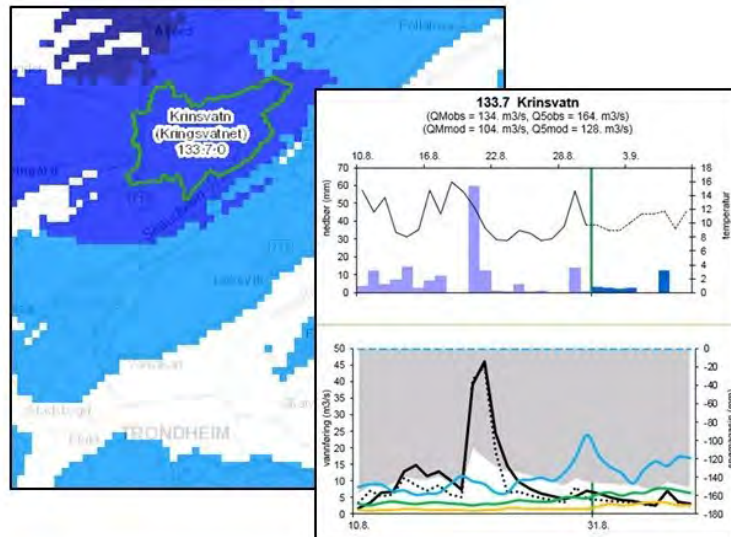




Rekalibrering av flomvarslingas HBV-modeller med inndata fra seNorge, versjon 2.0

Gusong Ruan og Elin Langsholt

71
2017



R
A
P
P
O
R
T

Rapport nr 71-2017

Rekalibrering av flomvarslingas HBV-modeller med inndata fra seNorge, versjon 2.0

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Gusong Ruan og Elin Langsholt

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 10

Forsidefoto:

ISBN 978-82-410-1624-0

ISSN 1501-2832

Sammendrag: Flomvarslingstjenestens HBV-modeller er recalibrert. Inndata til de recalibrerte modellene er gjennomsnittlig nedbør og temperatur for hver av 10 høydesoner i nedbørfeltet. Klimadataene leses fra seNorge-griddet, versjon 2.0, som ble tatt i bruk i 2016, og som gir et bedre bilde av nedbør- og temperaturvariasjonen med høyden enn versjon 1.1, som ble brukt tidligere. En forbedring av vannføringssimuleringene kan ses i de aller fleste modellfelt.

Emneord: HBV-modeller, flomvarsling, hydrologiske modeller kalibrering

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

September 2017

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1 Innledning	6
2 Metode	8
2.1 HBV-modellen	8
2.2 Inndata til modellen	9
2.3 Flomvarslingens modellfelt	12
2.4 Optimaliseringsmetode	13
2.5 Evaluering av modellresultatene	15
2.5.1 Nash-Sutcliffekoeffisienten	15
2.5.2 Taylordiagram	16
2.5.3 Volumavviket	17
3 Resultater	18
3.1 Vannføring	18
3.2 Snø	23
3.3 Fordampning	24
3.4 Energiprognoser	27
3.5 Andre produkter og verktøy	28
3.5.1 Sesongsenarioer	28
3.5.2 Salg av vannføringsprognoser	29
3.5.3 Tilstandskart	29
3.5.4 Manuelle modellkjøringer	29
3.5.5 Historisk prognoselager	29
3.5.6 Løpende modellevaluering	29
4 Drøfting	30
5 Konklusjon og videreutvikling	31
6 Referanser	32
7 Tillegg	33
7.1 Tabell med Nash-Sutcliffeverdier og volumavvik	33
7.2 Fil- og dataoversikt	36

Forord

Hydrologiske modeller er viktige beslutningsstøtteverktøy for NVEs flomvarslingstjeneste. Feltmodellene er tilpasset små og store nedbørfelt over hele landet, og beregner vannføringsprognoser for en 9-dagersperiode framover. Disse vannføringsprognosene danner grunnlaget for fastsettelsen av varslingsnivået som publiseres på varsom.no. HBV-modellenes prognoser framstilles også i form av prognosekart på varsom.no, i tillegg til at de anvendes i de ukentlige energiberegningene som estimerer potensiell vannkraftproduksjon, og i senarioene for utviklingen av snømagasin, vann i bakken og vannføring for kommende sesong. Når det skjer større endringer i inndatagrunnlaget til modellene, må de recalibreres. En slik større endring skjedde i 2016, da en ny versjon av seNorge-griddet, seNorge, versjon 2.0, kom på lufta. Recalibreringen har forbedret flomvarslingsmodellene i de aller fleste flomvarslingsfeltene. Flomvarslingen har dermed fått et bedre grunnlag for å kunne planlegge og ta hensiktsmessige forholdsregler i forkant av en flomsituasjon, slik at skader kan begrenses.

Oslo, september 2017



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Stein Beldring
seksjonssjef

Sammendrag

Flomvarslingstjenestens HBV-modeller er recalibrert. Inndata til de recalibrerte modellene er gjennomsnittlig nedbør og temperatur for hver av 10 høydesoner i nedbørfeltet. Klimadataene leses fra seNorge-griddet, versjon 2.0, som ble tatt i bruk i 2016, og som gir et bedre bilde av nedbør- og temperaturvariasjonen med høyden enn versjon 1.1, som ble brukt tidligere. Kalibreringsverktøyet er den automatiske parameterestimeringsrutinen PEST, med kvadratfeilen mht. vannføring og volum som objektfunksjon. Kalibreringsperioden er 2000-2014, og modellene er validert på perioden 1985 – 2000. Modellen brukes på 145 nedbørfelt spredt over hele landet. To regresjonsmodeller, som er basert på HBV-modeller, for Mjøsa og Kongsberg, er også oppgradert etter recalibreringen. Resultatene er sammenlignet med modellene som er kalibrert på seNorge, versjon 1.1. En forbedring av vannføringssimuleringene kan ses i de aller fleste modellfelt, ved at Nash-Sutcliffkoeffisienten har økt, punktsvermen i taylordiagrammet har en mer optimal plassering og energiprognosene validerer bedre. Det er kjørt modellsimuleringer for perioden 1958-2015, og resultatene er lagret i HYDRA II med parameternummer 60xx og versjonsnummer 2.

1 Innledning

NVE er ansvarlig for den nasjonale varslingstjenesten for naturfarer, som bl.a. omfatter flomvarsling. Et viktig beslutningsstøtteverktøy i flomvarslingstjenesten er de hydrologiske prognosemodellene. De bruker nedbør og temperatur som inndata og beregner vannføring og den hydrologiske tilstanden i et nedbørfelt. Modellene kjøres flere ganger om dagen, hver gang nye meteorologiske observasjoner eller prognoser blir tilgjengelige, for å gi oppdaterte hydrologiske prognoser. En viktig hydrologisk modell i flomvarslingstjenesten i Norge er en tilpasset versjon av den svenske HBV-modellen, utviklet ved Sveriges meteorologiske og hydrologiske institutt (Bergström, 1976). Den har vært i regulær bruk til flomvarsling i NVE siden 1989. Modellen er nå satt opp for 145 nedbørfelt, spredt over hele landet, med 24 timers tidskritt. Modellresultatene danner grunnlaget for prognosekartet for vannføring (www.varsom.no).

Flomvarslingstjenesten har som ambisjon å gi et godt grunnlag for å kunne planlegge og ta hensiktsmessige forholdsregler i forkant av en flomsituasjon, for å begrense skader. Under en flomsituasjon gir flomvarslingen berørte parter løpende informasjon om situasjonen og forventet utvikling. Men HBV-modellens simuleringer og vannføringsprognoser har også en bredere anvendelse. Ukentlig gjøres det energiberegninger på bakgrunn av klima, vannføring og snømagasin for å estimere potensiell vannkraftproduksjon. Det lages også ukentlige scenarier for utviklingen av snømagasin, vann i bakken og vannføring for kommende sesong. I tillegg inngår HBV-modellresultatene i flere av beslutningsstøtteverktøyene som er tilgjengelige for flomvarslerne.

HBV-modellen er en begrepsmessig modell, som må kalibreres. Det vil si at de parameterne i modellen som har en relativt løs fysisk forankring tilpasses det meteorologiske inndatagrunnlaget slik at den simulerte vannføringen passer best mulig til den observerte. I tillegg har modellen en rekke parametere som beskriver feltets fysiske karakteristika. Modellene må rekalibreres når det skjer større endringer i inndatagrunnlaget eller i de observerte vannføringene, f.eks. ved at nye vannføringskurver etableres eller nye år med data kommer til en kort tidsserie, eller dersom selve modellen eller den feltfysiske beskrivelsen endres.

I 2007 gikk man over fra å bruke stasjonsobservasjoner som inndata til å bruke et interpolert observasjonsgridd som dekker hele Norge med en romlig oppløsning på 1 km² og 24 timers temporal oppløsning, seNorge. Det dekker perioden 1957 til i dag + 9 dager framover. Dataene i historisk periode er beregnet ved romlig interpolasjon av alle tilgjengelige punktobservasjoner av henholdsvis nedbør og temperatur. Dataene i prognoseperioden er beregnet ved å bruke nedbør- og temperaturgridd fra værprognosemodellene, og nedskalere til 1 x 1 km². I 2007 ble det kalibrert 118 HBV-modeller, se Lawrence et al. 2009. Etter det har flere modellfelt kommet til og rekalibreringer er blitt kjørt flere ganger. Det er også satt opp to regresjonsmodeller, en for tilsiget til Mjøsa og en flommodell for Numedalslågen ved Kongsberg, som er basert på et utvalg nærliggende HBV-modeller. I 2016 ble det gjort en større endring i inndatagrunnlaget, og modellene ble på ny rekalibrert. En ny og bedre interpolasjonsmetode ble tatt i bruk ved beregning av seNorge-griddet, i tillegg til at tilgjengelige observasjonspunkter i Sverige og Finland ble inkludert, slik at de

interpolerte dataene i grenseområdene ble forbedret (Lussana et al. 2016). Det nye seNorge-griddet betegnes seNorge, versjon 2. Denne rapporten oppsummerer metodene og resultatene fra 2016-rekalibreringen av HBV-modellene. Resultatene viser at rekalkibreringen av HBV-modellene med inndata fra seNorge-griddet, versjon 2 har forbedret flomvarslingsmodellene for de aller fleste flomvarslingsfeltene.

2 Metode

2.1 HBV-modellen

HBV-modellen er en klassisk begrepsmessig nedbør-avløpsmodell. Den ble utviklet på 1970-tallet (Bergstrøm, 1976), tilpasset datidens begrensede datakapasitet. HBV-modellen har siden blitt videreutviklet og forbedret en rekke ganger, og i dag er mange versjoner av modellen tilgjengelig. Modellen som beskrives her er den såkalte «nordiske HBV-modellen» (Killingtonveit and Sælthun, 1995; Sælthun, 1996). En detaljert oversikt over den versjonen finnes beskrevet i refererte publikasjoner. Her gis en kort oversikt over modellen, se figur 1 for en illustrasjon.

Modellen kan klassifiseres som en semidistribuert modell. Nedbørfeltet er det hydrologiske grunnelementet, og dette er delt opp i et antall høydesoner og en håndfull arealbruksklasser i hver høydesone. Vannføringen beregnes ved utløpet av feltet, uten intern ruting mellom høydesoner eller i elvenettverket. Modellen har subrutiner for

- snømagasinet
- markvannssonen
- dynamisk grunnvannssone

I **snørutinen** beregnes snøakkumulering og smelting, separat for hver høydesone. Når snømagasinet overstiger en gitt terskel, fordeles ytterligere snø etter et lognormalt romlig mønster. Inndeling i snø eller regn og smelting eller frost bestemmes av terskeltemperaturer. Snøsmelting beregnes etter en enkel graddagsmodell. Snøens vannlagringskapasitet må overstiges før smeltevann renner ut av snøpakka. I kalde perioder vil vanninnholdet i snøen reduseres ved gjenfrysing, bestemt av en gjenfrysingskoeffisient. Beregningene gjøres individuelt for hver av snøfordelingsklassene, og på den måten simuleres et fragmentert snøfordelingsmønster under smelteperioden.

Markvannsrutinen regnes som særegen for HBV-modellen. Regn og smeltevann fordeles mellom markvannsmagasinet og den dynamiske delen av modellen. Fordelingen styres av markvannsinholdet. Vann kan også tilføres markvannssonen ved at det suges opp fra grunnvannssonen. Evapotranspirasjon beregnes som en funksjon av markvannsinholdet, og er den eneste prosessen som fjerner vann fra sonen. Evapotranspirasjonen beregnes slik:

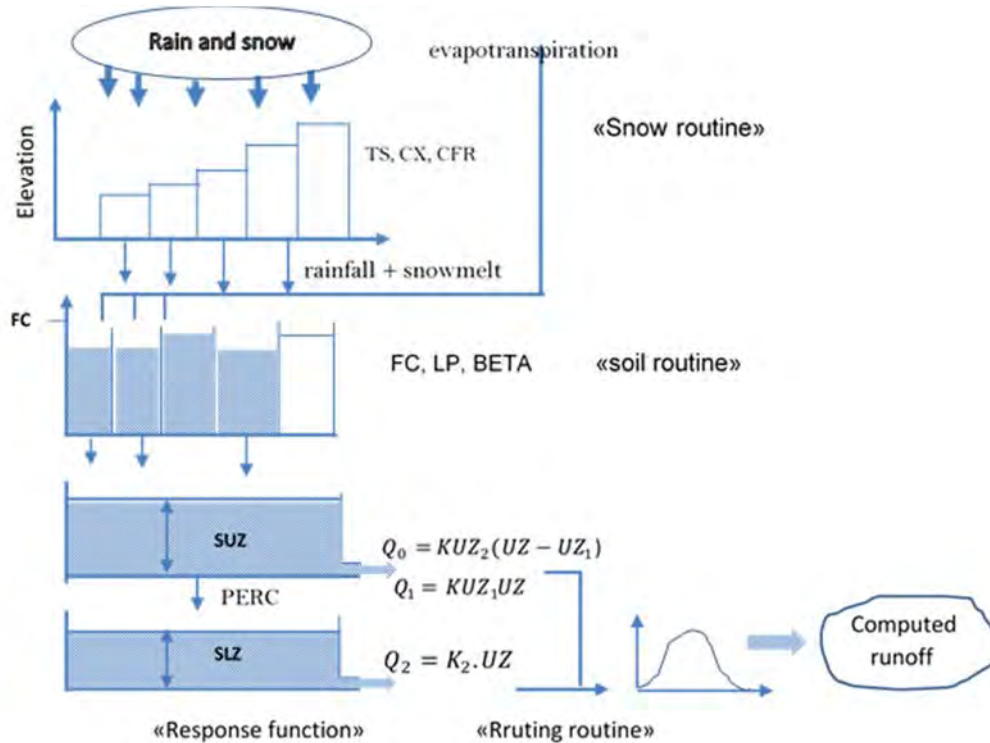
$$PE = CE * T * (1 + (EP_{mnd} - 1) * EPVAR),$$

hvor PE er potensiell evapotranspirasjon, CE er fordampningsfaktoren, T er døgnmiddeltemperatur, EP_{mnd} er månedlig gjennomsnitt for potensiell evapotranspirasjon, en for hver måned og EPVAR er en faktor som justerer den potensielle evapotranspirasjonen i forhold til vegetasjonstypen. Den aktuelle evapotranspirasjonen beregnes videre slik:

$$AE = PE * SM/LPDEL,$$

der AE er aktuell evapotranspirasjon, SM er vanninnholdet i markvannssonen og når SM overstiger LPDEL, er evapotranspirasjonen på potensielt nivå.

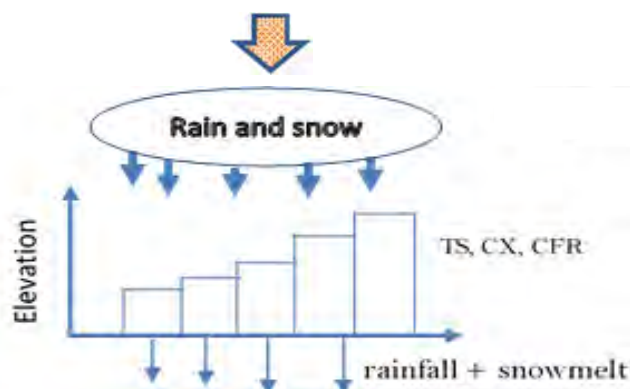
Vannføringen dannes i **den dynamiske delen** av modellen, som er inndelt i en øvre og en nedre grunnvannssone. Vanntilførselen til sonen styres av markvannsinholdet, som fordeler regn og smeltevann mellom markvannssonen og grunnvannssonene. Vannføringen beregnes fra lineære magasiner med tre utløp. Komponenten fra øverste nivå representerer rask avrenning ved høy vanntilførsel, mens nederste nivå sørger for et lavvannstilskudd gjennom tørkeperioder. Så lenge det er vann i øvre grunnvannssone, vil en konstant perkolasjon gi et vanntilskudd til nedre sone. Det anvendes ingen rutingalgoritme på vannføringen fra modellen. Figur 1 viser en skisse av modellen.



Figur 1. Skjematisk oversikt over HBV-modellens struktur og parametere.

2.2 Inndata til modellen

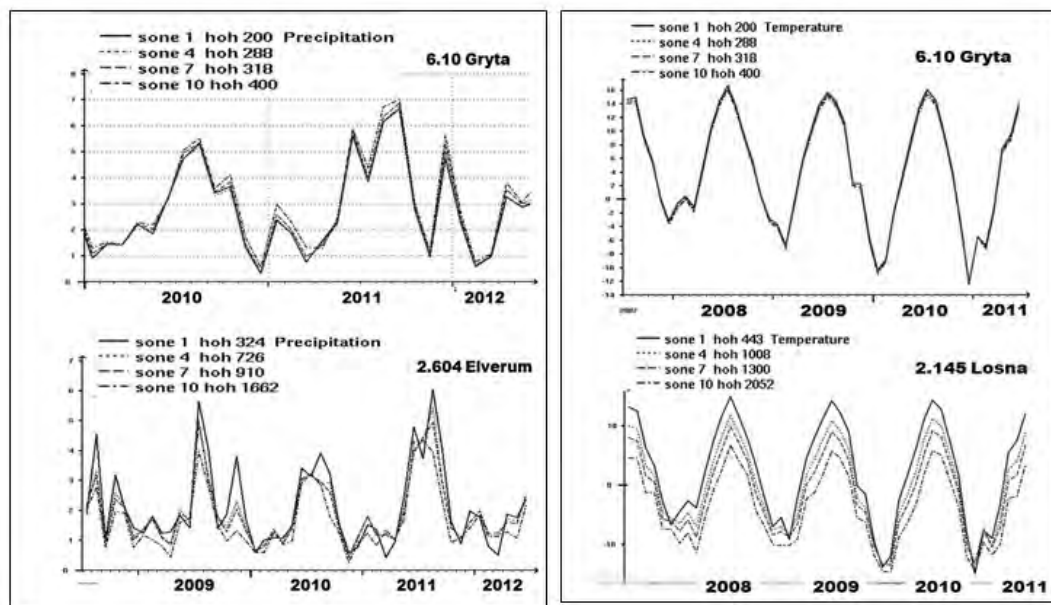
HBV-modellen er semidistribuert. Det vil her si at nedbørfeltet deles inn i 10 like store høydesoner, i tillegg til arealbrukskasser, som inndataene fordeles over. De nye inndatagriddene, seNorge, versjon 2.0, antas å gi nedbør- og temperaturverdier som er bedre fordelt over terrenget enn de gamle. Derfor leses og tilordnes inndata fra de nye griddene høydesonevis til nedbørfeltet. Tidligere ble inndataene lest inn for hele feltet under ett, og et gjennomsnitt for feltet ble brukt som inndata. I kalibreringen ble det videre tilpasset høydegradienter for nedbør og temperatur, som inndataene i de forskjellige høydesonene ble justert etter. I denne kalibreringsrunden legges det opp til at de høydesonevise inndataene anvendes direkte i hver høydesone uten noen høydekorrigering. Figur 2 illustrerer høydesonevis bruk av inndata. Siden inndatagriddet har en oppløsning på 1 km², må tilordningen av de høydesonevise inndataene jenkkes litt til for modellfelt som er mindre enn 10 km². Tilordningsalgoritmen for de få feltene dette gjelder er manuelt definert, og løser problemet ved å gi samme verdi til noen av høydesonene.



Figur 2. Inndata er gitt som en gjennomsnittsverdi for hver av 10 høydesoner

Hvordan nedbøren fordeles over høydesonene avhenger av geografisk plassering og eksponering av nedbørfeltet. Figur 3 viser to eksempler på nedbørfordeling over feltets høydesoner. I feltet Gryta nord for Oslo, som ligger i et terreng der fuktige luftmasser ofte heves på vei nordover, er det en tydelig økende nedbørtendens med høyden. I nedbørfeltet til Elverum, derimot, faller de lavereliggende delene av feltet sammen med de mest nedbørrike, og den øverste høydesonen tenderer mot å ha minst nedbør. Når det gjelder temperatur er det gjennomgående slik at temperaturen avtar med høyden, og temperaturforskjellen mellom høydesonene avhenger av høydedifferansen i feltet, se figur 3 med eksemplene Gryta, der feltet strekker seg over 200 høydemeter og Losna, med 1600 høydemeter mellom øverste og nederste høydesone.

Kildekoden for HBV-modellen måtte skrives noe om for å fungere med denne endringen til høydesonevise inndata. Leserutinen måtte tilpasses det nye formatet på inndatafilene, der nedbør- og temperaturdata er fordelt over 10 kolonner hver, og det måtte gjøres endringer ved beregning av høydesonefordelte inndata. Navnet på den tilpassede kildekoden er `hbv_all_hoh.f`, se filoversikten i tillegget for lokalisering.

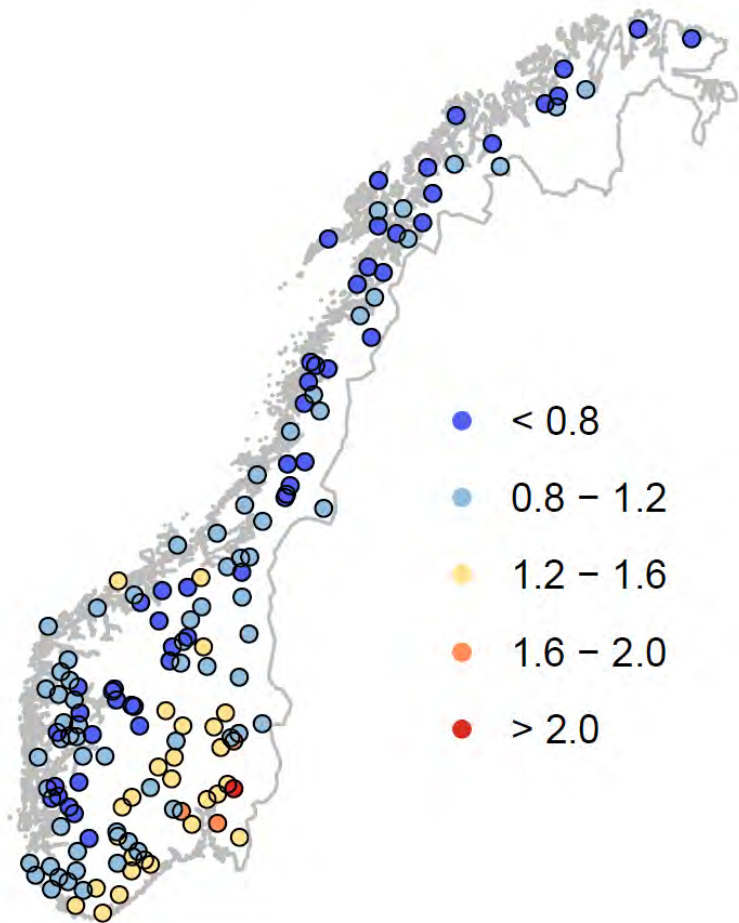


Figur 3. Eksempler på hvordan nedbøren (til venstre) og temperaturen (til høyre) fordeler seg over 4 høydesoner. Figuren til venstre viser 6.10 Gryta sammen med 2.604 Elverum. Figuren til høyre viser 6.10 Gryta sammen med 2.145 Losna.

Figur 4 viser forholdet mellom nedbør og avløp i perioden 2000 – 2013, der nedbøren er hentet fra datasettet seNorge, versjon 2 (Lussana et al. 2017). I store deler av landet er dette forholdet mindre enn eller rundt 1.0, noe som tyder på at seNorge sin arealnedbør til dels er underestimert. Modellene må justere opp nedbøren for å få vannbalansen til å gå opp, og det skjer ved å tilpasse to parametere, PKORR og SKORR, der PKORR multipliseres med nedbøren og SKORR er en tilleggsfaktor hvis nedbøren kommer som snø. PKORR kalibreres med variasjonsrom 0.7 – 2.0. I flere modellfelt har kalibreringen resultert i en PKORR nær oppunder eller lik 2.0, noe som kan tyde på at vannbalansen ikke er oppfylt i alle felt.

I prognoseperioden brukes nedbør- og temperaturprognosene fra værvarslingsmodeller, som nedskaleres til seNorge-format. De første to dagene brukes den mesoskala AROME-MetCoOp-modellen, med en romlig horisontal oppløsning på 2.5 km, og de neste 7 dagene brukes den globale modellen ECMWF, som opererer på en horisontal romlig skala på ca. 9 km. Også i prognoseperioden benyttes modellkalibreringen som er basert på observasjoner.

SeNorge v2.0

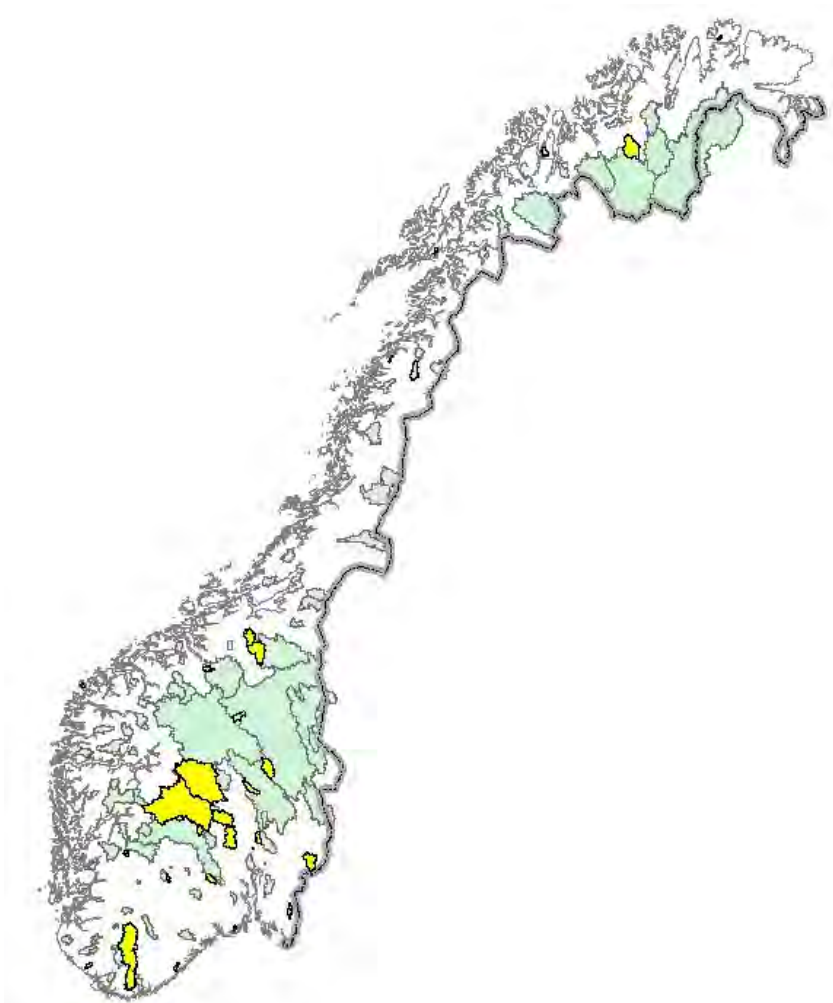


Figur 4. Forholdet mellom total akkumulert nedbør (seNorge, versjon 2) og avløp for perioden 1. januar 2000 til 31. desember 2013 (Lussana et al. 2017).

2.3 Flomvarslingsens modellfelt

Figur 5 viser plasseringen av flomvarslingsens 145 operative modellfelt. Modellene for alle disse feltene er blitt recalibrert i denne runden. Feltene som er markert med gult ble inkludert i 2013, og er ikke med i utvalget som er beskrevet i Lawrence et al. (2009).

Modellfeltene har stor spredning i størrelse og representerer de fleste geografiske regioner i Norge. De dekker rundt 33% av Norges areal. Nedbørfeltene er valgt ut for å gi god representativitet, i tillegg til at dette er felt med en lang og god og stort sett uregulert dataserie, de dekker flomutsatte strekninger med flomsonekart og har gode meteorologiske data. I tillegg er det utviklet regresjonsmodeller for to nedbørfelt, Numedalslågen ved Kongsberg og Mjøsa ved utløpet, basert på HBV-modellfelt i eller i nærheten av feltene.



Figur 5. Plassering av nedbørfeltene med HBV modeller

2.4 Optimaliseringsmetode

Det finnes mange metoder og forskjellig programvare for å kalibrere hydrologiske modeller. NVE har i flere år brukt PEST, Model-Independent Parameter Estimation & Uncertainty Analysis (www.pesthomepage.com) til kalibrering av HBV-modellene. PEST optimaliserer modellparameterne ved å minimere objektfunksjonen

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (w_i r_i)^2$$

som beregner den kvadrerte summen av vektet (w_i) differanser mellom observasjoner og korresponderende modellsimuleringer, $r_i = obs_i - sim_i$. Φ beregnes med observert og simulert vannføring. I tillegg inngår volumavviket i beregningen av Φ . Volumavviket sammenstilles med observert volumavvik, som er lik null.

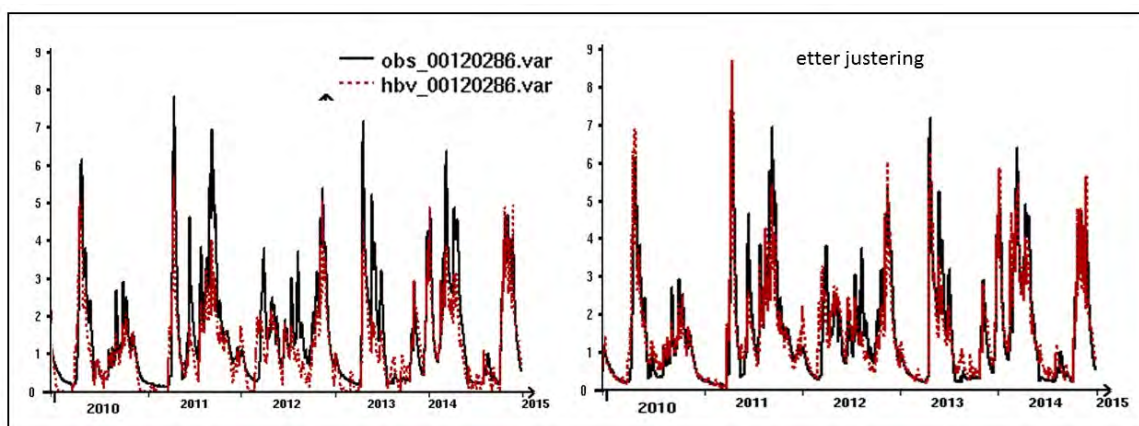
For å ha en global tilnærming til kalibreringen, kjøres PEST fra mange ulike startparametersett. På den måten tar parametertilpasningen utgangspunkt i forskjellige punkter i parameterrommet, og sannsynligheten for at det resulterende optimale parametersettet ikke faller på et lokalt optimum, men på et globalt, øker.

Startparametersettene genereres med en algoritme som trekker tilfeldige verdier i parameterrommet, innenfor et tillatt variasjonsintervall, se tabell 1. Parametersettene testes ved å bruke dem i en HBV-modellkjøring. Dersom denne testkjøringen simulerer en vannføringsserie som, sammenstilt med observert vannføring, gir en Nash-Sutcliffe-koeffisient på over 0.25, aksepteres parametersettet som et startparametersett. 5 slike startparametersett velges ut, og er utgangspunktet for 5 kalibreringsrunder. Det beste av disse parametersettene velges ut, og parameterne finjusteres manuelt for å sikre at modellsimuleringen også fungerer godt med hensyn til snømagasin, grunnvannsmagasin og lavvannsperiode. Figur 6 viser et eksempel på hvordan det, selv etter kalibrering, er rom for å forbedre modelltilpasningen ytterligere ved manuell finjustering av parameterne. Tabell 1 viser hvilke parametere som er kalibrert og hvilke variasjonsrom som er brukt. Tabell 2 viser HBV-modellens øvrige parametere med anvendt verdi.

Følgende perioder er brukt til kalibrering og validering av modellene:

Kalibreringsperiode: 01.09.2000 – 31.12.2014

Valideringsperiode: 01.09.1986 – 31.12.1999



Figur 6. Et eksempel på forbedret modelltilpasning etter manuell parameterjustering.

Tabell 1. Liste over parametere som er kalibrert, med tillatt variasjonsrom.

<i>navn</i>	<i>verdi</i>	<i>beskrivelse</i>
TX	-1 – 2 [°C]	temperatur som skiller mellom regn og snø
TS	-1 – 2 [°C]	temperatur som skiller mellom snøsmelting og gjenfrysing
CX	1 – 5 [mm/(°C*dag)]	graddagsfaktor for snøsmelting
PKOR	0.7 – 2 []	korreksjonsfaktor for regn
SKOR	0.7 – 3 []	tilleggskorreksjonsfaktor for snø
FC	50 – 500 [mm]	feltkapasitet, fullt markvannsmagasin
BETA	1 – 4 []	eksponenten i fordelingskurven for tilsig til markvannssonen
KUZ2	0.1 – 1 [1/dag]	tømmekonstant for rask avrenning i øvre sone
UZ1	10 – 100 [mm]	terskelverdi for rask avrenning i øvre sone
KUZ1	0.01 – 1 [1/dag]	tømmekonstant for langsom avrenning fra øvre sone
PERC	0.1 – 5 [mm/dag]	perkolasjon fra øvre til nedre sone
KLZ	0.001 – 0.4 [1/dag]	tømmekonstant for nedre sone

Tabell 2. Parametere som HBV-modellen bruker og som ikke kalibreres

<i>navn</i>	<i>verdi</i>	<i>beskrivelse</i>
PHOH	feltets gjennomsnittshøyde [hoh]	representativ høyde for nedbørdataene
THOH	feltets gjennomsnittshøyde [hoh]	representativ høyde for temperaturdataene
AREAL	fysisk verdi [km ²]	feltets areal
HYSO	fysisk verdi [hoh]/[]	høyde over havet og arealandel for høydesonene
BREPRO	fysisk verdi []	høydesonevis breprosent
NDAG	270 [d]	dag i året for omgjøring av snø på bre til is
CFR	0.01 []	gjenfrysingseffektivitet
LV	0.06 []	maksimalt relativt vanninnhold i snøen
CEVPL	1.1 []	justering av fordampning fra innsjø
ERED	0.5 []	reduksjon av fordampning ved intersepsjon
ICEDAY	30 [d]	tidskonstant for temperatur "hukommelse" i innsjøer
TTGRAD	0.0 [°C/100m]	temperaturgradient i tørt vær (brukes ikke ved høydefordelt temperatur)
TVGRAD	0.0 [°C/100m]	temperaturgradient i fuktig vær (brukes ikke ved høydefordelt temperatur)
PGRAD	0.0 [1/100m]	nedbørgradient (brukes ikke ved høydefordelt temperatur)
CBRE	1.5 []	økt smeltrate på isbre
LPDEL	0.7 []	yllingsgrad i markvannsmagasinet, som angir grense for potensiell fordampning
INFMAX	100 [mm/dag]	maksimalt tilskudd til øvre sone
CE	0.17 [mm/°C/dag]	Fordampningsfaktor
DRAW	0.3 [mm/dag]	tilførsel av vann til markvannssonen fra nedre sone ved stor fuktighetsgradient
SPDIST	20 [mm]	grense for når snømagasinet refodeles
VEGT	predefinert vegetasjonstypenummer	Vegetasjonstype
VEGA	[]	arealandel for sekundær vegetasjonstype
LAKE	[]	arealandel for innsjøer

2.5 Evaluering av modellresultatene

2.5.1 Nash-Sutcliffekoeffisienten

Nash-Sutcliffekoeffisienten (NS) er det tradisjonelt mest brukte kvalitetskriteriet når det gjelder vurdering av hydrologiske modellsimuleringer i NVE, og er et mål på hvor godt sammenfall det er mellom observert og simulert vannføring. NS er ekvivalent med determinasjonskoeffisienten, R^2 , og uttrykkes ved

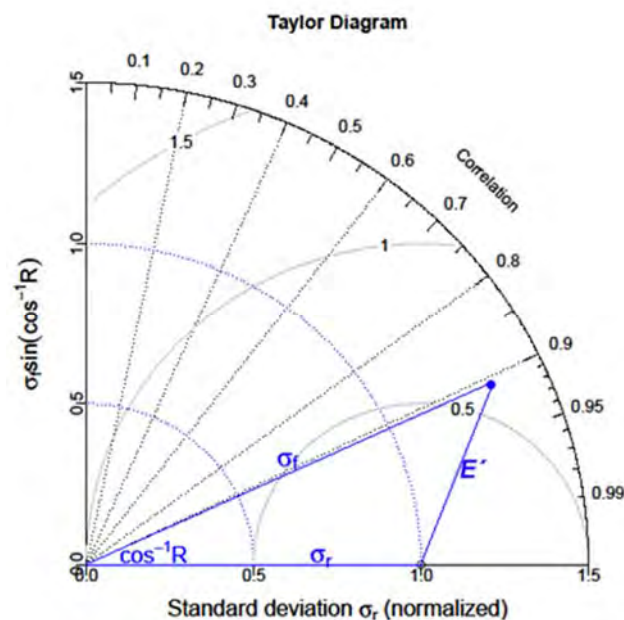
$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - Q_{sim}^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \overline{Q_{obs}})^2}$$

Her er Q_{obs}^t observert vannføring ved tiden t , Q_{sim}^t er simulert vannføring ved tiden t og $\overline{Q_{obs}}$ er gjennomsnittet av de observerte vannføringene. NS kan ha verdier fra $-\infty$ til 1.0. Ved NS = 1.0 er det perfekt sammenfall mellom simulert og observert vannføring, og jo nærmere NS-verdien er 1.0, dess bedre er simuleringen. Når NS = 0.0, er gjennomsnittet av observasjonene et like bra estimat på vannføringen som modellsimuleringen, og hvis NS er negativ, er gjennomsnittet bedre. På grunn av kvadreringen er NS sensitiv overfor høye avvik. Det vil generelt medføre at tilpasning av flomvannføringer vektlegges tyngre enn tilpasning til moderate og lave vannføringer.

2.5.2 Taylordiagram

Taylordiagrammet plottet tre kvalitetskriterier på en gang: korrelasjonskoeffisienten, kvadratavviket og standardavviket. De tre kriteriene viser ulike aspekter ved modelltilpasningen. Korrelasjonskoeffisienten er et mål på samvariasjonen mellom to variabler. Kvadratavviket måler hvor stort avvik det er i sammenfallet til de to variablene, mens standardavviket gir et mål på variasjonen innen datasettene, og kan for eksempel si noe om gjennomsnittlige flom- og lavvannsutslag. Perfekt tilpasning til observasjonene representeres ved punktet langs x-aksen der x er lik 1.0. Der er forholdet mellom datasettenes standardavvik lik 1.0, kvadratavviket mellom dem, som plottes som avstand til punktet, er lik 0.0, og korrelasjonen, som måles ved vinkelen fra y-aksen, er 1.0.

Kvaliteten til de ulike modellene kan vurderes grafisk, ved å se hvilket datasett som ligger nærmest det optimale punktet. Plasseringen av datasettene i forhold til hverandre viser datasettenes styrker og svakheter mht. samvariasjon, avvik og ekstremverdiutslag.



Figur 7. Taylordiagrammet. Det geometriske forholdet mellom korrelasjonskoeffisienten, R , kvadratavviket, E' , og variansen til observasjonene, σ_r , og de simulerte dataene σ_r , er markert.

2.5.3 Volumavviket

Volumavviket beregnes som det akkumulerte avviket mellom observert og simulert døgnmiddelvanntføring. Dette avviket tas det hensyn til i PEST-optimaliseringen, så avviket er ganske lite i kalibreringsperioden. Avviket i valideringsperioden viser om modellen har en tendens til å over- eller underestimere vanntføringen.

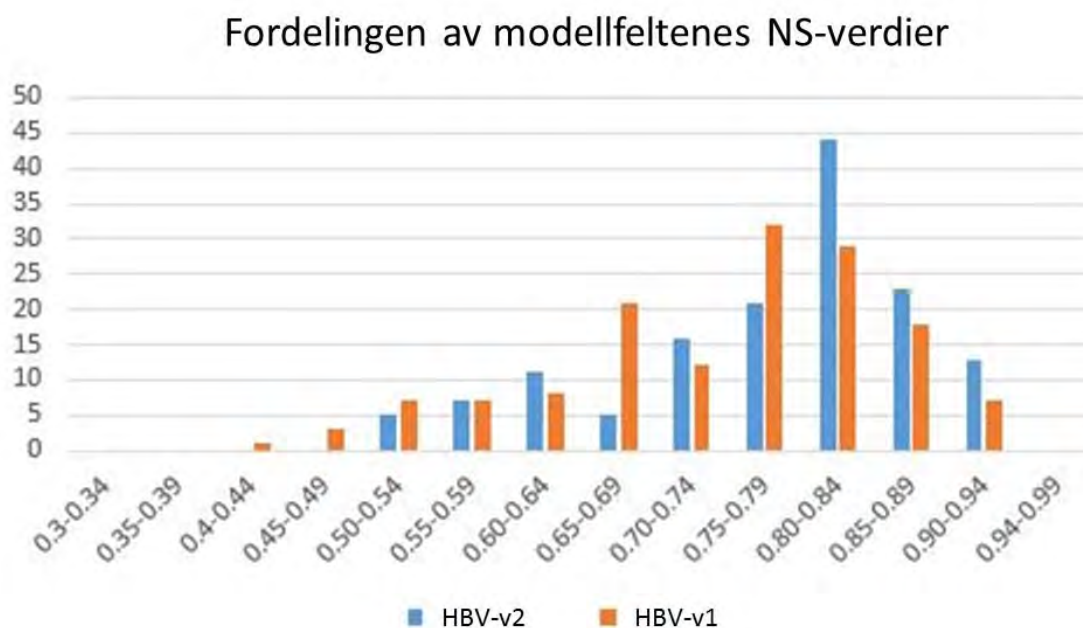
3 Resultater

3.1 Vannføring

Søylediagrammet i figur 8 viser hvordan verdien av Nash-Sutcliffkoeffisienten for de ulike modellfeltene fordeler seg for kalibreringsperioden. De blå søylene viser resultatet fra denne kalibreringen. Til sammenlikning viser de oransje søylene hvordan NS-verdien fordelte seg etter den forrige kalibreringen fra 2013.

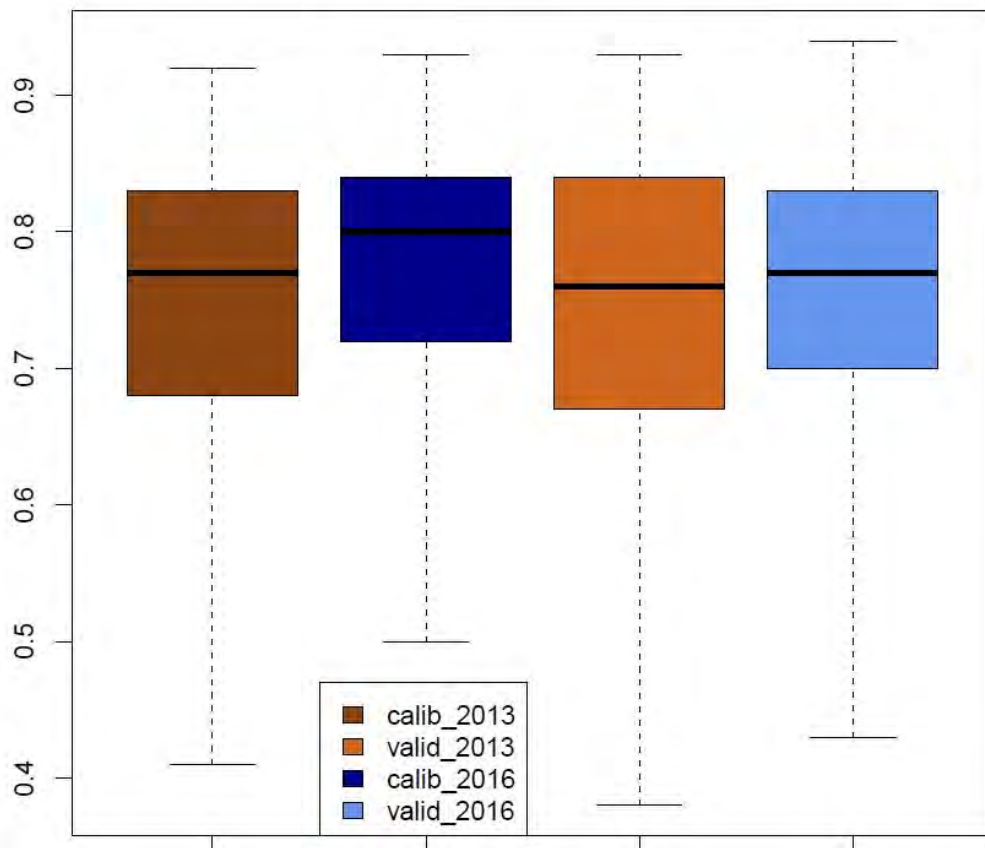
Diagrammet viser at den siste kalibreringen har medført en betydelig forbedring av modellsimuleringenes NS-verdi. Nå har 80 av de 146 modellfeltene en NS-verdi på 0.8 eller høyere, mens bare 54 av modellfeltene hadde tilsvarende verdier sist.

Boksdigrammet i figur 9 viser en forbedring av modellresultatene for både kalibrerings- og valideringsperioden. Forbedringen er tydeligst i kalibreringsperioden, men også i valideringsperioden er tendensen at NS-verdien har økt. NS-verdiene er noe lavere i den uavhengige valideringsperioden enn i kalibreringsperioden, men kvaliteten av simuleringene reduseres ikke mer enn man kan forvente.



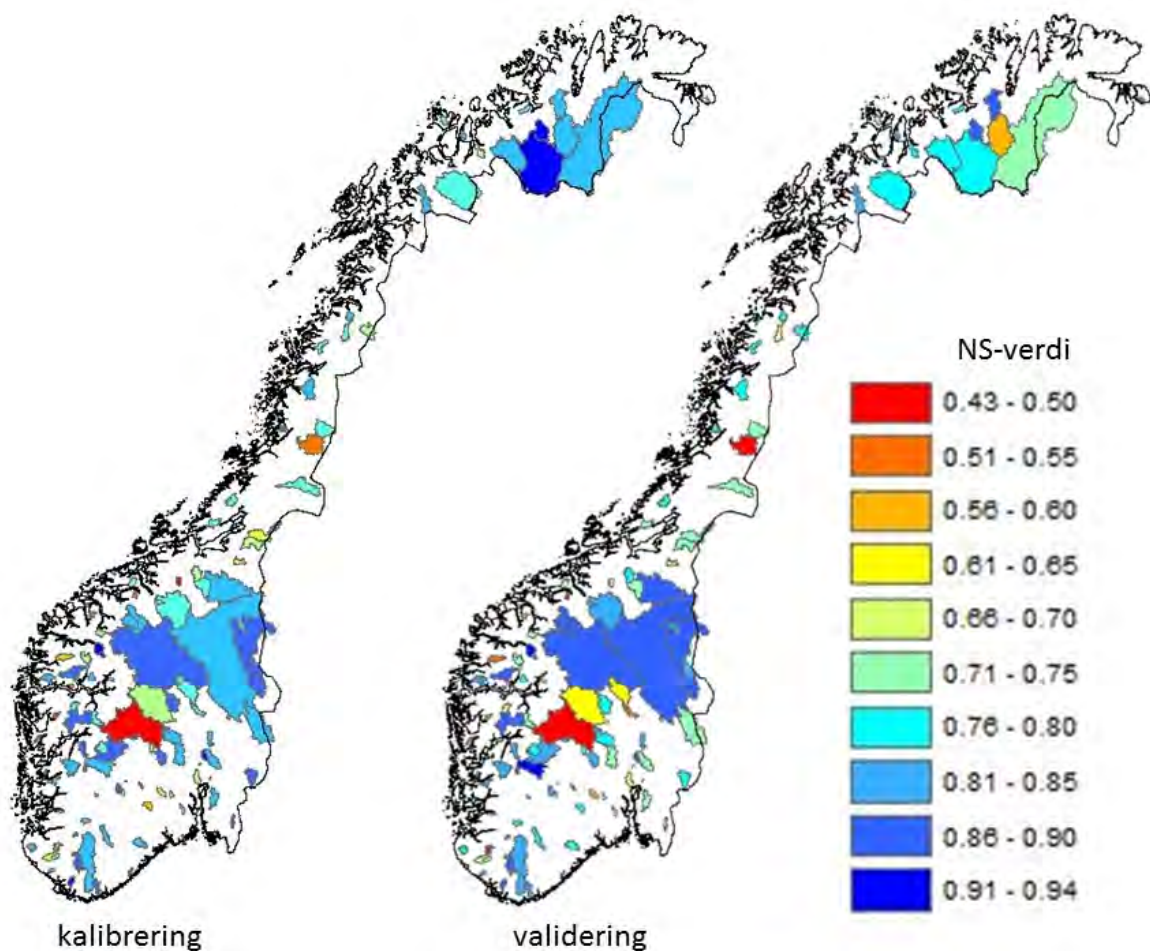
Figur 8 Diagram som viser hvordan modellfeltenes NS-verdier fordeler seg. De blå søylene viser resultatet etter den nyeste kalibreringen, mens oransje søyler viser resultatet fra den forrige kalibreringen i 2013.

Nash-Sutcliffekoeffisienten



Figur 9. Boksdiagram som viser fordelingen av NS-verdier for HBV-modellene kalibrert i 2013 og 2016, for kalibrerings- og valideringsperioden. Boksen avgrensner øvre og nedre kvartil. Endepunktene avgrensner hele datasettet.

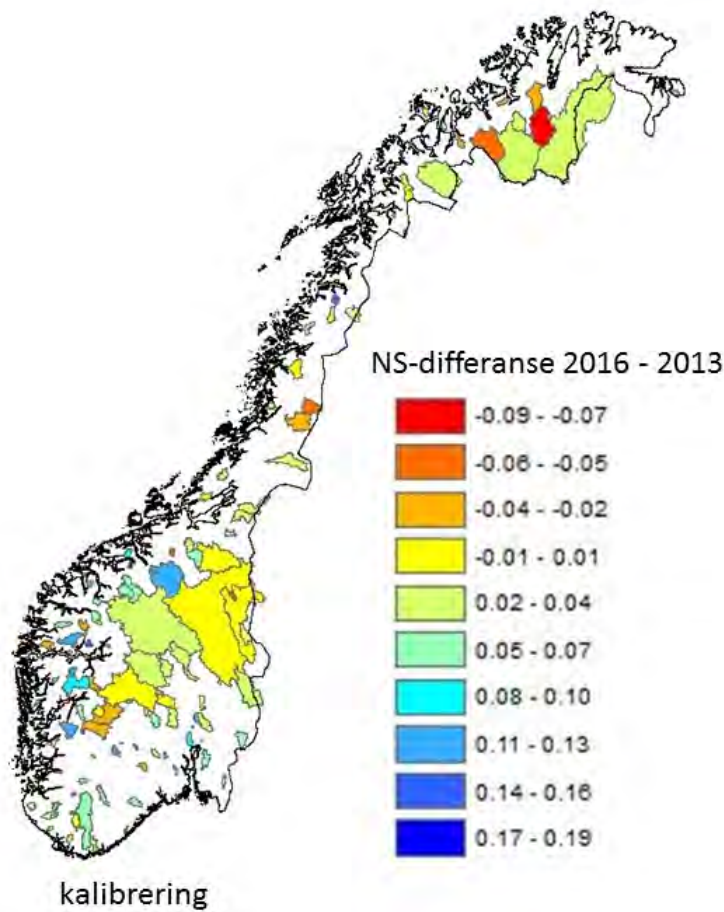
Kartene på figur 10 viser hvordan NS-verdien fordeler seg over nedbørfeltene i kalibrerings- og valideringsperioden. Det er ingen markert regional tendens i NS-verdien. Enkelte modellfelt utmerker seg med lave NS-verdier i kalibrerings og/eller valideringsperioden. Blant disse er det to store modellfelt, 12.97 Bergheim og 139.15 Bjørnstad. Disse er regulert, noe som ofte gir et avløpsmønster som avviker fra det naturlige, som modellen forsøker å tilpasse. De andre modellfeltene med NS-verdier under 0.7 domineres av små felt med feltareal under 50 km². Små modellfelt vil være mer utsatt for avvikende representativitet i nedbør- og temperaturgriddene enn store, der avvik i større grad vil jevnes ut. Noen av dataseriene, som 15.174 Istreelva, dekker ikke hele perioden for kalibrering og validering, og har av den grunn dårligere forutsetninger for en god kalibrering. Andre modellfelt kan være beheftet med ulik grad av redusert datakvalitet, som 165.6 Strandå, som har systematiske feil pga. profilforandring og oppstuvte vinterflommer, noe som kan være med å forklare det moderate kalibreringsresultatet.



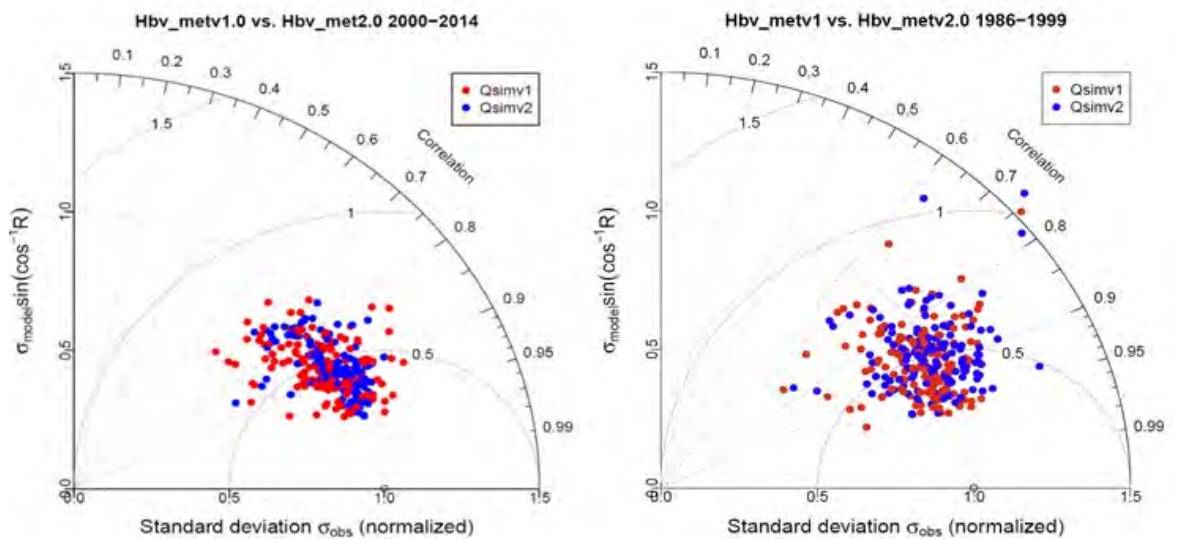
Figur 10 Kart som viser modellfeltene med farge som angir verdien på NS. Kalibreringsperioden er vist til venstre, og valideringsperioden til høyre.

Figur 11 viser differansen mellom NS-verdien for modellfeltene i kalibreringsperioden for 2016- og 2013-kalibreringen. Gult, grønlige og blått markerer modellfelt der 2016-kalibreringen gir ingen endring eller bedre resultat enn 2013-kalibreringen, mens oransje og rødlige farger betyr dårligere resultat. Det er en liten andel av feltene, 14%, der 2016-kalibreringen gir dårligere resultat.

En tabell med NS-verdien og volumavviket for vannføringen for 2016-kalibreringen er gitt i tillegg 7.1. Kalibreringen har volumavvik = 0 med i kalibreringskriteriet, og det fører til at volumavviket er neglisjerbart i kalibreringsperioden. Også i valideringsperioden er volumavviket, sett over hele perioden, svært lite.



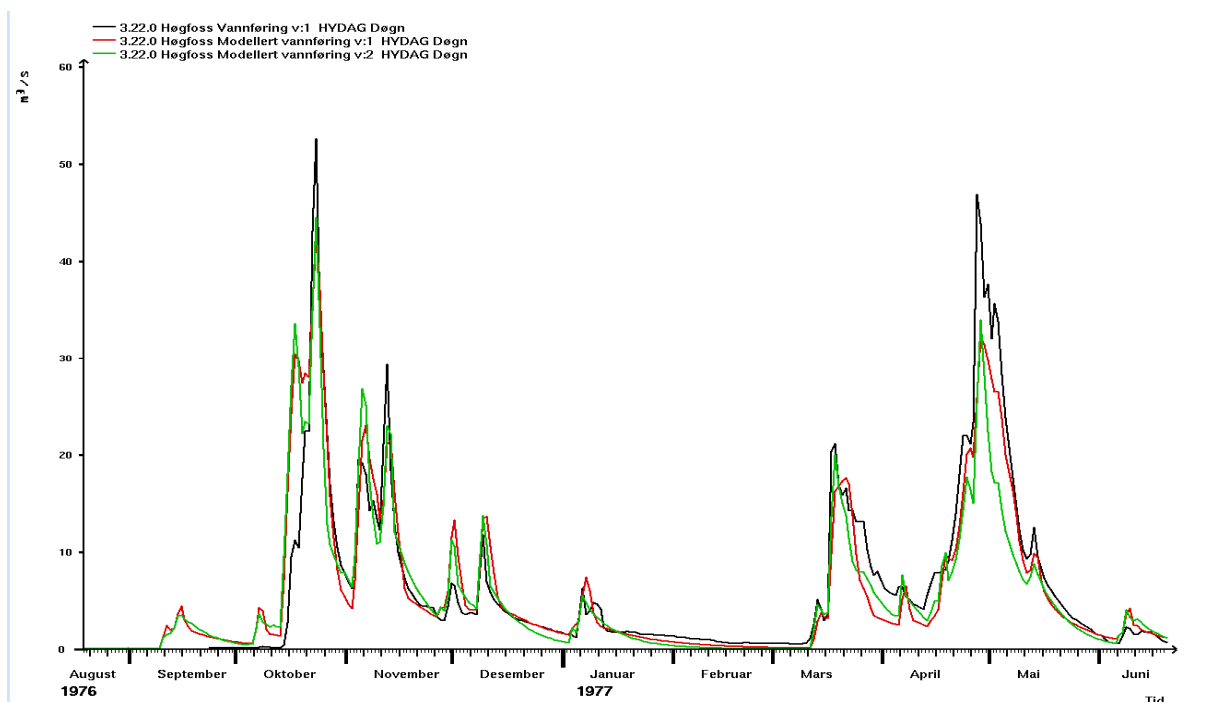
Figur 11. Differansen i Nash-Sutcliffe-verdien for modellfeltene mellom 2016- og 2013-kalibreringen, i kalibreringsperioden.



Figur 12. Taylordiagrammet for 2013-kalibreringen (røde prikker) og 2016-kalibreringen (blå prikker). Kalibreringsperioden til venstre og valideringsperioden til høyre.

Figur 12 viser taylordiagrammet med data fra 2013-kalibreringen (røde prikker) og 2016-kalibreringen (blå prikker). Korrelasjonskoeffisienten måler hvor likt mønsteret i tidsserien til den simulerte og den observerte serien er, og kan avleses som vinkelen med x-aksen. Ser man på taylordiagrammet for kalibreringsperioden, kan det skimtes en svak tendens til at de blå prikkene har et tyngdepunkt med spissere vinkel med x-aksen enn de røde, dvs. en bedre korrelasjonskoeffisient. Vi ser at tyngdepunktet til simuleringene ligger innenfor linja med radius lik 1.0, dvs. de har lavere standardavvik enn observasjonene. Dette betyr at amplituden til variasjonene i den simulerte tidsserien har en tendens til å være mindre enn amplituden til variasjonene i observasjonene. Siden de største utslagene i en vannføringsserie er i positiv retning, er det viktigste utslaget av dette at simulerte flomtopper ligger på et lavere nivå enn de observerte. Dette er et kjent fenomen, og i flomvarslingssammenheng vurderes gjerne flomprognoser i forhold til modellenes eget klima. En liten forbedring i denne tendensen kan ses ved at de blå prikkene ligger litt nærmere radius 1.0 enn de røde. Med noe bedre sammenfallende variasjon, gir også 2016-kalibreringen simuleringer med litt mindre kvadratfeil: de blå prikkene har en noe større tyngde innenfor den innerste halvsirkelen sentrert rundt punktet 1.0 på x-aksen. For valideringsperioden, til høyre, er bildet mer uklart, og det er ikke mulig å peke på signifikante kvalitetsforskjeller mellom de to datasettene.

Figur 13 viser et eksempel på observerte og simulerte vannføringer i en typisk periode der observasjonene har utslag med større amplitude enn simuleringene. De observerte flomtoppene (svart linje) ligger høyere enn de simulerte (rød og grønn linje viser henholdsvis 2013- og 2016-simuleringene).



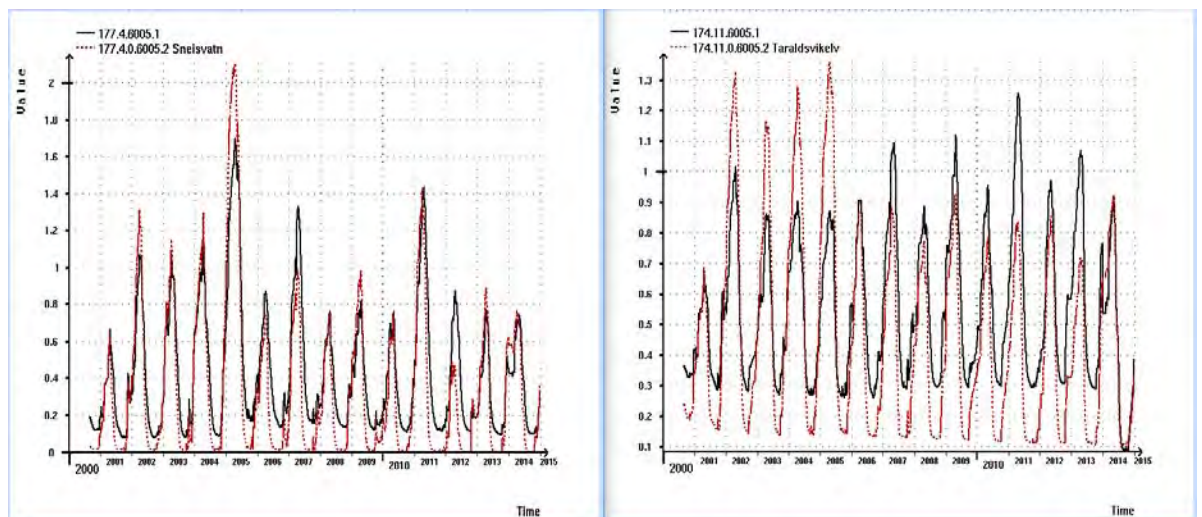
Figur 13. Observert (svart linje) og simulerte (rød og grønn linje) vannføringer for 3.22 Høgfoss. Den observerte tidsserien varierer med større amplitude enn simuleringene.

3.2 Snø

Snømagasinet spiller en viktig rolle i mange nedbørfelt, og det er viktig at modellene simulerer en størrelse og variasjon som har en fysisk forankring. Det er gjort to tiltak som skal bidra til at modellenes snømagasin representerer snøens forekomst i felt på en god måte.

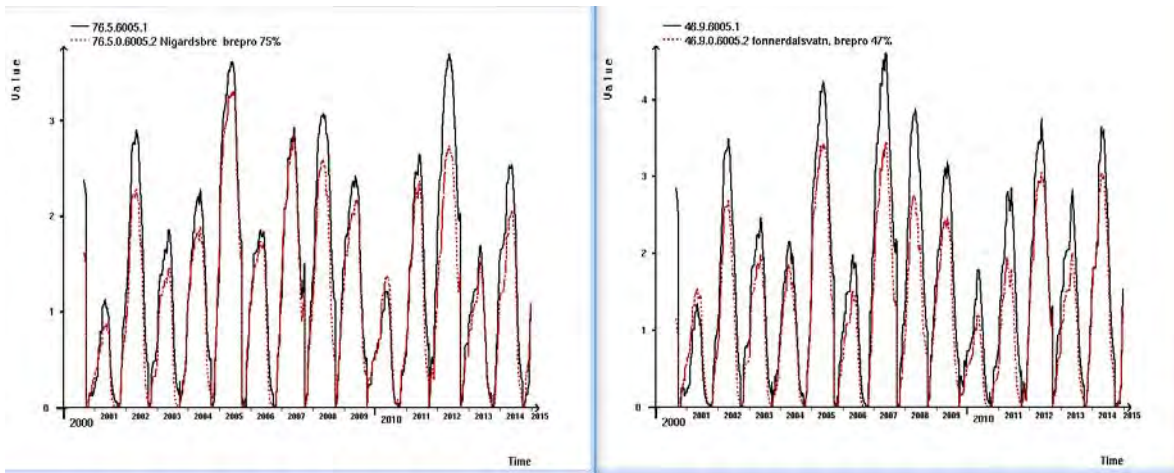
En manuell rutine i forbindelse med kalibreringen av de enkelte felt sørger for en visuell gjennomgang av snømagasinets utvikling gjennom kalibreringsperioden. Dersom det forekommer unaturlige trender i snømagasinet, snømengdene ligger på et urealistisk nivå i snøsesongen eller snøen ikke smelter i løpet av sommerhalvåret, vil dette bli oppdaget i denne gjennomgangen.

Modellene kalibreres i hovedsak mot observert vannføring, og i tillegg har vi sette at volumavvik lik null brukes som en "observasjon" for å optimalisere massebalansen. I 2016-kalibreringen er det også brukt et sett "observasjoner" som sier at snømagasinet skal være smeltet bort 31. august, dvs. at observert snømagasin 31. august er lik 0 mm. Dette er et effektivt insentiv for å sørge for at modellens snømagasin nulles ut i løpet av sommeren. Figur 14 viser to eksempler på at avsmeltingen i løpet av sommeren fungerte bedre med 2016- (rød strek) enn med 2013-kalibreringen (svart strek).



Figur 14. Simulert snømagasin i to brefelt, 177.4 Sneisvatn og 174.11 Taraldsvikelv. Snøavsmeltingen i løpet av sommeren fungerer bedre med 2016- kalibreringen (rød strek) enn med 2013-kalibreringen (svart strek).

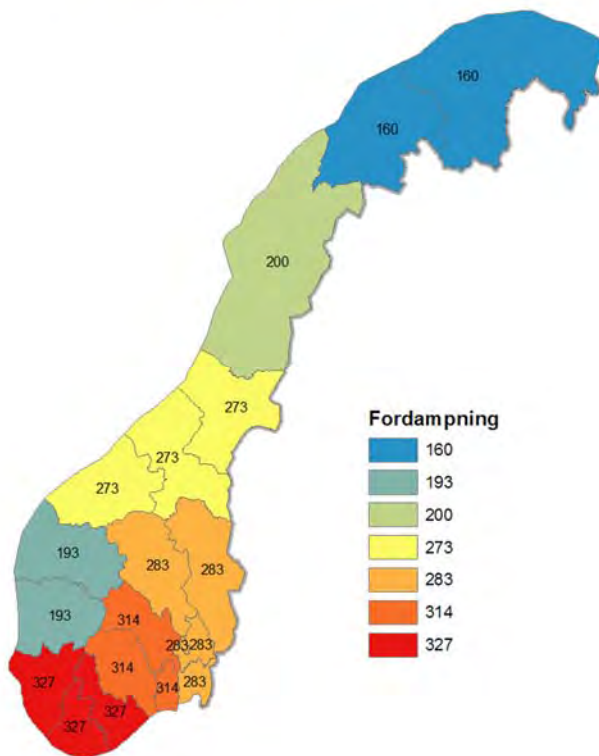
Det er hovedsakelig i brefelt at det har vært problemer med å simulere et realistisk snømagasin. Der det har blitt oppdaget problemer, er det foretatt en manuell parameterjustering slik at akseptable resultater både med hensyn til vannføring, vannbalanse og snømagasin er oppnådd. Figur 15 viser to eksempler på brefelt der 2016-kalibreringen gir et mer realistisk snømagasin enn 2013-kalibreringen.



Figur 15. Simulert snømagasin i to brefelt, 76.5 Nigardsbrevatn og 46.9 Fønnerdalsvatn. 2016-kalibreringen (rød strek) gir et mer realistisk snømagasin enn 2013-kalibreringen (svart strek).

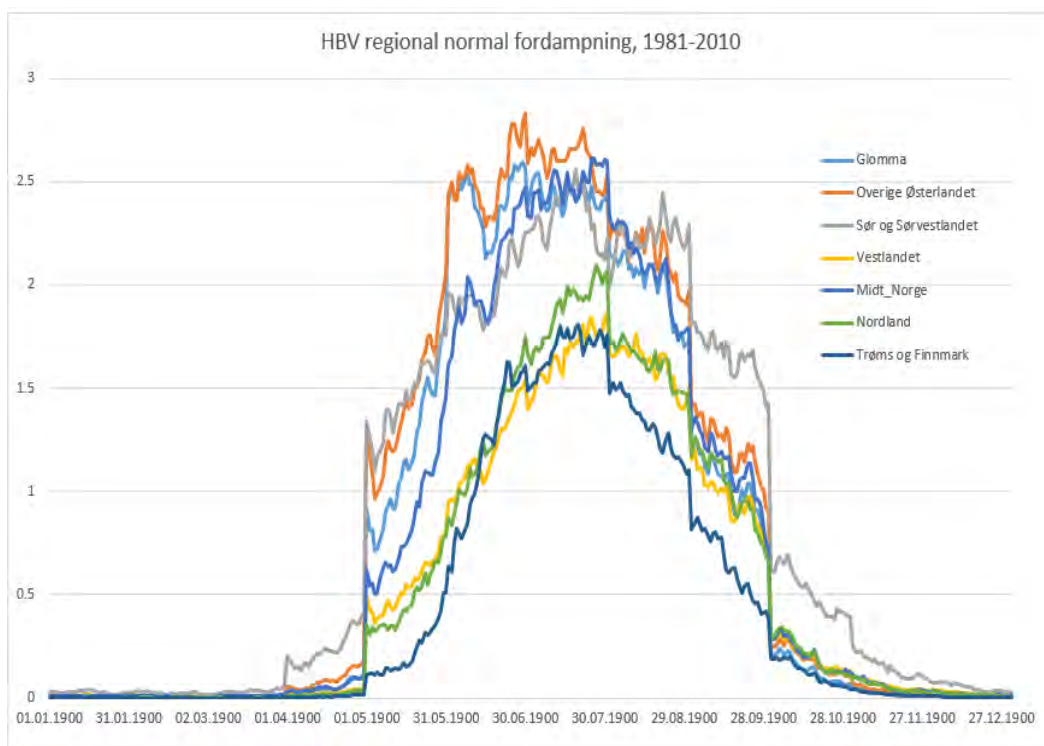
3.3 Fordampning

Gjennomsnitt fordampning, 1981-2010

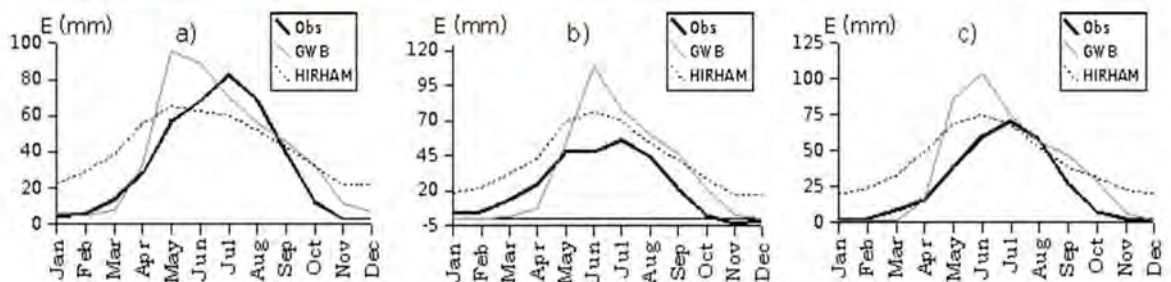
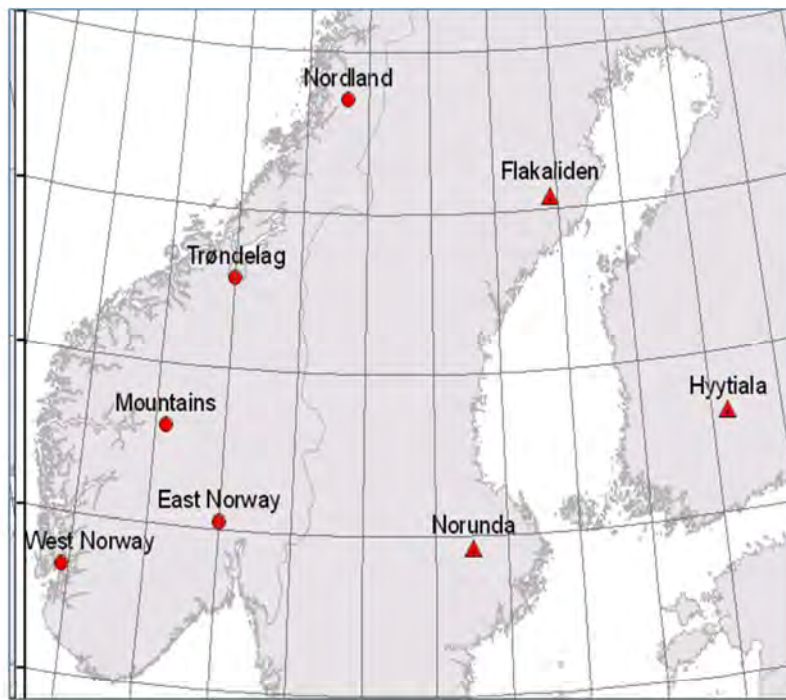


Figur 16. Gjennomsnittlig årlig fordampning (mm) for flomvarslingsfeltene innenfor samme fylke, vist regionvis.

De modellparameterne som inngår direkte i fordampningsberegningene, CE, EPVAR, EP_{mnd} og LPDEL, kalibreres ikke, men kalibreringen påvirker likevel fordampningen gjennom at størrelsen på markvannsmagasinet og relativ metning påvirkes. Fordampningen er en viktig komponent i modellens vannbalanse, og det er viktig at den er innenfor en rimelig størrelsesorden. Figur 16 gir et regionvist bilde av gjennomsnittlig årlig fordampning i perioden 1981 til 2010, slik den er simulert av modellene. Figur 17 viser hvordan fordampningen varierer over året. Sammenlikner vi disse størrelsene med observert fordampningsfluks fra tre stasjoner i Norden, se figur 18, ser vi at den simulerte fordampningen er i samme størrelsesorden som den observerte. Dette er en svært omtrentlig sammenlikning. Observasjonene viser gjennomsnittet over 2-5 år, mens simuleringene er et gjennomsnitt for årene 1981 – 2010. Fordampningen varierer mye fra år til år, så dette manglende sammenfallet i periode og periodelengde kan ha mye å si. Målingene er punktmålinger andre steder enn der modellfeltene ligger, og modellsimuleringene representerer et feltareal. I denne sammenhengen er vi imidlertid fornøyd med å kunne konstantere at modellenes fordampning som vannbalansekomponent er innenfor en rimelig størrelsesorden,

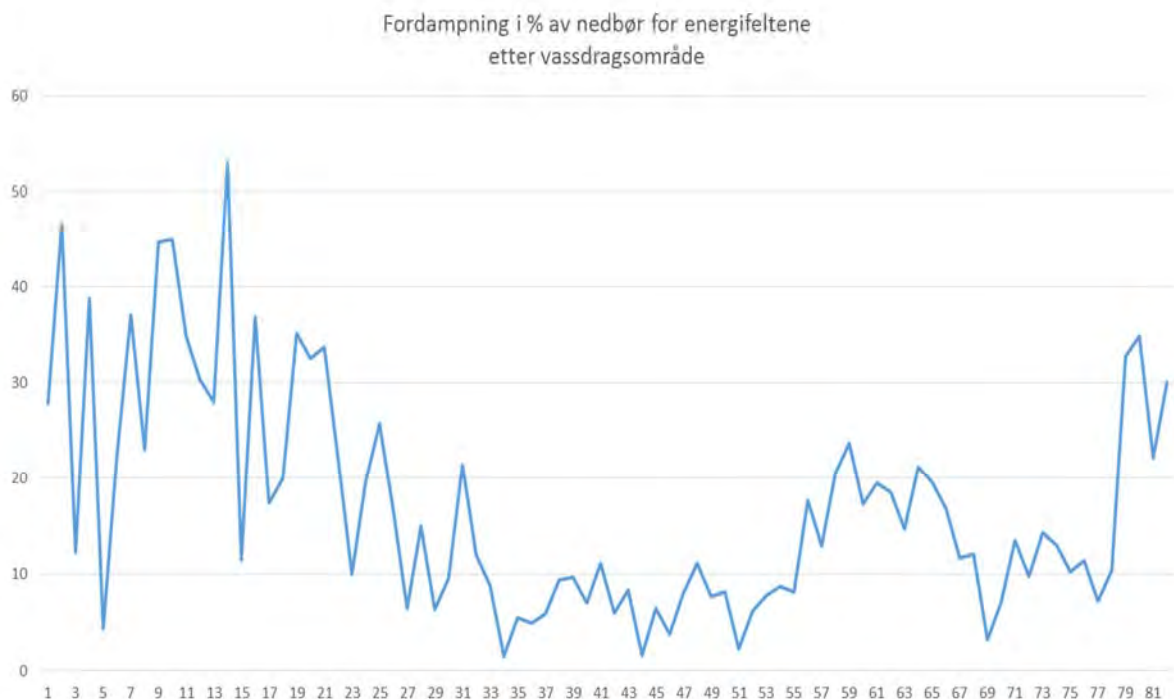


Figur 17. Fordampningens variasjon over året vist regionvis. Fordampningen er gitt i mm/dag.



Figur 18. Observert fordampningsfluks (tykk, svart strek) ved stasjonene a)Norunda, b)Flakaliden og c)Hyytiala. Stasjonene er vist i kartet. Fordampningsfluksen er målt med instrumenter som måler virvelkovarians fra et tårn som rager over trekrone. Observasjonene er et gjennomsnitt over 2 – 5 år.

Det er også interessant å se hvordan aktuell fordampning varierer over feltene. Figur 19 viser fordampningen i % av nedbør for et utvalg av feltene, nemlig de som er brukt i beregningen av energitilslig til kraftsystemet, sortert etter vassdragsnummer (Holmqvist, 2017). Denne andelen er relativt høy på Østlandet og i Trøndelag, og lav i de nedbørrike Vestlands- og Nordlandsfeltene. Negative avvik på Østlandet representerer høyfjellsfelt, der EPVAR er liten, se kapittel 2.1. Her er dessuten det effektive avløpet Q/P stort, og det er i utgangspunktet lite vann til fordampning. Dette kan forsterke det negative avviket. Fordelingen ser for øvrig rimelig ut, men uten et mer dekkende observasjonsmateriale er det vanskelig å vurdere i hvilken grad dette er representativt for de faktiske forhold.



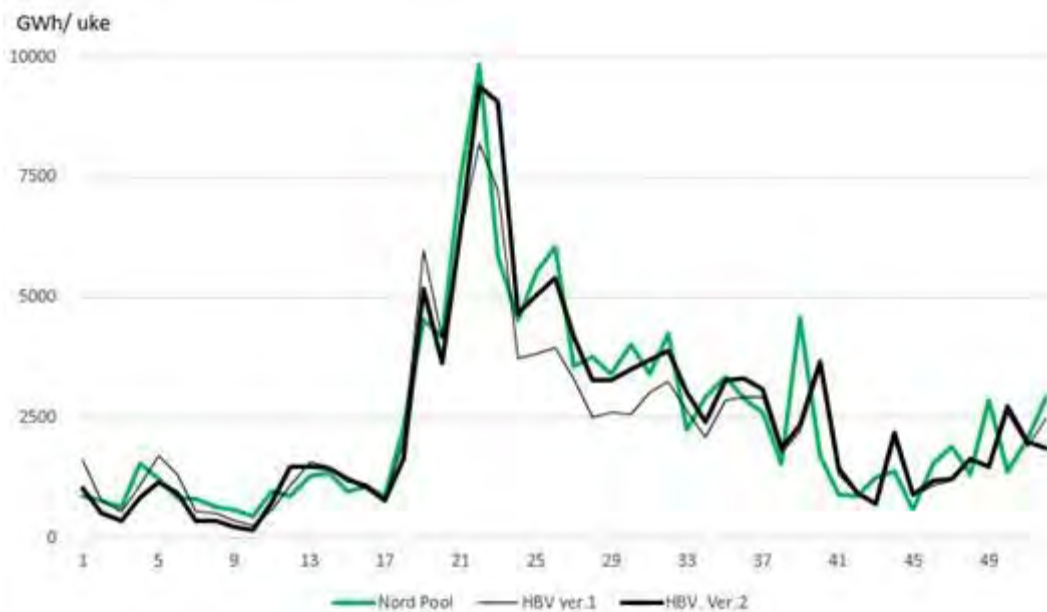
Figur 19. Aktuell fordampning i prosent av nedbør beregnet for et utvalg av modellfeltene (Holmqvist, 2017). Modellfeltene er sortert etter vassdragsområde.

3.4 Energiprognoser

Figur 20 sammenlikner nyttbart energitilsig basert på tall fra Nord Pool (grønn strek) og HBV-modellresultater, 2013-kalibreringen (tynn, svart strek) og 2016-kalibreringen (tykk, svart strek). Dataene fra Nord Pool er basert på faktiske produksjonsdata og magasinendringer. HBV-resultatene er beregnet ved en skalering av simulert vannføring for de 82 modellfeltene som er brukt, basert på hvor stor andel av det totale energitilsiget hver enkelt tilsigsserie representerer (Holmqvist, 2017).

Vi ser at spesielt sommeren 2016 gir HBV-modellene som er basert på versjon 2 av seNorge-griddet (2016) en bedre overenstemmelse med Nord Pool-dataene enn det versjon 1 ga. Dette året var det et akkumulert avvik mellom beregningene basert på versjon 1 og Nord Pool fram til uke 36 på 10 TWh. Dette avviket var uvanlig stort, og skyldes først og fremst for lite magasinert snø gjennom foregående høst og vinter. Ved bruk av rekalkibrerte HBV-modeller ble avviket redusert til ca. 1 TWh.

I figur 21 er beregnet nyttbart tilsig basert på Nord Pools tall sammenlignet med beregninger fra våre HBV-modeller, kalibrert på seNorge, versjon 2, for årene 2010 – 2016. Vi ser at det er godt samsvar mellom beregningene. Det er en korrelasjonskoeffisient på 0,96 mellom de to tidsseriene.



Figur 20. Nyttbart energitilsig 2016. Tall fra Nord Pool er vist med grønn strek, beregninger basert på simuleringer med HBV-modell og versjon 1 og 2 av seNorge-griddet er vist med henholdsvis tynn og tykk svart strek. Kilde: Holmqvist (2017).



Figur 21. Nyttbart energitilsig 2010- 2016. Tall fra Nord Pool er vist med grønn strek, beregninger basert på simuleringer med HBV-modell og bruk av seNorge, versjon 2 er vist med svart strek. Kilde: Holmqvist (2017).

3.5 Andre produkter og verktøy

Resultatene fra flomvarslingsmodellene anvendes i en rekke applikasjoner i tillegg til energiprognoseberegningene. Disse er nå oppdatert med resultater fra de rekalkibrerte modellene.

3.5.1 Sesongsenarioer

HBV-modellene brukes til å lage ukentlige sesongsenarioer, ved å bruke værprognosen forlenget med historiske serier av nedbør og temperatur som inndata. De historiske seriene gir opphav til et ensemble av langtidsprognoser, som er grunnlaget for

statistikkberegninger som igjen brukes til å estimere sannsynligheten for flom på ulike nivåer. Scenarioene gir også langtidsutsikter for grunnvannsinhold og snømagasin. Scenarioene er omfattet med størst interesse om våren, da sesongens snømagasin er en størrelse som bidrar med informasjon om sannsynligheten for en stor vårflo de kommende uker/måneder.

3.5.2 Salg av vannføringsprognoser

Utdrag fra resultatfila til modellkjøringene har i flere år blitt videreformidlet til en gruppe kunder, som kjøper vannføringsprognoser for utvalgte felt. Produktet lages og formidles helt automatisk og er i beskjeden grad kvalitetssikret. Kundene får overført dataene fire ganger om dagen, i forbindelse med at de operasjonelle modellkjøringene for flomvarslingstjenesten kjøres.

3.5.3 Tilstandskart

Noen av tilstandsvariablene i HBV-modellen visualiseres samlet ved at de plottes på kart. Disse tilstandene er snødekningsgrad, markvannsinhold og grunnvannsinhold. Kartene er nyttige for å få en oversikt over modellberegnete tilstander fordelt over landet.

3.5.4 Manuelle modellkjøringer

Et nyttig verktøy for flomvarslerne er muligheten til å kjøre hydrologiske modeller manuelt med fritt valg av værprognoser. På den måten kan man teste ut feltmodellenes respons på ulike nedbørsenarioer som tar høyde for usikkerhet som ikke er fullt representert i den operative prognosen. Man kan også teste ut tålegrenser i ulike områder og anslå marginer mot kritiske forhold.

3.5.5 Historisk prognoselager

For å ha muligheten til å hente fram beslutningsgrunnlag etter en flomhendelse, er komplette modellprognoser en gang om dagen tatt vare på en måned bakover i tid. Disse historiske prognosene hentes fram med en egen regnearkapplikasjon.

3.5.6 Løpende modellevaluering

Det er laget en egen regnearkapplikasjon som beregner modellenes samsvar med observert vannføring i form av taylordiagram for siste sesong. Taylordiagrammet er et sammensatt kvalitetskriterium, som estimerer ulike aspekter ved tilpasningen mellom modell og observasjoner: sammenfallet i standardavvik, korrelasjonskoeffisienten og kvadratfeilen. Her evalueres både HBV-, DDD- og ODM-modellen, med både varsler og observasjoner som inndata, og flomvarslingsfeltene grupperes etter størrelse eller geografisk region. Applikasjonen er nyttig for å kunne vurdere modellkvaliteten slik den har vært den senere tid.

4 Drøfting

Rekalibreringen av HBV-modellene med inndata fra seNorge-griddet, versjon 2 har forbedret flomvarslingsmodellene på følgende måter:

- Modellsimuleringenes Nash-Sutcliffe-verdier viser en økning både i kalibrerings- og i valideringsperioden
- Økningen i modellsimuleringenes NS-verdi gjelder for de aller fleste felt. I 86% av feltene gir 2016-kalibreringen like god eller bedre NS-verdi enn 2013-kalibreringen.
- Taylordiagrammer som sammenlikner modellsimuleringene med vannføringsobservasjonene viser at punktsvermen til 2016-kalibreringen har et tyngdepunkt noe nærmere det optimale punktet enn punktene til 2013-kalibreringen. En forbedring både i simuleringenes korrelasjonskoeffisient, det relative standardavviket og kvadratfeilen kan leses av diagrammet.
- Energiprognoser basert på 2016-kalibreringen sammenfaller bedre med Norpool-dataene enn prognosene basert på 2013-kalibreringen. Dette henger trolig sammen med at den nye kalibreringen gir et bedre estimat på snømagasinet.

Det er først og fremst to forhold som kan forklare denne forbedringen:

- seNorge versjon 2.0 representerer den reelle nedbøren og temperaturen på en bedre måte enn seNorge versjon 1.1.
- griddet fra seNorge versjon 2.0 gir en bedre høyderepresentasjon i feltet enn den kalibrerte høydegradienten, som ble tilpasset ved kalibrering i 2013-kalibreringen.

Det er gjort en stor innsats de siste årene for å forbedre seNorge-griddet. Lussana et al. (2016) og (2017) dokumenterer versjon 2.0-griddets høyere kvalitet når det gjelder representativitet med hensyn til henholdsvis temperatur, og anvendelse for snø- og hydrologisk modellering. Da det ikke er gjort vesentlige endringer i den hydrologiske modellen fra 2013 til 2016-kalibreringen, er det derfor rimelig å anta at forbedringen i seNorge-griddet er hovedforklaringen på at 2016-kalibreringen gir simuleringer med høyere treffsikkerhet enn 2013-kalibreringen.

Modellenes estimerte aktuelle fordampning er stort sett innenfor et realistisk variasjonsrom, men har i enkelte felt utslag i positiv eller negativ retning som er i største laget. Vi har i kapittel **Feil! Fant ikke referanseilden.** sett at nedbørdataene må justeres kraftig enkelte steder for at vannbalansen skal gå opp. Justeringen skjer ved at nedbøren skaleres med faktorene PKORR og SKORR. PKORR når maksimalt tillatt verdi i enkelte felt, og det kan føre til at vannbalansen ikke oppfylles og blir lite representativ. Et utslag kan være at fordampningen blir urealistisk.

5 Konklusjon og videreutvikling

Det er gjort en recalibrering av flomvarslingens HBV-modeller. Til forskjell fra tidligere kalibreringer, der inndata til modellene har vært gjennomsnittlig nedbør og temperatur for hele nedbørfeltet, som har blitt høydejustert ved kalibrerte nedbør- og temperaturgradienter, er inndata denne gangen gjennomsnittlig nedbør og temperatur for hver av 10 høydesoner i nedbørfeltet. Klimadataene leses fra seNorge-griddet, versjon 2.0, som ble tatt i bruk i 2016, og som gir et bedre bilde av nedbør- og temperaturvariasjonen med høyden enn versjon 1.1, som har vært brukt tidligere. En forbedring av vannføringssimuleringene med de recalibrerte modellene kan ses i de aller fleste modellfelt, ved at Nash-Sutcliffkoeffisienten har økt, punktsvermen i taylordiagrammet har en mer optimal plassering og energiprognosene validerer bedre.

SeNorge-griddet, versjon 2, som gir inndata til modellene, viser nedbørverdier som over store deler av landet ligger svært lavt i forhold til den observerte vannføringen. Det er derfor behov for en betydelig justering av nedbøren som går inn i modellene for at vannbalansen skal gå opp. Dette medfører en stor usikkerhet i nedbørkomponenten i vannbalansen. Samtidig er også fordampningen og snømagasinet størrelser som er beheftet med store usikkerheter. For å sikre regional representativitet av flomvarslingsmodellene, er det viktig at modellenes vannbalanse er relativt konsistent. Det er derfor behov for en strammere styring av de enkelte vannbalansekomponentene under kalibreringen. Dette er noe som bør tas i betraktning i neste kalibreringsrunde.

Den optimaliseringsrutinen, PEST, som er brukt i denne kalibreringen er lite fleksibel med hensyn til optimaliseringskriterier og muligheten til å ta hensyn til flere typer data i vurderingen av resultatene. Studier viser at det kan være fordelaktig å bruke andre og flere kalibreringskriterier ved kalibrering av hydrologiske modeller. Det finnes dessuten nå mange flere optimaliseringsalgoritmer tilgjengelig, i forhold til hva det gjorde den gangen PEST ble valgt ut som flomvarslingens standardmetode. Det anbefales derfor å vurdere andre og mer fleksible optimaliseringsmetoder ved neste kalibrering.

6 Referanser

Bergström, S. 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Report RH07.

Holmqvist, Erik. 2017. Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller. Statistikk og variasjoner 1958-2016. NVE-rapport (under arbeid).

Killingtveit, Å. and N. R. Sælthun. 1995. Hydrological models. In Hydropower Development 7: Hydrology. Trondheim: Norwegian Institute of Technology, pp. 99-128.

Lawrence, Deborah, I. Haddeland og E. Langsholt, 2009. Calibration of HBV hydrological models using PEST parameter estimation. NVE Report 2009:1.

Lussana, Cristian, Saloranta, T., Skaugen, T., Magnusson, J., Tveito, O. E. og Andersen, J. 2017 Evaluation of seNorge2, a conventional climatological datasets for snow- and hydrological modeling in Norway. Manuscript under review for journal Earth Syst. Sci. Data Discussion.

Lussana, Cristian, Tveito, O. E. and Uboldi, F. 2016. seNorge v2.0, Temperature. An observational gridded dataset of temperature for Norway. METreport 14/2016

Sælthun, N. R. 1996. The Nordic HBV Model. NVE Publication no. 07, 26 pp.

7 Tillegg

7.1 Tabell med Nash-Sutcliffeverdi og volumavvik

felt nr.	feltnavn	kalibreringsperioden		valideringsperioden	
		NS	volumavvik	NS	volumavvik
2.11	narsjo	0.8	0	0.8	0.11
2.28	aulestad	0.77	0	0.65	0.03
2.32	atnasjo	0.9	0	0.87	-0.02
2.142	knappom	0.81	-0.03	0.76	0.18
2.145	losna	0.89	0	0.87	0.04
2.265	unsetaaa	0.82	0	0.82	-0.1
2.268	akslen	0.83	0	0.8	0.08
2.279	kraakfoss	0.81	0	0.74	0.17
2.291	tora	0.8	0	0.86	-0.08
2.323	fura	0.6	0	0.6	0.13
2.439	kvarstadsetra	0.75	0	0.75	0.12
2.463	vismunda	0.78	0	0.55	-0.21
2.479	libru	0.7	0	0.77	-0.02
2.604	elverum	0.85	0	0.87	0.06
2.614	rosten	0.9	0	0.88	-0.12
2.633	stortorp	0.87	0	0.7	-0.06
2.634	lena	0.81	0	0.82	0.12
3.22	hogfoss	0.81	0	0.71	0.03
6.10	gryta	0.71	0	0.64	0.05
6.71	sinnerdammen	0.84	0	1	0
8.2	bjornegaards	0.74	0	0.67	-0.16
8.6	saeternbekken	0.53	-0.01	0.61	0.14
12.70	etna	0.88	0	0.79	0.07
12.97	bergheim	0.5	0	0.45	0.01
12.114	garhammerfoss	0.92	0	1	0
12.150	buvatn	0.87	0	0.79	0.12
12.171	holervatn	0.86	0	0.85	0.11
12.178	eggedal	0.86	0	0.83	0.03
12.192	sundbyfoss	0.71	0	0.64	0.24
12.193	fiskum	0.71	0	0.75	0.03
12.209	urula	0.81	0	0.77	-0.03
12.215	storeskar	0.84	0	0.84	0.06
12.286	jaren	0.93	0	0.88	0.11
12.290	bagn	0.71	0	0.65	0.06
15.21	jondalselv	0.7	0	0.56	0.14
15.49	halledalsvatn	0.87	0	0.81	-0.11
15.53	borgaai	0.73	0	0.79	0.1
15.79	orsjoren	0.89	0	0.85	0.01

15.174	istreelva	0.84	0.01	1	0
16.66	grosettjern	0.75	0	0.74	0.2
16.75	tannsvatn	0.9	0	0.85	0.03
16.122	grovaai	0.72	-0.01	0.69	0.11
16.132	gjuvaa	0.84	0.01	0.65	0.28
16.140	kvenna	0.84	0	0.94	-0.01
16.193	horte	0.62	0	0.77	-0.02
18.10	gjerstad	0.81	0	0.78	0.01
19.107	lilleelv	0.89	0	0.88	0.04
20.2	austenaa	0.84	0	0.8	0.03
21.47	lislefjodd	0.6	0	-0.37	0.71
22.4	kjolemo	0.85	0	0.82	-0.02
22.16	myglevatn	0.88	0	0.82	-0.03
22.22	sogne	0.88	0	0.81	0.07
24.8	moska	0.93	0	0.88	-0.03
24.9	tingvatn	0.9	0	0.86	-0.03
25.24	gjuvvatn	0.84	0	0.78	0.1
25.32	knabaani	0.59	0	0.78	0.04
26.20	aardal	0.77	0	0.74	0
26.26	jogla	0.58	0	0.63	-0.01
26.29	refsvatn	0.82	0.01	0.81	0.09
27.16	bjordal	0.63	0	0.5	0.19
27.24	helleland	0.7	-0.01	0.66	0.04
28.7	haugland	0.81	0	0.77	0.17
35.16	djupadalsvatn	0.77	0	0.86	0.07
36.9	middal	0.82	-0.04	0.88	-0.04
41.1	stordalsvatn	0.84	0	0.81	-0.13
42.2	djupevad	0.55	0	0.46	-0.06
46.9	fonnerdalsvatn	0.72	0	0.72	-0.03
48.1	sandvenvatn	0.85	0	0.83	0.03
48.5	reinsnosvatn	0.86	0	0.84	0.01
50.1	holen	0.86	0	0.85	0.06
50.13	bjoreio	0.76	-0.02	0.77	0.2
55.4	roykenes	0.74	0	0.67	0.15
55.5	dyrdalsvatn	0.61	0	0.22	0.15
62.5	bulken	0.88	0	0.88	-0.07
62.10	myrkdalsvatn	0.79	0	0.69	-0.12
62.18	svartavatn	0.54	0	0.57	0.05
72.5	brekkebru	0.8	-0.02	0.74	-0.07
73.27	sula	0.86	0	0.86	0.09
75.23	krokenelv	0.79	0	0.74	0.02
76.5	nigardsbrevatn	0.92	0	0.9	0.01
77.3	sogndalsvatn	0.84	0	0.77	-0.04
78.8	boyumselv	0.84	0	0.74	0.07

79.3	nessedalselv	0.56	0	0.55	0.02
82.4	nautsundvatn	0.81	0	0.81	-0.03
83.2	viksvatn	0.9	0	0.9	0
84.11	hovfoss	0.64	0.01	0.51	0.13
86.12	skjerdalselv	0.6	0	0.53	0.02
87.10	gloppenelv	0.75	0	0.72	0.03
88.4	lovatn	0.92	0	0.91	-0.05
91.2	dalsbovatn	0.86	0	0.81	0.01
97.1	fetvatn	0.6	0	0.6	-0.03
98.4	oye	0.72	0	0.71	0.02
103.1	storholen	0.82	0	0.89	-0.04
103.40	horgheim	0.84	0	0.89	-0.08
104.23	vistdal	0.6	0	0.49	0.2
105.1	osenelv	0.76	0	0.75	0.03
107.3	farstad	0.64	0	0.69	-0.04
109.9	risefoss	0.83	0	0.86	-0.08
109.29	dalavatn	0.79	0	0.82	0.06
109.42	elverhoybru	0.8	0	0.83	-0.06
112.8	rinna	0.55	0	0.66	-0.02
121.20	aamot	0.74	0	0.79	-0.13
122.9	gaulfoss	0.82	0	0.86	0.01
122.11	eggafoss	0.8	0	0.83	0.06
122.17	hugdalsbru	0.8	0.01	0.73	0.19
123.31	kjelstad	0.68	0	0.69	-0.14
124.2	hoggaasbru	0.72	0	0.74	0.04
127.11	veravatn	0.85	0	0.85	-0.02
127.13	dillfoss	0.68	0	0.71	0.02
133.7	krinsvatn	0.78	0	0.74	0.02
138.1	oyungen	0.8	0	0.78	-0.03
139.15	bjornstad	0.56	0	0.49	-0.04
139.35	trangen	0.77	0	0.72	0
148.2	mevatnet	0.9	0	0.76	-0.09
151.15	nervoll	0.77	0	0.72	0.08
152.4	fustvatn	0.84	0	0.8	0.06
156.10	berget	0.8	0	0.79	0.01
157.3	vassvatn	0.66	0	0.68	0.1
160.7	skauvoll	0.67	0	0.53	0.22
161.7	tollaaga	0.76	0	0.69	0.03
162.3	skarsvatn	0.81	0	0.79	-0.07
163.5	junkerdselv	0.74	0	0.76	0.09
165.6	strandaa	0.58	0	0.63	0.18
168.2	morsvikbru	0.78	0	0.7	0.13
173.8	coarvevej	0.82	0	0.77	0.15
174.3	ovstevatn	0.6	0	0.7	0.11

174.11	taraldsvikelv	0.58	0	0.79	0.12
177.4	sneisvatn	0.56	0	0.59	0.1
191.2	ovrevatn	0.82	0	0.85	0.03
196.35	malangsfoss	0.8	0	0.79	-0.1
200.4	skogsfjordvatn	0.77	0	0.74	0.04
203.2	jaegervatn	0.82	0	0.82	-0.04
206.3	manddalenbru	0.75	0	0.79	-0.18
208.3	svartfossberget	0.81	0	0.79	-0.22
212.10	masi	0.91	0	0.76	0.1
212.27	eibyelva	0.94	0	1	0
212.49	halsnes	0.79	0	0.79	-0.18
223.2	lombola	0.81	0	0.88	0.09
230.1	nordmannset	0.81	0	0.74	-0.14
234.13	vaekkava	0.83	0	0.6	0.11
234.18	polmak	0.85	0	0.73	0.07
247.3	karpelva	0.8	0	0.89	0.04
311.6	nybergsund	0.9	0	0.89	0.02
311.460	engeren	0.87	0	0.83	0.11
313.10	magnor	0.89	0	0.8	-0.03

7.2 Fil- og dataoversikt

HBV-modellen, versjon som brukes til kalibrering med inndata fordelt på 10 høydesoner
 /hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/hbv/bin/Source/
 hbv_all_hoh.for

Kontrollskript for kalibrering:

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/bin/runkalibrering.sh

Diverse skript og programmer som brukes ved kalibrering av HBV-modellen:

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/bin/

Inndatafiler:

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/data/ptq/<felt>
 .ptqhoh.dta

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/data/ptq/q.<felt>
 t>

Beste parameterfiler:

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/BesteModeller/<felt>.paramhoh.dat

Øvrige parameterfiler, som er felles for alle felt:

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/hbv/bin

/climncha.dat

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/hbv/bin

/default.dat

/hdata/fou/Hbv/HbvKalibrering/Kalibrering10s/hbv/bin
/vegtype.dat

Simuleringer av vannføringer og tilstander hentes ut i DAGUT i startsystemet.

Simuleringer med 2016-kalibreringen er lagt ut som versjon 2:

6000: modellert lufttemperatur
6001: modellert nedbør
6002: modellert sum fordampning fra sjø og vegetasjon
6003: modellert avrenning
6004: modellert vannføring
6005: modellert snøens vannekvivalent
6008: modellert snødekningsgrad
6013: modellert markvannsinhold
6017: modellert grunnvannshøyde, øvre sone
6018: modellert grunnvannshøyde, nedre sone



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

