatur) én gjennomsnittsverdi for hver av de 10 høydesonene i nedbørfeltet, basert på gridverdiene fra seNorge, versjon 2.**

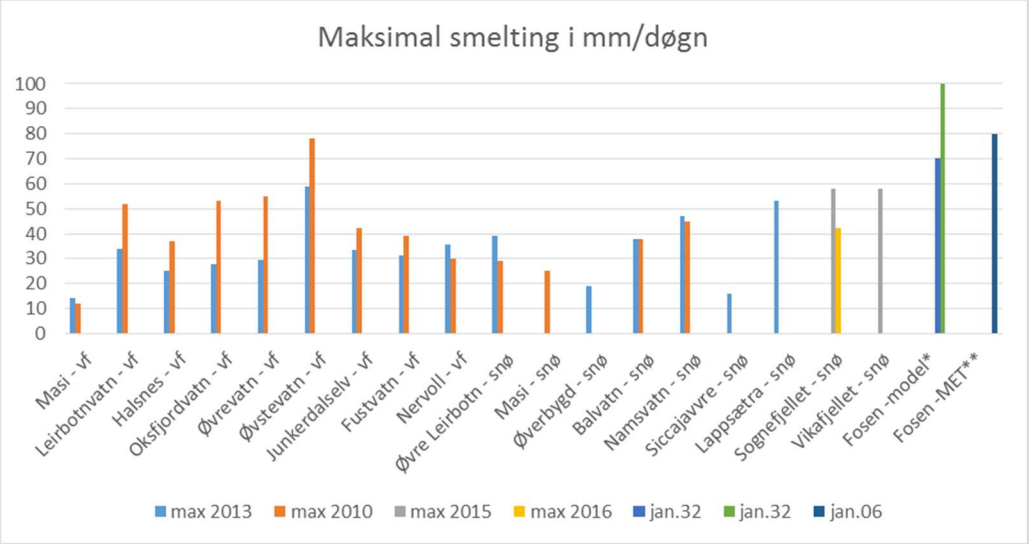
# 4. Oppsummering

Basert på de ulike hendelsene kan vi oppsummere med at dersom man utelukkende ser på smelting avledet fra vannføringsdata er smelting på 20 – 40 mm/døgn, opp mot 50 - 60 mm/døgn som maksimal smelting slett ikke utenkelig. Snøsmelting på opp mot 80 mm/døgn har forekommet (Figur 15). Data fra snøstasjonene våre viser at det ikke er utenkelig at det smelter 20 – 60 mm/døgn under vårsmeltingen, men at det er variasjoner.

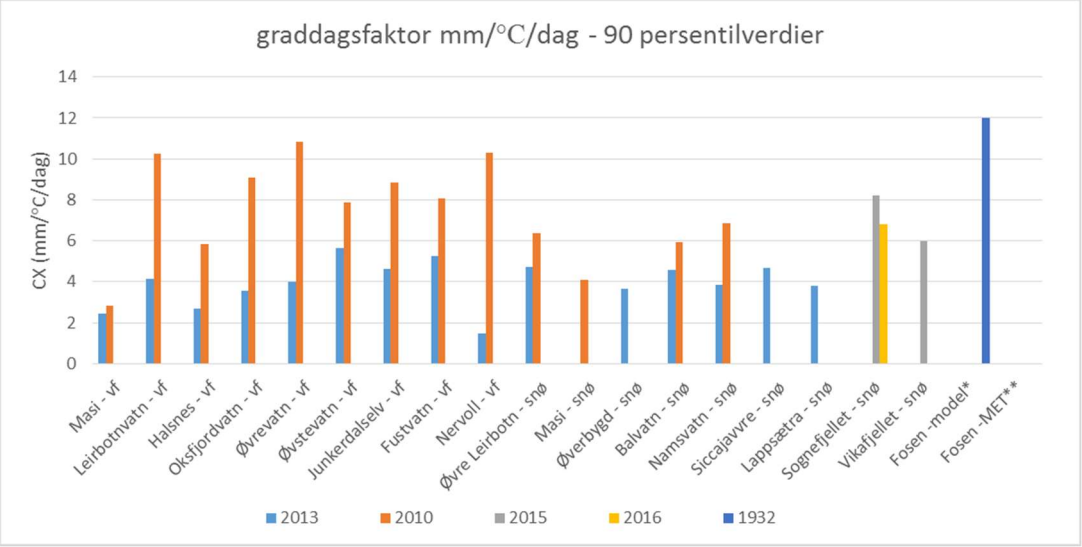
Når det gjelder gradddagsfaktorer er det her tatt utgangspunkt i 90 –persentilen av datasettene, i hovedsak for å minimere effekten av potensielle outliere. Data fra vannføringsstasjonene viser at det kan forventes at graddagsfaktoren vil være opp mot 4-10 mm/°C/dag, mens data fra snøstasjonene i Nord-Norge viser noe i underkant av dette (4-6 mm/°C/dag), se Figur 16. For mange av vannføringsstasjonene modelleres flomtoppen mer riktig når en høyere CX benyttes. Dette indikerer at det kan være fornuftig å benytte en høyere CX under store snøsmelteflommer. Data fra de to snøstasjonene i Sør-Norge som er inkludert i analysen viser at det kan ventes graddagsfaktorer på 6-8 mm/°C/dag.

Modellberegninger av Mørk (Mørk, 1989 og Mørk, 1990) viser at det under store flommer på Fosen halvøya i Trøndelag, kan ha smeltet opp mot 70-100 mm/døgn og det kan ha vært graddagsfaktorer på 6-12 mm/°C/dag, trolig som følge av mye vind og høy luftfuktighet. Modellberegninger fra Nord-Norge i mai 2010 viser også at med tre ganger så høy graddagsfaktor, så estimeres flomtoppene bedre.

En mer detaljert fremstilling av maksimale verdier samt persentilverdier finnes i vedlegg 1. I Tabell 9 er funnene fra denne rapporten sammenstilt med andre studier, Mørk (1989 og 1990), Saloranta (2014) og Midttømme m.fl (2011).




**Figur 15. Maksimal smelting fra de ulike stasjonene. * og ** er estimerte verdier.**




**Figur 16. Graddagsfaktor for de ulike stasjonene. Det er 90-persentilverdier som er vist. * og ** er estimerte verdier.**

**Tabell 9. Graddagsfaktor (mm/°C/dag ) fra de ulike studiene**

| | Samlet | Snaufjell | Noe skog | Tett skog |
|---|---|---|---|---|
| **Fra denne analysen - 90 persentiler** | | | | |
| Vannføringsstasjoner - uten nedbør | 7,0 | 8,0 | 6,8 | |
| Snøstasjoner - uten nedbør – Nord-Norge | 5,3 | 4,1 | 5,6 | |
| Snøstasjoner - uten nedbør – Sør-Norge | 6,2 | 6,2 | | |
| Snøstasjoner - uten nedbør – alle stasjoner | 5,6 | 6,2 | 5,6 | |
| Snøstasjoner - **med** nedbør –Sør-Norge | 8,2 | 8,2 | | |
| | | | | |
| **Saloranta (2014[6]) (90-persentiler)** | | | | |
| Alle snøstasjoner - med og uten nedbør | | 7,1 | 5,2 | |
| | | | | |
| **Mørk (1989 og 1990) - maksverdi** | | | | |
| Vannføringsstasjoner - **med** nedbør | | | 12-15 | |
| | | | | |
| **Midttømme m.fl. (2011)** | | | | |
| Uten nedbør | | 2,5 | 2,0 | 1,5 |
| **Med** nedbør | | 5,0 | 4,0 | 3,0 |

[6] R-scriptene benyttet i Saloranta (2014) er rekjørt med fokus på 90-persentiler, og ikke 99-persentiler og figurer som er omtalt i Saloranta (2014).

# 5. Diskusjon

I denne studien er det tatt utgangspunkt i data fra vannføringsstasjoner under to relativt store snøsmelteflommer, det er tatt utgangspunkt i snødata fra stasjoner i samme flomperiode, samt data fra to snøstasjoner i Sør-Norge under år hvor snøsmeltingen ikke nødvendigvis førte til stor flom, men var intens nok. Tidligere analyserte data fra Fosenhalvøya (Mørk 1989, Mørk 1990) er også inkludert.

**Om datasettet**

Det er flere åpenbare forskjeller mellom de ulike årene og de ulike stasjonene som er benyttet i analysen.

Flommene i Nord-Norge i 2010 og 2013 er eksempler på rene snøsmeltingsflommer som mange steder var ekstreme. Snøsmeltingen i Sør-Norge årene 2015 og 2016 resulterte knapt i noen vårflom sammenliknet med hendelsene i Nord-Norge noen år tidligere. Under snøsmeltingen våren 2015 kom det imidlertid noe nedbør, slik at vi kan regne på graddagsfaktorer med og uten nedbør.

Fosenflommene i 1932 og 2006 er begge ekstreme vinterflommer med en stor andel regn. Verdiene fra 1932-flommen er basert på modellsimuleringer og energibalanse-betraktninger utført av Mørk i 1989 og 1990. Mørk resonnerer seg frem til hva som kan være reel CX og underbygger det med observasjoner av vær og vind. Under flommen i 2006 har vi heller ingen direkte mål på snøsmeltingen, men diskuterer litt rundt hva snøsmeltingen kunne vært.

**Er data fra Sør-Norge og Nord-Norge sammenliknbare?**

I Troms og Finnmark i midten av mai er det mer eller mindre lys døgnet rundt, mens nedbørsfeltene sørover i Nordland har noen timer med «tussmørke» midt på natten (kilde: www.timeanddate.no). På Vikafjellet vil en også kunne forvente noen timer med tussmørke, men ikke fullstendig nattemørke i juni. På Sognefjellet i juni og juli kan en også forvente at dagen er omtrent 18 – 19 t lang med noen timers tussmørke midt på natten. Det er med andre ord kun noen timer som skiller lengden på dagen i Nord-Norge i mai (20 – 21 t) og i Sør-Norge i juni-juli (18-19 t). Det er ukjent hvor mye en time fra eller til med dagslys vil ha på snøsmeltingen, men grovt sett kan nok beliggenheten og tid på året jevne hverandre litt ut, slik at data blir mer eller mindre sammenliknbare. Det kan også tenkes at lufttemperaturen fanger opp noe av forskjellen i daglengde. Til sammenlikning er en dag i Trondheim i januar 6 t lang.

Sammenliknet med lengden på dagen er det nok av langt større betydning at flommene i Nord-Norge (og på Fosen) er ekstreme hendelser, mens det mest ekstreme med snøsmeltingen i Sør-Norge våren og sommeren 2015 var at snøsmeltingen kom sent i gang. Hverken snøsmeltingen i 2015 eller 2016 førte til større flommer.

**Forskjeller mellom CX beregnet fra vannføringsstasjon og fra snøpute**

En snøpute representerer kun et punkt i et nedbørfelt og gir således kun informasjon om det punktet. Å beregne graddagsfaktor og smelting fra vannføringsstasjonene gir informasjon om hvordan forholdene har vært i et større område. Ulempen med sistnevnte er at andre faktorer, som for eksempel demping i innsjøer og magasiner, avrenning fra grunn- og markvann m.m. også kan påvirke analysen. Fordelen med å se på data fra et nedbørfelt er at flere ulike områder dekkes av analysen, for eksempel skog kontra fjellområder. Der snøputen og vannføringsstasjonen er lokalisert i nærhetene av hverandre, skulle en i utgangspunktet forvente at den CX en beregner fra vannførings-stasjonene er mindre enn CX beregnet fra snøputene siden vannføringsstasjonene representerer et større område. Både på Masi, Øvre Leirbotn/Leirbotnvatn, til en viss grad Øverbygd og Øvrevatn, og Balvatn og Junkerdalselv er snøputen og vannføringsstasjonen lokalisert relativt nære hverandre.

For Masi er CX fra snøputen høyere enn CX fra vannføringsstasjonen, men det blir ikke helt riktig å sammenlikne disse verdiene med hverandre siden snøputen var fri for snø forut for flommen i 2010. Vannføringsverdiene og verdiene fra puten inntreffer således ikke i samme tidsrom, men med en drøy ukes mellomrom. I 2013 var snøputen defekt. For Øverbygd og Øvrevatn er det også slik at snøputen var fri for snø på et tidligere tidspunkt enn flomtoppen og verdiene er således ikke sammenliknbare. Snøputen har kun data fra 2013, og ligger betydelig lavere (85 moh) enn middelhøyden til Øvrevatn (564 moh) noe som kan forklare hvorfor den ble snøfri på et tidligere tidspunkt.

For Øvre Leirbotn/ Leirbotnvatn er CX fra snøputen høyere enn CX fra vannføringsstasjonen i 2013, men i 2010 er det motsatt. Årsaken til at det er motsatt ved vannføringsstasjonen i 2010 kan være sammensatt, men ulik snødekningsgrad i feltet de ulike årene, ulike hydrogeologiske forhold (som mark- og grunnvann og tele) samt et lite dambrudd i en sideelv kan ha medvirket til at smelteratene og CX fra vannføringsstasjonen ble større i 2010 enn i 2013. Satellittbilder fra xgeo.no/seNorge.no viser at snødekningsgraden holdt seg høy gjennom hele flomforløpet i 2010, og siden største delen av feltet således bidro til avrenning gjennom hele flommen kan det være med å forklare hvorfor smelteratene fra vannføringsstasjonen var høyere i 2010 enn i 2013. I tillegg viser simuleringer at grunnvannstanden var «svært høy» i 2010, men bare «høy» i 2013 (kilde: xgeo.no). De simulerte tele-kartene i xgeo viser at det i 2010 var tele over hele feltet, mens det i 2013 bare var delvis tele/grunn tele ved inngangen til flommen. Dette er nærmere omtalt i Langsholt m.f.l (2015).

Smelteratene for vannføringsstasjonen i Junkerdalselv og snøputen på Balvatn, som ligger lenger nord, er stort sett samsvarende, mens graddagsfaktoren er høyere for vannføringsstasjonen i 2010 enn for snøputen. I 2013 er de mer eller mindre like store.

**Modellerte verdier vs observerte verdier**

Både i Mørk sine analyser (Mørk, 1989 og 1990) og i denne analysen indikeres det at graddagsfaktorene som benyttes i de hydrologiske modellene kan være for lave til å «ta

toppene» under ekstreme snøsmelteflommer. Mørk (1989 og 1990) antydet at graddagsfaktoren måtte være tre ganger så stor som vanlig for at modellene skulle modellere riktig flomtopp på Fosen under 1932-flommen, og at CX på 10 mm/°C/døgn slett ikke var utenkelig. Tidligere i denne analysen ble det også spekulert i om økt graddagsfaktor for Øyungenmodellen ville gitt et bedre modellresultat under Fosen-flommen i 2006. Flommen i 2006 var i utgangspunktet en regnflom hvor det kom godt over 200 mm nedbør på 3 dager. Ved snømålestasjonen Åfjord-Momyr, smeltet all snøen (25 cm) vekk på en dag, men det er ikke gitt at det er representativt for større områder. På de mest intense flomdagene var vannføringen, omregnet til mm/døgn, henholdsvis 82 – 142 og 101 mm /døgn, mens observert nedbør de samme dagene var 66 – 125 -86 mm (inngangsverdi i modellene). Gitt at differansen mellom disse kan skyldes snøsmelting smeltet det i 15-20 mm hver dag, som ikke nødvendigvis er ekstremt høyt.

For stasjonene i Nord-Norge under flommen i 2010 og 2013 var imidlertid snøsmelting en særdeles viktig faktor, og tidligere i denne analysen er det vist at smelting på mellom 30 og 70 mm/døgn har forekommet. Så intens smelting er vanskelig for modellene å fange opp. I avsnitt 2.1.2 i denne analysen vises det til at modellert vannføring ved flere målestasjoner i Nord-Norge våren 2010 er altfor lav sammenliknet med observert flomtopp. Re-kjøring av modellene med 90-persentilverdien for CX funnet tidligere i denne analysen gir en langt bedre simulert flomtopp (se vedlegg 4). Dette kan indikere at for å modellere de ekstreme snøsmelteflommene korrekt, må en benytte en høyere graddagsfaktor. Graddagsfaktoren skal også ta høyde for andre faktorer som ekstra høy luftfuktighet og ulike varmeflukser, som ofte er ekstra høye under større snøsmelteflommer. En annen faktor som kan påvirke modellkjøringene for stasjonene i Nord-Norge er at Lussana m.fl (2017) viser at det er mulig at nedbøren underestimeres for nedbørfeltene i nord. Det er imidlertid ikke gjort forsøk i denne analysen på å ta hensyn til det.

**Sammenlikning med andre studier**

Deler av dette arbeidet er også beskrevet i **Langsholt m.fl. (2015),** men det er noen ulikheter mellom det som beskrives i Langsholt m.fl. (2015) og det som er presentert her. I Langsholt presenteres graddagsfraktoren, CX, som et resultat av temperaturen en dag og smelting påfølgende dag. Langsholt m.fl. (2015) viser til at det er det som gir mest samsvar med observert smelting. For eksempel viser data fra Sognefjellet i 2015 at det er påfallende at høy temperatur en dag medfører høyere smelting i dagene etter, siden temperaturen faller ned mot 2-3°C i døgnmiddeltemperatur mens det fremdeles smelter godt over 20 mm/døgnet. Der snøsmelting beregnes fra vannføringsdata kan det også virke mer fysisk forankret å beregne graddagsfaktoren med et døgns forsinkelse. Likevel er det i denne rapporten tatt utgangspunkt i smelting og temperatur fra samme dag.

I Langsholt m.fl (2015) ble median- og maksimalverdier for graddagsfaktoren oppgitt, mens det her er presentert persentilverdier (90-persentil). Årsaken til at vi her presenterer 90-persentilverdier er for å minimere konsekvensen av eventuelle outliere sammenliknet med bruk av maksimale verdier. For å få et estimat på et verst tenkelig utfall er det valgt å benytte persetilverdier istedenfor medianverdier.

**Saloranta (2014)** analyserte smelting fra flere snøstasjoner (snøputer) og fant at medianverdien til 3356 daglige smelterater fra ~30 snøstasjoner var 15 mm/døgn, mens maksimalverdien var 65 mm/døgn. 99 persentilen til Saloranta (2014) er 45 mm/døgn

som for så vidt sammenfaller med snøstasjonene i Sør-Norge i denne analysen (Sognefjellet og Vikafjellet). Ved å kombinere smelting fra snøstasjonene med griddede temperaturdata fra seNorge beregner han også graddagsfaktoren CX, hvor medianen er 3,8 mm/°C/døgn og 90-persentilen 7,1 mm/°C /døgn for snaufjell og tilsvarende tall for skog er henholdsvis 2,9 og 5,2 mm/°C /døgn. Merk at Saloranta (2014) ikke skiller på dager med og uten nedbør.

**Midttømme m. fl. (2011**) legger føringer på hvilke graddagsfaktorer en skal legge til grunn i flomberegninger og deler inn i perioder med og uten nedbør, samt i ulike vegetasjonsklasser; 'tett skog', 'noe skog', snaufjell' og 'bre' (Tabell 10).

Når det gjelder snøstasjonene i Nord-Norge i denne studien kan 5 av stasjonene sies å ligge i kategorien «noe skog», mens tre av stasjonene ligger mer åpent til. Ved skogsstasjonene er 90-persentilverdien i gjennomsnitt 5,6 mm/°C /døgn, mens de «åpne stasjonene» hadde en CX på 4,1 mm/°C /døgn. Merk at dette er perioder uten nedbør. Det er maksimalt en av de tre «åpne» stasjonene i Nord-Norge som kan sies kan sies å være rene snaufjellsstasjoner.

**Tabell 10. Anbefalte graddagsfaktorer ved flomberegninger, fra Midttømme m.fl (2011).**

| | Tett skog | Noe skog | Snaufjell | Bre |
|---|---|---|---|---|
| Perioder uten nedbør | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,5 |
| Perioder med nedbør | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 7,0 |

Fra vannføringsstasjonene i denne analysen har snaufjellstasjoner en 90-persentil-CX på 8,0 mm/°C /døgn, mens stasjoner med større innslag av skog i denne analysen har en 90-persentilCX på 6,8 mm/°C /døgn.

Årsaken til at tallene i denne studien i mange tilfeller er høyere enn Midttømme m.fl. kan selvsagt relateres til at det her er presentert verdier for 90 –persentiler, som naturlig nok ligger høyere enn gjennomsnittet. Likefullt vil det kanskje gi et bedre estimat på påregnelig maksimal smelting om persentilverdier benyttes istedenfor middelverdier, siden begrepet tilsier at man er ute etter noe 'maksimalt'. Modellsimuleringene fra Nord-Norgeflommen i mai 2010 (vedlegg 4), viser at de ekstreme flommene kan simuleres bedre dersom høyere graddagsfaktor benyttes.

Tabellene i vedlegg 2 viser at høyeste målte smeltingen som er observert fra en vannføringsstasjon er 78 mm/døgn, mens det høyeste som er observert fra en snøstasjon er 53 mm/døgn. I mai 2010 ble det også observert graddagsfaktorer på opp mot 10 mm/°C/døgn fra en snøstasjon og dersom en legger vannføringsdata til grunn er det observer graddagsfaktor på 15 mm/°C/døgn. Sistnevnte stemmer også bra med hendelsen på Fosen i 1932 selv om det var nedbør på Fosen i '32, men ikke i Nord-Norge mai 2010. Smelting fra snøputen på Sognefjellet viser også at vi kan komme opp i verdier på 10 mm/°C/døgn under regnvær.

**Schlichting m.fl. (2016)** viser at det er varierende grad av korrelasjon mellom snømengdene og vårflomvolumet. Høyest korrelasjon er det mellom snømengdene og flommens volum og varighet, og det er høyere korrelasjon for innlandsvassdrag og vassdrag som drenerer fjellområdene enn for utpregete kystfelt. For flomtoppene er det jevnt over lavere korrelasjon mellom snømengde og flommens kulminasjon, noe hun

begrunner med at flomtoppen stort sett styres av hvor fort lufttemperaturer øker. For stasjonene i Nord-Norge finner hun korrelasjoner på 0,4 – 0,6 på vårflommens varighet og volum, men kun ned mot 0,1 når det gjelder flomtoppen. Hun ser på utvalgte felt og det er bare fem av vannføringsstasjonene i denne analysen som er inkludert i hennes analyse. Nervoll, Leirbotnvatn og Oksfjordvatn har korrelasjoner på 0-4 til 0,6 på varighet og volum, men Leirbotnvatn har ingen korrelasjon på flomtoppen. Fustvatn og Junkerdalselv har lav korrelasjon på alle tre flomvariable.

Blant de felles stasjonene i Schlichting m.fl. (2016) og denne analysen virker det ikke nødvendigvis som om det er en entydig sammenheng mellom snømengde og vårflom. Junkerdalselv er i utgangspunkt et innlandsfelt og en hadde da kunnet forvente en høy korrelasjon mellom snøvolum og vårflom. Manglende korrelasjon kan kanskje skyldes at det i flere sesonger har vært utfordrende å få modellert snømengdene riktig i området (Schlichtings studier er basert på modellverdier av snø). Oksfjordvatn og Leirbotnvatn er mer kystfelt og her skulle en derfor forvente lavere korrelasjon, men høy korrelasjon kan selvsagt skylles at nedbørfeltene drenerer høyfjell opp mot 1300 moh (Oksfjordvatn), en relativt stor snaufjellandel samt at de er innsjørike. I Stenius m.fl (2014) vises det til at det i ytre strøk av Troms og Nordland stort sett er kombinasjonsflommer som dominerer, noe som således derfor er gjeldende for Oksfjordvatn, mens indre strøk skal være mer preget av smelteflommer. For Finnmark er vårflommer dominerende, noe som for så vidt sammenfaller bra med at Leirbotnvatn sine flommer er godt korrelert med snømengde.

I vassdrag hvor regnflommene hovedsakelig er dominerende (se Stenius m.fl., 2014), vil det spille mindre rolle hvilke graddagsfaktorer som ligger til grunn for eventuelle flomberegninger, da regnflommene trolig vil være større. I innlandsvassdrag som domineres av vårflommer vil det være av avgjørende betydning å benytte riktige graddagsfaktorer i flomberegninger, og ser vi nedbørfelt hvor en kombinasjon av regnflommer og snøsmelteflommer er dominerende vil det også være av avgjørende betydning hvilken graddagsfaktor som benyttes. Ved å benytte en for lav graddagsfaktor kan for eksempel den påregnelige maksimale snøsmelteflommen bli for lav slik at en muligens feilaktig vil konkludere med at regnflommer er dominerende i nedbørfeltet. For rene snøsmeltefelt vil samme scenario føre til for lavt beregnede flommer.

**Saloranta (2016)** tar utgangspunkt i energibalanseberegninger fra Saloranta & Skaugen (2015) og beregner snøsmelting som funksjon av døgn-gjennomsnitts lufttemperatur og vindhastighet, for to ulike breddegrader (60 og 70° N), tre datoer, samt ulike kombinasjoner av skydekke og relativ luftfuktighet (RH). Grafene til Saloranta (delvis gjengitt i vedlegg 3) gir en pekepinn på hvor stor snøsmelting som kan ventes ved gitte temperatur- og vindforhold. Under flommene i 2010 og 2013 var døgnmiddel-temperaturen flere steder rundt +10°C. Gitt 50% luftfuktighet, klarvær og vind på 3 m/s gir Salorantas graf en smelterate på ca 45 mm/dag. Ved høyere luftfuktighet (70 %) estimeres smeltingen til 55 mm/dag. 5 av de 13 stasjonene i Nord opplevde smelting på mer enn 40 mm/dag, mens 9 av de opplevde smelting på mer enn 30 mm/dag. Høyeste registrerte smelterate under flommene i 2010 og 2013 er over 70 mm/døgn, og gitt en døgnmiddeltemperatur på 10°C må det enten ha vært sterkere vind enn 6 m/s, eller mer skyet og høyere luftfuktighet. Med overskyet vær og 70 % luftfuktighet viser grafene til Saloranta at vindstyrken må ha vært opp mot 4 m/s for at de estimerte smelteratene skal komme opp mot de observerte.

I begynnelsen av juli 2015 var lufttemperaturen på Sognefjellet rundt +10°C i flere dager, mens vindhastigheten er målt til mellom 1 og 5 m/s. Gitt klarvær og luftfuktighet på 50 % skulle det gi en smelting på 40-60 mm/dag, noe som stemmer bra med det som er observert (Figur 7). Litt senere i juli samme år er det også intens smelting, med observerte smelterater på 30 – 50 mm. Da har lufttemperaturen sunket til rundt +6°C, mens det er lite vind (2 m/s). I denne perioden er det observert nedbør, så vi kan anta at det er overskyete forhold og luftfuktighet opp mot 100%. I følge beregningene til Saloranta skal det da smelte 45 mm, som stemmer bra med det som er observert. I månedsskiftet mai/juni året etter (Figur 11) er observert lufttemperatur rundt +9°C, i døgnlig middelvind er det observert 1-2 m/s og det er ikke observert nedbør. Altså kan det antas at det er skyfri himmel og en luftfuktighet på 50%. Figurene til Saloranta viser at det da kan smelte 30 – 40 mm/dag noe som stemmer bra med det som er observert. 8. juni 2016 dropper temperaturen til +2, mens vinder øker til 5 m/s. Observert smelting er 20 – 25 mm, mens estimert smelting fra grafene til Saloranta kan være mellom 10 og 20 mm/dag avhengig av skydekke og luftfuktighet.

Sammenlikningen mellom observerte smelterater og estimerte smelterater fra Saloranta (2016) for Sognefjellet viser at de estimerte smelteratene i mange tilfeller kan treffe bra, men informasjon om skydekke og luftfuktighet er avgjørende. For både stasjonene i Nord-Norge og for Sognefjellet er lufttemperaturen til tider rundt +10°C som er i ytterpunktet av hva grafene er beregnet for. Ved såpass høye temperaturer virker det også som om estimeringen er svært følsom for vindstyrke, luftfuktighet og skydekke. Om vi bare sitter på informasjonen om at det har vært/er meldt +10°C, kan estimert smelting variere mellom 30mm/dag (ved 1m/s, klarvær og 50% luftfuktighet) til over 100 mm/dag gitt mer vind, overskyet vær og høy luftfuktighet. Tidspunkt på året og breddegrad vil også være avgjørende.

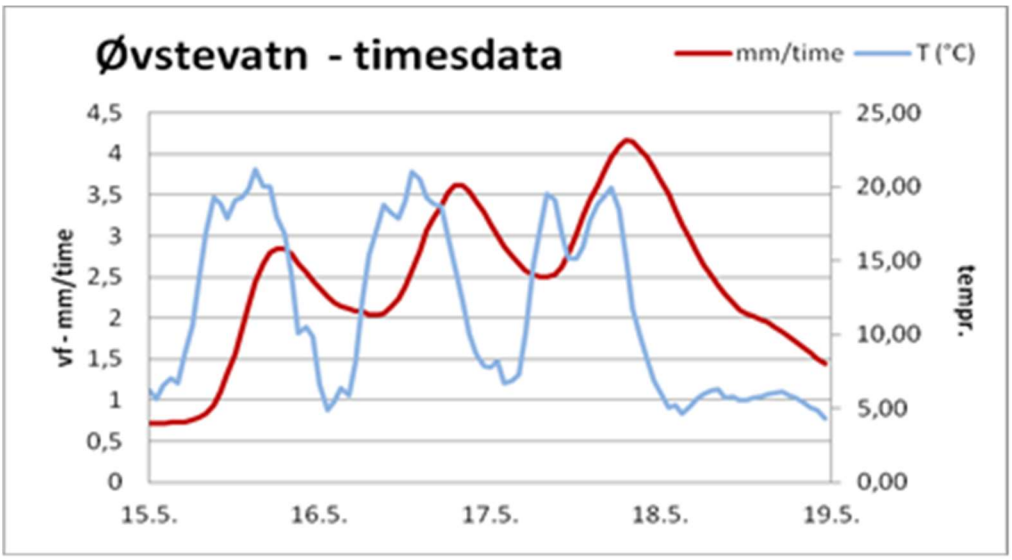
**Finere tidsoppløsning**

I denne rapporten er det ikke presentert data med finere tidsoppløsning enn 24 timer. Det er flere årsaker til det.

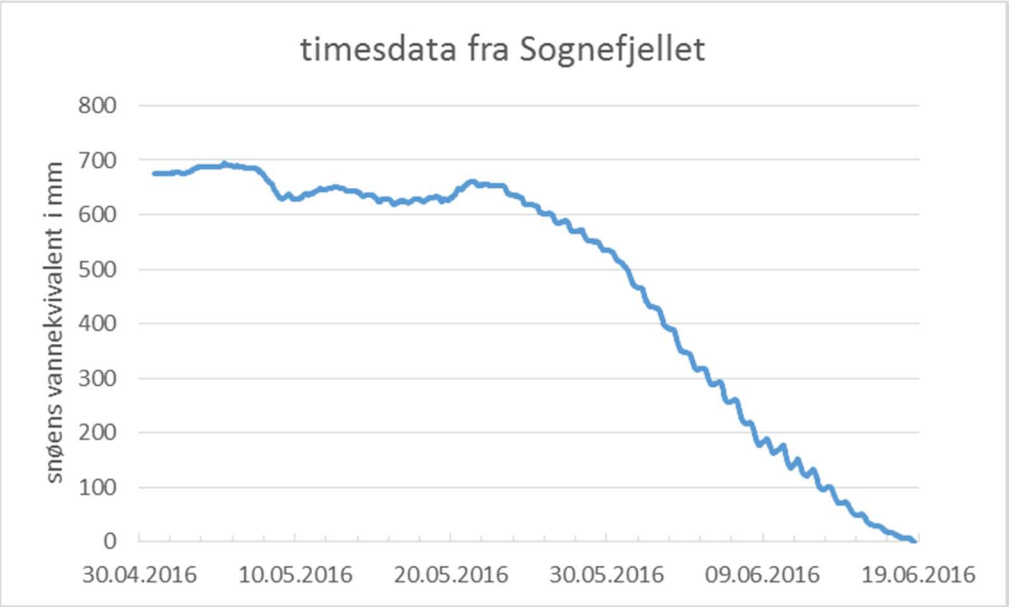
Data fra snøputene har ofte vist døgnlige variasjoner som ikke nødvendigvis kan relateres til smelting, men til interne prosesser i snøpakken/ frostvæsken (Figur 18). Om man ønsker å beregne timesmelting fra snøputene bør man derfor først minimere denne effekten, noe som kan være utfordrende. Å utføre beregninger på rådata som vist i Figur 18 vil gi en stor andel usikkerhet i beregningene. På stasjoner med gammasensorer registreres snøens vannekvivalent som 24 timers verdier, og timesdata blir følgelig vanskelig å beregne. I de tilfellene en eventuelt skulle trekke fra nedbør som regn i smelteperioden vil dette også være noe utfordrende da nedbørkartene i seNorge kun gir oss 3-timersverdier. Like fullt er analyse av timesdata noe som er etterspurt og som det kan være verdt å gjøre en ytterligere studie av.

For å få et best mulig estimat på snøsmeltingen i kortere tiddskritt kan man vurdere å se på data fra de ulike snøsmeltebrettene (lysimetrene) som NVE har i sitt nettverk. Disse er imidlertid i utgangspunktet plassert på urbanstasjoner, og vil således gi et bilde av smeltingen i lavereliggende, urbane områder (se Dalen m. fl, 2016). Det vil imidlertid kreves et større arbeid med å kvalitetskontrollere data fra disse (Ree, pers. kom).

For å beregne graddagsfaktorer for timesdata er man i i større grad nødt ta hensyn til en forsinkelse mellom observert temperatur og observert smelting. Figur 17 viser variasjonen i vannføring (rød kurve) og temperatur (blå kurve) ved vannførings-stasjonen på Øvstevatn. Av figuren kommer det relativt klart frem at vannføringen er på sitt høyeste noen timer etter at temperaturen har vært på det høyeste.




**Figur 17 Timesverdier for temperatur og vannføring som følge av snøsmelting ved vannføringsstasjonen Øvstevatn.**




**Figur 18. Snøsmelting fra Sognefjellet – timesdata. Et eksempel på at registeringene av snøens vannekvivalent vil variere gjennom døgnet.**

# 6. Referanser

**Dalen E., B. L. Ree, A. Vatne og F. Wenger (2016):** NVE sitt urbanstasjonsnettverk. NVE rapport 50/2016

**Holmqvist, E. (2010):** Flaumane i Midt-Noreg i mai og juni 2010, NVE dokument 12/2010

**Langsholt E., I. Haddeland, T. Skaugen, S. Beldring, E. Holmqvist og H. B. Stranden (2015):** Forbedring av flomvarslingas verktøy, NVE rapport 50/2015

**Lussana C., T. Saloranta, T. Skaugen, J. Magnusson, O. E. Tveito and J. Andersen (2017)**:. Evaluation og seNorge2, a conventional climatological datasets for snow- and hydrological modeling in Norway. Manuscript under review for journal Earth System Science Data

**Midttømme G. H. og Petterson L. E. (red. , 2011):** Retningslinjer for flomberegninger, NVE Retningslinjer nr. 4/2011

**Mørk G. (1989):** Effektiv nedbør og snøsmeltebidrag i noen store flomepisoder. NHL-Rapport STF60 A89058, ISBN 82-595-5590-5

**Mørk G. (1990).** Bidrag til flom fra regn og smelting. Rapport nr STF60 A90013. Norsk hydroteknisk laboratorium, Trondheim. 1999. 122 s.

**Petterson, L-E. (2010):** Flommen i Nord-Norge mai 2010, NVE dokument 8/2010

**Ree B. L (2016):** Personlig kommentar

**Ruan G. og E. Langsholt (2017):** Rekalibrering av flomvarslingeas HBV-modeller med inndata fra seNorge, versjon 2.0. NVE rapport nr 71/2017

**Schlichting L., K. Engeland, E. Holmqvist, H. B. Stranden (2016):** Connections between winter snowpack and subsequent spring floods in Norway. Abstract and poster, session HS 2.2.1, EGU 2016-13493.

**Stenius S., P. A. Glad, D. Wilson (2014):** Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie, Rapport nr 13-2014, Karakterisering av flomregimer. NVE rapport nr 13/2014

**Stranden, H. B. og M. Sund (2012):** Flom og skred i Nord-Norge mai 2013. NVE rapport 54/2013

**Saloranta, T. (2014):** New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway . NVE Rapport 6/14

**Saloranta T. (2016):** Snøsmelting som funksjon av vind og lufttemperatur. Internt notat,

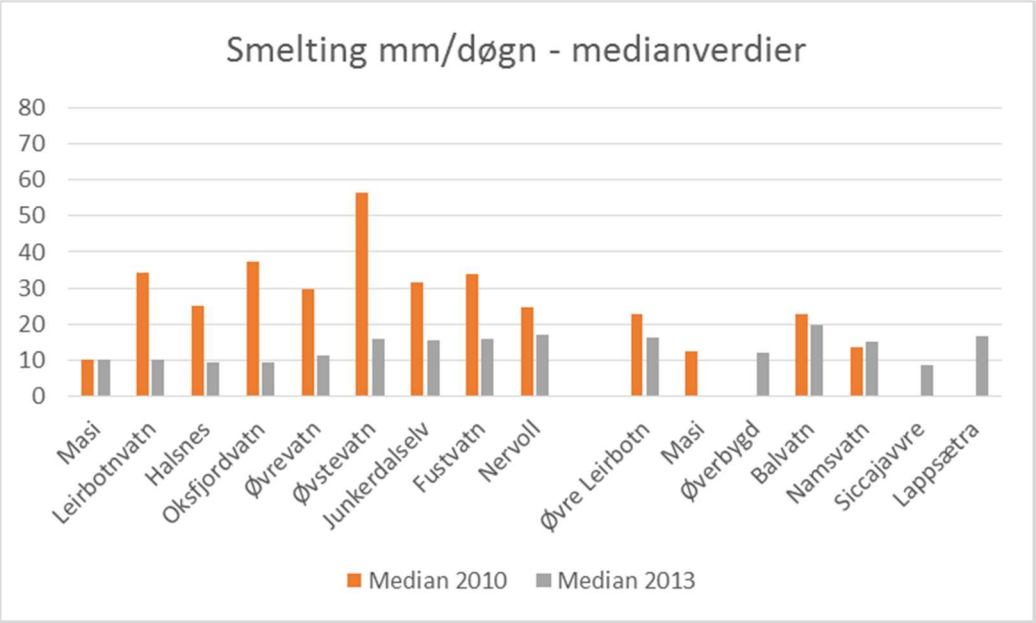
**Skaugen T. & T. Saloranta (2015):** Simplified energybalance snowmelt modelling. NVE rapport 31/2015

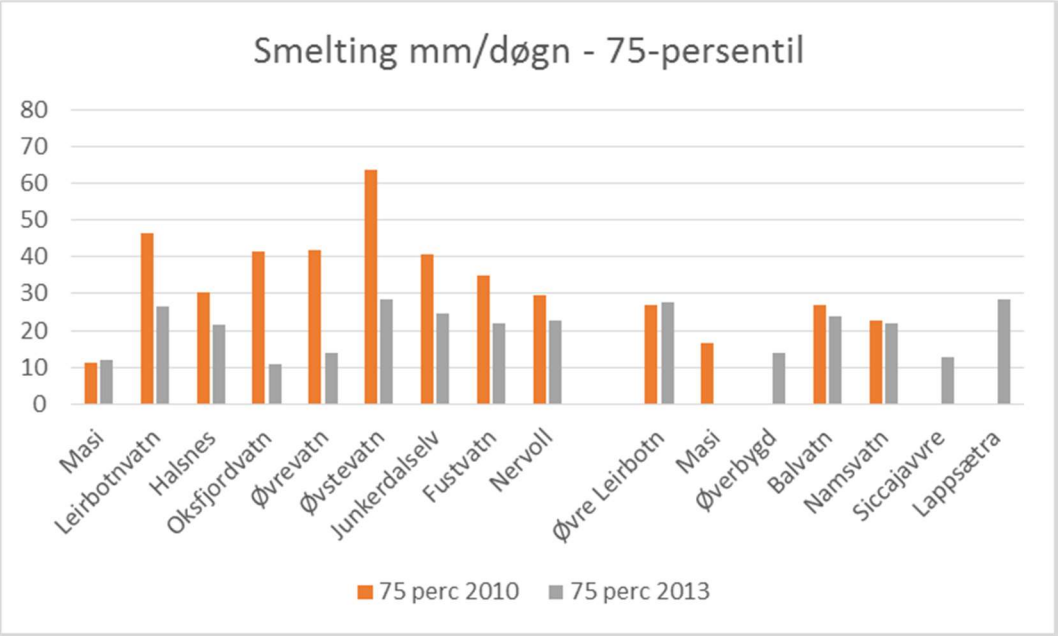
**Tveit J. (1971):** Temperatureffekter ved en snøpute. Snötaxering. Nordisk expertmöte, Lammi 21-23.31971. Nordic IHD Report No1 (1971)

# Vedlegg 1:

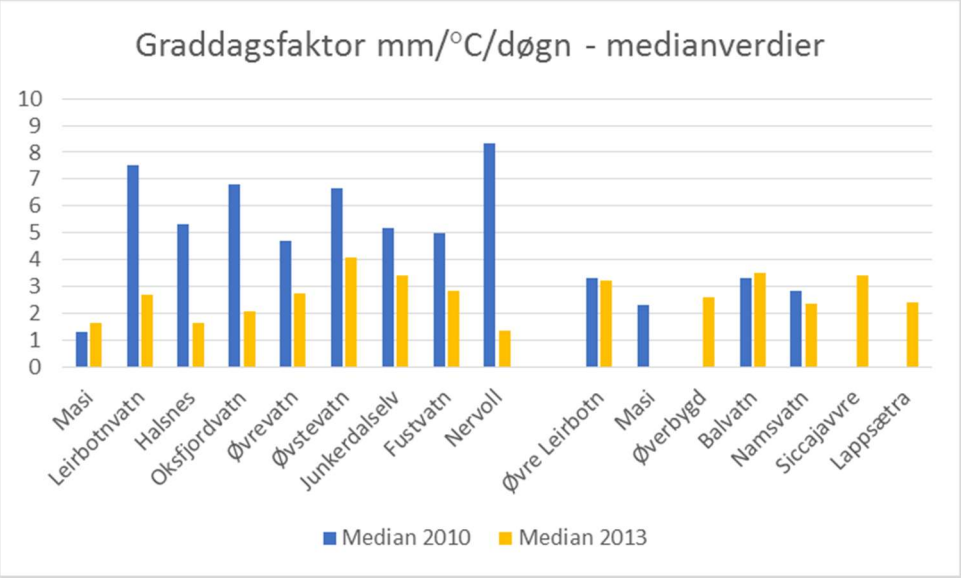
**Oversikt over median-, persentil og maksverdier under flommene i 2010 og 2013**

**75-persentil** verdier for **smelting i mm/dag**. De ni stasjonene til venstre i grafen er vannføringsstasjoner, mens de syv stasjonene til høyre i grafen er snøstasjoner.

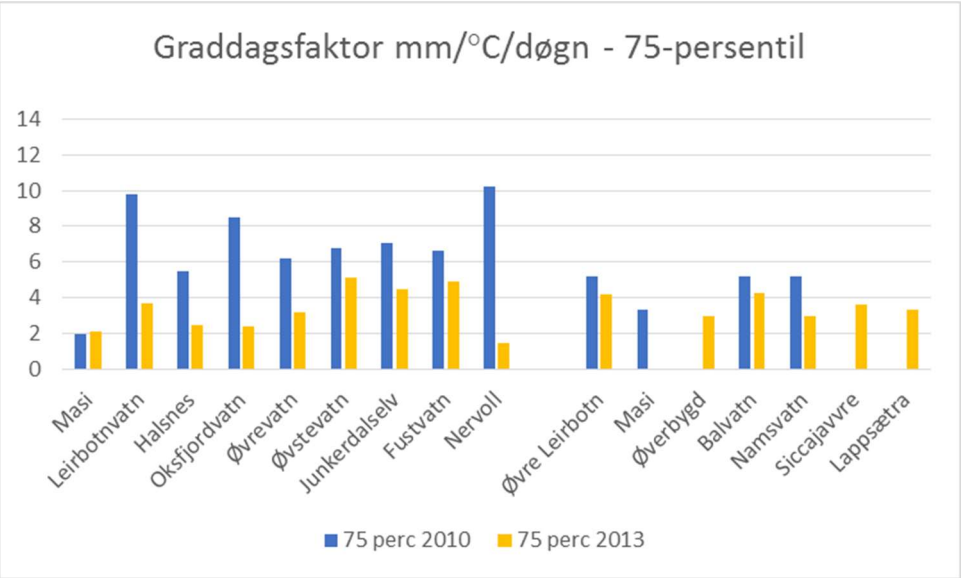


**Graddagsfaktorer -medianverdier**. De ni stasjonene til venstre i grafen er vannføringsstasjoner, mens de syv stasjonene til høyre i grafen er snøstasjoner.




**Graddagsfaktorer -75-persentilverdier.** De ni stasjonene til venstre i grafen er vannføringsstasjoner, mens de syv stasjonene til høyre i grafen er snøstasjoner.



# Vedlegg 2:

**Indekstall**

**Maksimale verdier**

| Smelteverdier - M | Høyeste observert | Hvor | Når |
|---|---|---|---|
| Snøsmelting - snøstasjon | 53 mm /døgn | Lappsetra, Nordland, 550 moh | Mai 2013 |
| Snøsmelting - vannføringsstasjon | 78 mm/døgn | Øvstevatn, Nordland, 276 moh | Mai 2010 |

| Graddagsfaktoren -CX | Høyeste observert | Hvor | Når |
|---|---|---|---|
| Uten nedbør- snøstasjon | 9,6 mm/°C/døgn | Balvatn, Nordland, 578 moh | Mai 2010 |
| Uten nedbør - vannføringsstasjon | 15,3 mm/°C/døgn | Øvrevatn, Troms, 10 moh | Mai 2010 |
| Med nedbør - snøstasjon | 10,5 mm/°C/døgn | Sognefjellet, Oppland 1429 moh | Juli 2015 |
| Med nedbør - vannføringsstasjon | 12 -15 mm/°C/dag | Øyungen[7], Nord-Trøndelag, 110 moh | Januar 1932 |

[7] Estimert fra modellberegninger, se Mørk (1989) og Mørk (1990)

**De høyeste 90-persentil-verdiene**

| Smelteverdier - M | 90-persentil | Hvor | Når |
|---|---|---|---|
| Snøsmelting - snøstasjon | 40 mm/døgn[8] | Lappsætra, Nordland, 550 moh | Mai 2013 |
| Snøsmelting - vannføringsstasjon | 72 mm/døgn | Øvstevatn, Nordland, 276 moh | Mai 2010 |

| Graddagsfaktoren -CX | 90-persentil | Hvor | Når |
|---|---|---|---|
| Uten nedbør- snøstasjon | 6,9 mm/°C/dag | Namsvatn, Nord-Trøndelag, 458 moh | Mai 2010 |
| Uten nedbør - vannføringsstasjon | 10,9 mm/°C/dag | Øvrevatn[9], Troms, 10 moh | Mai 2010 |
| Med nedbør - snøstasjon | 8,0 mm/°C/dag | Sognefjellet, Oppland 1429 moh | Juni/juli 2015 |
| Med nedbør - vannføringsstasjon | *12 -15 mm/°C/dag* | Øyungen[10], Nord Trøndelag, 110 moh | Januar 1932 (Mørk, 1990, Mørk 1989) |

[8] Flere andre stasjoner ligger også i leiet 30-40 mm/døgn
[9] Flere andre stasjoner ligger også i leiet 10-10,9 mm/°C/dag
[10] Estimert fra modellberegninger, se Mørk (1989) og Mørk (1990)

**Den høyeste 90-persentiler for ulike vegetasjonsklasser.**

I følgende tabell er kategoriene tatt fra Midttømme m.fl. (2011)

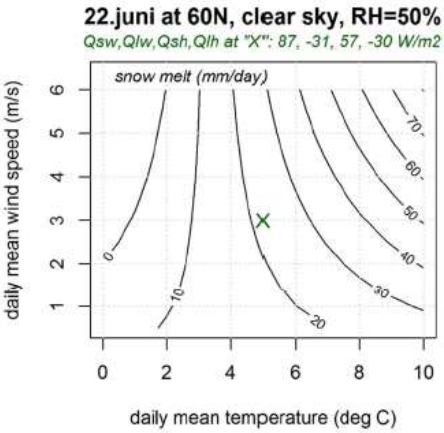
| **Den høyeste 90-persentilen** | **Tett skog**[11] | **Noe skog**[12] | **Snaufjell**[13] | **Bre** |
|---|---|---|---|---|
| Perioder uten nedbør | 6,9 mm/°C/dag, Namsvatn, mai 2010 | 10,9 mm/°C/dag Øvrevatn, mai 2010 | 10,3 mm/°C/dag Leirbotnvatn, mai 2010 | - |
| Perioder med nedbør | - | - | 9,3 mm/°C/dag – Sognefjellet, juli 2015 | - |

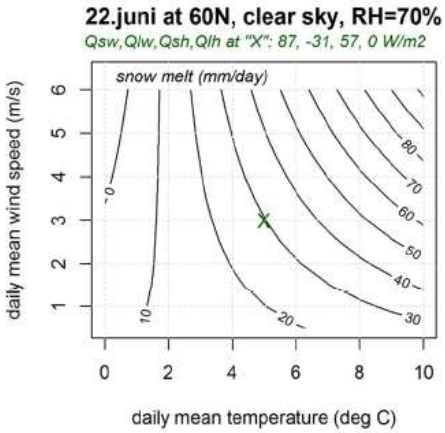
| **Alle stasjoners** | **Tett skog** | **Noe skog** | **Snaufjell** | **Bre** |
|---|---|---|---|---|
| Perioder uten nedbør | 6,9 mm/°C/dag | 6,0 mm/°C/dag | 6,2 mm/°C/dag | - |
| Perioder med nedbør | - | - | 8,2 mm/°C/dag | - |

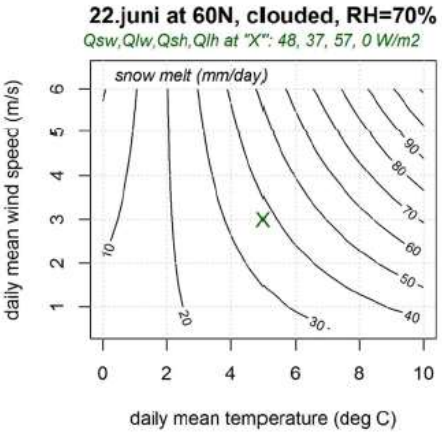
[11] Tett skog: snøputene på Namsvatn.
[12] Noe skog: Snøputene: Lappsætra, Siccajavvre, Balvatn, Masi, Øvre Leirbotn, og Øverbygd Vannføringsstasjonene Fustvatn, Nervoll, Øvstevatn, Øvrevatn, Masi.
[13] Snaufjell: Snøputene: Sognefjellet og Hestavollen. Vannføringsstasjonene som har mer enn 60 % snaufjell:, Leirbotnvatn, Halsnes, Oksfjordvatn, Junkerdalselv

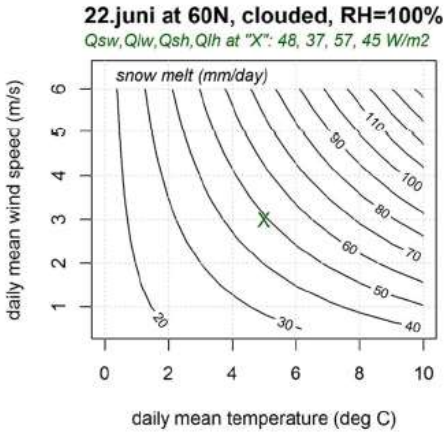
# Vedlegg 3.

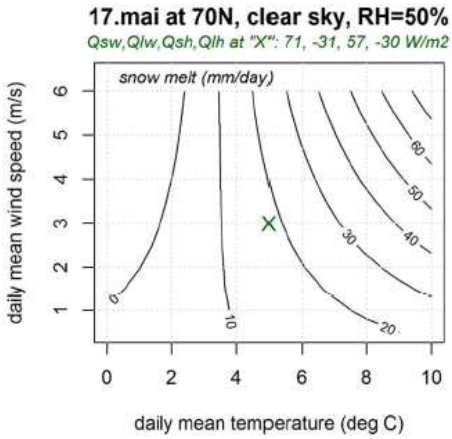
**Utdrag fra Saloranta (2016)**

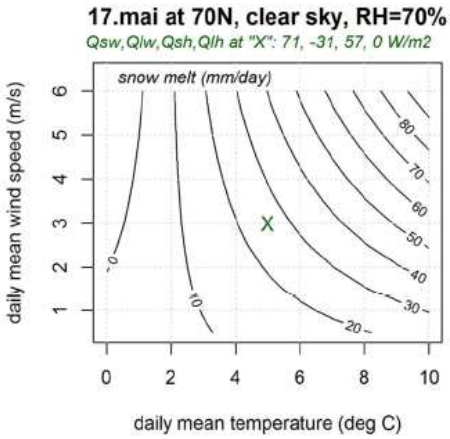


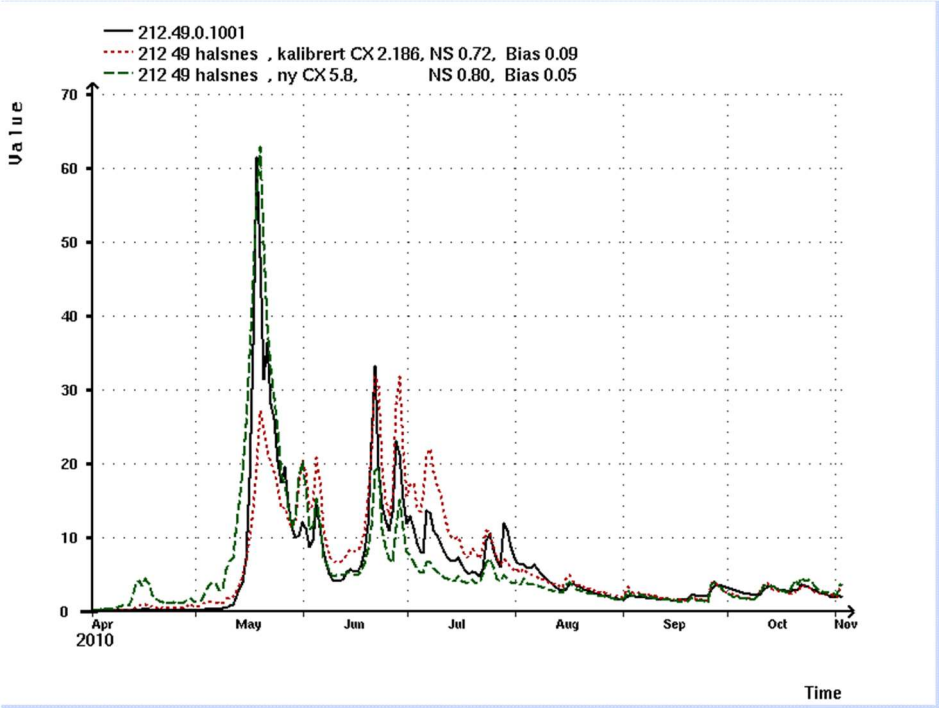



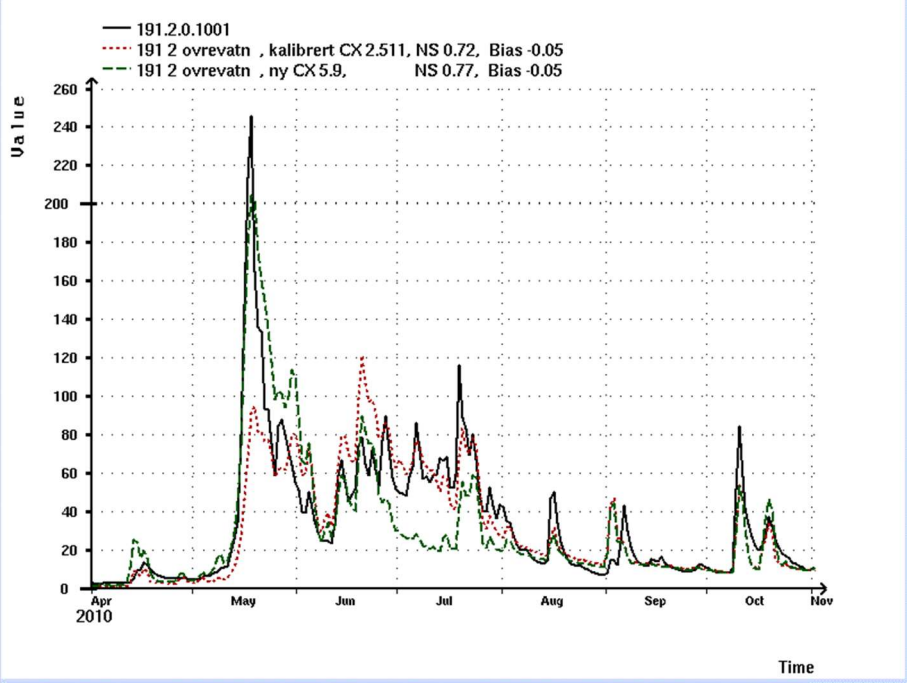
# Vedlegg 4.

Resultater av modellkjøring med observert graddagsfaktor fra 2010-flommen, Nord-Norge mai 2010. Alle modellkjøringer og plotting er utført av Gusong Ruan.

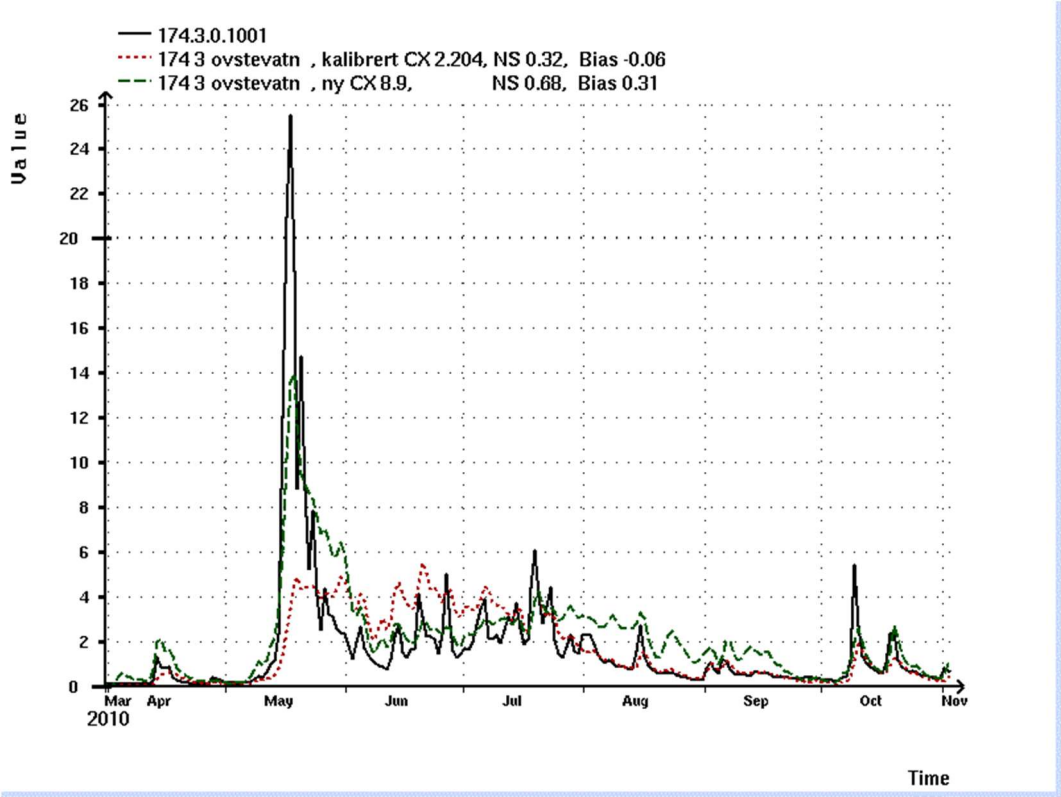
**212.49 Halsnes**



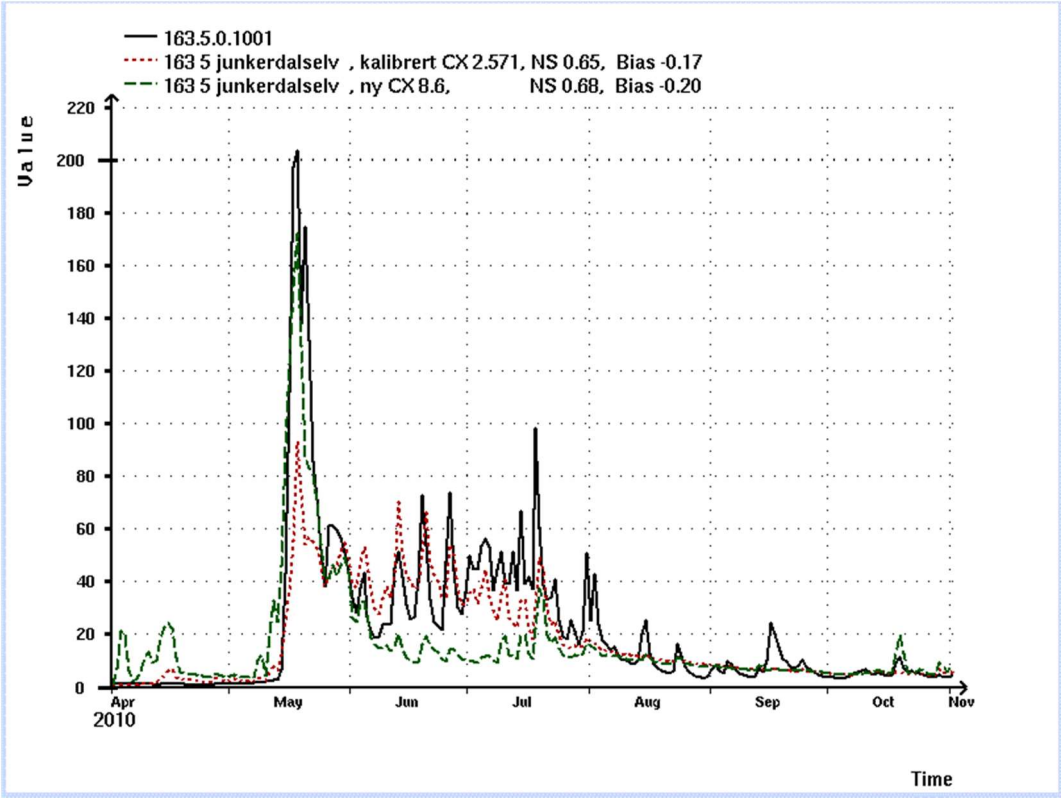

**191.2 Øvrevatn**



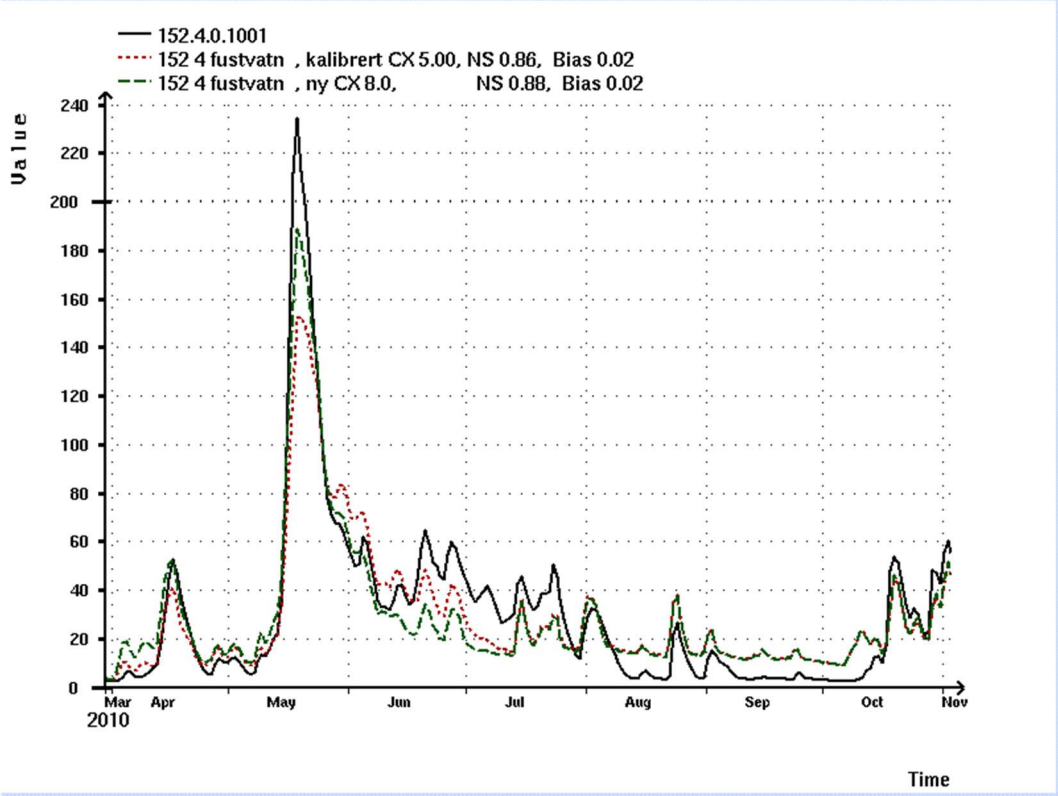
### 174.3 Øvstevatn



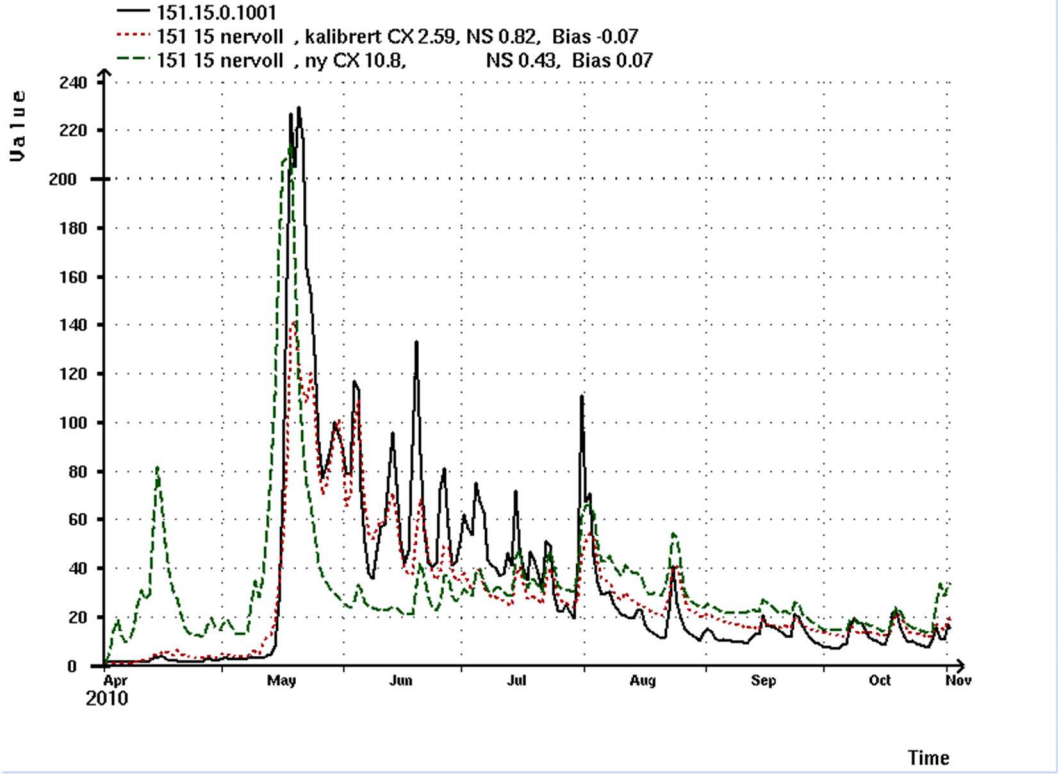

### 163.5 Junkerdalselv



## 152.4 Fustvatn




## 151.15 Nervoll



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no