

SULDALSLÅGEN – MILJØRAPPORT NR. 31

TITTEL: Vanntemperaturer i Suldalslågen. Simulering av uregulert tilstand i 1931-2002 og ulike skisseforslag til nytt vannføringsregime.

FORFATTERE:
Ånund Sigurd Kvambekk

UTFØRENDE INSTITUSJONER:
NVE

SAMMENDRAG:

Fra værdata og vannføringer fra uregulerte nabostasjoner er det for perioden 1931-2002 beregnet hvordan vanntemperaturer ville vært dersom Suldalslågen var uregulert. Temperaturene er beregnet både øverst og nederst i elva.

Det er også studert virkningen på vanntemperaturen ved ulike strategier for vannslipp til Suldalslågen fra dammen ved Suldalsosen (se figur 6.1). De største forskjellene ble funnet når vannføringen ble holdt vesentlig lavere enn i dag. En fikk da kaldere vann om vinteren og varmere vann om sommeren. Strategien "Forslag 2" ga i mai-juni 3-4 °C varmere vann nederst i Suldalslågen enn de andre strategiene, deriblant den simulerte historiske kjøringen. Øverst i Suldalslågen var forskjellen 2-3 °C. Strategien "Dynamisk 2VM" ga omtrent 2 °C varmere vann nederst i august og september i tørre år.

Sammenlignet med de historiske dataene i 1998-2002 (regulert elv) ville en uregulert Suldalslågen vært 0.5-1.0 °C varmere i januar-april, omtrent lik temperatur i mai-juli og igjen økende til 1-2 °C varmere i september-desember, alle temperaturene tatt nederst i elva. Temperaturen øverst i elva ville vært 0-0.5 °C kaldere i januar-april, 0-1 °C varmere i mai-juli, 1-2 °C varmere i august-oktober og omtrent 1 °C varmere i november-desember.

Fra de simulerte vanntemperaturene er det beregnet hvor ofte det blir islegging i nedre del av Suldalslågen. Hyppigheten ble femdoblet fra 9 til 41 dager pr. år med isdekke i testperioden (1996, 1998-99 og 2001-02) ved å senke vannføringen fra dagens 12 m³/s til 6 m³/s, men selv da varte hver isperiode sjelden lengre enn 20 døgn. Isforholdene i en uregulert Suldalslågen ville vært omtrent som ved dagens kjøring (12 m³/s).

ABSTRACT:

We have simulated what the water temperature in Suldalslågen would have been like if the river had remained unregulated. Simulations are based upon climatic data and flow records from unregulated rivers. The temperature has been simulated for the period 1931-2002 just downstream lake Suldalsvatn and at the outlet to the sea.

The water temperature effects of different water release strategies from the dam at lake Suldalsvatn have been studied (see figure 6.1). The largest deviations were found when the discharges were kept considerably lower than today. Then the water was colder in wintertime and warmer in summertime. In May-June, at the lower end of Suldalslågen, the strategy "Forslag 2" (=Suggestion 2) gave 3-4 °C warmer water than the other strategies, among them the simulated historical release. At the upper end the temperature difference was 2-3 °C. In dry years, the strategy "Dynamisk 2VM" (=Dynamical 2VM) yielded approximately 2 °C warmer water at the lower end in August-September.

Compared to the historical data (regulated) from 1998-2002 an unregulated Suldalslågen would have been 0.5-1.0 °C warmer in January-April, about equal temperatures in May-July and again increasing to 1-2 °C warmer in October-December, all temperatures from the lower end of the river. At the upper end the temperature would have been 0-0.5 °C colder in January-April, 0-1 °C warmer in May-July, 1-2 °C warmer in August-October and approximately 1 °C warmer in November-December.

Ice production at the lower end of the river was calculated from the simulated water temperature. The frequency increased about five times from 9 to 41 days with ice cover per year in the test period (1996, 1998-99 og 2001-02) when the winter discharge was reduced from 12 m³/s to 6 m³/s. Even then the duration of each ice events seldom exceeded 20 days. If Suldalslågen was unregulated, the ice production would have been approximately the same as with the present regulation (12 m³/s).

EMNEORD: Vanntemperatur, kjørestategier, Is

OPPDRAGSGIVER: Statkraft SF

ÅR: 2004

ISBN 82-554-0615-8
ISSN 1502-1890

Innhold

1. Innledning.....	6
1.1. Områdebeskrivelse.....	7
1.2. Fremgangsmåte	7
1.2.1. Tilgjengelige data	7
1.2.2. Simulering	7
2. Vanntemperaturer inn til Suldalsvatnet.....	8
2.1. Fremgangsmåte	8
2.2. Resultater	10
2.3. Begrensninger og usikkerhet	11
3. Naturlig vannføring inn og ut av Suldalsvatnet	11
3.1. Fremgangsmåte.....	11
Tilløp 1931-1964	11
3.1.1. Tilløp 1965-2002.....	11
3.1.2. Avløp 1931-1964	12
3.1.3. Avløp 1965-2002	12
3.2. Begrensninger.....	12
3.3. Resultater	12
3.4. Usikkerhet	14
4. Vanntemperatur ut av Suldalsvatnet	14
4.1. Fremgangsmåte	14
4.1.1. Værdata	14
4.1.2. Innsjømodellen QUAL2E.....	16
4.2. Innsjømodelleringen.....	17
4.2.3. Kalibrering.....	17
4.2.4. Overlagring	18
4.3. Begrensninger.....	18
4.4. Resultater	18
4.5. Usikkerhet	20
4.6. Regulert mot uregulert vanntemperatur i 1998-2002.....	21

5.	Vanntemperatur nederst i Suldalslågen.....	22
5.1.	Fremgangsmåte.....	22
5.2.	Begrensninger	24
5.3.	Resultater	24
5.4.	Usikkerhet	24
5.4.1.	Med værobservasjoner fra Sauda som input	24
5.4.2.	Med værobservasjoner fra Bergen som input.....	25
5.4.3.	Samlet usikkerhet.....	25
5.5.	Regulert mot uregulert vanntemperatur i 1998-2002	26
6.	Simulerte vanntemperaturer ved tre skisserte forslag til vannføringsregimer.....	28
6.1.	Bakgrunn.....	28
6.2.	Vannføringsregimene.....	28
6.3.	Fremgangsmåte.....	29
6.3.1.	QUAL2E.....	29
6.3.2.	Hva styrer uttrekningsdypet?	30
6.4.	Vanntemperaturendring ned Suldalslågen	32
6.5.	Begrensinger	33
6.6.	Resultater	33
6.7.	Isforhold i Suldalslågen	40
6.8.	Konklusjoner.....	42
6.9.	Usikkerhet	43
7.	Dataoverlevering	43
8.	Referanser.....	44
Vedlegg A.	Plott av simulerte uregulerte vanntemperaturer ved Suldalsosen	45
Vedlegg B.	Plott av simulerte uregulerte vanntemperaturer ved Tjelmane.....	48

1. Innledning

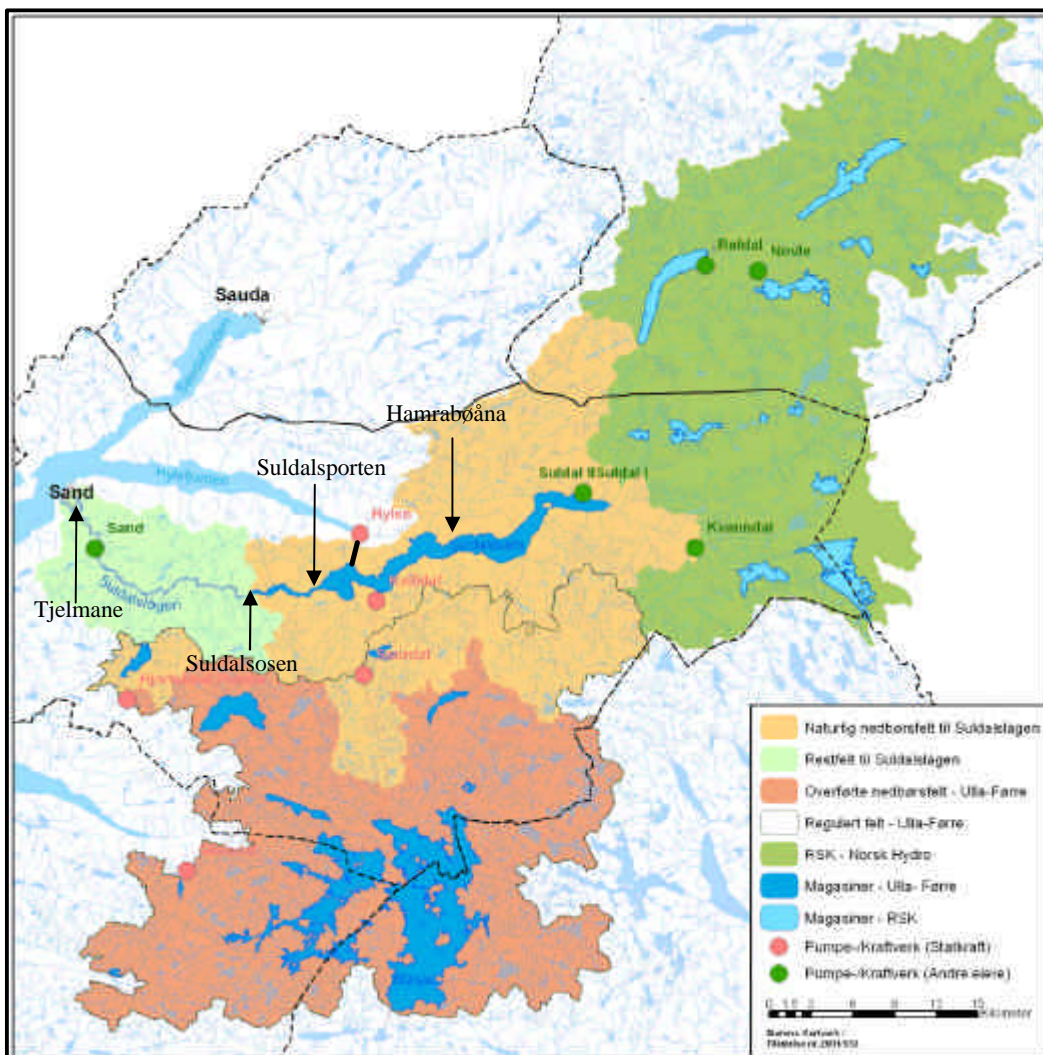


Fig. 1.1 Kart som viser utbyggingene i Suldalslågen og noen sentrale navn.

I forbindelse med biologiske undersøkelser i Suldalslågen ønsket Statkraft en komplett simulert vanntemperaturserie fra 1931 til 2002 dersom Suldalslågen var uregulert i hele perioden. Suldalsvassdragets reguleringshistorie er som følger:

- Frem til og med 1964 Uregulert
- 1965 Røldal-Suldal utbyggingen under bygging
- 1966 Valldalsmagasinet under oppfylling
- 1967-1979 Røldal-Suldal utbyggingen ferdig
- 1980-86 Ulla-Førre kraftverkene igangsettes
- 1987-89 Blåsjø under oppfylling

Siste del av rapporten omhandler vanntemperaturforholdene med dagens regulering. Det vurderes der vanntemperaturforhold og isforhold ved ulike vannføringsregimer i Suldalslågen. En grundigere beskrivelse av reguleringen vil bli å finne i sluttrapporten for hydrologi i samme rapportserien som denne rapporten.

1.1. Områdebeskrivelse

Suldalslågens nedbørfelt er regulert i to utbygginger betegnet som Røldal-Suldal utbyggingen og Ulla-Førre utbyggingen. Fig. 1.1 viser en oversikt over utbyggingen. Ved uregulerte forhold må en ikke regne med området i sør (Blåsjø) som i dag overføres til Suldalsvatnet gjennom Saurdal og Kvilldal kraftverk.

1.2. Fremgangsmåte

1.2.1. Tilgjengelige data

Følgende data er tilgjengelig for modellering og kalibrering:

- Værdata fra Bergen i 1930-2002, variabelt om alle parametre er tilgjengelig.
- Værdata fra Sauda i 1954-2002 for justering av Bergensserien og bruk i enkelte simuleringer etter regulering.
- Snødata fra Suldalsområdet i 1986-2003.
- Målte vannføringer ut av Suldalsvatnet 1930-2002 (egentlig vannstandsmålinger i Suldalsvatnet).
- Vannføringsdata fra nabostasjonene Hølen og Stordalsvatnet i 1930-2002.
- Vannføring nederst i Suldalslågen fra 1962-2002
- Noen få vanntemperaturmålinger fra Suldalsvatnet i 1963 og 1964 (Veggland, 1964) samt målinger hver time fra 1980-2002, alle til minst 50 m dyp.
- Vanntemperaturer fra 1991-2002 fra Hamrabøåna, en uregulert sideelv til Suldalsvatnet.
- Vanntemperaturer øverst i Suldalslågen fra 1962-2002.
- Vanntemperaturer nederst i Suldalslågen fra 1972-2002.
- Vanntemperatur i 7 sidefelt til Suldalslågen i 2001-2002.

1.2.2. Simulering

Det er en lang kjede av beregninger som må utføres der resultatet av en beregning danner input til neste beregning. Fremgangsmåten er kort beskrevet nedenfor og i figur 1.2.

- Finn temperaturen på vannet inn til Suldalsvatnet som en korrelasjon med lufttemperaturen. Om nødvendig tas det hensyn til snøforholdene.
- Vannføringen inn i Suldalsvatnet for den uregulerte perioden finnes ved å kjøre tilsigsberegninger (baklengs routing) til Suldalsvatnet. En har da målt vannføringen ut av vannet. For den regulerte perioden finnes vannføringen inn ved å skalere opp en eller flere nabostasjoner.
- Vannføringen ut av Suldalsvatnet er målt fra 1931-64. I den regulerte perioden finnes den ved å route det beregnete tilsiget gjennom Suldalsvatnet.
- Vanntemperaturen ut av Suldalsvatnet finnes ved å kjøre den todimensjonale modellen QUAL2E (se kapittel 4).
- Vanntemperaturen nederst i Suldalslågen finnes ved å kjøre den endimensjonale temperaturmodellen RICE (se kapittel 5). Om nødvendig justeres det for påvirkning fra sideelvene og snøsmelting.

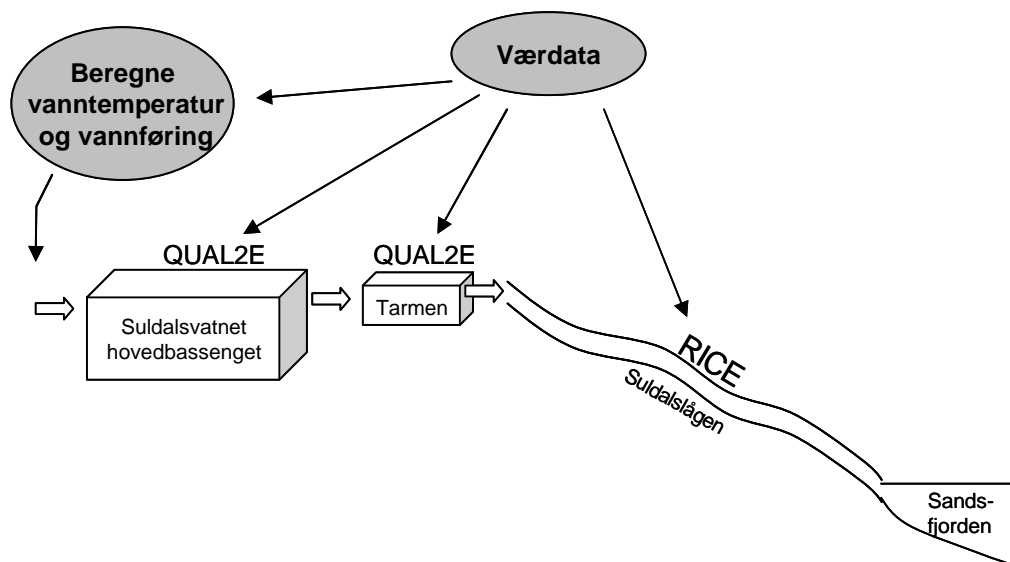


Fig. 1.2 Skisse som viser sammenhengen mellom simuleringene fra vannet kommer inn i Suldalsvatnet til det renner ut i Sandsfjorden ved utløpet av Suldalslågen.

2. Vanntemperaturer inn til Suldalsvatnet

2.1. Fremgangsmåte

Det skal beregnes en tidsserie for temperaturen i tilsigsvannet til Suldalsvatnet. For hovedvassdragene inn til Suldalsvatnet finnes ingen vanntemperaturdata for uregulert tilstand. Det er derfor tatt utgangspunkt i en vanntemperaturserie for Hamrabøåna (36.68). Dette vassdraget drenerer områdene nord-nordvest for Suldalsvatn. Feltet inkluderer fjellområder, og må kunne antas å være representativt for de forhold som påvirker vanntemperatur i resten av dreneringsområdet til Suldalsvatn, bortsett fra at det ikke er større vann oppstrøms målestasjonen. For dette feltet finnes data fra 24/4-1991 og til dags dato, men hvor perioden 18/1-1993 til 24/5-1998 mangler. Det er også noen andre mindre hull i serien.

Målet var å etablere en sammenheng med lufttemperaturen for å kunne beregne en vanntemperatur for hele perioden 1931-2002. De nærmeste elektronisk tilgjengelige dataene for lufttemperatur som dekket hele perioden var fra Bergen. Det ble korrigert for en stasjonsflytting slik at serien representerte Fredriksberg i Bergen. Senere i rapporten etablerer vi en korrelasjon mellom lufttemperaturene i Sauda og Bergen. Det ville gitt de samme resultatene om vi korrelerte de genererte Saudadataene med vanntemperaturene i Hamrabøåna, da Saudaserien bygger på Bergensserien. Vi har derfor korrelert direkte med Bergensserien.

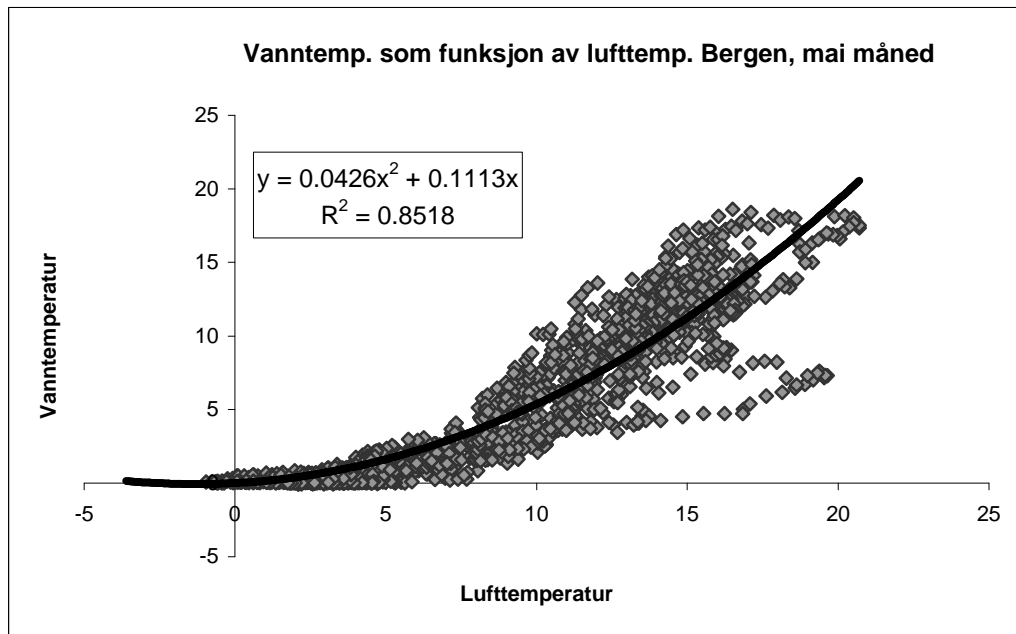


Fig 2.1 Alle observerte verdier fra mai måned sammen med kurven som er brukt til å simulere vanntemperaturen.

Det ble etablert en regresjonslikning mellom vanntemperaturen i Hamrabøåna og lufttemperaturen i Bergen. Fordi vanntemperaturen reagerer tregere enn lufttemperaturen er regresjonen etablert for et glidende middel av de foregående 21 dager for lufttemperaturen. Sett for året under ett (alle data) gir dette en relativt god sammenheng (forklaringsgrad 0,85) der vanntemperaturen kan modelleres fra likningen

$$T_v = 0,0426 \cdot (\overline{T_{Bergen}^{21}})^2 + 0,1113 \cdot \overline{T_{Bergen}^{21}}$$

hvor $\overline{T_{Bergen}^{21}}$ er temperaturmiddelet av de foregående tre ukene for Bergen.

Fig. 2.1 viser sammenhengen mellom observert og simulert vanntemperatur sammen med lufttemperaturene for mai måned. Denne måneden har dårligst sammenheng, trolig på grunn av snøsmelting. Likningen er brukt til å etablere en tidsserie for vanntemperatur for undersøkelsesperioden 1931 – 2002. Denne tidsserien er justert for falloppvarming fra målestasjonen (ca 270 moh) og ned til Suldalsvatn ved å legge til 0,47°C på alle verdier i sommerperioden (1. mai til 30. september). I vinterperioden gir temperaturutveksling med omgivelsene en avkjøling, og det er derfor ikke inkludert en falloppvarming i perioden 1. oktober til 30. april.

Temperaturforholdene i elver vil påvirkes av større innsjøer oppstrøms. I de større delfeltene som drenerer til Suldalsvatn er det flere innsjøer, blant annet Røldalsvatnet. Forholdene fra Røldalsvatnet med elv ned til Suldalsvatnet minner om forholdene fra Suldalsvatnet med elv ned til fjorden. Under kalibreringen av QUAL2E i Suldalsvatnet (kapittel 3) viste det seg tidlig at vanntemperaturen inn måtte være preget av innsjøer, dvs. varmere vann om høsten og vinteren enn i rene elver. Vi prøvde derfor å simulere en inntemperatur som lå nær temperaturen nederst i Suldalslågen. Da vi kun har gode data fra 1972 ved Tjelmane, ble perioden 1972-80 brukt som kalibrering. Suldalslågen er da

påvirket av Røldal-Suldal utbyggingen, særlig med stabilt høy vintervannføring, men ble likevel brukt.

Først beregnet vi middeltemperaturen for denne perioden og foretok en 10-døgns glatting av dataene. Vi antok så at temperaturen inn til Suldalsvatnet måtte ligne på denne kurven men med avvik bestemt av været. Avviket beregnet vi fra de ovenfor beskrevne beregningene for Hamrabøåna. Avviket ble beregnet som det som den simulerte temperaturen avvek fra "normalen", her middelet 1972-80. Avviket for Hamrabøåna er ikke uten videre likt et avvik for en elv som kommer fra en innsjø. Det vil oppstå en tidsforsinkelse gjennom innsjøen, særlig i den "kalde" årstiden. Etter litt prøving og feiling falt vi ned på følgende sammenheng som best beskrev temperaturen ved Tjelmane:

- Om sommeren, juni-september, er vanntemperaturen på samme måte som i en innsjøfri elv, svært preget av det som har skjedd siste døgn. Vi korrigererte derfor med samme avvik som var i Hamrabøåna dette døgnet. Avviket ble ganget med 0.6 for å unngå ekstremutslag.
- Resten av året skjer det en vesentlig forsinkelse gjennom innsjøen. Vi valgte å midle alle avvikene i Hamrabøåna de siste tre ukene med mest vekt på døgnene lengst unna i tid. Igjen ble avviket ganget med 0.6 for å unngå ekstremutslag.

Vi oppnådde med dette å komme rimelig nær vanntemperaturen ved Tjelmane, men det er likevel vanskelig å si om dette er riktig temperatur inn til Suldalsvatnet da vi fullstendig mangler målinger.

Det er ikke usannsynlig at variasjoner i snøforholdene fra år til år kan innvirke på vanntemperaturforholdene, slik at vanntemperaturserien må korrigeres. Vi modellerte utviklingen av snødekket (gitt i vannekvivalent i 0, 500 og 1000 moh) hver vintersesong gjennom perioden 1931-2002. Snømodellen er en enkel graddagsmodell som brukes i HBV-modellen (Bergström 1992, Tveito et al. 2002). Vi tok så ut alle datoene for start av snøsmeltingen i 500 m nivået. Dersom snøen har en innvirkning som ikke fanges opp i våre beregninger, så bør det være et systematisk avvik mellom våre simuleringer og de målte verdiene ved Tjelmane i dagene etter start av snøsmelting.

Når vi gikk gjennom kontrollperioden 1972-1980 fant vi et lite, men systematisk, avvik på 0.2 °C i de tre første ukene etter start på snøsmeltingen. Det som overrasket var at vi hadde simulert en for lav temperatur. Trolig skyldes dette at øket vannføring drar med seg mer "varmt" bunnvann. Vi korrigererte for dette selv om virkningen ved utløpet er neglisjerbart.

2.2. Resultater

Det er etablert en temperaturkurve fra 1931-2002 som ligner på temperaturen nederst i Suldalslågen. I mangel av observasjoner inn til Suldalsvatnet, men med dekning i testsimuleringer, antar vi at dette er den best oppnåelige inntemperaturen til Suldalsvatnet.

2.3. Begrensninger og usikkerhet

Det mangler fullstendig direkte observasjoner av vanntemperaturen inn til Suldalsvatnet. Innledende modellering av Suldalsvatnet indikerte at vanntemperaturen inn er påvirket av innsjøer og ser ut til å ligne på den en observerer nederst i Suldalslågen (Tjelmane). Modellering av vanntemperaturen bygger på enkle statistiske sammenhenger, og sammenligning mellom simuleringer og observasjoner er gjort i en periode hvor observasjonene er påvirket av Røldal-Suldal reguleringen.

Vi kunne ha beregnet sammenhengen mellom observert og simulert temperatur ved Tjelmane, men dette har liten mening da vi ikke vet hvor nær temperaturen ved Tjelmane ligger den virkelige temperaturen inn til Suldalsvatnet. For alt vi vet kan den simulerte temperaturserien ligge like nære sannheten som den temperaturen som er observert ved Tjelmane.

3. Naturlig vannføring inn og ut av Suldalsvatnet

3.1. Fremgangsmåte

Det skal beregnes en tilløpsserie og avløpsserie for Suldalsvatn for årene 1931-2002 som beskriver naturlige forhold i vassdraget. Før 1965 var Suldalsvassdraget helt uregulert og naturlig avløp ble da registrert ved målestasjonen 36.1.0.1001.1 Suldalsoset.

I korthet er naturlig tilløp og avløp fra 1931-2002 beregnet på følgende måte:

3.1.1. Tilløp 1931-1964

Tilløpsserien for perioden 1931-64, det vil si før Røldal-Suldal utbyggingen, er konstruert ved hjelp av programmet ROUTING (Excel-program ved NVE). Inngangsdata i beregningene er magasinkurve, vannføringskurve og observert avløp fra Suldalsvatn. I beregningen blir den opprinnelige avløpsserien korrigert for volumendringene i Suldalsvatn, resultatet blir dermed en serie som beskriver tilløpet til innsjøen. Slike tilsigsserier inneholder ofte noe "støy" som blant annet medfører at tilsiget enkelte dager blir svært lavt og også negativt. 2 m³/s er lagt inn som nedre grense for god tatt tilsig.

3.1.2. Tilløp 1965-2002

For perioden 1965-2002 er det konstruert en tilløpsserie for Suldalsvatn basert på observasjoner i nabovassdragene Kinso og Etneelv. Her har en målestasjonene 50.1.0.1001.1 Hølen og 41.1.0.1001.1 Stordalsvatn som begge er uregulerte og har vært i kontinuerlig drift fra før 1930. Midlere høyde for nedbørfeltene til Stordalsvatn og Hølen er omkring 700 og 1300 moh, mens for Suldalsvatn er midlere høyde drøyt 1000 moh. Det er antatt at Stordalsvatn er representativ for tilsiget fra det nå uregulerte lokalfeltet til Suldalsvatn og Lauvastølsvatn, tilsvarende ca. 36 % av Suldalsvatns naturlige tilsig. De resterende 64 % av tilsiget representeres av Hølen. Dette kommer fra områdene som nå er

regulert av Røldal-Suldal-utbyggingen og høytliggende inntak i Ulla-Førre-utbyggingen som naturlig drenerte til Suldalsvatn. For perioden 1931-64 har de ulike seriene følgende middelvannføringer ; Suldalsvatn - 88,5 m³/s, Hølen - 10,6 m³/s og Stordalsvatn 12,2 m³/s. Av dette følger faktorene i formelen nedenfor:

$$\text{Tilløp Suldalsvatn} = 5.33 \cdot \text{Hølen} + 2.62 \cdot \text{Stordalsvatn}$$

3.1.3. Avløp 1931-1964

I perioden 1931-64 er naturlig avløp fra Suldalsvatn registrert ved målestasjonen 36.1.0.1001.1 Suldalsvatn.

3.1.4. Avløp 1965-2002

For perioden 1965-2002 er naturlig avløp beregnet ved å route beregne tilløpsserie gjennom Suldalsvatn. I beregningene er det antatt et sjøareal i Suldalsvatn på 28,7 km², og at vannet har loddrette "vegger". For utløpet er det benyttet vannføringskurve som gitt for målestasjonen 36.1 Suldalsvatn under naturlige forhold. Routingen er utført i EXCEL.

3.2. Begrensinger

Dataene er beregnet som døgnmidler. Men ekstremverdier må benyttes med forsiktighet i alle de genererte seriene. Både ved beregning av tilløp basert på observert avløp og ved regresjon mot nabostasjoner vil særlig flomtopper være usikre. For eksempel gir de to tilløpsseriene maksimale flommer på ca. 860 m³/s og 1050 m³/s i løpet av perioden 1931-64. Volum over flere døgn antas imidlertid å være rimelig korrekt.

Men også ekstreme lavvannføringer blir usikre, om ikke i m³/s så i %. Laveste registrerte avløp fra Suldalsvatn fra 1931-64 er 3.3 m³/s. Mens routing av den beregnede tilløpsserien basert på Hølen og Stordalsvatn gir en minimumsvannføring på 4.2 m³/s.

Det er routet med loddrette magasinvegger. Det gir en ekstra unøyaktighet i vannføringen ut av Suldalsvatnet som kunne vært unngått, men sett over noen dager er denne feilen så godt som borte.

3.3. Resultater

Korrelasjonsanalyse av døgndata fra 1931-64 for de to tilløpsseriene viser at de stemmer godt overens (korrelasjonskoeffisient på 0,91). Visuell kontroll viste likevel at enkelte vannføringstopper ble noe spisse i serien basert på Hølen og Stordalsvatn. Denne serien ble derfor forsøkt midlet over 2 og 3 døgn, men korrelasjonskoeffisienten avtok da til under 0,9. Figur 3.1 viser tilløpet beregnet ved de to metodene for fire tilfeldige år.

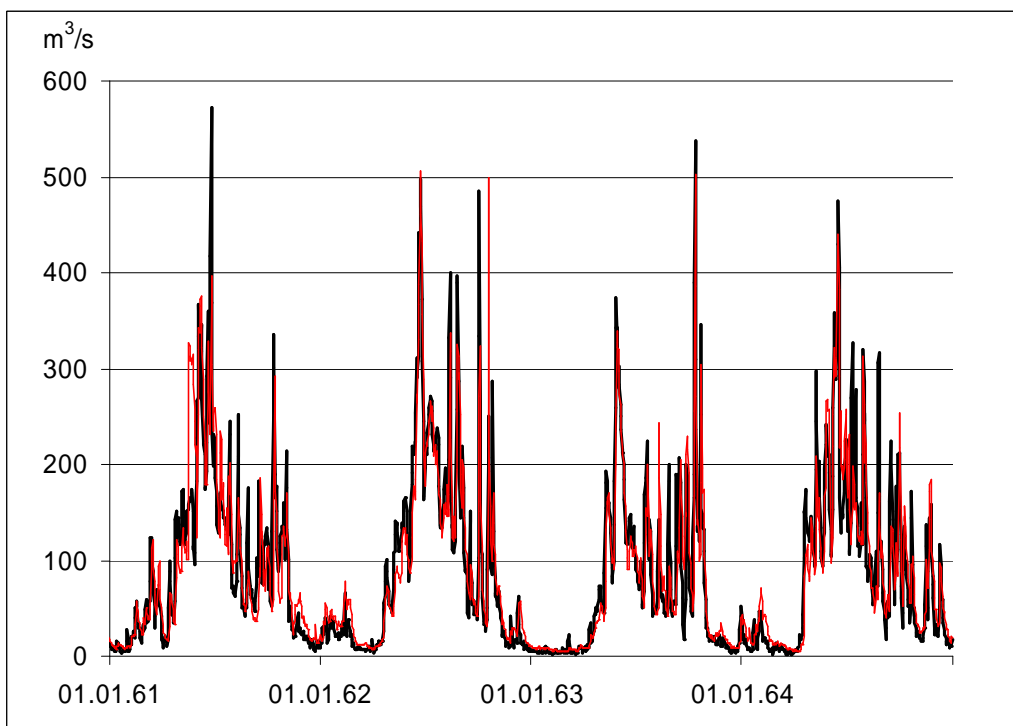


Fig. 3.1 Tilløp til Suldalsvatn for årene 1961-64. Den svarte kurven er basert på observert avløp ut av Suldalsvatn og den røde kurven på observasjoner ved stasjonene Hølen og Stordals-vatn.

Beregnet tilløpsserie basert på Hølen og Stordalsvatn er også routet gjennom Suldalsvatn for perioden 1931-64. Denne har en korrelasjonskoeffisient på 0,94 sammenlignet med observert avløp i samme periode.

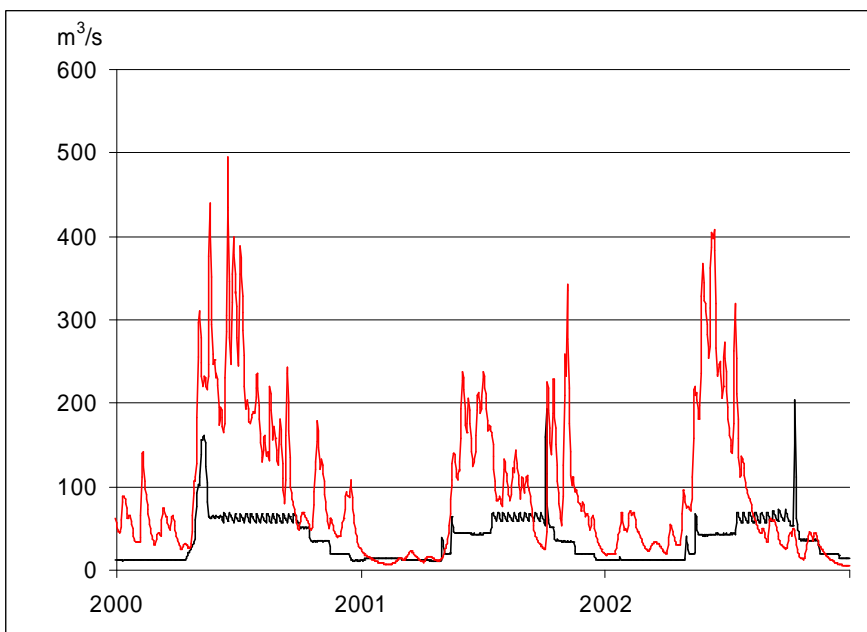


Fig. 3.2 Avløp fra Suldalsvatn for årene 2000-2002. Den svarte kurven viser observert avløp (minstevannføring) og den røde kurven beregnet naturlig avløp uten reguleringer i vassdraget.

Det er derfor all grunn til å tro at både beregnet tilløp og avløp for Suldalsvatn i perioden 1965-2002 gir en god beskrivelse av hvordan forholdene ville vært i vassdraget i naturlig tilstand. Figur 3.2 viser observert og beregnet naturlig avløp fra Suldalsvatn for de siste 3 årene. En ser at både flommene i vassdraget er betydelig redusert, men også at lavvannføringene er økt som følge av reguleringene i vassdraget.

3.4. Usikkerhet

For å kunne si noe om usikkerheten sammenlignet vi simuleringene fra 1931-1964 med dataene som er generert ved å route avløpsmålingene (egentlig vannstand i Suldalsvatnet) gjennom Suldalsvatnet. Målefeil og oppstuvning i vannet gir tidvis vesentlige feil i de genererte tilløpsdataene på døgnbasis, men feilen nulles ut i løpet av noen dager. Når vi korrelerer disse datasettene med hverandre får en altså et større standardavvik enn reelt da begge datasettene har vesentlige feil på døgnbasis.

På døgnbasis er standardavviket i simuleringssfeilen inn til Suldalsvatnet hele 39 m³/s. Midler en over noen dager reduseres feilen raskt og på månedsmidler er standardavviket i feilen på 18 m³/s. Middelveidene for hele perioden er så godt som identiske, men fordelt på måneder gjøres det midlere feil som stort sett ligger fra -5 til 7 m³/s (tabell 3.1). Størst er feilen naturligvis i mai måned når vannføringen er størst. Feilene ut av Suldalsvatnet (når en router de simulerte vannføringene gjennom Suldalsvatnet) er av samme størrelsesorden og tidsfordeling på denne tidsskalaen (måned).

Tabell 3.1 Middelene av alle avvikene for daglige verdier mellom simulert og observert vannføring for perioden 1931-1964. Midlene er fordelt på hver måned og gjelder vannføring inn til Suldalsvatnet. Et middel nær null tilsier at det ikke gjøres en systematisk feil. Avvikene er i m³/s.

jan	feb	mar	Apr	mai	jun	Jul	aug	sep	okt	nov	des
7.46	7.03	3.57	-5.53	-29.86	10.34	4.39	-0.66	-6.53	1.05	2.45	5.88

Disse feilene påvirker selvsagt de simulerte vanntemperaturene noe, men det er ikke gjort noe forsøk for å finne ut hvor mye. Vannføringen er bare en av mange feilkilder under simuleringene, og det er feilen i sluttproduktet, vanntemperaturen ved Suldalsosen, som er interessant.

4. Vanntemperatur ut av Suldalsvatnet

4.1. Fremgangsmåte

4.1.5. Værdata

For undersøkelsesperioden som helhet finnes det bare værdata fra Bergen på elektronisk form, mens det fra 1957 er data tilgjengelig også fra Sauda. Bergensdataene besto av to

serier: Fredriksberg 1931-1985 og Florida 1957-2002. Den overlappende perioden ble brukt til å homogenisere lufttemperatur, luftfuktighet og vindstyrke til forholdene ved Fredriksberg. Vi har brukt følgende rutiner for å tilpasse meteorologiske dataserier for Suldal til bruk i modellene QUAL2E og RICE:

For **lufttemperatur** ble det kjørt korrelasjonsanalyse for temperaturen i Bergen og Sauda. Dette gav en regresjonsmodell med en forklaringsgrad på 0,91. Denne modellen er så høydejustert med en gjennomsnittlig vertikal temperaturgradient på 0,6°C/100m, og antatt at temperaturen i Sauda og Suldal er like, slik at temperaturen ved Suldalsvatnet er gitt ved

$$T_{Suldal} = 1,20 \cdot T_{Bergen} - 2,93 - 0,36$$

For **vinddata** bruker QUAL2E-modellen en korreksjonsfaktor som alle vindstyrker multipliseres med. Denne skal ta hensyn til lokale forhold. Det er brukt en faktor på 0,85 på vindstyrkedata fra Bergen. Det ga et temperaturprofil i dypet som samsvarte best med observasjoner. Vindretningen ble tilpasset fra Bergensdataene ved å anta en kanaliseringseffekt langs Suldalsvatnet. Suldalsvatnet har en hovedretning på 60° og 240°. Alle retninger innenfor 45 grader til hver side for dette ble gitt samme retning som vannet (opp dalen eller ned dalen), mens alle andre retninger er brukt uendret.

For **skydekke** og **luftfuktighet** ble dataseriene fra Bergen brukt uendret. Det var forholdsvis god korrelasjon mellom Sauda og Bergen, men variasjoner fra år til år som tilsa at en ga seg ut på utrygg grunn dersom en skulle tilpasse Bergensdataene og få noe som lignet mer på Saudadataene.

Fra 1931-1950 er det kun lufttemperaturen som er målt (i hvert fall lagret i databasen) i Bergen. For vinddata, luftfuktighet og skydekke er det brukt verdier fra måneder som lignet mest på gjennomsnittet fra perioden 1951-2002. Fremgangsmåten kan skisseres som følgende:

- Beregnet månedsmidler av vindstyrke, luftfuktighet og skydekke fra 1951-2002.
- Beregnet "normalen" for hver måned, dvs. middelet av alle januarmånedsmidlene ble kalt "normalen" for januar osv.
- For hver måned ble det beregnet avviket fra "normalen".
- Samlet avvik fra de tre meteorologiske variablene ble beregnet som summen av kvadratene av avvikene multiplisert med en vekt for hver variabel. De tre variablene ble vektet med vindstyrke=5, luftfuktighet=1 og skydekke=5. Hensikten med vekten var å sikre at de viktigste variablene for modellresultatet lå nær normalen.
- For hver måned fant en så det året i perioden 1951-2002 som hadde det minste samlede avviket. Vindstyrke, vindretning, luftfuktighet og skydekke fra disse årene ble så brukt i tilsvarende måneder for perioden 1931-1950. En kan da si at en har normalvær bortsett fra på lufttemperaturen da denne er målt.

En mister koblinger som for eksempel at kaldt vær ofte er forbundet med stille og tørr luft. Denne metoden er valgt fordi lufttemperaturen er den viktigste parameteren i modellen, og bør derfor brukes korrekt. De andre parametrene kan vanskelig parametriseres fra lufttemperaturen, og da synes det nest beste å være at en i hvert fall får en naturlig fordeling av de andre parametrene.

4.1.6. Innsjømodellen QUAL2E

I prosjektbeskrivelsen hadde vi tenkt å bruke en endimensjonal modell som kalles FINNECO. Da det viste seg at den ikke vedlikeholdes lenger måtte vi se oss om etter andre alternativer. Valget falt på en fritt tilgjengelig modell fra U.S. Environmental Protection Agency med navn QUAL2E. Informasjon om modellen finnes på nettsiden ”www.epa.gov/docs/QUAL2E_WINDOWS/index.html”. Som navnet antyder er dette en modell som beregner vannkvalitet, dvs. algevekst og lignende. Vanntemperaturen beregnes som en nødvendig input for de variablene. Vi brukte modellen uten beregning av vannkvalitet for å øke hastigheten.

QUAL2E er en todimensjonal modell som beregner temperaturen i dypet og lengderetningen. Den tar likevel visse hensyn til bredden slik at den ofte omtales som kvasi-tredimensjonal. Slike modeller har selvsagt sine fordeler i nøyaktighet, men en stor ulempe i prosesseringstid. På grunn av tidspress måtte vi legge det opp enkelt for å rekke å komme gjennom mer enn 70 år med døgndata, inklusiv noe prøving og feiling

Input til modellen er:

- **Værdata:** Lufttemperatur, duggpunkttemperatur (samme som luftfuktighet), vindstyrke, vindretning, skydekke.
- **Geometridata:** Vannet deles inn i et valgt antall bokser. For hver boks angis en retning. Det er viktig i forhold til vinddataene. Alle boksene deles vertikalt i tynne skiver som ligger over hverandre. Tykkelsen på disse må være likt i alle boksene, men kan variere med dypet. Det er derimot anbefalt å ha samme vertikaloppløsningen hele veien. For hver boks har alle de lagvise skivene samme lengde, men bredden varierer for å simulere volumfordelingen med dypet.
- **Inntak og utslipp:** Alle inntakssteder og utslippsteder må plasseres i geometrien. Ved utslippstedene må en i tillegg angi formen og dypet på utløpet.
- **Vannføring inn og ut:** Det må angis alle vannføringer inn og ut. Ved innløpsstedet fordeles vannet etter tettheten i vannmassene. Vannføringen ut må beregnes korrekt på forhånd for at volumbudsjetten skal bli korrekt.
- **Vanntemperatur inn:** Vanntemperaturen må angis på alle kilder inn til vannet.

Resultatet som vi henter ut er vanntemperaturen ved utslippsstedet.

Modellen skal være i stand til å beregne et isdekke, men det er problematisk når en opererer med døgnmidler av værdataene. En får da sjelden lenge nok vindstille til å etablere isdekket. Trolig er dette hovedårsaken til at de simulerte vanntemperaturene er vesentlig lavere enn de observerte i enkelte vintre.

4.2. Innsjømodelleringen

Det kritiske punktet i Suldalsvatnet er innsnevringen med et grunt parti ved Suldalsporten. Da det er svært forsinkende å ha mange bokser, eller svært ulik lengde på boksene, bestemte vi oss for å dele vannet i to ved Suldalsporten. Den øvre delen ble delt i to bokser (minimum) med helt like egenskaper. Lengden totalt tilsvarte lengden fra innløpet til Suldalsporten. Bredden på hver skive tilsvarte gjennomsnittbredden i hvert dyp på strekningen. Ved at skivene ble smalere og smalere med dypet ble volumfordelingen bevart.

Retningen til begge boksene ble satt i lengderetningen 60-240 grader (nordøst-sørvest). For å simulere en kanaliseringseffekt ble alle vindretninger som lå innenfor 45 grader fra disse verdiene vridd slik at de enten blåste fra 60 eller fra 240 grader. Innløpet ble plassert i nordøstre ende. Utløpet ble definert som et 70 m bredt overflateutløp i sørvestre ende.

Vanntemperaturen som kom ut her ble så gitt som input i nordøstre hjørne av en helt tilsvarende, men grunnere og smalere, modell for delen nedenfor Suldalsporten ("Tarmen"). Utløpet ble definert som et punktutslipp i sørvestre ende. Det siste er mindre vesentlig da vannmassene er rimelig sammenblandet i "Tarmen".

Værdataene som ble brukt var de lokaltilpassete Bergensdataene.

4.2.7. Kalibrering

Kjøringene ble kalibrert mot årene 1962-65 hvor en har målinger fra uregulert tilstand. 1965 ble tatt med selv om Røldal-Suldal utbyggingen var påbegynt. Magasinene ble ikke fylt opp før våren 1966. Det ble brukt standardverdier de aller fleste steder. Kalibreringen gikk først og fremst på å finne rett vanntemperatur inn (se kapittel 2), og å tilpasse vinddataene. En kan legge inn faktorer for å lokaltilpasse vindstyrken. Vi valgte 0.85 for hele perioden. Dette var den faktoren som ga mest korrekt tykkelse på det oppvarmete laget om sommeren. Ved simulering fra 19. april 1963 (initialbetingelse lik måling) til 28. juli 1963 var det svært god overensstemmelse med ny måling.

Det ble også forsøkt å legge inn terrengdata for å simulere når sola går ned bak de omliggende fjellene. Det ble da tatt et middepunkt for øvre og nedre del ("Tarmen"). Dette ga ca. tre tideler lavere temperatur om sommeren, men det ga også vesentlig lavere temperatur i korte perioder i januar-mars. Avvikene fra de observerte verdiene økte dermed.

Til dels kan dette skyldes at topografien er såpass variabel langs vannet at en felles verdi ikke fanger opp detaljene, men mest sannsynlig er det andre feil i modellen (værdata, vanntemperatur inn osv.) som gjør at totalen blir feil. Det viktigste i kalibreringen er

likevel å få en modell som gir svar nærmest mulig sannheten. Vi valgte derfor å simulere uten skyggeeffekter.

Når vi hadde bestemt inntemperaturen som ga best resultat (se kapittel 2) kjørte vi modellen for hele perioden 1931-2002.

4.2.8. Overlagring

Når en modellerer over flere år uten å stoppe og korrigere modellen underveis kan en tenke seg at en feil fra fjoråret blir dratt med til neste år osv. Dette viste seg å være et ubetydelig problem, trolig fordi en har en utskifting av vannmassene både om våren og høsten. Fra temperaturdataene ved Suldalsporten, riktignok etter regulering, ser en at fullsirkulasjon oftest skjer i første halvdel av mai. Hele vannmassen er da 4 °C. Vi valgte derfor å starte kjøringene 5. mai med 4 °C i hele vannmassen.

De som har laget modellen har nok jobbet med mer kortsiktige problemstillinger slik at det er en begrensing i modellering på mer enn 9999 døgn. Vi måtte derfor dele opp modelleringen i tre kjøring og valgte da en overlapp på ett år for å teste overlappingsfeilen samt å gi modellen tid til å rette opp feilen ved at 5. mai kanskje ikke er rett tidspunkt for fullsirkulasjon. Kjøringene ble fra 1930-1954, 1954-1978 og 1978-2002. Dataene fra første året i hver kjøring (5. mai til 31. desember) ble ikke brukt da dette er perioden hvor modellen skal ta seg inn for å korrigere feilen i initialtemperaturen. Når en studerte resultatene i siste halvdel av de overlappende årene 1954 og 1978 var det ubetydelige avvik mellom simuleringene (oftest 0.1 °C). Det tyder på at problemet med overlagring er lite og at startdato 5. mai er et greit utgangspunkt.

4.3. Begrensinger

- Værdataene er hentet fra Bergen som er ganske langt unna.
- Fra 1931-1950 mangler digitale data for vinddata, luftfuktighet og skydekke. Det er derfor for hver måned brukt data fra tilsvarende måned i 1951-2002 som lignet mest på gjennomsnittet.
- Modellen klarer ikke å etablere et isdekke med disse døgndataene. I vintre med et isdekke vil det da bli simulert for kaldt vann da modellen fortsetter å blande kaldt vann nedover i dypet i vindepisoder. Et isdekke hindrer dette.
- Vanntemperaturen inn er beregnet og helt uten basis i kontrollmålinger.
- Kort uregulert periode å kalibrere mot. Må sjekke mot data fra Røldal-Suldal perioden der reguleringseffekten på vanntemperaturen er ukjent.

4.4. Resultater

Det er etablert en temperaturserie fra 1931-2002 for utløpet av Suldalsvatn (Suldalsosen) slik denne hadde vært dersom Suldalsvatn var uregulert i hele perioden. Temperaturene er plottet i Vedlegg A. Fig. 4.1 viser simulert og observert vanntemperatur ut av

Suldalsvatnet i den uregulerte perioden mars 1962-mai 1966, og i årene 1967-73 hvor Røldal-Suldal utbyggingen var etablert.

Vi har ikke funnet noen forklaring på hvorfor sommeren 1965 gir klart dårligst sammenheng mellom simulert og observert. En tanke var at vann ble holdt tilbake for å fylle Røldalsvatnet, men dette skjedde trolig først i 1966, og var uansett en meget begrenset vannmengde. Det ble likevel prøvd en simulering med observert vannføring som input. I stedet for den simulerte uregulerte vannføringen ble det kjørt med den observerte vannføringen (egentlig målt ut av Suldalsvatnet) Det ga minimale endringer, så forskjellen mellom simulert og observert vanntemperatur sommeren 1965 kunne ikke skyldes feil i vannføringen.

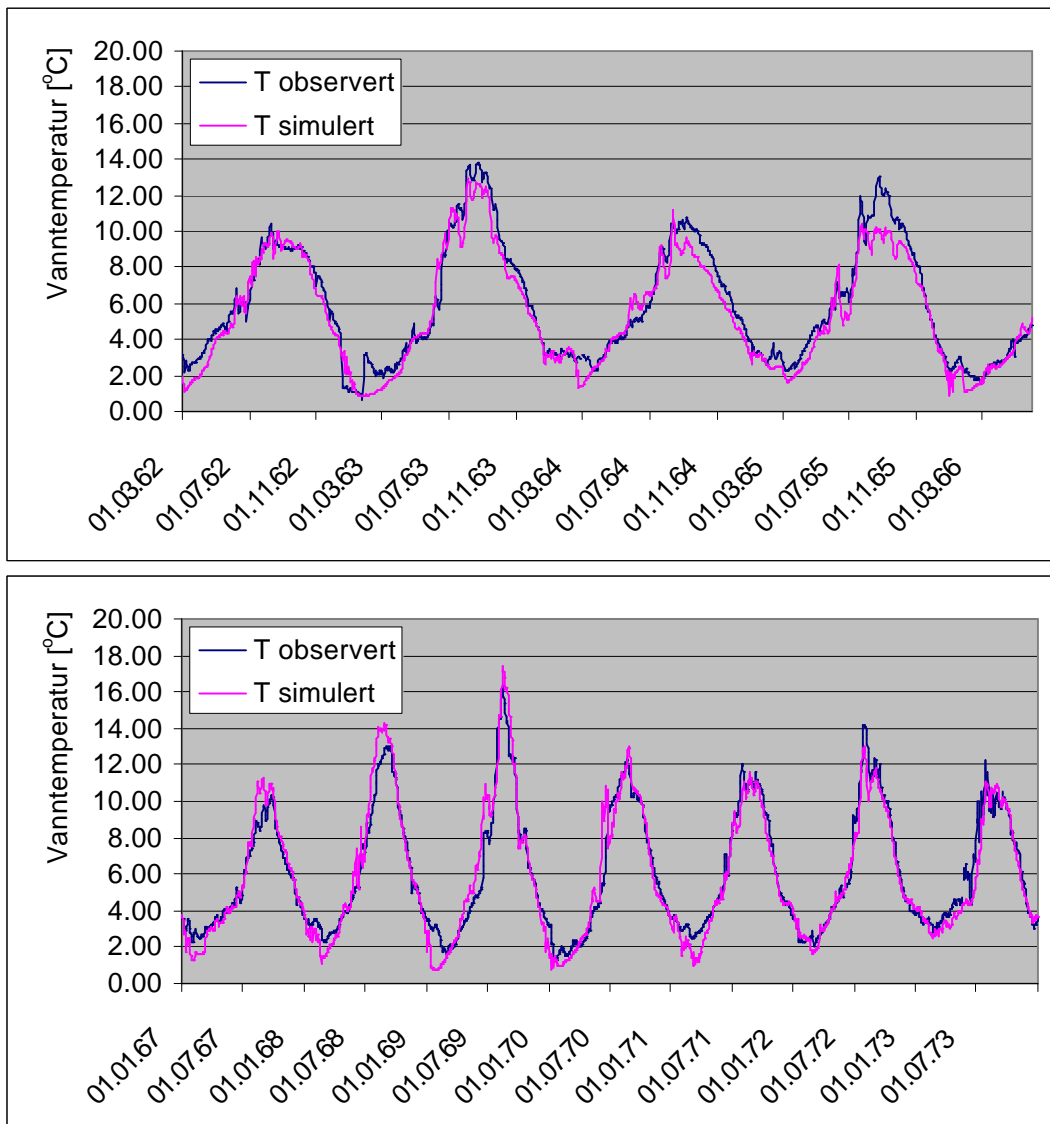


Fig. 4.1 Simulert og observert vanntemperatur ut av Suldalsvatnet i 1962-mai 1966 (uregulert) og 1967-73 (regulert Røldal-Suldal utbyggingen). Vanntemperaturen er simulert med QUAL2E.

4.5. Usikkerhet

Vi har dessverre kun sikre målinger fra 1962-65 ved utløpet av Suldalsvatnet fra den uregulerte perioden. Dette er en svært kort periode å anslå usikkerheten på. Vi har derfor valgt også å sammenligne i perioden påvirket av Røldal-Suldal utbyggingen (1967-79). Overgangsåret 1966 ble unngått.

Resultatene fra QUAL2E for periodene 1962-65 og 1967-1979 ble sammenlignet med observasjonene ved Suldalsosen. Feilen angis som forskjellen mellom simulert og observert vanntemperatur. Tabell 4.1 viser standardavviket i feilen for både daglige verdier og månedsmidler. Standardavviket ligger rundt 0.8 °C for daglige verdier og 0.7 °C for månedsmidler. Ved beregning av graddøgnsummer over en lengre periode vil det være mest aktuelt å sammenligne med standardavviket for månedssommene. Standardavviket var jevnt fordelt med årstidene med en liten topp i sommermånedene, særlig i den regulerte perioden 1967-79. Om sommeren kom standardavviket da opp i 1.1-1.4 °C. I middel for den korte uregulerte perioden simulerte vi en temperatur som var 0.4 °C for lav, men i perioden 1967-79 var det bare 0.2 °C for lavt. Det var dårlig sammenheng mellom middelavvikene i de to periodene når en sammenligner måned for måned (tabell 4.2). Et unntak er vintermånedene, men feilen er usystematisk og skyldes trolig isforholdene. Tatt i betraktning kort uregulert periode, usikkerhet rundt Røldal-Suldal reguleringens effekt, manglende isdata og måleusikkerheten, tør vi ikke gjøre noe forsøk på å korrigere dataserien. Til det er feilene for usystematiske.

Selv om både temperaturen og vannføringen på vannet inn til Suldalsvatnet har størst usikkerhet i mai, gir dette ikke merkbart utslag i usikkerheten ut av Suldalsvatnet. Mai er ikke dårligere simulert enn de andre månedene.

Dersom en skal beregne graddøgnsummer om vinteren, og vet at det var islagt, så vet en også at simuleringen mest sannsynlig har gitt en for kald vintertemperatur. Da kan en korrigere alle verdiene frem til og med mai med middelavviket fra nederste linje i tabell 4.2. Som eksempel vil en da legge til 0.71 °C på en måling i februar. Dersom en ikke kjenner isforholdene er det kanskje fornuftig å korrigere med halvparten av dette. Er en sikker på at det stort sett var isfritt bør en ikke korrigere. Fra juni og utover er det variasjoner fra år til år som det vanskelig kan korrigeres for.

Tabell 4.1 Standardavviket for daglige verdier og for månedsverdier for forskjellen mellom simulert og observert vanntemperatur ved Suldalsosen for periodene 1962-1964 og 1967-1979. Målenøyaktigheten er trolig nær 0.1 °C, og blir neglisjerbar. Ett standardavvik tilsvarer at 2/3 av feilene er mindre enn standardavviket. Det er også beregnet middelverdien av alle avvikene. Et middel nær null tilsier at det ikke gjøres en systematisk feil.

Periode:	Standardavvik		Middelavvik
	Daglig	Månedlig	
mars 1962-mai 1966	0.79 °C	0.58 °C	-0.48 °C
1967-79	0.90 °C	0.75 °C	-0.19 °C

Tabell 4.2 Middelet av alle avvikene for daglige verdier mellom simulert og observert vanntemperatur for periodene 1962-64 og 1967-79. Midlene er fordelt på hver måned. Et middel nær null tilsier at det ikke gjøres en systematisk feil. Nederste linje er verdien midlet over begge periodene, vektet med periodelengden. Avvikene er i °C.

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1962-64	-0.33	-0.68	-0.59	-0.47	-0.01	0.34	-0.32	-0.97	-1.04	-0.78	-0.68	-0.21
1967-79	-0.41	-0.72	-0.47	-0.26	0.09	0.29	-0.51	-0.07	-0.06	-0.14	-0.08	0.03
Vektet middel	-0.39	-0.71	-0.50	-0.31	0.07	0.30	-0.47	-0.29	-0.30	-0.30	-0.23	-0.03

4.6. Regulert mot uregulert vanntemperatur i 1998-2002

De siste årene har slippene fra Suldalsvatnet til Suldalslågen variert for å teste effekten på omgivelsene. Tabell 4.3 viser månedsmidler av vanntemperaturen målt ved Suldalsosen og den simulerte vanntemperaturen under uregulerte forhold på samme sted. Dataene er for testperioden 1998 til 2002. Som en ser varierer forskjellen fra år til år, og det er en svært komplisert årsakssammenheng. Forskjellene skyldes både været og reguleringsvalgene, særlig tapping av "kaldt" vann fra Blåsjø.

Tabell 4.3 Månedsmidler av vanntemperaturen målt ved Suldalsosen og den simulerte vanntemperaturen under uregulerte forhold på samme sted. Dataene er for testperioden 1998 til 2002. Også differansen mellom regulert og uregulert temperatur er vist.

		jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1998	Regulert	3.3	2.8	2.9	3.7	4.9	6.1	9.2	10.4	10.4	7.9	4.9	3.6
	Uregulert	3.3	2.7	2.3	3.3	4.6	7.1	9.5	10.5	10.9	8.8	4.8	3.4
	Reg-ureg	0.0	0.1	0.6	0.4	0.3	-1.0	-0.3	-0.1	-0.5	-0.9	0.1	0.2
1999	Regulert	2.7	2.4	2.6	3.7	4.4	5.9	7.8	10.5	10.8	8.8	6.6	3.9
	Uregulert	2.1	1.8	2.0	3.8	5.9	6.8	9.8	13.1	12.9	10.1	7.5	4.4
	Reg-ureg	0.6	0.6	0.6	-0.1	-1.5	-0.9	-2.0	-2.6	-2.1	-1.3	-0.9	-0.5
2000	Regulert	3.5	2.5	2.6	3.8	4.6	5.4	8.1	10.2	10.1	8.7	6.7	5.3
	Uregulert	3.5	2.9	2.6	3.3	5.1	7.5	9.6	11.0	10.5	8.8	6.4	4.9
	Reg-ureg	0.0	-0.4	0.0	0.5	-0.5	-2.1	-1.5	-0.8	-0.4	-0.1	0.3	0.4
2001	Regulert	3.4	2.8	2.6	3.4	5.1	6.3	11.3	11.8	11.5	9.5	6.1	4.0
	Uregulert	3.0	2.2	2.6	3.3	4.9	6.3	10.6	12.1	11.2	9.0	6.4	4.4
	Reg-ureg	0.4	0.6	0.0	0.1	0.2	0.0	0.7	-0.3	0.3	0.5	-0.3	-0.4
2002	Regulert	2.9	2.6	2.9	4.3	5.8	7.5	9.1	13.0	10.2	7.8	4.7	3.3
	Uregulert	2.9	2.8	2.3	3.7	5.1	9.1	12.1	16.0	15.3	11.1	5.7	2.8
	Reg-ureg	0.0	-0.2	0.6	0.6	0.7	-1.6	-3.0	-3.0	-5.1	-3.3	-1.0	0.5

Været har særlig påvirkning under uregulerte forhold. De høye vanntemperaturene som er simulert sommeren 2002 skyldes for eksempel i juni og juli lite snø i fjellet med tilhørende lav vannføring og stor oppvarming gjennom tarmen. I august var det svært varm lufttemperatur i tillegg. Værets påvirkning er ikke like fremtredende under regulerte forhold da vannet ofte trekkes fra dypere lag og vannføringen reguleres.

Kort sagt egner tabell 4.3 seg dårlig til å si noe om effekten av ulike reguleringsregimer da en ikke greier å isolere enkelteffektene, særlig virkningen av ”kaldt” vann fra Blåsjø. En bedre fremgangsmåte for å vurdere dette er beskrevet i kapittel 6.

Fra tabell 4.3 ser en reguleringseffekten i fem enkeltår. Hovedkonklusjonene er:

- Noen få tideler varmere vann etter regulering i januar til april.
- Sterkt varierende forskjell i mai til desember, men gjennomgående kaldere vann etter regulering.
- De største forskjellene er observert om sommeren hvor det i ekstreme tilfeller har vært 5 grader kaldere under regulerte forhold.
- I gjennomsnitt har en av fire måneder i perioden juni-september vært mer enn 2 grader kaldere under regulerte forhold.

5. Vanntemperatur nederst i Suldalslågen

5.1. Fremgangsmåte

Vanntemperaturmodellen RICE er utviklet ved Clarkson University i USA under ledelse av H. T. Shen. Modellen beregner vanntemperaturen, og også is når vanntemperaturen når frysepunktet. Modellen har store svakheter i ismodelleringen, men temperaturmodellen har vist gode resultater selv med sterke forenklinger av elveløpet. RICE er tidligere kjørt for Suldalslågen på en begrenset datamengde (Tvede, 1994). Modellen var da en enkel kanal med jevnt fall hele veien tilsvarende fallet i Suldalslågen når de rene fossepartiene er tatt bort. Kanalen hadde flat bunn med skrå kanter. Lokaltilsig neglisjeres da vannutslippet fra Suldalsvatnet stort sett dominerer over lokaltilsiget.

Vi recalibrerte den nå for lengre tidsperioder. Vi valgte perioden 1980-2002 da vi har loggerbaserte vanntemperaturmålinger i denne perioden, og dermed større nøyaktighet. Modellen ble tilpasset både årene 1986-87 med forholdsvis høye vannføringer og årene 2001-02 med forholdsvis lave vannføringer. Det viste seg at modellen ga enda bedre resultater med knekk på sideveggen som vist i figur 5.1.

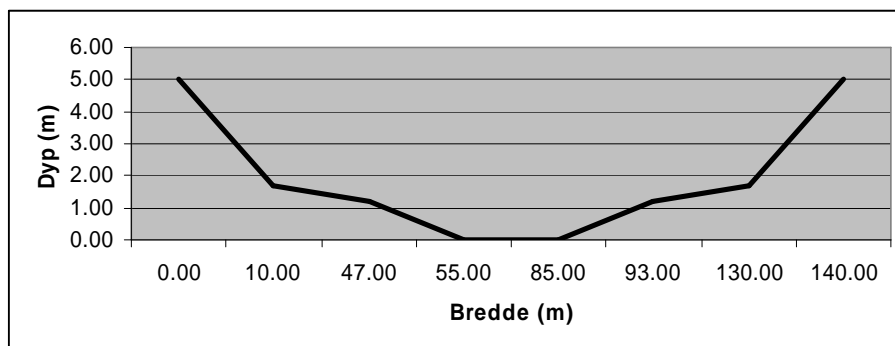


Fig. 5.1 Tverrsnitt av kanalen brukt for å modellere Suldalslågen.

Vi brukte værdata fra Sauda ved kalibreringen. Når vi var fornøyd ble modellen kjørt for perioden 1980-2002 med Saudavær for å sjekke at det var overensstemmelse i de andre årene også (fig. 5.2). Da dette var tilfredsstillende ble modellen kjørt for perioden 1931-2002 med vanntemperatur ved Suldalsosen likt det som ble simulert ut av innsjømodellen. For hele denne kjøringen var værdataene de bearbejdede Bergensdataene (se kapittel 4).

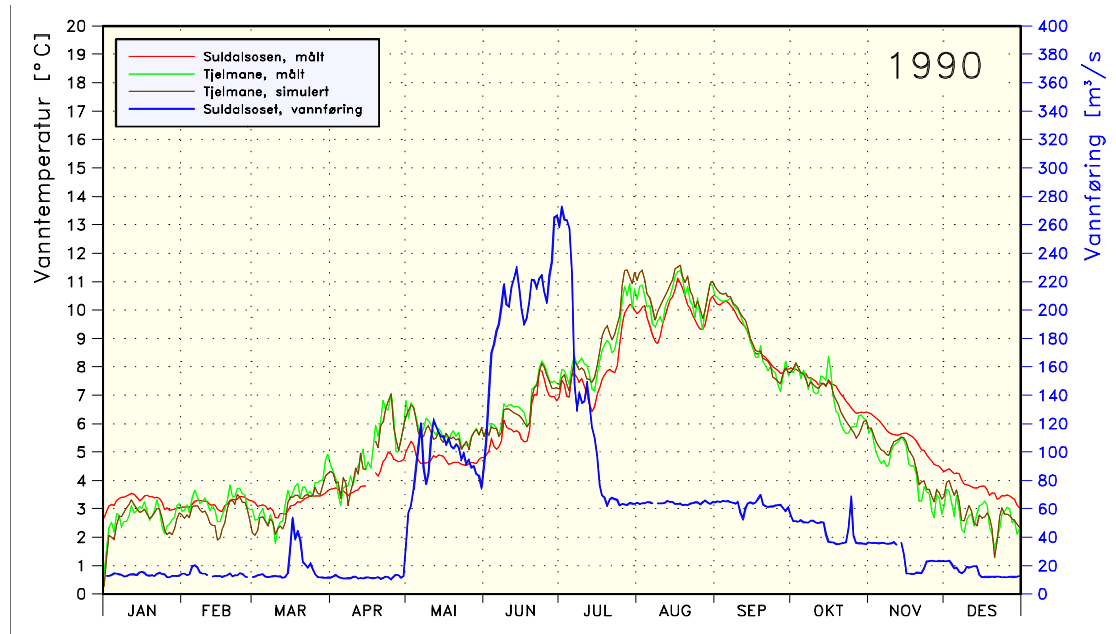


Fig. 5.2 Simulert og målt vanntemperatur ved Tjelmane (nederst i Suldalslågen) samt målt vanntemperatur og vannføring ved Suldalsosen i 1990. Vanntemperaturen er simulert med RICE og viser en tilfredsstillende sammenheng mellom måling og simulering. Input til modellen er målt vanntemperatur ved Suldalsosen, målt vannføring og Saudavær.

Vi konkluderte med at snøsmelting hadde marginal innvirkning på simuleringene da:

- Det var god overensstemmelse hele året mellom det som ble simulert i RICE og det som ble observert. Siden vi ikke har tatt hensyn til tilsig fra sideelver, må dette stort sett være neglisjerbart.
- Vanntemperatur og utvikling av snøsmelting ble studert for Suldalslågen under regulerte forhold, og for en sideelv til Suldalslågen (Steinsåna, stasjon 36.65 - uregulert). Vanntemperatur for stasjonene Suldalsosen, Tjelmane bru og Steinsåna ble plottet sammen med modellert utvikling av snødekket, lufttemperatur (Sauda) og vannføring i Suldalslågen. Ingen systematisk utflating eller fall i vanntemperaturen under snøsmeltingen var systematisk framtreddende, selv i situasjoner med lav vannføring ut av Suldalsvatnet og høy smelte-rate i sidefeltene til Suldalslågen.
- Differansen mellom temperaturene for Suldalsosen og Tjelmane bru ble plottet mot modellert utvikling av snøsmeltingen. Heller ikke denne analysen viste en systematisk trend i graden av oppvarming eller avkjøling nedstrøms under smelteperioden.

5.2. Begrensninger

- Vanntemperaturen ved Suldalsosen har allerede en usikkerhet i seg da den er modellert.
- Værdata synes deretter å være den største begrensningen. Tilpasning av værdata fra Bergen gir dårligere resultater enn å bruke værdata fra Sauda, som igjen gir dårligere resultater enn om en hadde virkelige værdata fra elva.
- Lokale regnflommer i lavvannsperioder vil ikke fanges opp av modellen. Disse varer derimot sjelden mer enn et par dager.
- I perioden 1931-1950 er det kun lufttemperaturen som er målt (i hvert fall lagret i databasen) i Bergen. For vinddata, luftfuktighet og skydekke er det brukt verdier fra måneder som lignet mest på gjennomsnittet fra perioden 1951-2002 (se kapittel 4).

5.3. Resultater

Det er etablert en temperaturserie fra 1931-2002 for nedre del av Suldalslågen (Tjelmane) slik denne hadde vært dersom Suldalslågen var uregulert i hele perioden. Værdataene er lokaltilpasset fra målinger i Bergen. Det er også utarbeidet en serie med data korrigert for systematiske avvik (se underkapittelet "Usikkerhet" lenger ned). Disse dataene er plottet i Vedlegg B.

5.4. Usikkerhet

Vi mangler dessverre sikre målinger nederst i Suldalslågen fra den uregulerte perioden. Vi har allerede beskrevet usikkerheten i de simulerte verdiene øverst i Suldalslågen. Vi skal nå beskrive usikkerheten i modellen nedover elva. Den totale usikkerheten får en når en kobler de to usikkerhetene.

5.4.9. Med værobservasjoner fra Sauda som input

RICE ble kjørt for perioden 1980-2002 med observerte vanntemperaturer ved Suldalsosen som input. Feilen blir da forskjellen mellom simulert og observert vanntemperatur nederst (Tjelmane). Tabell 5.1 viser standardavviket i feilen for både daglige verdier og månedsmidler. Standardavviket faller fra 0.4 °C til 0.2 °C når en går fra daglige verdier til månedsmidler. Ved beregning av graddøgnsummer over en lengre periode vil det være mest aktuelt å sammenligne med standardavviket for månedssummene. Det ble ikke observert noen vesentlig forskjell i standardavvikene med årstiden. I middel for hele perioden simulerte vi en temperatur som var mindre enn 0.1 °C for lav. Det er derfor ingen systematiske feil i simuleringen.

Tabell 5.1 Standardavviket for daglige verdier og for månedsverdier for forskjellen mellom simulert og observert vanntemperatur ved Tjelmene for perioden 1986-2002. Målenøyaktigheten på 0.05 °C blir neglisjerbar. Standardavviket er beregnet for to simuleringer med ulikt klimainput: været i Sauda og lokaltilpasset vær i Bergen. Ett standardavvik tilsvarer at 2/3 av feilene er mindre enn standardavviket. Det er også beregnet middelverdien av alle avvikene. Et middel nær null tilsier at det ikke gjøres en systematisk feil.

Klima data fra:	Standardavvik		Middelavvik
	Daglig	Månedlig	
Sauda	0.36 °C	0.20 °C	-0.05 °C
Bergen	0.46 °C	0.23 °C	-0.20 °C

5.4.10. Med værobservasjoner fra Bergen som input

Når vi bruker Bergensdataene som klimainput i perioden 1986-2002 ser vi at Standardavviket øker minimalt (tabell 5.1), men middelavviket øker med 0.15 °C. Tabell 5.2 viser middelavviket fordelt på måneder. For å se om det er konsistens i fordelingen har vi splittet perioden i to, 1980-1990 og 1991-2002.

Tabell 5.2 Middelet av alle avvikene for daglige verdier mellom simulert og observert vanntemperatur for perioden 1980-2002, også delt opp i 1980-1990 og 1991-2002. Simuleringen er med lokaljustert Bergensvær. Midlene er fordelt på hver måned. Et middel nær null tilsier at det ikke gjøres en systematisk feil. Avvikene er i °C.

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	Jul	aug	Sep	okt	nov	des
1980-1990	-0.25	-0.44	-0.51	-0.23	-0.04	-0.06	-0.06	-0.04	-0.23	-0.21	-0.02	0.06
1991-2002	-0.25	-0.31	-0.44	-0.37	-0.09	-0.08	-0.01	-0.11	-0.31	-0.37	-0.15	-0.23
1980-2002	-0.25	-0.37	-0.47	-0.32	-0.08	-0.07	-0.03	-0.08	-0.27	-0.31	-0.09	-0.10

Siden datagrunnlaget er mer enn 10 år og samme mønsteret går igjen fra måned til måned i periodene 1980-1990 og 1991-2002, antar vi at dette er systematiske feil som skyldes enten modellen eller værdedataene. Vi brukte så denne kunnskapen (siste linje tabell 5.2) til å korrigere alle beregnede verdier (1931-2002). Det vil si at vi la til 0.25 til alle januarsimuleringene, la til 0.37 for alle februarsimuleringene osv. Middelavviket over en måned blir da nær null, men standardavviket er uforandret. Et unntak fra regelen la vi inn: Når vanntemperaturen var simulert til frysepunktet lot vi den forbli ved frysepunktet. Hvis vi ikke hadde dette unntaket ville vi heller aldri ha issituasjoner i det korrigerede datasettet.

5.4.11. Samlet usikkerhet

Usikkerheten knyttet til den simulerte vanntemperaturen ved Suldalsosen (kapittel 4) er omtrent dobbelt så stor som usikkerheten forårsaket av simuleringen ned Suldalslågen. I

”fradrag” har vi effekten av at en feil dempes litt på vei ned vassdraget. Et eksempel viser dette:

Anta at det skjer en oppvarming ned vassdraget, som er vanlig om sommeren. Ved korrekt temperatur øverst ender simuleringen med for eksempel 2.0 °C oppvarming nederst i Lågen. Dersom vi for eksempel starter med en temperatur øverst som er 1.0 grader for varm, vil varmeutvekslingen med lufta reduseres og temperaturen øker mindre, kanskje bare 0.8 °C. Feilen er dermed redusert med 0.2 °C. Tilsvarende skjer dersom utgangstemperaturen var 1.0 °C for lav. Da øker varmeutvekslingen med lufta og temperaturen øker mer, kanskje 1.2 °C. Feilen er også da redusert med 0.2 °C. Denne effekten er ikke testet for Suldalslågen, og den er trolig størst når varmeutvekslingen er størst, det vil si om sommeren og om vinteren.

Når en slår sammen feilen i simuleringen ved Suldalsosen og feilen i simuleringen ned vassdraget, kan vi anslå at totalfeilen bare blir litt større enn feilen som allerede er etablert ved Suldalsosen:

$$\text{Daglige verdier: } s_{total} = \sqrt{s_{QUAL\ 2\ E}^2 + s_{RICE}^2} = \sqrt{0.8^2 + 0.5^2} = 0.9\ ^\circ C$$

$$\text{Månedsmidler: } s_{total} = \sqrt{s_{QUAL\ 2\ E}^2 + s_{RICE}^2} = \sqrt{0.7^2 + 0.2^2} = 0.7\ ^\circ C$$

Feilens standardavvik kan anslås til 0.9 °C for daglige verdier og 0.7 °C for midling eller summasjon av en måneds varighet. Standardavviket er noen få tideler høyere om sommeren enn i resten av året. I fradrag kommer den ”selvopprettende effekten” som er beskrevet over. Siden den ikke er testet tør vi ikke redusere standardavvikene Vi forventer derfor at 2/3 av alle simuleringer har mindre feil enn dette.

Usikkerheten i de målte vanntemperaturene er 0.1 °C, og gir derfor neglisjerbar effekt på totalfeilen.

Da vanntemperaturen ut av Suldalsvatnet i flere år er simulert kaldere enn den observerte, vil vi også simulere flere issituasjoner i Suldalslågen enn i virkeligheten. Skal dataene brukes til å telle antall issituasjoner må dette tas med i vurderingen.

5.5. Regulert mot uregulert vanntemperatur i 1998-2002

De siste årene har slippene fra Suldalsvatnet til Suldalslågen variert for å teste effekten på omgivelsene. Tabell 5.3 viser månedsmidler av vanntemperaturen målt ved Tjelmane og den simulerte vanntemperaturen under uregulerte forhold på samme sted. Dataene er for testperioden 1998 til 2002. Som en ser varierer forskjellen fra år til år, og det er en svært komplisert årsakssammenheng. Forskjellene skyldes både været og reguleringsvalgene, særlig tapping av ”kaldt” vann fra Blåsjø.

Tabell 5.3 Månedsmidler av vanntemperaturen målt ved Tjelmane og den simulerte vanntemperaturen under uregulerte forhold på samme sted. Dataene er for testperioden 1998 til 2002. Også differansen mellom regulert og uregulert temperatur er vist.

		jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1998	Regulert	2.4	2.4	2.6	4.8	6.1	7.5	10.1	11.1	10.8	7.7	4.2	2.6
	Uregulert	2.9	2.9	2.7	4.1	5.5	7.6	10.0	10.8	11.3	8.4	4.1	2.8
	Reg-ureg	-0.5	-0.5	-0.1	0.7	0.6	-0.1	0.1	0.3	-0.5	-0.7	0.1	-0.2
1999	Regulert	1.8	1.4	2.5	4.5	5.3	7.0	9.1	11.5	11.3	8.5	6.1	2.6
	Uregulert	1.8	1.7	2.5	4.7	6.9	7.2	10.1	13.4	13.1	10.0	7.1	3.8
	Reg-ureg	0.0	-0.3	0.0	-0.2	-1.6	-0.2	-1.0	-1.9	-1.8	-1.5	-1.0	-1.2
2000	Regulert	2.6	1.9	2.6	4.6	5.7	6.8	9.3	11.0	10.5	8.8	6.3	4.0
	Uregulert	3.1	2.9	2.9	4.2	5.7	7.9	10.0	11.2	10.5	8.8	5.7	4.1
	Reg-ureg	-0.5	-1.0	-0.3	0.4	0.0	-1.1	-0.7	-0.2	0.0	0.0	0.6	-0.1
2001	Regulert	2.3	1.3	2.1	4.4	6.6	7.9	12.3	12.3	11.6	9.4	5.3	2.5
	Uregulert	1.7	1.0	2.6	4.4	6.0	7.0	11.2	12.4	11.2	9.0	5.9	3.2
	Reg-ureg	0.6	0.3	-0.5	0.0	0.6	0.9	1.1	-0.1	0.4	0.4	-0.6	-0.7
2002	Regulert	2.0	2.2	2.7	5.4	7.3	9.1	10.2	13.7	10.6	7.4	3.8	1.9
	Uregulert	2.5	2.7	2.8	4.7	5.9	9.6	12.5	16.3	14.9	9.5	4.6	0.6
	Reg-ureg	-0.5	-0.5	-0.1	0.7	1.4	-0.5	-2.3	-2.6	-4.3	-2.1	-0.8	1.3

Som forklart i kapittel 4.6 egner heller ikke tabell 5.3 seg særlig til å si noe om effekten av ulike reguleringsregimer, da en ikke greier å isolere enkelteffektene, særlig virkningen av ”kaldt” vann fra Blåsjø.. En bedre fremgangsmåte for å vurdere dette er beskrevet i kapittel 6.

Fra tabell 5.3 ser en reguleringseffekten i fem enkeltår. Hovedkonklusjonene er:

- Noen få tideler kaldere vann etter regulering i november til mars, samt i juni. Av og til varmere etter regulering.
- Omtrent samme temperatur både før og etter regulering i april.
- Noen få tideler varmere etter regulering i mai, men en god del variasjon.
- Ganske varierende forskjell i juli til oktober, men gjennomgående kaldere vann etter regulering.
- De største forskjellene er observert om sommeren hvor det i ekstreme tilfeller har vært 4 grader kaldere under regulerte forhold.
- I gjennomsnitt har en av fem måneder i perioden juli-september vært mer enn 2 grader kaldere under regulerte forhold.

6. Simulerte vanntemperaturer ved tre skisserte forslag til vannføringsregimer

6.1. Bakgrunn

Vanntemperaturen er en viktig parameter for fisk og annet dyre- og planteliv. Den påvirker både vekst og vandring hos fisk. Nå som Suldalslågen er regulert kan en kontrollert endre vannføringen øverst i elva, og dermed påvirke vanntemperaturen. Dette kapittelet beskriver tre alternative måter å regulere elva på, og det vurderes hvordan dette påvirker vanntemperaturen. Til forskjell fra det uregulerte regimet må vi nå ta hensyn til vann inn fra Kvilldal kraftverk og vann som trekkes ut ved Hylen kraftverk (fig.1.1). Vannet fra Kvilldal kommer enten fra bekkeinntak eller fra dypet i Blåsjø eller Sandsavatn (Magnell et al., 2003). Vanntemperaturen fra Kvilldal kan derfor variere med flere grader over korte tidsrom. Om sommeren kan en generelt si at vannet fra bekkeinntakene er varmere enn vannet i Suldalsvatnet, mens vannet fra de dype inntakene er kaldere enn vannet i overflaten av Suldalsvatnet. Dette påvirker hvordan vannmassene spres i Suldalsvatnet. Videre må vi ta hensyn til sideelvene til Suldalslågen når vannføringen ut av Suldalsvatnet blir lavere enn ved dagens kjøring.

6.2. Vannføringsregimene

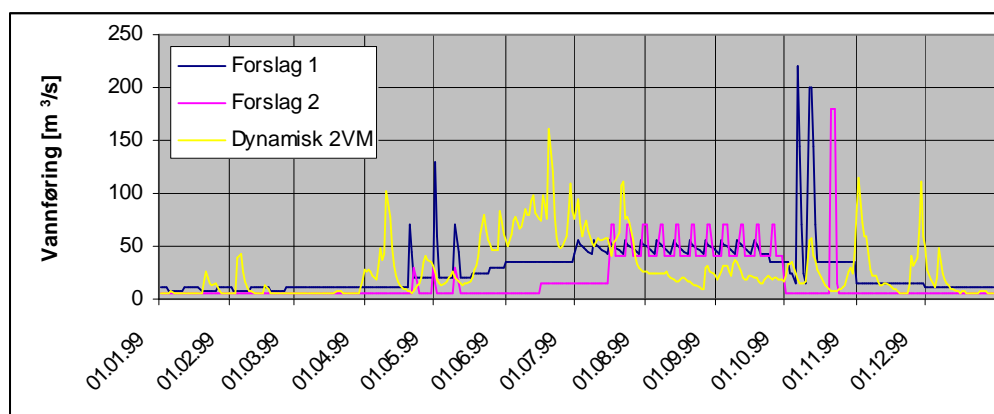


Fig. 6.1 De tre foreslåtte vannføringsregimene ved Suldalsosen i 1999. Dynamisk 2VM er 23 % av beregnet uregulert vannføring begrenset nedad til 6 m³/s og oppad til 250 m³/s . Forslag 1 og Forslag 2 er likt for alle år.

I denne omgang ble det testet med tre kjørestrategier for Suldalsosen. Tabell 6.1 viser en kort beskrivelse av strategiene.

Tabell 6.1 Beskrivelse av kjørestrategiene.

Navn	Beskrivelse
Forslag 1	12 m ³ /s om vinteren, men 7 m ³ /s i kortere perioder. Tre kortvarige flomepisoder i mai/juni med opp til 130 m ³ /s. Ellers stegvis økende vannføring i mai og juni til omtrent 50 m ³ /s i juli. Ukespulsering mellom 42 og 55 m ³ /s i juli-september. Stegvis avtagende til 12 m ³ /s i desember, men med to høstflommer opp til 220 m ³ /s. Samme kjøring hvert år (se figur 6.1) men lavvannsperiodene om vinteren ønskes om mulig lagt til kuldeperioder for å få islegging.
Forslag 2	Lav vannføring på 6 m ³ /s hele vinteren. Tre små vårflokker opp i 30 m ³ /s. Først midt i juni skjer en liten økning til 15 m ³ /s før det økes til ukependling mellom 40 og 70 m ³ /s fra midt i juli og ut september. Fra oktober senkes det igjen til 6 m ³ /s bare avbrutt av en høstflom på 180 m ³ /s i slutten av oktober. Samme kjøring hvert år, se figur 6.1
Dynamisk 2VM	23 % av beregnet uregulert vannføring. Begrenset til aldri under 6 m ³ /s og aldri over 250 m ³ /s. Varierer fra år til år. Se eksempel fra 1999 i figur 6.1

6.3. Fremgangsmåte

6.3.12. QUAL2E

Siden QUAL2E viste seg å gi gode resultater under uregulerte forhold ble det forsøkt å utvide modellen ved å legge inn Kvilldal og Hysten kraftverk. Vannet ble delt inn i 11 bokser av lengder på 2-4 km. Kvilldal kraftverk kom inn i den tredje nederste og Hysten kraftverk trakk ut vann fra et dykket avløp i den nest nederste boksen. Vannet fra Kvilldal ble spredt ut i nivået som tilsvarte tettheten på driftsvannet. Det viste seg at modellen i store perioder om sommeren ga alt for varmt vann ut i Suldalslågen, selv når vi prøvde å spre alt Kvilldalvatnet i de øverste vannmassene. Nedre del av Suldalsvatnet har tidligere blitt modellert med FIDAP, en endelig elementmodell med mye høyere oppløsning (Ellingsen og Holmqvist, 1997). Resultater derfra indikerer at Kvilldalsvannet spres godt og det gis liten støtte for at vannet fra Kvilldal skal gå rett ut til Hysten i en slags ”tunnel”-effekt.

I denne problemstillingen har vi heldigvis godt med data å støtte oss til. Temperaturen ovenfor Suldalsporten har vært målt ned til 50 m dyp hver time i flere år. Vi kjenner temperaturen på driftsvannet i både Kvilldal og Hysten når disse kraftverkene går, og vi har målt vanntemperaturen ved både Suldalsosen og Tjelmane. Når vi sammenlignet vanntemperaturen ovenfor Suldalsporten med det som kom ut ved Suldalsosen var det klart at vannet i noen perioder måtte komme fra dyptliggende lag, og i andre perioder fra øvre lag. I QUAL2E-modellen må vi sette dette dypet og det kan ikke endres underveis. Vi kunne derfor ikke bruke denne modellen da det ville bli alt for tidkrevende å restarte modellen hver gang inntaksdypet endrer seg. Det var heller ikke sikkert at modellen ville takle dynamikken ellers i vannet selv med oppdatert uttrekningsdyp.

6.3.13. Hva styrer uttrekningsdypet?

Når vi sammenligner vanntemperaturen i Kvilldal og Suldalsosen er det god overensstemmelse, riktignok noe utjevnet i Suldalsosen. Figur 6.2 viser dette for 2002. Det kommer av at vannet fra Kvilldal legger seg i det dypet som tilsvarer tettheten på driftsvannet, og setter opp en strøm i dette dypet. Når vannet ved Kvilldal dykker vil det trekkes vann ut fra tilsvarende dyp ved Suldalsporten. Det dras også med vann fra over og under dette dypet slik at vanntemperaturen endrer seg langsommere enn ved Kvilldal. I tillegg er den en forsinkelse gjennom "Tarmen" som glatter ut kortvarige variasjoner. Dette er ikke det samme som en "tunnel"-effekt da vi antar til dels betydelig innblanding fra omliggende vannmasser. Ved langvarig press i samme dyp kan det etter hvert utvikle seg en "tunnel"-effekt. Det er blant annet observert under vinterforhold både i Norefjorden og i Sperillen. "Varmt" vann fra reguleringer dykker og glir gjennom vannet. I andre enden stiger det og renner ut i elva med omtrent samme temperatur i andre enden.

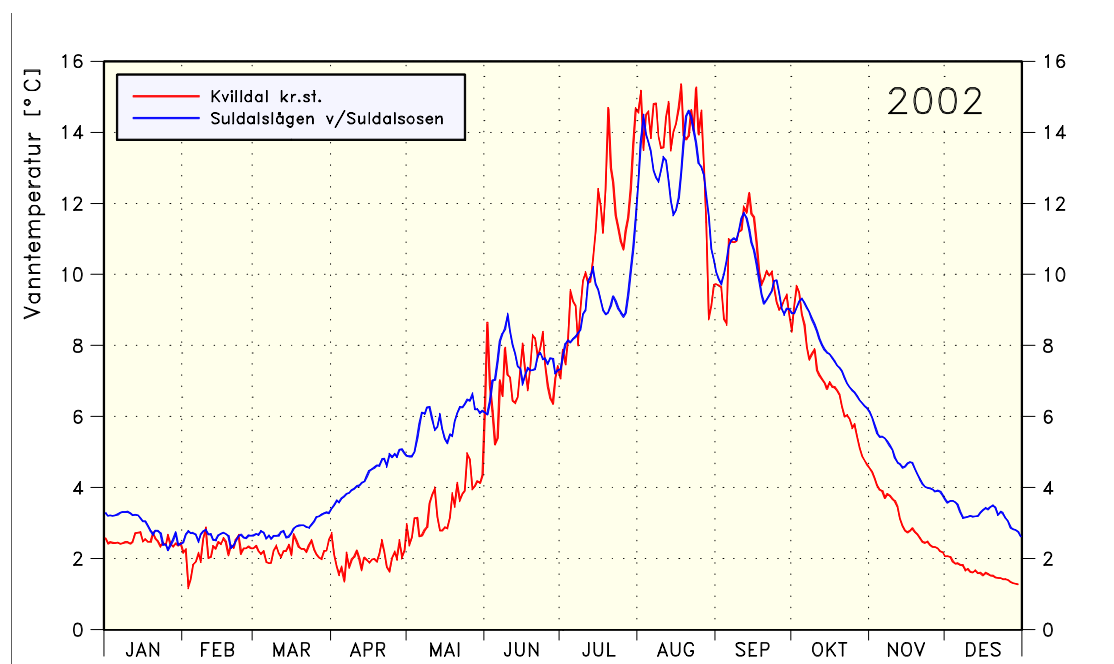


Fig. 6.2 Målt vanntemperatur i driftsvannet fra Kvilldal kraftstasjon og ved Suldalsosen i 2002.

For å teste denne teorien beregnet vi vanntemperaturen ved Suldalsosen på følgende måte:

- Finn dypet ved Suldalsosen som har samme temperatur som driftsvannet til Kvilldal.
- Trekk ut vann fra dette dypet, men også vann over og under innenfor en vertikal avstand på $h = 0.5 \cdot \sqrt{q}$ der q er vannføringen (0.5 var faktoren som passet best til observasjoner). Trekk mest i midten avtagende til null ved ytterpunktene. h er halve vertikalavstanden gitt i meter.
- Vanntemperaturen gjennom Suldalsporten beregnes som middelet av disse vannmassene. Hull i dataserien interpoleres lineært.
- Modellen QUAL2E kjøres for "Tarmen" (Suldalsporten til Suldalsosen) og gir vanntemperaturen ved Suldalsosen.

Vi gjorde dette for årene 1996, 1998-99 og 2001-02. Det var årene med mest komplette data fra Kvilldal og Suldalsporten. Fig. 6.3 viser et eksempel fra 1999 på målt vanntemperatur ved Kvilldal og Suldalsosen sammen med de simulerte verdiene ved Suldalsporten og Suldalsosen. De andre fire simuleringsårene hadde enda bedre likhet mellom simulering og måling.

For å verifisere resultatene ble differansen mellom simulert og målt temperatur beregnet for Suldalsosen. Daglig standardavvik for de fem årene lå i området 0.36-0.58 °C. Årlig middelavvik var aldri over 0.25 °C.

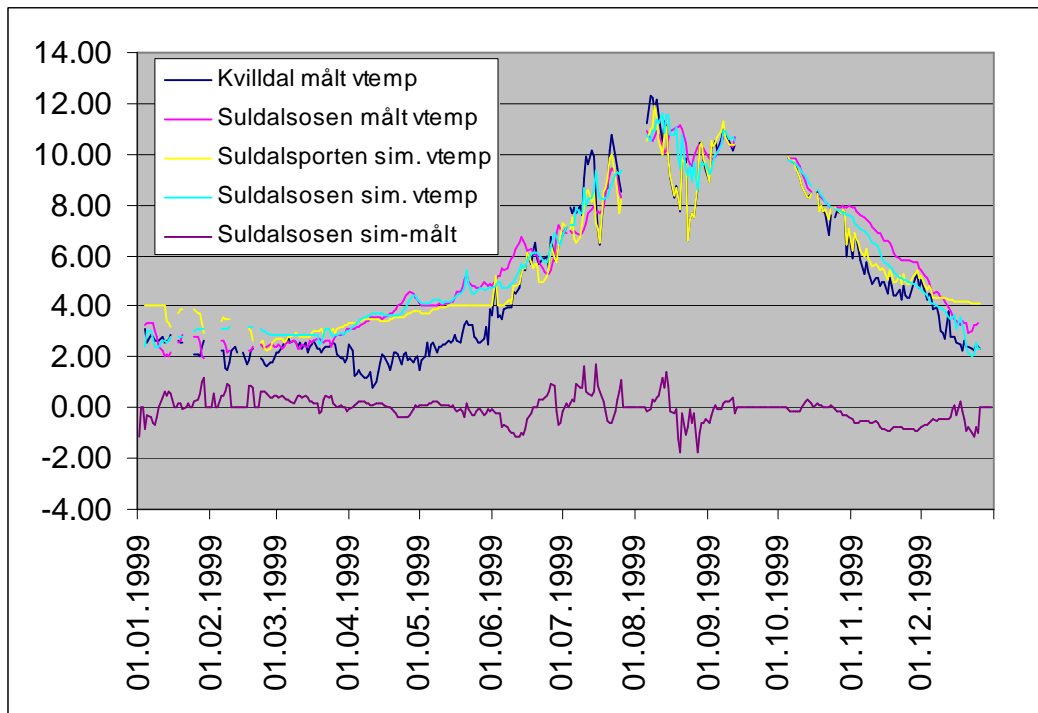


Fig. 6.3 Målt vanntemperatur i Kvilldal kraftverk og Suldalsosen sammenholdt med simulert vanntemperatur gjennom Suldalsporten og ved Suldalsosen. Forskjellen mellom simulert og målt vanntemperatur ved Suldalsosen er også vist (sim-målt). Dataene er for 1999 som hadde dårligst sammenheng mellom simulering og observasjon av de fem simuleringsårene. Det er bare vist data fra periodene hvor en kjente både vanntemperaturen i Suldalsvatnet og i Kvilldal kraftverk.

Det må presiseres at det finnes eksempler hvor Kvilldal kortvarig (ca. 5 døgn) har sluppet ut kaldt vann uten at dette har ført til uttak fra dype lag. Det ser ut til å ha sammenheng med stor kjøring ut i Hylene slik at vannet fra Kvilldal hovedsakelig går rett ut Hylene uten å påvirke utløpet. I det store og hele ser det likevel ut til at Kvilldalsvannet styrer uttaksdypet og at fremgangsmåten gir tilfredsstillende resultater.

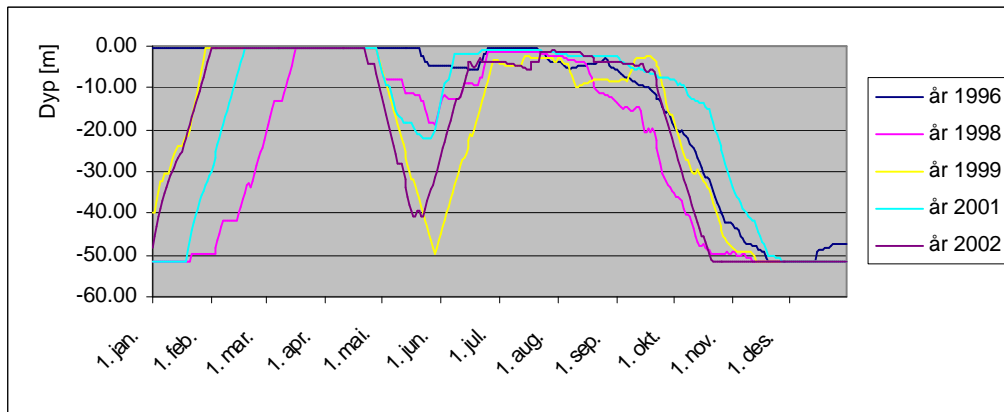


Fig. 6.4 Beregnet dyp i Suldalsvatnet som driftsvannet fra Kvilldal legger seg i. Dette blir det samme dyp som det antas at vann trekkes fra ved Suldalsosen og Hysten. Inntaksdypene varierer tidvis mye, så det er foretatt en 31 dagers glidende midling for å se trendene bedre.

Den varierende bruken av vann fra bekkeinntak og dypvannsinntak er hovedårsaken til at temperaturen på Kvilldalsvannet varierer så mye og legger seg i ulike dyp. Med dagens kjøring av Kvilldal er det en ganske stabil sesongvariasjon i dette dypet. Figur 6.4 viser det beregnede dypet som vannet legger seg i. Da temperaturstrengen kun er 50 m lang er det ikke mulig å beregne inntaksdyp lenger ned, slik at også vann som la seg dypere blir plottet i 50 m dyp.

6.4. Vanntemperaturendring ned Suldalslågen

Som i det uregulerte tilfellet brukte vi modellen RICE til å beregne vanntemperaturendringen ned elva. Da vi nå skulle operere med vannføringer helt ned i 6 m³/s måtte vi ta hensyn til vann fra restfeltet til Suldalslågen. Vi har målinger fra sju sidefelt fra 2001, men bare Steinsåna har data i simuleringsårene 1996-2001. Det er to bidrag som skiller seg ut med varmere vintervann, Mosåna og Sand kraftstasjon. Vi unnlot å bruke Mosåna da den trolig ligger på et målested påvirket av grunnvann. Vi beregnet så en midlere vanntemperatur for restfeltet ved å veie vanntemperaturene med delfeltenes størrelse. For å kompensere for en kunstig høy vintervannføring i Sand kraftstasjon ble den gitt dobbelt vekt.

Vi glattet både denne middeltemperaturen og Steinsåna med 31 dagers glidende midling og beregnet så en "normal" differanse for hver dag. Denne "normalen" ble lagt til Steinsåna sine enkeltmålinger i perioden 1996-2002, og dermed hadde vi en tidsserie som representerte en midlere vanntemperatur for restfeltet.

Oppsettet for RICE i Suldalslågen må i dagens versjon ha input øverst i elva. Det er ikke tilrettelagt for sidevassdrag selv om RICE kan takle det. Under værforhold som endrer vanntemperaturen, for eksempel nedkjøling om vinteren, gjør man en feil ved at en tillater en lengre vei for vannpakken. Dersom det kom like mye vann inn fra siden hele veien ned vassdraget ville midlere vei i vassdraget for dette vannet være kun halvparten av elvas lengde. Ved å slippe inn vannet øverst lar vi det altså bli påvirket i en dobbelt så lang strekning som den skulle. Hvis dette for eksempel fører til at vannet blir nedkjølt 1.0 °C skulle den altså bare ha blitt avkjølt halvparten, dvs. 0.5 °C. Ved å heve

utgangstemperaturen på vannet med 0.5 °C, altså halvparten av nedkjølingen, kompenserer vi for denne feilen.

I Suldalslågen kan vi kompensere for dette siden vanntemperaturen er målt både øverst og nederst i vassdraget. Vi kjenner derfor oppvarmingen/nedkjølingen ned vassdraget og kan kompensere utgangstemperaturen hver dag med halvparten av oppvarmingen/nedkjølingen. Dette er mest korrekt ved vannføringer nær de observerte, da andre vannføringer vil gi en annen oppvarming/nedkjøling ned elva enn den observerte, men er likevel en akseptabel tilnærming. Vi korrigerer derfor restfelttemperaturen hver dag med halvparten av den målte differansen mellom Tjelmane og Suldalsosen samme dag.

Vannføringen til restfeltet er beregnet fra differansen mellom målinger av vannføringen øverst og nederst i vassdraget. Siden vi ikke kan legge inn sidevassdrag ble det kjørt med en midlere vannføring lik vannføringen øverst pluss halve restfeltbidraget. I modellen vil dette si at øverste halvdel av elva har for høy vannføring i forhold til virkeligheten, mens nederste del har tilsvarende for lav vannføring.

Starttemperaturen ble beregnet ved å blande restfeltvannet med vannet fra Suldalsvatnet. Denne temperaturen er kun beregnet for å ha rett input til RICE og må ikke forveksles med de simulerte temperaturene øverst i elva. I alle kommende sammenligninger er begrepet "øverst i elva" lik det som kommer ut av Suldalsvatnet, simulert eller målt.

6.5. Begrensinger

- Store og langvarige endringer i vannføringen ut av Suldalsosen, i forhold til det som ble kjørt i de fem simuleringsårene, vil også påvirke vanntemperaturen i Suldalsvatnet mellom Kvilldal og Suldalsosen. Med en annen temperaturfordeling oppstrøms Suldalsporten vil vi også få en annen temperatur på vannet som passerer "Porten". Vi har her sett bort fra disse endringene.
- Vann fra sidebekker tas inn øverst i vassdraget i stedet for på rett sted. Riktignok foretas det visse korreksjoner for å redusere virkningen av feilplasseringen.
- Vi har ingen data å kalibrere modellen på for vannføringer under 12 m³/s. Det vil si at vi ikke kjenner hvordan bredden på elva da forandrer seg.

6.6. Resultater

Vi har beregnet vanntemperaturen ved de tre nye vannføringsregimene ('Forslag 1', 'Forslag 2' og 'Dynamisk 2VM') samt ved den kjøringen (=vannslippet fra dammen ved Suldalsosen) som var gjort i enkeltårene 1996, 1998-99 og 2001-02 etter metoden vist i kapittel 6.3.2. I hvert av årene var værforhold, kjøring av kraftverkene og vanntemperaturen i Suldalsvatnet ovenfor Suldalsporten likt for hvert regime. Kun vannføringen ut av vannet varierte, som igjen påvirket uttrekningsmekanismen og oppvarming/avkjøling av vannet nedstrøms Suldalsporten.

Når vi beregner vanntemperaturen med en såpass "grov" fremgangsmåte vil det bli en feil, det vil si at den beregnete temperaturen avviker fra den vi ville ha målt (dersom vi hadde mulighet til å gjøre det). Siden beregningsmåten er lik for alle de fire kjøringsstrategiene, er det grunn til å tro at en i samme tidspunkt gjør omtrent samme feil i alle beregningene. Det vil igjen si at differansene mellom beregningene har forholdsvis små feil, og det er differansene som er det vesentlige her. For å få fornuftige differanser beregner vi også vanntemperaturen for de historiske kjøringene, selv om vi egentlig kjenner svaret, for det er jo målt. Vi vil rett og slett gjøre den samme feilen slik at vi kan sammenligne kjøringsstrategiene på en god måte. I figurene og teksten videre kalles temperaturen beregnet fra de historiske vannføringerne for "Simulert historisk". På grunn av beregningsfeil avviker den litt fra den målte verdien.

Kjøringene varierte en god del i de fem årene vi har beregnet vanntemperaturendringene. Tabell 6.1 viser i grove trekk kjøringene for hvert av årene.

Tabell 6.1 Omtrentlig vannføring til de ulike årstider ut av Suldalsvatnet samt beregnet vannføring dersom Suldalslågen var uregulert. Også vinter/vår-kjøringen av Kvilldal samt vinterens og sommerens lufttemperaturer er skissert.

År	Vannføring Suldalsosen [m ³ /s]						Kjøring Kvilldal jan-jun	Luft-temp jan-feb	Luft-temp jun-aug
	Vår-flo 1 jun-15 jul	15 jul-30 sep	Høst-flo	vinter	Uregulert aug-sep				
1996	200	65	65	nei	12	58	mye	kaldt	normalt
1998	150	65	65	nei	12	111	lite	varmt	kjølig
1999	150	65	65	nei	12	93	middels	normalt	normalt
2001	nei	40	65	200	12	89	mye	kjølig	normalt
2002	nei	40	65	200	12	62	middels	mildt	varmt

Figur 6.5 og 6.6 viser simuleringene fra alle årene øverst og nederst i Suldalslågen for alle strategiene samt for uregulere forhold. Det er til dels betydelige forskjeller fra år til år, men noen trekk er gjennomgående og enkle å se. Andre forskjeller er lettere å oppdage når en ser på glattede differanser mellom strategiene, slik som vist i figur 6.7, 6.8 og 6.9. Her er det nevnt de trekkene en tydelig ser i figur 6.5 og 6.6, men ikke oppdager så lett i figur 6.7 til 6.9. En mer komplett konklusjonsliste er vist i kapittel 6.8.

- 'Forslag 2' og 'Dynamisk 2VM' ga hyppigere isdannelse nederst i Suldalslågen enn de andre strategiene og uregulerte forhold. Det skyldes lavest vintervannføring.
- I tørre år (1996 og 2002) ble det høyere temperaturer på sensommeren ved strategien 'Dynamisk 2VM', særlig nederst i Suldalslågen. Det kommer av at vannføringen blir lav da den settes til 23 % av uregulert vannføring.
- Det er minst forskjeller mellom reguleringsalternativene på vinteren/våren når det har vært kjørt mye vann fra Kvilldal (1996 og 2001). Mye vann derfra gir mindre temperaturforskjeller vertikalt i Suldalsvatnet, og dermed blir ikke temperaturen i vannet som trekkes gjennom Suldalsporten så avhengig av vannføringen.

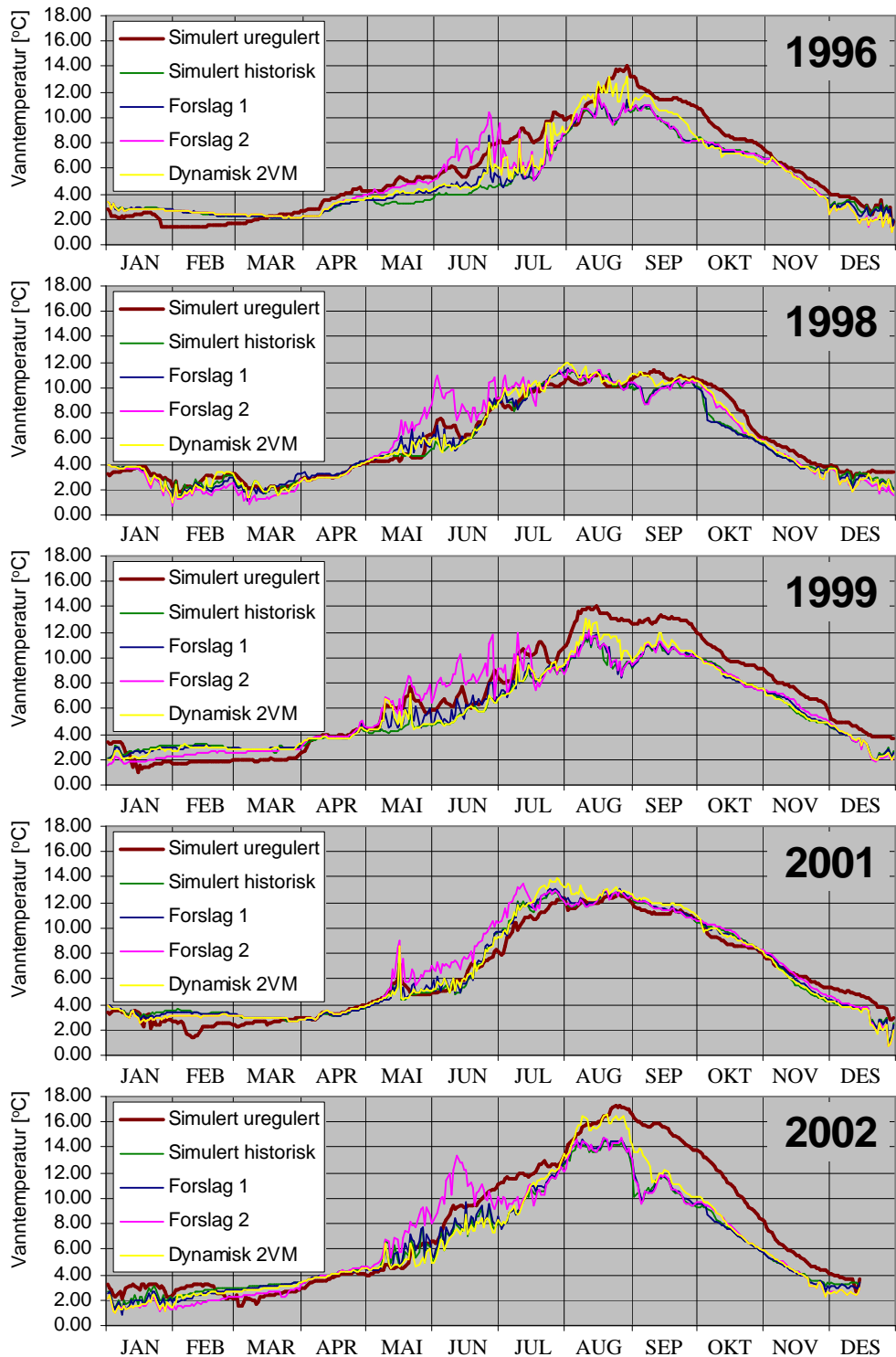


Fig. 6.5 Simulert vanntemperatur øverst i Suldalslågen ved Suldalsosen for enkeltårene 1996, 1998-99 og 2001-02. Simulert uregulert er simulert etter metodikk beskrevet i kapittel 4 og viser hvordan vanntemperaturen hadde vært hvis vassdraget ikke var regulert. Simulert historisk er simulert etter metodikken beskrevet i kapittel 6 med regulert vassdrag og med den vannføringen som ble sluppet til Suldalslågen de enkelte årene. Hvis det ikke hadde vært simuleringsfeil hadde denne vært identisk med målt verdi ved Suldalsosen. Forslag1, Forslag 2 og Dynamisk 2VM er beregnet som "Simulert historisk", men med vannføringer etter disse kjøreregimene.

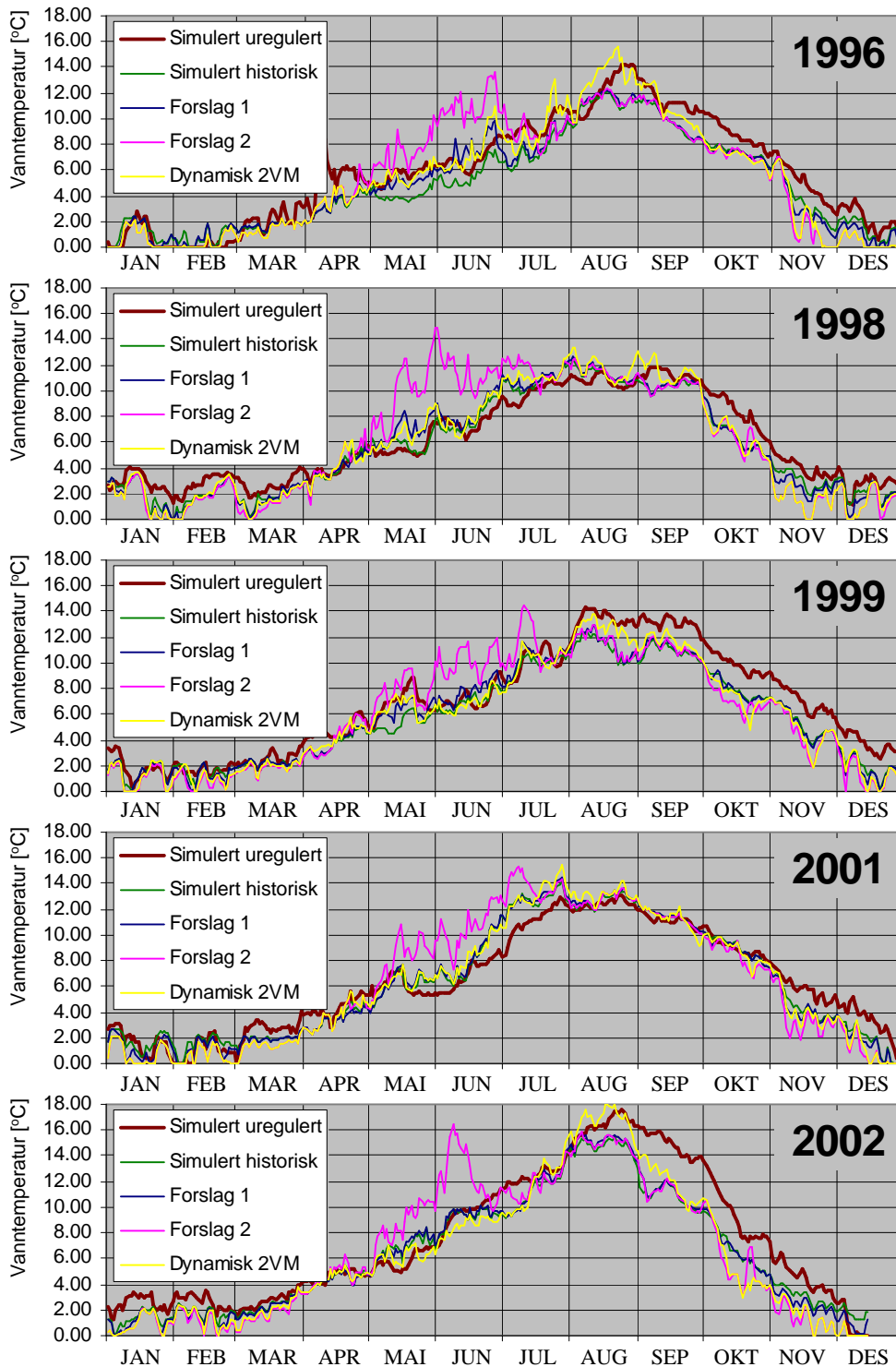


Fig. 6.6 Simulert vanntemperatur nederst i Suldalslågen ved Tjelmane for enkeltårene 1996, 1998-99 og 2001-02. Simulert uregulert er simulert etter metodikk beskrevet i kapittel 4 og viser hvordan vanntemperaturen hadde vært hvis vassdraget ikke var regulert. Simulert historisk er simulert etter metodikken beskrevet i kapittel 6 med regulert vassdrag og med den vannføringen som ble sluppet til Suldalslågen de enkelte årene. Hvis det ikke hadde vært simuleringsfeil hadde denne vært identisk med målt verdi ved Tjelmane. Forslag1, Forslag 2 og Dynamisk 2VM er beregnet som "Simulert historisk", men med vannføringer etter disse kjøregimene.

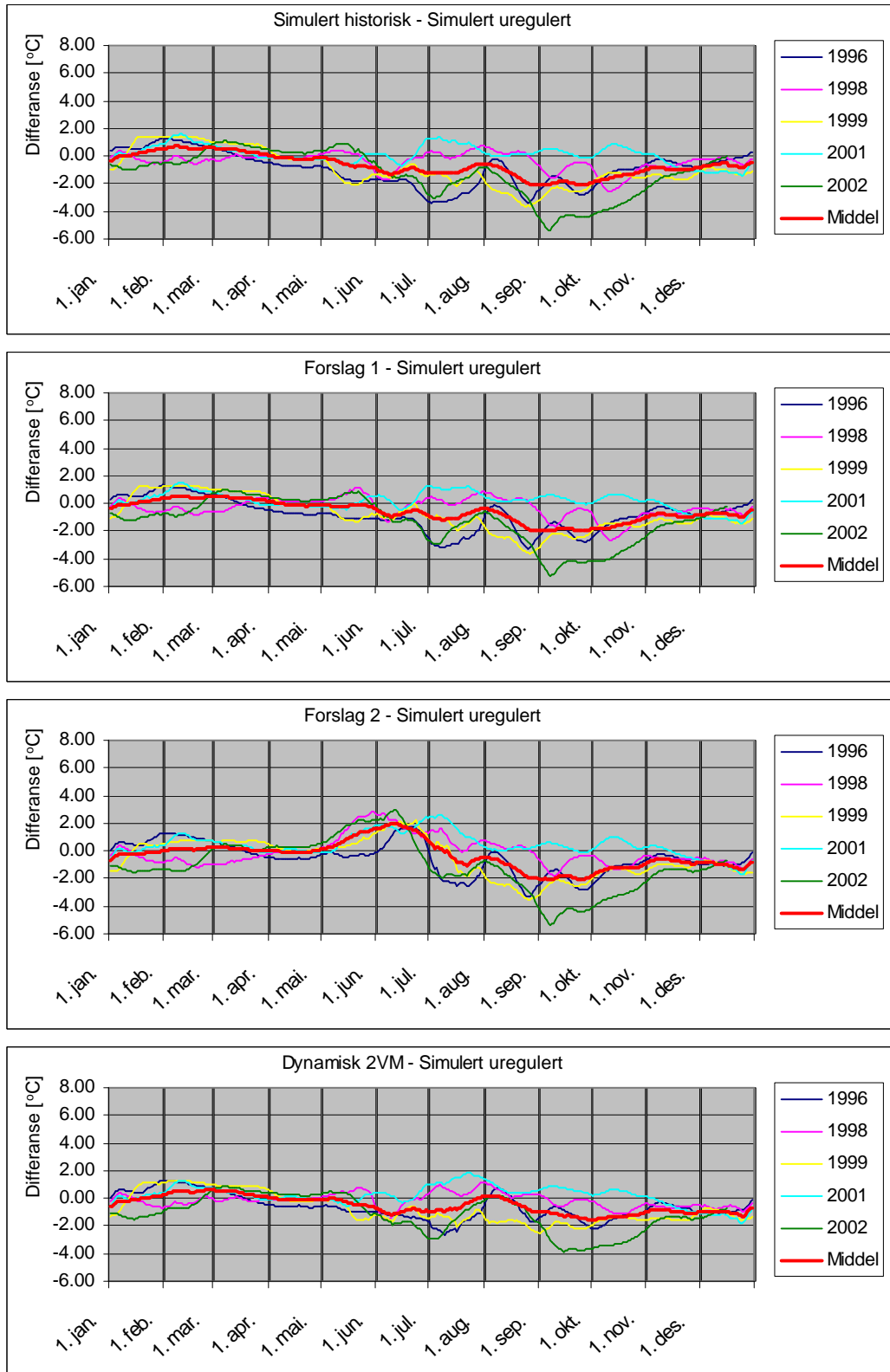


Fig. 6.7 Temperaturdifferansen ved Suldalsosen mellom vanntemperaturen ved angitte kjørestrenger (historisk, Forslag 1, Forslag 2 og Dynamisk 2VM) og vanntemperaturen dersom vassdraget var uregulert. Det er plottet for årene 1996, 1998-99 og 2001-02, og glattet over 11 døgn.

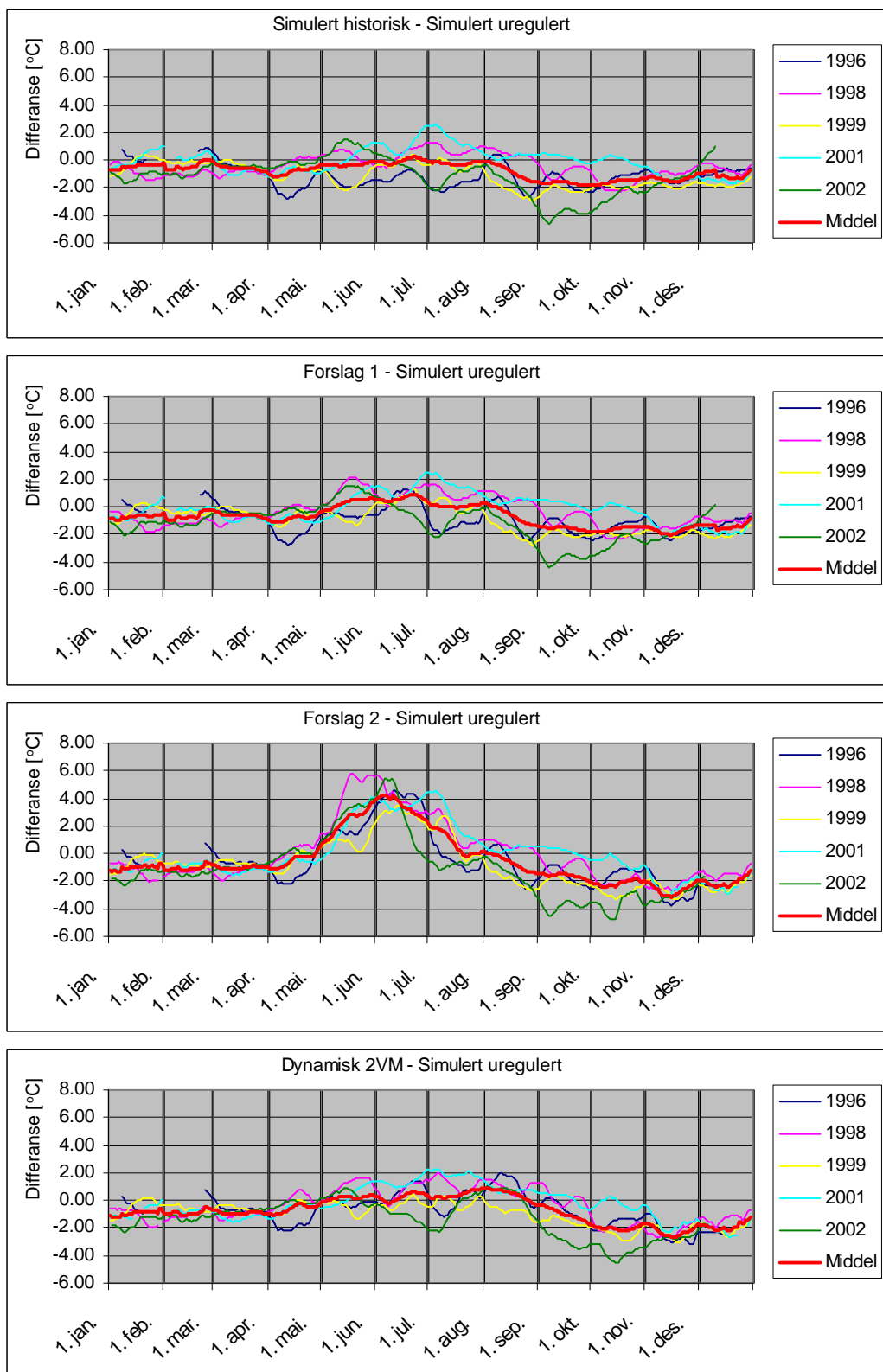


Fig. 6.8 Temperaturdifferansen ved Tjelmane mellom vanntemperaturen ved angitte kjørestrategier (historisk, Forslag 1, Forslag 2 og Dynamisk 2VM) og vanntemperaturen dersom vassdraget var uregulert. Det er plottet for årene 1996, 1998-99 og 2001-02, og glattet over 11 døgn.

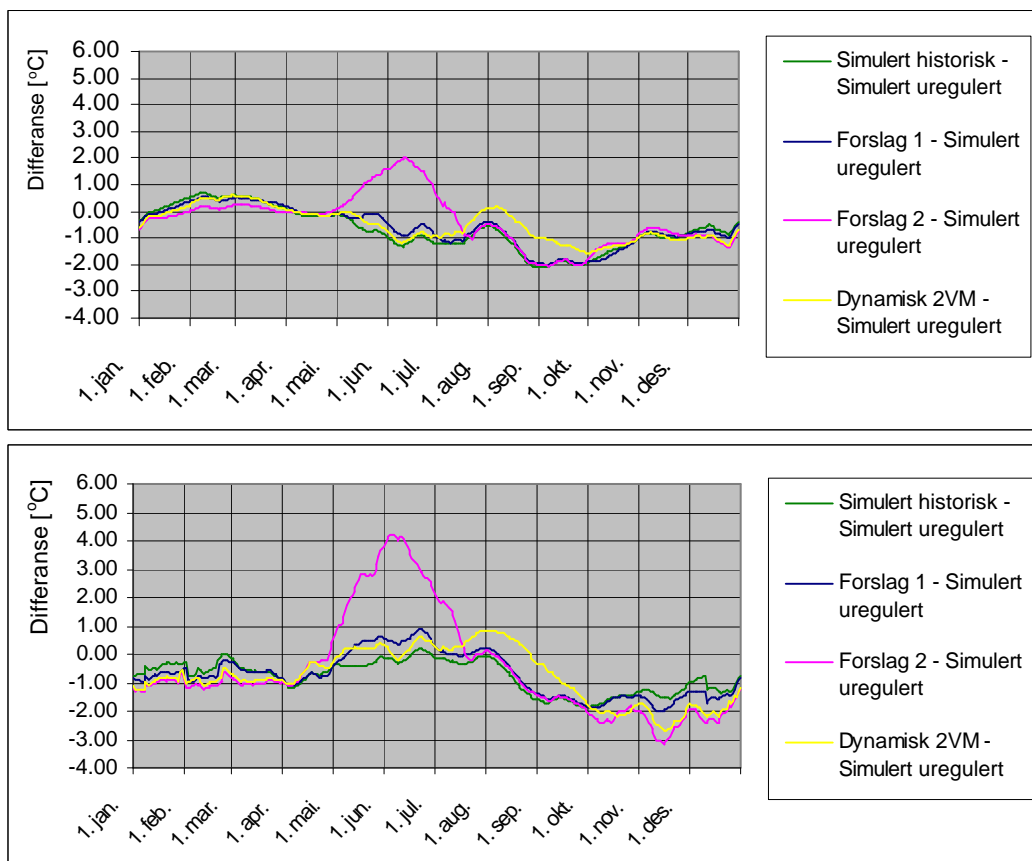


Fig. 6.9 Temperaturdifferansen ved Suldalsosen (øverst) og Tjelmane (nederst) mellom beregnet vanntemperatur ved angitte kjørestراتيجier (historisk, Forslag 1, Forslag 2 og Dynamisk 2VM) og vanntemperaturen dersom vassdraget var uregulert. Differansene er midlet over årene 1996, 1998-99 og 2001-02, og glattet over 11 døgn.

For å sammenligne resultatene bør en ta utgangspunkt i samme kjøring i hvert av årene. Siden kjøringen har variert fra år til år velger vi heller den uregulerte tilstanden som sammenligningsgrunnlag, dvs. 'Simulert uregulert'. Vi beregner så temperaturdifferansen mellom de andre kjøringene og 'Simulert uregulert'. Figur 6.7 og 6.8 viser differansene for de fem enkeltårene både ved Suldalsosen og nederst i Suldalslågen. Figur 6.9 viser middeldifferansene. Differansene er glattet over 11 døgn for å lette tolkingen av kurvene.

Når vi tolker vinterdataene må vi huske på at vann ikke kan bli kaldere enn 0 °C. Dette begrenser differansene så vi har tatt bort dagene hvor en av strategiene når frysepunktet. Et eksempel: Det normale er at strategi A gir 2 grader kaldere vann enn strategi B. Når A har gitt en temperatur på 1 °C, ja da endte B opp med 3 °C. På de riktig kalde dagene blir det is og temperatur 0 °C ved strategi A. Det kan ikke bli kaldere vann. Det er så kaldt at B kjøles ned til 1 °C. Da er differansen bare 1 grad pga. isen og bør ikke tas med i utregningen.

Konklusjonene fra figur 6.5 til 6.9 er vist i kapittel 6.8 etter en analyse av isforholdene.

6.7. Isforhold i Suldalslågen

Vi har utført en statistisk analyse på de døgnene hvor vanntemperaturen når frysepunktet nederst i Suldalslågen, dvs. som indikerer isdannelse. Et stort antall døgn betyr større sannsynlighet for et isdekke, flere og lengre sammenhengende perioder øker tykkelsen og utbredelsen av kantisen. Tabell 6.2 viser antall døgn med isdannelse samt antall perioder med 5, 10 eller 20 døgn sammenhengende isdannelse. (En 10-døgnsperiode blir også telt som to 5-døgns perioder.)

Tabell 6.2 Antall døgn med isdannelse nederst i Suldalslågen samt antall perioder med 5, 10 eller 20 døgn sammenhengende isdannelse. Antall perioder er summert over fem år (1996, 1998-99 og 2001-02). Øverste linje viser de målte verdiene. Resten av linjene er beregnet fra simuleringene. Temperaturgrensen for at det skal være isdannelse er både satt til 0 °C og til 0.35 °C. Sistnevnte grense ga best overensstemmelse mellom målt og "Simulert historisk" (=simuleringen av målte forhold). Til slutt er det delt på 5 for å få døgn og perioder pr. år.

		Antall døgn med isdannelse pr. år	Antall perioder med sammenhengende isdannelse		
			5 døgn	10 døgn	20 døgn
Målt		9.0	1.2	0.2	0
Simulert historisk	T<0.35 °C	8.8	0.4	0	0
Forslag 1		18.0	1.4	0	0
Forslag 2		40.8	4.8	1.2	0.4
Dynamisk 2VM		36.8	4.4	1.2	0.4
Simulert historisk	T<0.00 °C	3.0	0	0	0
Forslag 1		6.8	0.2	0	0
Forslag 2		26.6	2.6	0.4	0
Dynamisk 2VM		24.6	2.6	0.4	0

De nederste fire linjene i tabell 6.2 viser når simuleringene har gitt temperaturer på frysepunktet nederst i Suldalslågen. Da simuleringene under observerte forhold avvok en del fra de målte verdiene ved Tjelmane ble det testet på hvilken temperaturgrense som ga best samsvar. Dersom en sa at det ble isdannelse når simulert vanntemperatur kom under 0.35 °C ble det summert til 8.8 døgn/år med isdannelse, omtrent det samme som ble målt. I tabell 6.2 er det derfor tatt med døgn med isdannelse når en antar at 0.35 °C er øvre grense for isdannelse.

Som en ser av tabell 6.2 er det en vesentlig økning i antall døgn med isdannelse nederst i Suldalslågen med vannføringsregimene 'Dynamisk 2VM' og 'Forslag 2', sett i forhold til dagens kjøring. Dette skyldes at vintervannføringen går ned fra dagens 12 m³/s til 6 m³/s. Likevel er isperiodene stadig avbrutt av mildværsperioder. I de fem testårene våre varte alle sammenhengende perioder med isdannelse kortere enn 20 døgn. Satte en grensen til 0.35 °C var det to perioder med mer enn 20 døgn sammenhengende isdannelse (=0.4 perioder/år).

Det er store variasjoner i ishyppighet fra år til år i testårene våre. Lufttemperaturen varierte fra 'kaldt' til 'varmt' (tabell 6.1), men sett under ett var det et representativt utvalg. De fleste isepisodene inntraff i 1996. I de fire andre årene var det svært sjelden is.

Ved kjøringene 'Dynamisk 2VM' og 'Forslag 2' ble det en del isepisoder også i disse årene.

Vi har ikke foretatt noen simulering for steder lenger opp i elva, så vi kan ikke si noe eksakt om isforholdene der. Ved Suldalsosen var den laveste målte verdien 1.9 °C i de fem testårene. Den laveste simulerte verdien var 0.65 °C (ved kjøringstrategien 'Forslag 2'). Generelt er det derfor isfritt i øvre del av elva og av og til is i nedre deler. Ved kjøring på lav vannføring om vinteren blir det oftere is nederst og dermed må en anta at det også av og til blir isdannelse i midtre deler av elva. På grunn av mildværsinnslag vil nok isen mest opptre som sarr, bunnis og kantis.

Vi har også sett på isforholdene nederst i elva ved dagens kjøring (fra målte verdier) og dersom elva hadde vært uregulert (fra simuleringene tidligere i kapittel 5). Tabell 6.3 viser samme type statistikk som i tabell 6.2, men nå for hver enkelt vinter fra vinteren 1997/98 til 2001/02.

Tabell 6.3 Antall døgn med isdannelse nederst i Suldalslågen samt antall perioder med 5, 10 eller 20 døgn sammenhengende isdannelse. Tabellen viser antallene for hver vinter fra 1997/98 til 2001/02, og de er beregnet fra målingene under regulerte forhold samt fra de simulerte vanntemperaturene dersom vassdraget var uregulert. Vanntemperaturer under 0.15 °C er regnet som døgn med isdannelse.

		Antall døgn med isdannelse	Antall perioder med sammenhengende isdannelse		
			5 døgn	10 døgn	20 døgn
Regulert	1997/98	0	0	0	0
	1998/99	0	0	0	0
	1999/00	0	0	0	0
	2000/01	10	1	0	0
	2001/02	0	0	0	0
Uregulert	1997/98	0	0	0	0
	1998/99	5	0	0	0
	1999/00	0	0	0	0
	2000/01	5	1	0	0
	2001/02	1	0	0	0

Det viser seg at det er små forskjeller i antall isdøgn. Det skyldes at både vannføringer og vanntemperaturer ut av Suldalsvatnet i kuldeperioder i dag er omtrent som før reguleringene. Det må også sies at det var en del milde vintre i denne perioden.

6.8. Konklusjoner

- Lav vannføring gir stor energiutveksling med atmosfæren og dermed også store utslag på vanntemperaturen. Dette gir seg utslag både gjennom ”Tarmen” og ned Suldalslågen.
- Ved lav vintervannføring (’Forslag 2’ og ’Dynamisk 2VM’) blir det oftere isdannelse i nedre deler av elva. Hyppigheten ble femdoblet fra 9 til 41 dager pr. år med isdekke i testperioden (1996, 1998-99 og 2001-02) ved å senke vannføringen fra dagens 12 m³/s til 6 m³/s, men selv da varte hver isperiode sjelden lengre enn 20 døgn. Isen vil trolig mest opptre som sarr, bunnis og kantis.
- I perioden 1998-2002 var det omtrent like ofte isdannelse i Suldalslågen som det ville vært dersom elva hadde vært uregulert, men det var forholdsvis milde vintre i denne korte sammenligningsperioden.
- Ved lav vannføring på våren og forsommeren (’Forslag 2’) blir det høyere vanntemperaturer i elva. Temperaturen nederst i elva stiger hele 3-4 °C sammenlignet med både uregulert og de andre reguleringsalternativene. Øverst i elva stiger den 1-2 °C i forhold til uregulert, mens den er 2-3 °C høyere enn de andre regimene. Det er større variasjoner fra dag til dag og fra år til år enn ved de andre alternativene.
- I tørre sensommer vil en nedskalert naturlig vannføring (’Dynamisk 2VM’) gi 2 °C høyere vanntemperatur nederst i elva enn ved de andre reguleringsalternativene, og det blir omtrent like varmt som om elva var uregulert. Øverst i elva, og i sensommer med høy vannføring, er forskjellen vesentlig mindre.
- Regimet ’Forslag 1’ gir nær de samme vanntemperaturene som en har hatt de siste årene bortsett fra litt varmere om våren: 0.5 °C i juni øverst i elva og 0.5-1.0 °C i mai-juni nederst i elva.
- Sammenlignet med de historiske dataene i 1998-2002 (regulert elv) ville en uregulert Suldalslågen vært 0.5-1.0 °C varmere i januar-april, omtrent lik temperatur i mai-juli og igjen økende til 1-2 °C varmere i september-desember, alle temperaturene tatt nederst i elva. Temperaturen øverst i elva ville vært 0-0.5 °C kaldere i januar-april, 0-1 °C varmere i mai-juli, 1-2 °C varmere i august-oktober og omtrent 1 °C varmere i november-desember.
- Det er minst forskjeller mellom reguleringsalternativene på vinteren/våren når det har vært kjørt mye vann fra Kvilldal (1996 og 2001). Mye vann derfra gir mindre temperaturforskjeller vertikalt i Suldalsvatnet, og dermed blir ikke temperaturen i vannet som trekkes gjennom Suldalsporten så avhengig av vannføringen.

6.9. Usikkerhet

Som nevnt ligger det en begrensning i at vi har antatt at temperaturforholdene i Suldalsvatnet oppstrøms Suldalsporten forblir uforandret når vannføringen endres. Dette er uproblematisk når endringene i vannføringen er små sett i forhold til vannvolumet i Suldalsvatnet mellom Kvilldal og Suldalsporten. Uten en detaljert tredimensjonal modell er det ikke mulig å anslå hvor mye en kan endre vannføringen uten at det blir en varig endring i vannmassenes temperatur. Usikkerheten vil øke desto mer vannføringen fjerner seg fra den observerte tilstanden. En kvalifisert gjetning er at usikkerheten er rundt 25 % av den beregnede temperaturendringen.

Endringene i vannføring ved Suldalsosen vil ha minst påvirkning på vanntemperaturen oppstrøms Suldalsporten dersom en bare manipulerer med Hylén. Endringer i driftsvannføringen i Kvilldal har større påvirkning, særlig dersom en må skifte inntak og dermed endrer driftsvannets temperatur.

Videre ned elva er det en usikkerhet knyttet til modellering av sideelvene. Ved å legge alt vannet inn øverst introduserer vi en feil nederst som vi delvis har kompensert for. Vi har likevel ikke kompensert for det faktum at det er forskjell i sidefeltenes vanntemperatur. Et relativt varmt sidevassdrag, vil ha større innvirkning på vanntemperaturen ved Tjelmane desto lenger ned i elva den kommer inn. Slike usikkerheter er anslagsvis 0.5 °C nederst i elva.

Vi har ikke kunnet kalibrere modellen på vannføringer under 12 m³/s da vi ikke har målinger av vanntemperaturer ved så lave vannføringer. Modellen som er brukt har en forholdsvis flat bunn. Dette kan gi en overdreven temperaturendring dersom overflatearealet minker raskere i virkeligheten enn i modellen når vannføringen faller under 12 m³/s. Fra flybilder er det beregnet at overflatearealet kun reduseres med 8 %, og det stemmer bra med profilet i modellen. Selv med utslipp på 6 m³/s øverst blir det som regel modellert med 8-9 m³/s på grunn av resttilsiget, altså ikke så langt unna 12 m³/s. Det er vanskelig å anslå usikkerheten, men den øker med avtagende vannføring. Totalt sett vil vi anslå usikkerheten også nederst i vassdraget å ligge rundt 25 % av den beregnede temperaturendringen.

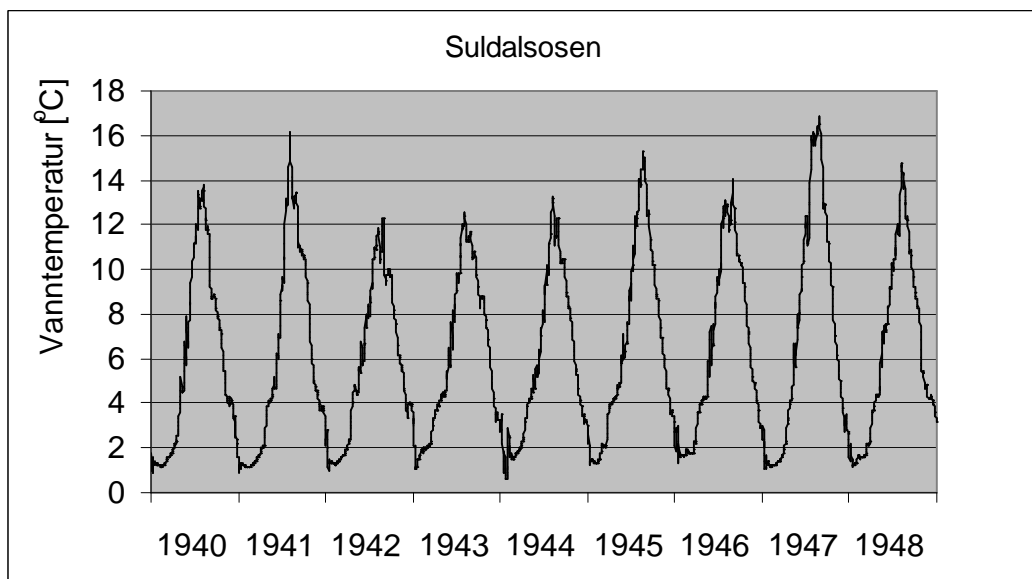
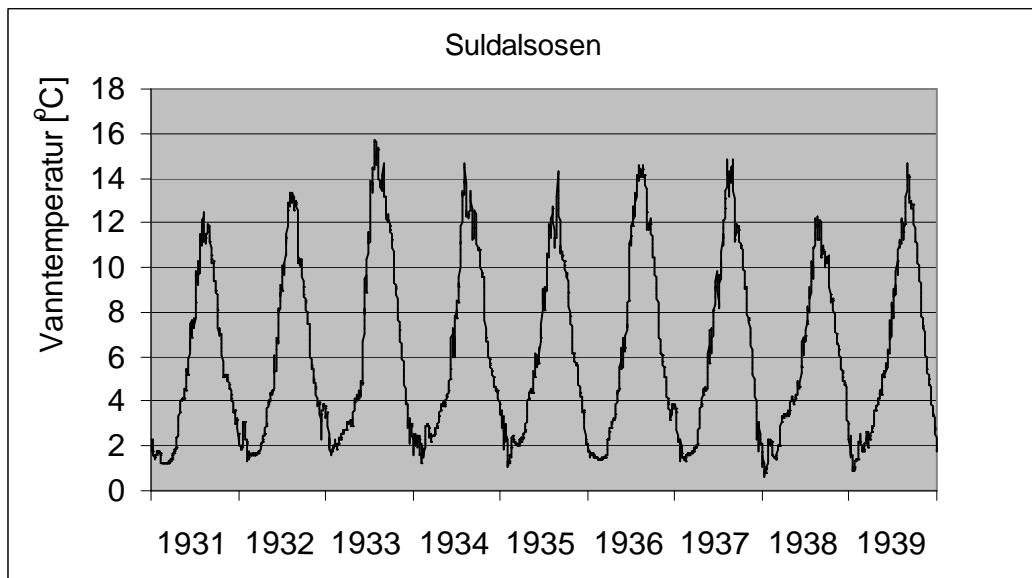
7. Dataoverlevering

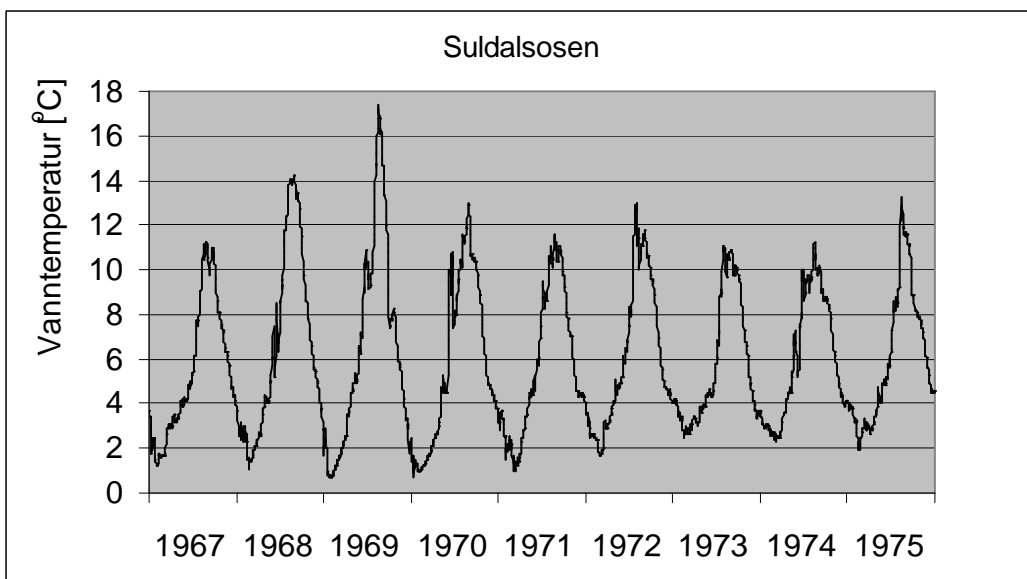
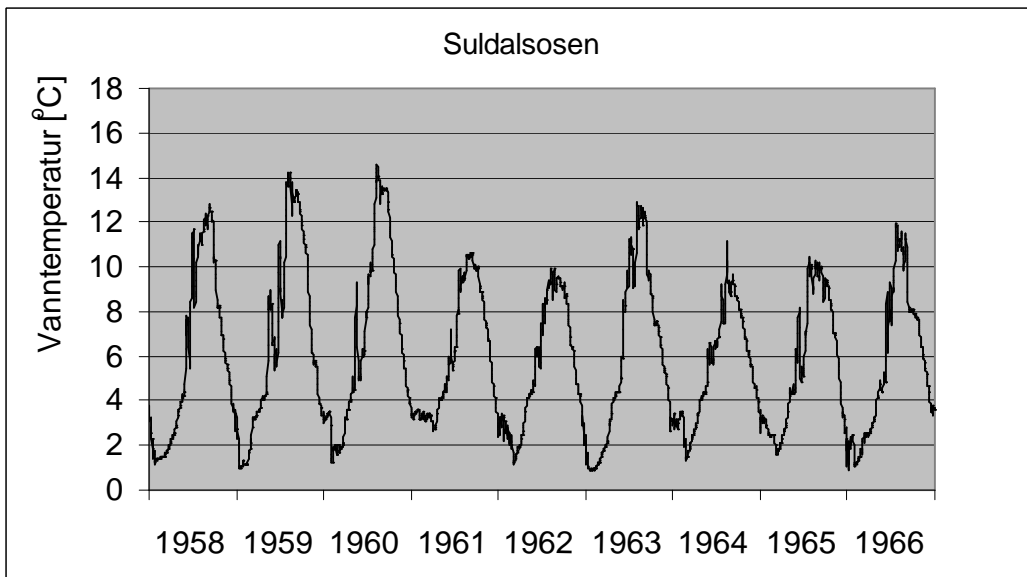
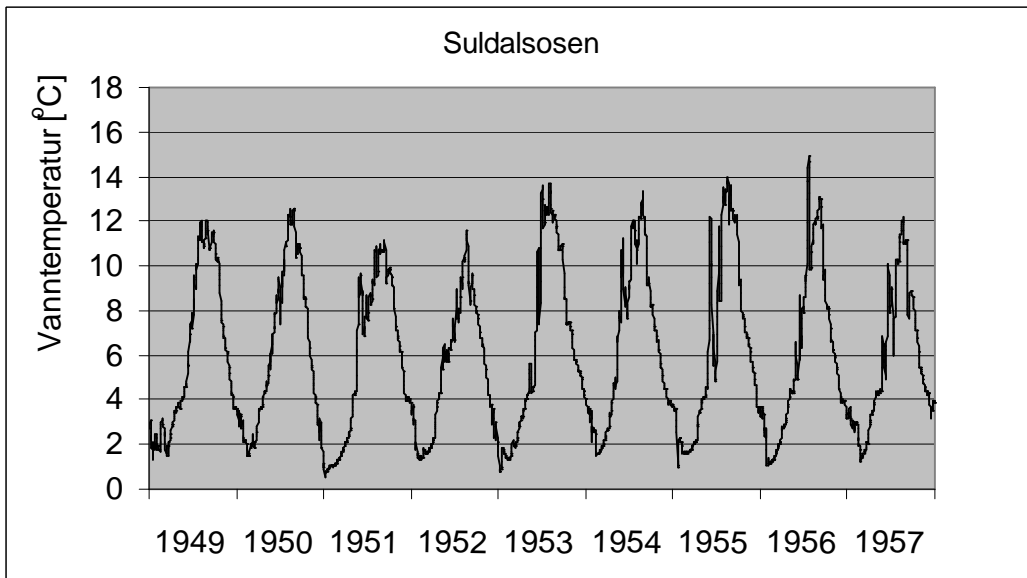
De simulerte dataseriene øverst og nederst i Suldalslågen overleveres på e-post til oppdragsgiver. Dataene er også plottet i Vedlegg A og B.

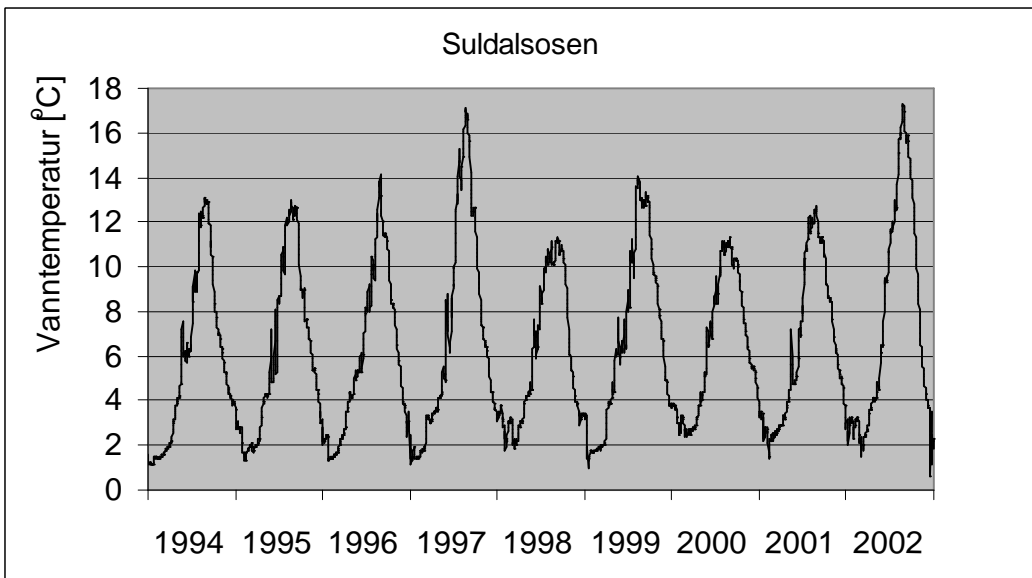
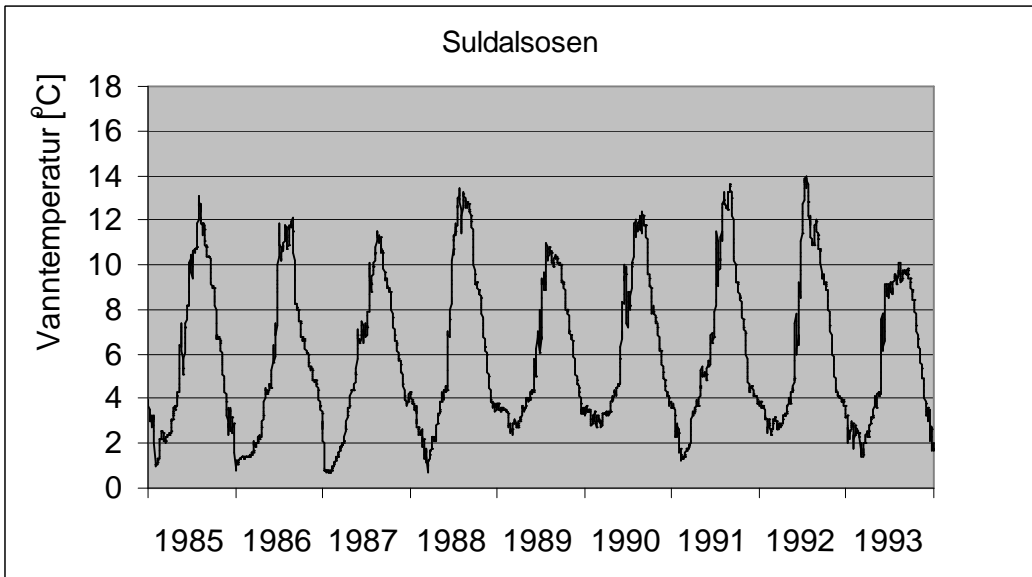
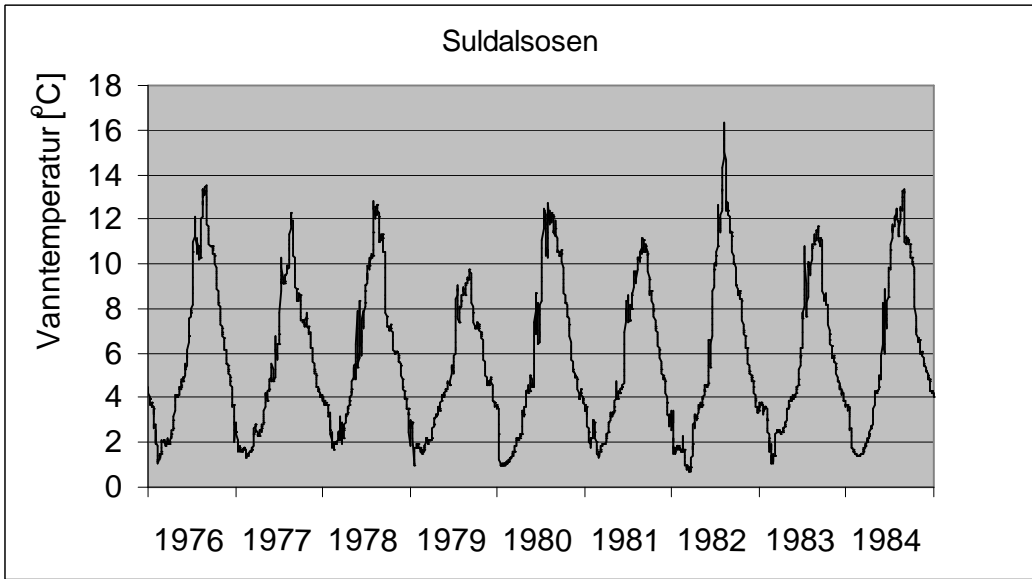
8. Referanser

- Bergström, S., 1992: The HBV model—its structure and applications, SMHI Hydrology, RH No. 4, Norrköping, 35 pp.
- Ellingsen E. og Holmqvist E., 1997: Transport av surt bekkevann og vann fra Kvilldal kraftverk gjennom Suldalsvatn. Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalslågen fase II. Rapport nr. 36, Statkraft Engineering (nå Sweco-Grøner)
- Magnell J.-P., Tvede A. M., Jespersen M. og Sandsbråten K., 2002: Årsrapporter 2002 – Fysiske forhold. Suldalslågen – Miljørapport nr. 23, Statkraft SF.
- Vegglund N., 1964: Suldalsvatnet. En undersøkelse av de termiske forhold og bruk av empiriske formler til beregning av varmemushaldet. Hovedfagsoppgave, Fysisk geografi, Universitetet i Oslo.
- Tvede A. M., 1994: Vanntemperaturen i Suldalslågen. Forholdet mellom vanntemperatur, vannføring og værforhold i perioden 15. april – 15. juni. Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalslågen. Rapport nr. 6, Statkraft Engineering (nå Sweco-Grøner)
- Tveito O.E, Udnæs, H.-C., Mengistu, Z., Engeset, R., og Førland, E.J., 2002: New snow maps for Norway, Proc. XXII Nordic Hydrological Conference 2002, 4-7 Aug 2002, Røros, Norway.

Vedlegg A. Plott av simulerte uregulerte vanntemperaturer ved Suldalsosen







Vedlegg B. Plott av simulerte uregulerte vanntemperaturer ved Tjelmane

