

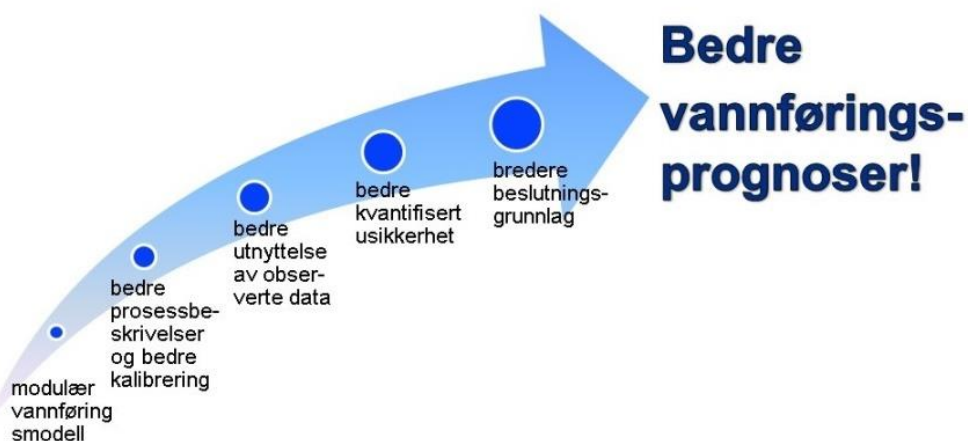


Forbedring av flomvarslingas verktøy

Rapport fra FoU-prosjektet 81057, 2011 -2014

Elin Langsholt, Ingjerd Haddeland, Thomas Skaugen, Stein Beldring, Erik Holmqvist, Heidi Bache Stranden

50
2015



R
A
P
P
O
R
T

Forbedring av flomvarslingas verktøy

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Elin Langsholt, Ingjerd Haddeland, Thomas Skaugen, Stein Beldring, Erik Holmqvist, Heidi Bache Stranden

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 10

Forsidefoto:

ISBN 978-82-410-1097-2

Sammendrag: Denne sluttrapporten oppsummerer resultater og leveranser fra prosjektet 81057. Prosjektet har hatt som fokus å videreutvikle flomvarslingens modellrammeverk og forbedre de hydrologiske modellprognosene så treffsikkerheten øker og presisjonen kan angis. Prosjektet har også vært opptatt av at det store og mangeartede datamaterialet som tilflyter flomvarslingstjenesten skal tilgjengeliggjøres og tas i bruk, slik at prognosegrunnlaget blir bredest mulig.

Emneord: flomvarsling, FoU, hydrologiske modeller, verktøy, vannføringsprognoser

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

mai 2015

Innhold

Forord	5
Sammendrag	6
1 Bakgrunn for prosjektet	7
2 Prosjektets mål og leveranser	8
2.1 Overordnede mål og leveranser	8
2.2 Delprosjektene mål og leveranser	8
2.2.1 DP1: Rutiner for kalibrering og evaluering	8
2.2.1.1 Mål	8
2.2.1.2 Bakgrunn og leveranser	8
2.2.2 DP2: Bedre utnyttelse av meteorologisk informasjon.....	9
2.2.2.1 Mål	9
2.2.2.2 Bakgrunn og leveranser	9
2.2.3 DP3: Prosessbeskrivelser i hydrologisk modell.....	9
2.2.3.1 Mål	9
2.2.3.2 Bakgrunn og leveranser	10
2.2.4 DP4: Usikkerhetsmodell	10
2.2.4.1 Mål	10
2.2.4.2 Bakgrunn og leveranser	10
2.2.5 DP5: Enklere støtteverktøy	10
2.2.5.1 Mål	10
2.2.5.2 Bakgrunn og leveranser	10
2.3 Målgrupper	11
2.4 Relevans og nytteverdi.....	11
2.5 Ressursbruk	12
3 Delprosjektene aktiviteter	13
3.1 Delprosjekt 1: Kalibrering og evaluering	13
3.2 Delprosjekt 2: Finere tidsskritt og alternativ modell.....	14
3.2.1 Hydrologisk simulering på finere tidsskritt.....	14
3.2.2 Alternativ hydrologisk modell.....	15
3.3 Delprosjekt 3: Prosessbeskrivelser	17
3.4 Delprosjekt 4: Usikkerhetsestimering	19
3.5 Delprosjekt 5: Støtteverktøy	20
3.5.1 Terskelverdier.....	20
3.5.2 Magasindata.....	22
3.5.3 HBV	25
3.5.4 PQRUT	27
3.5.5 Vannstandsvarsling	27
3.5.6 Automatisering av flomstatistikk	28
3.5.7 Casestudy snøsmelteintensiteter	29
4 Leveransetabell	31
5 Anbefalinger for videreutvikling	34
6 Referanser	36


Vedlegg A 81057- delprosjekt 5: Casestudy snøsmelteintensiteter

A.1 Sammendrag.....	39
A.2 Innledning.....	40
A.3 Smelting fra vannføringsstasjoner og snøputer.....	40
A.4 Graddagsfaktorer beregnet per dag.....	42
A.5 Prediksjon av 2010-flommen basert på ny graddagsfaktor.....	44
A.6 Case-in-case study: Leirbotnvatn og Masi.....	45
A.7 Diskusjon.....	47
A.7.1 Hva skiller flommen i 2010 fra flommen i 2013?.....	47
A.7.2 Graddagsfaktoren - Cx.....	49
A.8 Konklusjoner.....	50
A.9 Videre arbeid.....	50

Forord

NVE har ansvaret for flomvarsling i Norge, og har som oppgave å bistå beredskapsapparatet med gode varsler og vannføringsprognoser. Målet er økt sikkerhet, å redusere skader forårsaket av flom og å redde liv. Varslingen baserer seg på hydrologiske prognoser, utarbeidet ved hjelp av værdata og hydrologiske modeller. Tilgjengelig informasjon, analyseteknikker og datakraft er i stadig utvikling, og kvaliteten på våre prognoser er avhengig av at vi hele tiden behersker metodikk som utnytter potensialet i tilgjengelige datamateriale. FoU-prosjektet 81057 Forbedring av flomvarslingas verktøy har hatt som fokus å videreutvikle flomvarslingas modellrammeverk og forbedre de hydrologiske modellprognosene så treffsikkerheten øker og presisjonen kan angis. Prosjektet har også vært opptatt av at det store og mangeartede datamaterialet som genereres og tilflyter flomvarslingstjenesten skal tilgjengeliggjøres og tas i bruk, slik at prognosegrunnlaget blir bredest mulig. Denne sluttrapporten oppsummerer resultater og leveranser fra prosjektet gjennom den 4-årsperioden det har pågått, og peker på viktige potensialer for videreutvikling.

Oslo, mai 2015


for Morten Johnsrud
avdelingsdirektør


Hege Hisdal
seksjonssjef

Sammendrag

Denne sluttrapporten for prosjekt 81057, Forbedring av flomvarslingas verktøy, oppsummerer resultater og leveranser fra prosjektet gjennom den 4-årsperioden det har pågått. Prosjektet ble initiert med bakgrunn i behovet for videreføring av VEPS-prosjektet, som ble avsluttet i 2010. I tillegg hadde de siste åras flomhendelser tydeliggjort et stort behov for ytterligere å fornye rutiner og metodikk rundt flomvarslingsmodellering og for å tilgjengeliggjøre en voksende mengde flomrelaterte data.

Det overordnede målet for prosjektet har vært å øke presisjonsnivået på flomvarslingas prognoser. Det ble definert 5 delprosjekter som skulle bidra til dette:

- DP1: Rutiner for kalibrering og evaluering
- DP2: Bedre utnyttelse av meteorologisk informasjon
- DP3: Prosessbeskrivelser i hydrologisk modell
- DP4: Usikkerhetsmodell
- DP5: Enklere støtteverktøy

I DP1 er rutiner for kalibrering og evaluering av de hydrologiske modellene foreslått, med målbare kriterier for hvor gode modellene er i de enkelte nedbørfelt. Det er også gjennomført en pilotstudie der enkelthendelser er analysert for å se på årsakene til dårlige flomsimuleringer. DP2 har lagt til rette for å utnytte meteorologiske data med finere tidsoppløsning enn ett døgn, parallelt med at en alternativ modell, DDD modellen, med fysisk forankrede parametere er blitt videreutviklet. Innenfor DP3-folden har modellrammeverket fra VEPS-prosjektet, ODM, blitt videreutviklet og operasjonalisert, en fordelt modellstruktur er etablert i mange modellfelt og algoritmer for ruting og bredynamikk er blitt testet ut. I DP4 er rutiner for rekalkibrering av usikkerhetsmodellen etablert, og en evaluering er gjennomført, I tillegg er det gjort en pilotstudie på anvendelse av ensemble kalmanfiltermetodikk på vannføringsprognoser. Gjennom DP5 har vi fått visualiserte nedbørmengder relatert til gjentaksintervall og vannstandprognoser i xgeo, tilgjengeliggjort snøinformasjon, studert smelteintensitet vha. bl.a. observerte snødata, utviklet statistikk på vannføringsdata med fin tidsoppløsning og operasjonalisert en tilrettelagt versjon av PQRUT og beregning av restmagasin oppstrøms flomutsatte strekninger.

Prosjektet har generert mye kunnskap og mange leveranser, men også nye spørsmål og problemstillinger som har inspirert til et oppfølgende prosjekt, der mange av forsknings- og utviklingstemaene fra dette prosjektet videreføres.

1 Bakgrunn for prosjektet

NVE har et ansvar for å varsle om flomsituasjoner gjennom den nasjonale flomvarslingstjenesten. For å sikre en god flomvarslingsberedskap, er det av avgjørende betydning at gode verktøy for å følge den hydrologiske tilstanden over hele landet er tilgjengelige for flomvarslerne. Viktige verktøy i flomvarslingen i dag er hydrologiske modeller, som med værprognoser som inndata beregner hydrologiske prognoser, kartverktøyet *xgeo*, som visualiserer observerte og simulerte arealfordelte vær-, vann- og snøvariable, foruten en rekke støtteverktøy, som brukes til å øke informasjonsverdien i andre tilgjengelige data.

Det kreves betydelige ressurser for å vedlikeholde og oppdatere disse systemene i henhold til endringer i inndataflyt, teknologisk utvikling og samfunnets krav til informasjon. Et betydelig etterslep på modellsiden, var utgangspunktet for at OED i perioden 2007 – 2010 ga øremerkede midler til fornyelse av NVEs hydrologiske simuleringssystem, som ble effektivert i prosjektet *Verktøy for Prognose og Simulering (VEPS)* (Røhr, 2011). Fornyelsen av simuleringssystemet ble naturlig nok svært omfattende, da det skulle erstatte et system som var 10 – 20 år gammelt. Både utviklingsplattform, programmeringsspråk og modellstruktur ble radikalt modernisert, og langt fra alle brikker var på plass ved avslutningen av prosjektet.

Samtidig som det nye simuleringssystemet måtte ferdigstilles og operasjonaliseres, hadde de siste åras flomhendelser tydeliggjort et stort behov for revisjon av rutinene rundt kalibrering og evaluering av modellene og for å forsøke alternative prosessbeskrivelser i modellene. Tiden var dessuten overmoden for å utnytte data med finere tidsoppløsning, og nye teknikker for sannsynlighetsvarsling fristet til utprøving. I tillegg var det et stort behov for å utnytte den voksende mengden data som var tilgjengelig for flomvarslerne på en bedre måte. Behovet for ytterligere videreutvikling av flomvarslingssystemet var med andre ord betydelig, og interne FoU-midler ble bevilget for å utrede et videreutviklingsprosjekt. Dette forprosjektet het 302H48 Modellverktøy, flomvarslingen (internt notat, 2010).

302H48 avstedkom en konkret plan for prioriterte oppgaver som kunne settes i verk for å øke presisjonsnivået på flomvarslingens prognoser, sammen med et estimat på ressursbruk. På bakgrunn av denne planen, ble det søkt interne FoU-midler til å videreutvikling av flomvarslingens verktøy, noe som resulterte i herværende prosjekt, 81057 Forbedring av flomvarslingas verktøy.

2 Prosjektets mål og leveranser

2.1 Overordnede mål og leveranser

Mål og leveranser og hvilke tiltak som skulle prioriteres for å nå de oppsatte mål, ble definert i forprosjektet 302H48.

Det overordnede målet for prosjektet var å øke presisjonsnivået på flomvarslingas prognoser. For å sikre et robust system med vedvarende høy kvalitet på prognosene, skulle prosjektet dessuten foreslå rutiner for evaluering, vedlikehold og forbedring av modellene. For å sikre et bredest mulig grunnlag for hydrologiske vurderinger og prognoser, ble en ytterligere målsetting om å utnytte andre tilgjengelige data på en bedre måte stadfestet.

Det nyutviklede modellrammeverket fra VEPS-prosjektet, heretter kalt *Open Distributed Model (ODM)*, er den opplagte kandidaten til operasjonelt modellrammeverk. På grunn av det omfattende utviklingsarbeidet forbundet med dette systemet, er imidlertid ikke all ny- og videreutviklet funksjonalitet fra prosjektet implementert her ennå. Simuleringsverktøyet *ODM* omfatter ved avslutningen av 81057 HBV-modellens basialgoritmer, som kjøres operasjonelt for 147 nedbørfelt. Resultatene presenteres på www.xgeo.no. I tillegg inneholder *ODM* en algoritme for alternativ tilnærming til grunnvannstrømning og overflateavrenning, Kinematic Wave (KiWa).

Arbeidsoppgavene som ble definert i prosjektet 302H48 ble organisert i 5 delprosjekter:

- DP1: Rutiner for kalibrering og evaluering
- DP2: Bedre utnyttelse av meteorologisk informasjon
- DP3: Prosessbeskrivelser i hydrologisk modell
- DP4: Usikkerhetsmodell
- DP5: Enklere støtteverktøy

De enkelte delprosjektene, slik de ble definert ved prosjektstart er beskrevet nedenfor.

2.2 Delprosjektenes mål og leveranser

2.2.1 DP1: Rutiner for kalibrering og evaluering

Delprosjektleder: Ingjerd Haddeland

Delprosjektmedarbeidere: Thomas Væringstad og Kolbjørn Engeland

2.2.1.1 Mål

Rutiner for kalibrering og evaluering av hydrologiske modeller skal opprettes. Rutinene skal inneholde fastsetting av målbare kriterier for hvor gode modellene er i de enkelte nedbørfelt. I tillegg skal evalueringsrutinene resultere i at det påpekes i hvilke hydrometeorologiske situasjoner de fungerer godt eller dårlig, slik at man får en klar formening om hvor forbedringstiltak bør iverksettes.

2.2.1.2 Bakgrunn og leveranser

Mangel på faste rutiner for ettersyn av flomvarslingsmodellene, medfører at modellene i enkelte nedbørfelt i perioder gir upålitelige resultater. Kjennskapet om modellenes treffsikkerhet er imidlertid tilfeldig, og man mangler den systematiske kunnskapen om

hvordan ulike vær-situasjoner påvirker prognosekvaliteten i forskjellige nedbørfelt, som skal til for å målrette forbedringstiltak. En studie av enkelthendelser i et utvalg representative nedbørfelt skal danne grunnlaget for forbedringer, når det gjelder parameterestimering i nedbørfeltene og modellstrukturen generelt.

Det er behov for mer faste og gjennomtenkte rutiner rundt kalibrering og rekalkibrering av modellene, og en strategi som gir en mer robust og fysisk basert parameterestimering, som evner å forklare alle hydrometeorologiske forhold. Gode evalueringskriterier er ett av virkemidlene for å forbedre modellkalibreringen. Delprosjektet skal foreslå et sett med objektive evalueringskriterier som skal kunne brukes til å kvalitetssikre simuleringer både i historisk – og prognoseperiode.

2.2.2 DP2: Bedre utnyttelse av meteorologisk informasjon

Delprosjektleder: Thomas Skaugen

Delprosjektmedarbeider: Klaus Vormoor

2.2.2.1 Mål

Etablere modeller på x-timers oppløsning for nedbørfelt $< y$ km², samt 2) utnytte meteorologiske prognoser med fin romlig oppløsning i våre hydrologiske modeller.

2.2.2.2 Bakgrunn og leveranser

Flomvarslingens hydrologiske modeller har tradisjonelt døgnoppløsning. Dette gir ikke en tilfredsstillende beskrivelse av vannføringsvariasjonene under visse værforhold og for mindre nedbørfelt. Værprognosene vi mottar fra MET har finere tidsoppløsning enn døgn, og det har lenge vært et ønske å kunne utnytte disse dataene bedre. Utfordringen ligger i at modellene våre da må kalibreres for finere tidskritt ved hjelp av meteorologiske observasjoner, som stort sett har døgnoppløsning.

Inndata til modellene er i form av seNorge-grid. Det må utvikles en metodikk for å disaggregere i tid historiske tidsserier av meteorologiske grid for nedbør og temperatur, og sanntidsobservasjonsgriddet som brukes i operasjonell kjøring.

Mot slutten av prosjektperioden satte MET i gang produksjon av grid med timesoppløsning basert på data fra automatstasjoner. Disse dataene testes og sammenliknes med de disaggregerte griddene.

Simuleringer med findata blir i første omgang gjennomført med DDD-modellen. Videreutvikling av DDD-modellen har inngått som en del av DP2.

2.2.3 DP3: Prosessbeskrivelser i hydrologisk modell

Delprosjektleder: Stein Beldring

Delprosjektmedarbeidere: Hong Li, Gusong Ruan, Kolbjørn Engeland, Bård Grønbech

2.2.3.1 Mål

Forbedring av prosessbeskrivelse og parametersett i hydrologiske modeller som benyttes ved utarbeidelse av vannføringsprognoser.

2.2.3.2 Bakgrunn og leveranser

Delprosjektet må ses i sammenheng med DP1, som har fokus på å identifisere hvordan modellene kan forbedres. Delprosjektet tar sikte på å formulere og prøve ut alternative modellalgoritmer.

ODM er bygget opp som et rammeverk der det skal være enkelt å prøve ut og implementere alternative algoritmer. Det er fleksibelt med hensyn på romlig og temporal oppløsning, og i hvilken grad man vil benytte en distribuert modellstruktur. Elvenettverk og sjøer kan beskrives eksplisitt, og strukturen er tilrettelagt for prosessstudier.

Det er også ambisjoner om å vurdere andre modeller enn HBV og KiWa, og høste av andres erfaringer når det gjelder modeller til flomvarslingsbruk.

2.2.4 DP4: Usikkerhetsmodell

Delprosjektleder: Elin Langsholt

Delprosjektmedarbeider: Gusong Ruan

2.2.4.1 Mål

1) Kvantifisere usikkerhetsbidragene fra meteorologiske prognoser (temperatur og nedbør adskilt) og den hydrologiske modellen. 2) Operativ bruk, der sannsynligheten for overskridelse av kritiske verdier angis.

2.2.4.2 Bakgrunn og leveranser

Siden 2000 har vi anvendt en usikkerhetsmodell som vi utviklet i samarbeid med Norsk Regnesentral for å angi sannsynligheten for overskridelse av kritiske vannføringsverdier og korrigere for feil i vannføringsprognosene.

Denne usikkerhetsmodellen må være tilpasset gjeldende modellkalibrering, stasjonsutvalg og versjon av værprognose for å fungere optimalt. Første skritt er å tilpasse usikkerhetsmodellen til gjeldende modelloppsett, og å etablere et system som kan kjøres ved endringer i modellkalibreringen eller i værprognosene. Dessuten må resultatene fra usikkerhetsmodellen presenteres på en hensiktsmessig måte, slik at flomvarslerne bruker dem ved utarbeidelsen av prognoser.

Usikkerhetsmodellen ble evaluert i 2004, og ble da funnet å gi en forbedring av prognosene. Mye har skjedd med modellsystemet siden den tid, og det er behov for en grundig reevaluering av usikkerhetsmodellen og hvordan den fungerer på dagens system.

2.2.5 DP5: Enklere støtteverktøy

Delprosjektleder: Erik Holmqvist

Delprosjektmedarbeider: Heidi Bache Stranden, Lasse Petterson, Zelalem Mengistu, Péter Borsányi, Tuomo Saloranta, Emma Barfoed, Nils Kristian Orthe

2.2.5.1 Mål

Øke presisjonsnivået på flomvarslingsprognoser.

2.2.5.2 Bakgrunn og leveranser

Hydrologiske modeller danner grunnlaget for flomvarslingsprognoser, men i siste runde er det den hydrologiske totalvurderingen som er utslagsgivende for hvilke varsler som sendes ut. En slik totalvurdering er basert på det totale og varierte

tilfanget av informasjon som tilflyter flomvarslingen. Denne informasjonen er ikke alltid like lett tilgjengelig, og det å sikre en brukervennlig tilgang til mest mulig av denne informasjonen styrker flomvarslerens beslutningsgrunnlag.

Delprosjektet tar sikte på å ta i bruk og tilgjengeliggjøre et prioritert knippe data:

- kartpresentasjon av dagens nedbørprognose i % av ulike gjentakintervall for nedbør
- anslå maksimal smelteintensitet (graddagsfaktor) for ulike felt og værforhold, ved å analysere data fra ulike snømålinger
- inkludere hele vannbalansen, sammen med normalverdier, i presentasjonen av modellresultatene
- flomstatistikk på kulminasjonsverdier og forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelvanntføringer
- vannstandsprognoser: ved vannføringsstasjonene som har HBV-modellprognose og for utvalgte elvestrekninger
- etablere enkle hendelsesstyrte regresjonsmodeller, basert på analyse av tidligere nedbør- og flomhendelser i utvalgte vassdrag
- utvide scenariekjøringene til å kjøre hele året og presentere akkumulert tilsig kommende periode

2.3 Målgrupper

Prosjektet er direkte rettet mot NVEs flomvarslingstjeneste, og har som målsetting å bidra til bedre vannføringsprognoser. Bedre vannføringsprognoser vil komme en rekke mottakergrupper til gode, og må ses på som indirekte målgrupper.

Internt vil mer presise vannføringsprognoser bedre flomberedskapen på SV og i H, og bidra til bedre energiprognoser til E.

Dette vil komme eksterne grupper, i første rekke de som bor i flomutsatte områder, men også de beredskapsansvarlige i kommuner og fylker til gode. Andre grupper som er brukere av NVEs varsler og prognoser, og som vil nyte godt av en kvalitetsheving, er vei- og jernbanemyndigheter, regulanter, hytteeiere, fiskere, og andre som ferdes i og langs vann og vassdrag.

2.4 Relevans og nytteverdi

Både varsling av flom- og skredfare, sikring av samfunnet mot skred- og vassdragsulykker og å forebygge skader fra flom, erosjon og skred er omfattet av NVEs strategi. Å øke treffsikkerheten til vannføringsprognosene vil bidra til å styrke alle disse strategipunktene (Strategi for NVE 2012 – 2016).

I tillegg er videreutvikling av modeller og rutiner for flomvarsling et av NVEs fokusområder (Strategi for NVE 2012 – 2016).

I tildelingsbrevene fra departementet er det et gjennomgående punkt at NVE skal bistå beredskapsapparatet med gode varsler og vannføringsprognoser. Når det gjelder tildelingsbrevens retningslinjer for FoU, påpekes det at det skal opprettholdes høy aktivitet innen de strategiske satsingsområdene, der ett av temaene er hydrologisk prognoser og varsler.

I NVEs årsrapport (Årsrapport 2013) rapporteres årets måloppnåelse i forhold til 5 hovedmål med delmål. Hovedmål 5 sier at "NVE skal bedre samfunnets evne til å håndtere flom og skredrisiko." Med bedre vannføringsprognoser bidrar prosjektet direkte til å oppfylle delmål 5.2, "Gjennom sikring, overvåking, varsling og kunnskapsformidling bidra til å redusere konsekvensene av flom- og skredhendelser."

Varslingstjenesten er i utsatte situasjoner svært eksponert i media, og mer treffsikre prognoser og varsler vil ha en positiv effekt på NVEs omdømmebygging.

2.5 Ressursbruk

Tabell 1 viser hovedtall for timeforbruk, regnskap og antall medarbeidere i prosjektperioden.

År	Timer	Øvrige utgifter (kr)	medarbeidere
2011	1580	28 256	10
2012	2050	52 983	11
2013	2715	117 637	11
2014	2196	71 493	14

Tabell 2.1. Årstopotaler for time- og kronebruk og antall prosjektmedarbeidere gjennom de 4 prosjektårene.

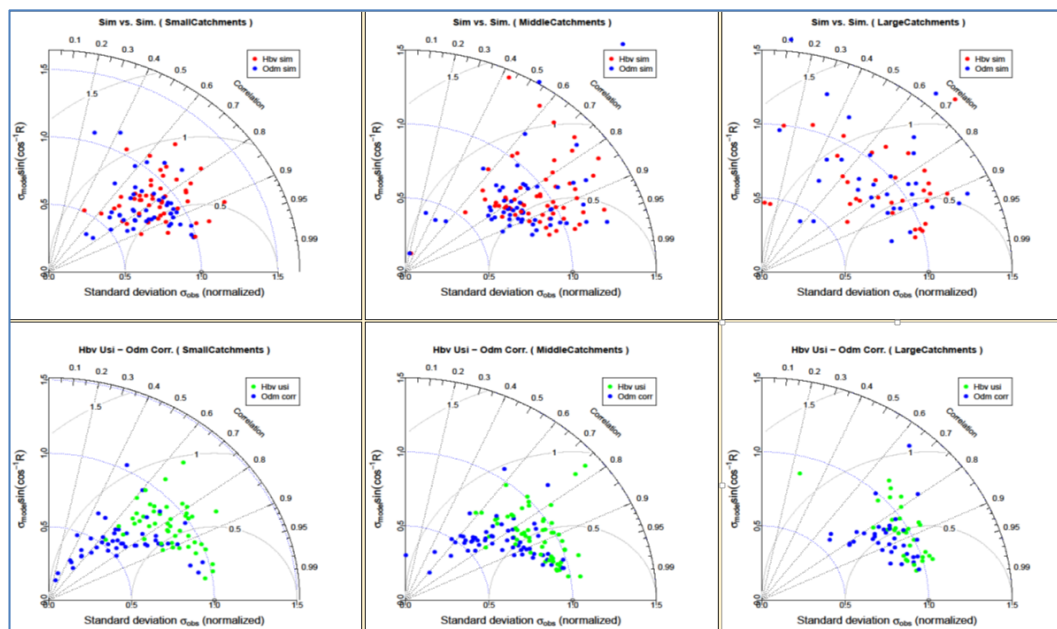
Det er totalt timeført nesten 6 årsverk på prosjektet, og regnskapsført rundt 250 000 kr. I tillegg er det meste av videreutviklingen av ODM, en betydelig andel av prosjekttimene, timeført på forvaltningsbudsjettet.

3 Delprosjektene aktiviteter

3.1 Delprosjekt 1: Kalibrering og evaluering

Delprosjektets arbeid med evaluering av flomvarslingsmodellene er presentert i Haddeland et al. (2014). I rapporten presenteres et system som tallfester kvaliteten på modellene som inngår i NVEs flomvarslingssystem. Kvantifisering av resultatene er et ledd i å tallfeste hvor godt modellene treffer flomtoppene, samt å måle om modellene blir bedre over tid. Evalueringen er utført på grunnlag av hydrologiske modellsimuleringer basert på historiske tidsserier av nedbør og temperatur. Resultater fra 98 nedbørfelt simulert med HBV, ODM og DDD modellen er vurdert. For å evaluere hvordan modellene oppfører seg for de største vannføringene (flomtoppene), er det tatt i bruk kriterier som treffrate og falske alarmer. DDD har noe bedre treff og færre falske alarmer enn HBV og ODM for alternativene der det ikke tillates en tidsforskyvning mellom observerte og simulerte flomtopper. Generelt scorer modellene bedre når man tillater en tidsforskjell i flomtoppen på et døgn, og i dette tilfellet er resultatene fra HBV litt bedre enn de to andre modellsystemene. Analysene indikerer også at det er rom for forbedringer når det gjelder modellenes evne til å treffe flomtoppene.

Et internt notat (Haddeland, 2014) beskriver en prototype for løpende evaluering av flomvarslingsmodellene. Prototypen er spesielt godt egnet til evaluering etter flomhendelser. Det er valgt å operasjonalisere en noe endret rutine, som gir et bedre bilde av hvordan modellene presterer generelt på løpende basis. Den opererer på siste års data, og benytter Taylordiagrammet, som er et anbefalt evalueringskriterium i Haddeland et al. (2014)



Figur 3.1. Eksempel på Taylordiagrammer som viser evalueringsresultater for siste års modellprognoser (1-dags-prognosen). Øverst vises resultatene for ukorrigert HBV- (rød) og ODM-modell (blå) og nederst resultatene for korrigert HBV- (grønn) og ODM-modell (blå). DDD-modellen vil også bli representert i diagrammet når det eksisterer en tilstrekkelig lang lagret serie.

I Engeland (2015) analyseres flomhendelser som i liten grad reproduseres av de hydrologiske modellene, for å belyse årsaken til problemene og skissere en metodikk for evaluering av flomsimuleringer. Årsakene til dårlige simuleringer kan være mange, bl.a. at den beregnede arealnedbøren er for liten, den beregnete snøsmeltingen er for liten, tilsiget i modellen brukes til å fylle opp mark- og grunnvannsmagasinet eller årsaken kan ligge i den numeriske implementeringen av avrenningsprosessen. Det er behov for ytterligere analyser for å identifisere systematiske årsakssammenhenger.

3.2 Delprosjekt 2: Finere tidsskritt og alternativ modell

3.2.1 Hydrologisk simulering på finere tidsskritt

Helt fra starten av prosjektet har forskjellen i tidsoppløsning mellom prognosert meteorologi og hydrologi fremstått som et felt med et åpenbart forbedringspotensial. I tiår har meteorologiske prognoser vært tilgjengelige på timesoppløsning og finere, men flomvarslingens modeller har insistert på døgnoppløsning. Tilsvarende paradoksalt er det at vi har observert vannføring på timesoppløsning siden ca. midten av 80-tallet. Årsaken til slikt et gap i tidsoppløsning er imidlertid ganske åpenbar. Det har vært umulig å oppdrive meteorologiske kvalitetsobservasjoner på finere tidsoppløsning enn døgn for å kalibrere de hydrologiske modellene brukt i den nasjonale flomvarslingstjenesten. I prosjektet ble det derfor besluttet å lage et griddet meteorologisk datasett på 3 timers oppløsning som kunne gjøre det mulig å kalibrere våre hydrologiske modeller for tidsoppløsning finere enn døgn.

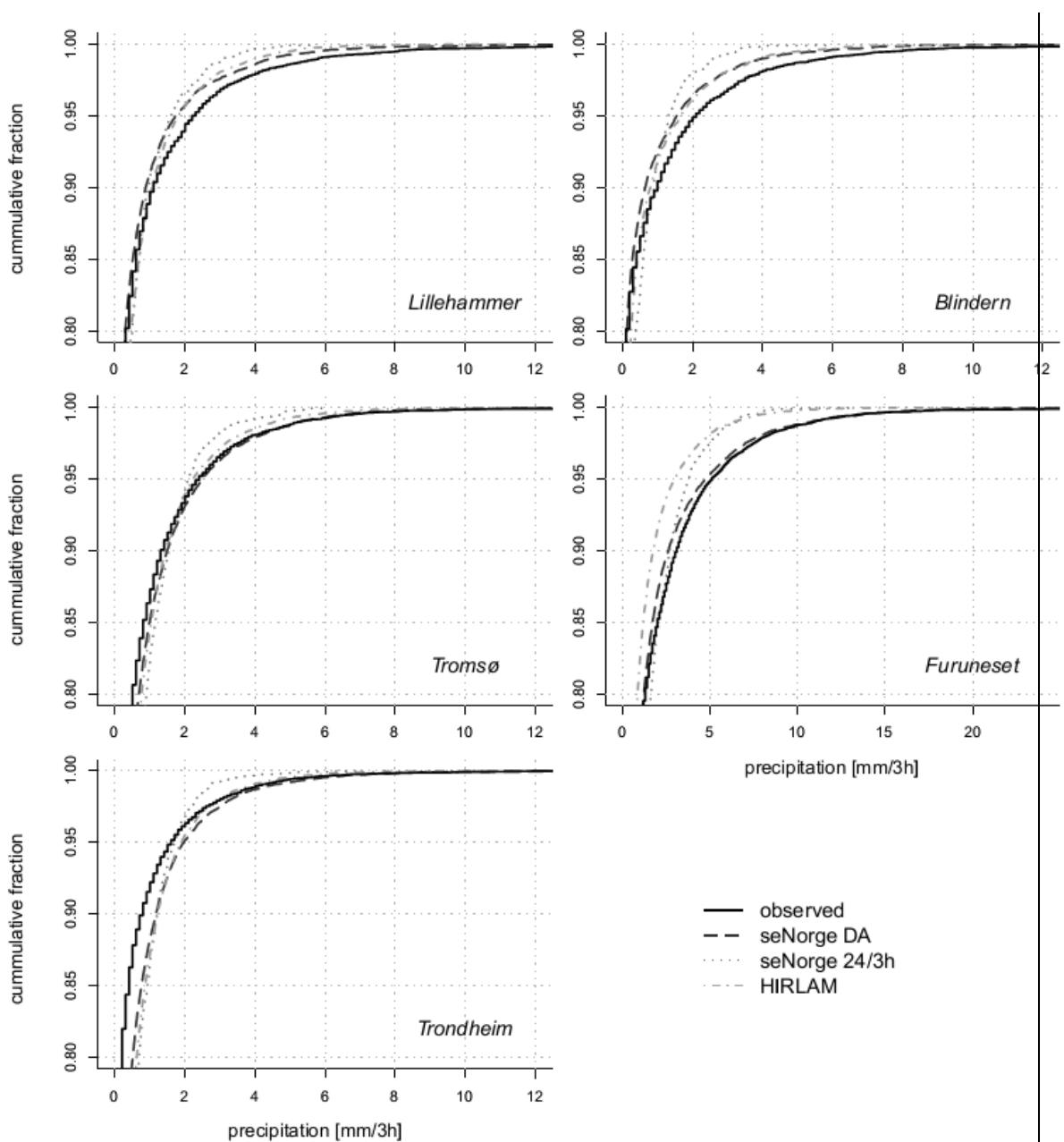
Valget av tidsoppløsning på 3 timer ble gjort fordi det ble antatt at det ville dekke behovet for raske flommer i små nedbørsfelt, dessuten var datalagring og tidsbruk ved simulering momenter som talte mot enda finere tidsoppløsning (for eksempel 1 time).

Metoden for å lage det nye 3 timers datasettet for meteorologi (nedbør og temperatur) ble inspirert av informasjonen om at det forelå et såkalt «hindcast» datasett hos MET (NORA10) som inneholdt simulerte verdier av meteorologiske variable for hele Norge på et 10 X 10 km grid, for hver time fra 1957-2010. Et hindcast er, i denne sammenheng, at en reanalysemodell (ERA 40) på stor romlig oppløsning ($1.125^\circ \times 1.125^\circ$) er nedskalert ved hjelp av en finskala atmosfæremodell (HIRLAM 10) (10x10 km). Reanalyse betyr at observasjoner fra værstasjoner, radiosondeobservasjoner, observasjoner fra båter og i noen grad også fra satellitter er assimilert inn i simuleringene for at de i størst mulig grad skal simulere observert meteorologi. Erfaringer med atmosfæremodeller er at de simulerer værsystemene bedre enn faktiske nedbørsmengder, slik at det var grunn til å kunne stole på når nedbøren inntraff men kanskje ikke mengdene. Likeledes kunne det være grunn til å kunne stole på det generelle temperaturforløpet gjennom døgnet, men kanskje ikke den faktiske simulerte temperaturen.

Det meteorologiske griddet seNorge har interpolert døgnmiddel av nedbør og temperatur på 1x1 km for hele Norge siden 1957 til i dag. Hvis vi brukte seNorge verdiene men fordelte dem over døgnet slik som NORA10 dataene gjorde det ville vi få et datasett for fin tidsoppløsning, men som var konsistent (lik døgnmiddelverdi) med seNorge.

Vormoor og Skaugen (2013) beskriver i detalj hvordan 3 timers datasettet ble laget og validering av settet mot noen observasjoner av nedbør og temperatur som faktisk

foreligger på timesoppløsning (se figur 3.2). Resultatene har også vært presentert på EGU konferanse (Vormoor og Skaugen, 2012).



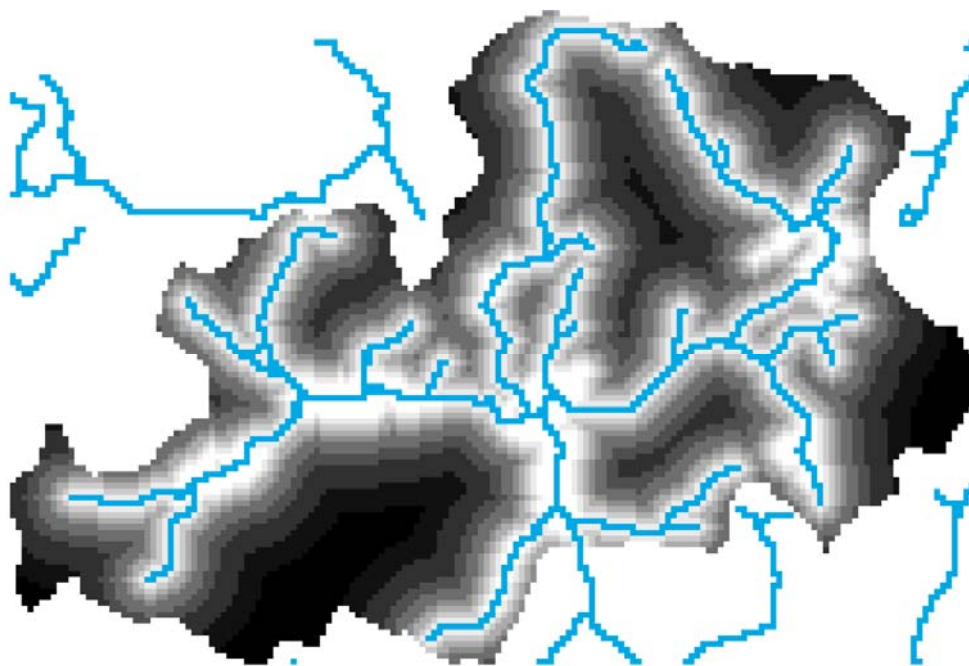
Figur 3.2. Sammenlikning mellom observert 3 timer nedbør og seNorge DA (de nye seriene beskrevet her) seNorge 24/8 (3-timersverdiene framkommet ved aritmetisk midling) og rene NORA10 verdier (HIRLAM). Den kumulative fordelingen til de 20 % høyeste verdiene er vist.

3.2.2 Alternativ hydrologisk modell

Før prosjektets oppstart var det i hydrologisk avdeling igangsatt arbeid med utvikling av en ny hydrologisk modell (Skaugen, 2008). Modellen (Distance Distribution Dynamics (DDD)) er utviklet under filosofien om at prosessbeskrivelsene i modellen skal i størst mulig grad bli parameterisert fra observasjoner. Siden mange av de operative modellene ble utviklet (HBV på 70-tallet) har vi fått digitale kart over en mengde relevante

feltkarakteristika (e.g. hypsografisk kurve, elvenettverk, myrer og breer, innsjøer), observasjoner av avløp foreligger på fin tidsoppløsning og vi har sterkere datamaskiner etc. Vi har altså mye mer informasjon som enkelt kan brukes for å test ut nye konsepter om hvordan vannet beveger seg i det hydrologiske kretsløp.

Sentralt i utviklingen av DDD ble avstandsfordelingene, beregnet av GIS, for forskjellige landskapselementer som antas viktige for avrenningsdynamikken (fordelingen av vann over tid ved utløpet). I DDD modellen brukes avstandsfordelinger for myrer, breer og det som ikke er verken bre eller myr, kalt jord. I et GIS griddes nedbørsfeltet fint opp i 25 x 25 m og avstanden fra hvert piksel til nærmeste elvebit beregnes (se figur 3.3). Disse avstandene har en fordeling som anvendes til å beskrive dynamikken av avrenning.



Figur 3.3. Avstander fra hvert pixel (gråtone) til nærmeste elvebit (blå). Eksempelet er for vannmerke 16.66 Groset.

Vi bruker resesjonsforløpet av avløpsobservasjonene til å informere oss om nedbørfeltets fuktighetsgrad og om hvor fort vannet transporteres til elvenettverket. Jo brattere resesjonen er, jo mer oppfylt er grunnvannsmagasinet. Videre kan vi fra resesjonsforløpet beregne hastigheter til vannet som transporteres i jorden (i myra, under breen) for forskjellige grader av fuktighet i feltet.

På denne måten kan vi bestemme parametere til feltet ut ifra tilgjengelige data (digitale kart og avløpsobservasjoner) og ikke ut i fra kalibrering, noe som gjør det lettere å se kausaliteten i avløpsgenerering i naturen (en klarere modellstruktur), reduserer usikkerheten og gjør det lettere å diagnostisere modellene når de går dårlig.

Færre kalibreringsparametere i DDD gjør den også godt egnet til prediksjoner i umålte felt (predictions in ungauged basins (PUB)). I Skaugen et al. (2014) beskrives hvordan modellparametere er signifikant korrelert med nedbørsfelt karakteristika og kan bestemmes ut i fra disse ved hjelp av regresjonslikninger.

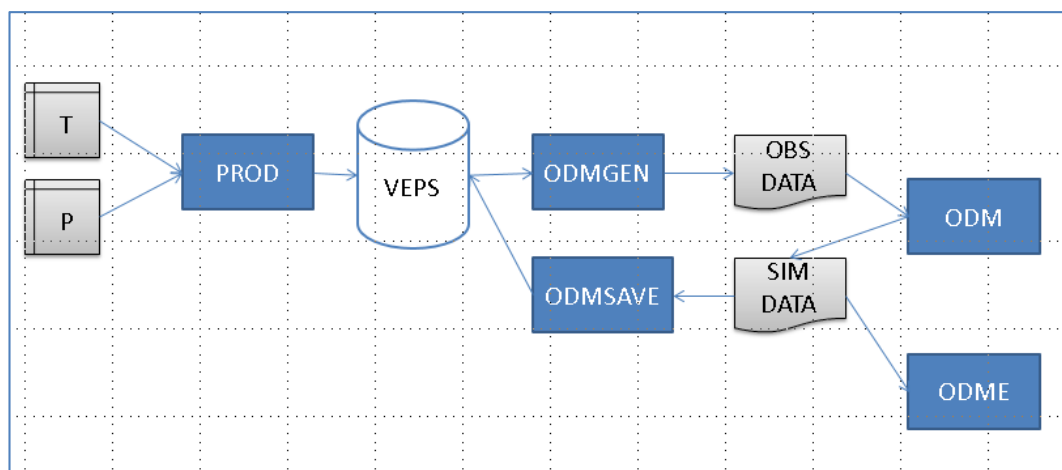
I løpet av prosjektet har DDD modellen blitt implementert i flomvarslings operative drift både for 24 og 3 timers tidsoppløsning. En evaluering av DDD, HBV og ODM viser at DDD har høyere treff på flommer og mindre falske alarmer (Haddeland et al. 2014, (delprosjekt 1 i dette prosjektet)). Videre ser vi at timingen på vannføringstopper er bedre enn hos HBV modellen og den har en mer realistisk grunn-/markvannsbeskrivelse. Modellen, slik den fremsto i 2013, er beskrevet detaljert i Skaugen og Onof (2014) og er presentert på flere konferanser (Skaugen, 2009, Skaugen and Onof, 2012, 2013a, 2013b). Modellen er under stadig utvikling, det er utviklet algoritmer som er fri for kalibreringsparametere for snøfordeling i rommet, snøsmelting og grunnvannkarakteristika som vil bli implementert i modellen. Antallet kalibreringsparametere vil da ytterligere reduseres. I planene for videreutvikling ligger det også å utvikle en metode for å oppdatere tilstandene i modellen ut i fra observert avvik mellom observert og simulert vannføring.

3.3 Delprosjekt 3: Prosessbeskrivelser

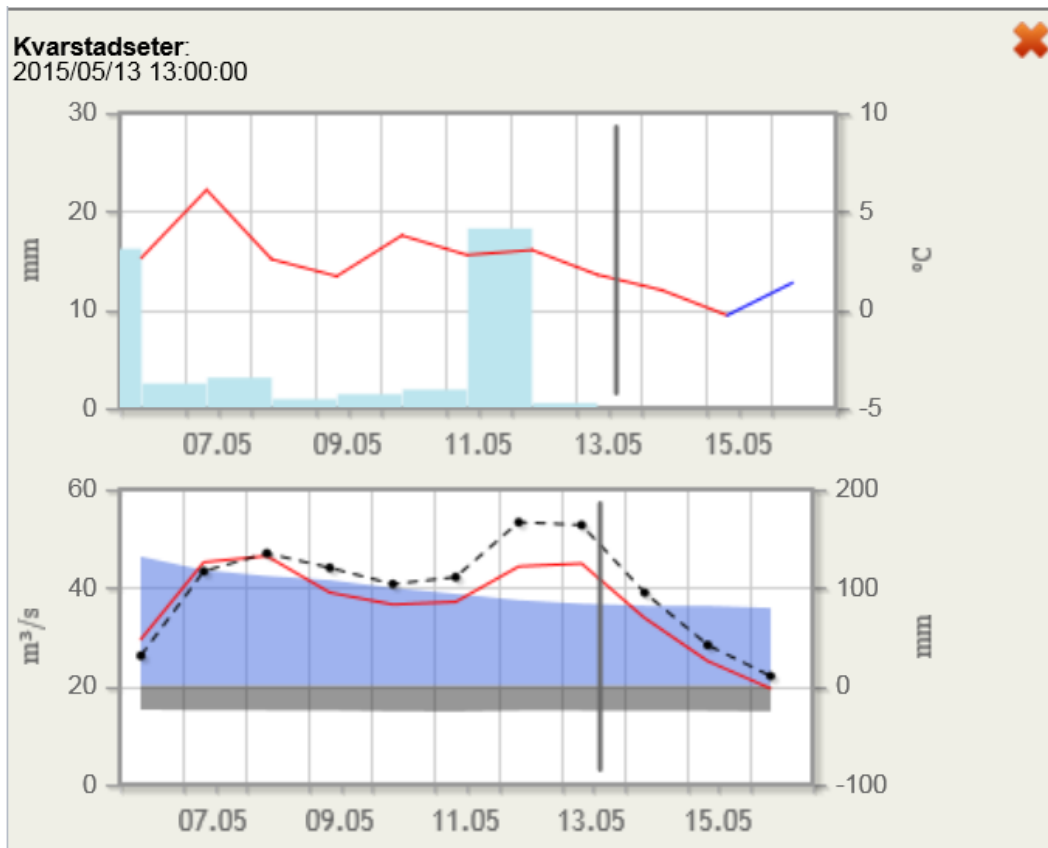
Utført arbeid:

Utvikle og forbedre kode for Distributed Element Water Balance Model (DEW) i C++ med algoritmer fra HBV- og KiWa-modellstruktur. Overføre kode til Open Distributed Model (ODM) i C# og verifisere at identiske resultat oppnås.

Utvikle og sette opp ODM med HBV-modellstruktur og høydesoner for alle modellfelt til flomvarslingen med 1-døgns tidsoppløsning. Operativ produksjonslinje med automatisk kjøring av modell og presentasjon av resultat i www.xgeo.no. Program for definisjon av modelldomene, henting og tilrettelegging av data fra databasen, lagring av resultat fra modellen på databasen, grafisk presentasjon av modellresultatene.



Figur 3.4. Flyttdiagram som viser produksjonslinja for kjøring av ODM og prosessering av inn- og utdata.



Figur 3.5. Rapportvisning av resultater fra ODM på www.xgeo.no. Øverste diagram viser inndata til modellen: nedbør og temperatur. Nederst vises simulert (svart, stipla linje) og observert (rød linje) vannføring, snøens vannekvivalent (blått areal) og grunn- og markvannsdefisitt (grått areal). Grå stolpe markerer "i dag", og er skillete mellom observerte data og prognoser. Rød linje i prognoseperioden viser korrigert vannføringsprognose.

Utvikle og sette opp ODM med HBV-modellstruktur og høydesoner for alle modellfelt til flomvarslingen med egnete data med 3-timers tidsoppløsning.

Utvikle og sette opp DEW med HBV-modellstruktur og KiWa-modellstruktur med romlig fordelte 1x1 km² landskapselement for mange modellfelt til flomvarslingen. Hovedsakelig tidsoppløsning 1 døgn, men tidsoppløsning 1 time og 3 timer er også benyttet.

Algoritmer for routing av grunnvann mellom landskapselement og routing av overflatevann i elvenettet er introdusert i romlig fordelt DEW med HBV-modellstruktur. Routing i elvenettet er basert på Muskingum-Cunge approksimasjon. Etter som landskapselementene og elvenettet er beskrevet med romlig oppløsning 1 x1 km² kan variasjon i topografi, vegetasjon, jordarter, geologi, isbreer, myr, sjø, elvenett og andre egenskaper som bestemmer lagring og strømming av vann beskrives eksplisitt. Se Li et al. (2015-1), Li et al. (2014-1), Li et al. (2014-2), Li et al. (2014-3) og Li et al. (2013).

Algoritme for dynamisk modellering av isbreers areal og volum basert på relasjon mellom breoverflatens høyde, isens tykkelse og lokal massebalanse er testet i DEW med romlig fordelt struktur med 1 x1 km² og 100 x100 m² landskapselement for nedbørfelt

med isbreer i Norge og Himalaya. Se Li et al. (2015-2), Alesina et al. (2014) og Melvold og Beldring (2014).

3.4 Delprosjekt 4: Usikkerhetsestimering

Usikkerhetsmodellen var opprinnelig tilpasset et utvalg HBV-modeller som var tilpasset inndata fra meteorologiske stasjoner. Etter hvert som modellutvalget økte, og i tillegg inndata ble tilrettelagt fra seNorge-gridd, foruten at det var skjedd større endringer i værprognosedataene, var det nødvendig å foreta en ny tilpasning av usikkerhetsmodellen til flomvarslings modellsystem. I den forbindelsen ble et halvautomatisk system for rekalkibrering av usikkerhetsmodellen etablert. Nye rutiner for kjøring av usikkerhetsmodellen, som er tilpasset dataleveransene fra MET, ble dessuten satt i drift. Alle modellene, inklusive usikkerhetsestimering, kjøres nå 4 ganger om dagen, som tilsvarer hver gang det kommer inn nye meteorologiske data å kjøre på. Figur 3.6 viser det daglige kjøreskjemaet for flomvarslingsmodellene og hvilke inndata som brukes i de forskjellige kjøringene.

Værdata som brukes i HBV-modellkjøringene											
Nedbør											
Prognosedag											
	Modellstarttid	i dag	01d	02d	03d	04d	05d	06d	07d	08d	09d
1	07:00	Arome-06 i går	Arome-00		EC-12 i går						
2	09:20	obs_idag	Arome-00		EC-00						
3	12:00	obs_idag	Arome-06		EC-00						
4	19:00	obs_idag	Arome-06	Arome-12	EC-00						
Temperatur											
Prognosedag											
	Modellstarttid	i dag	01d	02d	03d	04d	05d	06d	07d	08d	09d
1	07:00	Yr-00 i går	yr-00		EC-12 i går						
2	09:20	obs_idag	yr-00		EC-00						
3	12:00	obs_idag	yr-00		EC-00						
4	19:00	obs_idag	yr-00	yr-12	EC-00						

Figur 3.6. Det daglige kjøreskjemaet for HBV-modellene. Tabellen viser tidspunktet for kjøringene og inndata for kjøredatoen og i prognoseperioden.

Evaluering av usikkerhetsmodellen er beskrevet i Langsholt og Ruan (2015). Nedenfor følger et sammendrag av rapporten:

I denne rapporten presenteres og evalueres flomvarslingsstjenestens modellsystem for kvantifisering av usikkerheten i vannføringsprognosene. Systemet estimerer forventet feil i vær- og vannføringsprognosene, og korrigerer for denne. Denne usikkerhetsmodellen ble implementert på flomvarslings i 2000, og har gått operasjonelt siden den gangen, tilpasset HBV-modellen og ulike versjoner av værprognoser. Modellsystemet er i denne runden evaluert på data for perioden 2010 – 2011. Evalueringen tar sikte på å kvantifisere hvor godt de korrigerte prognosene sammenfaller med observasjonene, hvor godt usikkerhetsmodellens estimerte sannsynlighetsfordeling beskriver vær og vannføring i

prognoseperioden, og størrelsesforholdet mellom feilbidraget til vannføringsprognosene fra værprognosene og fra HBV-modellen.

Resultatene av evalueringen viser at delfeilmodellen for nedbør feiler, ved at den korrigerte nedbørprognosen faktisk gir dårligere resultater enn den ukorrigerte. Feilmodellen for temperatur, derimot, gir en forbedring i temperaturprognosen, som i situasjoner der temperaturen spiller en rolle for tilsiget må antas å ha en positiv effekt på vannføringsprognosen. Modellen som korrigerer HBV-modellens vannføringsprognose med hensyn til siste observerte vannføringsverdi gir også en betydelig forbedret vannføringsprognose de første prognosedagene. Den positive effekten av modellfeilkorrigeringen dominerer over det negative utslaget av nedbørprosesseringen, og gir en prognose med totalt sett mindre avvik de første 3 - 4 dagene.

For alle delfeilmodeller gjelder det at den estimerte sannsynlighetsfordelingene gir en relativt god beskrivelse av prognosert vær og vannføring. Analysen av delfeilmodellenes bidrag viser at modellfeilen har et konstant bidrag til totalfeilen gjennom hele prognoseperioden, og bidrar med den største andelen i starten av perioden. Værprognosefeilens andel av totalfeilen øker utover i prognoseperioden, i takt med at usikkerheten i værprognosen øker, og bidrar med det største feilbidraget i slutten av prognoseperioden. Dette er et gjennomgående trekk for alle modellfelt.

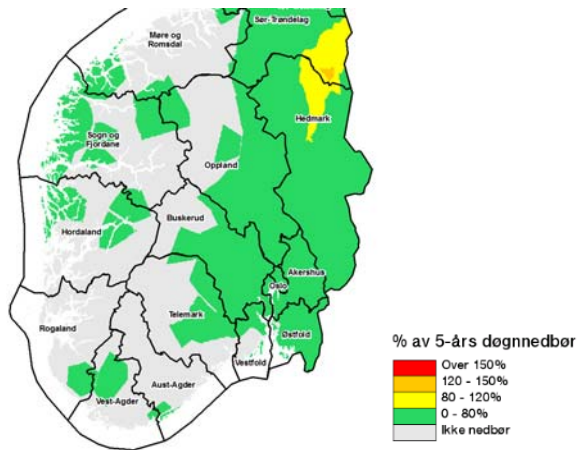
Resultatene fra evalueringen er nyttige i den daglige tolkingen av resultatene fra usikkerhetsmodellen, og i arbeidet med å kartlegge forbedringspotensialer og legge en strategi for videreutvikling av probabilistisk varsling i flomvarslingstjenesten.

Et sideprosjekt innenfor dette delprosjektet var en pilotstudie av dataassimilering og parameterestimering ved bruk av ensemble kalmanfiltermetodikk (EnKF) anvendt på HBV-modellsimuleringer. Studien ble gjennomført i samarbeid med StormGeo, og ble delfinansiert av Statens landbruksforvaltning. Lie (2012) oppsummerer studien, som konkluderer med at EnKF i denne sammenhengen fungerer bedre til parameterestimering enn til dataassimilering. Dette kan ha sammenheng med HBV-modellens mangelfulle fysiske forankring og litt uryddige parameterstruktur, med stor grad av avhengighet mellom parameterne. Metodikken anbefales forsøkt på andre hydrologiske modeller, i kopla land-atmosfæresystemer og ved bruk av andre typer observasjoner enn vannføring.

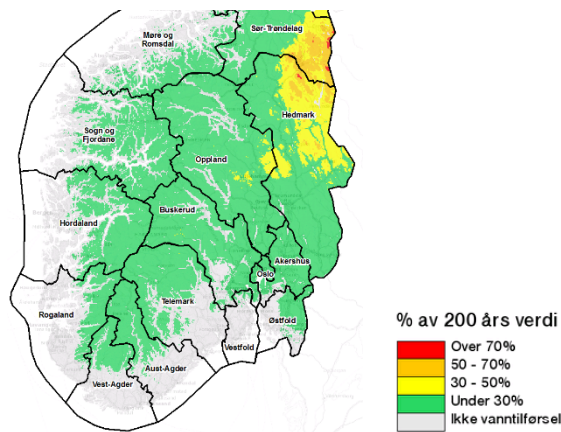
3.5 Delprosjekt 5: Støtteverktøy

3.5.1 Terskelverdier

Det er laget en rekke nye temakart som er til hjelp for blant annet flomvarslingen ved vurdering av flomfare og for å analysere flomsituasjoner i ettertid. Blant annet er det laget kart som viser observert/prognosert nedbør i prosent av 5-års døggnedbør (figur 3.7) og et kart som viser sum nedbør og snøsmelting i prosent av 200-års døggnedbør (figur 3.8). Eksemplet nedenfor er fra slutten av mai 2014 da det kom kraftige regnbyger over deler av Hedmark og Sør-Trøndelag, samtidig som det fortsatt var snøsmelting og svært fuktig i bakken i området.

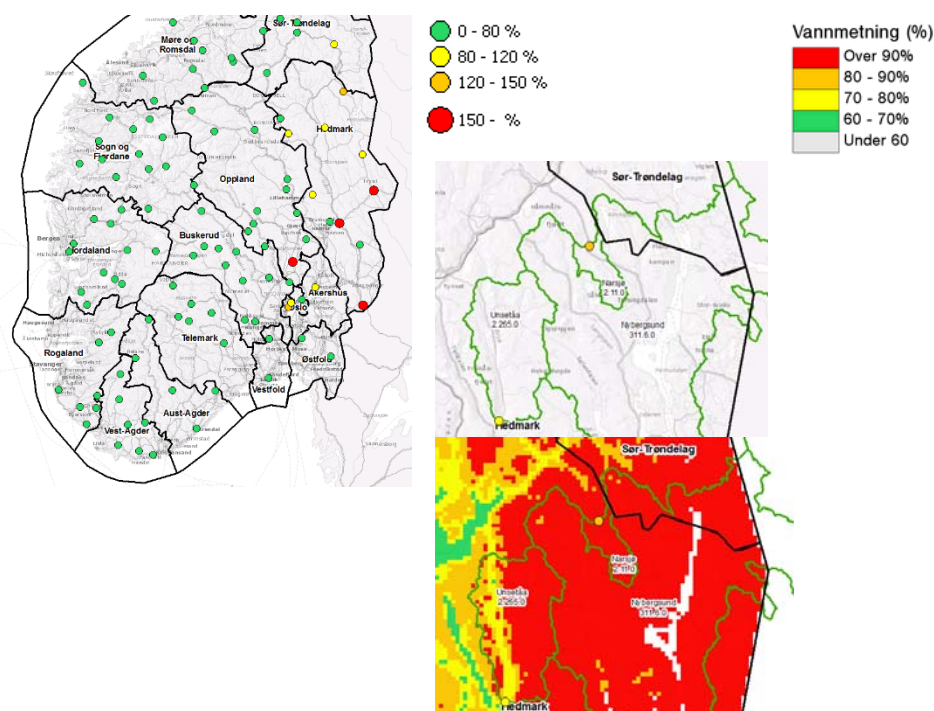


Figur 3.7. Nedbør i prosent av 5-års døggnedbør for 26. mai 2014. 5-års døggnedbør er beregnet med nedbørgriddata (1 x 1 km) for perioden 1957 – 2008.



Figur 3.8. Sum nedbør og snøsmelting (avrenning) i prosent av 200-års døggnedbør for 26. mai 2014. 200-års døggnedbør er beregnet med nedbørgriddata (1 x 1 km) for perioden 1957 – 2008.

Figur 3.9 viser prognosert nedbør klassifisert som prosent av beregnet 5-årsflom for flomvarslings modelfelter (HBV) i Sør-Norge (videreutvikling av de tidligere «Ingjerd-kartene»). Nedbørprognosen er arealnedbøren for det enkelte modelfeltet, mens 5-årsflom er basert på flomstatistikk for hver enkelt stasjon. Fra det lille kartet i midten ser en at 26. mai 2014 ga nedbørprognosen en arealnedbør for Unsetåa som var mellom 80 og 120 prosent av beregnet 5-årsflom, mens for Narsjø ga prognosen en verdi som lå mellom 120 og 150 prosent av beregnet 5-årsflom. For Unsetåa og Narsjø tilsvarer 5-årsflom en døgnavrenning på henholdsvis 19 og 22 mm. Kombinert med informasjon om vannmetningsgrad i bakken (kartet lengst til høyre), er det rimelig å anta at den varslede nedbøren ville gi flomvannføringer.



Figur 3.9. Prognosert nedbør i prosent av 5-årsflom (gitt i mm avrenning pr døgn) for 26. mai 2014. 5-årsflom er basert på flomstatistikk for den enkelte målestasjon. Kartet i midten viser et forstørret utsnitt av kartet til venstre. Kartet til høyre viser samme utsnitt, men med vannmetningsgrad som bakgrunnskart. Prosent vannmetningsgrad angir forholdet mellom dagens vannlager og maksimalt simulert vannlager i referanseperioden 1981-2010.

3.5.2 Magasindata

Ukentlig offentliggjør NVE magasinstatistikk som omfatter 97,5 prosent av den totale magasin kapasiteten målt i energiinnhold (TWh). Denne statistikken er basert på innrapporterte magasin vannstander for i alt 488 vannkraftmagasiner over hele landet. Disse detaljerte dataene er ikke offentlige i sanntid, men gir flomvarslingstjenesten verdifull tilleggsinformasjon om situasjonen i de ulike vassdragene.

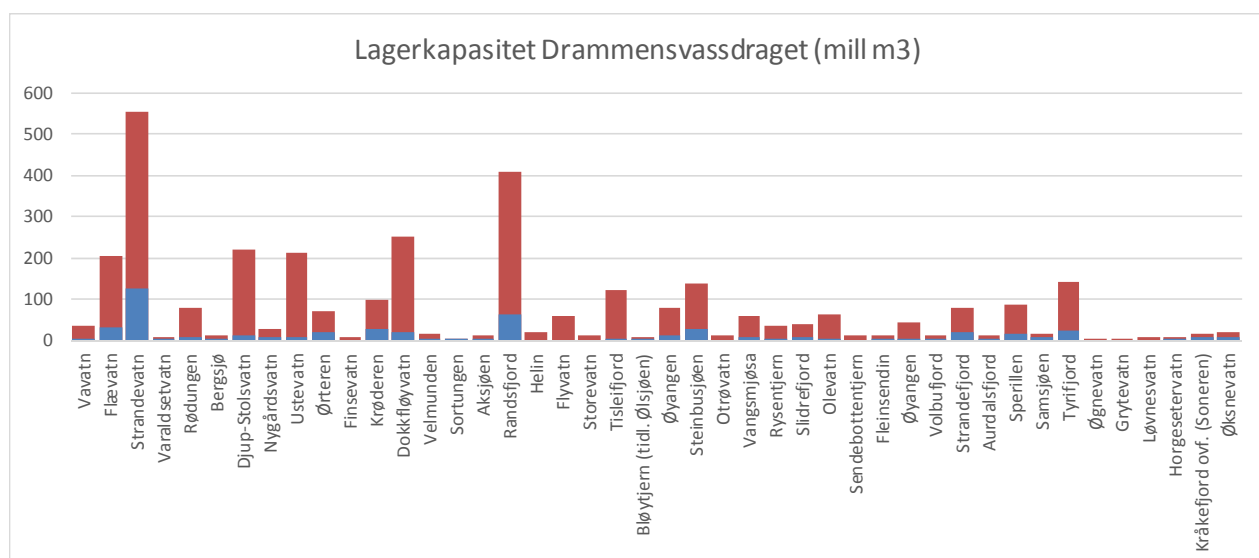
For bedre å kunne nyttiggjøre oss denne informasjonen er det laget et regneark hvor restmagasin (magasinkapasitet fratrukket aktuell magasin fylling) for hvert enkelt magasin blir beregnet i enhetene mill m³ og mm. Restmagasin i «mill m³» er det volum vann som kan lagres mellom HRV (høyeste regulerte vannstand) og den aktuelle vannstanden, mens restmagasin i «mm» tilsvarer dette volumet spredd jevnt utover nedbørfeltet til magasinet.

For eksempel vil magasinet 2.198 Sjusjøen, som har en magasin kapasitet på 4,8 mill m³ og et nedbørfelt på 64 km², om dette er halvfullt, kunne lagre et volum på 2,4 mill m³. Det tilsvarer ca. 37 mm vann (= 4,8 mill m³ / 64 km²) spredd over nedbørfeltet. Gitt et nedbørvarsel for dette område på 50 mm i løpet av et par dager, og det samtidig er svært vått i bakken, er det rimelig å anta at magasinet vil bli fylt/få overløp i løpet av varslingsperioden.

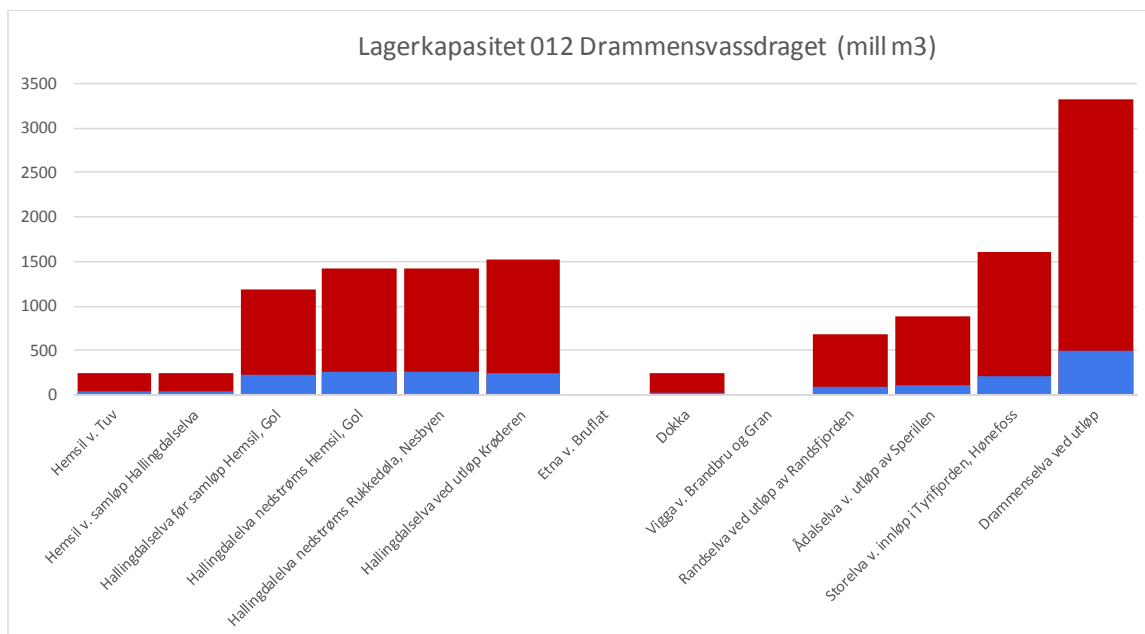
For vassdragene på Øst- og Sørlandet (vassdragsnummer 002 – 026) er det laget summerte oversikter ned til punkter i disse vassdragene hvor det foreligger flomsonekart. For eksempel i Drammensvassdraget hvor det er en rekke flomsonekart, er det laget slike oversikter for i alt 13 steder, 11 av disse er omfattet av oppstrøms reguleringer.

Illustrasjonene under er fra Drammensvassdraget med data fra høsten 2014. Figur 3.10 viser at i Drammensvassdraget var det på det aktuelle tidspunktet størst tilgjengelig lagerkapasitet i mill m³ i Flævatn i Hemsedal, Strandevatn i Hallingdal og i Randsfjorden i den østlige delen av vassdraget. Fra figur 3.11 ser en at summert lagerkapasitet for hele vassdraget var ca. 500 mill m³, mens den totale magasinkapasiteten er drøyt 3300 mill m³. Fyllingsgraden (aktuelt magasinivolum/totalt magasinkapasitet) på det aktuelle tidspunktet blir da omkring 85 %.

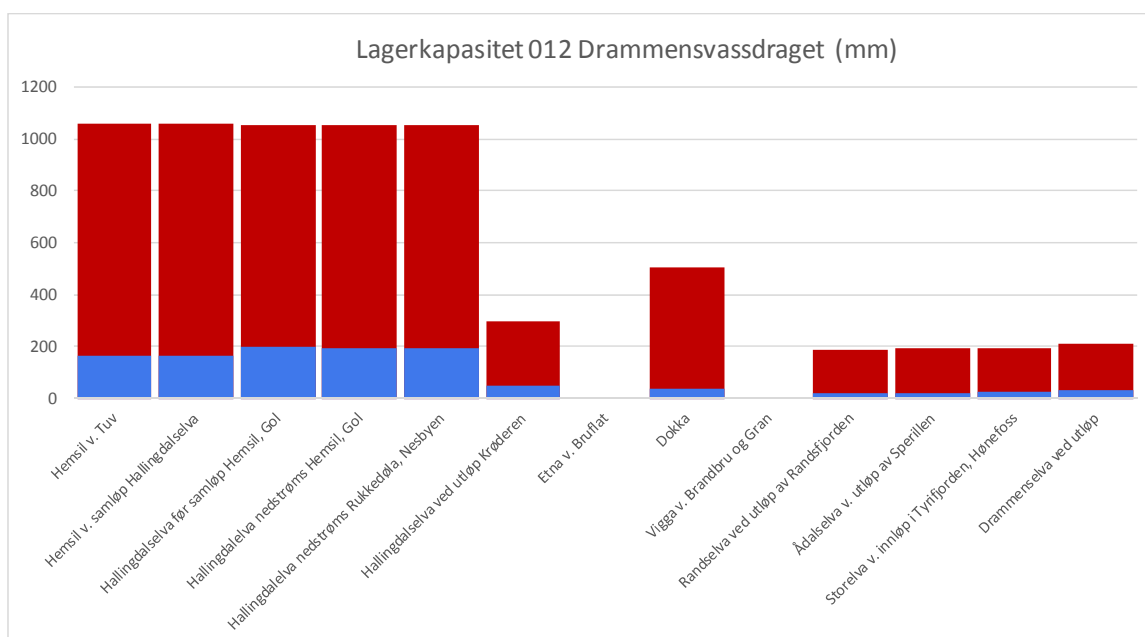
Fra figur 3.12 ser en at for Hemsil tilsvarende den ledige magasinkapasiteten omkring 160 mm vann fordelt over nedbørfeltene i denne delen av vassdraget, mens for Hallingdalselva før samløp med Hemsil tilsvarende den ledige magasinkapasiteten omkring 200 mm vann. Går en inn og ser på detaljer for hvert enkelt av de 12 magasinene i Hallingdal/Hemsedal, vil en se en variasjon, fra helt fulle magasiner, til magasiner hvor det var plass til å lagre tilsig tilsvarende godt over 200 mm.



Figur 3.10. Lagerkapasitet i Drammensvassdraget i mill m³. De røde søylene viser magasinkapasitet for hvert enkelt magasin, og de blå søylene hvor stort vannvolum som kan lagres før en når HRV (høyeste regulerte vannstand).



Figur 3.11. Lagerkapasitet i Drammensvassdraget i mill m³. De rød søylene viser aggregert magasin-kapasitet ulike steder i vassdraget. Total magasin-kapasitet ved utløp i fjorden er ca. 3300 mill m³. De blå søylene viser hvor stort vannvolum som kan lagres før en når HRV (høyeste regulerte vannstand). Totalt i hele vassdraget var det på dette tidspunktet ca. 500 mill m³ ledig magasin.

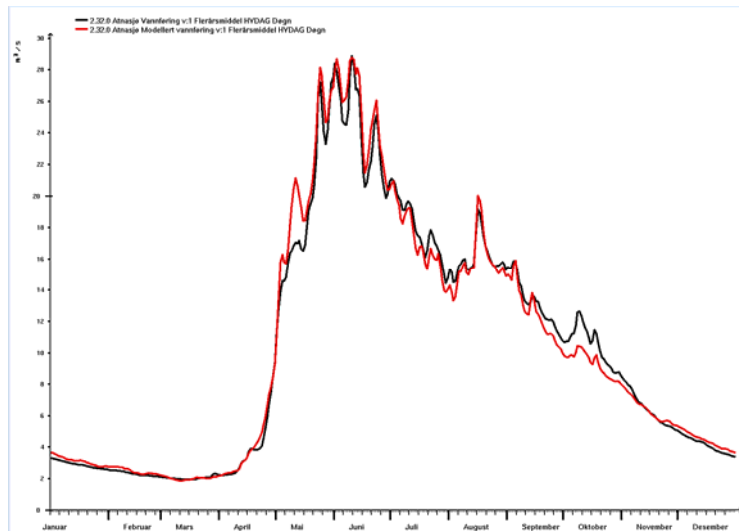


Figur 3.12. Lagerkapasitet i Drammensvassdraget i mm. De rød søylene viser aggregert magasin-kapasitet på ulike steder i vassdraget. I øvre del av vassdraget, (f.eks. i Hemsil, lengst til venstre) tilsvarer magasin-kapasiteten drøyt 1000 mm vann fordelt over nedbørfeltene til magasinene i denne delen av vassdraget. De blå søylene viser hvor mye vann som kan lagres før en når HRV. I Hemsil tilsvarer det ledige magasin-volumet omkring 160 mm vann.

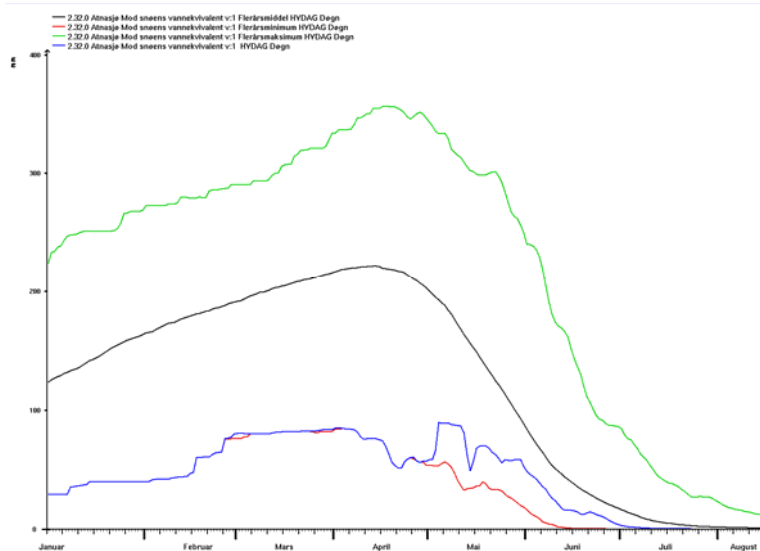
3.5.3 HBV

Det har skjedd en rekke større og mindre forbedringer av våre operative HBV-modeller de senere årene, ofte i samarbeid med andre prosjekter. Her nevnes noe.

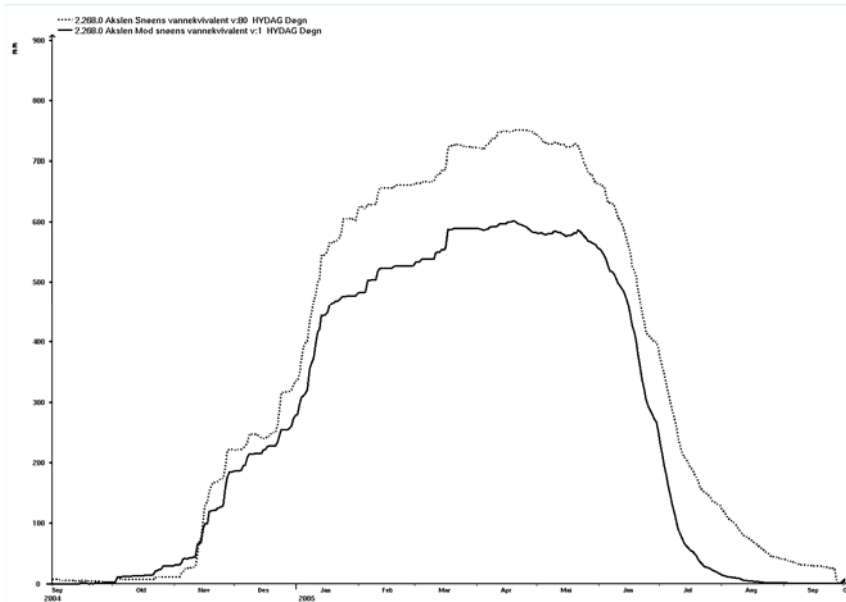
Resultater fra HBV-modellen er lagret på databasen (Hydra II) med døgnverdier tilbake til 1958. Dette gir mulighet for enkel sammenligning av for eksempel observert og modellert vannføring (figur 3.13). Eller en visuell fremstilling av hvor mye snømengdene har variert (figur 3.14) gjennom de siste drøyt 50 år. Også en rekke andre variable fra HBV-modellen, som snødekningsgrad, mark- og grunnvannsvolum, er lagret og kan illustreres og analyseres via programvaren i Hydra II.



Figur 3.13. Observert (svart strek) og modellert (rød strek) vannføring for målestasjonen 2.32 Atnasjø. Kurvene viser gjennomsnittlig vannføring i m³/s for årene 1985 – 2014.

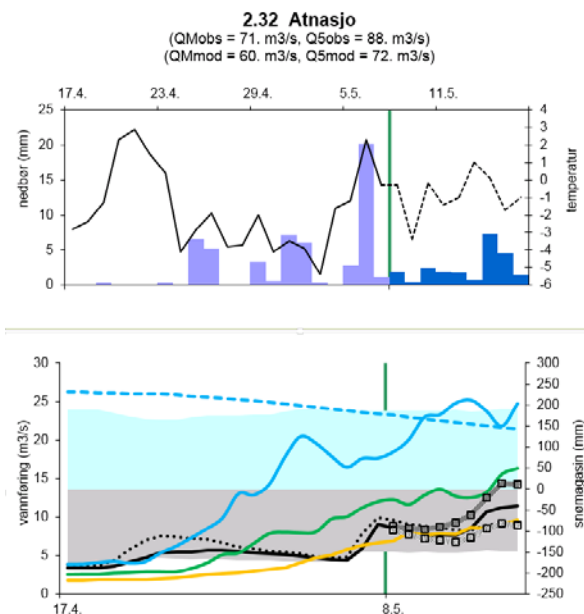


Figur 3.14. Snømagasin i «mm» vannekvivalent for nedbørfeltet til stasjonen 2.32 Atnasjø. Den blå kurven viser snømagasinet vinteren 1996. Midlere snømagasin (svart kurve) kulminerer med ca. 220 mm i siste halvdel av april. Maksimalt snømagasin har vært drøyt 350 mm (grønn kurve), mens det minste snømagasinet omkring midten av april har vært ca. 75 mm (rød kurve).



Figur 3.15. Snømagasin vinteren 2004/2005 i «mm» vannekvivalent for nedbørfeltet til stasjonen 2.268 Akslen før (stiplet strek) og etter (heltrukken strek) recalibrering av HBV-modellen.

HBV-modellene er og recalibrert de senere årene, hvor det blant annet er lagt vekt på at vannbalansen i modellene skal gå opp. For flere bre- og høyfjellsfelt har modellene tidligere generert så mye snø at snøen ikke rakk å smelte i løpet av sommeren. Det medførte at vannbalansen i enkelte modeller ikke gikk opp. Det vil si at sum nedbør var større enn sum avrenning og fordampning. Over tid er ikke dette rimelig. Figur 3.15 viser beregnet snømagasin før og etter recalibrering av HBV-modellen for 2.268 Akslen i Jotunheimen.



Figur 3.16. HBV-modell resultater for stasjonen 2.32 Atnasjø. Den øverste del av figuren viser observert og prognosert nedbør (stolper) og temperatur (linjer).

Også i regnearkene som benyttes av flomvarslingen for å visualisere resultatene av de operative HBV-modellene, er det lagt inn mer synlig informasjon enn tidligere (figur 3.16). En stiplet strek viser «normalt» snømagasin, noe som gjør det enkelt å vurdere om snømagasinet avviker fra normalt. Videre er det lagt inn en grå skravur som viser lagerkapasiteten i «mm» i mark- og grunnvann.

I nedre del av figuren vises normalt snømagasin («ny» - stiplet strek i cyan), modellert snømagasin (cyan skravur) og lagerkapasitet i mark- og grunnvann («ny» - grå skravur) i mm vannekvivalent. Vannføring er vist med svart hel og stiplet strek (observert – modellert), mens 25-, 50- og 75-persentil vannføring er vist med gul, grønn og blå strek. «boks»-linjene nederst til høyre viser usikkerhetsestimater i vannføringsprognosen.

3.5.4 PQRUT

For flomvarslinga har det vært et behov for å ha flere tilgjengelige hjelpemidler for å vurdere flomfare knyttet til regnhendelser med kort varighet (noen timer).

PQRUT er en forenklet versjon av HBV-modellen utviklet ved NVE Hydrologisk avdeling på 1980-tallet. Bakgrunnen for utviklingen av denne modellen var behov knyttet til flomberegninger for damsikkerhet. Her er det et krav om blant annet beregning av påregnelig maksimal flom forårsaket av påregnelig maksimal nedbør. Modellen kan benyttes med nedbørinput med tidsoppløsning på for eksempel 1 time.

Det er tre modellparametere som styrer avrenningen i PQRUT. Disse bestemmes som regel ved hjelp av feltparametere (normalavløp, effektiv sjøprosent, høydeforskjellen mellom feltets 25 % og 75 % nivå på den hypsografiske kurven og feltets lengde). Alternativt kan modellparametrene kalibreres mot kjente nedbør- avløpshendelser.

Det er for flomvarslinga laget en oversikt over modellparametere for i alt 132 vannføringsstasjoner hvor det kommer inn data i sanntid. Det er og laget en regnearkversjon av PQRUT, som fremdeles (mai 2015) er under utvikling/ testing.

Det er spesielle utfordringer knyttet til bestemmelse av nedbørfeltets konsentrasjonstid og markvannsforholdene i feltet før regnværet setter inn. Det er laget en veiledning hvor det blir gitt noen anbefalinger rundt vurdering av disse forholdene.

3.5.5 Vannstandsvarsling

Det er gjennomført et pilotprosjekt for å undersøke muligheten for å inkludere vannstandsprognoser i den operative flomvarslingstjenesten. Tidligere utarbeidete vannlinjemodeller fra Flomsone- og Farekartprosjektene for Glomma ved Øyeren, Drammensvassdraget og Driva ble gjenbrukt i denne oppgaven. For en av strekningene (Driva) ble det også utviklet et verktøy for å vurdere usikkerheten i vannlinjeprognosen. Konklusjonen fra arbeidet var at resultatene var lovende. Arbeidet er nærmere omtalt i Borsányi, et al. 2013.

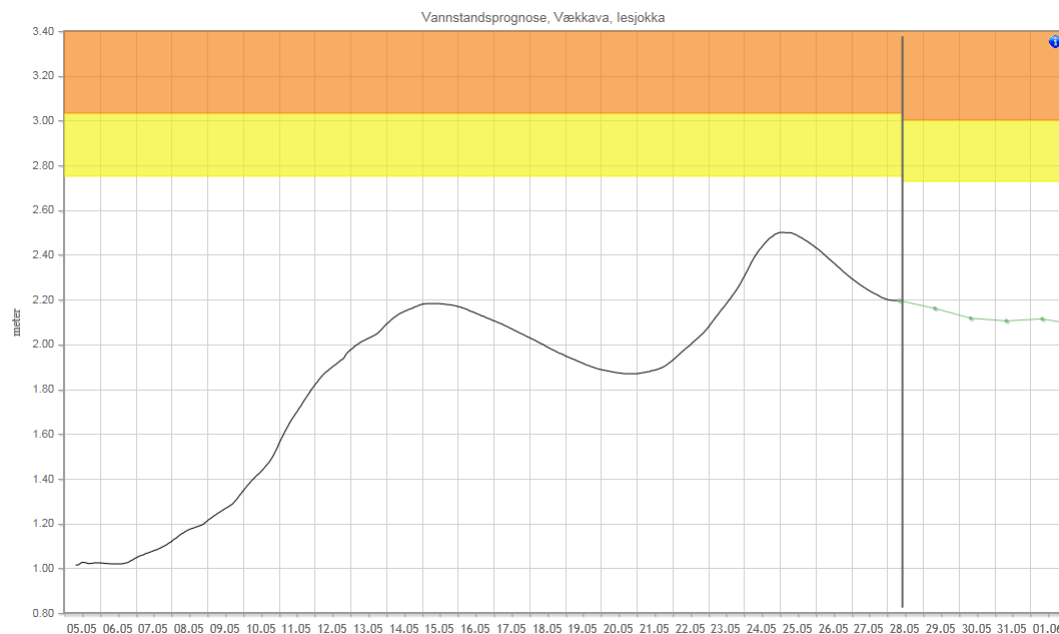
I tillegg er vannføringsprognosene for våre operative HBV-modeller «oversatt» til vannstandsprognoser via vannføringskurven for den enkelte stasjon. Vannføringskurven er ofte gitt på en variant av formen:

$Q = C \cdot H^N$, hvor Q er vannføring i m³/s, C og N konstanter og H er vannstand i «m».

En får da:

$$H = e^{1/n \cdot \ln(Q/C)}$$

Slike vannstandsprognoser er foreløpig tilgjengeliggjort via portalen test.xgeo.no (figur 3.17).



Figur 3.17. Vannstandsprognose for målestasjonen 234.13 Vækkava i Iesjokka i øvre del av Tana. Den heltrukne svarte streken viser observert vannstand (data med fin tidsoppløsning), mens den grønne streken til høyre viser prognosert vannstand (døgnmiddel) for de kommende 4 dager. «Fargebåndene» viser vannstandsintervallet ved middel til 5-årsflom (gult) og 5- til 50-årsflom (oransje). Årsaken til at «båndene» har en liten diskontinuitet skyldes at flomstatistikken er basert på findata i observasjonsperioden og døgndata i prognoseperioden.

3.5.6 Automatisering av flomstatistikk

For nesten 500 vannføringsstasjoner hvor data kommer inn i sanntid er beregning av middel-, 5- og 50-årsflom, som tilsvarer varslingsnivåene våre, automatisert. Behovet for automatisering skyldes både at vannføringskurvene stadig blir revidert/forbedret og at dataseriene blir lengre år for år. Det er en tidkrevende oppgave å holde flomstatistikken manuelt oppdatert.

For å automatisere dette, er det valgt å benytte en statistisk fordelingsfunksjon (General Extreme Value-fordelingen) for alle serier. Erfaring viser at avvikene mellom ulike fordelingsfunksjoner er forholdsvis mindre for lave gjentaksintervall (< 50 år) enn for mer sjeldne hendelser (>100 år). Vi er klar over at en slik automatisering kan gi uheldige tilpasninger for enkelte serier, men tidsgevinsten ved dette fremfor en mer individuell behandling er stor. For flomvarslingas operative bruk er det valgt å gjøre analysene med døgnooppløsning og på årsdata.

For hver enkelt stasjon er datagrunnlaget gjennomgått, hvor det er vurdert om enkeltår bør utelates, for eksempel fordi det har vært observasjonsbrudd på en tid hvor det antas at årets største vannføring har forekommet. I regulerte vassdrag er data etter siste større reguleringsinngrep lagt til grunn.

Det er og beregnet forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom, slik at når statistikken for døgnmidlene oppdateres, blir også de tilhørende momentanverdiene oppdatert.

3.5.7 Casestudy snøsmelteintensiteter

Hydrologiske og meteorologiske data fra rene snøsmelteflommer i Nord-Norge er studert for å estimere snøsmelterater og graddagsfaktorer. Studien er tenkt videreført med data fra andre deler av landet og ved å bruke data med finere tidsoppløsning, og vil etter hvert bli publisert som en egen rapport. Inntil videre er et foreløpig prosjektnotat tatt med som vedlegg til denne sluttrapporten. Et sammendrag av dette vedlegget følger nedenfor.

Vårflommene i Nord-Norge 2010 og 2013 er gode eksempler på rene snøsmelteflommer. Ved å se på sammenhengen mellom vannføring, smelting ved snøputer og lufttemperatur kan man beregne smelterater og graddagsfaktorer både per stasjon, per år og som et gjennomsnitt over flere stasjoner/år.

Smelting (M) per døgn er beregnet fra vannføring i mm/dag fra ni utvalgte vannføringsstasjoner og som målt smelting (M) ved ulike snøputer i landsdelen. Temperaturen er beregnet fra temperatur registrert ved vannføringsstasjonene, skalert til feltets middelhøyde med en faktor på minus $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dette har vist seg å være den mest gunstige kombinasjonen basert på flere dataparstudier. Basert på Saloranta (2012) er kun dager der M er større enn 5 mm/dag og T større enn 2°C inkludert i beregningene.

Mange steder var flommen i 2010 størst, og det er også fra 2010 vi finner de høyeste smelteratene og graddagsfaktorene. Smelterater i 2010 på opp mot 30 mm/dag i gjennomsnitt (median lik 24 mm/dag), og jevnt over maksimale verdier på mer enn ~ 40 mm/dag er funnet. Høyeste smeltrate er observert på vannføringsstasjonen Øvstevatn, ~ 80 mm/dag.

For å beregne graddagsfaktor (Cx) er temperaturen dag 0 parret med smelting (M) påfølgende dag. Ved å bruke data fra vannføringsstasjonene blir den gjennomsnittlige Cx $5,2\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$. Det er meget høyt sammenliknet med data fra snøputene samme år ($3,1\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$) og fra samtlige stasjoner i 2013 ($3,1\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$). Sammenliknet med andre analyser (Saloranta, 2012, Midttømme m.fl., 2011) er dette også et høyt tall.

Det er ulike faktorer som forårsaket at flommen i 2010 var større enn 2013 de fleste stedene. Selv om temperaturforholdene var relativt like gjorde mer tele og svært høyt grunnvann de fleste steder at flommen i 2010 ble større. Det kan også spekuleres i hvorvidt aske fra vulkanutbruddet på Eyjafjallajökull på Island våren 2010 førte til høyere albedo, og derav også mer intens snøsmelting.

Det er store ulikheter både i smeltrate og graddagsfaktorer mellom de ulike stasjonene. Et tenkt bruksområde for resultatet av denne analysen kan være å benytte de maksimale smelteratene og de maksimale graddagsfaktorene som indeksverdier tilsvarende som det flomvarslingen i dag benytter «vannføring-i-mm-gitt-mettede-forhold»-plottene til. Både denne studien og studien til Saloranta (2012) viser at Cx på over $3\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$ kan forventes. Det kan derfor være at de anbefalte graddagsfaktorer for flomberegninger gitt i Midttømme m.fl. (2011) bør oppjusteres. Å anbefale nye graddagsfaktorer til bruk i flomberegninger for kategoriene «noe skog» og «snaufjell» på rundt $3,5\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$ virker, ut i fra denne og studien til Saloranta (2012), ikke helt urimelig.

4 Leveransetabell

Oversiktstabell over prosjektets leveranser.

leveranse	operasjonalisering	i bruk til flomvarsling?
delprosjekt I		
Forslag til system som tallfester kvaliteten på modellene som inngår i NVEs flomvarslingssystem, rapport: Haddeland et al. (2014)	Delvis	i bruk i løpende evaluering
Diagnose av tilfeller der modellen har fungert dårlig	-	-
Prototype for «operativ» evaluering av flomvarslingsmodeller. Notat: Haddeland (2014)	endret versjon (samme ide, andre kriterier) i drift	ja
ODM kalibreringsveileder for dummies	Hyd-wiki	tilgjengelig
delprosjekt II		
Utvikle metodikk for å tilrettelegge tidsserier på finere tidsskritt enn døgn.	Metodikk i operasjonell bruk.	ja
Utarbeide historisk datasett på fint tidsskritt.	Datasett 1957 – 2010 utarbeidet og tilgjengelig.	ja
DDD flomvarslingsmodell	kjøres daglig	ja
DDD 3t	kjøres daglig	ja
delprosjekt III		
Videreutvikling av DEW	DEW tilgjengelig	utviklings-verktøy
Overføring av kode fra DEW til ODM m/verifisering	ODM tilgjengelig	ja
Operasjonalisering av produksjonslinje for ODM for kjøring av vannføringsprognoser for modellfeltene med høydesoner og tidsskritt 1 døgn	resultater fra ODM tilgjengelig i xgeo	ja
Tilrettelegging av ODM for tidsskritt 3 timer	tilrettelagt, ikke operasjonalisert	-

Tilrettelegge romlig fordelt DEW i flomvarslingsfelt	tilgjengelig i noen felt	utviklingsverktøy
Test av rutingalgoritme i ulike DEW-versjoner. Publikasjoner av Li et al.	utført	-
Tilrettelegging for dynamisk bremodellering- Publikasjoner av bl.a. Alesina et al. (2014)	utført	-
delprosjekt IV		
reimplementering av usikkerhetsmodellen på HBV-modellsystemet som går på seNorge-grid (linux)	i operasjonell drift, visning i regneark	ja
HBV-modellen med usikkerhetsestimering kjøres hver gang det kommer en ny værprognose (4 ganger per dag)	i operasjonell drift, visning i regneark	ja
halvautomatisk system for recalibrering av usikkerhetsmodellen etablert	tilgjengelig	ved behov
evaluering av usikkerhetsmodellen. Rapport: Langsholt og Ruan, 2015.	rapportens anbefalinger er implementert	ja
Forprosjekt: dataassimilasjon og parameterestimering i hydrologiske modeller ved bruk av EnKF. Rapport: Lie, 2012.	ikke operasjonalisert	-
delprosjekt V		
24t nedbørprognose i % av M5	kart i xgeo	ja
24t nedbørprognose for modellfelt i % av Q5	punktkart i xgeo	ja
fylkesvis oversikt over høydefordelt snøinfo (utviklet i samarbeid med andre prosjekter)	figurer i regneark	ja
modellfeltsvis oversikt over høydefordelt snøinfo (utviklet i samarbeid med andre prosjekter)	figurer i regneark	ja
maksimal smelteintensitet for ulike felt og værforhold	rapport	bakgrunns-kunnskap
enkel framstilling av simulert vannbalanse i modellfeltene	modellregneark og vepsogrammer	ja
forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring	flomverdier for findata	ja
vannstand på målestasjonene	graf i xgeo	ja
vannstandsprognoser på modellstasjonene	graf i xgeo (nesten ferdig)	

enkle vannstandsprognoser for elvestrekninger ved modellstasjoner	kommer	
Rekalibrering av HBV-modellene gitt tilnærmet konstant massebalanse på breene.	utført	ja
Hendelsesbasert PQRUT for kortvarige regnværshendelser	operativt regneark, behov for mer tilrettelagt parameterestimering	av og til
Beregning av restmagasin oppstrøms flomutsatte strekninger vha. magasindata	operativt regneark for vassdrag tom. Agder	i utsatte situasjoner

5 Anbefalinger for videreutvikling

Hydrologisk varsling er et tema det drives utstrakt forskning på internasjonalt. Som nasjonalt kompetansesenter for hydrologi, med videreutvikling av modeller for naturfarevarsling som et viktig fokusområde, må NVE sørge for å holde seg oppdatert på og ta del i forskning som kan styrke kvaliteten på våre varsler og hydrologiske prognoser. Mye kunnskap og mange produkter er generert i dette FoU-prosjektet, men ny kunnskap skaper nye spørsmål og problemstillinger. Det er derfor tatt initiativ til et oppfølgende prosjekt, som viderefører utviklingen av de hydrologiske verktøyene over en ny fireårsperiode. Dette prosjektet, 80103 Treffsikkerhet og presisjon i hydrologiske prognoser, tar videre prosjektkonseptet fra 81057, der en felles hovedmålsetting om å lage bedre hydrologiske prognoser forener ulike tilnæringsmåter, formulert som forskjellige arbeidspakker, i et felles prosjekt. Hovedlinjene for videreutvikling kan oppsummeres slik:

Parameterestimering:

Problemstillingene fra delprosjekt 1 føres videre ved å fokusere på å identifisere en størst mulig grad av fysisk forankring for modellenes parametere, teste ut kalibrering på delmengder av datasettet (HBV), teste ut tilpasning av dynamiske parametere (HBV) og samkjøre tidsskrittet for vær og vannføring.

Kvantifisering av usikkerhet:

Resultatene fra delprosjekt 4 viser at det er behov for å fornye dagens metodikk for usikkerhetsestimering. Det anbefales å ta i bruk probabilistiske værprognoser utviklet ved MET og ECMWF, og bruke disse til å estimere usikkerheten i vannføringsprognosene. Produkter som bør prøves ut er romlige usikkerhetsestimater fra AROME MetCoOp, ensemblevarsler fra EC og kommende ensemblevarsler (som er under utvikling) fra AROME.

Det foreslås dessuten å videreføre utviklingen av vannstandsprognoser fra delprosjekt 5, ved å forbedre metoden for usikkerhetsanalyse av disse prognosene.

Dataassimilering:

Dataassimilering er i flomvarslingsmodellene så langt tatt hånd om av usikkerhetsmodellen i form av oppdatering av vannføringen ved hjelp av siste observasjon og en stokastisk tilleggskorreksjon. Det anbefales at dataassimilering i HBV-modellen i første omgang videreutvikles med hensyn til vannføring. Et alternativ er å gå videre med ensemble kalmanfiltermetodikk, som så vidt er forsøkt i dette prosjektet, men mye annen metodikk er også aktuell. Til videreutvikling av DDD-modellen foreligger det teori for å justere tilstanden i modellen direkte fra observert resesjonsforløp.

Bruk av fjernmålte data:

Anvendelse av fjernmålte data har ikke vært tema i dette FoU-prosjektet, men flomvarslingen har et samarbeidsprosjekt med MET, som går ut på å forbedre inndatagrunnlaget til de hydrologiske modellene vha. data fra nedbørradar. Det foreslås å videreføre dette samarbeidsprosjektet i en arbeidspakke i det nye FoU-prosjektet.

Videre foreslås det å sette anvendelse av satellittdata på dagsordenen. Bruken av satellittdata i flom- og skredvarslingen har ikke tatt av, selv om slike data har utgjort et

lovende potensiale i mange år. Anvendelse i forbindelse med tørkesituasjoner og forhold som har betydning for skredfare vil bli vektlagt.

Bedre bruk av data:

Det bør være et kontinuerlig fokus på å tilgjengeliggjøre hydrologiske data og å ta i bruk metodikk som utnytter potensialet i tilgjengelig informasjon. Det foreslås å videreføre denne ambisjonen fra delprosjekt 5 langs 6 hovedlinjer: videreutvikling av våre sesongvarsler, automatvarsling når hydrologiske prognoser indikerer potensiell flomfare, kobling av flomstatistikk mot GIS, visualisering av modelltilstander, videreutvikling av fysisk baserte graddagsfaktorer og et pilotprosjekt på datadrevet modellering.

Et godt samarbeid med MET er en forutsetning for at inndatagrunnlaget for de hydrologiske varslene er best mulig. Det er initiert FoU-prosjekter for å studere temaer som er av spesielt stor betydning for dette datagrunnlaget. Ett av disse temaene går på utnyttelsen av radardata, og er nevnt over under hovedlinjen fjernmålte data. Andre temaer det er valgt å fokusere på, og som vil være viktige for videreutviklingen av verktøy for flomvarslingen, er forbedring og tilrettelegging av observasjonsbaserte griddata og utvikling og tilrettelegging av prognoser med tilhørende støtteverktøy.

ODM er på vei til å bli vårt hovedrammeverk for modellsimuleringer og operative prognosekjøringer. Det er viktig at videreutvikling og oppdatering av dette verktøyet gis prioritet, slik at potensialet som ligger i det kommer til sin rett. Modellsystemet må videreutvikles med applikasjoner som øker brukervennligheten og gjør det mulig å ta verktøyer i bruk til å kalibrere modeller og kjøre simuleringer. Samtidig må modellrammeverket holdes kontinuerlig oppdatert med nyutviklet metodikk, for eksempel for usikkerhetsestimering, dataassimilering og nye modellkoder, og gjøres operasjonelt på ulike tidsskritt.

6 Referanser

Alesina, S., S. Beldring, K. Melvold, B. Schaepli. 2014. Test of a simple glacier retreat parameterization for two Norwegian ice cap glaciers. European Geosciences Union, General Assembly 2014, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU2014-6828.

Borsányi, P., B. Hamududu, S. Navaratnam and E. Langsholt. 2014. Improvement of the national flood early warning system in Norway – flood level warnings and uncertainties. Presentation at 11th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2014, New York City, USA.

Borsányi, P., S. Navaratnam og B. Hamududu. 2013. Vannstandsprognoser i NVEs flomvarslingstjeneste (VI FTE). NVE-rapport 79-2013.

Engeland, K. 2015. Evalueringer av flomvarslingsmodeller. Identifisering av flomhendelser der den hydrologiske modellen kan forbedres. Internt notat.

Haddeland, I., T. Væringstad, E. Langsholt og T. Skaugen. 2014. Evaluering av flomvarslingas verktøy. NVE-rapport 84-2014.

Haddeland, I. 2014. Prototype, «operativ» evaluering av flomvarslingsmodeller. Internt notat.

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

Langsholt, E., G. Ruan. 2015. Evaluering av flomvarslingas usikkerhetsmodell. NVE-rapport 47-2015.

Li, H., S. Beldring, C.-Y. Xu. 2013. Effects of distribution level of hydrological models in mountainous catchments. In: Gelfan, A., Yang, D., Gusev, Y., Kunstmann, H. (Eds.), Cold and Mountain Region Hydrological Systems Under Climate Change: Towards Improved Projections. Proceedings of H02, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, IAHS Publ. 360, 53-58.

Li, H., S. Beldring, S., C.-Y. Xu, S. Jain. 2014. Modeling runoff and its components in Himalayan basins. In: Daniell, T.M., van Lanen, H.A.J., Demuth, S., Laaha, G., Servat, E., Mahe, G., Boyer, J.-F., Paturel, J.-E., Dezetter, A., Ruelland, D. (Eds.), Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions, Proceedings of FRIEND-Water 2014, Montpellier, France, October 2014, IAHS Publ. 363, 2014, 158-164.

Li, H., S. Beldring, C.-Y. Xu. 2014. Implementation and testing of routing algorithms in the distributed Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning model for mountainous catchments. Hydrology Research, 322-332. doi:10.2166/nh.2013.009.

Li, H., C.-Y. Xu, S. Beldring, Y. Yin, M. Huss, H. Xu, S. Jain. 2014. Impacts of climate change on water resources in Himalayan basins. Nordic Water 2014, "The Nordic Hydrology Model" - Linking science and practice, XXVIII Nordic Hydrological Conference, Stockholm, Sweden, 11-13 August 2014.

- Li, H., S. Beldring, C.-Y. Xu.* 2015. How much can we gain with increasing model complexity with the same model concepts? *Journal of Hydrology*, accepted for publication.
- Li, H., S. Beldring, C.-Y. Xu, M. Huss, K. Melvold, S. Jain.* 2015. Integrating a glacier retreat model into a hydrological model – Case studies of three glacierised catchments in Norway and Himalayan region. *Journal of Hydrology*, Vol. 527, 656–667
doi:10.1016/j.jhydrol.2015.05.017.
- Lie, I.* 2012. Data assimilation and parameter estimation with the ensemble Kalman filter for the HBV hydrological model – computational methods, implementation and numerical experiments. *StormGeo*, November 2012.
- Melvold, K., S. Beldring.* 2014. Modelling runoff from glaciated drainage basin using a coupled glacio-hydrological model in a changing climate. *Nordic Branch International Glaciological Society, Mýrdalur, Iceland*, 30 October-1 November 2014.
- Midttømme G. H. og L.E. Petterson.* (red. , 2011): Retningslinjer for flomberegninger, NVE Retningslinjer nr. 4/2011.
- Petterson, L-E.* (2010): Flommen i Nord-Norge mai 2010, NVE dokument 8/2010.
- Røhr, P. C.* 2011. Fornøyelse av NVEs hydrologiske simuleringssystem. NVE rapport nr 8-2011.
- Saloranta, T.* 2012. Daily snow melt rates in Norway: observations and modelling. A research note for NVE-projects 302H64 and 302H57, December 2012.
- Saloranta, T.* (2012): Variability in daily snow melt in Norway and estimation of degree-day coefficients for the seNorge snow model, research note 21.06.2012.
- Skaugen, T. and C. Onof.* 2014. A rainfall runoff model parameterized from GIS and runoff data. *Hydrol. Process.* 28, 4529-4542, DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9968>.
- Skaugen, T., I. O. Peerebom and A. Nilsson.* 2014. Use of a parsimonious rainfall-runoff model for predicting hydrological response in ungauged basins. *Hydrological Processes* 08/2014; DOI: 10.1002/hyp.10315.
- Skaugen, T. and C. Onof.* 2013. Reducing calibration parameters to increase insight in catchment organization and similarity. Poster presentation at European Geosciences Union, General assembly 2013, 7.-12 April, Vienna, Austria EGU
- Skaugen T. and C. Onof.* 2013. Equations of catchment flow dynamics parameterized from GIS and runoff. Oral presentation at the International Symposium on Distributed Hydrological Modelling University of Bologna To mark the 70th birthday of Prof. Ezio Todini, 4-6 June, 2013, Bologna, Italy.
- Skaugen, T. and C. Onof.* 2012. Reducing the number of calibration parameters in Rainfall-Runoff Models. Poster presentation at PUB Symposium, October 23-25, 2012, Delft, Netherlands.

Skaugen, T. 2009. Modelling runoff dynamics from information on river network and shape of catchment area. Poster at AGU Fall meeting, 11-18 dec. 2009, San Francisco, USA.

Skaugen, T. 2008. Modelling the dynamics of discharge as a function of river network and shape of catchment. Workshop proceedings, "Modelling floods and droughts-uncertainty estimates for water resources managements", Prague, 14.-15. March , 2008.

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

Strategi for NVE 2012 – 2016, http://intranett/stream_file.asp?iEntityId=10304

Vormoor, K. and T. Skaugen. 2012. Temporal disaggregation of daily meteorological grid data. Poster. EGU 2012.

Vormoor K. and T. Skaugen. 2013. Temporal disaggregation of daily temperature and precipitation grid data for Norway. J.Hydrometeor, 14, 989-999, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-12-0139.1>)

302H48: Modellverktøy, flomvarslingen. NVE, internt notat 2010.

Årsrapport 2013 Norges vassdreags- og energidirektorat, <http://magasinet/Documents/Årsrapport%20NVE%202013%20endelig%20versjon%20sendt%20OED%2028.02.2014.pdf>

Vedlegg A 81057- delprosjekt 5: Casestudy snøsmelteintensiteter

A.1 Sammendrag

Vårflommene i Nord-Norge 2010 og 2013 er gode eksempler på rene snøsmelteflommer. Ved å se på sammenhengen mellom vannføring, smelting ved snøputer og lufttemperatur kan man beregne smelterater og graddagsfaktorer både per stasjon, per år og som et gjennomsnitt over flere stasjoner/år.

Smelting (M) per døgn er beregnet fra vannføring i mm/dag fra ni utvalgte vannføringsstasjoner og som målt smelting (M) ved ulike snøputer i landsdelen. Temperaturen er beregnet fra temperatur registrert ved vannføringsstasjonene, skalert til feltets middelhøyde med en faktor på minus $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dette har vist seg å være den mest gunstige kombinasjonen basert på flere dataparstudier. Basert på Saloranta (2012) er kun dager der M er større enn 5 mm/dag og T større enn 2°C inkludert i beregningene.

Mange steder var flommen i 2010 størst, og det er også fra 2010 vi finner de høyeste smelteratene og graddagsfaktorene. Smelterater i 2010 på opp mot 30 mm/dag i gjennomsnitt (median lik 24 mm/dag), og jevnt over maksimale verdier på mer enn ~ 40 mm/dag er funnet. Høyeste smeltrate er observert på vannføringsstasjonen Øvstevatn, ~ 80 mm/dag.

For å beregne graddagsfaktor (Cx) er temperaturen dag 0 parret med smelting (M) påfølgende dag. Ved å bruke data fra vannføringsstasjonene blir den gjennomsnittlige Cx $5,2\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$. Det er meget høyt sammenliknet med data fra snøputene samme år ($3,1\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$) og fra samtlige stasjoner i 2013 ($3,1\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$). Sammenliknet med andre analyser (Saloranta, 2012, Midttømme m.fl., 2011) er dette også et høyt tall.

Det er ulike faktorer som forårsaket at flommen i 2010 var større enn 2013 de fleste stedene. Selv om temperaturforholdene var relativt like gjorde mer tele og svært høyt grunnvann de fleste steder at flommen i 2010 ble større. Det kan også spekuleres i hvorvidt aske fra vulkanutbruddet på Eyjafjallajökull på Island våren 2010 førte til høyere albedo, og derav også mer intens snøsmelting.

Det er store ulikheter både i smeltrate og graddagsfaktorer mellom de ulike stasjonene. Et tenkt bruksområde for resultatet av denne analysen kan være å benytte de maksimale smelteratene og de maksimale graddagsfaktorene som indeksverdier tilsvarende som det flomvarslingen i dag benytter «vannføring-i-mm-gitt-mettede-forhold»-plottene til. Både denne studien og studien til Saloranta (2012) viser at Cx på over $3\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$ kan forventes. Det kan derfor være at de anbefalte graddagsfaktorer for flomberegninger gitt i Midttømme m.fl. (2011) bør oppjusteres. Å anbefale nye graddagsfaktorer til bruk i flomberegninger for kategoriene «noe skog» og «snaufjell» på rundt $3,5\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$ virker, ut i fra denne og studien til Saloranta (2012), ikke helt urimelig.

A.2 Innledning

Midt i mai 2010 ble Nord-Norge rammet av en sjeldent stor flom. Sterk varme førte til stor snøsmelting, flom i vassdrag og et stort antall skred i landsdelen. Mange steder var

det godt over 20°C som maksimaltemperatur over flere dager, og de varmeste dagene var 16. og 18. mai. Det var lite nedbør i tilknytning til varmen, så flommen var utelukkende et resultat av snøsmelting.

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

Også i siste halvdel av mai 2013 var det varmt, og det førte til rask snøsmelting og stor flomvannføring i en del vassdrag i Nord-Norge. Det var lite nedbør i perioden, så flommen var i hovedsak resultat av snøsmelting. Jevnt over var flommen i 2010 betydelig større enn flommen i 213, men enkelte steder var flommen i 2013 størst. For mer informasjon om flommen, se Stranden og Sund (2013).

Ved å se på data fra ulike målestasjoner, modeller og satellittbilder, ønsker vi å kvantifisere snøsmeltingen og beregne nye graddagsfaktorer.

I de fleste beregningene er det tatt utgangspunkt i flommen i 2010, mens data fra flommen i 2013 i hovedsak er benyttet til sammenlikning. I dette notatet er det i hovedsak sett på døgnverdier (benevnt mm/dag og mm/°C/dag). Analysen av timers og/eller 3-timersverdier gjenstår, og foreløpig resultater av dette er beskrevet under avsnitt 0 «Videre arbeid».

A.3 Smelting fra vannføringsstasjoner og snøputer

Smelting (M) per døgn er beregnet fra vannføring i mm/dag fra ni¹ utvalgte vannføringsstasjoner (se

Tabell 1), og som målt smelting (M) ved ulike snøputer i landsdelen. Antall snøputer inkludert i analysen varierte mellom de ulike årene. Det skyldes stasjoner som ble lagt ned i mellomtiden og stasjoner som hadde manglende data eller for dårlig kvalitet på data et av årene. Temperaturen er beregnet fra temperatur registrert ved vannføringsstasjonene, skalert² til feltets middelhøyde med en faktor på minus 1°C/100 m. For å beregne graddagsfaktor er temperaturen dag 0 parret med smelting (M) påfølgende dag (dag 1). Dette har vist seg å være den mest gunstige kombinasjonen basert på flere dataparstudier. Basert på Saloranta (2012) er kun dager der M er større enn 5 mm/dag og T større enn 2°C inkludert i beregningene.

Sett under ett var smeltingen /flommen mer intens 2010 enn i 2013. For eksempel kulminerte vannføringen på ~80 mm/dag ved Øvstevatn i 2010, mens nivået var ~60 mm i 2013. Ved andre stasjoner, som for eksempel Masi, var flommen i 2013 større enn i 2010. Statistikken til de ulike årene er vist i **Tabell 2**. Smeltingen ved snøputene var også kraftigere i 2010 enn i 2013, se **Tabell 3**. Det var omtrent likedann lufttemperatur i 2010

¹ Vannføringsstasjonen Vassvatn var opprinnelig inne i analysen, men da flommenes gjentaksintervall ved denne stasjonen er lavere enn Q_m for begge flommene, ble stasjonen tatt ut. Vannføringsstasjonen ble valgt ut etter flommen i 2010 på bakgrunn av 6 kriterier: 1) beliggenhet, 2) nærhet til fungerende snøpute, 3) stor flom i mai 2010 (basert på gjentaksintervall og maksimum spesifikt døgnmiddel vannføring), 4) rimelig god kvalitet på vannføringskurven, fortrinnsvis under flom, 5) HBV-felt og 6) tilgang på satellittbilder.

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

som i 2013. I **Figur 1** er den høyeste M ved de ulike vannføringsstasjonene og snøputene plottet opp.

Tabell 1. Feltekarakteristika for de utvalgte stasjonene

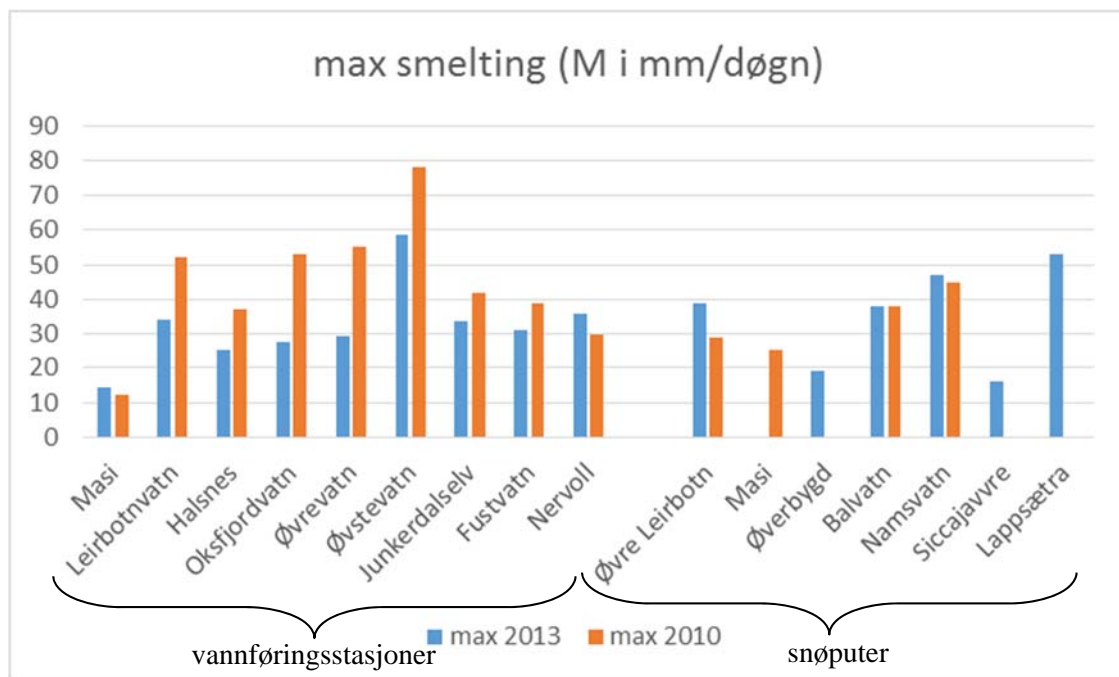
Stasjons nr	Navn	Feltareal (km²)	Stasjonshøyde (moh)	Middelhøyde (moh)
212.10	Masi	5621	276	450
213.2	Leirbotnvatn	135	161	457
212.49	Halsnes	145	37	531
208.2	Oksfjordvatn	266	9	548
191.2	Øvrevatn	525	10	564
174.3	Øvstevatn	28,44	276	727
163.5	Junkerdalselv	422	118	834
152.4	Fustvatn	526	39	436
151.15	Nervoll	653	349	827

Tabell 2 Statistikk over smelting (M) i mm beregnet fra vannføringsdata og temperatur (T) i feltets middelhøyde i 2010 og 2013

Vf-stasjoner	2010 – M (mm)	2013 – M (mm)	2010 – T (°C)	2013 – T (°C)
1 % persentil	5,7	5,3	2,5	2,2
Median	23,5	13,2	5,0	5,4
99 % persentil	72,8	47,9	11,9	11,3
Gjennomsnitt	28,4	16,4	5,3	5,7

Tabell 3 Statistikk over smelting (M) i mm og temperatur (T) beregnet fra snøputer i 2010 og 2013

Snøputer	2010 – M (mm)	2013 – M (mm)	2010 – T (°C)	2013 – T (°C)
1 % persentil	5,1	5,3	2,1	2,4
Median	16,4	16,0	5,2	5,4
99 % persentil	41,4	48,2	10,7	13,7
Gjennomsnitt	19,0	19,3	5,6	6,5



Figur 1. Maksimale smelteverdier i mm/dag.

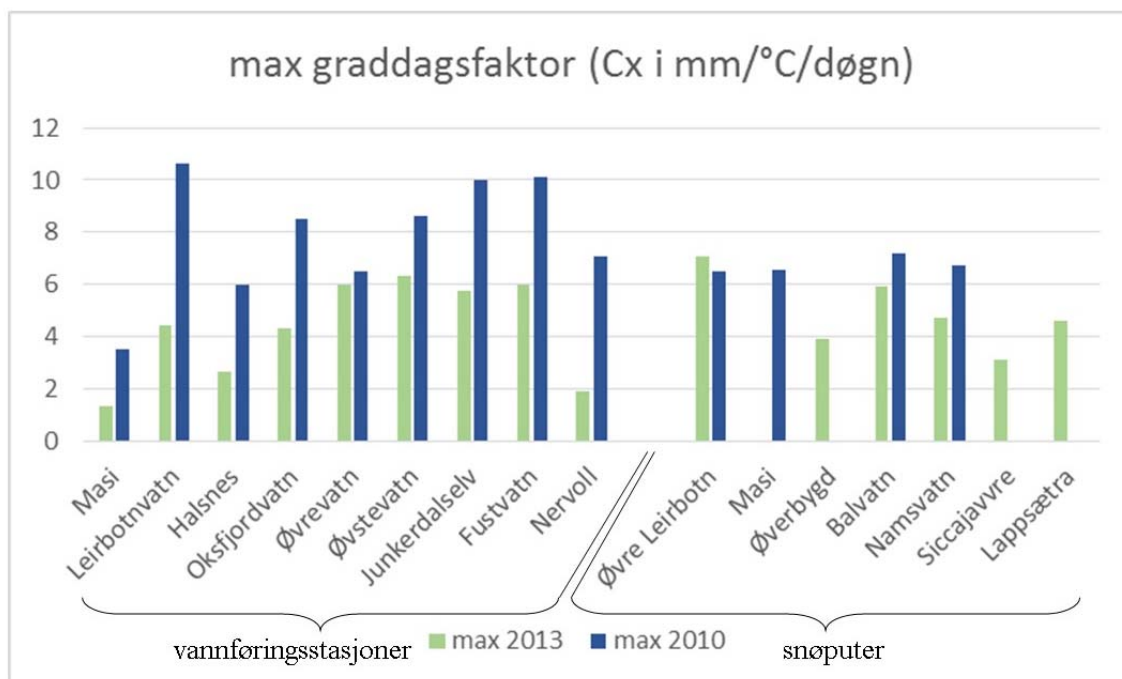
A.4 Graddagsfaktorer beregnet per dag

Ut fra data for M og T kan graddagsfaktoren (C_x) regnes ut. I **Tabell 4** er 1% persentilen, medianen, 99% persentilen og gjennomsnittet for C_x oppgitt. Mens C_x fra snøputene er ganske like de to årene, ligger C_x fra vannføringsstasjonene i 2010 litt i overkant av dette. C_x fra vannføringsstasjoner i 2013 ligger i underkant av hva som er observert ved snøputene samme år, slik også smelteraten fra 2013 (**Tabell 2** og **Tabell 3**) var lavere.

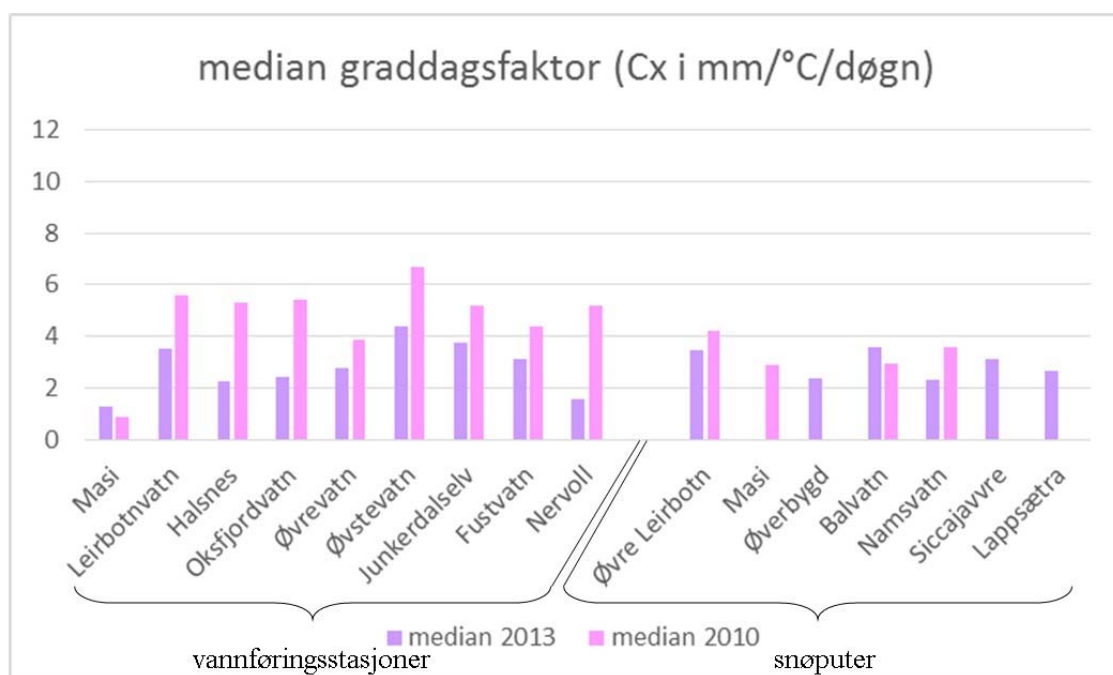
Figur 2 viser den maksimale graddagsfaktoren beregnet for de ulike vannføringsstasjonene de ulike årene. Figuren viser at det, særlig ved data fra vannføringsstasjonene er beregnet en høyere graddagsfaktor i 2010 enn i 2013. Forskjellene er mindre for data fra snøputene.

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

	2010 – C_x (mm/°C/dag) - vf	2013 – C_x (mm/°C/dag) - vf	2010 – C_x (mm/°C/dag) - SWE	2013 – C_x (mm/°C/dag) - SWE
1 % persentil	0,7	1,0	1,0	0,8
Median	4,2	2,7	3,2	3,0
99 % persentil	10,4	6,3	8,6	7,1
Gjennomsnitt	5,2	3,1	3,6	3,1



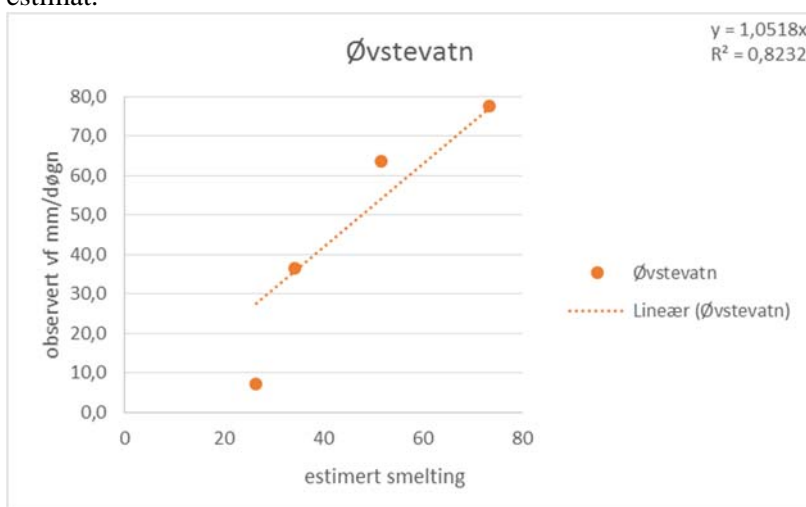
Figur 2. Maksimal observert graddagsfaktor under de ulike flommene mai 2010 og 2013. Merk at vannføringsstasjonen Masi kun har et datapunkt i 2013, men data fra målestasjonen Kista indikerer at det trolig ikke er så gal maksverdi likevel.



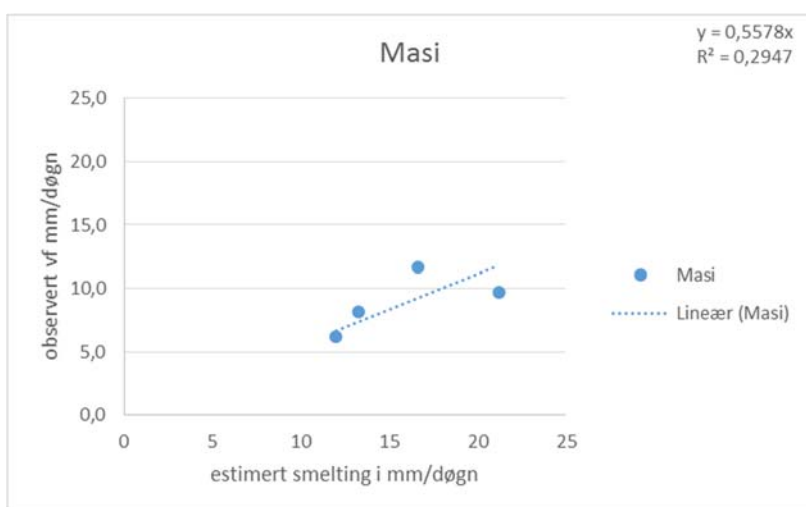
Figur 3. Median observert graddagsfaktor under de ulike flommene mai 2010 og 2013. Merk at vannføringsstasjonen Masi kun har et datapunkt i 2013, men data fra målestasjonen Kista indikerer at det trolig ikke er så gal medianverdi likevel.

A.5 Prediksjon av 2010-flommen basert på ny graddagsfaktor

Som et forsøk på å bruke graddagsfaktorene som ble funnet i avsnitt 0, og se om de kan brukes til å predikere flommen i 2010, er det gjort en enkel sammenlikning mellom observert vannføring og vannføring beregnet ved å benytte graddagsfaktor og temperatur. For to utvalgte felt er resultatet vist i Figur 4 og figur 5. Både bruk av den felles median graddagsfaktoren på $4,2 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$ (fra **Tabell 4**), og medianverdien for hver enkelt stasjon (fra **Figur 3**) er testet. Kun resultater fra sistnevnte forsøk er vist her. Felles for alle stasjoner, også de som ikke er vist som eksempel her, er at det i utgangspunktet er best å bruke medianverdien for C_x for hver enkelt stasjon til å estimere smelting. De to feltene som er vist her er relativt forskjellige, og det er ulike graddagsfaktorer som vil gi best resultat for de ulike feltene. I andre nedbørfelt, med mer sammenfallende feltkarakteristika- og egenskaper, kan det være at en gjennomsnittlig C_x vil gi et godt estimat.



Figur 4. Sammenheng mellom estimert vannføring fra graddagsfaktor og observert vannføring ved Øvstevatn. Feltets medianverdi ($C_x=6,7 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$) er benyttet.



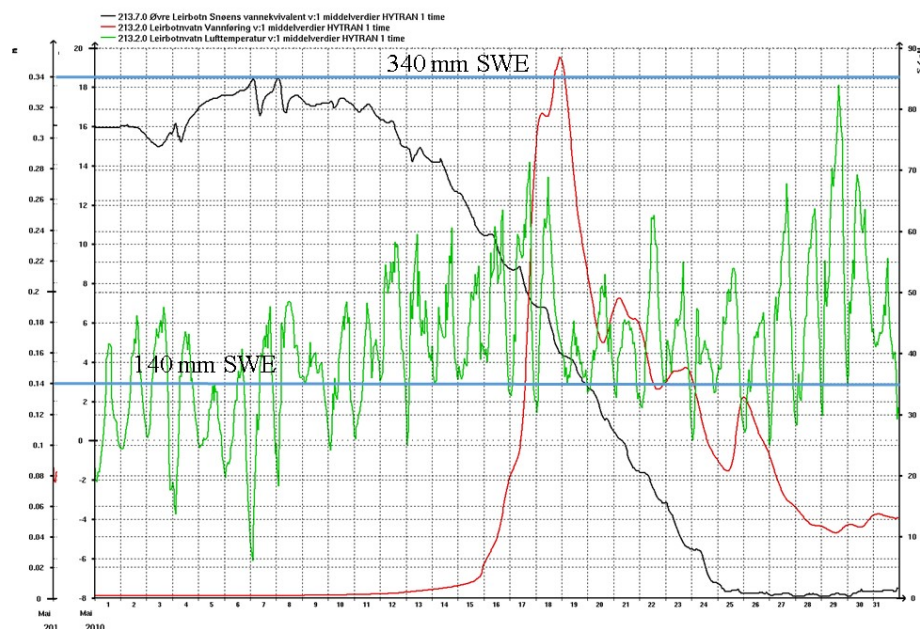
Figur 5. Sammenheng mellom estimert vannføring fra graddagsfaktor og observert vannføring ved Masi. Feltets medianverdi ($C_x=1,7 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{dag}$) er benyttet.

A.6 Case-in-case study: Leirbotnvatn og Masi

Ved Øvre Leirbotn/Leirbotnvatn finnes både vannføringsstasjon og snøpute i relativt kort avstand fra hverandre. Leirbotnvatn er imidlertid ikke modellfelt. Ved å kombinere data fra snøputen (191 moh.) og vannføringsstasjonen (161 moh.) kan vi få en indikasjon på hvordan forholdene har vært de ulike årene. Når data sammenliknes er det tatt utgangspunkt i den dagen vannføringen (for anledningen som timesverdi) overskred 5 mm. I dagene fra 16. mai til kulminasjon natt til 19. mai 2010 smeltet det ~78 mm ved snøputen (~30 mm per dag). I perioden 18. mai til kulminasjon natt til 24. mai 2013 smeltet det ~158 mm ved snøputen (~30 mm per dag). I gjennomsnitt var vannføringen i samme periode 30,7 mm/dag i 2010 og 6,1 mm/dag i 2013. Siden snømengden som smeltet ved snøputen var det samme, kan det være at 1) snøputen ikke er representativ for snømengdene i nedbørfeltet, 2) snødekningsgraden var signifikant forskjellig eller 3) at de hydrologiske forholdene, som mark- og grunnvann og tele var såpass ulike at det er det som er årsaken til at flommen i 2010 ble såpass mye større.

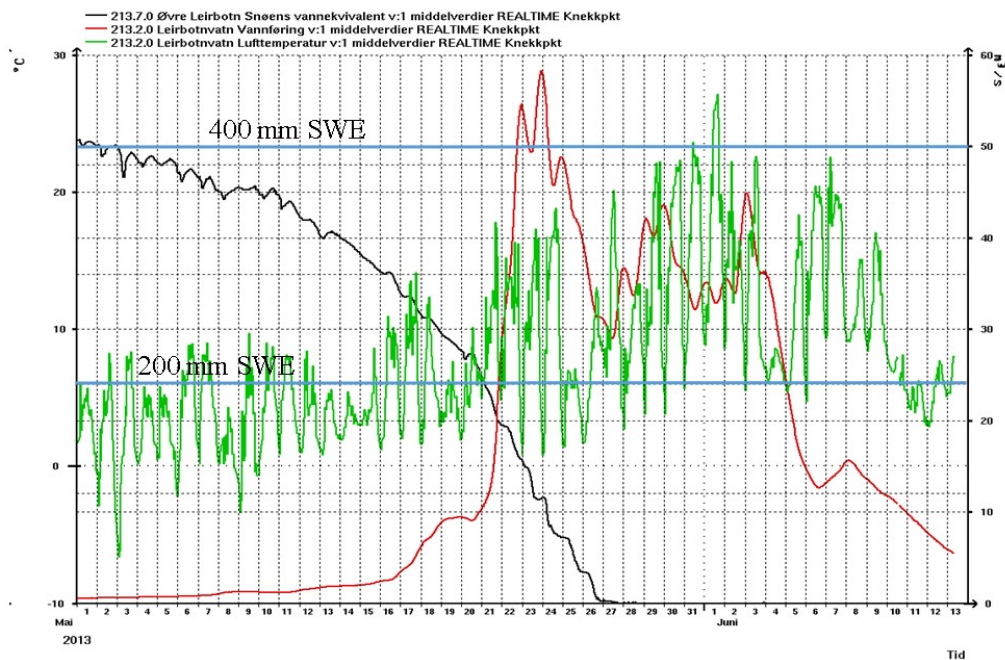
Satellittbildene på senorge.no/xgeo.no viser at snødekningsgraden (AOS) 16. mai 2010 var ~100%. 18. mai 2010, var fremdeles store områder 100% snødekket. 17. mai 2013 (bildet fra 18. mai er av tvilsom kvalitet) og 21. mai viser at nedbørfeltet trolig var ~100% snødekket 18. mai 2013. Da flommen kulminerte 24. mai 2013 var ingen gridceller 100% snødekket.

De hydrogeologiske kartene³ i senorge.no/xgeo.no viser at det hovedsakelig er grunnvannsforholdene og teleforholdene som skiller de ulike årene i nedbørfeltet til Leirbotnvatn. I 2010 var det tele over hele feltet, mens det i 2013 bare var delvis tele/grunn tele ved inngangen til flommen. Forut for flommen i 2010 var grunnvannstanden stedvis «svært høy», mens den bare var «høy» i 2013.



Figur 6. Snøens vannekvivalent ved Øvre Leirbotn, og vannføring og temperatur ved Leirbotnvatn, mai 2010

³ Modellerte kart som viser jordens vannkapasitet, grunnvannsforhold, vannmetning i jord og tele.



Figur 7. Snøens vannekvivalent ved Øvre Leirbotn, og vannføring og temperatur ved Leirbotnvatn, mai 2013.

Selv om det i gjennomsnitt smeltet like mye snø ved snøputen i 2010 som i 2013, viser satellittbildene at snødekningsgraden ble mer redusert fra flommens start til kulminasjon i 2013 enn i 2010. Usikkerhet i satellittbildene (som for eksempel skyer), kan medføre at dekningsgraden feiltolkes, og i 2010 er det betydelig færre bilder som kan benyttes enn i 2013 på grunn av flommens varighet og skyer i bildene. Det gjør at usikkerheten ved bildene fra 2010 er større enn i 2013. Ved Leirbotnvatn var flommen i 2010 betydelig større enn flommen i 2013, slik at andre faktorer enn smeltet snømengde må ha vært avgjørende for flommens størrelse.

For tilfellet Leirbotnvatn er det derfor nærliggende å anta at det var forholdene i grunnen (grunnvann og tele) som var årsaken til at flommen i 2010 ble større enn 2013.

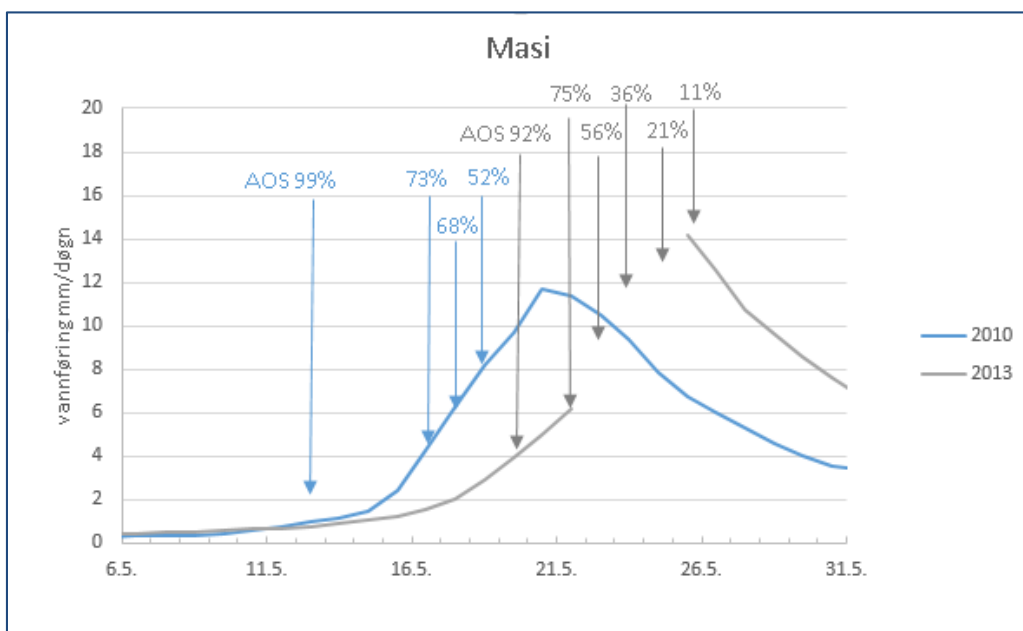
Ved **Masi** var flommen i 2013 større enn 2010. Det ligger også en snøpute i nærheten, men den var ikke i drift i 2013 (nedlagt på grunn av konflikt med grunneier). Før flommen i 2010 var snøputen fri for snø. **Figur 8** viser vannføring i mm/dag og snødekningsgraden (AOS) ved Masi under flommene i 2010 og 2013. I utgangspunktet synes det ikke å være de store forskjellene mellom AOS og flommen de ulike årene. I gjennomsnitt var vannføringen i perioden 18. mai 2010 til kulminasjon 21. mai 2010 1,77 mm/dag, men vannføringen i perioden 20. mai til 24. mai 2013 i gjennomsnitt var nesten dobbelt så høy: 3,30 mm/dag i gjennomsnitt over perioden.

Fra snøkartene i senorge.no/xgeo.no virker det som om det var mer snø 20. mai 2013 enn 18. mai 2010. Sammenliknet med snødekningsgraden i satellittbildene virker det som om snødekningsgraden underestimeres i senorge.no/xgeo.no begge årene. 20. mai 2013 lå det, ifølge snøkartet, mer snø enn normalt i de høyreliggende delene av nedbørfeltet, mens det 18. mai 2010 var mindre snø enn normalt og stort sett bart lavere enn 550 moh. De hydrogeologiske kartene i senorge.no/xgeo.no viser at det stort sett var våtere i

grunnen og mer tele i grunnen i 2013 enn i 2010. For eksempel var grunnvannstanden «normal» / «høy» / «svært høy» i 2010, og «svært høy og høy» i 2013.

Det er derfor nærliggende å anta at både mer snø og våtere grunn førte til at flommen i 2013 ble større enn 2010 i Masi.

Flomforløpet i Altavassdraget er nærmere beskrevet i Stranden og Sund (2013).



Figur 8. Vannføring og snødekningsgrad (AOS) ved Masi i 2010 og 2013

A.7 Diskusjon

Smelterater i 2010 på opp mot 30 mm/dag i gjennomsnitt (median lik 24 mm/dag), og jevnt over 30-40 mm/dag på det høyeste er relativt høyt, også sammenliknet med tilsvarende tall fra snøputene i 2010 (**Tabell 3**) og verdier fra 2013. Sammenliknet med verdier for temperatur, kan ikke temperaturen alene forklare forskjellene. Det var relativt like temperaturforhold under de to flomhendelsene.

A.7.1 Hva skiller flommen i 2010 fra flommen i 2013?

Siden det var jevnt over like temperaturforhold under flommen i 2013 som under flommen i 2010, så lufttemperatur kan ikke være den eneste årsaken til at flommen mange steder var større i 2010 enn i 2013. Av andre årsaker, slik som i case-in-case studien i avsnitt 0, kan det pekes på 1) ulik snødekningsgrad, 2) ulik snømengde, 3) ulike meteorologiske forhold, 4) ulike hydrogeologiske forhold, og 5) is i vassdrag.

- 1) Forut for flommen i 2010 viste satellittbilder at de aller fleste feltene i studien var tilnærmet 100 % snødekket (95-99%). Forut for flommen i 2013 var snødekningsgraden (AOS) noe mer variabel, fra 72 -92 %. For eksempel var AOS ved Øvstevatn 95 % i 2010, men bare 72 % i 2013.
- 2) Forut for flommen i 2010 var det jevnt over mindre snø enn vanlig de fleste stedene (kilde: senorge.no/xgeo.no). I 2013 var snømengdene omtrent normale,

med mer snø enn normalt i indre Troms og i Finnmark. Det kan forklare at det var høyere flom ved Masi/Kista i 2103 enn i 2010.

- 3) Data fra MET sin målestasjon i Tromsø viser at det var høyere luftfuktighet og høyere lufttrykk under flommen i 2010 enn 2013. Det var derimot litt høyere temperaturer i 2013 og noe sterkere vind i 2013. Forskjeller i de meteorologiske forholdene mellom de ulike årene er like fullt små, og neppe signifikante. Det som likevel skiller de to årene var værforholdene forut for flommen. Våren og senvinteren 2010 var kaldt, og første periode med mildvær var under flommen i midten av mai. Dette var en medvirkende årsake til alle sørpeskredene (Taurisano, pers. kom.). I 2013 hadde det vært netto snøsmelting siden slutten av april (Stranden og Sund, 2013).
- 4) Fra kartene på senorge.no og xgeo.no fremkommer det at det, grovt sett var mer tele i 2010. For øvrig virker det som om mark- og grunnvannsinholdet var høyere i 2013, men det er selvsagt lokale forskjeller, som beskrevet i case-in-case studien, avsnitt 0.
- 5) Det var generelt mer is i vassdragene i 2010.

Det kan også spekuleres i om forskjellene kan skyldes et vulkanutbrudd på Island våren 2010. Vulkanutbruddet fra Eyjafjallajökull førte til en sky med aske som la seg over hele Europa (Figur 9). Det *kan* ha ført til at snøen var mørkere, og derav høyere albedo og mer intens snøsmelting.



Figur 9. Askeskyens størrelse kl 18.00 UTC 15. april 2010. Kilde www.wikipedia.no/
http://www.metoffice.gov.uk/aviation/vaac/data/VAG_1271331761.png

A.7.2 Graddagsfaktoren - Cx

Det er relativt godt samsvar mellom graddagsfaktorer beregnet fra vannføringsstasjonene (sett under ett) og snøputer (sett under ett) de ulike årene. De beregnede graddagsfaktorene fra vannføringsstasjonene i 2010 er noe høyere enn de øvrige, og både medianen og gjennomsnittet ligger over henholdsvis 4 mm/°C/dag og 5 mm/°C/dag. Forskjellene mellom Cx fra snø- og vannføringsstasjoner er mindre i 2013 enn mellom Cx fra snø- og vannføringsstasjoner i 2010. Forskjellen mellom de ulike årene og stasjonene kan forklares av forskjeller i vannføring og temperatur, som igjen kan forklares som diskutert i forrige avsnitt.

I avsnitt 0 brukes de ulike graddagsfaktorene til å estimere/predikere flommen i 2010 på bakgrunn av observert temperatur. Eksempelene i avsnitt 0 viser at det er forskjeller i hvilken graddagsfaktor som gir best resultat for de ulike feltene. Likevel kan man anta fra resultatene i **Figur 2** og **Figur 3** at flere av nedbørfeltene har såpass like egenskaper/karakteristika at det er naturlig å gruppere de, og muligens beregne et eget sett med smeltester og graddagsfaktoren gjeldene for en gruppe/region.

Figur 47 viser at det er forskjell i hvor godt et estimat på smeltingen mellom de innledende dagene av flommen (her representert ved det laveste datapunktet) og dager med høy flomvannføring/flomtoppen. Det skyldes at det er en mer entydig sammenheng mellom temperatur og snøsmelting når det er mettede forhold i grunnen, som man jo kan anta at det er ved flomtoppen.

For tilfellet Masi virker det som om selv Cx lik 1,7 mm/°C/dag er i overkant mye dersom vi sammenlikner observert vannføring/smelting i mm/dag med estimert smelting ved hjelp av temperatur og graddagsfaktor. Masi er et relativt stort nedbørfelt, og det er ikke utenkelig at det er lengere respons tid mellom temperatur og smelting (vannføring) enn den kombinasjonen som er brukt for å beregne graddagsfaktor her. Studien det såvidt er referert til avsnitt 0 viste at det for alle feltene var best samsvar mellom temperatur og smelting dersom temperaturen dag 0 ble sammenliknet med det som smeltet dag 1. Ved nærmere analyse av data fra Masi viser det seg imidlertid at det antagelig gir best samsvar å benytte temperaturen dag 0 og sammenlikne det med smeltingen dag 2. Da får vi en graddagsfaktor på 1,05 mm/°C/dag, og dersom denne graddagsfaktoren benyttes i figur 8, får vi et langt bedre 1:1 forhold mellom observert og estimert vannføring/smelting. Det kan derfor være at beregning av graddagsfaktoren må være enda mer nedbørfeltsesifikk enn det som er nevnt her dersom man skal ha et best mulig estimat på stedegne graddagsfaktorer. Cx lik 1,05 mm/°C/dag later også til å gi best 1:1 samsvar under flommen i 2013, selv om analysen av Masi dette året er svært usikker på grunn av manglende data.

Sammenliknet med graddagsverdiene i Saloranta (2012) er ikke graddagsverdiene som er funnet i denne studien så langt unna. Saloranta (2012) beskriver en median-Cx på 3,3 mm/°C/dag, mens gjennomsnittet fra hans studie er 3,7 mm/°C/dag. 1% og 99 % persentilen for graddagsfaktor er beregnet i Saloranta (2012) å være 0,9 mm/°C/dag og 11,7 mm/°C/dag.

Sammenliknet med anbefalte graddagsfaktorer for flomberegning, gitt situasjoner uten nedbør, gir Midttømme m.fl. (2011) graddagsfaktorer på mellom 1,5 mm/°C/dag (tett skog) til 3,5 (bre). De fleste av vannførings- og snøputestasjonene kan etter all

sannsynlighet plasseres i kategoriene «noe skog» og ”snaufjell”, hvor anbefalte graddagsfaktorer er oppgitt å være henholdsvis 2,0 mm/°C/dag og 2,5 mm/°C/dag. Sammenliknet med denne analysen og analysen til Saloranta (2012), kan det være at disse tallene bør oppjusteres noe, særlig fordi man i flomberegninger skal vektlegge minst gunstige verdier. Å anbefale nye graddagsfaktorer til bruk i flomberegninger for kategoriene «noe skog» og «snaufjell» på rundt 3,5 mm/°C/dag virker, ut i fra denne og studien til Saloranta (2012) ikke helt urimelig.

Til bruk i flomvarsling kan det være at et sett med graddagsfaktorer og smeltemperaturer for hver stasjon, eventuelt en gruppering av stasjoner, kan brukes som **indekstall** for å predikere en flom. Indekstallene kan enten ta utgangspunkt i maksverdiene fra 2010 og stedvis 2013, eller ta utgangspunkt i medianverdiene. Verdier for maksimal smelting og den høyest beregnede graddagsfaktoren, som vist i Figur 1 og Figur 2 kan benyttes som stedegne *påregnelige maksimale smelteverdier* og *påregnelige maksimale graddagsfaktorer*. Da kan man bruke nivåene oppgitt i **Figur 2** og **Figur 3** på samme måte som vi i dag benytter «vannføring-i-mm, gitt mettede-forhold»-plottene.

A.8 Konklusjoner

Mange steder var flommen i 2010 størst, og det er også fra 2010 vi finner de høyeste smeltemperaturer og graddagsfaktorene. Smeltemperaturer i 2010 på opp mot 30 mm/dag i gjennomsnitt (median lik 24 mm/dag), og jevnt over maksimale verdier på mer enn ~40 mm/dag er funnet.

Når det gjelder graddagsfaktoren vil beregninger fra vannføringsstasjoner i 2010 gi et gjennomsnitt på 5,2 mm/°C/dag og en medianverdi på 4,2 mm/°C/dag. Det er høyt, både sammenliknet med andre år (2013) og andre analyser (Saloranta, 2012, Midttømme m.fl., 2011).

Det er stedvis store forskjeller mellom det som beregnes i gjennomsnitt for alle stasjonene (både vannføring- og snøstasjoner), og det som beregnes for enkeltstasjoner. Dersom smeltemperaturer og graddagsfaktorene i denne studien skal benyttes i operativ flomvarsling, vil det trolig gi best nytte å benytte smeltemperaturen, og ikke minst den beregnede graddagsfaktoren, som et indekstall. Graddagsfaktorene i **Figur 2** og **Figur 3** kan benyttes de på samme måte som vi i dag benytter «vannføring-i-mm, gitt mettede-forhold»-plottene.

Både denne studien og studien til Saloranta (2012) viser at Cx på over 3 mm/°C/dag kan forventes. Det kan derfor være at de anbefalte graddagsfaktorer for flomberegninger gitt i Midttømme m.fl. (2011) bør oppjusteres. Å anbefale nye graddagsfaktorer til bruk i flomberegninger for kategoriene «noe skog» og «snaufjell» på rundt 3,5 mm/°C/dag virker, ut i fra denne og studien til Saloranta (2012), ikke helt urimelig.

A.9 Videre arbeid

Det er påbegynt et arbeid med å analysere timers- og tretimers verdier, men arbeidet er ikke ferdigstilt. I fremtiden vil det også være ønskelig å se på data fra andre deler av landet.

For flommen i 2010 ble timesverdier fra vannføringsstasjonen Øvstevatn og snøputestasjonen Namsvatn analysert. For Øvstevatn var høyeste smeltemperatur 4,2 mm/time,

men gjennomsnittet lå på 2,5 mm/time. Ved snøputen på Namsvatn ble høyeste smeltrate beregnet til 5,5 mm/time, mens det i gjennomsnitt smeltet 1,6 mm/time. For flommen i 2013 er det påbegynt en studie av både times, og 3-timers verdier for samtlige stasjoner.

For begge årene gjenstår det et større arbeid for å finne den beste måten å beregne graddagsfaktorer på timesbasis på. I analysen i dette notatet er graddagsfaktor beregnet fra temperatur målt dag 0 og smelting dag 1. Ved bruk av times- og 3-timersdata er det naturlig å finne et annet tidsskritt.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

