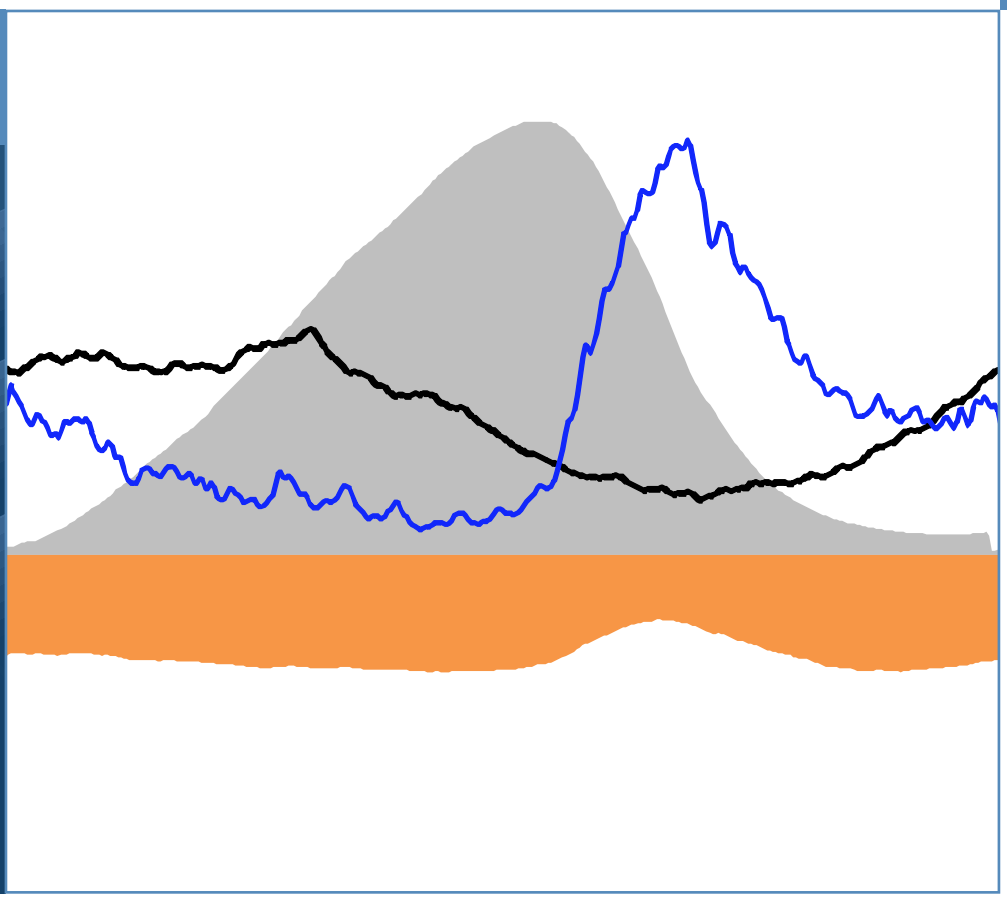
Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller

Erik Holmqvist

29
2013



RAPPORT

Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller.

Norges vassdrags- og energidirektorat
2013

Rapport nr 29

Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller.

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Erik Holmqvist

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 30
Forsidefoto:
ISBN 978-82-410-0897-9
ISSN 1501-2832

Sammendrag: Rapporten dokumenterer underlaget for prognoseverktøyet NVE benytter i de ukentlige energitilsigsprognosene. Verktøyet er basert på HBV-modeller. Ved hjelp av omregningsfaktorer for den enkelte HBV-modell, som er bestemt av midlere produksjon beregnet i Samkjøringsmodellen, er de ulike vannbalanse-parametrene (nedbør, fordampning, markvann, grunnvann, snø og avrenning) regnet om i energienheter. Midlere nyttbart tilsig for det norske vannkraftsystemet er beregnet til ca. 130 TWh/ år for perioden 1981-2010.

Emneord: Nyttbart tilsig, tilsigsprognoser, nedbørenergi, vannbalanse, HBV-modeller, snømagasin, lagerkapasitet mark- og grunnvann.

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

April 2013

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Beregning av 30-års midler **6**

1.1 Tilsigsseriene 7
1.2 Om kalibrering av HBV-modeller 10
1.3 Temperatur 11
1.4 Nedbør 12
1.5 Fordampning 13
1.6 Snømagasin 15
1.7 Mark- og grunnvannsmagasin 17
1.8 Avrenning 20

2 Beregning av energitilsig **21**

2.1 Sum Norge 21
2.1.1 Fordeling på de enkelte tilsigsseriene 22
2.1.2 Delområde 1- 4 23
2.1.3 Fylker 24

3 Kvantifisering av energiinnhold, fra mm vann til TWh **25**

3.1 Nedbørenergi 25
3.2 Snømagasin, energiinnhold 28
3.3 Antall TWh ”bundet” i mark- og grunnvann 30
3.4 Samlet vannbalanse i TWh 32
3.5 Verktøy for prognosering av energitilsig 33
3.5.1 Meteorologiske data 34
3.5.2 Mark- og grunnvannsmagasin 36
3.5.3 Snømagasin 37
3.5.4 Energitilsig 39

Referanser **42**

Forord

Målet med denne rapporten er å dokumentere underlaget for det prognoseverktøyet NVE benytter i de ukentlige energitilsigsprognosene. Verktøyet er basert på HBV-modeller. Disse gir en forenklet, men god beskrivelse av vannbalansen i de ulike modellfeltene. Totalt benyttes 82 HBV-modeller. Disse er alle fra felt med tilsigsserier som benyttes som input til NVEs Samkjøringsmodell. I sum antas modellene å gi en god beskrivelse av vannbalansen (nedbør, avrenning, snø, mark- og grunnvann) for det norske vannkraftsystemet.

Det er også beskrevet hvordan de ulike vannbalanseelementene varierer mellom de ulike nedbørfeltene i løpet av normalperioden 1981-2010 og i sum for kraftsystemet.

Rapporten er utarbeidet av Erik Holmqvist og kvalitetskontrollert av Thomas Væringstad.

Oslo, april 2013

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

I NVEs Samkjøringsmodell benyttes 82 tilsigsserier for å beskrive tilsiget til det norske vannkraftsystemet. Disse seriene er alle fra uregulerte nedbørfelt eller felt som i svært liten grad er påvirket av vannkraftinngrep. For disse feltene er det kalibrert HBV-modeller, de inngår som en del av NVEs operative flomvarslingsmodeller. Input til HBV-modellene er nedbør og temperatur, og output er beregnet fordampning, vanninnhold i mark- og grunnvann, snømagasin og avrenning. Modellene gir en god oversikt over vannbalansen i tilsigsområdene til det norske vannkraftsystemet.

Midlere årsnedbør (1981-2010) varierer fra omkring 500 til over 5000 mm. Minst nedbør er det i deler av Troms og Finnmark, og mest nedbør finner vi i brefelt på Vestlandet. Årlig fordampningstap varierer fra under 5 til over 50 prosent av midlere årsnedbør, med et gjennomsnitt på 15-20 prosent for alle feltene. Det er nedbørfelt i lavlandet på Øst- og Sørlandet som har det relativt største fordampningstapet. For halvparten av nedbørfeltene kulminerer snømagasinet normalt med 500 mm eller mer. Størst gjennomsnittlig snømagasin finner en naturlig nok i breområder, hvor våre beregninger gir en midlere kulminasjon på 2500 – 3500 mm.

I løpet av 30-årsperioden 1981-2010 er det for de ulike feltene en variasjon på 100 til 500 mm i vann lagret i mark- grunnvann. I høyfjellsfelt er det vanligvis fuktigst i bakken mot slutten av snøsmelteperioden og tørrest på seinvinteren før smeltingen tar til. Langs kysten er det motsatt, normalt fuktigst om vinteren, og tørrest på forsommeren.

Midlere årsavrenning varierer fra i underkant av 400 mm til over 4000 mm. Minst avrenning er det fra feltene på Finnmarksvidda, mens brefelt på Vestlandet har størst årlig avrenning.

Ved hjelp av omregningsfaktorer for den enkelte HBV-modell, som er bestemt av midlere produksjon beregnet i Samkjøringsmodellen, er de ulike vannbalanseparametrene regnet om i energienheter. Midlere produksjon for perioden 1981-2010 er beregnet til ca. 130 TWh/ år av Energiavdelingen i NVE.

Midlere nedbørenergi (1981-2010) er beregnet til 154 TWh/ år. I gjennomsnitt ”tapes” 24 TWh/ år til fordampning, slik at ”effektiv nedbør ” blir 130 TWh/ år. Videre kulminerer snømagasinet i våre modeller med et gjennomsnitt på 58 TWh. I løpet av smelteperioden tilsvarer midlere økning av vanninnholdet i mark- og grunnvannsmagasinet en energimengde på ca. 7 TWh.

I løpet av30-årsperioden 1981-2010 gir foreløpige analyser en maksimal variasjon av årlig snømagasin fra 33 til 84 TWh, eller en variasjon på 51 TWh. For samme periode tilsvarer maksimal variasjon av vanninnhold i mark- og grunnvannet en energimengde på ca. 13 TWh.

1 Beregning av 30-års midler

Det ble i 2008 anbefalt å benytte 84 tilsigsserier til Samkjøringsmodellen (Holmqvist og Engen, 2008). Disse tilsigsseriene er basert på observasjoner fra uregulerte nedbørfelt eller felt som er svært lite påvirket av vannkraftreguleringer. I perioden 2010 - 2012 ble det kalibrert HBV-modeller (vannbalansemodeller) for disse nedbørfeltene. Inngangsdata til modellene er grid av nedbør- og temperatur med oppløsning ett døgn. De meteorologiske dataene er basert på observasjoner som er interpolert og høydekorrigert ved hjelp av en terrengmodell til gridruter med en kilometers oppløsning. De meteorologiske dataene dekker perioden 1958 til 2012.

For 2 av de 84 tilsigsseriene var det problematisk å få en god kalibrering. Utvalget som benyttes til Samkjøringsmodellen er derfor redusert til 82. Disse seriene benyttes også til prognosering av energitilsig.

I dette kapitlet er middelverdier for temperatur og de ulike vannbalanseparametrene for 30-årsperioden 1981 – 2010 presentert. Disse er:

- Nedbør
- Fordampning
- Snø
- Mark- og grunnvann
- Avrenning

For alle feltene er årsverdier for nedbør, avrenning, maksimalt snømagasin osv. gitt i figurer og/ eller tabeller. For to felt, et kystnært og et høyfjellsfelt, er variasjonene gjennom året for de ulike parametrene illustrert. Disse feltene er også benyttet som eksempler for å forklare mer detaljert om hvordan de ulike vannbalanseparametrene er regnet om fra mm til enheten GWh (TWh).

1.1 Tilsigsseriene

I figur 1.1 er nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes som input til Samkjøringsmodellen vist. Målestasjonen Polmak i Tana har det største nedbørfeltet med drøyt 14000 km^2, mens stasjonen Grosettjern, som ligger på Hardangervidda, har det minste nedbørfeltet med kun 6,5 km^2. Halvparten av alle nedbørfeltene er mindre enn 180 km^2.

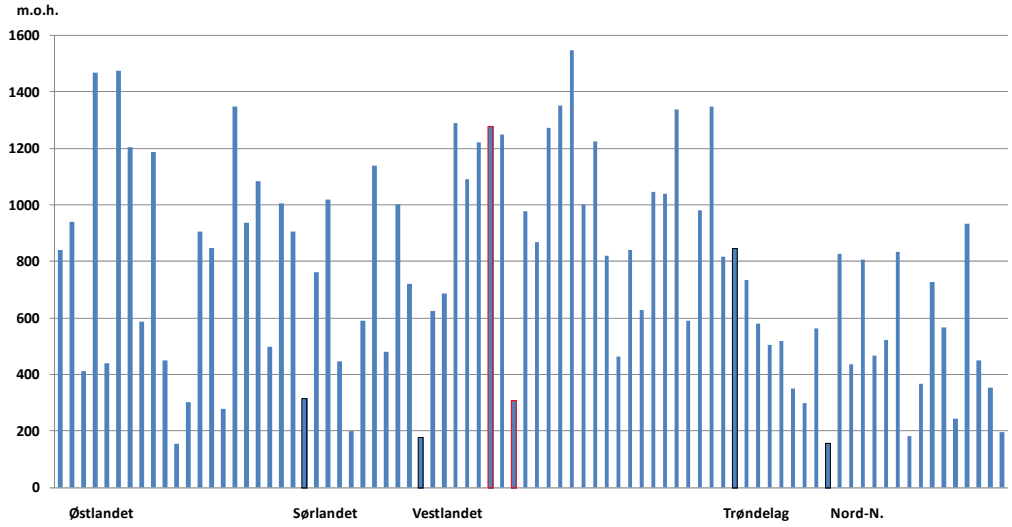
Figur 1.1. Nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell.

For feltene på Øst-, Sør- og Vestlandet varierer medianhøyden fra omkring 200 moh. - 1500 moh.. Fra Trøndelag og nordover er det ingen felt som har medianhøyde høyere enn 1000 moh. (figur 1.2).

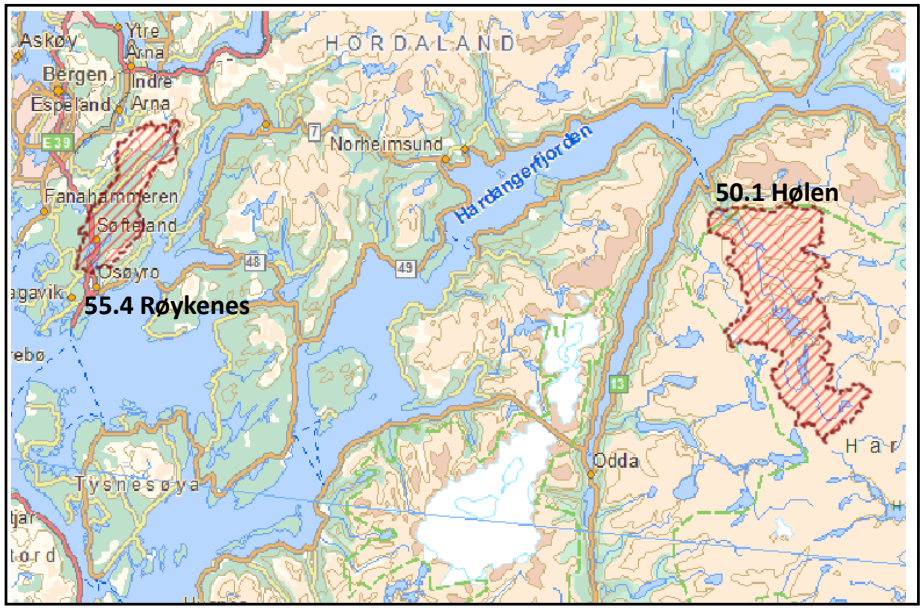
Målestasjonen 3.22 Høgfoss, som ligger i Hobølelva i Østfold, har feltet med lavest medianhøyde, ca. 150 moh.. Stasjonen 76.5 Nigardsbrevatn, som ligger i Jostedøla i Sogn og Fjordane, er det høyestliggende med en medianhøyde på ca. 1550 moh.

For to av feltene er det presentert mer detaljerte data og figurer. Det er data fra målestasjonene 55.4 Røykenes i Oselva, sørøst for Bergen, og 50.1 Hølen i Kinso, som ligger innerst i Hardangerfjorden (figur 1.3). Feltet til Røykenes er ca. 50 km^2 og strekker seg fra omkring 50 til 950 moh., og det har en medianhøyde på ca. 300 moh (figur 1.4). Dette feltet kan karakteriseres som et kystfelt.

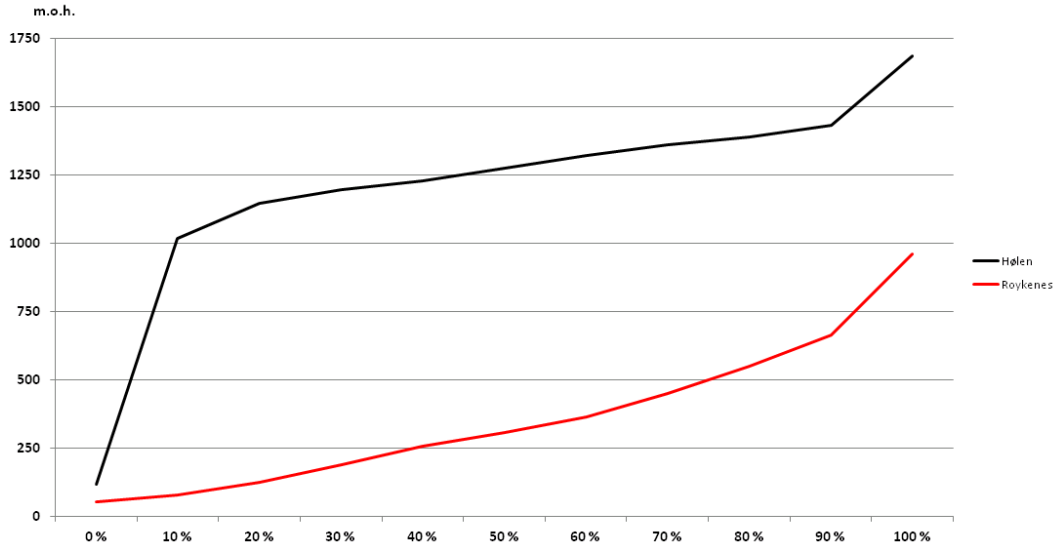
Målestasjonen Hølen ligger ca. 100 moh., men 90 prosent av nedbørfeltet ligger over 1000 moh.. Feltet er drøyt 230 km^2, og medianhøyden er ca. 1300 moh (figur 1.4). Dette feltet kan karakteriseres som et høyfjellsfelt.



Figur 1.2. Søylene viser medianhøyden i nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.



Figur 1.3. Nedbørfeltene til målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva.



Figur 1.4. Hypsografiske kurver for målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso (svart) og 55.4 Røykenes i Oselva (rød).

1.2 Om kalibrering av HBV-modeller

Utveksling av vann mellom de ulike ”magasinene” i HBV-modellen er viktig for å ivareta avrenningsdynamikken i de ulike nedbørfeltene. I HBV-modellen kan vann lagres i snømagasin, i markvannssonen eller i øvre og nedre grunnvannsmagasin. HBV-modellene blir først og fremst kalibrert med tanke på vannføring, det vil si at en god modell skal gjenskape avløpet på en best mulig måte.

Det er ikke gitt at de øvrige vannbalanseparametrene er like godt beskrevet. To ulike kalibreringer kan gi tilnærmet samme avløp, samtidig som andre parametere er forskjellige. For eksempel vil ”for mye nedbør” kunne kompenseres med økt fordampning, mens i brefelt har vi sett flere eksempler på at ”for lite nedbør” er kompensert ved økt bresmelting.

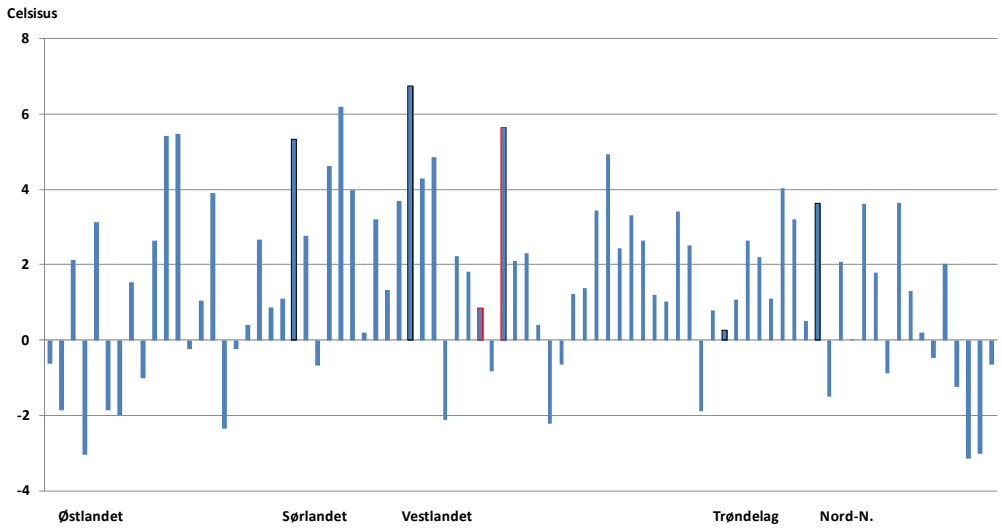
Det har ved tidligere kalibreringer av HBV-modellene, som har vært i operativ bruk i NVEs flomvarslingstjeneste, vært et problem at all snø ikke har rukket å smelte i løpet av sommeren. Det betyr at snø overlagres fra et år til neste. For enkelte brefelt har vi hatt motsatt problem, for lite nedbør og dermed for liten snøakkumulasjon i modellene. Det har blitt kompensert med kraftig bresmelting på sommeren. Disse forholdene er rettet opp ved rekalibrering av modellene i 2011 og 2012, slik at modellenes vannbalanse over året (nedbør fratrukket fordampning ≈ avrenningen) i større grad bevares. Rekalibreringen er utført av Ruan Gusong og Elin Langsholt ved seksjon for ”Hydrologisk modellering” i NVE. Det er benyttet en automatisk parameter estimerings metode (PEST) i dette arbeidet. Metoden er nærmere beskrevet i Lawrence m.fl. 2009.

I denne rapporten er det valgt å se på variasjonene i mark- og grunnvannssonen samlet. Ulike kalibreringer, som kan være tilsynelatende like gode, kan for eksempel ”flytte” vann mellom øvre og nedre grunnvannssone, uten at det er enkelt å fastslå hva som er mest korrekt. Det er viktig å merke seg at innsjøer i nedbørfeltet i HBV-modellen også påvirker parametrene for grunnvann. Det betyr at en stor variasjon av vanninnhold i mark- og grunnvannssonen ikke nødvendigvis betyr at en har store løsmasser, men kan også skyldes nedbørfelt med høy andel av innsjøer i feltet.

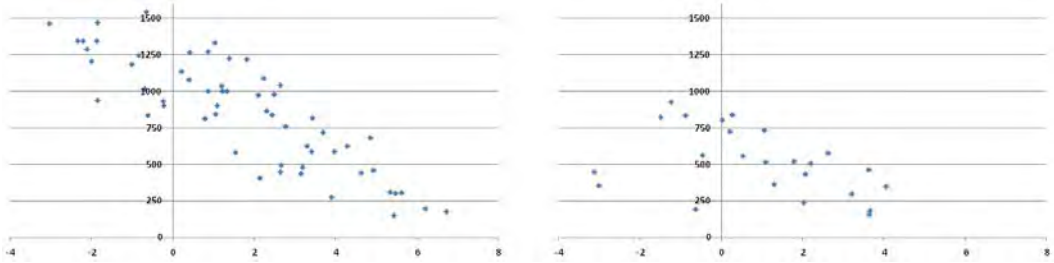
1.3 Temperatur

Årsmiddeltemperaturen for de ulike feltene varierer med omkring 10 °C. De laveste årsmidlene finner en i felt på Finnmarksvidda og i Jotunheimen med -3 °C. De høyeste årsmiddeltemperaturene finner en langs kysten av Sør- og Vestlandet med omkring +6 °C (figur 1.5).

Temperaturen varierer i stor grad med høyden over havet, men også avstand til kyst og breddegrad har betydning. Figur 1.6-a viser at på Øst-, Sør- og Vestlandet har de fleste felt med medianhøyde under 1000 - 1200 moh. en årsmiddeltemperatur over frysepunktet, mens i store deler av Trøndelag og Nord-Norge går grensen ved 600 - 800 moh. I Finnmark finner en felt helt ned mot 200 moh. med årsmiddeltemperatur under 0 °C.



Figur 1.5 Årsmiddeltemperatur for perioden 1981-2010 i nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.



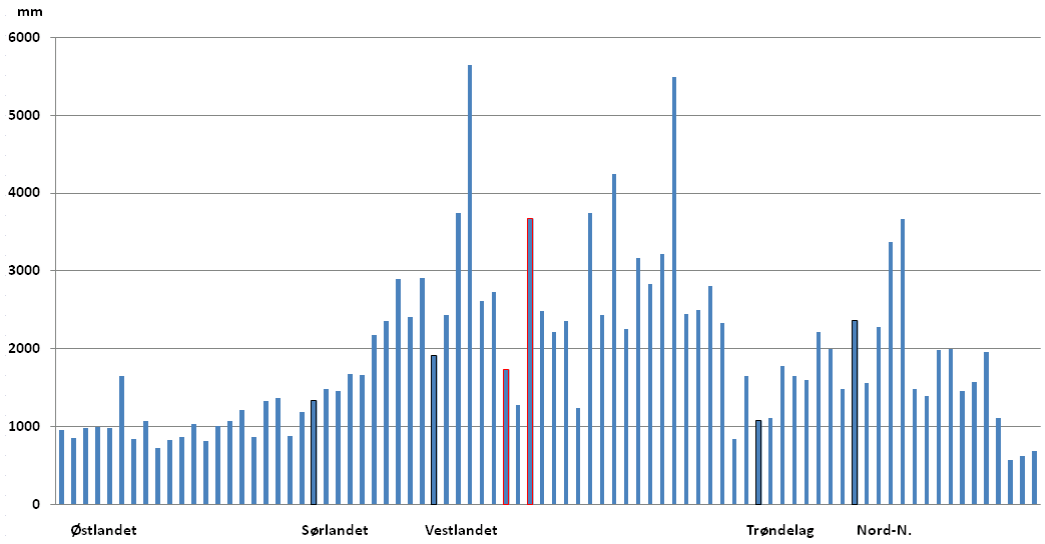
a) Østlandet, Sørlandet, Vestlandet **b) Trøndelag, Nord-Norge**

Figur1.6. Årsmiddeltemperatur 1981-2010 mot høyde over havet.

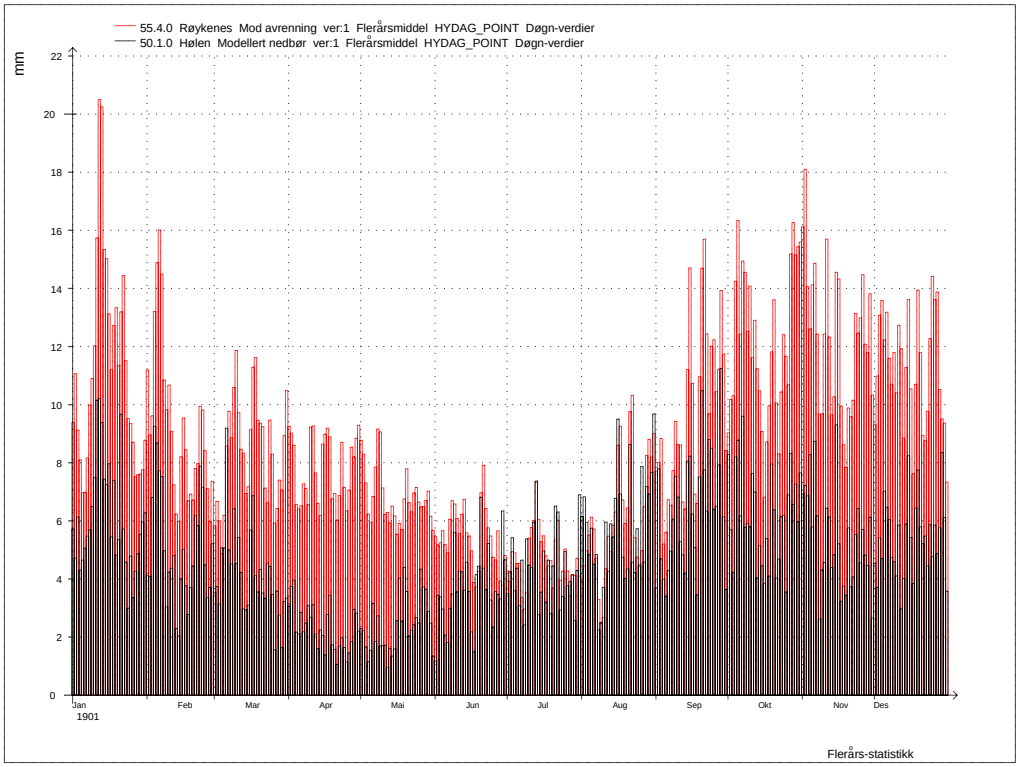
1.4 Nedbør

Variasjonen i midlere årsnedbør er illustrert i figur 1.7. Mest nedbør finner vi i noen av breområdene på Vestlandet med over 5000 mm/ år. Kystfeltene på Vestlandet og i Nordland er også nedbørrike med over 3000 mm/ år. Minst nedbør er det i deler av Troms og Finnmark med omkring 500 mm/ år.

For Hølen i Kinso er midlere årsnedbør drøyt 1700 mm, mens i nedbørfeltet til Røykenes i Oselva, som ligger noe lenger vest er beregnet årsnedbør nesten 3700 mm. I figur 1.8 er fordelingen av nedbør gjennom året vist for disse to stasjonene. I denne delen av landet er det mest nedbør høst og vinter. Månedene september – februar bidrar med omkring 60 prosent av årsnedbøren, mens de seks vår- og sommermånedene bidrar med ca. 40 prosent.



Figur 1.7. Midlere årsnedbør for perioden 1981-2010 i nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.



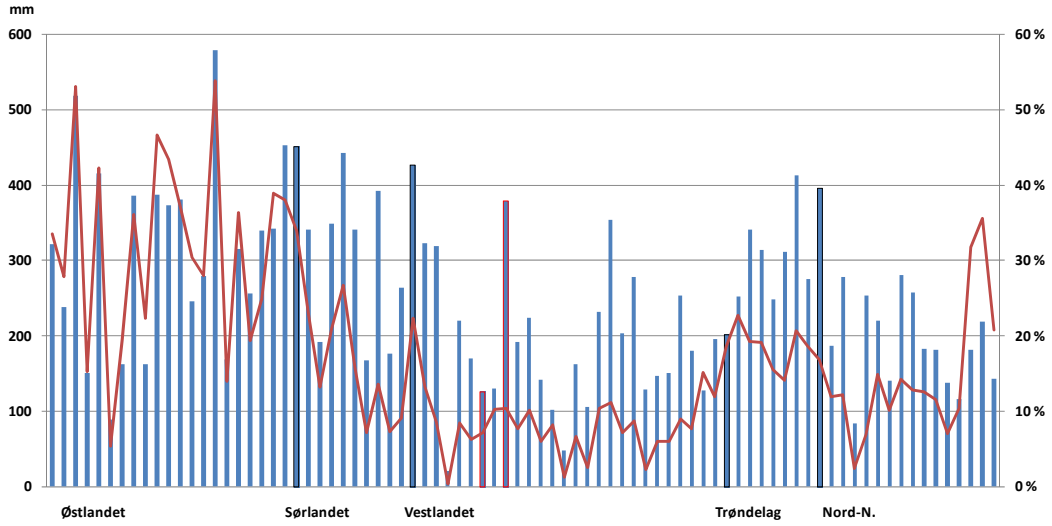
Figur 1.8. Midlere nedbør (mm/ døgn) gjennom året i nedbørfeltene til 50.1 Hølen i Kinso (svart) og 55.4 Røykenes i Oselva (rød). Dataene er basert på beregninger med HBV-modeller for perioden 1981-2010.

1.5 Fordampning

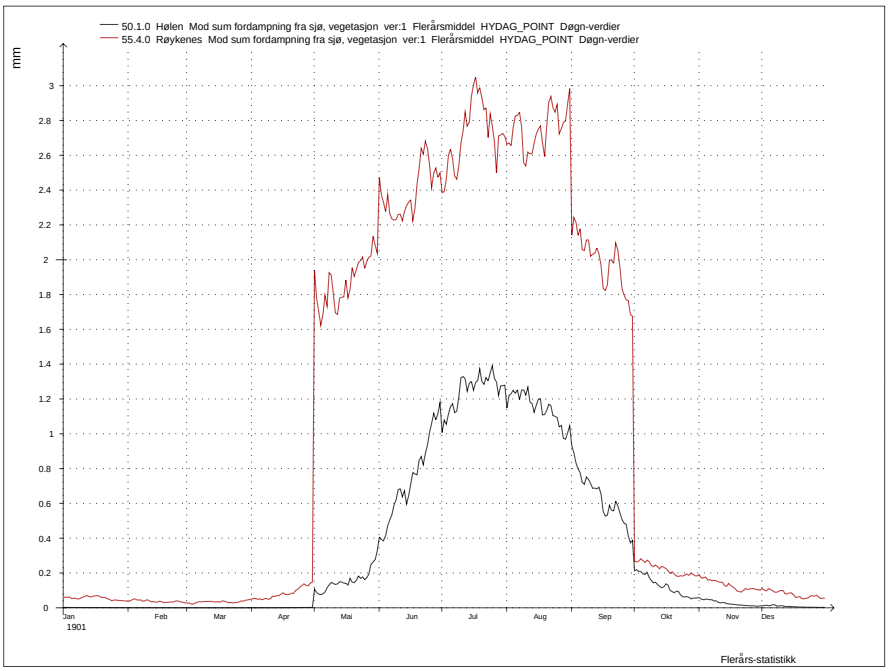
Fordampning eller evapotranspirasjon er beregnet som summen av vanntap fra planter og terreng. HBV-modellen beregner fordampning ut fra lufttemperatur og en justering i henhold til den aktuelle sesongen. HBV-modellene har en tendens til å overestimere fordampningstapet om høsten (Colleuille m.fl. 2008).

I vårt utvalg av modeller varierer fordampningen fra under 50 til over 500 mm/år (figur 1.9). På deler av Øst- og Sørlandet utgjør ”tapet” i henhold til våre beregninger mer enn halve årsnedbøren, mens i de mest nedbørrike områdene på Vestlandet og i Nord-Norge er ”tapet” mindre enn 10 prosent av årsnedbøren. I middel for hele landet utgjør fordampningstapet drøyt 20 prosent av årsnedbøren (NVE-dok. 2-2002).

For nedbørfeltet til Hølen, som har en medianhøyde på ca. 1300 moh., er midlere fordampning om sommeren omkring 1 mm/ døgn (figur 1.10). Røykenes, som har en medianhøyde på ca. 300 moh., har en midlere fordampning om sommeren på ca. 2,5 mm/ døgn. Årlig fordampningstap er beregnet til ca. 125 og 380 mm i de to feltene eller ca. 7 og 10 prosent av feltenes normale årsnedbør.



Figur 1.9. Midlere årlig fordampning (blå søyler, mm/ år) for perioden 1981-2010 i nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Fordampning i prosent av årsnedbør er vist med rød strek. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.



Figur 1.10. Midlere fordampning gjennom året i nedbørfeltene til målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso (svart) og 55.4 Røykenes i Oselva (rød). Enheten på y-aksen er mm/ døgn. Dataene er basert på beregninger med HBV-modeller for perioden 1981-2010.

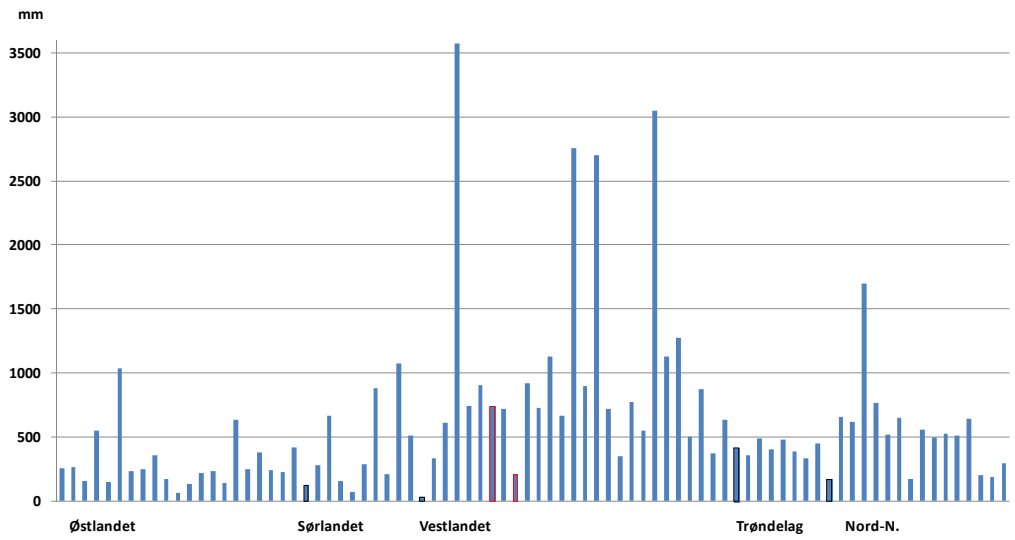
1.6 Snømagasin

Figur 1.11 viser gjennomsnittlig kulminasjon av snømagasinet i mm vannekvivalent i de ulike feltene. Denne er funnet ved å beregne midlere snømagasin gjennom hele året, og deretter ta ut den høyeste verdien, slik som vist for Hølen og Røykenes i figur 1.12. Dette vil naturlig nok være en verdi som er noe lavere enn om en beregner gjennomsnittet av største snømengde hvert år, dette fordi en vil nå maksimalt vanninnhold i snøen til litt ulike datoer fra år til år.

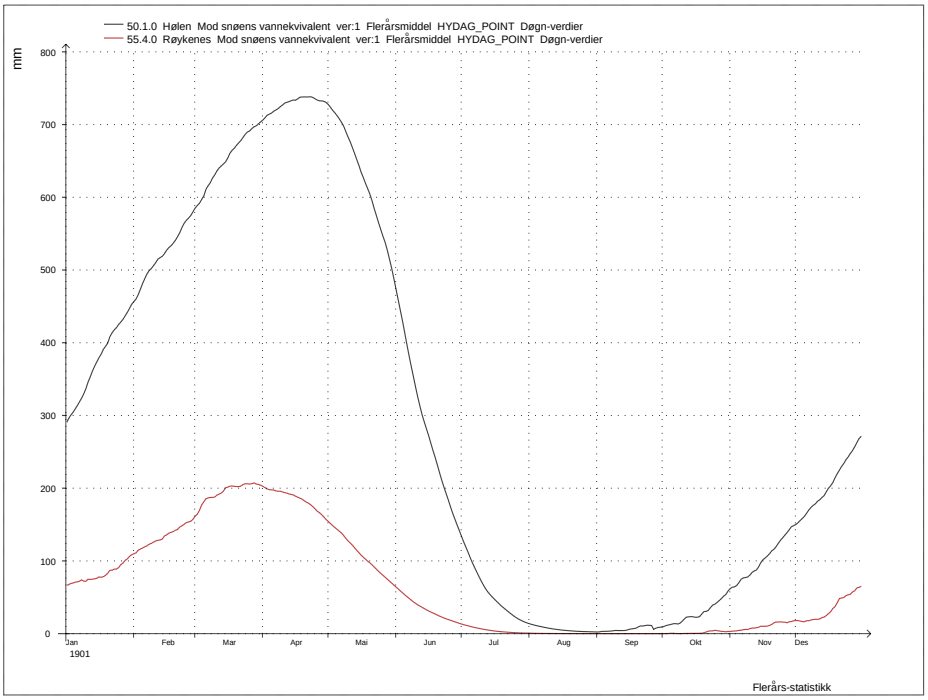
Stasjonen Haugland på Jæren har i middel det minste snømagasinet med kun 25 mm vannekvivalent. I omkring halvparten av feltene kulminerer snømagasinet med 500 mm eller mer. I enkelte brefelt kulminerer snømagasinet med 2500 – 3500 mm.

Figur 12 viser median snømagasin gjennom året i nedbørfeltene til stasjonene Hølen og Røykenes. I nedbørfeltet til Røykenes, som ligger lavest og lengst vest av de to feltene, begynner snøen vanligvis å legge seg i november. Her kulminerer snømagasinet normalt i slutten av mars med omkring 200 mm, og da er det vanligvis snø i 60-70 prosent av nedbørfeltet (figur 1.13), dvs. over 200 - 250 moh.(jmf. figur 1.4).

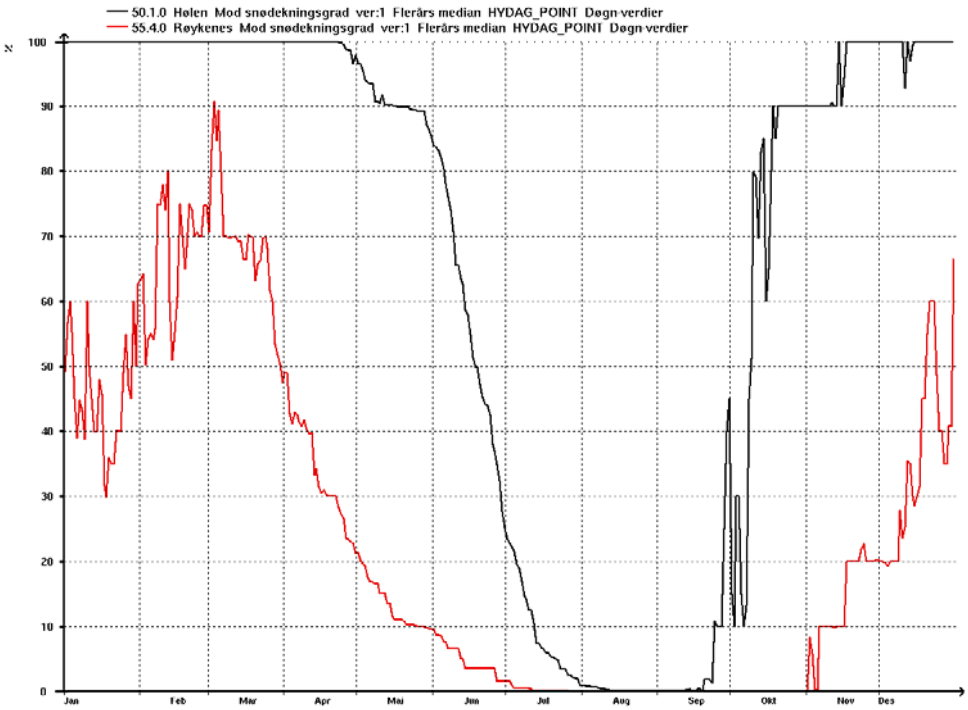
I nedbørfeltet til Hølen, som har høyfjellspreg, begynner snøleggingen i september/ oktober og kulminerer vanligvis mot slutten av april med drøyt 700 mm. Her er tilnærmet hele nedbørfeltet dekket av snø fra midten av november til slutten av april (figur 1.13).



Figur 1.11. Gjennomsnittlig årlig maksimalt snømagasin for perioden 1981-2010 i nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.



Figur 1.12. Midlere snømagasin gjennom året for nedbørfeltet til målestasjonen 50.1 Hølen i Kinso (svart) og 55.4 Røykenes i Oselva (rød). Enheten på y-aksen er mm vannekvivalent.



Figur 1.13. Kurvene viser hvor stor andel av feltene til Hølen (svart) og Røykenes (rød) som i median er dekket av snø gjennom året. Enheten på y-aksen er prosent av totalareal. Dataene er basert på beregninger med HBV-modeller for perioden 1981-2010.

1.7 Mark- og grunnvannsmagasin

I denne rapporten er det valgt å se på variasjonene i mark- og grunnvannssonen samlet. Dette blant annet fordi HBV-modellen har en forenklet beskrivelse av denne delen av vannets kretsløp, og ulike kalibreringer kan gi forskjellige resultater med hensyn til vanninnhold i disse sonene. Dernest er det valgt å se på den ”aktive” delen av disse magasinene, det vil si forskjellen mellom maksimalt og minimalt vanninnhold i løpet av 30-årsperioden 1981-2010. For flere av modellene er minimum vanninnhold i mark- og grunnvannssonen aldri under 200 mm og for enkelte helt opp mot 1200 mm (figur 1.14). Dette vannet regnes som ”bundet” i modellen.

Figur 1.15 viser at differansen mellom maksimalt og minimalt vanninnhold i mark- og grunnvannsonen varierer fra omkring 100 til 500 mm for de ulike feltene. De største variasjonene (> 350 mm) finner en gjerne for felt med høy myr- og/ eller sjøprosent. For eksempel har nedbørfeltet til Gjuvvatn, som ligger i øvre del av Kvina, en variasjon på 400 mm. Dette nedbørfeltet har en medianhøyde på drøyt 1100 moh., og det må antas at løsmassene her er relativt skrinne. Innsjøer utgjør hele 16 prosent av nedbørfeltet til stasjonen, og dette forklarer den store variasjonen her.

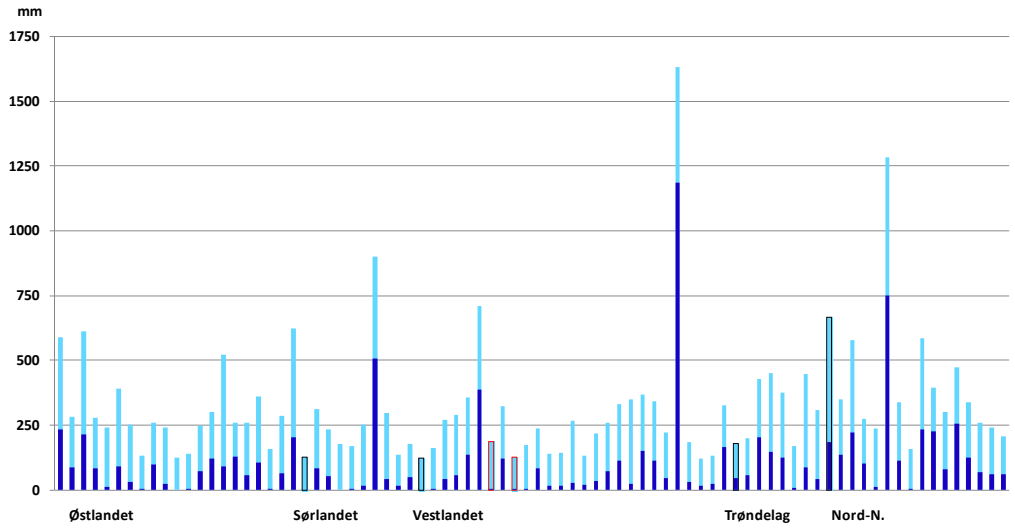
For typiske innlandsfelt på Østlandet, med store løsmasser i forhold til det som er vanlig for eksempel på Vestlandet, er det også stor variasjon mellom maksimalt og minimalt beregnet vanninnhold i mark- og grunnvannssonen. Eksempler på dette er feltene Fiskum (Buskerud) og Knappom (Hedmark) som har en variasjon på ca. 400 mm. I disse to feltene utgjør innsjøer 1–2 prosent av nedbørfeltet.

For nedbørfeltet til Grosettjern er den aktive delen av vannlageret i mark- og grunnvannsonen i HBV-modellen beregnet til 220 mm. I et tidligere arbeid (Colleuille m.fl. 2008) er dette estimert til 460 mm for Groset. Det ble da benyttet en annen vannbalansemodell, benevnt COUP. Denne modellen har en mer detaljert beskrivelse av forholdene i bakken enn HBV-modellen, for eksempel tas det i større grad hensyn til plantenes vekst og utvikling som funksjon av tid. COUP-modellen krever også flere inngangsdata enn HBV-modellen. I tillegg til nedbør og temperatur er luftfuktighet, vindhastighet og global stråling drivvariable for modellen (Colleuille m.fl. 2007). COUP-modellen gir imidlertid et estimat for et punkt, mens HBV-modellen gir et arealestimat. I dette tilfelle ligger ”punktet” i fjellbjørkeskogen nær Grosettjern, og variasjonen her må antas å være større enn for hele nedbørfeltet blant annet på grunn av en del myrområder. Dessuten er det sannsynlig at lagerkapasiteten i COUP-modellen er noe overestimert fordi det i Grosetfeltet er mye stein/ blokker i jordsmonnet, muligens opp mot 30 prosent. Det er det ikke tatt hensyn til i arbeidet med COUP-modellen (pers.med. Lars Egil Haugen, seksjon vannbalanse, HV - NVE).

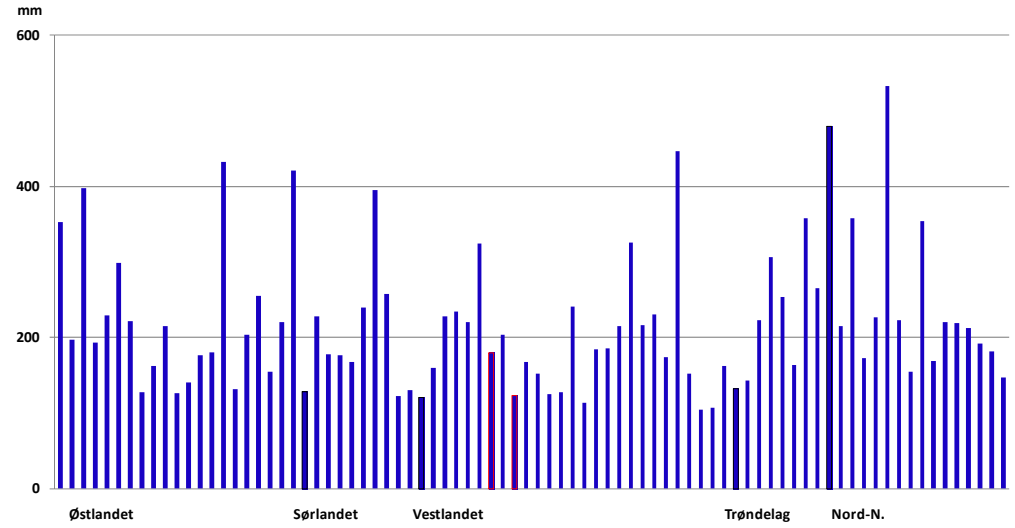
For nedbørfeltet til Hølen, som er et høyfjellsfelt, og hvor ca. 8 prosent av nedbørfeltet består av innsjøer, er tilsvarende variasjon beregnet til 180 mm. Nedbørfeltet til Røykenes, som er et lavtliggende kystfelt, har en innsjøandel på ca. 4 prosent. Her er maksimal variasjon beregnet til omkring 120 mm. Det er ned mot det minste som er beregnet i vårt utvalg av nedbørfelt.

Lagerkapasiteten i mark- og grunnvannet er i deler av landet vesentlig større enn gjennomsnittlig kulminasjon av snømagasinet. Dette gjelder spesielt i lavlandsfelt hvor snømagasinet vanligvis er nokså lite. I fjellområdene utgjør variasjonen i mark- og

grunnvannet fra omkring 10 til 100 prosent av gjennomsnittlig kulminasjon av snømagasinet.



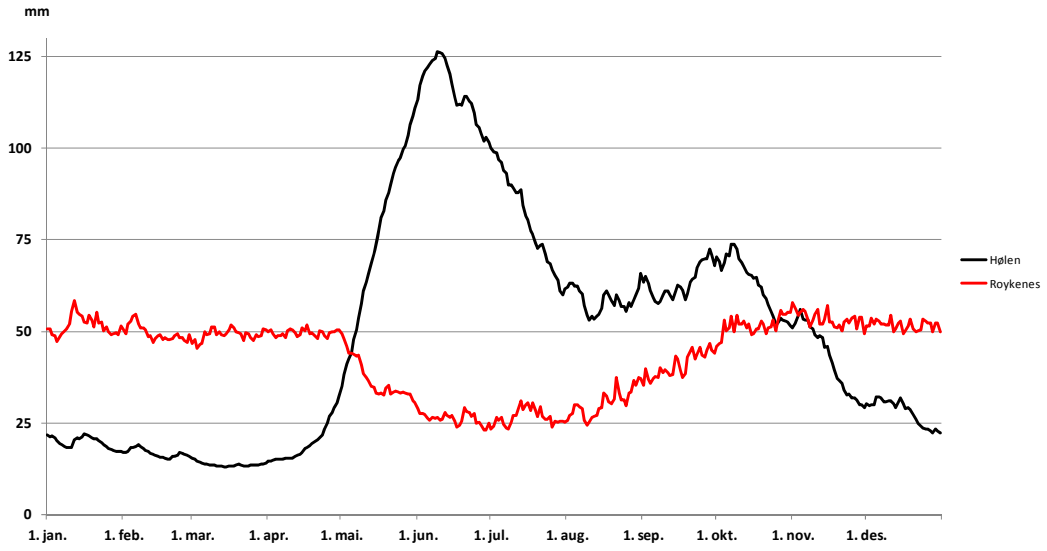
Figur 1.14. Maksimum (lys blå) og minimum (mørk blå) vann (mm) lagret i mark- og grunnvannssonen i perioden 1981-2010. Verdiene er basert på beregninger med HBV-modeller for nedbørfeltene til 82 tilsigsserier som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.



Figur 1.15. Lagerkapasitet i mark- og grunnvannssonen (mm), beregnet som differansen mellom maksimalt og minimalt vanninnhold i disse sonene i perioden 1981-2010. Verdiene er basert på beregninger med HBV-modeller for nedbørfeltene til 82 tilsigsserier som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.

For våre 82 HBV-felt er median lagerkapasitet i mark- og grunnvann 45 prosent av midlere snømagasin. Det betyr at i snøfattige vintre, kan underskudd i mark- og grunnvann lokalt overskride snøens vannekvivalent. Dette harmonerer godt med tidligere beregninger med COUP-modellen som antyder at underskuddet i mark- og grunnvannet kan overskride snøens vannekvivalent i snøfattige år (Colleuille m.fl. 2008).

For Røykenes og Hølen er midlere variasjon gjennom året vist i figur 1.16. I kystfeltet Røykenes er det vanligvis fuktigst i bakken i vintermånedene, hvor en har mye nedbør, mens det er tørrest utover sommeren på grunn av mindre nedbør og høyere fordampning. For høyfjellsfeltet Hølen er det vanligvis fuktigst i bakken i forbindelse med snøsmelting på forsommeren og tørrest i slutten av mars før snøsmeltingen kommer i gang. I fjellområdene, som for eksempel vist for Hølen, er det ofte en sekundær topp på høsten, dette vil imidlertid være avhengig av snø/ teleforholdene og vil kunne variere både fra felt til felt og fra et år til et annet. For Røykenes og Hølen utgjør lagerkapasiteten i mark- og grunnvannet omkring 60 og 25 prosent av midlere maksimalt snømagasin.



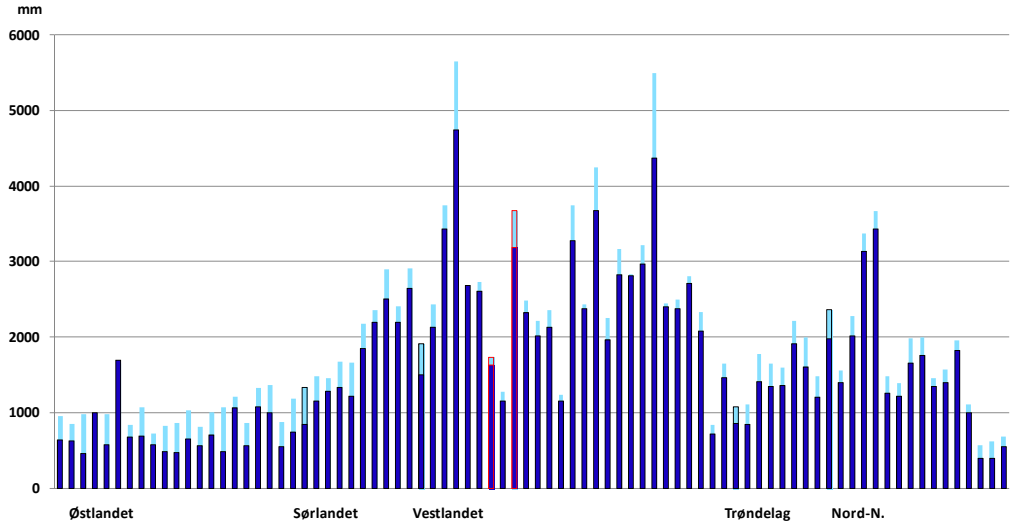
Figur1.16. Midlere variasjon i mark- og grunnvannsmagasinene gjennom året for nedbørfeltet til målestasjonen 50.1 Hølen i Kinso (svart) og 55.4 Røykenes i Oselva (rød). Enheten på y-aksen er mm vannekvivalent. Dataene er basert på beregninger med HBV-modeller for perioden 1981-2010.

1.8 Avrenning

I figur 1.17 er midlere årsavrenning og årsnedbør for nedbørfeltene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell illustrert. Avrenningen varierer fra i underkant av 400 mm/ år for feltene som ligger på Finnmarksvidda, til over 4000 mm/ år for enkelte brefelt på Vestlandet.

For to av feltene på Østlandet (Fiskum og Knappom) er beregnet avrenning mindre enn halve årsnedbøren, det skyldes at en her har relativt stor årlig fordampning/ evapotranspirasjon (jmf. figur 1.9). I gjennomsnitt for vårt uvalg av felt utgjør avrenningen mellom 80 og 85 prosent av årsnedbøren, det tilsvarer at vi har er fordampningstap på 15 – 20 prosent.

For noen felt er det beregnet høyere årsavrenning enn årsnedbør, for eksempel gjelder dette Akslen og Tora i Jotunheimen. I figur 1.17 er dette illustrert ved at den mørkeblå søylen (avrenning) dekker den lyseblå søylen (nedbør). Dette er brefelt, hvor beregningene våre har gitt en netto breavsmelting. Dette stemmer godt med at det er registrert relativt stor avsmelting og tilbakegang for breene i Jotunheimen de siste ti-årene (Kjøllmoen 2011).



Figur 1.17. Midlere årsavrenning (mørkeblå søyler) og midlere årsnedbør (lyseblå søyler) for perioden 1981-2010 for nedbørfeltene til de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med rød rammer.

2 Beregning av energitilsig

Energitilsiget til det norske kraftsystemet er beregnet ved bruk av Samkjøringsmodellen. I denne modellen beregnes produksjonen ut fra en detaljert beskrivelse av det norske vannkraftsystemet, som er inndelt i nesten 1100 moduler. En modul representerer nedbørfeltet til et kraftverk, magasin, bekkeinntak eller en gruppe av disse. Beregningene er utført av Thore Jarlset i Ressursseksjonen i NVEs Energiavdeling (ER) for perioden 1958-2010.

2.1 Sum Norge

Beregninger vinteren 2012 med Samkjøringsmodellen ga et midlere energitilsig for perioden 1981-2010 på ca. 142 TWh. Av dette gikk omkring 14 TWh til minstevannføring, flomtap eller som forbislipping, slik at midlere nyttbart tilsig ble ca. 128,5 TWh. I løpet av de par siste årene har det kommet til flere nye småkraftverk, i tillegg til at noen eksisterende kraftverk har blitt opprustet/ utvidet. Nyttbart tilsig for perioden 1981-2010 er dermed økt til ca. 130 TWh.

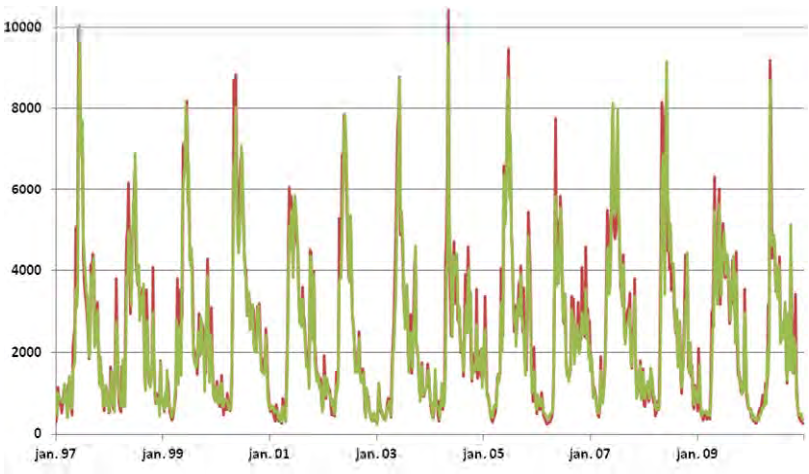
Koblingen mellom de enkelte modulene i Samkjøringsmodellen og tilsigsseriene er basert på et tidligere arbeid (NVE-rapport 7-2008). I denne rapporten ble det foreslått å benytte 84 ulike tilsigsserier, antallet er senere redusert med to, da det viste seg vanskelig å få gode operative HBV-modeller for alle seriene.

Simuleringene viser at det er godt samsvar mellom beregnet nyttbart tilsig i Samkjørings-modellen og nyttbart tilsig beregnet fra Nord Pool (figur 2.1). Det er imidlertid flere årsaker til at slike beregninger alltid vil avvike noe.

For det første er Nord Pools tall basert på faktisk vannkraftproduksjon og endring av magasininnhold fra uke til uke, mens våre beregninger tar utgangspunkt i en beskrivelse av vannkraftsystemet hvor det ikke tas hensyn til at enkelte kraftverk kan være ute av drift på grunn av havari/ eller mindre feil/ vedlikehold.

Dernest dekker den ukentlige magasinstatistikken omkring 97 prosent av den totale magasinkapasiteten (84,3 TWh). Det betyr at det er en magasinkapasitet på drøyt 2 TWh som ikke er med i den ukentlige rapporteringen. Dette er i stor grad små magasiner. Det gir noe ”støy” i Nord Pools beregninger, ved at det nyttbare tilsiget blir noe for høyt/ lavt spesielt når mange av disse magasinene tappes/ fylles til samme tid (samme uke). Hvis derimot disponeringen av disse magasinene er i motfase med hverandre vil ”støyen” i større grad nulles ut.

Videre gjøres beregningene med ukesoppløsning, noe som vil underestimere flomtapet, og i ”simuleringsverden” er året alltid delt i 52 uker, mens det hvert 5-6. år er en uke 53. Videre vil blant annet enkelte bekkeinntak fra tid til annen ha redusert kapasitet på grunn av is, kvist eller annet som stenger vannveien, dette er heller ikke forhold som ”simuleringsverdenen” fanger opp.



Figur 2.1. Nyttbart tilsig 1997-2010 beregnet med NVEs Samkjøringsmodell (rød) og fra Nord Pools tilsigsstatistikk.

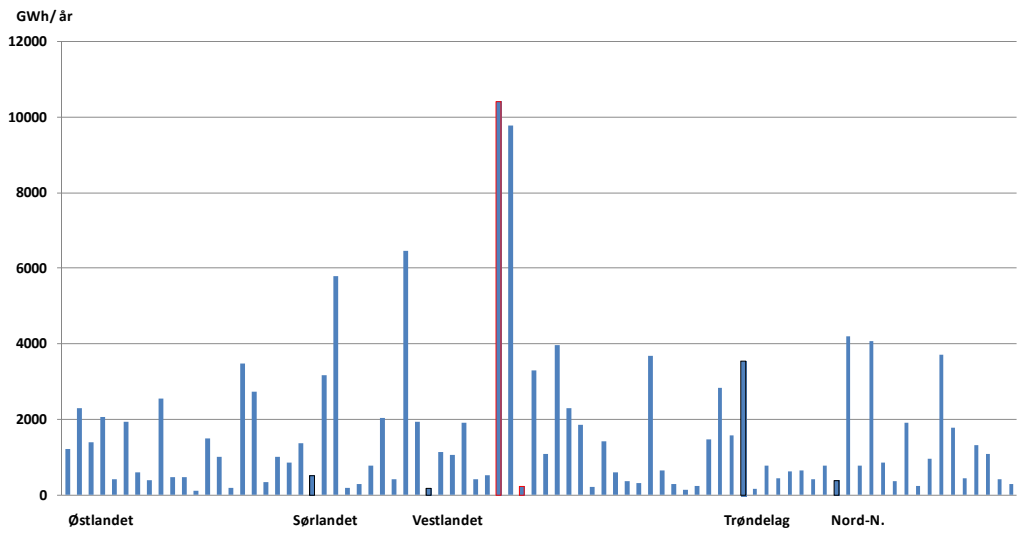
2.1.1 Fordeling på de enkelte tilsigsseriene

Beregningene i Samkjøringsmodellen gir et midlere årlig energitilsig (GWh/ år) for hver av de 82 tilsigsseriene. I sum gir disse 142 TWh/ år. Dette er så skalert med en faktor, som varierer mellom 0,86 og 0,95, for å beregne hvor stort nyttbart tilsig hver enkelt serie representerer. Variasjonen skyldes at det i noen områder av landet er mer flomtap og/ eller en større andel av vannmengden som går til minstevannføring enn i andre områder.

I tillegg er økningen i midlere nyttbart tilsig på 1,5 TWh (fra 128,5 til 130 TWh) fordelt skjønnsmessig på de ulike tilsigsseriene. Økningen har kommet spesielt ved utbygging av småkraftverk fra Rogaland til Troms, men det er også tatt hensyn til oppgradering av enkelte kraftverk, som for eksempel i Glomma.

Fordelingen av nyttbart tilsig mellom de ulike tilsigseriene fremkommer av figur 2.2. Fra denne ser en at tilsigsserien til Hølen representerer det største nyttbare tilsiget i vårt utvalg (10,4 TWh/ år), mens Røykenes-serien er en av de som representerer minst nyttbart tilsig (0,2 TWh).

De 25 seriene med størst nyttbart tilsig utgjør ca. 70 prosent av det totale tilsiget, mens de 25 seriene med minst tilsig bidrar med ca. 5 prosent.

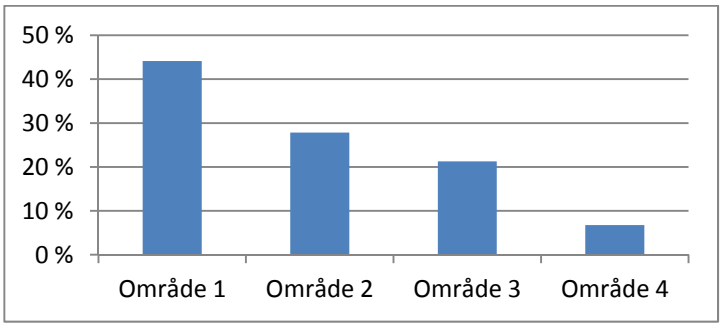


Figur 2.2. Midlere nyttbart tilsig i GWh/ år for perioden 1981-2010 for de 82 tilsigsseriene som benyttes i NVEs Samkjøringsmodell. Overgangen mellom de ulike landsdelene er markert med svarte rammer. Målestasjonene 50.1 Hølen i Kinso og 55.4 Røykenes i Oselva er markert med røde rammer.

2.1.2 Delområde 1- 4

I NVEs Samkjøringsmodell er Norge inndelt i 4 delområder hvor delområde 1 og 2 korresponderer med magasinområde 1 og 2, mens magasinområde 3 er delt i delområde 3 og 4 (figur 2.3). Den relative fordelingen av nyttbart tilsig mellom de ulike delområdene er vist i figur 2.4.

Figur 2.3. Inndelingen av magasinområdene (www.nve.no).



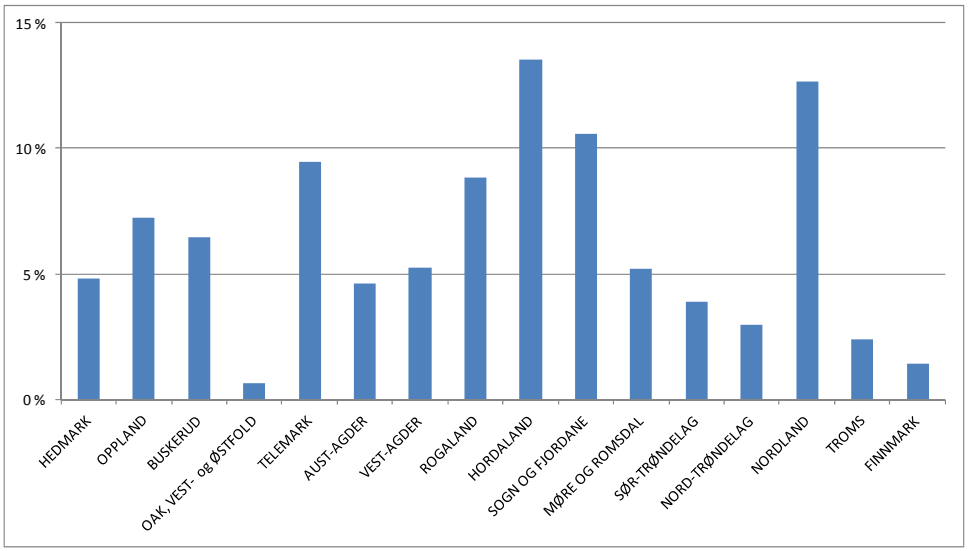
Figur 2.4. Relativ fordeling av nyttbart tilsig 1981-2010 for delområde 1- 4. Data fra Thore Jarlset, NVE-ER.

2.1.3 Fylker

Nyttbart tilsig for hvert enkelt fylke er beregnet ut fra hvilket fylke det enkelte kraftverk ligger i. Oslofjordfylkene Oslo, Akershus, Vestfold og Østfold utgjør så lite av totalen (< 1 prosent), at bidraget fra disse er summert. Telemark, Hordaland, Sogn og Fjordane og Nordland bidrar hver med omkring 10 – 15 prosent av det nyttbare tilsiget (figur 2.5)

Dette sier ikke noe om kraftproduksjonen i de ulike fylkene, men mer om hvilken betydning nedbør eller mangel på nedbør i de ulike delene av landet har for den totale vannkraftproduksjonen.

Det er heller ikke alltid full overensstemmelse mellom det fylket et kraftverk ligger i og området som bidrar med lokaltilsig til kraftverket. For eksempel ligger deler av lokalfeltet til Solbergfoss kraftverk i Oppland fylke, mens kraftverket ligger i Østfold. Hele energitilsiget fra lokalfeltet til Solbergfoss kraftverk blir derfor regnet med i summen for Oslofjordfylkene.



Figur 2.5. Relativ fordeling av nyttbart tilsig 1981-2010 for hvert enkelt fylke.

3 Kvantifisering av energiinnhold, fra mm vann til TWh

Et kraftverk som ligger ved havnivå og utnytter vann fra et magasin som ligger ca. 1000 moh. produserer omkring 2 kWh/m³ vann som går gjennom kraftverkets turbiner. Tilsvarende vil et kraftverk som utnytter et fall på 10 m produsere omkring 1/100 av den samme energimengden med tilsvarende mengde vann, det vil si ha en energiekvivalent på ca. 0,02 kWh/m³.

Har man et nedbørfelt på 100 km^2 som drenerer til et magasin som ligger 1000 moh. vil et snømagasin på 500 mm tilsvare en potensiell energimengde på 100 GWh om all snøen smelter og går til kraftproduksjon. Regnestykket er:

100 km^2 x 500 mm x 2 kWh/m³ = 50 000 000 m³ x 2 kWh/m³ = 100 000 000 kWh = 100 GWh = 0,1 TWh

Ved snøsmelting vil imidlertid en god del smeltevann gå til oppfylling av grunn- og markvannsmagasin. Noe av dette vil ”forsvinne” via trær og andre planters vannforbruk (evapotranspirasjon), mens mye vil bli ”forsinket” på veien til vassdraget. Avhengig av været forutgående sommer og høst, vil en større eller mindre andel enn normalt av smeltevannet midlertidig lagres i grunnen. Gitt at man har hatt en tørr høst og underskuddet i mark- og grunnvann er 250 mm, tilsvarer det i eksempelet over halve snømagasinet. For et magasin på 1000 moh. med et nedbørfelt på 100 km^2 utgjør dette en energimengde på 50 GWh.

3.1 Nedbørenergi

Ved beregning av nedbørenergi er fordampning trukket fra nedbøren for å beregne ”effektiv” nedbør. Denne er så multiplisert med en faktor som er bestemt ut fra forholdet mellom midlere årlig energitilsig (GWh/ år) og midlere effektiv nedbør (mm/år) for den enkelte serie. Alle middelverdier er beregnet for 30-årsperioden 1981-2010.

For våre to eksempelfelt Hølen og Røykenes er regnestykkene som følger:

	Hølen	Røykenes
Nedbør:	1736 mm/ år	3668 mm/ år
Fordampning:	125 mm/år	379 mm/år
Effektiv nedbør:	1611 mm/år	3290 mm/år
Nyttbart energitilsig:	10417 GWh/år	224 GWh/ år
Omregningsfaktor:	10417 GWh/1611 mm = 6,47 GWh/mm	224 GWh/3290 mm = 0,07 GWh/mm

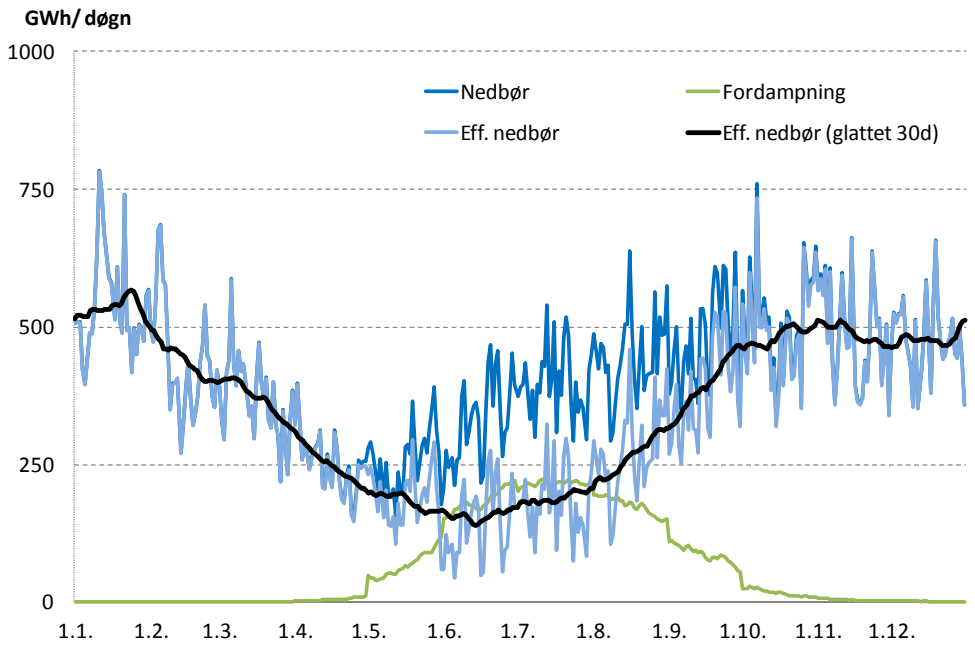
Det betyr at 100 mm effektiv nedbør representerer en nedbørenergi på 647 GWh i nedbørfeltet til Hølen, men kun 7 GWh i feltet til Røykenes.

Variasjonen i nedbørenergi gjennom året er vist i figur 3.1. Den mørkeblå kurven viser beregnet nedbørenergi direkte fra nedbørdataene. I sum tilsvarer dette 154 TWh/ år. Av dette går i gjennomsnitt ca. 24 TWh ”tapt” som fordampning. Dette ”tapet” er naturlig nok i sommerhalvåret, når temperaturen er høyest og plantenes vannforbruk størst. Effektiv nedbørenergi balanserer dermed det nyttbare tilsiget på 130 TWh/ år (lyse blå kurve).

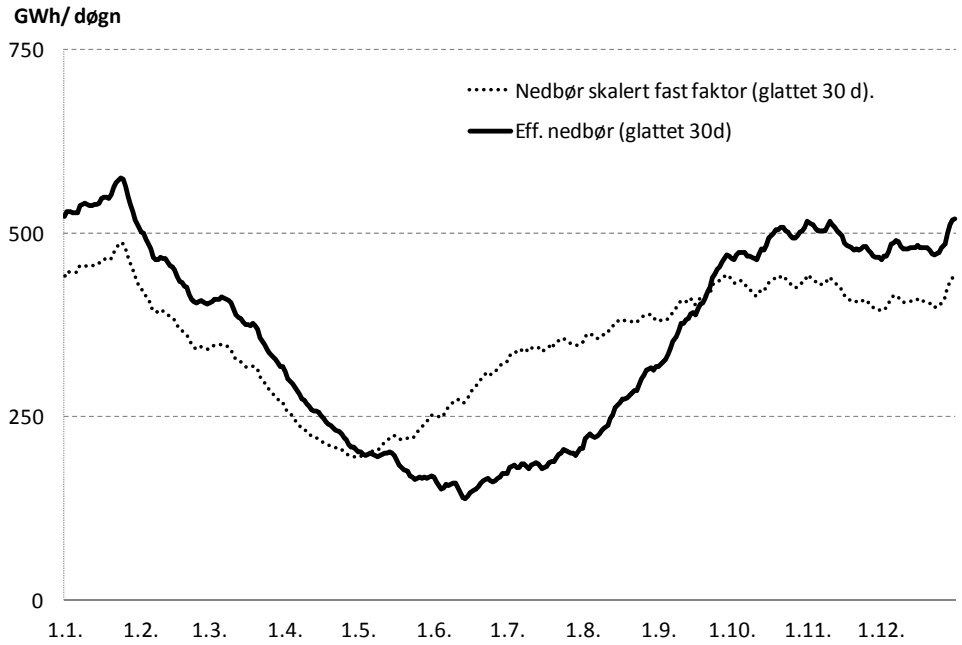
Det er en betydelig variasjon fra dag til dag i beregnet gjennomsnittlig nedbørenergi for perioden 1981-2010. For eksempel varierer det mellom ca. 400 og 800 GWh/ døgn i starten av januar. Dette beror på tilfeldigheter, for eksempel fordi det har kommet svært mye nedbør på enkelte datoer flere ganger i løpet av 30-årsperioden. For å få en mer stabil nedbørnormal er derfor døgndataene midlet over 30 døgn. Det gir for januar en variasjon fra omkring 500 til 580 GWh/ døgn.

En ser og av figur 3.1 at det er høst- og vintermånedene som har størst nedbørenergi. I gjennomsnitt kommer omkring 35 prosent av nedbørenergien i månedene oktober – desember, 30 prosent fra januar – mars, 15 prosent fra april – juni og 20 prosent fra juli til september.

Tidligere (til og med 2012), benyttet vi en fast skaleringsfaktor gjennom hele året for å justere for fordampningstapet. Ved å ta hensyn til at fordampningen varierer gjennom året ”flyttes” nedbørenergi fra sommeren mot høst og vinter (figur 3.2). Dette gir en riktigere beskrivelse av forholdene.



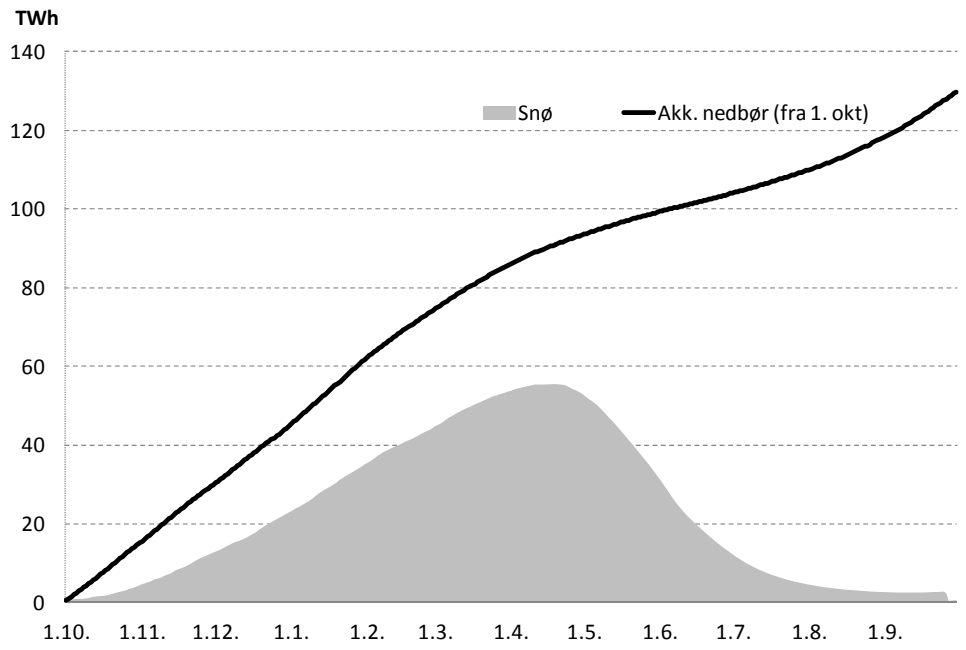
Figur 3.1. Variasjonen i nedbørenergi (GWh/ døgn) gjennom året. Den mørkeblå kurven viser beregnet nedbørenergi direkte fra nedbørdataene, den grønne beregnet fordampningstap. Effektiv nedbørenergi(lyseblå kurve) er beregnet som differansen mellom disse. Den svarte kurven viser effektiv nedbørenergi glattet over 30 døgn.



Figur 3.2. Variasjonen i nedbørenergi (GWh/ døgn) gjennom året. Den heltrukne kurven viser effektiv nedbørenergi, beregnet som differansen mellom nedbør og fordampning. Den stiplede kurven viser nedbørenergi skalert med en fast faktor for å justere for fordampningstapet.

3.2 Snømagasin, energiinnhold

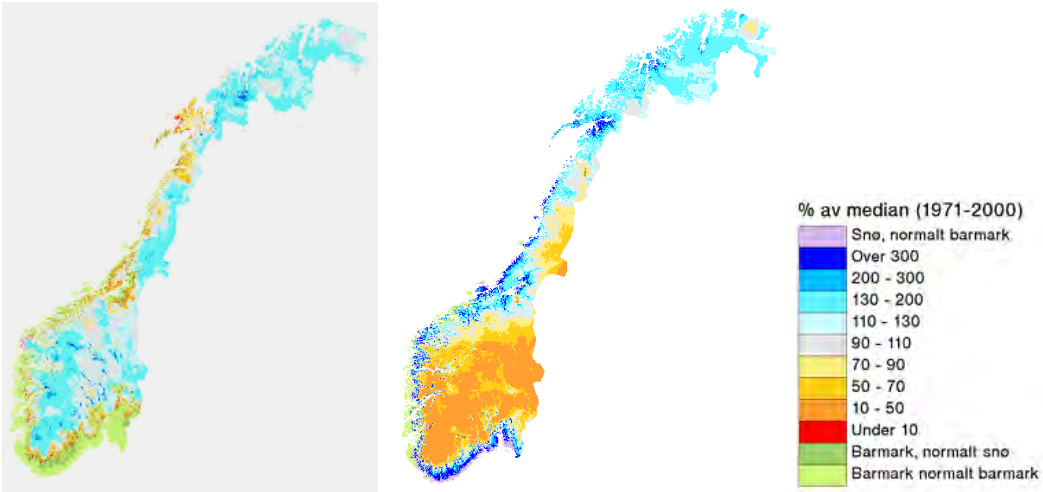
Utviklingen av snømagasinet gjennom året er vist i figur 3.3. Det er en nokså jevn vekst i snømagasinet fra desember og ut mars med en gjennomsnittlig økning på 9 – 12 TWh/måned. I følge våre beregninger kulminerer snømagasinet normalt i midten av april med omkring 58 TWh. Det betyr at av nedbøren som kommer fra oktober til midten av april, lagres nesten 65 prosent i snømagasinet. Innen utgangen av juni er normalt 46 TWh av snømagasinet smeltet og ved utgangen av juli er omkring 54 TWh smeltet.



Figur 3.3. Midlere snømagasin (skravert) og akkumulert nedbørenergi (heltrukket linje) i TWh for perioden 1981-2010. Verdiene er basert på beregninger med 82 HBV-modeller og en omregningsfaktor fra mm vann til TWh for hver enkelt modell.

Foreløpige beregninger viser at de største snømengdene som har vært lagret i magasinområdene fra 1981-2010 var våren 1993 (figur 3.4). Det var da mer snø enn normalen i fjellområdene over store deler av landet. Av størst betydning for kraft-situasjonen var mye snø i fjellet i Sør-Norge og på indre strøk av Nord-Trøndelag og Nordland. De totale snømengdene tilsvarte i følge våre beregninger en energimengde på omkring 84TWh, eller 26 TWh mer enn normalen.

Vinteren 1995/ 96 var det svært lite snø i Sør-Norge, og snømagasinet kulminerte da i starten av april (figur 3.4). Omregnet i energiinnhold kulminerte snømagasinet med ca. 33 TWh, eller 25 TWh mindre enn normalen. Dette er det minste snømagasinet gjennom 30-årsperioden.



Figur 3.4. Snømengde (vannekvivalent) i prosent av normalt 22. april 1993 (venstre) og 7. april 1996 (høyre). Normalen for dette kartet er beregnet for perioden 1971-2000.

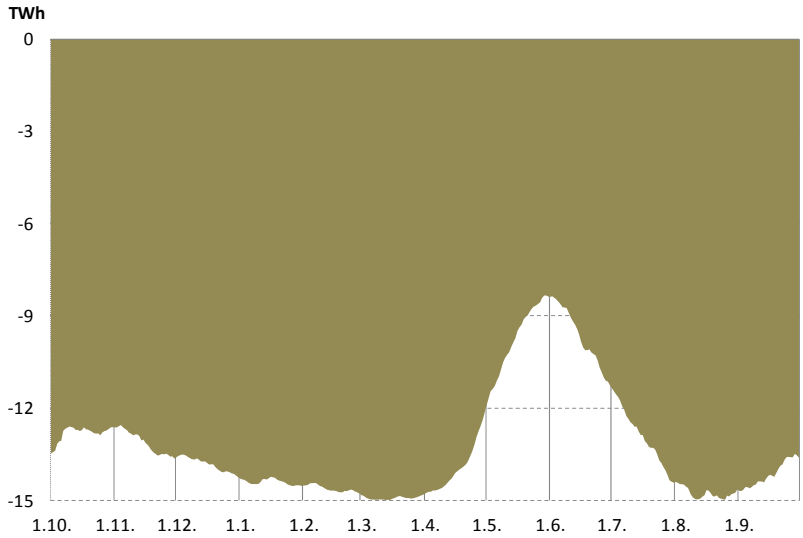
3.3 Antall TWh ”bundet” i mark- og grunnvann

Lagerkapasiteten i mark-og grunnvann er beregnet som avvik i forhold til maksimalt lagret vann i mark- og grunnvann i løpet av 30-årsperioden 1981-2010 for hvert enkelt felt.

I figur 3.5 er variasjonen av midlere vannlagerkapasitet i mark- og grunnvannet gjennom året vist. I gjennomsnitt er de fuktigste forholdene i bakken i overangen mai/ juni på grunn av forutgående snøsmelting, og lagerkapasitet reduseres da fra ca. 15 TWh i april til ca. 8 TWh i starten av juni. Litt forenklet vil da i gjennomsnitt omkring 7 TWh, eller 10 – 15 prosent av snømagasinet gå til oppfylling av mark- og grunnvann.

I ”modellverdenen” øker så gjennomsnittlig lagerkapasitet til omkring 15 TWh i løpet av sommeren igjen, og varierer deretter mellom ca. 12 og 15 TWh frem til starten av neste smeltesesong.

Hvis alle felt samtidig er på sitt fuktigste i løpet av perioden 1981-2010, er det i våre HBV-modeller i gjennomsnitt lagret 330 mm i mark- og grunnvannet (jmf. figur 1.14). Omregnet i energienheter tilsvarer dette ca. 31 TWh. Tilsvarende, hvis alle felt samtidig er på sitt tørreste, ville det fortsatt vært lagret 110 mm vann i grunnen, tilsvarende 10 TWh. Det gir en teoretisk maksimal variasjon av vann lagret i grunnen på omkring 21 TWh i løpet av 30-årsperioden.



Figur3.5. Gjennomsnittlig vannlagerkapasitet i mark- og grunnvannet. Lagerevnen er beregnet i forhold til høyeste simulerte vanninnhold for hvert enkelt modellfelt i perioden 1981-2010.

I praksis vil imidlertid ikke alle felt være tørre/ gjennomvåte til samme tid. Foreløpige analyser viser at i 30-årsperioden 1981-2010 var for Norge under ett august 2002 blant de med størst beregnet underskudd i mark- og grunnvann , mens juni 2008 er blant de fuktigste (figur 3.6). I juni 2008 ser en at samtidig som det var svært fuktig i store deler

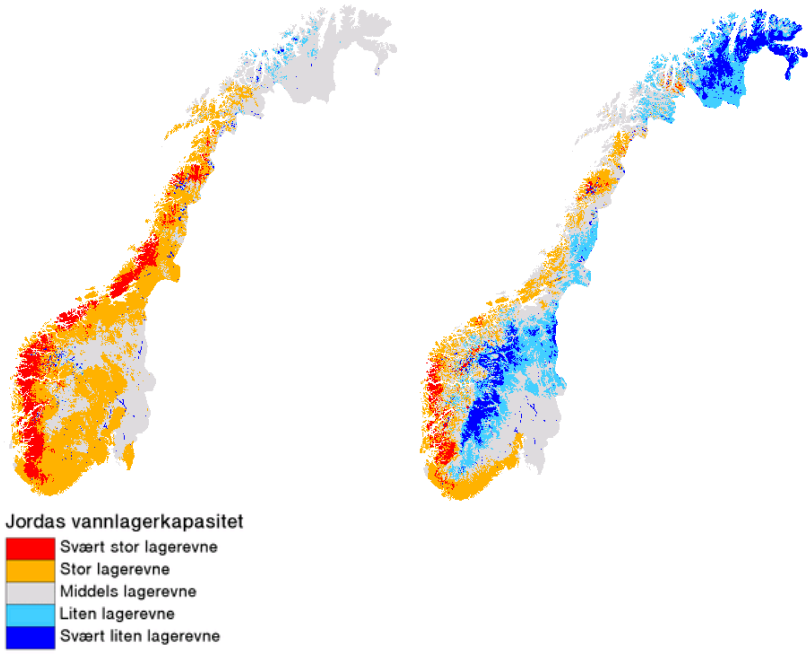
av fjellet i Sør-Norge, på indre strøk av Trøndelag og i Troms og Finnmark, var det tørt i de lavereliggende områder helt fra Oslofjorden til Nordlandskysten.

Vannmengdene lagret i mark- og grunnvann tilsvarte i august 2002 omkring 12 TWh. Dette kan regnes som ikke aktivt mark- og grunnvann. I starten av juni 2008 var det ifølge våre beregninger lagret omkring 25 TWh i grunnen. Foreløpige analyser viser at vi i løpet av 30-årsperioden har hatt en variasjon på ca. 13 TWh vann lagret i mark- og grunnvann.

Lagerkapasitet, er som beskrevet ovenfor, beregnet som avvik i forhold til maksimalt lagret vann i mark- og grunnvannet. Det vil si at det i starten av juni 2008 fortsatt var en beregnet lagerkapasitet på ca. 6 TWh (31 TWh – 25 TWh), en vesentlig del av dette skyldes sannsynligvis at det var tørt i mange lavereliggende områder. I august 2002 var beregnet lagerkapasitet 19 TWh (31 TWh – 12 TWh).

I forhold til den normale årsvariasjonen var det i juni 2008 omkring 2 TWh fuktigere enn normalen i mark- og grunnvannet, mens det i august 2002 var omkring 4 TWh tørrere enn normalen.

For de ukentlige energiberegningene legges avviket i forhold til normalen til grunn.



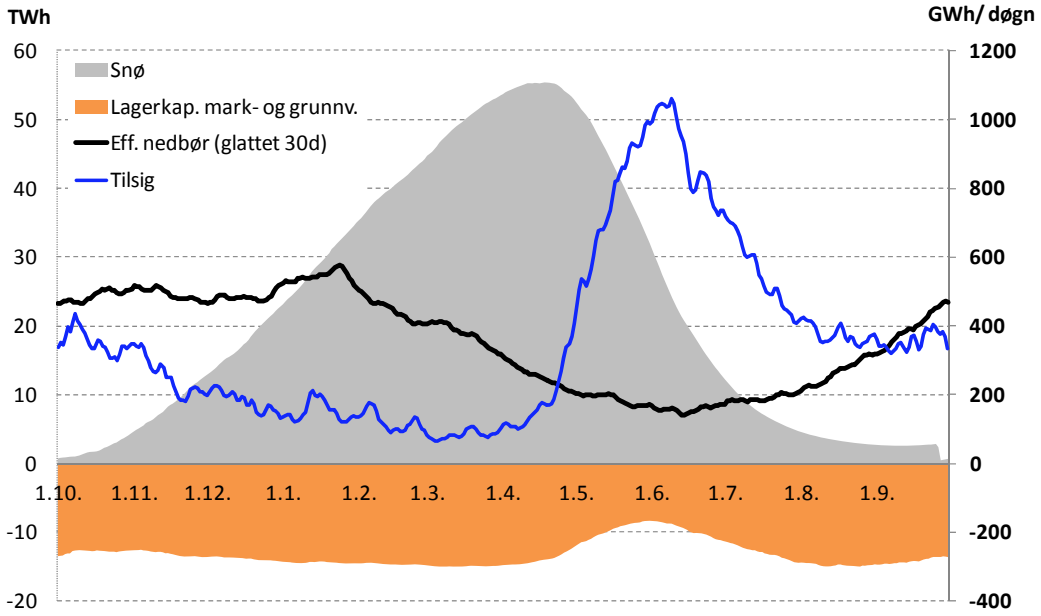
Figur 3.6. Jordas vannlagerkapasitet 29. august 2002(venstre) og 3. juni 2008 (høyre). Lagerevnen i mark- og grunnvann er beregnet i forhold til høyeste simulerte metning i perioden 1981-2010.

3.4 Samlet vannbalanse i TWh

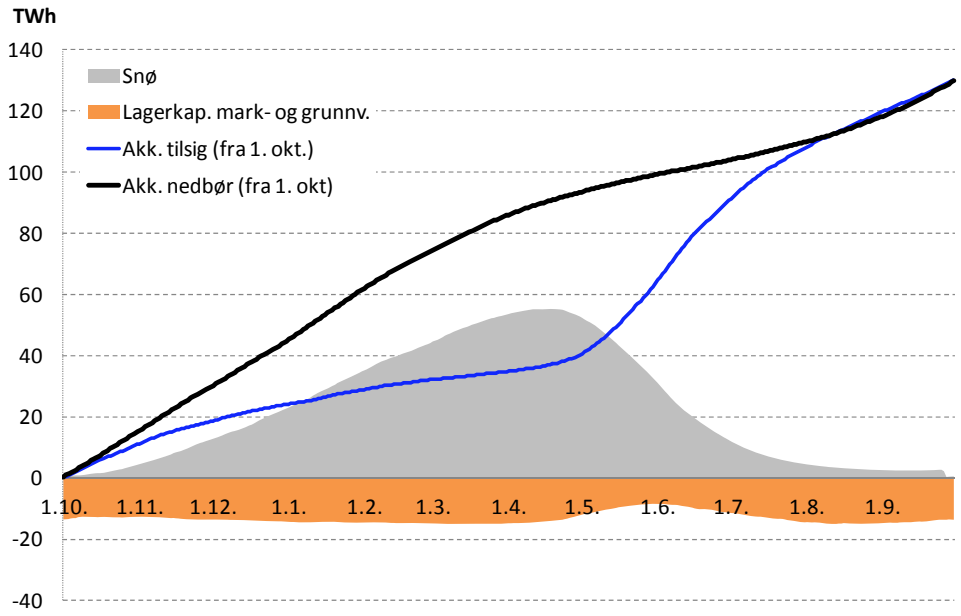
I figur 3.7 og 3.8 er den samlede vannbalansen illustrert. Fra figur 3.7 ser en at midlere tilsig er størst i starten av juni. Dette faller sammen med årsminimum for effektiv nedbør (nedbør – fordampning), og det store tilsiget skyldes åpenbart snøsmelting.

I starten av juni er vanligvis store deler av landet snøfritt, men da har smeltingen i høyfjellet kommet i gang, og det er her de største snømengdene målt i TWh er. I følge våre beregninger reduseres snømagasinet med gjennomsnittlig 0,8 - 1 TWh/ døgn i overgangen mai/ juni. Samtidig vil det normalt være en relativt høy grunnvannstand i lavlandet på grunn av forutgående snøsmelting, noe som medfører at en har relativt høy avrenning også fra mange snøfrie områder.

Tilsiget har en sekundær topp i starten av oktober. Det skyldes økt nedbør, redusert fordampning og at nedbøren tidlig på høsten normalt faller som regn også i fjellet.



Figur 3.7. Midlere årsvariasjon (1981-2010) i snømagasin og lagerkapasitet for mark- og grunnvann målt i TWh og nyttbart tilsig og nedbørenergi i enheten GWh/ døgn.



Figur 3.8. Midlere årsvariasjon (1981-2010) i snømagasin og lagerkapasitet for mark- og grunnvann og akkumulert nyttbart tilsig og nedbørenergi i TWh.

I figur 3.8 er blant annet akkumulert nedbør og nyttbart tilsig vist. Starten av akkumulasjonssesongen er satt til 1. oktober, da er vanligvis snømagasinet på minimum. Fra figuren ser en at akkumulert tilsig er noe større enn akkumulert nedbør fra midten av august og utover i september. Det kan forklares med avsmelting fra breer, mens avviket er tilbake til ”null” i slutten av september, samtidig som da siste rest av snø ”forsvinner”. Dette er snø som i modellene våre oversomrer, og da særlig i høyereliggende breområder. Denne snøen ”fjernes” fra modellene før ny akkumulasjonssesong, og balanserer omtrent tilsigsoverskuddet i august. Det er dermed tilnærmet balanse mellom nedbørenergi og beregnet nyttbar tilsig i løpet av et år i vårt modelloppsett.

3.5 Verktøy for prognosering av energitilsig

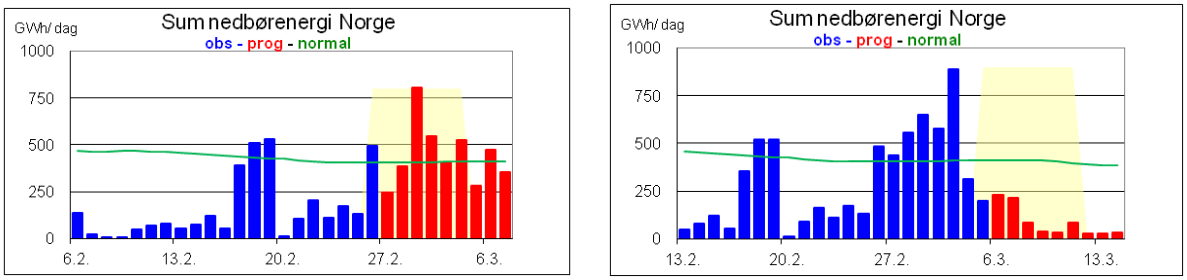
I kraftsituasjonsrapporten som NVE utarbeider hver onsdag, blir det på NVEs hjemmesider (www.nve.no) lagt ut informasjon om blant annet ventet tilsig og nedbørenergi for den kommende uka. I tillegg distribueres mer detaljert informasjon om kraftverkshydrologiske og meteorologiske forhold både internt i NVE og til Statnett.

Prognosene bygger på et utvalg av HBV-modeller som er i operativ bruk i NVEs flomvarslingstjeneste. Disse kjøres daglig, mens energitilsigsprognosene oppdateres ukentlig.

3.5.1 Meteorologiske data

Inngangsdata til HBV-modellene er meteorologiske observasjoner og prognoser levert fra Meteorologisk Institutt. De observerte dataene består av et landsdekkende grid med oppløsning på 1x1 km^2. Observasjonsgridet er basert på daglige data fra 4-500 stasjoner. Det foretas fortløpende kontroller av observasjonene, og gridet blir regenerert en gang i uka for å korrigere for eventuelle feil. Det medfører at beregnet nedbørenergi også vil bli korrigert den påfølgende uka. Et eksempel på dette er vist i figur 3.9, hvor for eksempel observert nedbørenergi for 22. februar er beregnet til ca. 200 GWh i uke 9 og til ca. 160 GWh i uke 10.

Beregning av nedbørenergi er basert på effektiv nedbør, eller nedbør fratrukket fordampning (evapotranspirasjon). Det betyr at spesielt i tørre perioder på sommeren, vil man kunne få negativ nedbørenergi.



Figur 3.9. Beregnet nedbørenergi i GWh/ dag beregnet i uke 9 og 10 i 2013. De blå søylene er basert på observert nedbør siste 21 døgn og de røde søylene på prognoser for de kommende 9 døgn.

Meteorologisk institutt har en rekke tilgjengelige varslingsmodeller, hver med sine styrker og svakheter. Det er ikke gitt at modellen(e) som er best i en situasjon med vestavær, gir best resultat ved for eksempel vind og nedbør fra sørøst. Pr. mars 2013 benyttes UM4-prognoser (Met Office Unified Model) i flomvarslingas prognosemodeller. Det er en modell som gir nedbør- og temperaturprognoser for de nærmeste 2 døgn med en oppløsning på 4 x 4 km^2, dette disaggregeres deretter til 1x1 km^2. Denne prognosen er planlagt erstattet av ”proff-default” i løpet av 2013, hvor ”proff-default” er den prognosemodellen varslingsmeteorologen til enhver tid har størst tiltro til.

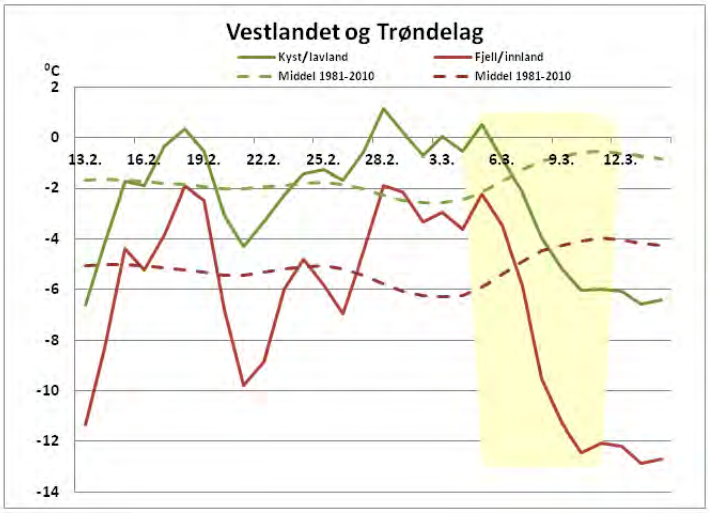
For dag 3 til 9 i prognoseperioden benyttes EC-prognoser (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Det er for tiden ingen planer med å erstatte disse med resultater fra andre prognosemodeller.

Det gjøres også noen grove temperaturberegninger for ulike landsdeler. Beregningene er basert på en gruppering av vårt utvalg av nedbørfelt (82) som enten kyst-/ lavlandsfelt eller fjell-/ innlandsfelt og fordelt på de geografiske regionene Øst- og Sørlandet, Vestlandet pluss Trøndelag og Nord-Norge. Antall stasjoner i hvert område fremgår av tabellen under. Det er naturlig nok langt flere stasjoner som representerer forholdene i fjellet/ innlandet enn lavlandet og kystområdene, da hovedfokuset er å ha modeller som representerer tilsiget til det norske vannkraftsystemet på en god måte.

Temperaturer for de ulike områdene er beregnet som det aritmetiske middelet av temperaturene fra de nedbørfeltene som inngår i den aktuelle gruppen. I figur 3.10 er det vist et eksempel på dette.

Tabell 3.1. Antall nedbørfelt som inngår i beregning av temperatur i de ulike delene av landet.

	Øst- og Sørlandet	Vestlandet-Trøndelag	Nord-Norge
Kyst-/ lavlandsfelt	6	9	5
Fjell-/ innlandsfelt	22	29	11



	Vestlandet og Trøndelag	
Ukenr	Kyst/ lavland	Fjell/ innland
8	-2,3	-6,4
9	-0,3	-3,6
10	-3,4	-8,1
Avvik i forhold til midlere temperatur 1981-2010		
8	-0,4	-1,1
9	2,0	2,3
10	-2,2	-3,4

Figur 3.9. Beregnet temperatur for kyst-/ lavlandsområder og fjell/ innlandsområder på Vestlandet og Trøndelag fra 13. februar til 14. mars 2013(uke 8-10). De stiplede kurvene viser beregnet normaltemperatur (1981-2010). Det skraverte området markerer uke 10, prognoseperioden.

3.5.2 Mark- og grunnvannsmagasin

Lagerkapasiteten i mark- og grunnvannet er som tidligere beskrevet, beregnet i forhold til maksimalt lagret vann i mark- og grunnvann i løpet perioden 1981-2010. Maksimal kapasitet tilsvarer om lag 31 TWh (se kap. 3.3).

Den aktuelle lagerkapasiteten blir da differansen mellom sum vanninnhold i mark- og grunnvannet (i GWh) for de 82 nedbørfeltene og den maksimale kapasiteten. I figur 3.10 er det vist eksempel på en slik beregning, hvor modellert lagerkapasitet i februar/ mars 2013 er 14 - 15 TWh. Det er som normalt (jmf. figur 3.5).

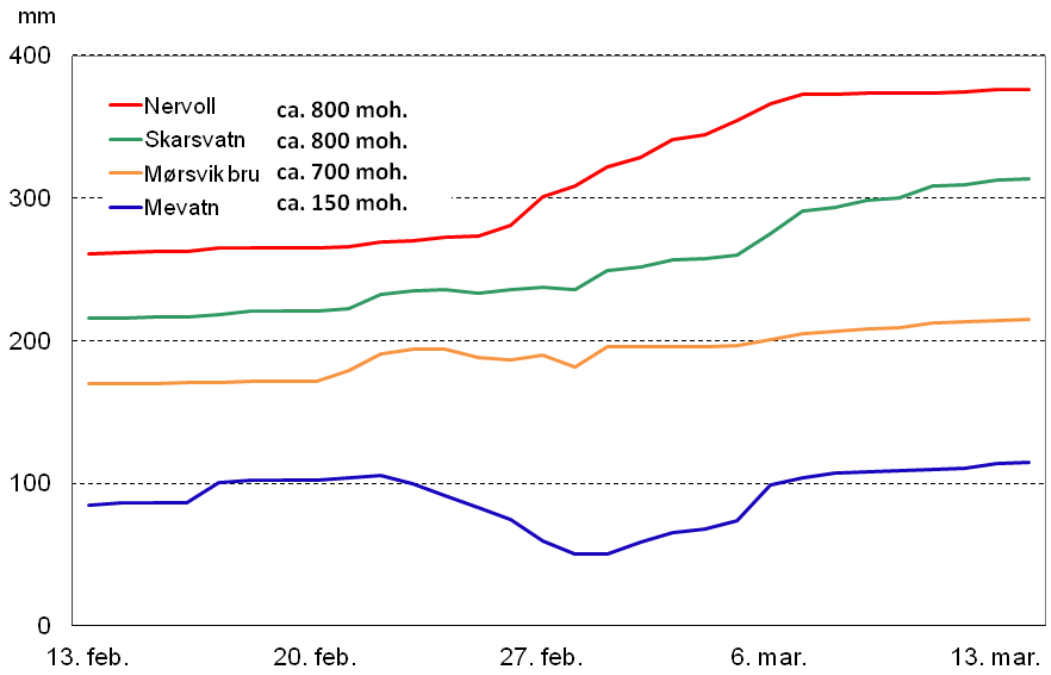
Figur 3.10. Lagerkapasitet i mark- og grunnvann 13. februar – 14. mars 2013. Normal lagerkapasitet for perioden 1981-2010 er vist med stiplet grønn strek.

3.5.3 Snømagasin

Det gjøres beregninger av snømagasin i de 82 nedbørfeltene basert på observerte og prognoserte meteorologiske data. Det gjøres ingen manuell korreksjon av beregnede snømengder mot for eksempel observerte snødybder, satellittbilder eller annet som kan gi oss informasjon om den aktuelle snøsituasjonen. Vår erfaring (NVEs flomvarsling) så langt er at modellene i sum ikke gir bedre vannføringsprognoser ved slik oppdatering (Alfnes m.fl. 2005). Det kan blant annet skyldes at det i modellene (og i naturen) er en vekselvirkning mellom vann lagret i snømagasinet og i mark- grunnvannsmagasinet. Det gjør slike manuelle korrigeringer både krevende og usikre.

Det arbeides imidlertid kontinuerlig med forbedring av beregningene, både ved å forbedre input til modellene (meteorologiske data) og ved rekalibrering av modellene. Våre HBV-modeller antas per mars 2013 å gi et realistisk bilde av snøforholdene i hele landet.

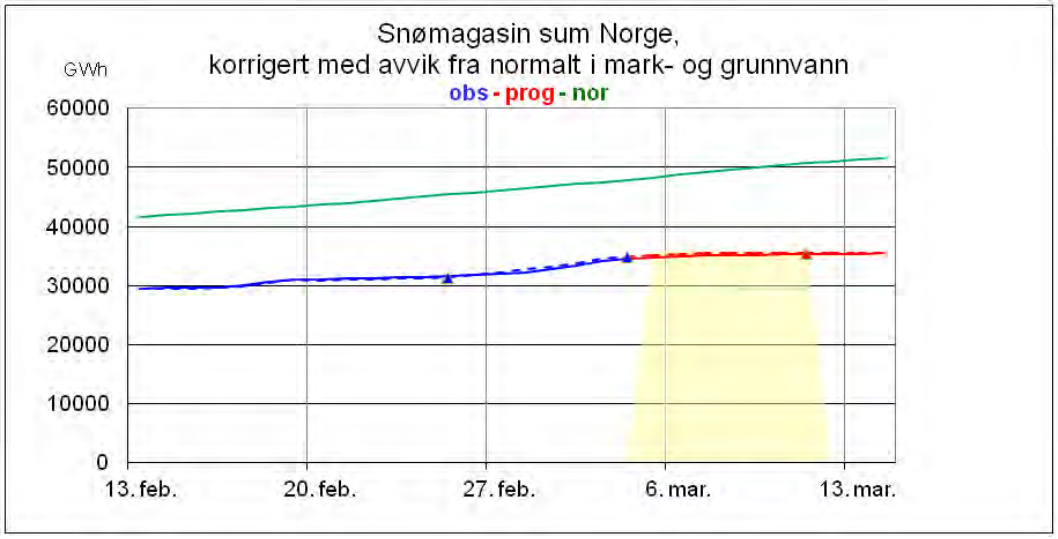
I figur 3.11 er det vist et eksempel på utviklingen av snømagasinet i februar/ mars 2013 for fire felt i Nordland. Her var det en periode med mildvær og nedbør rundt månedsskiftet, det resulterte i reduserte snømengder i lavlandet, men økning i fjellet.



Figur 3.11. Beregnet snømagasin i mm for fire nedbørfelt i Nordland i februar og mars 2013.

Beregnede snømengder i mm skaleres med en omregningsfaktor for å finne snømengder i GWh representert ved hver enkelt nedbørfelt. Dette summeres så for våre 82 modellfelt til å gi summen for hele landet (figur 3.12). I denne figuren er det også valgt å legge inn beregnet avvik fra normalt i mark- og grunnvann. Dette for å illustrere om en må vente at en større eller mindre andel enn normalt av snømagasinet vil gå til oppfylling av mark- og grunnvann. Fra figur 3.12 ser en at midt i mars 2013 er det i følge våre beregninger lagret

om lag 15 TWh mindre snø enn normalt, mens mark- og grunnvannsforholdene er tilnærmet normale.



Figur 3.12. Beregnet snømagasin for Norge i GWh fra 13. februar – 14. mars 2013. Perioden som er basert på observerte nedbør og temperaturdata er vist med blå strek og prognoseperioden med rød strek. Snømagasin justert for avvik fra normalt i mark- og grunnvann er vist med stiplede streker. Normalen (1981-2010) er vist med grønn strek.

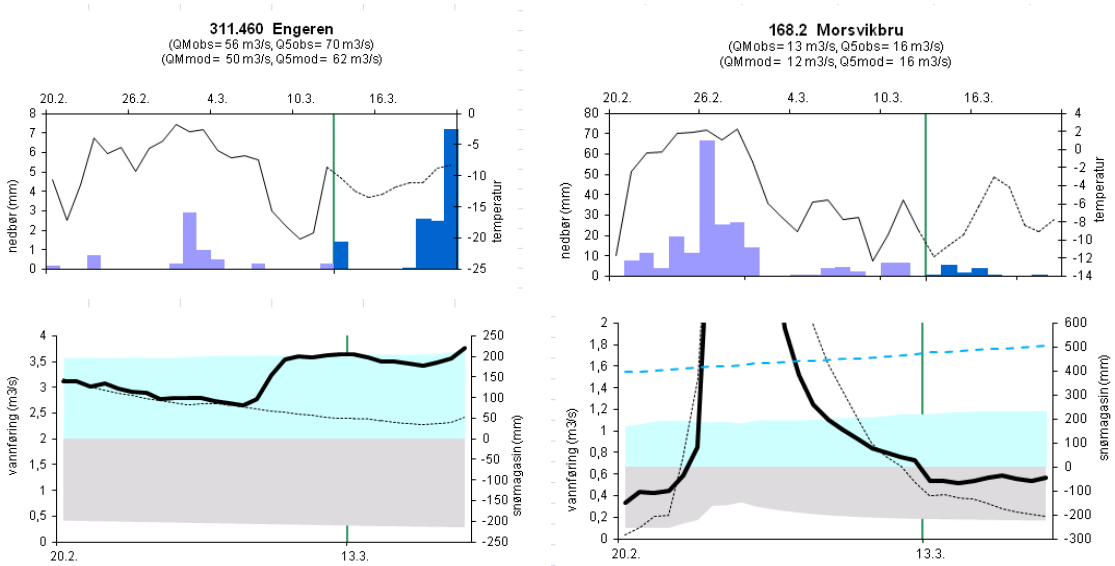
Tabell 3.2. Beregnet snømagasin, samt avvik fra normalt i mark- og grunnvann i GWh for det norske vannkraftsystemet våren 2013. Beregningene er basert på simuleringer med 82 HBV-modeller.

Ukenr	Snømagasin GWh	Awik mark- og grunnvann GWh	Sum snømag og awik mark- og grunnvann GWh	Normal GWh	**Avvik fra normal, snø, mark- og gr.vann GWh**	% av normal
8	31517	-142	31375	45383	**-14008**	69 %
9	34506	391	34897	47863	**-12966**	73 %
10	35326	167	35493	50664	**-15170**	70 %

3.5.4 Energitilsig

De ukentlige energitilsigsprognosene blir beregnet med utgangspunkt i prognosert vannføring i våre 82 HBV-modeller. For hver enkelt av de 82 seriene vurderes det om beregningene skal baseres på vannføring generert direkte av HBV-modellen, eller om en skal benytte modellberegnet vannføring som er korrigert mot observert vannføring.

Vinterstid er ofte målestasjonene i vassdragene våre påvirket av is. *Forskjellen mellom vannstanden i en elv med og uten is – med den samme vannføringen – kalles isopptuving. Isoppstuvingen avhenger blant annet av lokale forhold i elveleiet og varierer derfor langs elva. Noen steder kan isoppstuvingen være flere meter (Asvall, 2010).* Dette medfører at den vannstanden som observeres gir for stor vannføring. I figur 3.13 er dette illustrert for målestasjonen Engeren i Trysilvassdraget. I starten av mars 2013 ser en at observert vannføring øker, samtidig som temperaturen faller ned mot -20°C. Vannføringsøkningen er åpenbart ikke reell og skyldes oppbygging av is nedstrøms eller ved målestasjonen. I en slik situasjon vil HBV-modellens beregnede vannføring for Engeren legges til grunn for beregning av både energitilsig for uka som har gått og energitilsigsprognosen for den kommende uka.

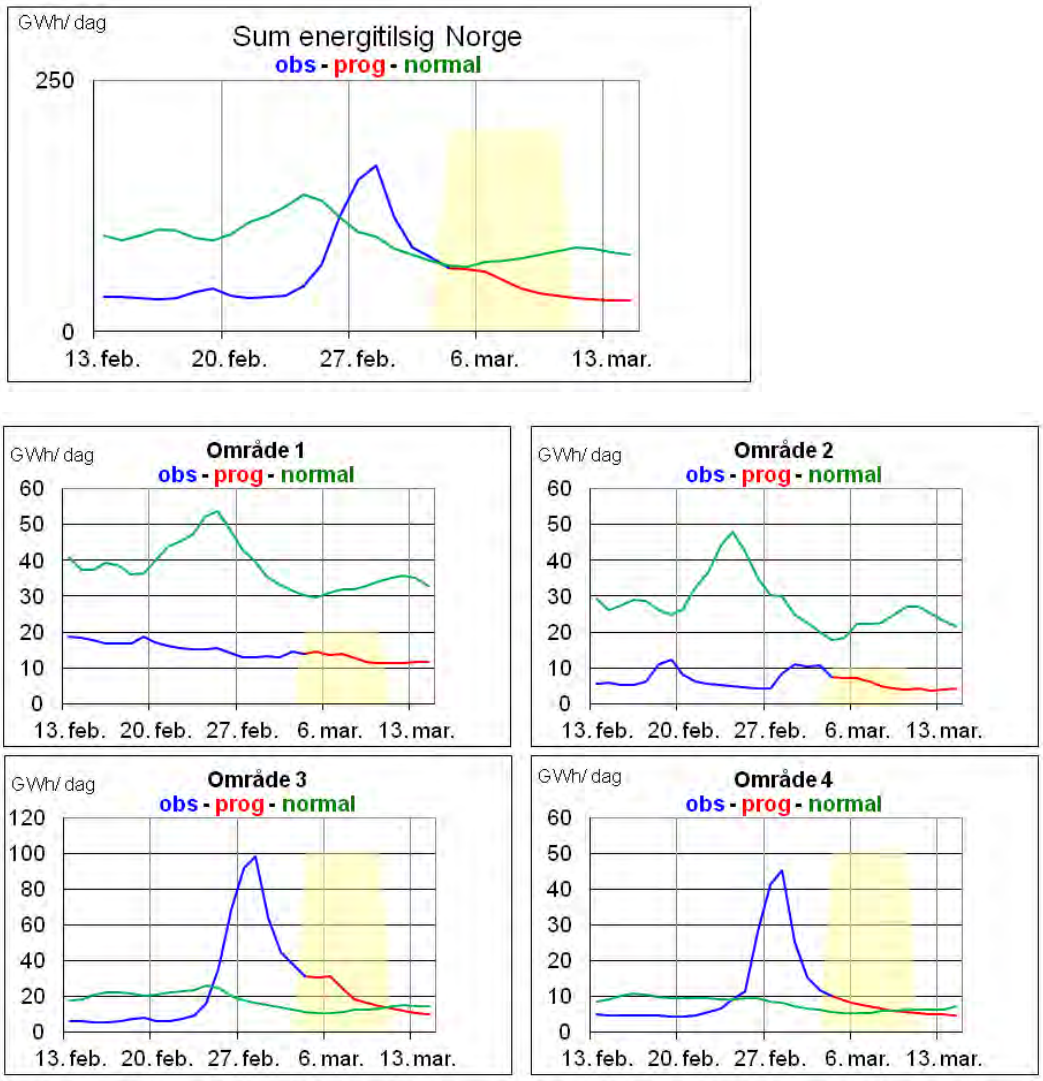


Figur 3.13. Resultater fra HBV-modellen for Engeren og Mørsvik bru for februar/ mars 2013. Data før 13. mars er basert på observasjoner, deretter prognoser. I øvre del er nedbør (mm/døgn) og temperatur (°C) vist. I nedre del er lagerkapasitet i mark- og grunnvann og vanninnhold i snømagasinet vist. Observert og simulert vannføring er vist med henholdsvis fet heltrukket og stiplet strek.

I figur 3.13 er også HBV-modellens resultater for målestasjonen Mørsvik bru vist. Her ser en at simulert vannføring (stiplet strek) er lavere enn den observerte (fet heltrukket) både før mildværsperioden omkring 26. februar og omkring prognosetidspunktet 13. mars. Etter 13. mars viser den heltrukne linja den korrigerte vannføringsprognosen,

korreksjonen er automatisert. I dette tilfelle er det grunn til å tro at modellen underestimerer vannføringen, og vi vil da benytte observert vannføring til beregning av foregående ukes energitilsig, og korrigert vannføringsprognose ved beregning av energitilsigsprognosen.

I figur 3.14 er et eksempel på beregnet energitilsig for februar og mars 2013 vist. I henhold til disse beregningene har tilsiget periodevis vært godt over normalt i område 3 og 4, mens det har vært omkring 20 – 40 prosent av normalen i område 1 og 2.



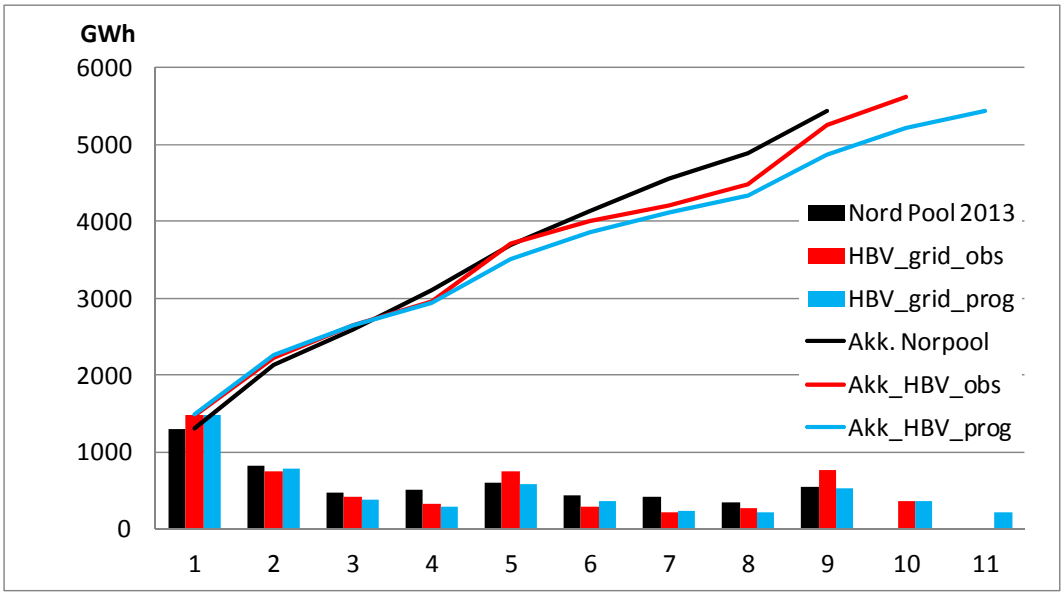
Figur 3.14. Beregnet energitilsig for det norske vannkraftsystemet i februar-mars 2013. Beregningene er basert på 82 representative stasjoner. Det er dels benyttet observerte og dels modellberegnede (HBV) vannføringer. Prognoseperioden er markert med rød strek.

Dette prognoseverktøyet ble tatt i bruk fra nyttår 2013. I figur 3.15 er nyttbart energitilsig beregnet med dette verktøyet sammenlignet med tall fra Nord Pool for de første ukene i 2013. En ser av figuren at det er rimelig godt samsvar mellom beregnet tilsig ut fra

”observerte” vannføringer (dvs. en blanding av reelt observerte vannføringer og simulerte vannføringer basert på observert nedbør og temperatur for målestasjoner som er isoppstuvet) (rød kurve/ søyle) og dataene fra Nord Pool (Svart kurve/ søyle).

Enkelte uker kan det skje en forskyvning mellom de ulike beregningene. Det kan for eksempel skyldes nedbør/ mildvær ved overgangen fra en uke til en annen. Det kan da være litt tilfeldig hvilken uke tilsigsøkningen havner i. Både avlesningstidspunkt for magasinendring (fredag eller mandag) og ulik responstid i våre modeller på nedbør/ snøsmelting kan gi litt ”støy” i beregningene. For eksempel ble det betydelig mildere og plussgrader langs kysten av Vestlandet mot slutten av uke 4 og starten av uke 5. I HBV-modellene ga dette utslag med økt vannføring/ økt energitilsig først i uke 5, mens tallene fra Nord Pool også gir noe økning i uke 4.

Videre ser en at for de første ukene av 2013 er prognosert energitilsig (blå kurve) omkring 0,5 TWh lavere enn det som er beregnet basert på observerte vannføringsdata (rød kurve). Det skyldes først og fremst at det har kommet omkring 2,5 TWh mer nedbør enn prognosert i denne perioden, mye har lagt seg som snø, men noe har og ført til økt avrenning. På tross av dette, viser tallene våre at det har kommet betydelig mindre nedbør enn normalt vinteren 2013.



Figur 3.15 Nyttbart tilsig uke 1 – 11, 2013 fra Nord Pool (svart) og beregnet fra observert (rød) og prognosert vannføring(blå) i våre 82 modellfelt.

Referanser

Alfnes E., Langsholt E., Skaugen T. og Udnæs H.C. 2005. Updating snow reservoir in hydrological models from satellite-observed snow covered areas. NVE-oppdragsrapport 4-2005.

Asvall, Randi Pytte 2010. Hvordan is i vassdrag dannes – og hvordan vassdrags-reguleringer påvirker isen i norske vassdrag. NVE-rapport 20-2010.

Beldring S., Roald L.A. og Voksø A. 2002. Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-90. NVE-dokument 2-2002.

Colleuille H., Haugen L.E., Øverlie T. 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark. NVE-rapport 19-2007.

Colleuille H., Holmqvist E., Beldring S. og Haugen L.E. 2008. Betydning av grunnvanns- og markvannsforhold for tilsig og kraftsituasjon. NVE-rapport 12-2008.

Holmqvist, E. og Engen I.K. 2008. Utvalg av tilsigsserier til Samkjørings-modellen. NVE-rapport 7-2008.

Kjøllmoen, Bjarne 2011. Glaciological investigations in Norway in 2010. NVE-report no. 3 –2011.

Lawrence D., Haddeland I. og Langsholt E. 2009. Calibration of HBV hydrological models using PEST parameter estimation. NVE-report 1-2009.

Sælthun, Nils Roar 1996. The “Nordic” HBV model. Description and documentation of the model version developed for the project Climate Change and Energy Production. NVE-publication no. 7-1996.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2013

Nr. 1 Roller i det nasjonale arbeidet med håndtering av naturfarer for tre samarbeidende direktorat
Nr. 2 Norwegian Hydrological Reference Dataset for Climate Change Studies. Anne K. Fleig (Ed.)
Nr. 3 Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed
Nr. 4 Faresonekart skred Odda kommune
Nr. 5 Faresonekart skred Årdal kommune
Nr. 6 Sammenfatning av planlagte investeringer i sentral- og regionalnettet for perioden 2012-2021
Nr. 7 Vandringshindere i Gaula, Namsen og Stjørdalselva
Nr. 8 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
Nr. 9 Energibruk i kontorbygg – trender og drivere
Nr. 10 Flomsonekart Delprosjekt Levanger. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
Nr. 11 Årsrapport for tilsyn 2012
Nr. 12 Report from field trip, Ethiopia. Preparation for ADCP testing (14-21.08.2012)
Nr. 13 Vindkraft - produksjon i 2012
Nr. 14 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2013. Inger Sætrang
Nr. 15 Klimatilpasning i energiforsyningen- status 2012. Hvor står vi nå?
Nr. 16 Energy consumption 2012. Household energy consumption
Nr. 17 Bioenergipotensialet i industrielt avfall
Nr. 18 Utvikling i nøkkeltall for strømnettselskapene
Nr. 19 NVEs årsmelding
Nr. 20 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2012
Nr. 21 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge
Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Forebyggende kartlegging mot skred langs strandsonen i Norge Oppsummering av erfaring og anbefalinger
Nr. 23 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG) – forundersøkelse
Nr. 24 Flom og skred i Troms juli 2012. Inger Karin Engen, Graziella Devoli, Knut A. Hoseth, Lars-Evan Pettersson
Nr. 25 Capacity Building in Hydrological Services. ADCP and Pressure Sensor Training Ministry of Water and Energy, Ethiopia 20th – 28th February 2013
Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen
Nr. 27 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
Nr. 28 Flomberegninger for Fedaelva, Kvinesdal kommune, Vest-Agder (025.3A1) Per Alve Glad
Nr. 29 Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller. Erik Holmquist

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no