

Prosjektnotat

SINTEF Energi AS
Postadresse:
Postboks 4761 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 45456000
energy.research@sintef.no

Foretaksregister:
NO 939350675 MVA

Vurdering av isforhold i Holmavatn som øvre magasin i pumpekraftverk

VERSION
1.0

DATO
2025-08-12

FORFATTERE
Atle Harby og Sahra Naima Sabil

OPPDRAGSGIVER
RSK DA

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE
Trond Erik Børresen

PROSJEKTNUMMER
502004274

ANTALL SIDER:
36

Sammendrag

Uten oppgradering av kraftsystemet i RSK, vil vannstandsendingene i Holmavatn trolig ikke bli veldig ulikt slik det er i dag. Det vil derfor være de klimatiske forholdene som vil være styrende for isforholdene. Hurtig senking av vannstanden spesielt når vannstanden allerede er lav, kan gi sprekkdannelse og usikre isforhold i starten av vintersesongen. Med oppgradering av kraftsystemet i RSK og bygging av Kvanndalsfoss pumpekraftverk, viser analyser med kraftsystemmodellen Prodrisk at det kan bli større variasjoner i vannstand og langt flere endringer mellom stigende og synkende vannstand enn det vil bli uten oppgradering av RSK. Samtidig vil vannstanden oftere trolig ligge lengre nær HRV i Holmavatn på starten av vintersesongen, noe som kan være gunstig for islegging. Økte vannstandsvariasjoner vil kunne påvirke isforholdene negativt sammenlignet med en situasjon uten pumpekraftverk, mens muligheten til å holde en i grove trekk stabil vannstand på et høyere nivå i starten av vintersesongen vil virke positivt på isforholdene. Smart lokalisering av inntak/utløp av tunnel i Holmavatn kan redusere mulige negative virkinger betraktelig. Vi tar forbehold rundt analyser og konklusjoner siden alle forhold knyttet til framtidig kraftsystem og vær er basert på en rekke antakelser og usikkerheter.

UTARBEIDET AV
Atle Harby

SIGNATUR

Atle Harby (Aug 13, 2025 14:29:50 GMT+2)

GODKJENT AV
Markus Först

SIGNATUR


PROSJEKTNOTAT NR
PN25-00005

GRADERING
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	3
1.1	Eksisterende kraftverkssystem	3
1.2	Planlagt oppgradert kraftsystem	5
1.3	Datagrunnlag.....	5
2	Litteraturgjennomgang: Isforhold i magasin med pumpekraft.....	7
3	Vannstandsendringer	10
3.1	Historiske forhold.....	12
3.2	Framtidige forhold med dagens kraftsystem.....	16
3.3	Framtidige forhold med oppgradert kraftsystem	20
4	Isforhold	26
4.1	Historiske forhold i Holmavatn	27
4.2	Framtidige forhold med dagens kraftsystem.....	33
4.3	Framtidige forhold med oppgradert kraftsystem	33
5	Konklusjoner	34
6	Referanser	36

1 Innledning

Lyse kraft DA har på vegne av RSK DA søkt om konsesjon for oppgradering og utvidelse (O/U) av kraftverkene i Røldal-Suldal (RSK) i Suldal kommune i Rogaland fylke og Ullensvang kommune i Vestland fylke. Søknaden om dette O/U-prosjektet inneholder flere nye kraftverk og pumpekraftverk, og vil føre til endringer i hvordan eksisterende magasin driftes. Kvanndalsfoss pumpekraftverk vil bruke Kvanndalsfoss som nedre magasin og Holmavatn som øvre magasin. Holmavatn ligger i et område som brukes av villrein, og det er også en del ferdsel i området knyttet til jakt, fiske og annet friluftsliv. Det er knyttet spesiell interesse til hvordan is- og vannstandsforhold blir i Holmavatn og hvilke konsekvenser det kan ha på reinsdyr og reinsdyrtrekk.

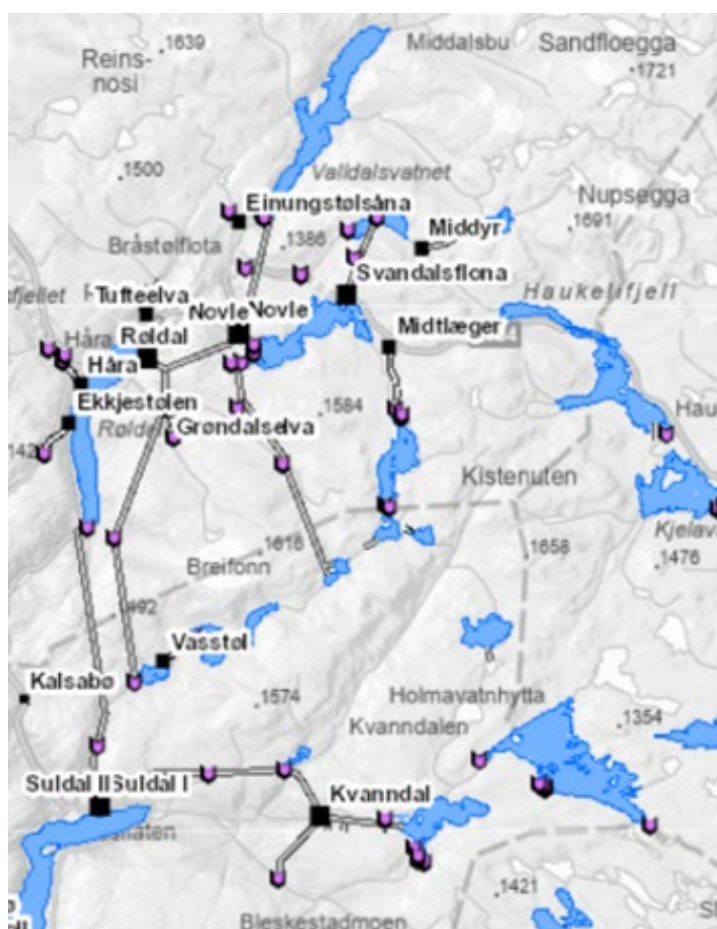
SINTEF Energi har høsten 2024 på oppdrag for Lyse Kraft DA satt i gang måling av vanntemperatur i ulike dybder i seks magasin i Røldal-Suldal-systemet, inkludert Holmavatn og Kvanndalsfoss. For å forutsi mulige framtidige virkninger av endringer i reguleringsmønster og drift av vassdragene, er det vesentlig å kjenne utgangspunktet i dagens tilstand. Data fra målingene kan brukes til vurdering og analyse av dagens forhold, samt være grunnlag for vurdering, modellering og analyse av framtidige forhold. De første temperaturdataene fra disse målingene har ikke vært tilgjengelig. Det er likevel ønskelig å gjøre noen vurderinger knyttet til hvordan isforholdene kan bli på Holmavatn på nåværende tidspunkt. SINTEF Energi arbeider også med kraftsystemmodellering og investeringsanalyse for ulike alternativer for O/U-prosjektet i RSK på oppdrag for Lyse Kraft DA.

1.1 Eksisterende kraftverkssystem

Kraftverkene i Røldal-Suldal (RSK) ble bygd ut på 1960-tallet. Holmavatn (Figur 1) er det nest øverste magasinet i den «østre» delen av anleggene. Holmavatn er i dag regulert mellom 1058-1048 moh (4,5 meter heving og 5,5 meter senkning). Magasinet tappes i dag i naturlig elveleie (Holmavassåna) ned til Sandvatn på 950-924 moh som er inntaksmagasin for Kvanndal kraftverk. Hovedtappingen skjer vinterstid for å senke vannstanden før snøsmeltingen tar til og samtidig holde vannstanden i Sandvatn høyest mulig utover vinteren. Det øverste magasinet i denne delen av RSK, er Isvatn på 1295-1285 moh. Avløp fra Isvatn ledes i dag ut i Tverråna ned til Sandvatn via naturlig elveleie, hovedsakelig også vinterstid. Figur 2 viser dagens reguleringer i RSK-anleggene fra NVE Atlas.



Figur 1. Holmavatn der inntak for overføring av vann til Sandvatn er rett utenfor huset på bildet.



Figur 2. Utsnitt fra NVE Atlas som viser RSK-anleggene. Holmavatn nederst til høyre.



1.2 Planlagt oppgradert kraftsystem

Lyse Kraft DA har søkt om å bygge fem nye kraftverk, deriblant pumpekraftverket Kvanndal 2, som vil bruke Kvanndalsfoss som nedre magasin og Holmavatn som øvre magasin (Figur 3). Det vil da ikke bli behov for å bruke dagens overføring gjennom elv fra Holmavatn til Sandvatn. Det er også søkt om å utvide reguleringshøyden i Holmavatn med ytterligere senking av LRV med 5m.

Kvanndalsfoss har et forholdsvis lite magasin, og det er ønskelig å ta vare på mest mulig vann i perioder med stort tilsig og eventuelt kombinert med lav kraftpris. Da er det mulig å pumpe vann til Holmavatn (Figur 4). Driften av dette pumpekraftverket vil trolig være vekselvis pumping og kraftproduksjon i et mønster i hovedsak bestemt av tilsigsforhold og kraftpris i tillegg til begrensningene som ligger i tilgjengelige lagringsvolum, kapasiteter i systemet og eventuelt andre forhold som krav i manøvreringsreglement. Isforholdene på Holmavatn forventes å endres som følge av vannstandsendringer forbundet med drift av det planlagte pumpekraftverket.



Figur 3. Planlagte nye kraftverk i "østre" del av RSK. Enhet 9236 er nytt pumpekraftverk som forbinder Kvanndalsfoss med Holmavatn.

1.3 Datagrunnlag

Vi har hatt tilgang på historiske og simulerte vannstandsdata (se kapittel 3), bunntopografi med en del manglende observasjoner og et par målinger av istykkelse. Isforholdene ble målt av personell fra Hydro med følgende informasjon (se Figur 4 for lokalisering og målepunkter):

- 22.01.2025: Topp 7 cm stålis, 60 cm slusj, 25 cm stålis i bunn i målepunkt 1. Denne målingen er litt usikker og basert på husk fra driftspersonell.
- 11.02.2025: 85 cm stålis i målepunkt 1 og 45 cm stålis i målepunkt 2.



Figur 4. Målepunkter for istykkelse vinteren 2025.



2 Litteraturgjennomgang: Isforhold i magasin med pumpekraft

Vi har gjennomført en avgrenset litteraturstudie av isforhold i magasin med pumpekraft. Et eget notat (Sabil 2025) beskriver gjennomgangen. Vi gjengir her de viktigste funnene.

Generelt fører redusert isdekke i vannkraftmagasin til reduksjon av tradisjonelle rekreasjonsaktiviteter og reduksjon eller tap av dyrenes vandringsveier (Hingek et al., innsendt). I tillegg har det økologiske og operasjonelle konsekvenser innenfor vannforekomsten. Redusert isdekke endrer temperaturregimet, påvirker oksygennivåer, næringsstoffdistribusjon og akvatiske økosystemer (Kobler et al., 2018). Fra et operasjonelt synspunkt kan redusert isdekke øke påvirkningen fra et mer ustabilt vær, noe som skaper nye utfordringer for vannkraftforvaltning (Gebre et al., 2014). Selv om inntak til pumpekraftverk generelt er mindre utsatt for isrelaterte problemer sammenlignet med elvekraftverk (Johnson, 1988), kan redusert eller ustabilt isdekke fortsatt påvirke infrastruktur og sikkerhet i vannkraftverk og magasin.

Litteraturen indikerer konsekvent at drift av pumpekraftverk bidrar til reduksjon av isdekke på grunn av vannstandssvingninger, økt vannblanding, forstyrrelse av lagdeling og økt friksjonsvarme. Når dette kombineres med klimaendringer, kan disse effektene økes. Gitt disse funnene er det avgjørende for konsekvensutredninger av pumpekraftprosjekter å undersøke lokale hydrofysiske forhold og isdekkes karakteristikk, samt å inkludere langsiktige klimaprognoser for bedre å forstå og dempe disse endringene. Fremtidige studier bør også utforske effektene av vannkraftdrift på isforholdene og potensialet for miljømessige begrensninger for å forhindre farlige forhold.

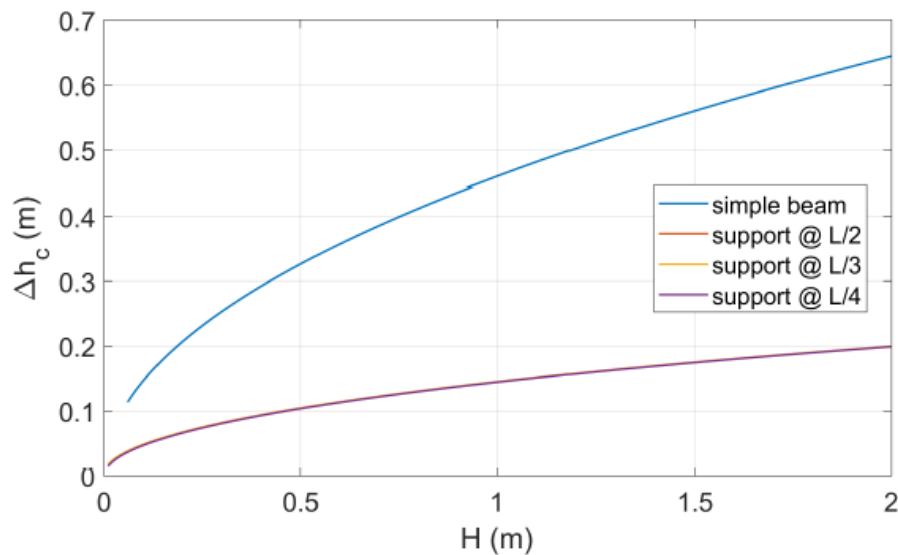
Sentrale funn som kan ha betydning for vurderinger av isforholdene i Holmavatn er vist i *Tabell 1*.



Tabell 1. Årsaker til et svekket isdekket og deres effekter.

Årsak	Effekt på isdekket
Synkende vannstand	Sprekker dannes, spesielt nært land og ved topografiske formasjoner (f.eks. grunner, skjær, holmer og øyer) på grunn av spenningskonsentrasjoner. (Billfalk, 1981; Hingek et al., submitted)
Stigende vannstand	Stigende vannstand kan skape åpne råker, noe som reduserer isens stabilitet (Billfalk, 1981)
Hyppige vannstands-svingninger	Økt forekomst av sprekkdannelse og deformasjoner i isen, noe som gjør isdekket mer sårbart og uforutsigbart. Veldig avhengig av situasjon. Isdekke som f.eks. er fast festet til en støttemur, kan sprekke opp når vannstanden i magasinet synker. Disse sprekkene fylles med vann og fryser igjen, noe som øker isdekkets utbredelse. En påfølgende økning i vannstanden fører deretter til at isdekket utsettes for kompresjon, ettersom det må tilpasse seg et nå underdimensjonert basseng (Morse et al., 2011; Stander, 2006, Willmot, 1952).
Topografiske formasjoner (grunner, skjær og øyer)	Konsentrasjon av spenninger i isen, noe som øker sannsynligheten for tidlig sprekkdannelse og strukturell svekkelse av isdekket (Hingek et al., submitted).
Plassering av inntak og utløp i pumpekraft-anlegg	Lokalt høyere vanntemperaturer, som forsinket eller forhindrer isdannelse og skaper ustabile isforhold nært inntak og utløp (Johnson, 1988; Kobler et al., 2019b).
Oppvarming av bunnvann ved pumping	Redusert istykkelse og kortere isperiode på grunn av tilførsel av varmere dypvann til overflatelagene (Bonalmi et al., 2012; Kobler et al., 2018).
Forstyrret sjiktning på grunn av PS-drift	Forsinket islegging og tynnere isdekke som følge av redusert termisk stabilitet i vannet (Kobler et al., 2018; Kobler et al., 2019b).
Friksjonsvarme fra pumpeoperasjoner	Økt temperatur i vannmassene, som ytterligere svekker isdannelse og stabilitet (Bonalmi et al., 2012).
Lokasjon og tidspunkt av isbevegelse ved vannstandsendringer	Isen følger vannstandsendringer, særlig lenger fra demningen, mens bevegelsen nært land begrenses av isforankring. Tidlig på vinteren kan skjærspenninger føre til sprekker i 45° vinkel, noe som gjør at isen synker, men hindrer den i å stige igjen. Iskrefter er høyest nær vannkanten, der deformasjonene er mest betydelige (Prat et al., 2012).
Bratte strandlinjer og isforskyvning	Den mest betydelige forskyvningen skjer nær bratte strandlinjer. Spenningsintensiteten påvirkes av istykkelse, strandlinjens form og temperatur – kritiske faktorer for isstabilitet og forvaltning av reservoaret (Stander, 2006).
Klimaendringer (høyere temperaturer, lengre sommersjiktning)	Forsterket effekt av pumpekraft-operasjoner på isdekket, noe som ytterligere forkorter isens varighet og tykkelse (Kobler et al., 2019a).

Vi har plukket ut en sentral figur fra Hingek et al (2025) som viser isstyrke og fare for sprekkdannelse som funksjon av istykkelse og vannstandssenkning (*Figur 5*). Figuren viser at isstyrken blir svekket om den «opplages» en eller flere steder, eller med andre ord at den går på grunn.



Figur 5. Isstyrke som funksjon av istykkelse (x-akse) og vannstandsøkning (y-akse) for en strekning av 1500m der isen flyter fritt (blå strek) og der isen er «opplagret» på et punkt ved avstand av 750m, 500m og 375m (lilla). Isen har en Elastisitetsmodul av 3,4 GPa og en fluktuasjonsspenning av 1.5MPa.

Ved en vurdering av isstyrke vil punkter som plottes under grafen(e) tilsi at isen ikke sprekker opp, mens punkter over grafen indikerer sprekkdannelse (fra Hinegk et al 2025). Denne kritiske vannstandsendringen er uavhengig av tid siden man ser på is som elastisk materie og ser bort fra isens viskøse egenskaper. Dette betyr at grafen viser en mulig minste verdi for når det er fare for oppsprekking selv om isen ofte tåler en større belastning.



3 Vannstandsendringer

Vi har studert vannstandsendringer fra historiske data for vannstand i Holmavatn med døgnoppløsning (historisk), og simulerte vannstandsendringer med framtidige kraftpriser for både uforandret kraftsystem i RSK (basis) og oppgradert system med Kvanndalsfoss pumpekraftverk (oppgradert).

Tabell 2 viser tallverdier for vannstandsvariasjoner for historisk, basis og oppgradert system. For simulerte verdier har vi hatt tilgang til data med både døgn- og tretimers oppløsning. Vi ser at forholdene rundt senking og stigning av vannstanden er ganske like for historiske verdier sammenlignet med forholdene med basis-alternativet. For det oppgraderte systemet blir variasjonene større med både kraftigere senking og stigning av vannstanden sammenlignet med andre alternativer. Det er en betydelig usikkerhet knyttet til tallene for oppgradert system. Dette skyldes usikkerhet rundt framtidige kraftpriser og energisystem i Norge og Europa, samt at modellen Prodrisk ikke alltid handler slik man vil gjøre i virkeligheten. Det er også påvist situasjoner hvor Prodrisk plutselig tapper mye vann som forbitapping. Dette er forsøkt luket ut av datagrunnlaget, men det er ikke sikkert at alle slike tilfeller er fullstendig fjernet.

Det er viktig å presisere at simuleringene med Prodrisk ikke alltid gir realistiske verdier for vannstandsendringer. Prodrisk vil forsøke å utnytte magasinene optimalt, og har i prinsippet kjennskap til framtidige kraftpriser og værforhold. I virkeligheten er jo dette ikke kjent, og manøvrering av kraftsystemet vil nok være noe mer forsiktig i virkeligheten. Dette gjelder spesielt for mulige brå endringer i vannstanden. I tillegg vil nok også Prodrisk noen ganger kunne tappe ned eller fylle opp magasin nærmere LRV og HRV enn det som i virkeligheten vil skje. Konsekvensene av dette er at verdiene i Tabell 2 kan bli mer ekstreme enn de vil være i virkeligheten, spesielt for oppgradert system som gir betydelig økt fleksibilitet.



Tabell 2. Historiske og simulerte verdier for vannstandsøkning og vannstandssenking i Holmavatn for ulike tidsperioder.

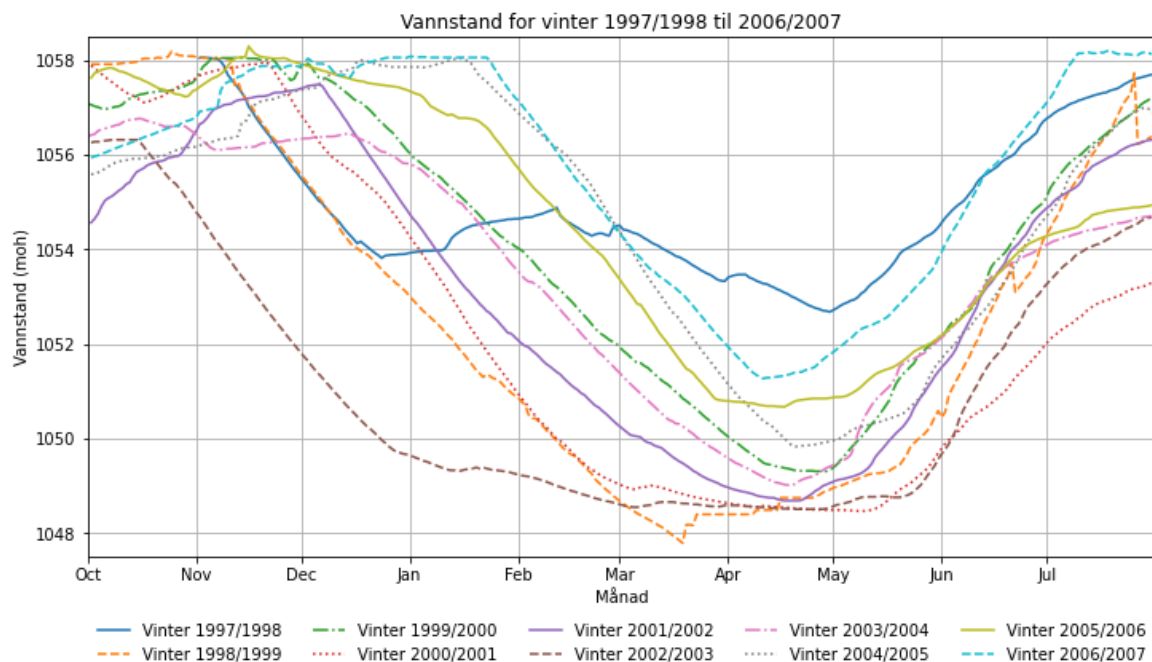
		oktober-juli [cm]	desember- mars [cm]	april-mai [cm]
Historisk observert	Maks. stigning totalt i 24t	60	39	26
	Gjennomsnittet av årlige maks stigning i 24t	23	9	16
	Gjennomsnittlig stigning i 24t	6	3	6
	Maks. senking totalt i 24t	-150*	-29	-46
	Gjennomsnittet av årlige maks senking i 24t	-22	-14	-6
	Gjennomsnittlig senking i 24t	-6	-7	-3
Dagens kraftsystem RSK (basis) med framtidens kraftpriser	Maks. stigning totalt i 3t	4	2	4
	Gjennomsnittet av årlige maks stigning i 3t	3	1	2
	Gjennomsnittlig stigning i 3t	1	0,1	1
	Maks. senking totalt i 3t	-3	-3	-2
	Gjennomsnittet av årlige maks senking i 3t	-3	-2	-1
	Gjennomsnittlig senking i 3t	-2	-1	-1
	Maks. stigning totalt i 24t	35	13	35
	Gjennomsnittet av årlige maks stigning i 24t	25	4	19
	Gjennomsnittlig stigning i 24t	5	1	8
	Maks. senking totalt i 24t	-25	-24	-19
	Gjennomsnittet av årlige maks senking i 24t	-18	-16	-4
	Gjennomsnittlig senking i 24t	-8	-9	-5
Oppgradert kraftsystem RSK med framtidens kraftpriser	Maks. stigning totalt i 3t	12	7	12
	Gjennomsnittet av årlige maks stigning i 3t	8	5	8
	Gjennomsnittlig stigning i 3t	2	1	3
	Maks. senking totalt i 3t	-9	-9	-9
	Gjennomsnittet av årlige maks senking i 3t	-6	-5	-5
	Gjennomsnittlig senking i 3t	-3	-3	-3
	Maks. stigning totalt i 24t	89	40	89
	90. prosentilverdien for total stigning i 24 t	66	34	66
	Gjennomsnittet av årlige maks stigning i 24t	55	25	51
	Gjennomsnittlig stigning i 24t	12	6	18
	Maks. senking totalt i 24t	-64	-64	-57
	90. prosentilverdien for total senking i 24 t	-46	-45	-46
	Gjennomsnittet av årlige maks senking i 24t	-42	-39	-31
	Gjennomsnittlig senking i 24t	-14	-15	-15

* Antatt målefeil i 1999. Data viser 1057,3 25/7, 1057,73 26/7 og 1056,23 27/7.

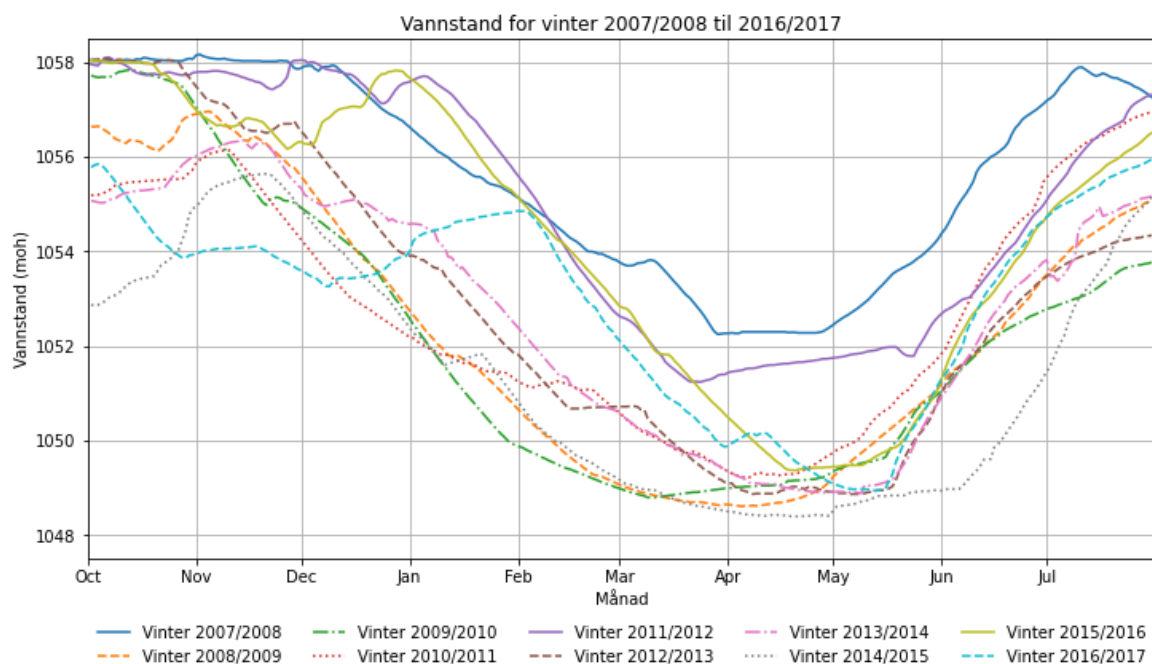


3.1 Historiske forhold

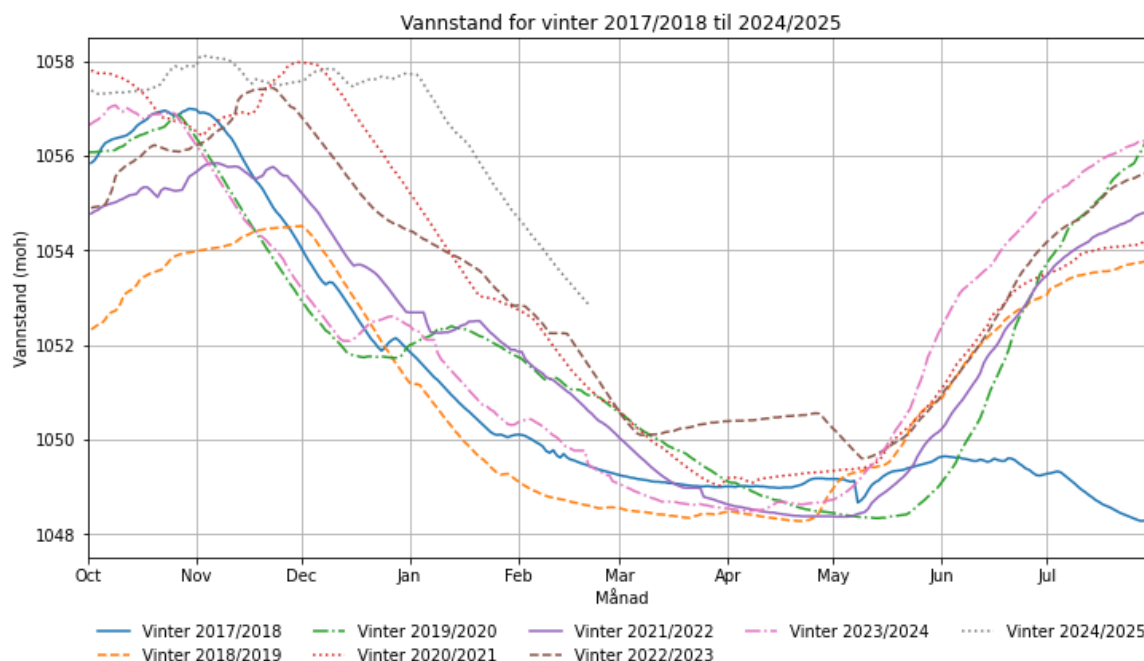
Figur 6-Figur 8 viser historiske verdier av vannstanden gjennom vinteren i Holmavtn de siste 28 årene. Vi ser at det samme mønsteret i grove trekk følges hvert år, men det er betydelige variasjoner i både timing og størrelse på vintertappingen.



Figur 6. Observerte vannstander i Holmavtn fra oktober til juli for 1997/1998 til 2006/2007



Figur 7. Observerte vannstander i Holmavtn fra oktober til juli for værårerne 2007/2008 til 2016/2017



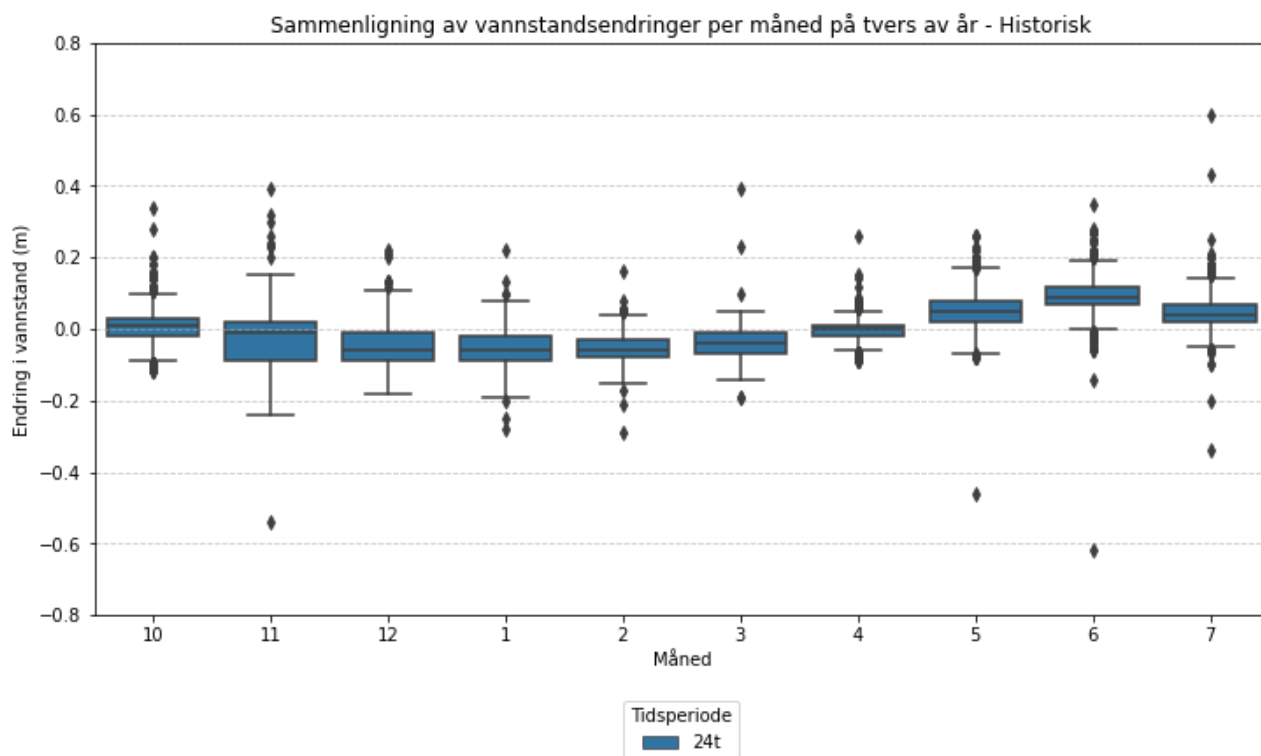
Figur 8. Observerte vannstander i Holmavtn fra oktober til juli for værårrene 2017/2018 til 2024/2025

Data fra 29 år (1997 til 2025) er vist som boksplott i Figur 9-Figur 10, som er en visuell måte å vise hvordan tall i et datasett fordeler seg. Det består av en boks med en tykk strek i midten. Den tykke streken viser medianverdien, altså det midterste tallet i datasettet. Boksen strekker seg fra nedre kvartil (Q1) til øvre kvartil (Q3) – det betyr at den viser hvor de midterste 50 % av verdiene ligger. Forskjellen mellom Q3 og Q1 kalles for interkvartilavstanden (IQR), og den forteller hvor "spredt" dataene i midten er. En lav IQR betyr at dataene ligger tett sammen, mens en høy IQR betyr at de varierer mer.

Utenfor boksen går det streker (ofte kalt "whiskers") som vanligvis strekker seg til den laveste og høyeste verdien som fortsatt regnes som normal. For at en verdi skal regnes som normal, må den ligge maksimalt halvannen gang IQR over Q3 eller under Q1. Hvis den er utenfor dette området, vises den med små prikker som en såkalt uteligger. Uteliggere er verdier som er mye høyere eller lavere enn resten, og kan være interessante å se nærmere på. De kan være reelle eksempler på ekstremer, eller feil i datagrunnlaget.

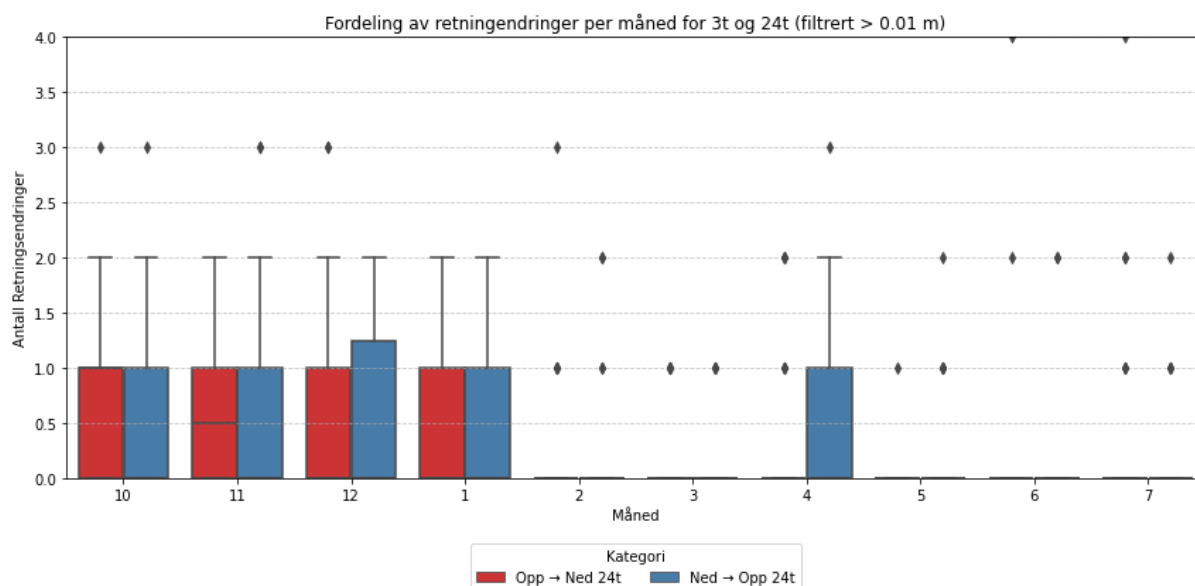
Figur 9 viser at vannstandsendingene historisk har vært små, og at den stort sett er synkende i månedene november-mars, veksler med noe stigning og synking i oktober og april, samt stigende i mai-juli. November har det største spennet i verdier, mens det er relativt like forhold fra år til år i mars og april.

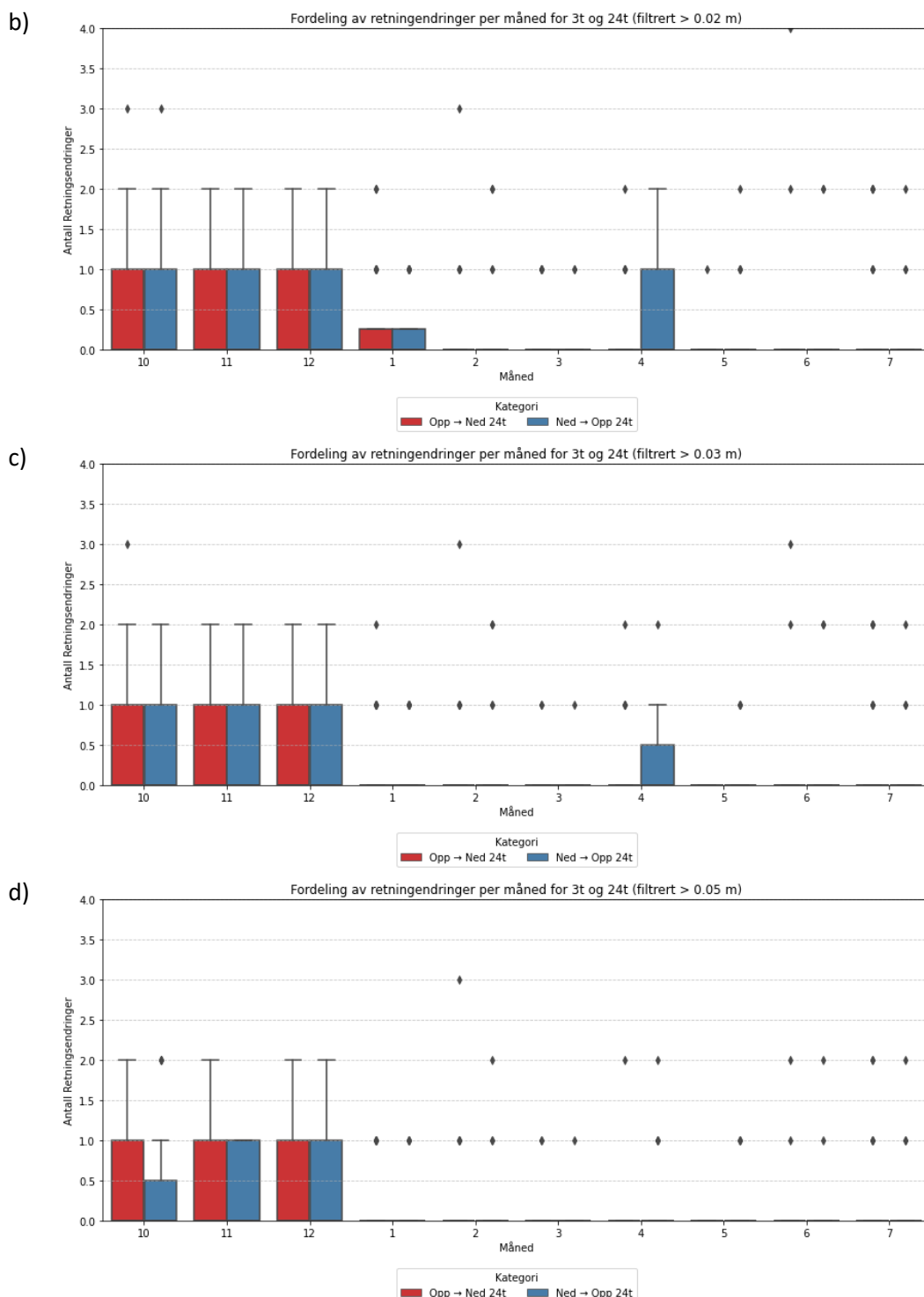
Figur 10 viser at vannstandsendingene svært sjelden har skiftet retning, altså enten gått fra stigende til synkende vannstand eller omvendt, fra et tidsskritt til det neste. Siden det kan være målefeil i vannstanden, har vi lagt inn ulike terskler for å definere en endring i retningen på 1, 2, 3 og 5 cm i de ulike delene av Figur 10 (a-d). Vi ser at dette betyr lite, det er stort sett en retningsendring fra stigende til synkende og en retningsendring fra synkende til stigende vannstand i månedene oktober-desember som medianverdi uansett terskel. For de andre månedene er medianverdien null.



Figur 9. Statistiske verdier beregnet fra årene 1997 til 2025 visualisert som boksplott for hvor mye vannstanden har endret seg i løpet av 24 timer. For hver enkelt måned om vinteren (oktober til juli).

a)



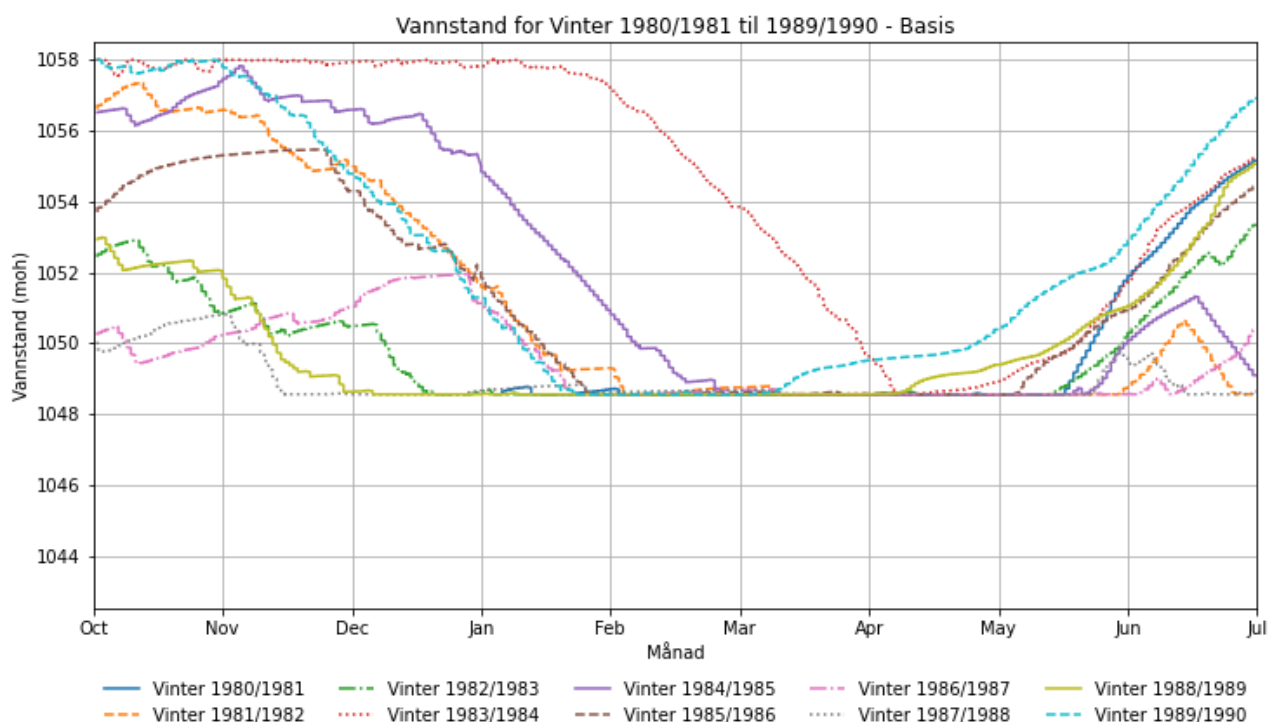


Figur 10 a-d. Statistiske verdier beregnet for årene 1997 til 2025 visualisert som boksplott for hvor ofte vannstanden synker eller stiger innen hver måned om vinteren (oktober til juli) med døgnverdier av vannstand. Vannstandsendringer som er mindre enn 1cm (a), 2cm (b), 3cm (c) og 5cm (d) blir ignorert.

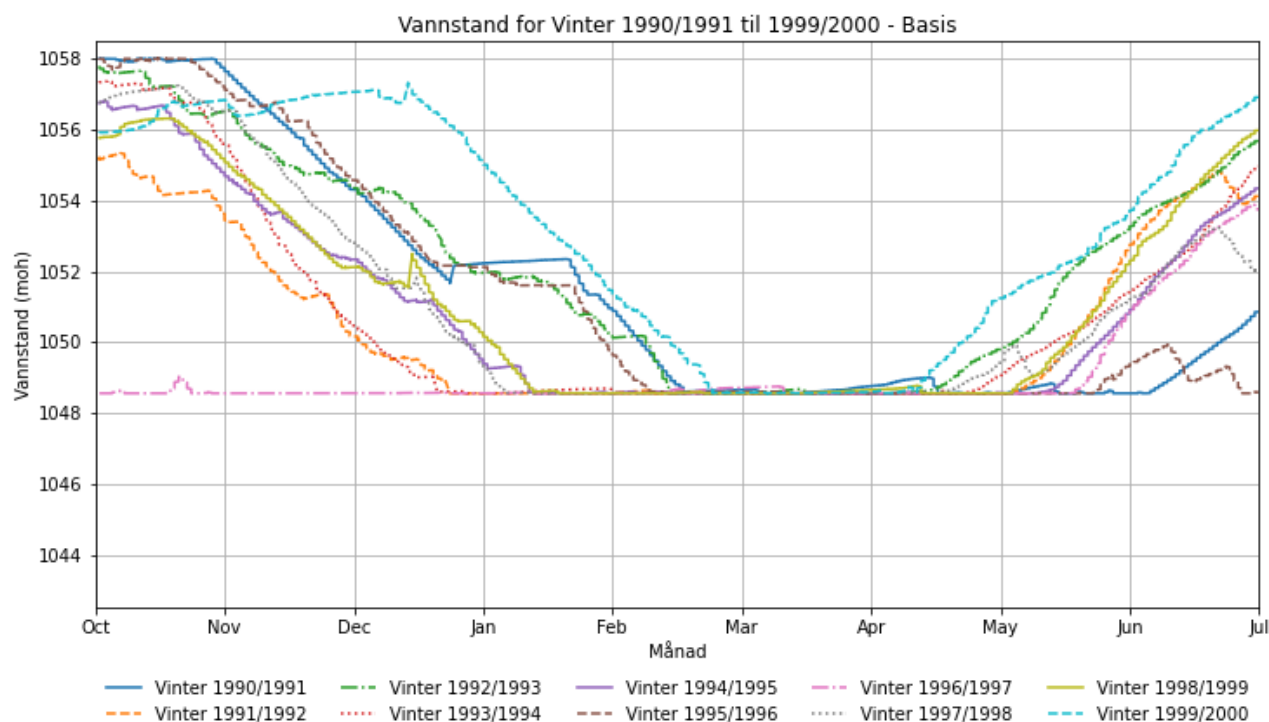


3.2 Framtidige forhold med dagens kraftsystem

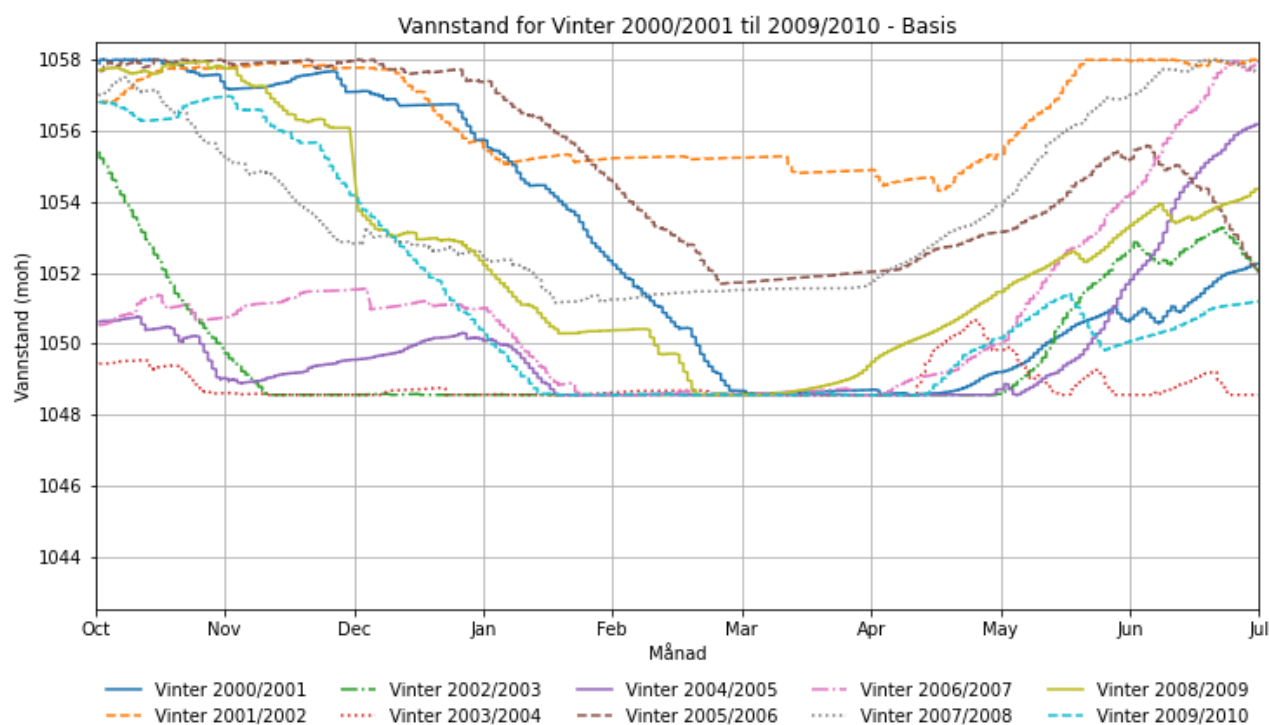
Figur 11-Figur 13 viser vannstanden gjennom vinteren i Holmavatn med dagens kraftsystem i RSK og framtidens kraftpriser og energisystem for værårrene 1980-2010 modellert med Prodrisk for basis-alternativet. Vi ser også her at det samme mønsteret i grove trekk følges hvert år, men det er en viss variasjon i både timing og størrelse på vintertappingen. De aller fleste år vil Holmavatn tappes ned til LRV, noen ganger allerede i januar. Det er bare tre av 30 år Holmavatn ikke tappes ned til LRV. Som tidligere beskrevet, er det en viss usikkerhet knyttet til dette, både på grunn av usikkerhet knyttet til framtidens kraftpriser og hvordan Prodrisk simulerer driften. Forløpet ligner på observerte verdier, men i hovedsak tappes Holmavatn tidligere ned mot LRV.



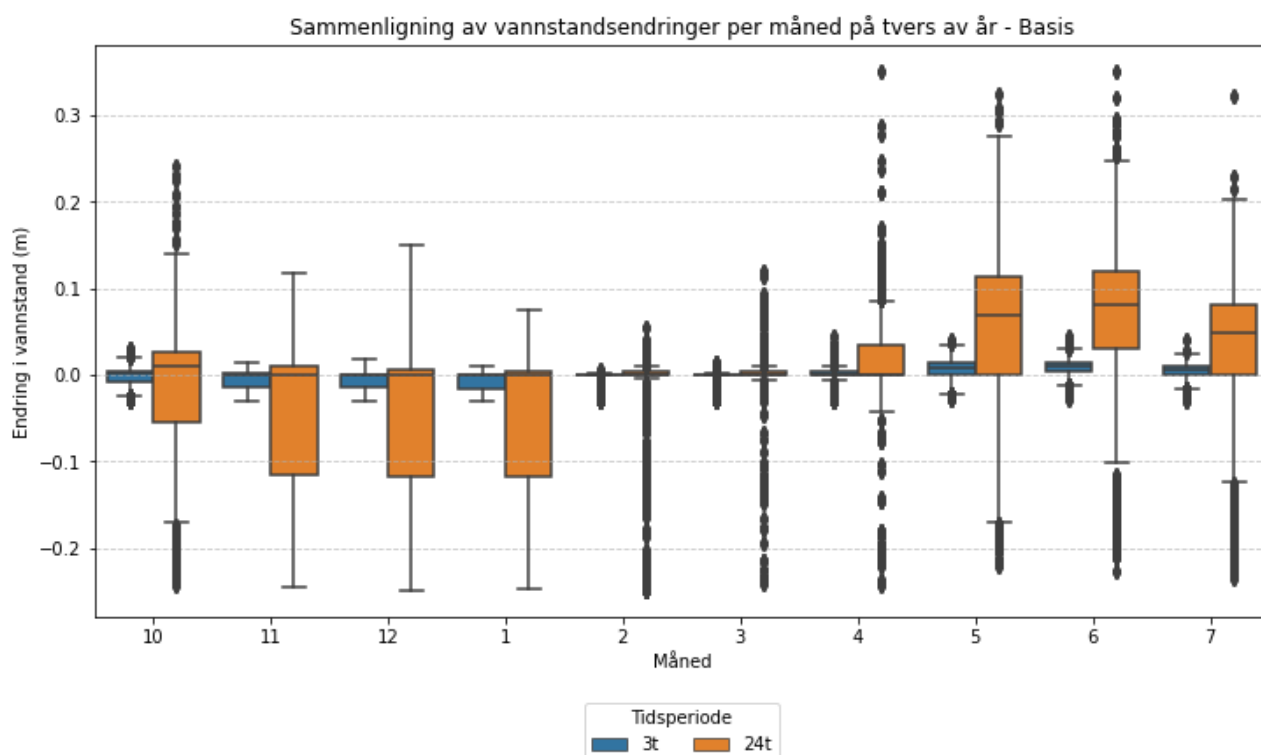
Figur 11. Vannstand i Holmavatn fra oktober til juli for værårrene 1980/1981 til 1989/1990 modellert med Prodrisk Basis.



Figur 12. Vannstand i Holmavatn fra oktober til juli for værårerne 1990/1991 til 1999/2000 modellert med Prodrisk Basis.



Figur 13. Vannstand i Holmavatn fra oktober til juli for værårerne 2000/2001 til 2009/2010 modellert med Prodrisk Basis.



Figur 14. Statistiske verdiene beregnet med Prodrisk Basis fra årene 1980 til 2010 visualisert som boksplott for hvor mye vannstanden har endret seg over 3 timer og 24 timer for hver enkelt måned om vinteren (oktober til juli).

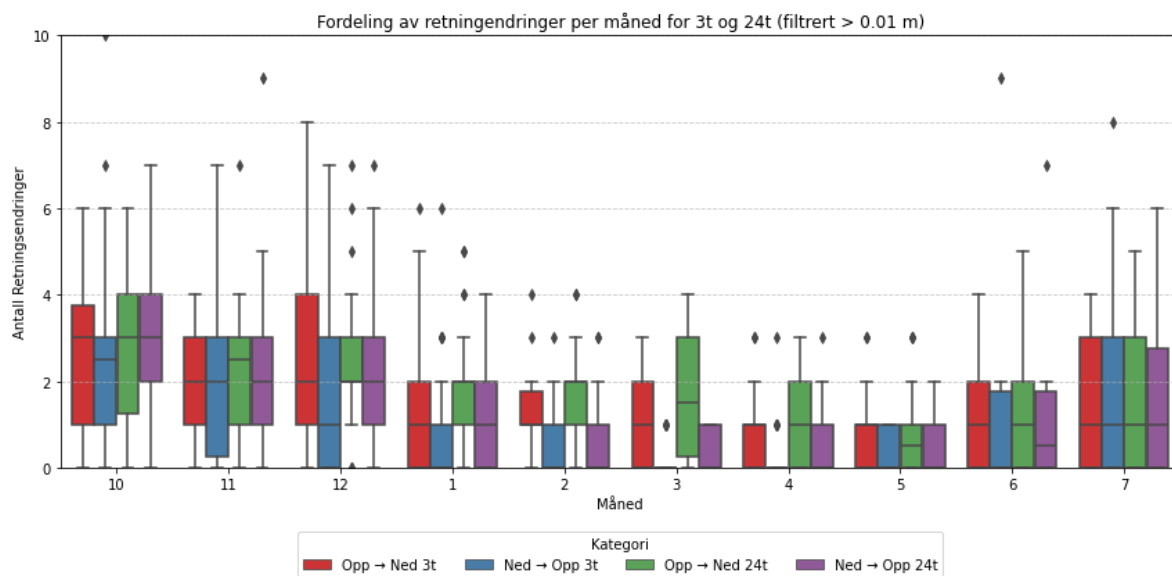
På samme måte som i kapittel 3.1, viser vi boksplott av vannstandsendringer i Figur 14, mens Figur 15 viser retningsendringer av vannstandsvariasjoner i Holmavatn. Vi har vist vannstand og retningsendringer på bakgrunn av beregnede verdier med døgnoopløsning og tre-timers oppløsning, simulert med Prodrisk for basialternativet.

Når vi ser på Figur 14, viser døgnerverdiene i grove trekk sammenlignbare resultater med historiske verdier (Figur 9). Ettersom vannstanden svært ofte ligger på LRV i februar og mars, gir dette ikke rom for variasjoner i vannstanden. Når vi analyserer med tretimersverdier, blir naturlig nok den absolutte endringen over tre timer liten.

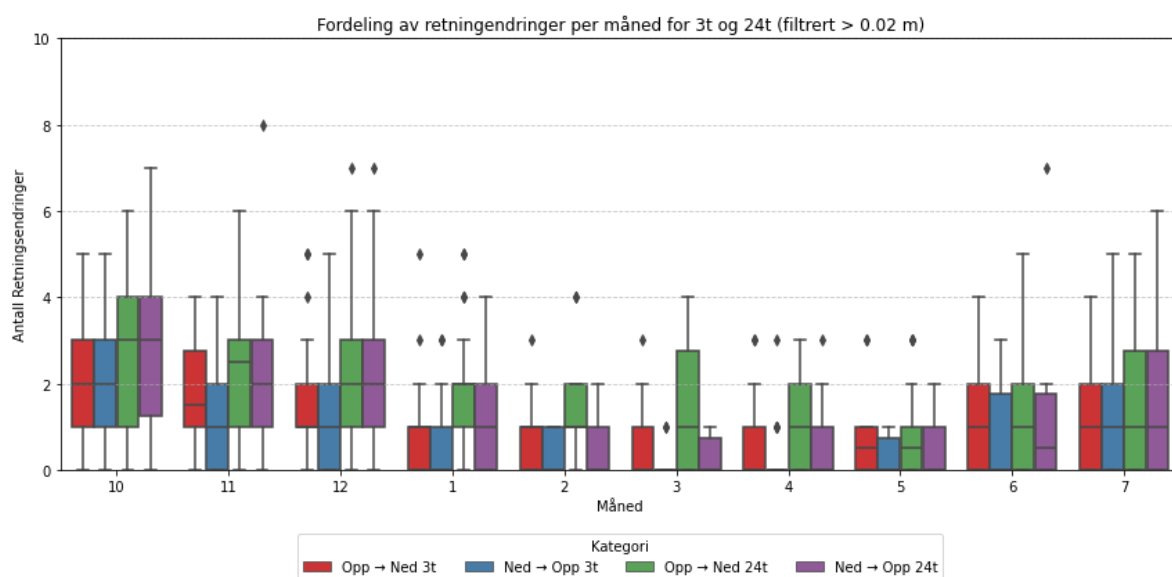
Figur 15 viser litt flere retningsendringer i vannstanden enn historiske verdier (Figur 10), men det er ikke mange retningsendringer verken for analyser av tretimersdata eller døgndata. Det er først og fremst på starten av vinteren vannstanden kan gå fra synkende til stigende og vice versa, men alle verdier uansett filtrering på hvor stor endring som skal neglisjeres, ligger under fire ganger pr måned som medianverdi, og ofte langt under dette for basis-alternativet.

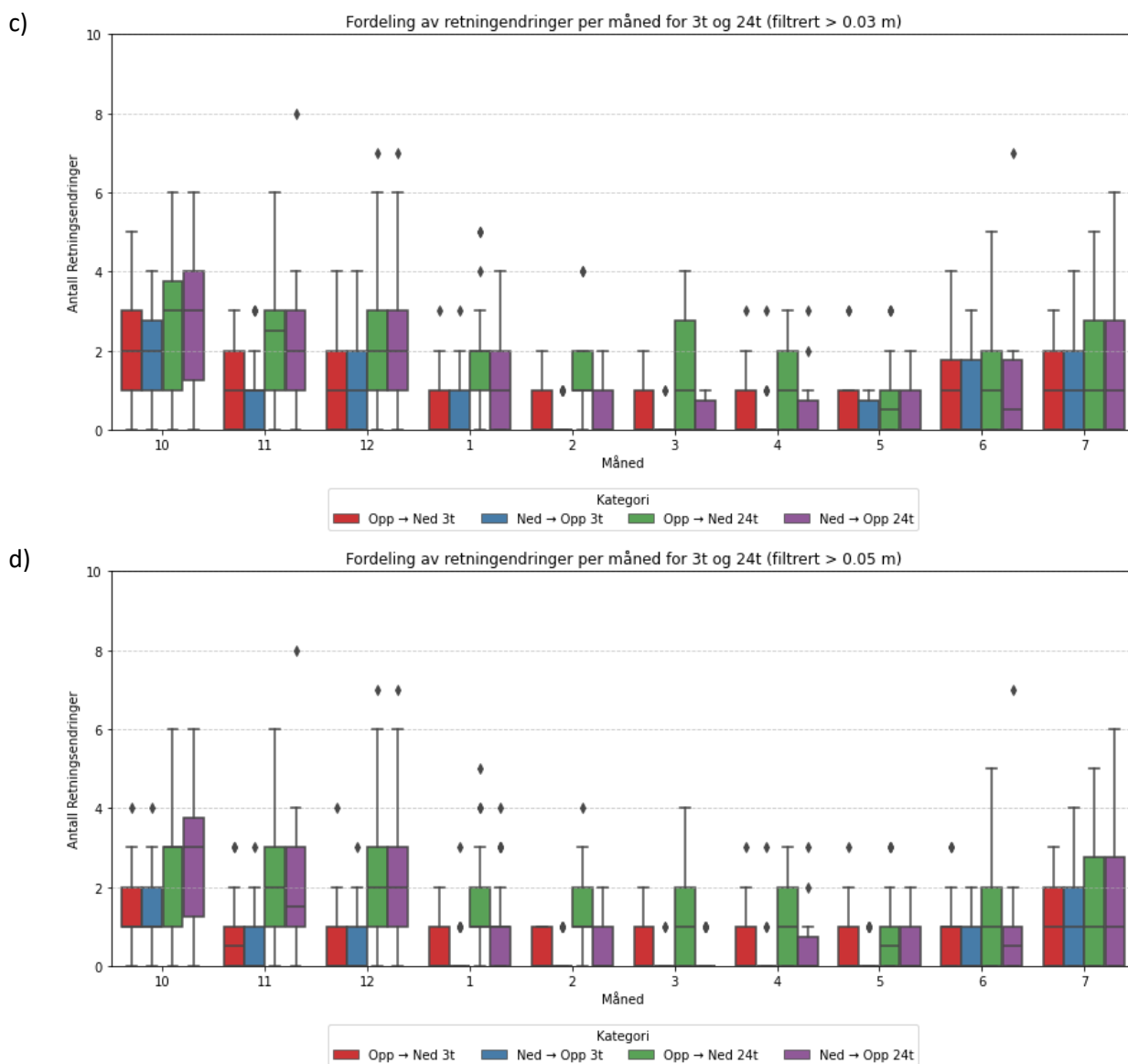


a)



b)





Figur 15. Statistiske verdier beregnet med Prodrisk for basisversjonen i årene 1981-2010 - visualisert som boksplott. Figuren viser hvor ofte vannstanden synker og stiger i løpet av en måned med tidsskritt på 24 og 3 timer for hvert enkelte måned om vinteren (oktober til juli). Vannstandsendringer som er mindre enn 1cm (a), 2cm (b), 3cm (c) og 5cm (d) blir ignorert.

3.3 Framtidige forhold med oppgradert kraftsystem

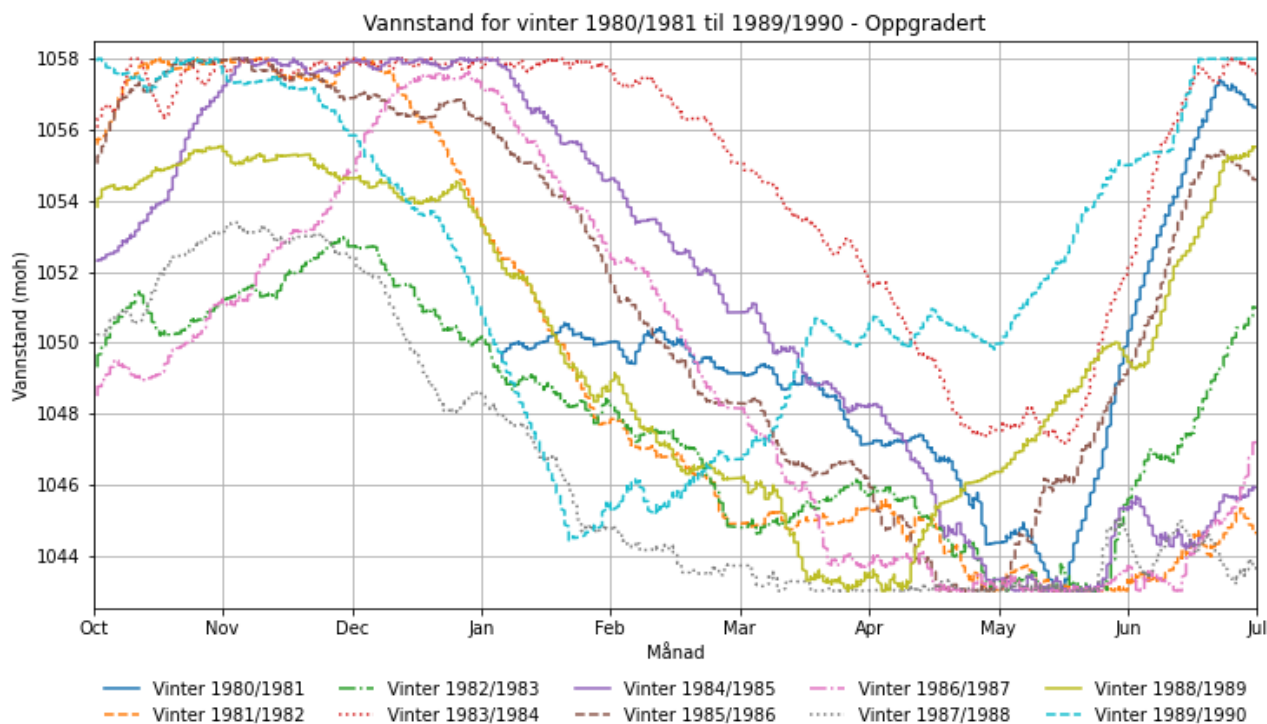
Figur 16-Figur 18 viser vannstanden gjennom vinteren i Holmavatn med oppgradert kraftsystem i RSK og framtidens kraftpriser og energisystem for værårene 1980-2010 modellert med Prodrisk for oppgradert alternativ. Mønsteret viser som regel en nedtapping gjennom vinteren, men det er stor variasjon i vannstanden, spesielt i det siste tiåret (Figur 18). Det er også en tydelig tendens til at vannstanden ligger høyt eller stiger tidlig på vinteren, noen ganger helt fram til februar. Selv om de grove trekkene viser



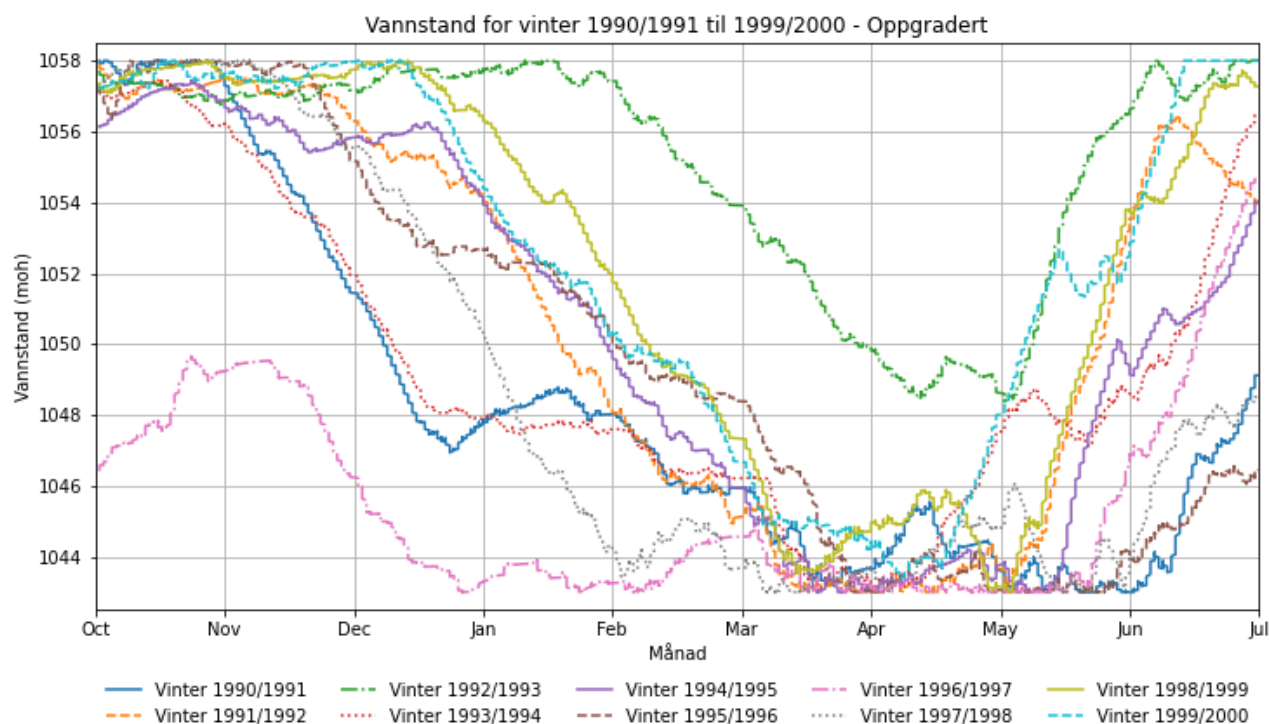
nedtapping fram mot snøsmelting om våren, er det mange små variasjoner i vannstanden gjennom hele vinteren. Dette skyldes i hovedsak at det pumpes vann til Holmavatn fra Kvanndalsfoss.

Figur 19 viser det samme mønsteret i vannstandsendringer fra et tidsskritt til det neste som for basis-alternativet (Figur 14), men interkvartilavstanden (se forklaring til Figur 10) er større som betyr at de normale vannstandsendingene spanner over et større område.

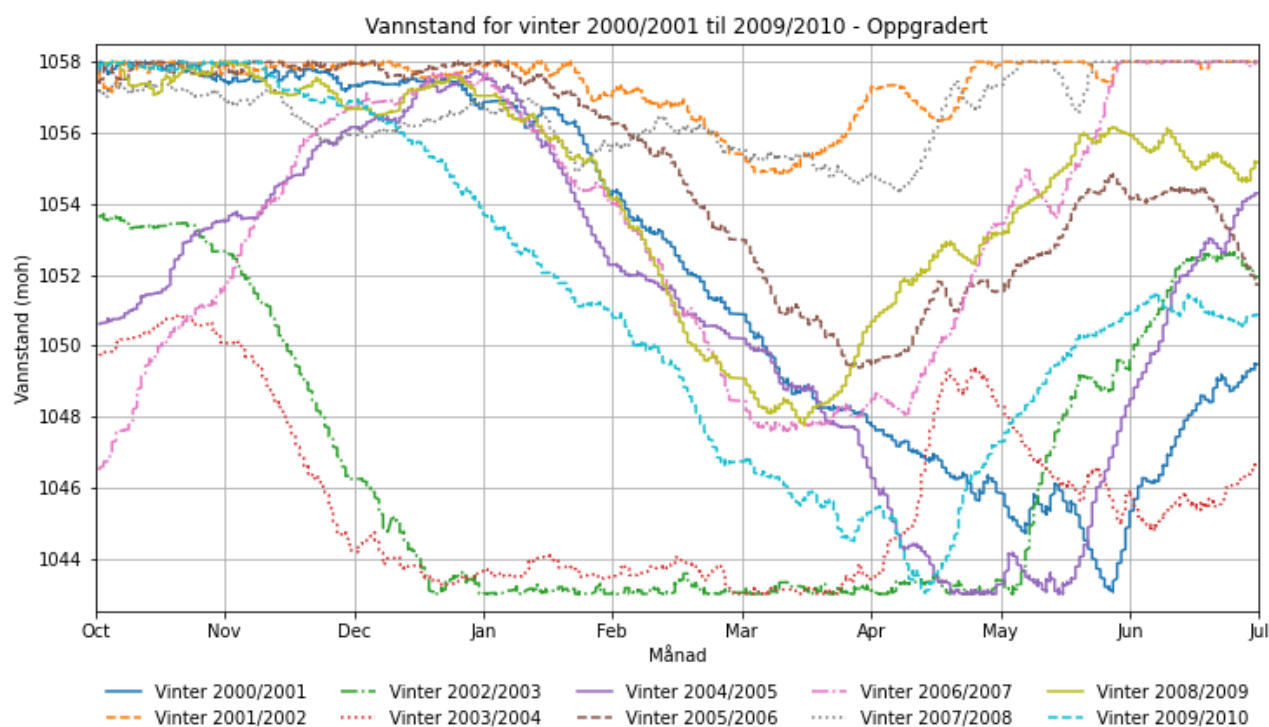
De små fluktuasjonene mellom stigende og synkende vannstand i Figur 16-Figur 18 bekreftes tydelig gjennom mange retningsendringer i vannstand i Figur 20. Det er langt flere endringer i retning for oppgradert alternativ enn for basis-alternativet, uansett terskelverdi for hva som defineres som endring og uansett om vi analyserer med tretimersverdier eller døgnverdier. Det er spesielt interessant å legge merke til at det blir flere skifter mellom stigende og synkende vannstand utover vinteren, med mars-mai som måneder med flest endringer i retningen på vannstandsendingen.



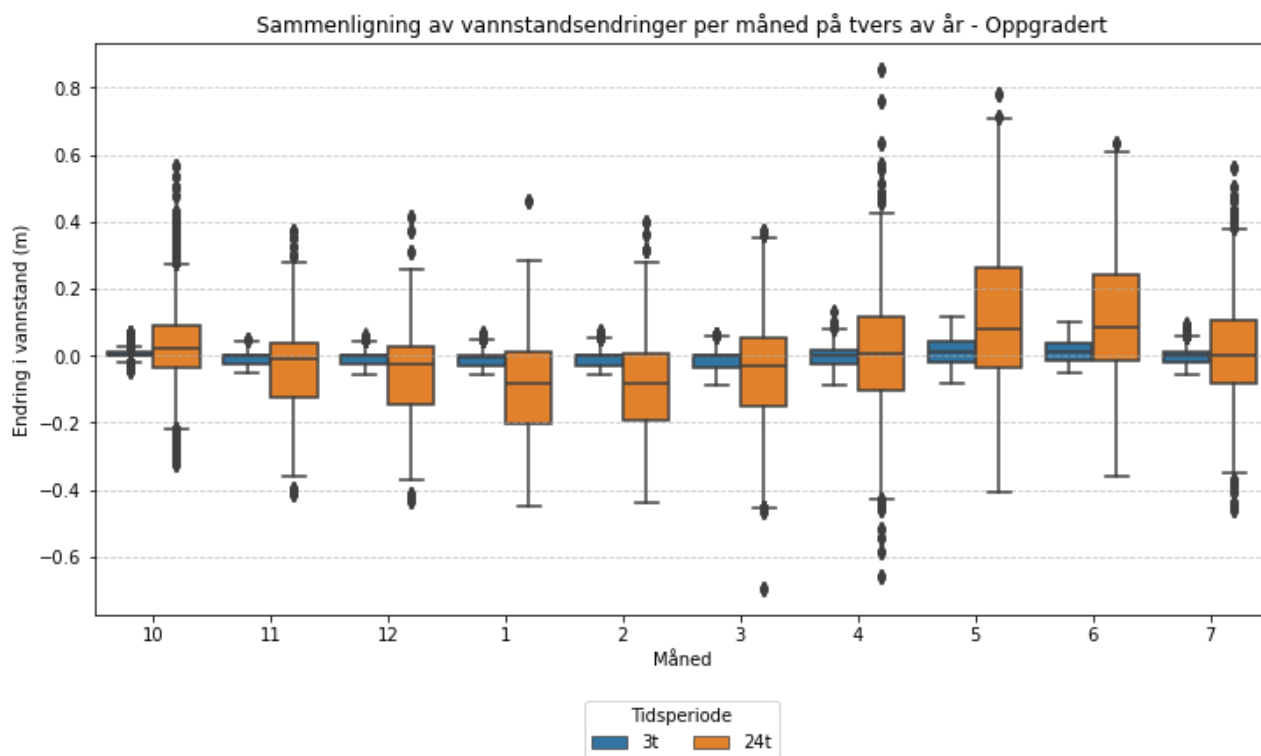
Figur 16. Vannstand i Holmavatn fra oktober til juli for værårene 1980/1981 til 1989/1990 modellert med Prodrisk Oppgradert.



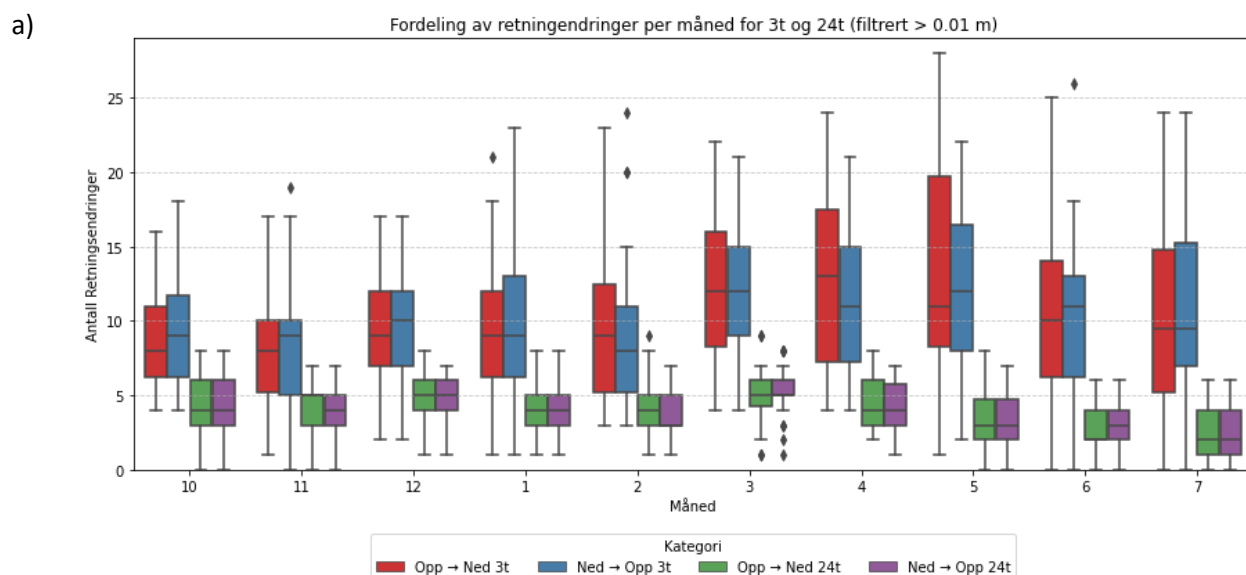
Figur 17. Vannstand i Holmavatn fra oktober til juli for værårrene 1990/1991 til 1999/2000 modellert med Prodrisk Oppgradert.



Figur 18. Vannstand i Holmavatn fra oktober til juli for værårrene 2000/2001 til 2009/2010 modellert med Prodrisk Oppgradert.

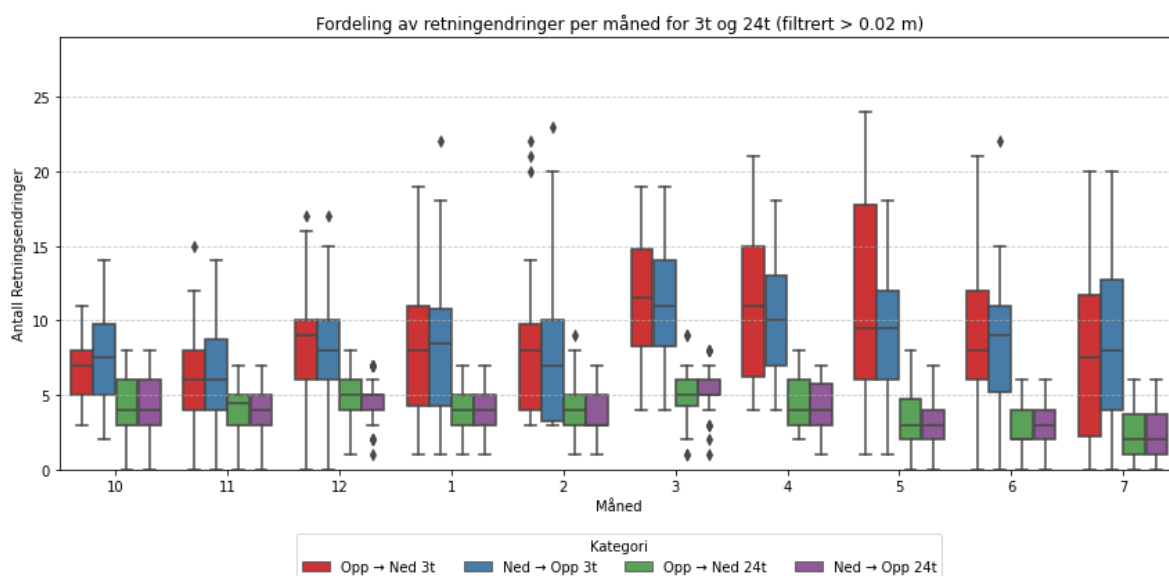


Figur 19. Statistiske verdier beregnet med Prodrisk oppgradert for værårerne 1980 til 2010 visualisert som boksplott for hvor mye vannstand har endret seg i 3 timer og i 24 timer. For hvert enkelte måned om vinteren (oktober til juli).

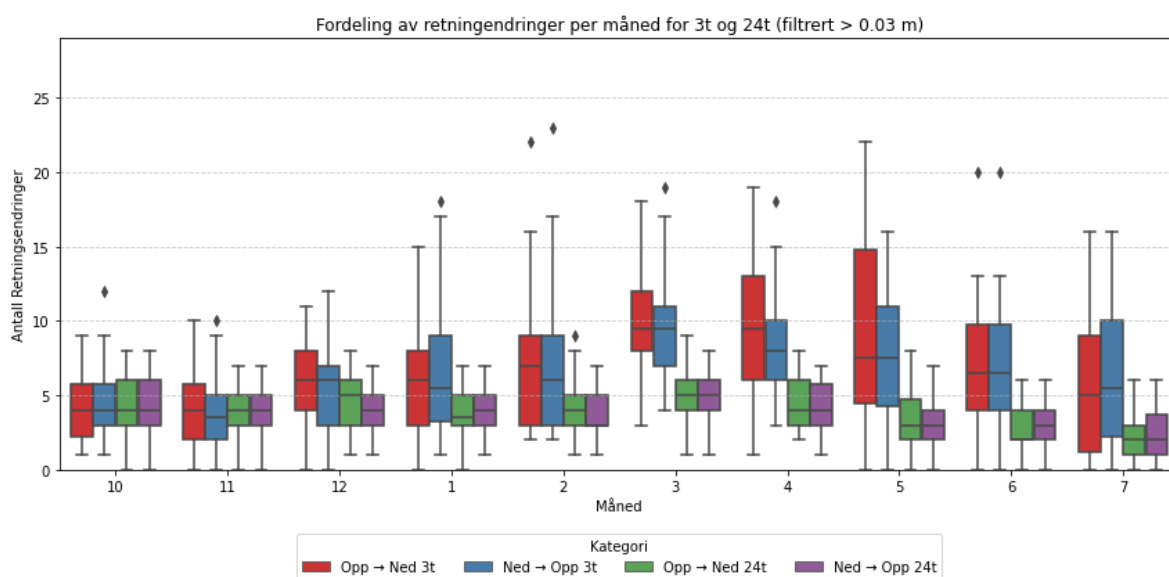




b)

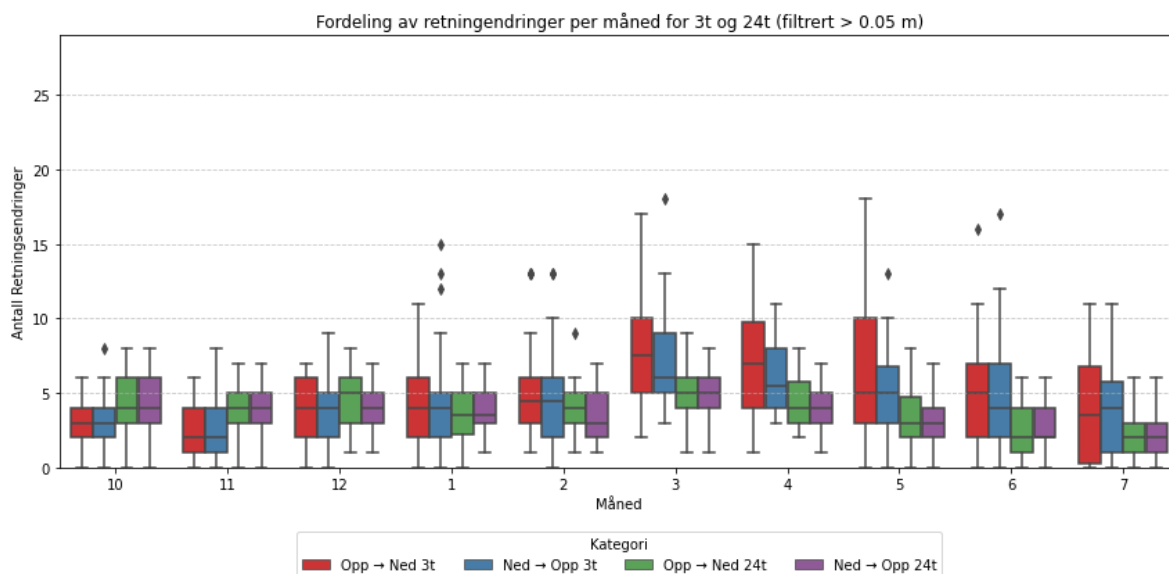


c)





d)

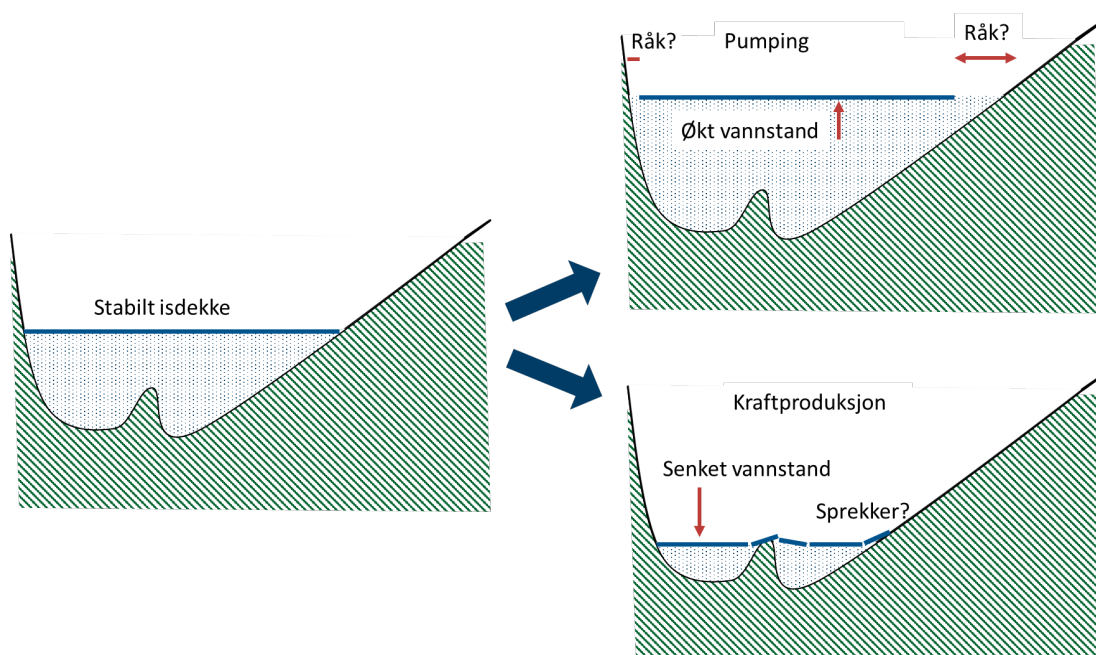


Figur 20. Statistiske verdiene kalkulert med Prodrisk for oppgraderte versjon i årene 1981-2010 - visualisert som boksplott. Hvor ofte synker og stiger vannstand i en måned, når man måle vannstand hver 24 timer og hver 3 timer for hvert enkelte måned i vinter (oktober til juli). Vannstandsendringer som er mindre enn 1cm (a), 2cm (b), 3cm (c) og 5cm (d) blir ignorert.

4 Isforhold

Det er en rekke forhold som påvirker isdannelse, istykkelse, sprekkdannelse, dannelse av råker og stabilitet av isforholdene på et magasin som reguleres. I tillegg til naturlige forhold som lufttemperatur, vanntemperatur, nedbør, strålingsforhold, vind, bølger og strømningsforhold, betyr vannstandsendringer og kraftverksdrift også mye. Ettersom vi kan anta at de naturgitte forholdene er sammenlignbare i alle alternativer, er det bare vannstandsvariasjonene som endres for videre å kunne endre isforholdene. Vi har forsøkt å vurdere hvordan vannstandsforholdene har påvirket isforholdene ved bruk av satellittbilder, samt hvordan isforholdene blir som følge av alternativene basis og oppgradert.

Usikker is kan oppstå som følge av vannstandsendringer både ved synkende og stigende vannstand. Figur 21 illustrerer dette gjennom økt fare for sprekkdannelser og dermed åpne råker ved synkende vannstand, samt mulighet for dannelse av råker ved land og langs øyer når vannstanden stiger. I tillegg til effekten av vannstandsendringer, vil selvsagt alle de naturgitte forholdene nevnt over virke inn og øke, redusere eller forandre faren for usikker is.

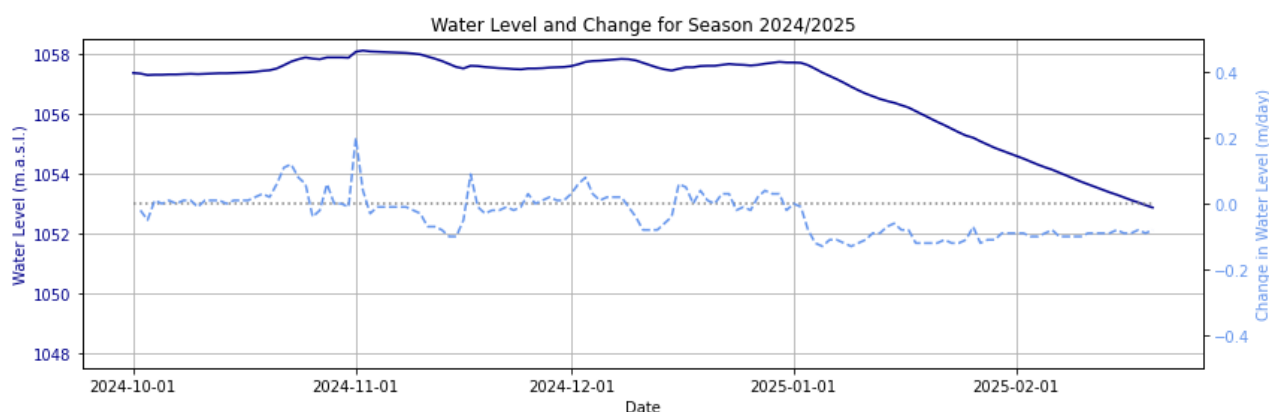


Figur 21. Illustrasjon av endringer i isdekke som følge av pumping (øverst til høyre) eller kraftproduksjon (nederst til høyre).

4.1 Historiske forhold i Holmavatn

Vi har sett på historiske optiske satellittbilder fra Sentinel-satellitten i Copernicus-programmet (<https://www.copernicus.eu/en>) for Holmavatn for vintrene 2021/2022, 2023/2024 og 2024/2025. Hvis det er overskyet, er det ikke mulig å se Holmavatn slik at det ikke alltid er mulig å tidfeste nøyaktig når isen legger seg. I tillegg vil også snødekke gjøre det svært vanskelig å vurdere hvordan isforholdene er eller endrer seg. Vi har vist vannstanden og vannstandsendringer i figurer sammen med satellittbildene i Figur 22-Figur 27.

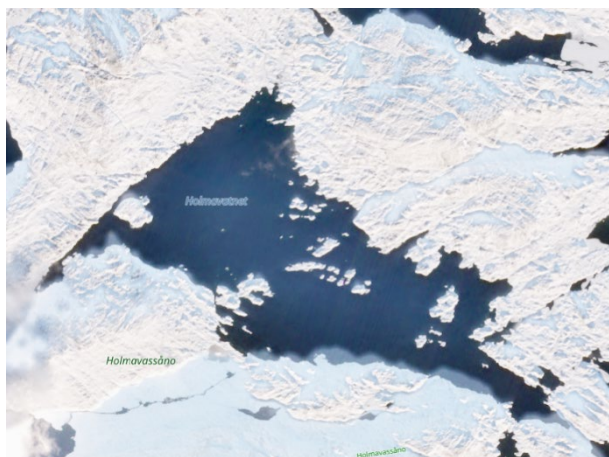
Vi kan observere at sprekkdannelse skjer på starten av sesongen når isen trolig er tynn. Vinteren 2024/2025 er det stabil og høy vannstand i starten av sesongen, og vi ser ikke mange sprekker. Derimot er det lett å se mange sprekker vinteren 2023/2024 som har synkende vannstand fra tidlig november og større vannstandsendringer enn vinteren 2024/2025. I midten av desember 2023 stiger også vannstanden noe, men på neste satellittbilde er Holmavatn dekket av snø. I starten av vinteren 2021/2022 stiger vannstanden og vi ser også her at det har dannet seg sprekker mellom 21. november og 16. desember. Sprekkene er også synlige gjennom et snødekke.



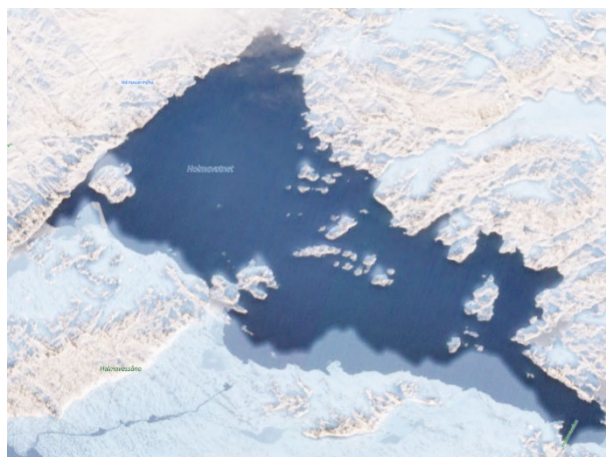
Figur 22. Vannstand på venstre y-akse og vannstandsforandring på høyre y-akse vinteren 2024/2025.



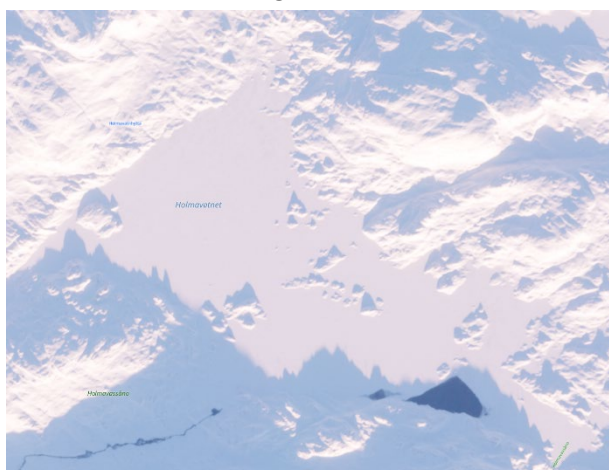
SINTEF



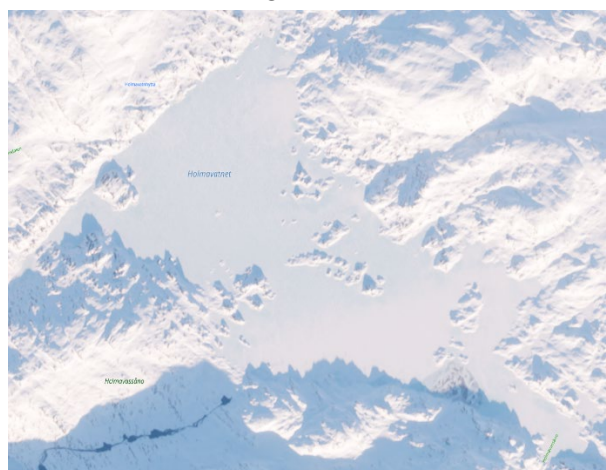
18.11.24



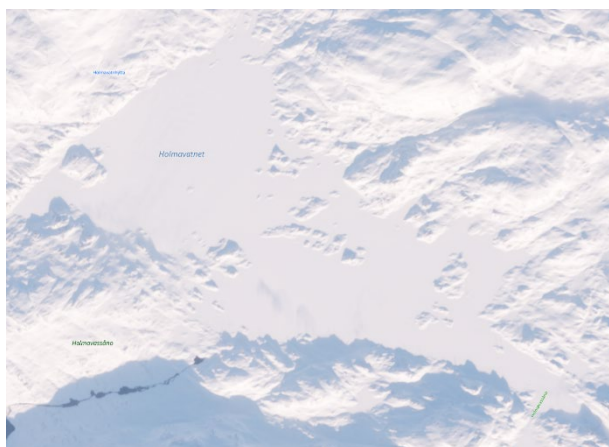
3.12.24



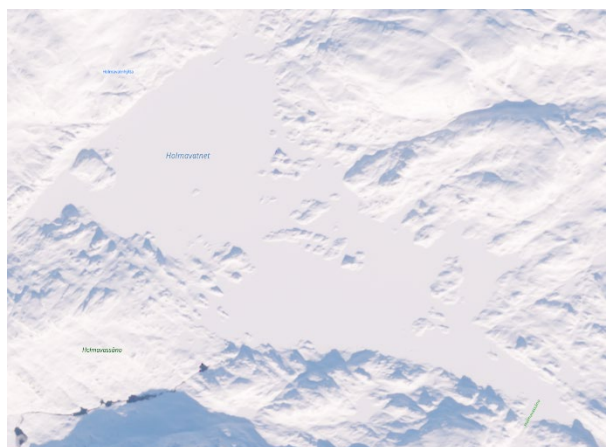
23.12.24



19.1.25

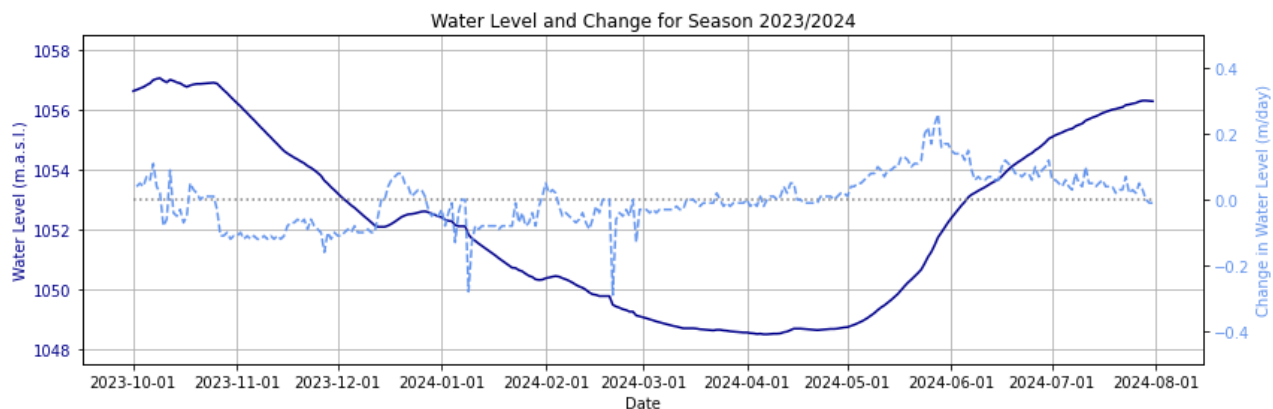


1.2.25



16.2.25

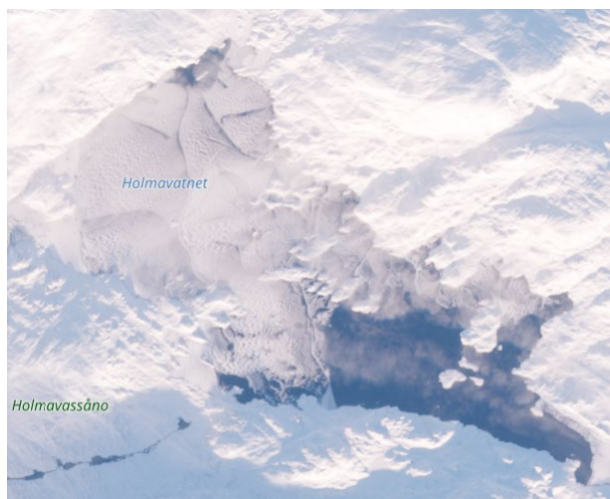
Figur 23. Satellittbilder av Sentinel-satellitten tatt fra <https://www.copernicus.eu/en> for Holmavetn vinteren 2024/2025.



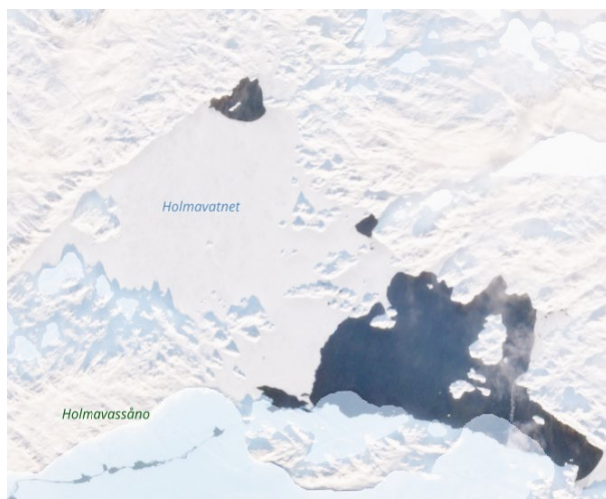
Figur 24. Vannstand på venstre y-akse og vannstandsforandring på høyre y-akse vinteren 2023/2024.



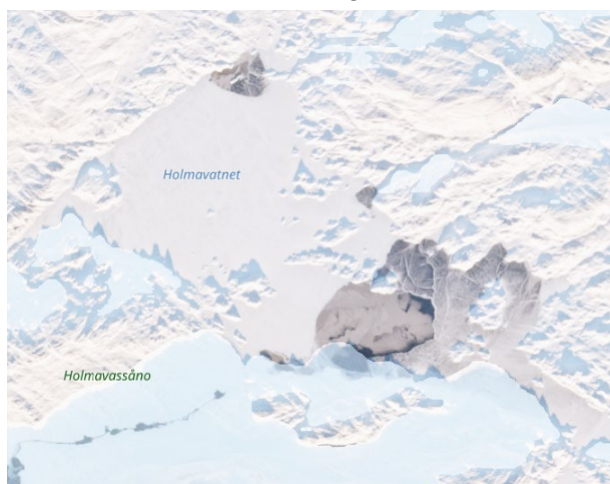
SINTEF



21.11.23



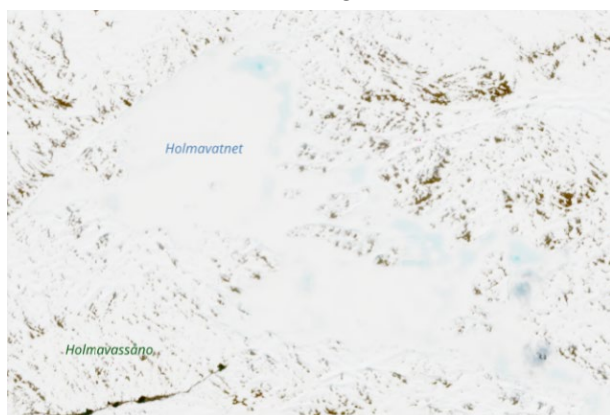
24.11.23



1.12.23

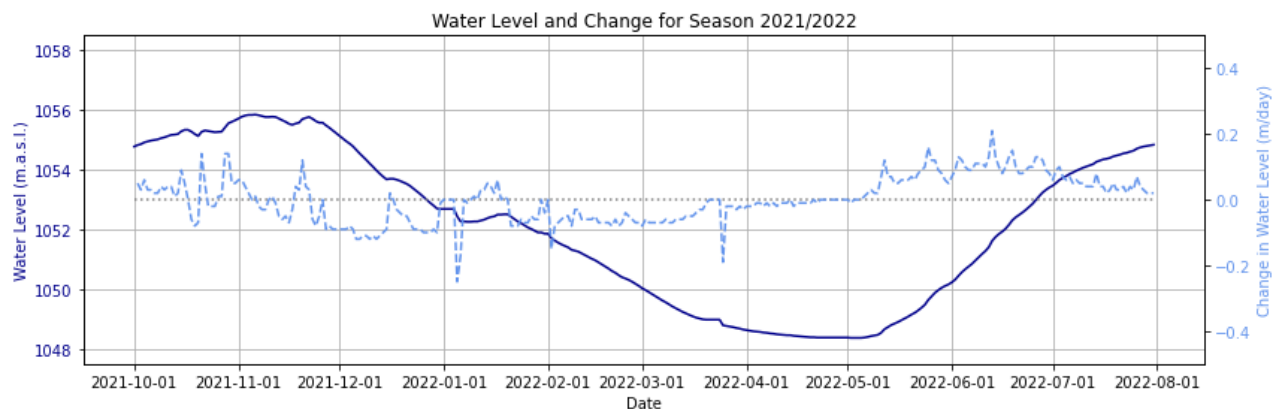


5.1.24



17.5.24

Figur 25. Satellittbilder av Sentinel-satellitten tatt fra <https://www.copernicus.eu/en> for Holmavatn vinteren 2023/2024.



Figur 26. Vannstand på venstre y-akse og vannstandsforandring på høyre y-akse vinteren 2021/2022.



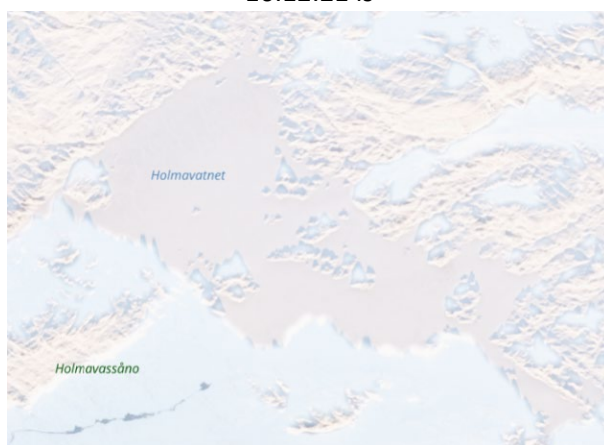
21.11.21 vannstand stiger



16.12.21 is



26.12.21



29.12.21



20.01.22

Figur 27. Satellittbilder av Sentinel-satellitten tatt fra <https://www.copernicus.eu/en> for Holmavatn vinteren 2021/2022.



4.2 Framtidige forhold med dagens kraftsystem

Fra kapittel 3.2 har vi sett at vannstandsendringene i et framtidig energisystem med dagens kraftsystem i RSK (basis-alternativet), blir veldig sammenlignbart med historiske forhold (kapittel 3.1). Vi kan da anta at isforholdene ikke vil endre seg mye i forhold til dagens situasjon om ingen andre forhold endrer seg. Derimot kan klimaendringer og et eventuelt endret forbruksmønster føre til større ulikhet mellom framtidige forhold og historiske verdier, og med mildere vintere og mulighet for mer nedbør som regn vil værforholdene ha mulighet til å svekke isforholdene. Økt nedbør som regn om vinteren vil gi økt vintertilsig som igjen kan føre til noe hurtigere stigning av vannstanden. For øvrig har vi sett at det er variasjon i hvordan isforholdene utvikler seg fra år til, med de to siste vintrene som eksempler på dette. Det er med andre de lokale vær-, tilsigs- og driftsforholdene som trolig vil styre hvordan isen utvikler seg også i framtiden for basis-alternativet. Videre er det sjelden vannstanden endrer seg mer enn 10 cm på et døgn, noe som ifølge Figur 5 ikke vil gi sprekker dersom isen flyter fritt på vannet. I et område med øyer og skjær vil det kunne være fare for sprekkdannelse også ved vannstandsendringer under 10 cm på et døgn, men det innebærer da at vannstanden synker slik at isen blir liggende å hvile eller støte mot øyer og skjær.

4.3 Framtidige forhold med oppgradert kraftsystem

Fra kapittel 3.3 har vi sett at vannstandsendringene i et framtidig oppgradert kraftsystem med Kvanndalsfoss pumpekraftverk vil ha større vannstandsvariasjoner og langt flere endringer mellom stigende og synkende vannstand gjennom vinteren enn basis-alternativet uten endret kraftsystem i RSK. Dette kan gi en seinere islegging og flere perioder med mulighet for sprekkdannelser og åpne råker. På den annen side viser analysene for oppgradert kraftsystem at vannstanden i mange år vil ligge lenge ganske stabil på høy vannstand rundt HRV i starten av vinteren, noe som vil bidra til å stabilisere isforholdene. Samtidig vil det fortsatt være en del år hvor vannstanden tappes ned tidlig på vinteren.

Det blir også langt hyppigere retningsendringer i vannstanden for oppgradert kraftsystem sammenlignet med basisalternativet, altså at vannstanden går fra stigende til synkende eller motsatt. Dette skjer imidlertid oftere mot slutten av vinteren, når vi uansett antar at det har etablert seg et solid isdekke.

I tillegg til vannstandsendringer vil også plassering av inntak/utløp for pumpekraftverket kunne påvirke strømningsforhold og vanntemperatur som igjen kan påvirke isforholdene lokalt i nærheten av inntak/utløp. Dette kan også påvirke et større område dersom for eksempel varmere vann blir ført mot overflaten i Holmavatn gjennom pumping fra Kvanndalsfoss. Det er imidlertid usikkert i hvor stor grad vann som pumpes inn i Holmavatn vil spre seg, noe som kan undersøkes nærmere med en hydrofysisk modell for Holmavatn.



5 Konklusjoner

Det finnes lite vitenskapelig litteratur knyttet til effekter på isforholdene i magasiner med pumpekraft. Internasjonal litteratur påpeker at værforholdene og klimaendringer uansett er en drivende faktor for isforholdene. Endringer i kraftverksdriften vil bli en tilleggspåvirkning til klimaendringene. En modellstudie av Sihlsee magasin på 889 moh i Sveits viser en antatt reduksjon på 82 prosent av isen når man kombinerer effekter av pumpekraft og klimaendringer (Kobler et al., 2019), men dette er ikke direkte sammenlignbart med forholdene i Holmavatn. I Norge finnes det foreløpig ingen publiserte studier, men det arbeides med dette i prosjektet HydroConnect (Harby m.fl. 2025, Hinegk et al 2025).

Isforholdene i Holmavatn påvirkes av mange faktorer der værforholdene er den viktigste påvirkningen. Her er lufttemperatur, vind, nedbør og skydekke viktige faktorer som igjen påvirker snøforhold, tilsig og energibalanse. I tillegg spiller vannstandsforhold og drift av kraftverkssystem en viktig rolle, men den underliggende utviklingen av vær og klima vil alltid være styrende for isforholdene.

Uten oppgradering av kraftsystemet i RSK, vil vannstandsendingene i Holmavatn trolig ikke bli veldig ulikt slik det er idag. Det vil derfor være de klimatiske forholdene som vil være styrende for isforholdene, med en begrenset mulighet til å påvirke dette gjennom tapping av vann fra Holmavatn. Hurtig senking av vannstanden spesielt når vannstanden allerede er lav, kan gi sprekkdannelser og usikre isforhold i starten av vintersesongen. Dette har funnet sted flere ganger historisk, og vil etter all sannsynlighet ikke bli mindre vanlig i framtiden uten bygging av Kvanndalsfoss pumpekraftverk.

Med oppgradering av kraftsystemet i RSK og bygging av Kvanndalsfoss pumpekraftverk, vil vannstandsforholdene i Holmavatn endres. Variasjoner i værforhold som temperatur, regn, snø, luftfuktighet og vind vil påvirke isforholdene, og det forventes endringer i disse forholdene som følge av klimaendringer. Sammenlignet med dagens situasjon og et framtidig kraftsystem uten endringer i RSK-anleggene, vil oppgradering av kraftsystemet med Kvanndalsfoss pumpekraftverk også kunne gi en langt større mulighet til å påvirke vannstands- og isforholdene i Holmavatn. Det vil for eksempel være mulig å manøvrere systemet for å holde en stabil vannstand som så langt det er mulig kan sikre isdannelsen.

Analyser med kraftsystemmodellen Prodrisk viser at det blir større vannstandsvariasjoner og langt flere endringer mellom stigende og synkende vannstand gjennom vinteren enn det vil bli uten oppgradering av RSK. Samtidig vil vannstanden trolig ligge lengre nær HRV i Holmavatn på starten av vintersesongen ettersom det også er mulig å pumpe vann til Holmavatn. Dette vil variere mellom år, men analysene viser at det vil bli langt flere år der vannstanden holder seg nær HRV lengre inn i vintersesongen, altså i perioden hvor isdekket legger seg. Økte vannstandsvariasjoner vil kunne påvirke isforholdene negativt sammenlignet med en situasjon uten pumpekraftverk, mens muligheten til å holde en i grove trekk stabil vannstand på et høyere nivå i starten av vintersesongen vil virke positivt på isforholdene, sammenlignet med en situasjon uten pumpekraftverk.

Pumping av vann til Holmavatn fra Kvanndalsfoss vil ikke bare påvirke isforholdene gjennom vannstandsendinger, men også gjennom mulige effekter på vanntemperatur og strømningsforhold. Kvanndalsfoss er et lite magasin og det forventes at vanntemperaturen vil være svært nær vanntemperaturen i tilsiget fra Kvanndalsåna, som i stor grad følger lufttemperaturen. Det er derfor liten grunn til å tro at temperaturen på vann som pumpes opp til Holmavatn vil være veldig ulik vanntemperaturen i overflaten av Holmavatn.



Området rundt inntak/utløp for pumpekraftverket i Holmavatn vil trolig få økt strømningshastighet og sirkulasjon. Dette kan svekke et eksisterende isdekke i nærheten av inntak/utløp, samt bidra til lokalt forsinket islegging. I hvor stort område av Holmavatn som kan bli påvirket av dette må undersøkes nærmere. I prosjektet HydroConnect er noe tilsvarende modeller i Roskreppfjorden i Sira-Kvina-anleggene (Harby m.fl. 2025). Der har man sett at effekten er begrenset til et område nært inntak/utløp. Dersom inntak/utløp legges til Naustvika i sørvestre ende av Holmavatn, vil virkningene fra vanntemperatur og strømning begrenses til dette området, og det er grunn til å tro at effektene lenger vekk i Holmavatn blir små. Det er derfor mulig at smart utforming og lokalisering av inntak/utløp i Holmavatn kan begrense påvirkningen på isforholdene og eventuelt i beste fall ikke påvirke isforholdene – og i noen tilfeller bidra til sikrere is. Dette bør imidlertid undersøkes nærmere.

Manglende eller forsinket islegging samt usikker is kan oppstå som følge av mange forhold. I tillegg til værforholdene kan vannstandsendringer og driften av kraftsystemet påvirke isforholdene gjennom endrede vanntemperatur- og strømningsforhold. Vannstandsendringer kan påvirke isforholdene i hele Holmavatn, mens endret vanntemperatur- og strømningsforhold trolig bare vil påvirke et område nært inntaket til dagens tappetunnel til Holmevassåna for basisalternativet uten pumpekraft, og til inntak/utløp for oppgradert system med pumpekraft.

Vi tar forbehold rundt analyser og konklusjoner siden alle forhold knyttet til framtidig kraftsystem og vær er basert på en rekke antakelser som det knytter seg usikkerhet rundt. For å redusere usikkerheten anbefaler vi å samle inn nødvendige grunnlagsdata og gjennomføre modellering av vanntemperatur, strømningsforhold og isforhold med modelleringsverktøy som er i stand til å simulere prosesser knyttet til hydrofysiske forhold i innsjøer og magasiner.



6 Referanser

- Billfalk, L. (1981). Formation of shore cracks in ice covers due to changes in the water level. Swedish State Power Board, The Hydraulic Laboratory, p.650-p.662.
- Bonalumi, M., Anselmetti, F. S., Wüest, A., & Schmid, M. (2012). Modeling of temperature and turbidity in a natural lake and a reservoir connected by pumped-storage operations. *Water Resources Research*, 48(8).
- Harby, A., Adeva-Bustos, A., Alfredsen, K., Arvesen, A., Bjørnerem, E., Hansen, O.M., Härtel, P., Hinegk, F., Korpås, M., Mo, B., Naversen, C.Ø., Schmitz, R. & Toffolon, M. 2025. Impacts of connecting Norwegian hydropower to continental Europe and the UK. Final report from HydroConnect (*in preparation*).
- Harby, A., Adeva-Bustos, A., Alfredsen, K., Arvesen, A., Bjørnerem, E., Hansen, O.M., Härtel, P., Hinegk, F., Korpås, M., Mo, B., Naversen, C.Ø., Schmitz, R. & Toffolon, M. 2025. Impacts of connecting Norwegian hydropower to continental Europe and the UK. Final report from HydroConnect (*in preparation*).
- Hinegk, F., Adeva-Bustos, A., Alfredsen, K., Høyland, K. V., & Toffolon, M. 2025 (submitted). Ice cracking in hydropower reservoirs with complex bathymetry: The response to hydraulic and thermal forcings. *Water Resources Research*.
- Kobler, U. G., Wüest, A., & Schmid, M. (2018). Effects of lake–reservoir pumped-storage operations on temperature and water quality. *Sustainability*, 10(6), 1968. <https://doi.org/10.3390/su10061968>.
- Kobler, U. G., & Schmid, M. (2019a). Ensemble modelling of ice cover for a reservoir affected by pumped-storage operation and climate change. *Hydrological Processes*, 33(17), 2676–2690. <https://doi.org/10.1002/hyp.13519>.
- Kobler, U. G., Wüest, A., & Schmid, M. (2019b). Combined effects of pumped-storage operation and climate change on thermal structure and water quality. *Climatic change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2340-x>.
- Morse, B., Stander, E., Cote, A., Richard, M., Desmet, V. (2011). Stress and Strain dynamics in a hydro-electric reservoir ice sheet. CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment 16th Workshop on River Ice, Winnipeg, Manitoba, p.303-316.
- Prat, Y., Desmet, V., Santerre, R., Morse, B., & Bourgon, S. (2012). Continuous monitoring of an ice sheet in a reservoir upstream of Beaumont Dam, Canada. *Journal of Surveying Engineering*, 138(1), 37-45. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000060](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000060)
- Stander, E. (2006). Ice stresses in reservoirs: Effect of water level fluctuations. *Journal of Cold Regions Engineering*, 20(2), 52-67. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2006\)20:2\(52\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2006)20:2(52)).
- Willmot, J. G. (1952). "Measurement of ice thrust on dams." Ontario Hydro Res. News, Vol. 4.3, 23–25.