

## Treffsikkerhet og presisjon i hydrologiske prognoser

.....  
Sluttrapport for FoU-prosjektet 80103



## Rapport, bokmål nr 13-2019

### Trefferikhet og presisjon i hydrologiske prognoser

- Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat
- Forfattere:** Elin Langsholt, Thomas Skaugen, Gusong Ruan, Trine Jahr Hegdal, Jan Magnusson, Kolbjørn Engeland, Graziella Devoli, Zelalem Mengistu, Heidi Bache Stranden, Péter Borsányi, Byman Hamududu, Erik Holmqvist
- Trykk:** NVEs hustrykkeri
- Forsidefoto:** I samme båt. 12 forskere har gått sammen om å lage bedre hydrologiske prognoser. Illustrert med en helleristning fra bronsealderen. Fra Högsbyn, HMs seksjonstur ned Dalsland kanal, juni 2018. Foto: Elin Langsholt, NVE
- ISBN:** 978-82-410-1837-4
- ISSN:** 1501-2832

**Sammendrag:** Denne sluttrapporten oppsummerer resultater og leveranser fra det interne FoU-prosjektet 80103, Trefferikhet og presisjon i hydrologiske prognoser, som ble gjennomført i perioden 2015 til 2018. Målsettingen med prosjektet var å forbedre våre operasjonelle metoder med hensyn til metodikk og tilgjengelige data, for å forbedre trefferikhet og presisjon i våre hydrologiske prognoser.

**Emneord:** hydrologiske prognoser, hydrologiske modeller, flomvarsling, jordskredvarsling

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

Telefon: 22 95 95 95  
Epost: [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no)  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

Mars 2019

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Mål for prosjektet</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Resultater og leveranser fra prosjektet</b> .....	<b>7</b>
2.1 Arbeidspakke 1: Bedre parameterestimering. ....	7
2.1.1 DDD-modellen .....	7
2.1.2 HBV-modellen.....	8
2.1.3 ODM modellrammeverk .....	10
2.1.4 Standardisering av hydrologiske modeller.....	11
2.2 Arbeidspakke 2: Kvantifisering av usikkerhet .....	12
2.2.1 Pre- og postprosessering av ECMWF-ensembleprognoser..	12
2.2.2 Operasjonell bruk av AROME MEPS ensembleprognoser ...	12
2.2.3 MET-NVE workshops om anvendelse av ensemble værvarsler i hydrologiske modeller.....	13
11. november 2015:.....	13
28. november 2016:.....	13
24. november 2017:.....	13
23. november 2018.....	14
2.2.4 Kartlegging av flomvarslernes holdning til ensembleprognoser	14
2.3 Arbeidspakke 3: Dataassimilering .....	14
2.4 Arbeidspakke 4: Bruk av fjernmålte data fra radar i hydrologisk varsling	15
2.5 Arbeidspakke 5: Bedre bruk av data og alternative metoder .....	17
2.5.1 Sesongsenarioer.....	17
2.5.2 Graddagsfaktoren ved snøsmelting.....	18
2.5.3 Visualisering av vannføringsprognoser .....	18
2.5.4 Visualisering av tilstander .....	19
2.5.5 SoilFlow (Sflow) .....	20
2.5.6 DataDrevne Modeller .....	20
2.5.7 Flomstatistikk .....	22
<b>3 Resultater tatt i bruk i løpet av prosjektet</b> .....	<b>22</b>

<b>4</b>	<b>Formidling .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Beskriv enkelt og kort hva kom ut av prosjektet.....</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Faktiske gevinster – dokumentasjon av implementerte resultater</b>	<b>26</b>
6.1	Filplassering og nettadresser: .....	26
6.1.1	Verktøy for validering av siste års simuleringer .....	26
6.1.2	Verktøyet for manuell kjøring av HBV-modellene .....	26
6.1.3	Historisk lager av HBV-modellresultater (1 måned).....	26
6.1.4	Historisk lager for prognoser for de griddbaserte HBV-modellene	26
6.1.5	Plattform i GitHub for testing av hydrologiske modeller .....	26
6.1.6	Plattform i GitHub med kode for dataassimilering.....	26
6.1.7	Flomvarslingsappen .....	27

# Forord

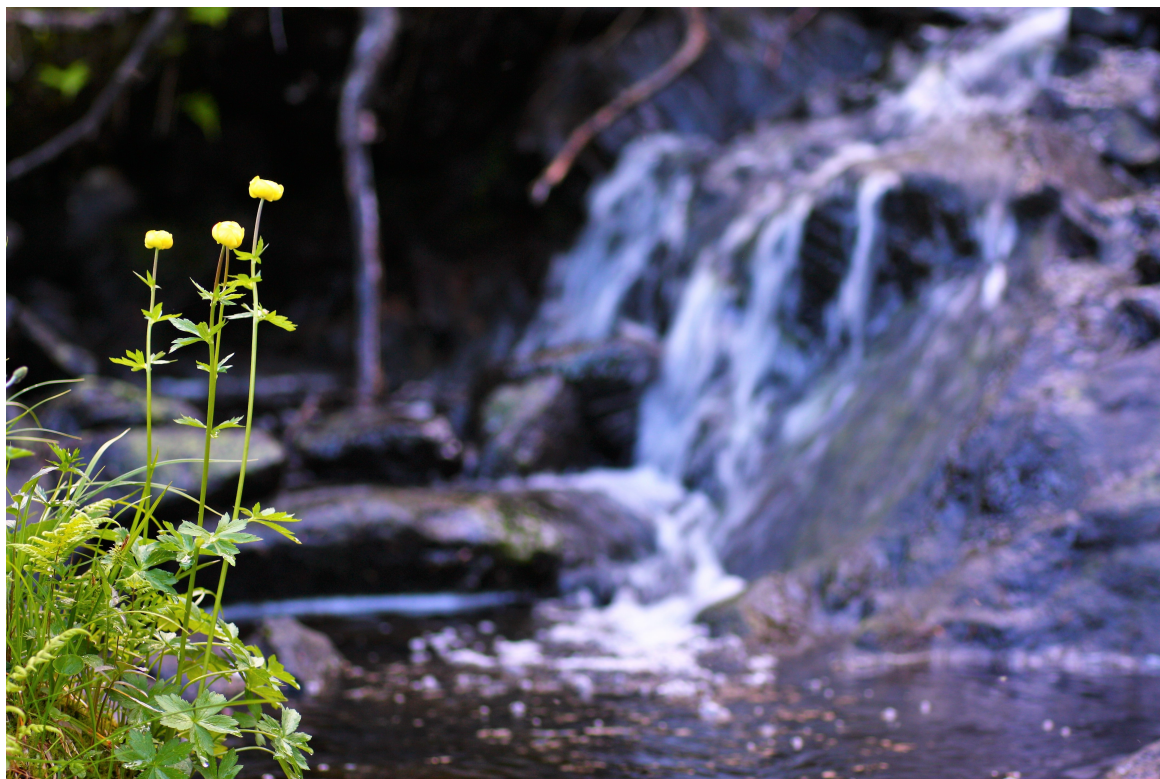
NVE har et nasjonalt ansvar for flomvarsling og varsling av jord-, sørpe- og flomskredfare, og har som oppgave å bistå beredskapsapparatet med gode hydrologiske prognoser. Målet er økt sikkerhet, reduserte skader og å redde liv. Varslingen baserer seg på hydrologiske prognoser, utarbeidet ved hjelp av vær- og vannføringsdata og hydrologiske modeller. Tilgjengelig informasjon, analyseteknikker og teknologi er i stadig utvikling, og vi jobber for å utnytte potensialet i tilgjengelig datamateriale og metodikk på en god måte. Målet med prosjektet har vært å bidra til det.

Prosjektet er sammensatt og har avstedkommet til en lang rekke leveranser. Arbeidet mot et felles mål – å forbedre varslingstjenesten – har samlet medarbeidere fra forskjellige arbeidsområder og bidratt til samarbeid og kommunikasjon.

Oslo, mars 2019

Morten Johnsrud  
avdelingsdirektør

Hege Hisdal  
seksjonssjef



Figur 1. Ballblom ved sidebekk til Etna. Foto: Elin Langsholt/NVE

# Sammendrag

Denne sluttrapporten oppsummerer resultater og leveranser fra prosjektet 80103, Treffsikkerhet og presisjon i hydrologiske prognoser, som har pågått fra 2015 til 2018. Det skjer en kontinuerlig teknologisk utvikling og det foregår mye internasjonal forskning på temaer som er relevante for hydrologisk varsling. NVEs nasjonale varslingstjeneste for flom og løsmasseskred tar del i denne forskningen og ønsker å optimalisere våre operasjonelle metoder med hensyn til metodikk og tilgjengelige data, slik at våre hydrologiske prognoser skal bli best mulig.

Vi har tilnærmet oss prosjektets målsetting fra ulike vinkler gjennom fem arbeidspakker:

- AP1: Bedre parameterestimering. I denne arbeidspakken har fokus vært rettet mot å bedre den fysiske forankringen til modellparametrene slik at modellene er robuste mht. ulike typer anvendelse, optimalisere kalibrering av modellene, validere kvaliteten på modellsimuleringene og tilrettelegge funksjonalitet for flomvarslerne.
- AP2: Kvantifisering av usikkerhet. Målet med arbeidspakken har vært å tilpasse og ta i bruk værprognoser på ensembleformat. Både short range (AROME MEPS) og medium range (ECMWF-EPS) ensembler er tilgjengelig for varslingstjenesten.
- AP3: Dataassimilering. Arbeidspakken har omfattet kodeutvikling og –testing. Arbeidet med problematikken har synliggjort viktigheten av et mer samkjørt modellsystem i varslingstjenesten.
- AP4: Bruk av fjernmålte data fra radar i hydrologisk varsling. Prosessering og tilrettelegging av data fra radar og radarbasert nåvarsling er utført av MET i prosjektperioden. Det jobbes videre med å gjøre dataene tilgjengelig for operasjonell bruk i hydrologiske modeller. Muligheten av å varsle bygeutløste jordskred- og flomhendelser ved hjelp av radardata er et annet tema under videre utvikling.
- AP5: Bedre bruk av data og alternative metoder. Dette er en sammensatt arbeidspakke, der ulike bidragsytere har jobbet med forbedring av sesongsenarioene, kvantifisering av snøsmelting, nye modellkonsepter og tilgjengeliggjøring av data.

Prosjektet har generert mye kunnskap og mange leveranser. Prosjektet har også synliggjort behov som er tatt videre i et oppfølgende FoU-prosjekt.



Figur 2. Dunkjeppe ved konfluensen i Lyon. Foto: Elin Langsholt/NVE

# 1 Mål for prosjektet

Prosjektet har hatt som mål å bidra til at NVEs hydrologiske varslingsjeneste utvikler og tar i bruk effektive teknikker for å lage prognoser for vannføring og jordskredfare med høy treffsikkerhet og presisjon. Tilgjengelig informasjon, analyseteknikker og teknologi er i stadig utvikling, og vi ønsker å utnytte potensialet i tilgjengelig datamateriale og metodikk på en god måte. Arbeidet har fokusert på modellutvikling, anvendelse av nye meteorologiske data og tilgjengeliggjøring av data og modellresultater.

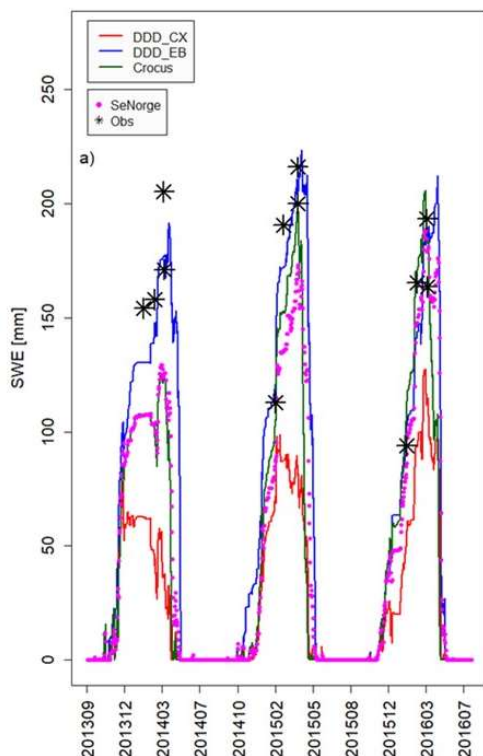
## 2 Resultater og leveranser fra prosjektet

Prosjektet har vært organisert i fem arbeidspakker, som har gått parallelt. Arbeidspakkene har brukt ulike tilnæringsmåter til den felles hovedmålsettingen, å lage bedre prognoser. De fem arbeidspakkene er:

### 2.1 Arbeidspakke 1: Bedre parameterestimering.

#### 2.1.1 DDD-modellen

DDD modellen er utviklet med det siktemål å bruke få og fysisk baserte parametre, som kan bestemmes ved hjelp av kartdata. Slik vil modellen være tilnærmet uavhengig av kalibrering, og den vil ha et godt utgangspunkt for anvendelse i umålte felt.



Figur 3. Figuren viser ulike simuleringer av snøens vannekvivalent. DDD med energibalanse (blå linje) treffer observasjonene bra. Figur: Thomas Skaugen

#### *Parametre med fysisk forankring*

I løpet av prosjektperioden har flere av rutinene i DDD-modellen fått parametre med fysisk forankring. Kvaliteten på simuleringene er opprettholdt, og til dels blitt forbedret.

- snøfordelingen er nå basert på observert nedbørsvariabilitet (Skaugen og Weltzien, 2016, Weltzien, 2015). Metoden eliminerer problemet med trend i SWE (snow water equivalent), som av og til gir en uheldig flerårsutvikling med den tradisjonelle metoden, og gir en bedre simulering av SCA (snow covered area).
- snøsmeltingen beregnes fra energibalansen, drevet av nedbør og temperatur, og dermed er graddagsfaktoren eliminert (Tvedalen, 2015, Skaugen et al., 2018), se figur 3.
- fordampningen beregnes fra energibalansen

- det er utviklet en oppdateringsalgoritme som kopler avvik mellom observert og simulert avløp til grunnvannsmagasinet, og justerer dette tilsvarende (Skaugen og Mengistu, 2016). Oppdateringsalgoritmen er ikke implementert ennå.

#### *Minifeltmodell*

DDD-modellen benyttes som modell i det nylig restaurerte minifeltet Muren, med intensive registreringer av ulike vannbalansekomponenter.

#### *Ekstremverdisimulering*

DDD-modellen brukes også i EDF (Electricité de France)-prosjektet SCHADEX, for simulering av ekstremverdier for avløp i målte og umålte felt.

#### *Ny kalibreringsalgoritme*

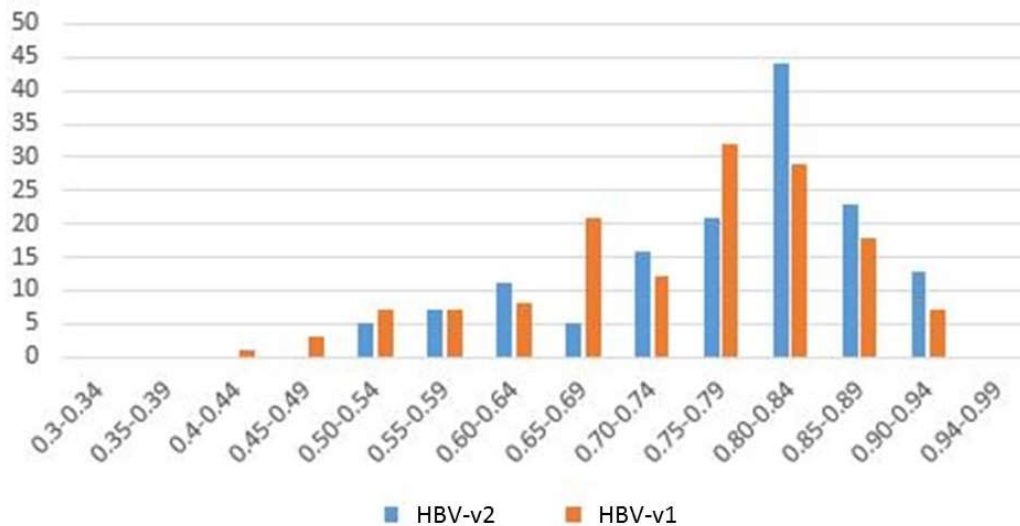
Ny kalibreringsalgoritme og nytt kalibreringskriterium er introdusert for DDD- modellen: PPSO (Parallel Particle Swarm Optimization) med KGE (Kling Gupta Efficiency) som kriterium.

### 2.1.2 HBV-modellen

#### *Rekalibrering*

Både DDD- og HBV-modellen er rekalibrert med datasettet seNorge-v2 som inndata. Inndataene leses inn høydesonevis (Ruan og Langsholt, 2017). Rekalibreringen har gitt en forbedring i NS-kriteriet (Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient) for de fleste modellene, se figur 4. Modellene kjøres med økt (+ 50%) og redusert (- 50%) nedbør i tillegg til den operasjonelle prognosen, for å gi informasjon om de hydrologiske prognosenes følsomhet for nedbørprognosen.

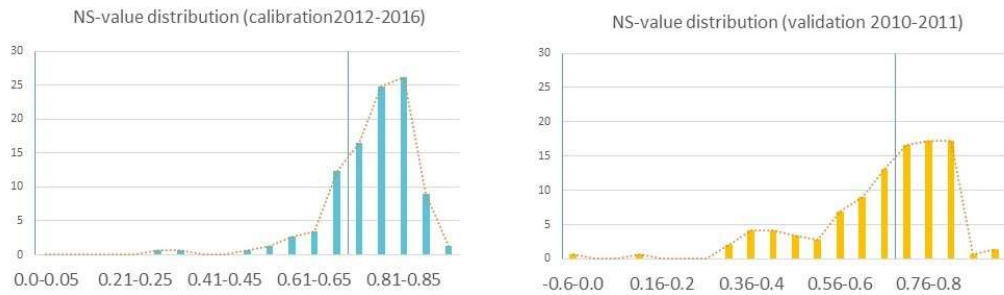
Fordelingen av modellfeltenes NS-verdier



Figur 4. Fordelingen av Nash-Sutcliffe-verdier over flomvarslingsmodellene (24-timers tidsskritt) for kalibreringen med seNorge-v2 som inndata (blå søyler) sammen med den tidligere kalibreringen (oransje søyler). Figur: Gusong Ruan.

Modellene er også kalibrert med tre timers tidsskritt, se figur 5, og kjøres med mesoskala ensemblevarsler som inndata, se kap. 3.2.2.





- 77.9 % of models have NS-value greater than 0.70 in calibration period .
- In validation period 53.1% of models have NS-value greater than 0.70.

**Figur 5. Fordelingen av Nash-Sutcliffe-kriteriet over tretimersmodellene i kalibrerings- (til venstre) og valideringsperioden (til høyre). Figur: Gusong Ruan.**

Simulert vannføring og beregnete tilstander fra HBV-modellene lagres i Hydra2 til analysebruk. Dataene er også grunnlaget for energiprognoene som lages hver uke. I tillegg er nå-tilstanden, slik den beregnes av HBV-modellen utgangspunktet for senariokjøringene, som også kjøres hver uke og gir landsdekkende sesongvarsler, som det er spesiell interesse for i vårmånedene. HBV-modellenes prognoser formidles også daglig til et knippe kunder.

#### *Løpende validering*

Verktøyet for sisteårsvalidering (Taylordiagram) av modellprognosene er videreutviklet slik at isoppstupa vinterdata er fjernet fra valideringen. Døgnsimuleringer fra HBV-modellen, DDD-modellen og ODM valideres.

#### *Verktøyet for manuell kjøring*

Verktøyet for manuell kjøring av HBV-modellene med mulighet for å manipulere inndataene (værprognosene) er oppdatert mht. recalibreringen.

#### *Historisk lager*

Et system for lagring av nedbør- og temperaturprognoser, slik de går inn i modellene (ett år) og HBV-modellkjøringer (en måned) er etablert. Dette er nyttig ved dokumentasjon av flommer.

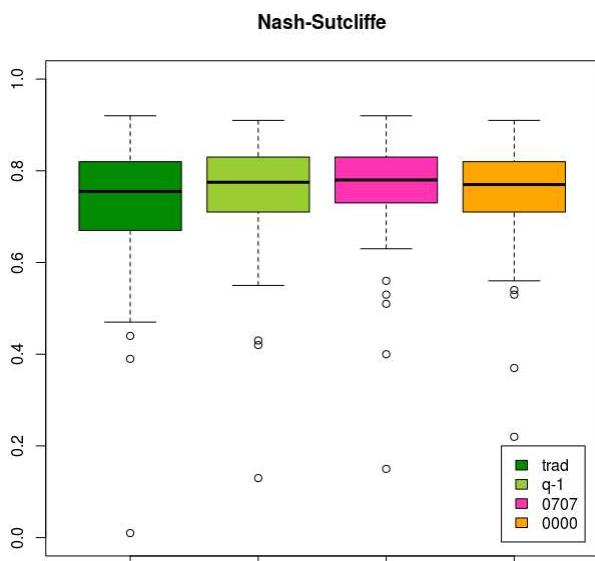
#### *Lakmustesten*

En student på internshipopphold utførte sommeren 2017 en analyse av hendelser der flomvarslingsmodellene ga relativt dårlige simuleringer av hendelsesforløpet, med fokus på markvann, grunnvann, snøsmelting og infiltrasjonsprosessen sammenholdt med observasjoner. Resultatene fra HBV, DDD og COUP ble sammenliknet. Dette var tenkt som en videreføring av 81057s "lakmustest". Studien viste at det er flere årsaker til at modellene presterer dårlig. Anbefalte tiltak for å forbedre modellresponsen ble oppsummert slik:

- forbedre vannbalansen i modellene, f.eks. ved i større grad å binde vannbalansen (fordampning, snømagasin) til et fornuftig nivå under kalibrering
- samkjøre døgnet for vær og vannføring
- assimilere mark- og/eller grunnvannsnivå for å få bedre kontroll på fordeling av respons mellom overflateavrenning og vann i bakken.

- teste ut alternative numeriske implementeringer av responsalgoritmen i modellen.

En oppsummering av analysen finnes i Alarcon (2017) og Langsholt (2017).



**Figur 6.** Bokplott som viser hvordan Nash-Sutcliffe-verdiene fordeler seg over modeller som er kjørt med ulike døgninndeling. Den rosa og den oransje boksen viser resultatene for de to variantene av samkjørt døgn. **Figur:** Elin Langsholt.

### Samkjørt døgn

Med stadig bredere tilgang til findata, har vi nå muligheten til å akkumulere tidsseriedata over egendefinert døgn. I dag har værdøgnet bare en overlapp på 8 timer med vannføringsdøgnet. Effekten av å samkjøre døgnet for meteorologiske data og vannføring på kvaliteten av de døgnbaserte modellsimuleringene er studert, se Langsholt (2018). De operative modellene er satt opp med fire ulike kombinasjoner av døgninndelinger av datasettene, og et utvalg kvalitetskriterier er sammenliknet. Formålet med studien er å komme med en anbefaling for hvordan modelldatasettene skal deles inn tidsmessig for de døgnbaserte

modellene i den videre driften av flomvarslingsmodellene. Testen konkluderer med en klar anbefaling om å bruke samkjørte data. Det er ikke mulig å gi en entydig anbefaling når det gjelder om dataene skal aggregeres over tidsrommet 00 - 00 eller 07 – 07.

### Samkalibrering av 3-timers og 24-timersmodeller

En student på internshipopphold gjennomførte et eksperiment der 3- og 24-timersmodellene ble kalibrert sammen, slik at de ble tilpasset det samme parametersettet. Noen av parameterne defineres i forhold til tidsskrittet, og disse ble justert tilsvarende. Bakgrunnen for oppgaven var et ønske om at modeller for samme nedbørfelt, men med ulike tidsskritt, opererer med sammenliknbare tilstander, slik at det er lettere å sammenlikne den hydrologiske responsen på en værhendelse. Slik modellene fungerer nå, når de er kalibrert helt uavhengig av hverandre, er ofte tilstanden i forkant av en hendelse svært ulik, og det kan være vanskelig å vurdere responsen for ulike tidsskritt i forhold til hverandre. Oppgaven ble utført for et begrenset antall modellfelt, men det ble konkludert med at samkalibrering av modeller med ulike tidsskritt fungerer og er verd å gjøre en storskala test av.

En alternativ måte å harmonisere modellresultatene for ulike tidsskritt på er å aggregere simuleringene med 3-timersmodellene, slik at de gir 24-timersresultater. Det vil være interessant å sammenlikne denne metoden med resultatene fra samkalibrering.

Arbeidet er oppsummert i studentrapporten Pic (2018).

### 2.1.3 ODM modellrammeverk

Det er gjort en betydelig jobb for å tilrettelegge ODM for kjøring med inndata i form av ensembler. Det er lagt opp til stor fleksibilitet mht. starttidspunkt, rekjøring, antall dager

det skal kjøres for, antall ensemblemedlemmer og hvorvidt det skal oppdateres med siste vannføringsobservasjon før prognosestart. ODM for ensembler er brukt i arbeidspakke 2.

#### **2.1.4 Standardisering av hydrologiske modeller**

En temporær arbeidsgruppe har jobba med tilrettelegging av en plattform for testing og sammenlikning av ulike hydrologiske modeller. Det er etablert et område (repository) i GitHub, <https://github.com/NVE/RunoffTestData>, der det er lagt til rette vannføringsdata med tidsskritt ett døgn for 126 nedbørfelt som er viktige for flomvarslinga.

Vannføringsdataene er også lagt ut i en versjon som er synkronisert med meteorologiske data for det synoptiske tidsintervallet kl. 07-07. Det er også lastet opp et utvalg funksjoner, programmert i R, som beregner ulike kvalitetskriterier for simuleringen.

Nettstedet skal bidra til å gi en fellesmålestokk for våre hydrologiske modeller, slik at vi kan kvantifisere om videreutvikling av en av modellene medfører forbedring.

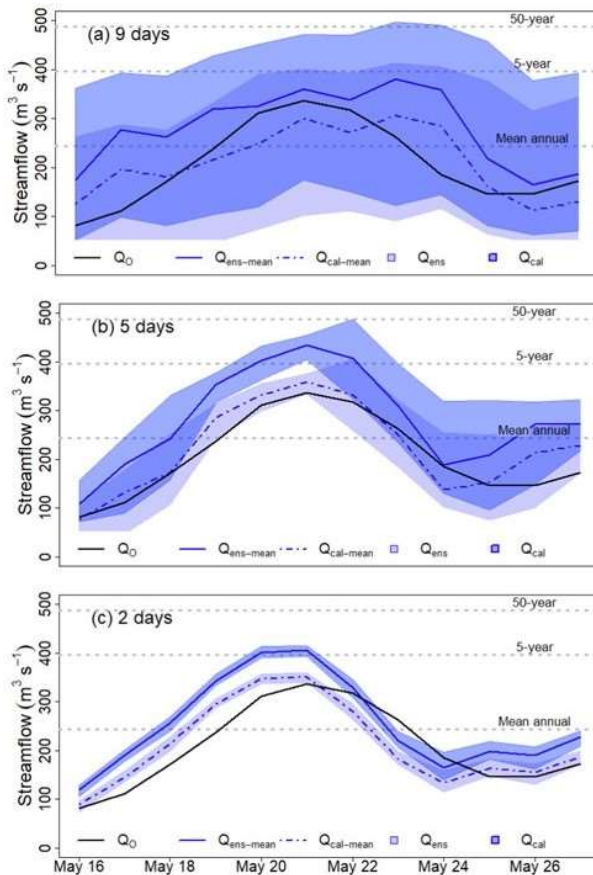
Det har vært initiert flere diskusjoner rundt videreutviklingen av flomvarslingas modellsystem. Et flertall av de som jobber med hydrologiske modeller slutter seg til følgende:

- Det er behov for et felles utviklingsverktøy, med versjonskontroll og dokumentasjon, slik av vi lettere kan dra nytte av hverandres arbeid
- Det er behov for et modellverktøy som er enklere og mer hensiktsmessig enn dagens mange forskjellige systemer
- Det er stor villighet til å lære seg et nytt programmeringsspråk for å samles om et felles verktøy
- Vi må være uavhengige av HI for implementering av forbedringer, for å få slike raskere i bruk
- Vi ønsker å dra nytte av en felles dataflyt og felles funksjonalitet, som feiltesting, evaluering og visualisering
- Et felles utviklingsverktøy med flere brukere er mindre sårbart for personalendringer

Etter hvert endte denne diskusjonen opp i en ny prosjektsøknad for 2019-2020, som er blitt til prosjektet 80503, Flomvarslingsmodellforbedring i nytt rammeverk.

## 2.2 Arbeidspakke 2: Kvantifisering av usikkerhet

### 2.2.1 Pre- og postprosessering av ECMWF-ensembleprognoser



Figur 7. Et eksempel på en vannføringsprognose ved vannføringsstasjonen 62.5 Bulken med ledetid 9, 5 og 2 dager. Blå linje (ensemblegjennomsnitt) med blå skravur (ensembleutstrekning) viser resultatet med ukalibrerte temperaturdata. Stiplet linje med fiolett skravur viser resultatene med kalibrerte temperaturdata. Svart linje viser modellsimulering med observerte data (seNorge). Figur: Trine J. Hegdahl.

Temperaturkalibrering kan medføre at varslingsnivået som prognosene indikerer endres. Det er behov for i større grad å tilpasse kalibreringen til de enkelte nedbørfelt.

Arbeidet er presentert i artikkelen Hegdahl et al. (2019) og på flere workshop'er og konferanser, se Hegdahl (2018), Hegdahl et al. (2017) og Hegdahl et al. (2016).

### 2.2.2 Operasjonell bruk av AROME MEPS ensembleprognoser

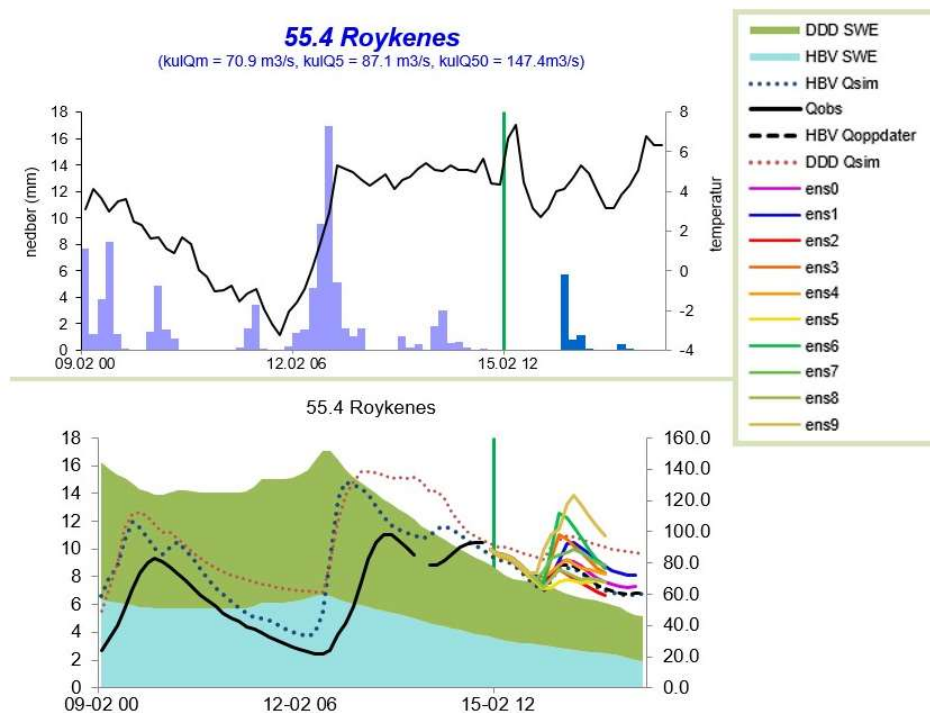
AROME MEPS (MetCoOp Ensemble Prediction System knyttet til den nordiske regionale/mesoskala værmodellen) data lastes ned to ganger om dagen, og klargjøres for bruk i de hydrologiske modellene (3t). Både DDD- og HBV-modellene kjøres på MEPS-dataene og visualiseres i regneark og på web med SHINY-app. Det skjer ingen kalibrering av MEPS-dataene i dagens implementering. Ensemblet av vannføringsprognoser oppdateres med hensyn til siste vannføringsobservasjon.

#### *Kalibrering av ECMWFs temperaturprognose*

ECMWF betegner modellen fra European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Effekten av å kalibrere ensemblet av temperaturprognoser fra EC-modellen på hvor godt prognosen treffer mht. temperatur og vannføring har blitt studert. Det er også undersøkt om det er geografiske forskjeller i effekten av å kalibrere temperaturprognosen og om effekten varierer med sesongen.

Kalibreringen viser seg å redusere skjevheten i avviket og forbedre kvalitetskriteriet CRPSS (Continuous Ranked Probability Skill Score) for de fleste av modellfeltene, med best resultater for lavpresterende kystfelt og dårligst resultater for innlandsfelt. Effekten er lavest for vårmånedene.

For vannføringen medfører kalibreringen en forbedret prognose for drøyt halvparten av modellfeltene. Prognosen er mest sensitiv for temperaturkalibrering i vårmånedene.



Figur 8. Visualisering av den operative kjøringen av 3-timersmodellene med ensembleprognoser for vannføringsstasjonen 55.4 Røykenes. Grønn vertikal linje viser dagen prognosen er laget. Resultatene for DDD- (prikket rød linje) og HBV-modellen (prikket blå linje) er vist. Ensemblevarselet er kjørt med HBV-modellen. Figur: Gusong Ruan.

### 2.2.3 MET-NVE workshops om anvendelse av ensemble værvarslers i hydrologiske modeller

Det har vært arrangert årlige workshops i samarbeid med MET, der tema har vært ensembleværvarslers og anvendelse av disse i hydrologiske modeller. Nedenfor følger en oversikt over de arrangerte workshopene.

11. november 2015:

- Eivind Støylen: NWP models, EPS and probabilities at MET Norway
- Richard Moore: Illustrative Examples: Ensemble Forecasts for Two Norwegian Flooding Events
- Andrew Singleton: Probability Uncertainty & Risk
- Elin Langsholt: EPS som inndata til HBV for utvalgte hendelser

28. november 2016:

- Morten Køltzow: METCOOP EPS (MEPS)
- Anders Doksæter Sivle: Case studier av AROME og MEPS
- Richard Moore: The Norwegian Mesoscale Ensemble and Atmospheric River Experiment (NEAREX)
- Elin Langsholt, Jess Andersen og Gusong Ruan: En MEPS-øvelse med HBV-modellen
- Trine Jahr Hegdal: Use of MEPS (ODM)

24. november 2017:

- Eivind Støylen: MEPS - Background, status, challenges, lagging?
- Eldbjørg Moxnes: Case-studie med EC/EC-EPS og MEPS

- Anders Doksæter Sivle: Case: Flommen på Sørlandet 30 september - 3 oktober
- Richard Moore: ECMWF Monthly Forecasts
- Elin Langsholt, Jess Andersen, Gusong Ruan: MEPS i HBV-24t, Sørlandsflommen 30.9.-3.10.2017.
- Trine Jahr Hegdal: MEPS 2017 (ODM), Flom på Sørlandet, Oktober 2017
- Zelalem Mengistu: MEPS I DDD-3t

### 23. november 2018

- Eivind Støylen: MEPS overview and development
- Eldbjørg Moxnes: The new weather warnings & case 13-14 Oct.
- Aina Marie Johannessen: Birk/other cases
- Elin Langsholt, Jess Andersen, Zelalem Mengistu, Gusong Ruan: Cases from Hydrological perspective

#### **2.2.4 Kartlegging av flomvarslernes holdning til ensembleprognoser**

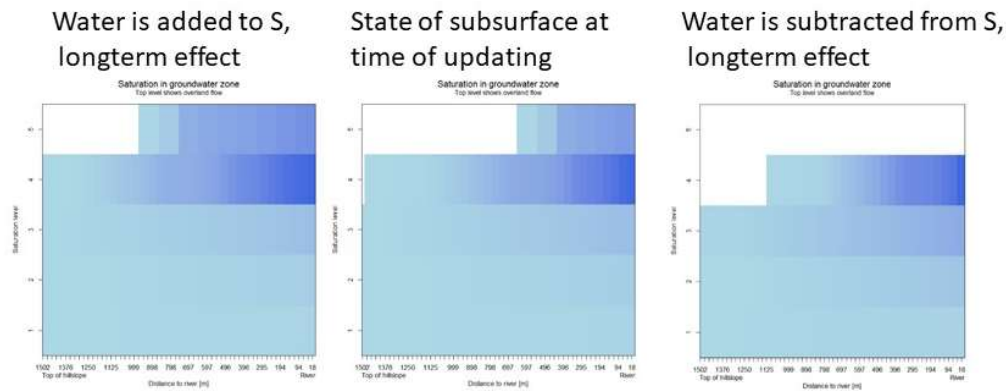
Vi ønsker å skrive en artikkel om bruk av ensemblevarsler i flomvarslingstjenesten, med fokus på hvordan de som deltar i flomvarslingstjenesten opplever dette verktøyet. Første del av studien tar utgangspunkt i flomvarslernes forventninger til ensembleprognoser før implementering. Det er gjennomført en brukerundersøkelse for å kartlegge dette. Ensemblevarsler fra HBV- og DDD-modellen er nå tilgjengelig, og en ny brukerundersøkelse vil bli gjennomført etter at flomvarslerne har høstet erfaringer med bruk av ensemblevarslene gjennom ett års tid.

### **2.3 Arbeidspakke 3: Dataassimilering**

En hindring for å implementere dataassimileringsalgoritmer i flomvarslingsmodellene, har vært at de ulike modellene er programmert i forskjellige programmeringsspråk, slik at det ville være svært arbeidskrevende å få et sammenliknbart testoppsett. Det er derfor kjørt dataassimilering (ensemble Kalman filter og partikkelfilter) operasjonelt i testmodus i en egen modell (Gr4j), som har vært enkel å håndtere. Resultatene har ikke vært tilgjengelige for flomvarslingen. Arbeidet rundt dataassimilering er publisert i Magnusson et al. (2017).

Kodene som har gått i testmodus kan være et utgangspunkt for videre arbeid med dataassimilering. Disse er samlet og gjort tilgjengelige i GitHub, se kapittel 6. Et stabilt rammeverk rundt disse modellkodene må etableres for robust kjøring i operasjonell modus.

En DDD-modellspezifikk dataassimileringsalgoritme er testet ut med gode resultater, se kapittel 3.1.1.



Figur 9. Illustrasjon av dataassimilering i DDD-modellen. Vanninnholdet i mark- og grunnvannssonen justeres ved bruk av informasjon fra resesjonskurven. Figur: Thomas Skaugen.

## 2.4 Arbeidspakke 4: Bruk av fjernmålte data fra radar i hydrologisk varsling

Delprosjektet er gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom NVEs flomvarslingstjeneste og MET. Prosessering og tilrettelegging av radardata er gjort på MET. Anvendelse i hydrologiske modeller evalueres i NVE. Aktiviteten er koplet til RadPro-prosjektet innenfor EnergiX-programmet. Det er også gjort en studie der vi har sett på muligheten av å varsle bygeutløste jordskred- og flomhendelser ved hjelp av radardata.

### *Etablering av KliNoGrid*

Det er etablert radarbaserte datasett til bruk i hydrologiske modeller:

- RR1-Rad KliNoGrid\_beta dataset: timesakkumulerte nedbørdata fra rene radarobservasjoner, uten korrigering, fra 2014.07. til 2016.02.
- RR1-Rad KliNoGrid dataset: timesakkumulerte nedbørdata fra kombinasjon av rene radardata og seNorge-griddet, versjon 2, tidsskritt en time, fra 2014.07 til 2016.02.

### *Nåvarsling*

Nedbørvarsling for de neste 1.5 timene ble tilgjengelig via Varsom.no og yr.no i 2017. Varselet tar utgangspunkt i radarreflektiviteten, og angis ikke kvantifisert, men med en kvalitativ skala. Det jobbes videre med å utvikle nåvarsler for akkumulert nedbør og overskridelse av varslingssterskler. Arbeidet med nåvarsling tas videre i det interne FoU-prosjektet 80211 Vann i byer og tettsteder.

### *Anvendelse av radardata til forbedring av nedbør- og vannføringsvarsler*

Ved bruk av optimal analyse av registrert nedbør (profesjonelle stasjoner og Netatmomålinger) og nedbørradardata i sanntid og harmonisering av analysen og modellprognosen, med biaskontroll og konsistenssjekk, skal forbedrete nedbørprognoser produseres operasjonelt. Etter planen skal produksjonen av disse være på plass i løpet av første kvartal 2019.

Det jobbes også med å forbedre temperaturprognosen ved bruk av registreringer. Netatmomålingene er beheftet med en del feil, men mye av denne støyen kan filtreres

bort ved å ta i bruk informasjon om høyden, målinger på nabostasjoner og romlig konsistens og modellprognoser.

Anvendelse av radardata i hydrologisk varsling krever modeller som går på finere tidsskritt enn de vi har operative nå. Det arbeides med å etablere egnet modellverktøy til oppgaven.



**Figur 10.** Bildet av det analyserte skredet i Rogaland. Radarbildet som er innfelt viser kraftige signaler der skredet gikk. Figur: Graziella Devoli.

*Hendelsesdata innenfor dekningsområdet til radarene*  
Vi hadde følgende mål for delprosjektet:

1. Identifisere jordskredhendelser og flomhendelser som ble utløst av bygenedbør innenfor dekningsområdet til radarene.
  - a. Målet var en liste over hendelser der bygenedbør hadde utløst jordskredhendelser og/eller flomhendelser. Vha. xgeo er 144 mulige slike hendelser i periode 2011-2017 identifisert. Lista trenger videre kontroll og analyse, for bl. a. å finne ut om det er reelle skredhendelser. Det jobbes videre med saken, som skal publiseres sammen med Rogalandsrapporten (se punkt 2).
2. Analyse av identifisert jordskredhendelser (case study) innenfor dekningsområdet til

radarene

- a. Vi har startet med analyse av flomskredhendelsen i Rogaland 2. juni 2016, fordi det skjedde under prosjekt og vi visste at det var utløst av intense nedbør over kort tid. Skredhendelsen var ikke varslet, da tilgjengelig informasjon før hendelsen ikke tilsa behov for økt aktsomhet. Studien belyser hvorvidt radarbasert informasjon kunne gjort det mulig å varsle en slik hendelse. Radardata viser svært stor nedbøraktivitet i skredområdet en periode, noe som ikke var identifiserbart fra stasjonsobservasjoner. Data fra lynaktivitet og satellittbåren radar (IMERG) er også brukt i studien. Det ble gjennomført et feltarbeid sommeren 2017 med formål å identifisere utløsningsmekanismen for skredet og å kunne lage en mer presis beskrivelse av skredprosessen. Resultater fra analysene ble presentert på EGU 2017 (Devoli et al. 2017)
- b. Resultatene skal også publiseres i form av en NVE-rapport våren 2019 (Devoli et al. 2019). I denne rapporten presenteres også resultatene fra analysen av IMERG satellittdata, som ble gjennomført i forbindelse med Rogalandhendelsen.



- c. Rogalandhendelsen ble også analysert i en masteroppgave på UiO, veiledet fra NVE, med fokus på modellering av rekkevidde, som er viktig for fareanalyse (Michalsen, 2018).
3. Sammenstille Rogalandshendelsen med tilsvarende skredhendelser andre steder i landet og utføre mer GIS-analyser
  - a. En masterstudent jobber med denne oppgaven, og leverer til sommeren (Øverby, 2019). Tema for oppgaven er «Identifisere nedbørintensitet ved utløsning av utvalgte bygenedbørutløste skred, ved hjelp av radardata». I alt 7 hendelser er valgt ut for videre analyse fra lista i punkt 1.

## 2.5 Arbeidspakke 5: Bedre bruk av data og alternative metoder

### 2.5.1 Sesongsenarioer

#### *Forbedring av sesongsenarioene*

Sesongsenarioene er et viktig verktøy for å kunne si noe om langtidsutsiktene mht. vannføring og hydrologisk tilstand, og anvendes også for å estimere kommende tilsig til kraftsystemet. Det er spesielt stor interesse for disse langtidsprognosene i vårsesongen. Dagens snømagasin er en faktor som er med å bestemme sannsynligheten for stor vårflom. Men sesongsenarioene er også bearbeidet slik at de er blitt mer strømlinjeformet med hensyn til å kunne brukes gjennom hele året og over årsskifter. I tillegg er det lagt til rette for å bruke senarioene som inndata i hydrauliske modeller for vannstandsutviklingen i de store innsjøene i Drammensvassdraget.

#### *Evaluering av sesongsenarioer*

Hvor gode sesongsenarioene er til å varsle sannsynlighet for vårflom, med hensyn til flomtopp og avløpsvolum, er evaluert. 109 av de 145 varslingsfeltene er tatt med i analysen. Disse tilfredsstillende kravene som ble satt i analysen, om minst 30 år med vannføringsobservasjoner og mindre enn 5% reguleringsgrad. Treffsikkerheten til senarioene avhenger av vassdragets klimatologi og senarioenes ledetid. Senarioene gir best varsler for felt med dominerende vårflomregime. Sannsynlighetsestimater gir bedre indikasjoner når det gjelder avløpsvolumer enn flomtopper. I mange felt gir vårflomsenarioene et bedre estimat for vårflommen enn klimatologien, når ledetiden er under en måned.

Treffsikkerheten til senarioene er sammenliknet med hvor godt en enkel regresjonsmodell mellom snøens vannekvivalent (simulert med HBV-modellen) og flommen, representert ved flomtopp og flomvolum kan indikere vårflom. Senarioene skårer bedre enn regresjonsmodellen på ren korrelasjon mellom varslet og observert flom, mens sannsynlighetsvarselet basert på regresjon skårer bedre enn senarioenes sannsynlighetsvarsel, målt med CRPSS. Dette viser hvor stor betydning snømagasinet har for utfallet av vårflommen.

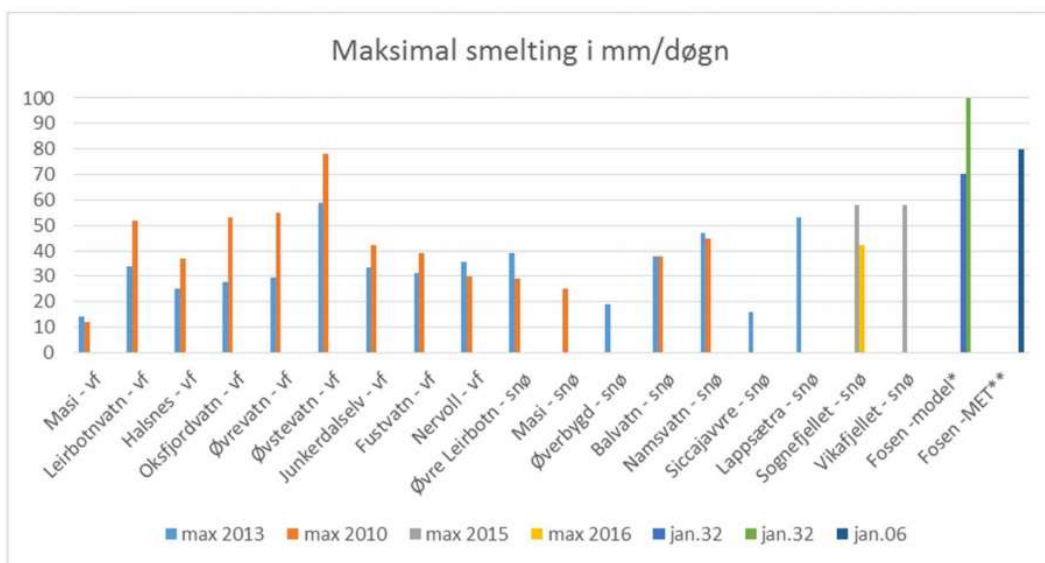
Arbeidet er presentert i en masteroppgave (Sinnes, 2017) og som en poster på EGU (Sinnes et al. 2017).

## 2.5.2 Graddagsfaktoren ved snøsmelting

På 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 vi kan regne med under slike smeltehendelser. I tillegg er noen snøsmeltehendelser i Sør-Norge og Trøndelag fra de siste årene tatt med i analysen. Formålet med studien er å øke kunnskapen om hvilket nivå graddagsfaktorer og smeltesrater kan ligge på i perioder da snøsmelting gir det dominerende bidraget til avrenningen. Dette er nyttig kunnskap i forbindelse med varsling av kommende snøsmelteflommer og flomberegninger.

Under hendelsene som er studert bidro snøsmelting med opptil 50 mm/døgn i avrenning. Dette gjelder både Nord- og Sør-Norge. På Fosenhalvøya i Trøndelag fant vi tilfeller der avrenningen fra snøsmelting var så høy som 70 – 100 mm/døgn. Graddagsfaktoren under de studerte hendelsene ble estimert til å ligge mellom 4 og 10 mm/°C/døgn basert på data fra vannføringsstasjonene, mens snøstasjonene ga graddagsfaktorer på 4-6 mm/°C/døgn i Nord-Norge og 6-8 mm/°C/døgn i Sør-Norge. Fosendataene ga graddagsfaktorer på 6-12 mm/°C/døgn.

De studerte hendelsene er flomhendelser, og representerer dermed den mer ekstreme enden av skalaen. De estimerte smeltesratene og graddagsfaktorene kan dermed også forventes å ligge i det øvre sjiktet, men er likevel innenfor det man må ta høyde for. Studien er basert på døgndata, da data med finere tidsoppløsning fra snøputene er beheftet med mye støy. Vannføringsdata med finere oppløsning kan eventuelt benyttes i videre studier. Studien er rapportert i Stranden og Holmqvist (2017).



Figur 11. Maksimal smelting fra de ulike stasjonene som er gjennomgått i studien. Figur: Heidi B. Stranden.

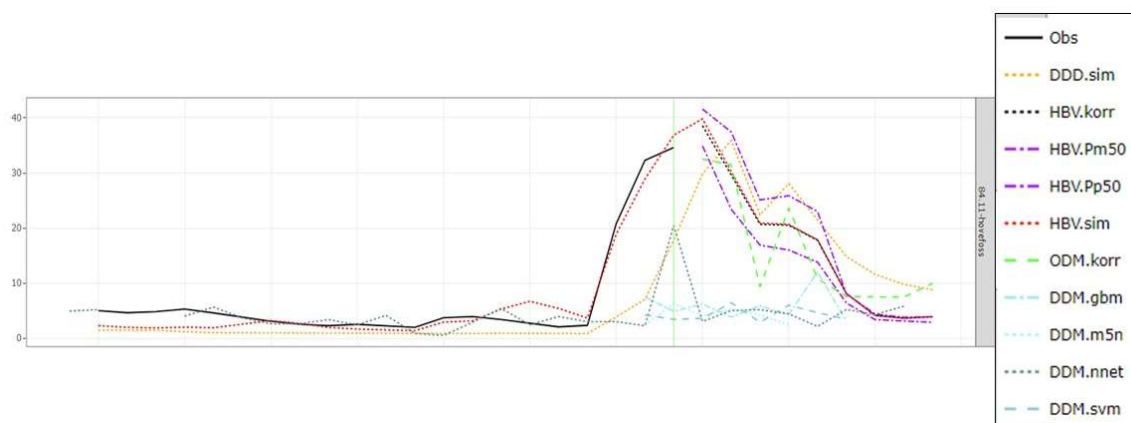
## 2.5.3 Visualisering av vannføringsprognoser

En ny plattform for visualisering av vannføringsprognoser er blitt etablert. Dette verktøyet, kalt «flomvarslingsappen», er laget med R shiny teknologi, som bruker webben som plattform. Appen er laget med tanke på å erstatte regnearkene, som i mange år har vært hovedverktøyet for visning av vannføringsprognoser.

Den har mange fordeler framfor regnearkene, og har et stort potensiale for ytterligere tilpasning til flomvarslingens behov. Appen henter og viser prognosedata fra alle flomvarslingas prognosemodeller, og gjør det mulig å vise resultatene samlet. Dette gjør det enklere å sammenlikne resultatene fra de ulike modellene og gjøre en samlet vurdering. Appen er fleksibel med hensyn til å velge ut hvilke og hvor mange flomvarslingsstasjoner som skal vises. Disse kan velges fra tabell eller i interaksjon med kart. Kartet har flere kartlag, og kan vise prognosene klassifisert etter flomfare. Flomstatistikk kan vises i grafene etter behov, og man kan velge å vise tilstander i tillegg til vannføring. Appen er hovedsakelig utviklet av medarbeidere med midlertidige tilsetningsforhold, og kompetansen som behøves for å drifte og videreutvikle appen har kommet og gått. For å få etablert et visualiseringsverktøy som er driftssikkert, robust og mer optimalt bygget opp, og for å sikre at vi har kompetanse for drifting av appen, tas videreutviklingen av den med over i FoU-prosjektet 80501, som skal gjennomføres i perioden 2019 – 2020.

Appen er en motivasjon for å standardisere utdataformatene til flomvarslingsmodellene, som er et tema vi også går videre med i FoU-prosjektet 80503. Dette vil muliggjøre at appen blir en mer integrert del av modellsystemet. Et viktig mål med omleggingen av visualiseringsverktøyet er at kompetansen spres på flere personer, slik at denne funksjonaliteten er mindre sårbar for personalendringer.

Flomvarslingsappen viser både 24-timersmodellene og 3-timersmodellene med hele MEPS-ensemblen. 2017-versjonen av appen ble presentert med en poster på EGU, se Kobierska et al. (2017).



**Figur 12.** Et ensemble av ulike flomvarslingsmodeller er representert i shiny-appen. Her er 24-timersmodellene for 84.11 Hovefoss vist. Figur fra flomvarslingsappen.

#### 2.5.4 Visualisering av tilstander

Det er laget en rutine som framstiller tilstandene fra HBV-modellene, med hensyn til snødekningsgrad, snøens vannekvivalent og lagerkapasitet i mark- og grunnvann, på et kart. Tilstandene vises som fargeklassifiserte prikker på stasjonene. Kartet gjør det enkelt å sammenlikne tilstandene i feltmodellene med tilstanden slik den framkommer i kartlagene i xgeo, noe som er nyttig, spesielt i situasjoner der det er avvik mellom feltmodellene og xgeo, f.eks. når det gjelder snømagasin, og feltmodellenes respons avviker fra det en kunne forvente. Kartene har vært ustabile og ute av drift de siste månedene, men funksjonaliteten tas videre i visualiseringsdelen av FoU-prosjektet 80503.

### **2.5.5 SoilFlow (Sflow)**

SoilFlow er en 1-D markvanns- og energibalansmodell, som er en videreutvikling fra bl.a. COUP-modellen. Modellen brukes til å estimere variabler som vanntilførsel, markvannsmetning, grunnvannstand og frostdyp, som er testet som indikatorer for jordskred. SoilFlow er også brukt for å simulere tilstander som kan føre til sørpeskred, i tilknytning til hendelser over hele landet.

For å kunne varsle jordskredhendelser, trenger vi også et estimat på løsmassetykkelsen på stedet. Hittil er SoilFlow-modellen bare satt opp ved grunnvannstasjoner, der stratigrafien er kjent, men vi ønsker også å bruke modellen i skredutsatte skråninger. En student samlet sommeren/høsten 2018 inn informasjon om løsmassetykkelse i skråninger der det har gått skred. Dataene skal brukes til å lage en beskrivelse av skråninger med punktvis tykkelseestimer, som modellen kan lese. En test kjøres i Veikledalen i Kvam, der det er satt opp en SoilFlowmodell, og tilgjengelige data omfatter både stratigrafi fra en grunnvannstasjon og innsamlet informasjon om løsmassetykkelse. Denne testen videreføres i det interne FoU-prosjektet 80504 (2019-2020).

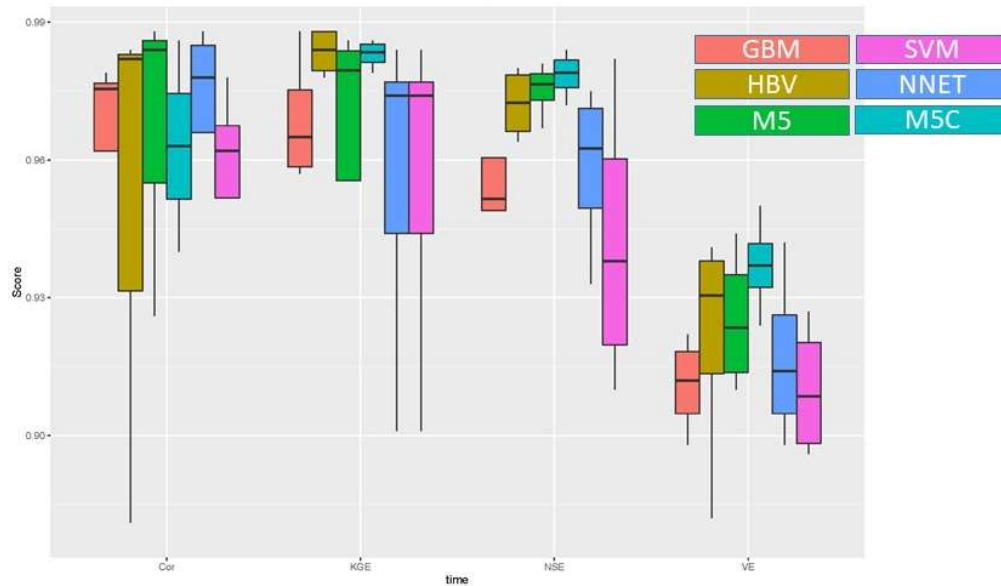
For overvåking og simulering av jordfuktighet, er det installert to cosmic-ray nøytronsensor for markvannsmåling, en på Ås og en på Særheim på Jæren, for uttesting. Vi har snart 3 år med slike data, og en rapport som oppsummerer erfaringen med disse målerne er på trappene.

### **2.5.6 DataDrevne Modeller**

Datadrevet modellering (DDM) er en statistisk tilnærming til hydrologisk modellering. Følgende metoder er testet ut på data fra flomvarslingsmodellene: artificial neural networks (ANN), genetic programming (GP), evolutionary polynomial regression (EPR), evolution artificial neural networks (EANN), model trees (MT), support vector machines (SVM) og fuzzy rule based systems (FRBS). Dette knippet av metoder er testet for å finne ut om noen metoder er bedre egnet enn andre i gitte situasjoner, og for å få en indikasjon på om datadrevne modeller kan gi et godt supplement til modellparken der begrepsmessige modeller fungerer dårlig. Modellene evaluerer bra. Det er ikke konkludert mht. kvaliteten på modellmetodikk i forhold til typen hendelse.

Det er utviklet DDM-modeller for 121 nedbørfelt. Modellene er satt opp med tidsskritt 24 timer. Vi har dermed tre svært ulike modellkonsepter representert i varslingstjenesten: begrepsmessige modeller (HBV), DDD-modellen med GIS-definerte parametre og DDM. Vi håper konseptene vil vise seg å utfylle hverandre og danne en robust modellpark for hydrologiske prognoser. Etableringen av modellene er presentert i Borsányi et al. (2016). Modellresultatene visualiseres i flomvarslingsappen.

## All catchments: Models vs performance measures



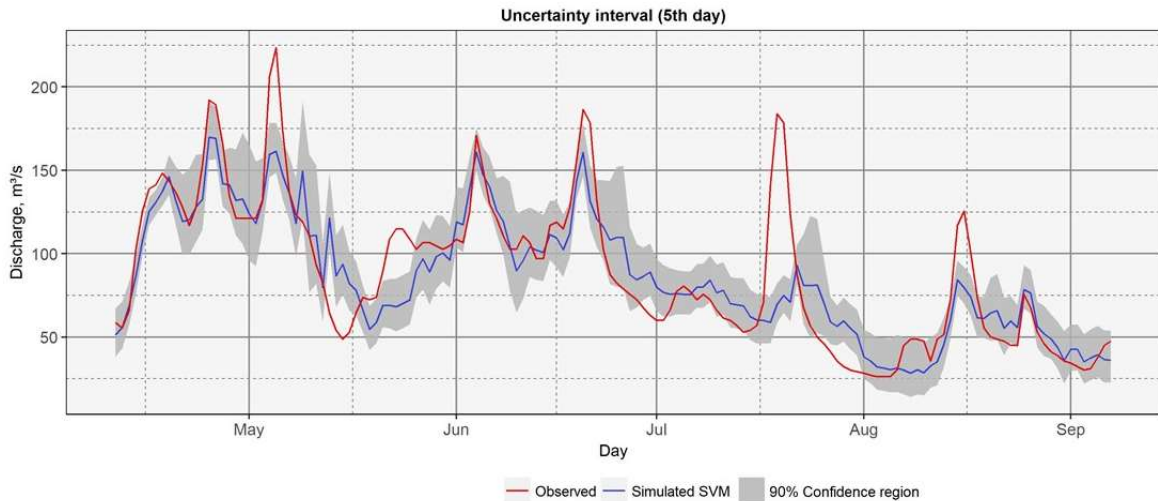
Figur 13. Fordelingen av hvordan de forskjellige DDM'ene skårer mht. ulike kvalitetskriterier, basert på resultatene fra alle modellfelt. Figur: Péter Borzányi et al.

### *Etablering av DDM for Numedalslågen*

I samarbeid med en Erasmus-Mundusstudent i IHE-Delft er det etablert en flomvarslingsmodell for det regulerte vassdraget Numedalslågen ved Kongsberg og Holmsfoss, ved bruk av DDM-metodikk. Arbeidet omfattet uttesting av flere DDM-metoder, ulike kombinasjoner av inndata og validering av resultatene.

Omkring 50 år med nedbør, temperatur- og vannføringsdata var tilgjengelig. Data fra Numedalslågens nedbørfelt og fra nabofelt ble forsøkt brukt. I tillegg til ulike DDM-modeller, ble det forsøkt hybridmetoder, som kombinerte DDM med HBV-modellen.

Metodikken er sårbar med hensyn til manglende inndata og dårlig datakvalitet, og det er et potensiale for å gjøre mer optimale valg av inndatasett. Studien konkluderer likevel med at metodikken i mange tilfeller er på høyde med tradisjonelle flomvarslingsmodeller som er i bruk i NVE. Studien er presentert i Malna (2017).



Figur 14. DDM-metodikk brukt i hybridmodell for å lage vannføringsprognose for Numedalslågen ved Kongsberg. 90% konfidensintervall (grått areal) er beregnet rundt prognosen med ledetid 5 dager (blå linje). Observasjonen vises med rød linje. Figur: Yurii Malna

### 2.5.7 Flomstatistikk

Beregning og visning av flomstatistikk er blitt automatisert og oppdateres automatisk i xgeo. Hver gang det skjer en revisjon av vannføringskurven, beregnes flomverdiene basert på døgndata ved bruk av en forhåndsdefinert statistisk fordeling, GEV. Ny beregning av flomverdier (døgndata) skjer minst en gang i året, uavhengig av om det er skjedd endring i vannføringskurven.

Det er etablert en sammenheng mellom flomverdiene for døgndata og flomverdiene for kulminasjonsdata for hver stasjon. Sammenhengen er som hovedregel beregnet ved analyse av døgndata og findata. Der det ikke foreligger en slik analyse, er det beregnet et forhold ved hjelp av formelverket og feltfysiske data. Flomstatistikken for døg- og findata er tilgjengelig i rapportvisningen og på grafsiden i xgeo.

Dataseriens lengde vises i rapportvisningen i xgeo. Det er lagt inn en begrensning når det gjelder markering av flomverdier for stasjonene i punktvisningen «Vannføring siste obs». Flomverdimarkering for flommer med gjentakintervall større enn det dobbelte av lengden på tidsserien for stasjonen vises ikke. Altså: dersom stasjonen ikke har data for mer enn 24 år vil den aldri markeres som rød («stor flom»).

Flomverdier for vannstand oppdateres nå automatisk fra gjeldende vannføringskurve.

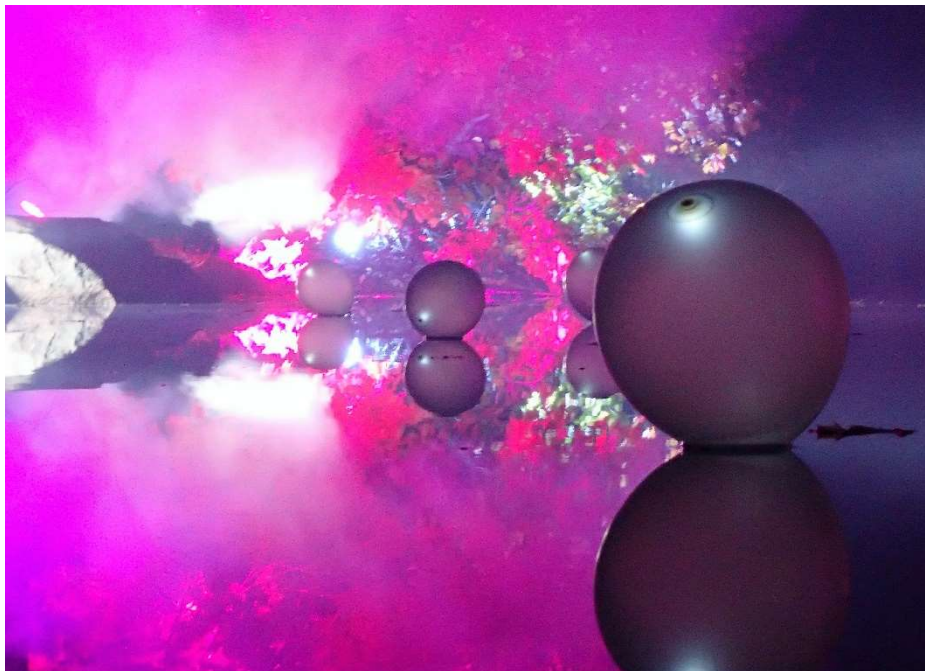
Flomstatistikken lastes også ved behov ned i et regneark, slik at oppdatert flomstatistikk er tilgjengelig fra fil for varslingstjenesten.

## 3 Resultater tatt i bruk i løpet av prosjektet

Følgende data og metoder er tatt i operativ bruk i løpet av prosjektperioden:

- **DDD-modellen:**
  - flere rutiner og parametre har fått fysisk forankring
  - modellen er tilpasset finskala modellering i minifelt

- modellen er tilpasset ekstremverdisimulering
  - ny kalibreringsalgoritme og nytt kalibreringskriterium er tatt i bruk
- **HBV-modellen:**
    - en rutine for lagring av værprognoser og HBV-modellsimuleringer en viss periode er på plass
    - Verktøyet som beregner sesongsenarioene for vannføring er oppdatert og fungerer nå uavhengig av årstid, og tilrettelegger utdataene for bruk i hydrauliske modeller.
- **flomvarslingsmodellene**
    - modellene (HBV og DDD) er kalibrert på ny seNorge-versjon, for 3- og 24-timersimuleringer.
    - Operasjonell bruk av AROME MEPS ensembleprognoser: modellenes 3t-versjon kjøres med MEPS-ensembler som inndata og beregner en probabilistisk hydrologisk prognose, som gir informasjon om usikkerheten i varselet og sannsynligheter for overskridelse av terskler.
    - et nettsted for sammenlikning og testing av flomvarslingsmodeller er etablert
    - en webbasert plattform for visning av vannføringsprognoser er etablert. Verktøyet er fleksibelt mht. hvilke modeller, modellfelt, statistikk og modellvariable som skal vises, og kople sammen kart og tidsserier.
    - Datadrevne modeller (DDM), en statistisk tilnærming til hydrologisk modellering, er utviklet for de fleste flomvarslingsfeltene og går operasjonelt.
- **Flomstatistikk:** Beregning og visning av flomstatistikk er blitt automatisert og oppdateres automatisk i xgeo, både for døgndata og kulminasjonsdata



Figur 15. Fest på elva Alna, ballongpynt! Foto: Elin Langsholt/NVE

## 4 Formidling

Méline Alarcon. 2017. Evaluating the performance of hydrological models.

Internshiprapport levert til Polytech Montpellier – Water Sciences and Technologies.

Péter Borsányi, B. H. Hamududu, W. W. Kwok, J. Magnusson and M. Shi. 2016. First steps in incorporating data-driven modelling to flood early warning in Norway's Flood Forecasting Service. EGU General Assembly 2016, held 17-22 April, 2016 in Vienna Austria, id. EPSC2016-7661, 2016EGUGA.18.7661B

Péter Borsányi, B. H. Hamududu, W. W. Kwok, J. Magnusson and M. Shi. 2016. First steps in incorporating data-driven modelling to flood early warning. Oral presentation, mini-symposium co-organized by UNESCO-IHE and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate 24.05.2016.

Graziella Devoli, K. Engeland, Z. T. Mengistu, S. Boje, S. Rønning, C. A. Elo and C. Lussana. 2019. The use of land- and satellite-based precipitation radar to forecast debris flows and high water discharge: case study from June 2nd, 2016 in southern Norway. NVE report (under utarbeiding)

Graziella Devoli, Z. T. Mengistu, C. A. Elo, S. Boje, S. S. Rønning, K. Engeland and C. Lussana. 2017. The use of land- and satellite-based precipitation radar to forecast debris flows and high water discharge: case study from June 2nd, 2016 in southern Norway. Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-9792.

Trine Jahr Hegdahl, K. Engeland, I. Steinsland and L. M. Tallaksen. 2019. Streamflow forecast sensitivity to air temperature forecast calibration for 139 Norwegian catchments. Hydrol. Earth Syst. Sci., 23, 723-739, 2019, <https://doi.org/10.5194/hess-23-723-2019>.

Trine Jahr Hegdahl. 2018. Can Improved Meteorological Forecasts Improve The Flood Forecasts? A Case Study Of Selected Floods In Norway, 2013 To 2015. <https://hepex.irstea.fr/2018-hepex-workshop/programme/>

Trine Jahr Hegdahl, K. Engeland, B. J. Grønbech, I. Steinsland, and L. M. Tallaksen. 2017. Flood forecast sensitivity to temperature using ECMWF ensembles for 145 catchments in Norway. Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017-18642, 2017 EGU. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-18642.pdf>

Trine Jahr Hegdahl, I. Steinsland, L. M. Tallaksen and K. Engeland. 2016. Pre- and post-processing of hydro-meteorological ensembles for the Norwegian flood forecasting system in 145 basins. Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-12822, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-12822.pdf>

Florian Kobierska, E. Langholt, B. Hamududu and K. Engeland. 2017. A versatile data-visualization application for the Norwegian flood forecasting service. Poster, HS4.3/AS4.36/NH1.12, EGU 2017.

Elin Langsholt. 2018. Samkjøring av vær- og vannføringsdøgnet i hydrologiske modeller. En test med ulike døgninndelinger. NVE rapport 71/2018.

Elin Langsholt. 2017. Flood forecasting, forecasting models and a new app. Oral presentation, Joint Seminary IRSTEa, Lyon and NVE, Hydrological Dept., 30.05.2017.



- Jan Magnusson, A. Winstral, A. S. Stordal, R. Essery and T. Jonas. 2017. Improving physically based snow simulations by assimilating snow depths using the particle filter. *Water Resources Research* 53/2, pp 1125 – 1143. <https://doi.org/10.1002/2016WR019092>
- Jan Magnusson, A. Winstral, A. S. Stordal, R. Essery, T. Jonas. 2016. Improving physically based snow simulations by assimilating snow depths using the particle filter. Oral presentation. 14TH International ENKF workshop in Voss June 3-5, 2019. Park hotel Vossevangen Norway.
- Jan Magnusson, S. Eisner, R. Essery, S. Huang, S. Beldring, C. Lussana. 2016. Influence of spatial resolution on snow modelling. Oral presentation. SnowHydro 2018. Heidelberg. Germany.
- Yurii Malna. 2017. Hydrological data-driven models for runoff forecasting in a hydropower regulated Norwegian catchment. MSc Thesis, Master Programme in Flood Risk Management, IHE Delft Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.
- Martin Aleksander Michalsen. 2018. Effect of the DEMs resolution on landslide run-out models. M.Sc.thesis, UoO, 2018.
- Nicolas Pic. 2018. Modeling and calibration of watersheds Norwegian Water Resources and Energy Directorate – NVE. Ecole Polytechnique Universitaire de Montpellier, Stage d'élève-ingénieur Département Sciences et Technologies de l'Eau.
- Gusong Ruan og E. Langsholt. 2017. Rekalibrering av flomvarslingas HBV-modeller med inndata fra seNorge, versjon 2.0. NVE rapport 71/2017.
- Svein Tore Sinnes. 2017. Evaluering av vårflomvarsler. masteroppgave, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo.
- Svein Tore Sinnes, K. Engeland, E. Langsholt and N. R. Sælthun. 2017. Evaluation of seasonal ensemble forecasts in Norway. Poster, EGU 2017.
- Thomas Skaugen, H. Luijting, T. Saloranta, D. Vikhamar-Schuler and K. Müller. 2018. In search of operational snow model structures for the future - comparing four snowmodels for 17 catchments in Norway. *Hydrology Research*, 49.6, <https://doi.org/10.2166/nh.2018.198>
- Thomas Skaugen and Z. Mengistu. 2016. Estimating catchment-scale groundwater dynamics from recession analysis – enhanced constraining of hydrological models. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4963–4981, 2016.
- Thomas Skaugen and I. Weltzien. 2016. A model for the spatial distribution of snow water equivalent parameterized from the spatialvariability of precipitation. *The Cryosphere*, 10, 1947 – 1963, 2016.
- Heidi Bache Stranden og E. Holmqvist. 2017. Snøsmelteintensiteter og graddagsfaktorer. NVE Rapport 86/2017.
- Anne Kristina Tvedalen. 2015. Snow melt. Evaluation of an energy balance model. Master Thesis, Department of Geosciences, University of Oslo.
- Ingunn H. Weltzien. 2015. Parsimonious snow modelling for application in hydrological models. Master Thesis, Department of Geosciences, University of Oslo.

Pål Øverby. 2019. Masteroppgave om skredhendelser, tema: Identifisere nedbørintensitet ved utløsning av utvalgte bygenedbørutløste skred, ved hjelp av radardata (under utarbeiding)

*Upubliserte dokumenter:*

Elin Langsholt. 2017. Oppsummering\_av\_Melaines\_arbeid.pptx

## 5 Beskriv enkelt og kort hva kom ut av prosjektet

Prosjektet har vært fokusert på oppdatering og videreutvikling av flomvarslingsmodellene med applikasjoner. Modellparken er utvidet med flere modellkonsepter som har potensiale til å utfylle hverandre og danne en robust modellpark for hydrologiske prognoser. Ny funksjonalitet er oppnådd, bl.a. ved at nye inndata er tatt i bruk.

## 6 Faktiske gevinster – dokumentasjon av implementerte resultater

### 6.1 Filplassering og nettadresser:

#### 6.1.1 Verktøy for validering av siste års simuleringer

F:\Fastgrupper\Flomvarsling\Flomvarslingssystem\hbv\MudellEvaluering\  
Modell\_Evaluering2017.xlsm

#### 6.1.2 Verktøyet for manuell kjøring av HBV-modellene

F:\Fastgrupper\Flomvarsling\Administrasjon\Brukerveiledninger\Diverse\Alternative  
HBV-prognoser\_MET ver2.pdf

#### 6.1.3 Historisk lager av HBV-modellresultater (1 måned)

F:\Fastgrupper\Flomvarsling\Flomvarslingssystem\hbv\Seneste\_versjon\vfplott\_Historisk  
Lager\_metdata\_v2.0.xlsm

#### 6.1.4 Historisk lager for prognoser for de griddbaserte HBV-modellene

<\\hdata\drift\flom\vf-prognose\HistoriskLagerV2\Dprogn>

#### 6.1.5 Plattform i GitHub for testing av hydrologiske modeller

<https://github.com/NVE/RunoffTestData>

#### 6.1.6 Plattform i GitHub med kode for dataassimilering

En del dataassimileringsrutiner knyttet til modellrammeverket Vann:

<https://github.com/jannefiluren/Vann.jl>

<https://github.com/jannefiluren/DataAssim.jl>

Nyere versjon av modellkoden:

<https://github.com/jannefiluren/VannModels.jl>

Denne koden kan kjøres operasjonelt med kontrollskript som ligger her:

<https://github.com/jannefiluren/ForecastControl>

### **6.1.7 Flomvarslingsappen**

<http://l-flom-app03.nve.no:3838/>



NVE

## Norges vassdrags- og energidirektorat

---

MIDDELTHUNSGATE 29  
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN  
0301 OSLO  
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

[www.nve.no](http://www.nve.no)