

Masteroppgave i geofag

Optimalisering av tappestrategier i Maridalsvassdraget i Oslo

Avveining mellom vannforsyning og flomskader

Petter Morstad



UNIVERSITETET I OSLO

DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

Optimalisering av tappestrategier i Maridalsvassdraget i Oslo

Avveining mellom vannforsyning og flomskader

Petter Morstad



Masteroppgave i geofag
Studieretning: Naturgeografi

Institutt for geofag
Matematisk-naturvitenskaplig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

© Petter Morstad, 30.05.2008

Veileder: Kjell Nordseth, førsteamanuensis ved Universitetet i Oslo, institutt for geofag.

Utarbeidelse av modell: Stein Beldring, NVE.

Forsidebildet er fra Sandungsdammen i Maridalsvassdraget.

(Foto: Roald Wartainen, 27.08.04)

Dette eksamensarbeidet er publisert elektronisk i DUO – Digitale Utgivelser ved UiO

<http://www.duo.uio.no>

Det er også katalogisert i BIBSYS (<http://www.bibsys.no/>)

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted, in any form or by any means, without permission.

Forord

Denne masteroppgaven i naturgeografi, studieretning hydrologi, er en del av mastergraden ved universitetet i Oslo. Jeg vil takke hovedveileder Kjell Nordseth (førsteamanuensis, UIO) for å ha bidratt med sin enorme rutine.

Det rettes en stor takk til Stein Beldring (NVE) som har utarbeidet modellen som har blitt brukt som analyseverktøy i oppgaven. I tillegg har Stein stilt opp på mange møter og vært en god inspirator.

Nils Roar Sælthun (instituttleder geofag, UIO) takkes for å ha kommet med ideen om å innføre tappematriser.

Jeg vil også takke min studiekamerat Leiv Gunnar Ruud (NVE). Spesielt vil jeg huske det gode samarbeidet og alle kollokvietimene.

En takk rettes til min arbeidsgiver Vann- og avløpsetaten som har lagt forholdene til rette under min studietilværelse. Spesielt vil jeg takke min leder Terje Wold for faglige innspill og en stor forståelse for jobbingen med oppgaven.

En særskilt takk vil jeg gi min kjære samboer, Kristin. I tillegg til å ha vært en god støtte takker jeg deg for all Word- og Excelhjelp.

Oslo, mai 2008.

Petter Morstad

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	6
2	Innledning	8
2.1	Mål og problemstilling	8
2.2	Bakgrunn	8
2.3	Vannforsyningen i Oslo.....	9
3	Feltbeskrivelser og data	11
3.1	Maridalsvassdraget	11
3.2	Manøvreringsreglementet	14
3.3	Hydrologiske og Meteorologiske data.....	15
3.4	Hammeren Kraftverk	18
3.5	Nedbørfeltet til Bjørnegårdssvingen.....	18
3.6	Sammenligning av nedbørfeltene til Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen	20
3.7	Vannføringsdata.....	22
3.7.1	Målefeil og usikkerhet i vannføringsdata	22
4	Hydrologiske modeller	24
4.1	Hydrologiske modeller generelt	24
4.2	Distribuert HBV-modell	26
4.2.1	Modellens hovedstruktur	27
4.2.2	Modellens rutiner og algoritmer	28
4.3	Modellkalibrering	30
4.4	Estimering i umålte felt	32
5	Metode	34
5.1	Tappematrise	34
5.2	Kalibrering av HBV-modellen	35
5.3	Implementering av tappematrisen og modelltilpasning.....	39
6	Simuleringer og diskusjon	42
6.1	Tappestrategier høst.....	42
6.1.1	Simuleringer med begrenset vannføring i Akerselva	44
6.2	Tappestrategier vinter	48
6.2.1	Snøens vannekvivalent	48
6.2.2	Kulminasjonsverdier for snø	48
6.2.3	Vannekvivalent for vinterperioden.....	49

6.2.4	Etablering av magasinfyllingskurve som inkluderer snømagasinet	50
6.2.5	Tapping i snøsmelteperioden.....	52
6.3	Mål for magasinfylling etter snøsmeltingen.....	55
6.4	Endring av strategier for å øke magasinfyllingen i ugunstige år... 57	
6.4.1	Reduksjon av vintervannføring	57
6.4.2	Modellforsøk med endring av styringskurve.....	58
7	Konklusjon	61
8	Litteraturliste	63
	Appendiks	66
A	Tilsgisserie for Maridalsvassdraget	66
B	Beregnete vannføringsverdier og drikkevannsproduksjon.....	69
C	Parametere.....	75
C.1	HBV - soil parameters.....	75
C.2	HBV - landsurface parameters	75
C.3	Parametersett som er tilpasset Bjørnegårdssvingen	76
C.4	Parametersett som er tilpasset Maridalsvassdraget.....	77
D	Simuleringer med tappestrategier	78
D.1	Reduksjon av vintertapping i kapittel 6.4.1	78
D.2	Endring av styringskurve i kapittel 6.4.2	84

1 Sammendrag

Oppgavens hydrologiske problemstilling er knyttet til Maridalsvassdragets nedbørfelt i Oslo. Det 255 km² store feltet har 26 regulerbare magasiner og er et typisk Østlandsvassdrag med snøsmelteflommer og høstflommer. Vassdraget står for ca. 85 % av vannforsyningen til Oslos befolkning.

Formålet med oppgaven er å optimalisere tappestrategier i vassdraget, for å sikre byens drikkevannsforsyning og samtidig redusere faren for flomskader. Utførelse av reguleringstiltak blir ofte en avveining mellom vannforsyning og flomskader.

Vann- og avløpsetaten (VAV) regulerer i dag drikkevannsmagasiner etter et selvpålagt manøvreringsreglement som ikke er underlagt konsesjonsbehandling. Det er privatrettslige avtaler som ligger til grunn for magasinrestriksjonene og minstevannføringene.

For å kunne løse oppgaven er det brukt en distribuert HBV modell som analyseverktøy. Tilsigsserien til Maridalsvann inneholder kun månedssdata. Siden det ikke foreligger tilsigsdata med døgnoppløsning for Maridalsvassdraget, brukes nedbørfeltet til Bjørnegårdssvingen (Sandvikselva) som et referansefelt. HBV modellen er kalibrert på døgndata for Bjørnegårdssvingen. Parametersettet fra dette feltet er overført til Maridalsvassdraget med forutsetninger om at det eksisterer forholdsvis like feltegenskaper. Det overførte parametersettet ble deretter tilpasset Maridalsvassdraget. Etter tilpasningen ga simuleringer i Maridalsvassdraget god overensstemmelse med observert og simulert tilsig på månedsbasis.

I modellen betraktes Maridalsvassdraget som et uregulert felt med unntak av tapping ut av Maridalsvann som er inntaksvann for drikkevannsforsyningen. I et normalår går halvparten av det årlige tilsiget til drikkevannsproduksjon, mens resten utgjør vannføringen i Akerselva. Tappingen ut av Maridalsvann er hovedsakelig styrt av manøvreringsreglementet. Magasinutfyllingen, drikkevannsuttaget og framtidig tilsig er bestemmende for tappingen. For å gjenspeile dagens tapping er det lagd tabeller som forteller hvordan det skal tappes. Disse tabellene er implementert i modellen og gir en god representasjon av dagens tappestrategier.

I simuleringene som er foretatt i kapittel 6 er det gjort forskjellige endringer i tappetabellene for å se på effekten av de ulike tappestrategier.

Skadefunksjoner viser at skader på objekter i eller nær vassdrag øker med økende vannstand. Skadepotensialet oppstrøms Maridalsdammen er lite i forhold til nedstrøms dammen. Følgelig går tappestrategien ut på å ta flomdemping i Maridalsvannet, for å redusere flommen i Akerselva, dersom man har kontroll på flomvolumene.

Styringskurvene som er etablert i manøvreringsreglementet beskriver en nedtrapping av vannføringen i Akerselva ved minkende magasinopfylling. Styringskurvene inkluderer ikke snømagasinet, men er basert på normale snømengder. Det er i oppgaven etablert styringskurver som inkluderer snømagasinet. Ved å følge de nye kurvene kan flomfaren reduseres i snørike vintre, mens vannforsyningen sikres bedre i snøfattige vintre.

Målet for magasinopfylling etter snøsmeltingen er i oppgaven vurdert til 100 %, gitt at det er tilstrekkelig med snø i feltet. Dette sikrer drikkevannsforsyningen ved framtidig lave tilsig, og en fylling på 100 % i månedsskiftet mai-juni gir liten flomfare i de 18 årene som er undersøkt.

Snømagasinene er den dominerende faktor for avrenning i april og mai. Årlig gjennomsnittlig vannekvivalent for snøen ved dens kulminasjon og gjennomsnittlig nedbør for snøsmelteperioden er summert. Av denne summen er det beregnet hvor mye som vil bidra til avrenning i smelteperioden. Denne andelen er beregnet til $65 \% \pm 15$ prosentpoeng.

Det er utført simulering der vintervannføringen i Akerselva ble redusert fra $1 \text{ m}^3/\text{s}$ til $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Denne simuleringen ga på det meste en forskjell i magasinbeholdningen som tilsvarer 25 dagers forbruk med dagens vannproduksjon. Manøvreringsreglementet åpner for en lavere vintertapping, men det må utføres en konsekvensanalyse før lavere vintertapping kan aktualiseres. Modellforsøk ble utført der styringskurven for Akerselva for $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ble endret til $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Denne endringen ga lite volum og det anbefales at styringskurven ikke forandres.

2 Innledning

2.1 Mål og problemstilling

Formålet med denne oppgaven er å optimalisere tappestrategier i Maridalsvassdraget, for å sikre drikkevannsforsyningen til Oslos befolkning og samtidig redusere faren for flomskader.

Å sikre drikkevannsforsyningen og samtidig redusere faren for flomskader virker motstridende. Det blir ofte en avveining mellom vannforsyning og flomskader. Utfallene i hver ytterkant er mangel på vann og skadeflom. Dette er asymmetriske utfall, det vil si at utfallene ikke har samme verdi. Derfor må det legges inn skjønn og erfaring ved løsning av oppgaven. Analyseverktøyet som er benyttet til løsning av oppgaven er en hydrologisk modell.

2.2 Bakgrunn

Vann- og avløpsetaten (VAV) har ansvar for vannforsyningen til Oslos befolkning. Vannkildene består av fire vassdrag: Maridals-, Langlia-, Alunsjø- og Elvågavassdraget. Det er til sammen 39 reguleringsmagasiner i disse vassdragene.

VAV hadde tørke i 1996, lekkasjer i forbindelse med Gardermobanen i 1997/1998 og flommen i Østlandsområdet høsten 2000. I tillegg var det i 1995 en storflom i Glomma og i Gudbrandsdalslågen som utløste en offentlig utredning med tittelen ”tiltak mot flom” (NOU 1996), hvor bedre flomvarsling og modellverktøy inngikk som ett av flere tiltak.

Disse hendelsene førte til at VAV satset på oppbygging av hydrologisk kompetanse. Instrumentering i nedbørfeltet og fjernkontroll har også blitt et satsingsområde.

Det overordnede målet for VAV er å ha tilstrekkelige vannressurser til alle formål. Etaten har behov for å utvikle og ta i bruk et praktisk modellverktøy. Dette vil gi sikrere vurderinger av manøvreringsmessige tiltak for å redusere skadevirkninger av flommer i vassdraget samt å få til en optimal tapping under snøsmelteperioder. Modellverktøyet må også være brukervennlig.

I 2004 etablerte VAV og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i samarbeid en målestasjon av vannføring i et høyereliggende uregulert nedbørfelt i Maridalsvassdraget (Sinnera, nord for Spålen). I tillegg finnes måledata fra Gryta, et uregulert felt som drenerer til Maridalsvannet. VAV har planer om at disse to uregulerte feltene skal inngå i en hydrologisk modell.

Krav fra myndighetene

Olje- og energidepartementet har hatt en forskrift om tappestrategier under utarbeidelse. Denne forskriften stiller krav til regulanten om kompetanse og tappestrategier. Under følger aktuelle paragrafer fra forskriftens nåværende form:

§ 1 Formål

Bruk av tappestrategier skal sikre at manøvreringen i forbindelse med flom og tørre perioder medvirker til å redusere skader for mennesker, miljø og eiendom.

Tappestrategier er skriftlige prosedyrer som beskriver hvordan avløpet fra magasin skal reguleres for å overholde bestemmelser i lov, forskrift, konsesjon og manøvreringsreglement ved alle aktuelle situasjoner i magasin, vassdraget nedstrøms og prognoser for tilløp til magasinet.

§ 6 Kompetanse

NVE kan i forskrift stille faglige kompetansekrav til driftsansvarlig eller annet personell som skal forestå hydrologiske vurderinger i forbindelse med drift av anleggene.

§7 Prosedyrer for tappestrategi

Den ansvarlige skal utarbeide skriftlige prosedyrer som beskriver hvordan egne magasiner skal manøvreres i forbindelse med flom og tørre perioder for å overholde krav i lov, forskrifter, konsesjon og manøvreringsreglement og hvordan det bør manøvreres innenfor disse rammene for å redusere skadeomfanget ved flom og tørre perioder mest mulig.

Prosedyrer for tappestrategi skal baseres på erfaringer med tidligere flommer og tørre perioder i vassdraget og, så langt det er formålstjenlig, også på simuleringer/beregninger og risikoanalyser.

Når det gjelder § 7 foreligger det gode tappestrategier for perioder med lav magsinnylling i dagens manøvreringsreglement. Etaten har ikke gode nok tappestrategier for flomperioder og snøsmelteperioder. Disse tappestrategiene bør etaten utarbeide uavhengig av myndighetskrav. I masteroppgaven er det utarbeidet tappestrategier som danner et godt grunnlag for videre jobbing med skriftlige prosedyrer for tappeplaner.

2.3 Vannforsyningen i Oslo

Under dette punktet tas alle 4 vassdragene som inngår i drikkevannsforsyningen med for å få en helhetsoversikt.

Byens vannforsyning kommer i dag fra Maridalsvassdraget (85%), Elvågavassdraget (10%), Langliavassdraget (2%) og Alunsvassdraget (3%). Kun vannforsyningen fra Elvåga med vannbehandling i renseanlegget på Skullerud tilfredsstiller alle kvalitetskravene i drikkevannsforskriften.

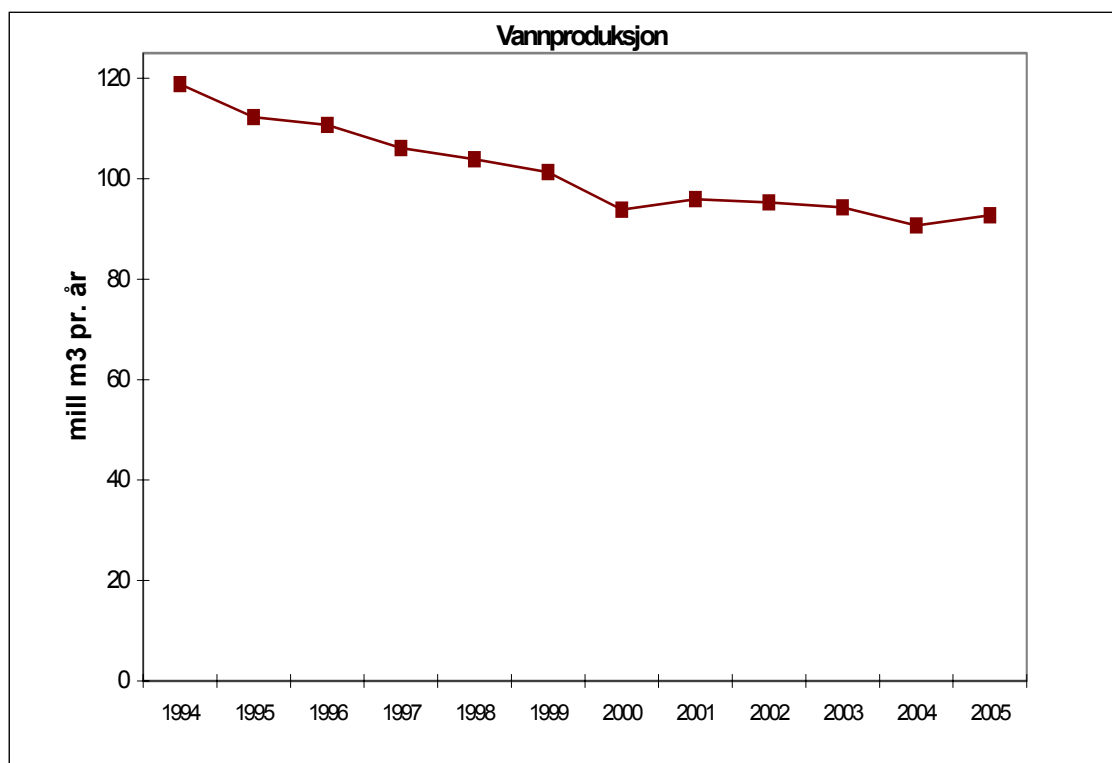
Nye Oset vannrenseanlegg skal etter planen settes i drift i mai 2008. Hele Oslo vil etter dette få drikkevann som tilfredsstiller drikkevannsforskriften, samtidig skal Langlia og Alunsvassdraget tas ut av normal drift. Hvis man ser bort fra risikoen for utfall av forsyningen fra Maridalsvannet, er vannressursene i Maridalsvassdraget og Elvåga i dag fullt ut tilfredsstillende. Vannproduksjonen har de senere årene gått betydelig ned som figur 2.1 viser.

Oslos vannforsyning er imidlertid helt avhengig av Maridalsvannet som kilde. Ved utfall i forsyningen fra Maridalsvannet vil store deler av Oslo miste vannet i løpet av 4-5 timer. En slik hendelse er lite sannsynlig, men konsekvensene er meget store. Denne situasjonen tilfredsstiller ikke kravene til leveringssikkerhet og beredskap i drikkevannsforskriftens §11. Derfor ønsker etaten å kunne ta ut store, momentane vannmengder fra Langlia, slik at Langlia og Elvåga har kapasitet til å forsyne hele byen i en gitt tidsperiode. Sikkerhetsmålet er at en av kildene skal kunne tas ut av drift i 3 måneder uten at byen mister sin vannforsyning. Det er derfor hensynet til sikkerhet som gir behovet for denne utnyttelsen av Langlia på nåværende tidspunkt. Maridals-, Elvåga- og Langlivassdraget må imidlertid også dekke behovet i den normale vannforsyningen framover i tid.

I dag utnyttes Langlia minimalt som en følge av den forholdsvis dårlige råvannskvaliteten og manglende effektive rens tiltak. Langlia forsyner permanent Sørkedalen, men tas også i bruk i større utstrekning under hagevanningsperioder og i nedbørfattige år. Den eksisterende overføringsledningen i Sørkedalen har begrenset kapasitet. Denne er flaskehalsen for en høyere utnyttelse av vannressursene i Langlia, og ellers for Oslos vannforsyning i tilfelle utfall i forsyningen fra Maridalsvannet.

For Langlia-Holsfjordalternativet foregår det for tiden en konsekvensutredning. Dette alternativet går ut på å føre vann fra Langlia via en tunnel til vannbehandlingsanlegget på Oset i Maridalen. Avhengig av utviklingen i vannforbruket vil tunnelen i framtida bli forlenget til Holsfjorden.

En bedre utnyttelse av Langlia styrker leveringssikkerheten ved utfall av Maridalsvann. Det nye fullrenseanlegget på Oset vil også sørge for å oppfylle kravene i drikkevannsforskriften til vannkvalitet og hygienisk sikring.



Figur 2.1 Utviklingen i vannproduksjon i Oslo

3 Feltbeskrivelser og data

3.1 Maridalsvassdraget

Maridalsvassdraget ligger i Nordmarka, nord for Oslo (se figur 3.1). Vassdraget er vernet mot kraftutbygging og betegnes også som Nordmarksvassdraget. Dette er et typisk Østlandsvassdrag med snøsmelteflommer om våren og regnflommer om høsten. I en nordisk regionklassifisering som bygger på avrenningens sesongvariasjon (Gottschalk et al. 1979) klassifiseres vassdraget som et innlands-regime med betegnelsen H_2L_1 . Et område klassifiseres som H_2 når det andre eller tredje høyeste månedsavløp inntreffer om høsten. L_1 indikerer dominerende vinterlavvann, på grunn av snøakkumulasjon. De to laveste månedsavløp forekommer om vinteren eller tidlig vår.

Vassdraget består av en vestre og en østre vannstreng. Feltarealet er 255 km^2 og det høyeste punkt er Svartjernshøgda (717 m.o.h.) Herfra drenerer vannet sydover til Maridalsvannet (149 m.o.h.).

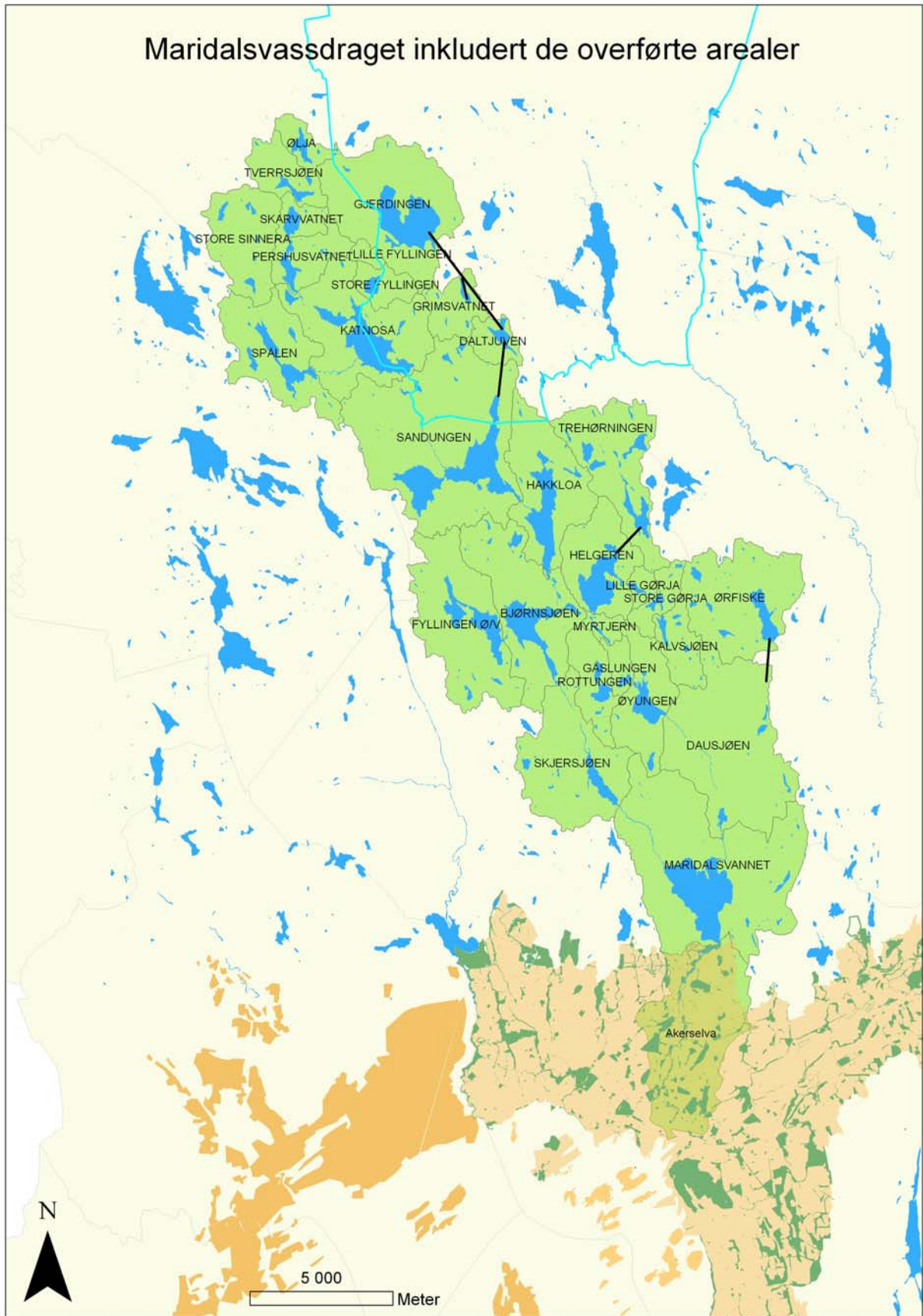
Kartreferanse for dam Maridalsvann : UTM sone 32V Ø 0599786 N 6649468 . Fra Maridalsvannet buker vannet seg videre gjennom den 10 kilometer lange Akerselva før det munner ut i Bjørvika i Oslofjorden.

Nordmarka har et karakteristisk sydvendt skråprofil. Terrenget har brattsider mot bygdene i øst, vest og nord og faller slakt ned mot Oslofjorden. Terrengformene er dominert av avrundede åser i nord-syd gående retning. De fleste av vannene har samme hovedretning. Maridalen er en kort U-formet dal og er formet gjennom flere istider hvor hovedretningen på isbevegelsen var sydover mot Oslofjorden. Dalen er dekket med glasifluvialt materialet som grus, sand og leire. Maridalen var en fjordarm på slutten av den siste istid for ca. 10 000 år siden. Den marine grense i Osloområdet er ca. 220 m.o.h. Maridalsvannet er demmet opp av forholdsvis store israndavsetninger, det såkalte Akertrinnet.

Feltet er for det meste dekket av boreal skog mens de utallige vannene representerer ca. 12 % av feltet. Det er også en del myrområder som kan virke både flomdempende og flomøkende avhengig av myrenes vanninnhold.

Den vestre vannstrengen er størst med sine 150 km^2 (eksklusiv Maridalsvann) og inneholder bl. annet de store vannene Gjerdingen, Katnosa, Sandungen, Hakloa, Bjørnsjøen, Fyllingen og Skjærstjøen. Den østre strengen har et areal på 50 km^2 (eksklusiv Maridalsvann) og inneholder blant annet Kalvsjøen, Gørja, Helgern, Trehørningen, Øyungen og Ørfiske. Det lokale feltet til Maridalsvann er 50 km^2 . De overførte arealer er ca. 46 km^2 .

Midlere spesifikke tilsig for hele feltet varierer fra 16–25 l/s* km². For det uregulerte feltet Gryta er det midlere spesifikke tilsiget ca. 16 l/s* km². Maridalsvassdraget har et midlere årlig spesifikt tilsig på ca. 23 l/s* km².



Figur 3.1 Nedbørfelt til Maridalsvassdraget inkludert de overførte arealer.

3.2 Manøvreringsreglementet

Oslo kommune ved vann- og avløpsetaten (VAV) innførte i 1995 et manøvreringsreglement (Carlsen 1994) hvor Maridalsvassdraget inngår som et av fire vassdrag. Vannrettighetene for Maridalsvassdraget er ervervet før ikrafttredelse av lov om vassdragene av 15.03.1940 (denne loven er igjen avløst av vannressursloven av 24.11. 2000), og er følgelig ikke konsesjonsbehandlet av denne lov. Manøvreringsreglementet er utarbeidet på initiativ fra VAV og ikke som pålegg fra myndighetene. Dette innebærer at det ikke skal være noen formell godkjenning av reglementet av vassdragsmyndighetene representert ved Norges vassdrags- og energidirektorat. Innføringen av manøvreringsreglementet var revolusjonerende for systematiseringen av hvordan det skal manøvreres. Reglementet beskriver hvordan VAV vil disponere magasinene i vassdragene med hensyn til vannivået i og vannføringen nedstrøms magasinene.

Overordnede mål

VAV har tre overordnede mål for virksomheten som berører reguleringen av magasinene:

- **Imøtekomme kravene til tilstrekkelige vannressurser for vannforsyningen.**
- **Minst mulig skader ved flom.**
- **Imøtekomme kravene til rekreasjon.**

Imøtekomme kravene til tilstrekkelige vannressurser for vannforsyningen.

Reglementet skal være fleksibelt. Dette innebærer at dersom det oppstår spesielt tørre perioder, skal det være mulig å redusere forbitappingen samt fravike magasinrestriksjonene. Dette var nødvendig i tørrårene 1995 og 1996. Det står skrevet i reglementet: ”Det vil imidlertid bli nødvendig å foreta en del reduksjoner i vannføringer i et ekstremt tørt år”. Magasinfyllingen kulminerte på 30 % i 1996. For at man til enhver tid skal kunne ha oversikt over hvorvidt man skal redusere eller øke forbitappingen, er det utarbeidet magasinstrykurver som regulerer vannføringen i Akerselva. Vannføring ut av Maridalsvannet til Akerselva er tapt vann for drikkevannsforsyningen til Oslo.

Minst mulig skader ved flom.

Manøvreringsreglementet stiller krav om flomdemping i noen av de store markavannene. I den vestre delen av Maridalsvassdraget skal følgende vann ha en flomdempning:

Vannstand 1 meter under HRV i oktober: i Katnosa, Sandungen, Hakloa, Fyllingen og Bjørnsjøen.
Vannstand 0,5 meter under HRV i oktober: i Skjærstjøen.

Imøtekomme kravene til rekreasjon.

For å kunne tilfredsstillere rekreasjonsønsker er det satt opp krav til minstevannføringer, krav til ”lokkeflommer” for fiskeoppgang og magasinrestriksjoner. Disse kravene er blitt fulgt opp siden 1995, med unntak av den omtalte tørre perioden i 1995/1996.

Det er de to første overordnede målene som behandles i denne oppgaven. Fra manøvreringsreglementet er det først og fremst magasinstrykurvene, minstevannføringer og flomdempning som blir sentrale elementer i oppgaven.

3.3 Hydrologiske og Meteorologiske data

Hydrometriske stasjoner

Tabell 3.1 viser hydrometriske stasjoner som ligger i Nordmarka og i nabofelt.

De hydrometriske stasjonene er en del av NVEs riksdekkende nett og vannføringsdata fra disse er lagret som døgnverdier.

Hydrometristasjonen 6.9.0 Maridalsvann ligger ved Akerselva rett nedstrøms vannets utløp. Denne stasjonen måler vannføring som i et normalår utgjør omtrent halvparten av tilsiget med dagens dikkevannsuttak. Stasjonen registrerer ikke flommer som er større enn ca. 40 m³/s (flom med et gjentaksintervall 10 år) på grunn av profilets begrensning.

Tabell 3.1: Oversikt over NVEs hydrometriske stasjoner i Nordmarka og i nabofelt.

Vannmerke nr.	Navn	Felt km ²	Obs. periode
6.9.0	Maridalsvann	255	1956 - dd
6.10.0	Gryta	7,63	1967 - dd
6.71.0	Sinnera	4,45	2004 - dd
8.2.0	Bjørnegårdssvingen	190,4	1968 - dd
8.6.0	Sæternbekken	6,3	1971 - dd

Hydrometrisk stasjon 6.10.0 Gryta

Gryta ligger øst for Maridalsvannet og drenerer til dette. (UTM: Sone 32V Ø 0600450 N 6651300). Gryta er et lite uregulert felt på 7,63 km². Ved Gryta er det installert et 120 graders V-overløp, vannføringen regnes ut etter en teoretisk formel. Tidsserien for den hydrometriske stasjonen er 31 år.

Hydrometrisk stasjon Sinnera

Sinnera ligger i Sinnerdalen nord for Spålen. (UTM: Sone 32V Ø 0592228 N 6661494) .

Nedbørfeltet er kun 4,45 km² og ligger i høydeintervallet 482 til 663 m.o.h.

NVE og VAV har i samarbeid opprettet denne målestasjonen for å få vannføringsdata fra et uregulert høyereliggende felt i Maridalsvassdraget. Det har blitt tatt vannføringsmålinger ved Sinnera og en vannføringskurve er etablert. Tidsserien for den hydrometriske stasjonen er nær 4 år.

Meteorologiske stasjoner

Tabell 3.2: Oversikt over DNMI's stasjoner i Nordmarka og i nabofelt.

Stasjonsnr. og navn	Obs. periode	h.o.h	Normal årsnedbør mm	Maks.obs. pr.døgn mm
18450 Maridalsvann	1957 - dd	150	798	61
18500 Bjørnholt	1957 - dd	360	1122	98
18550 Hakloa	1957 - dd	389	1110	87
18700 Blindern	1937 - dd	94	763	65 (pr. 24 timer, ikke kalenderdøgn)
18960 Tryvasshøgda II	1976 - dd	528	1180	
19710 Asker	1913 - dd	163	940	80 (pr. 24 timer, ikke kalenderdøgn)

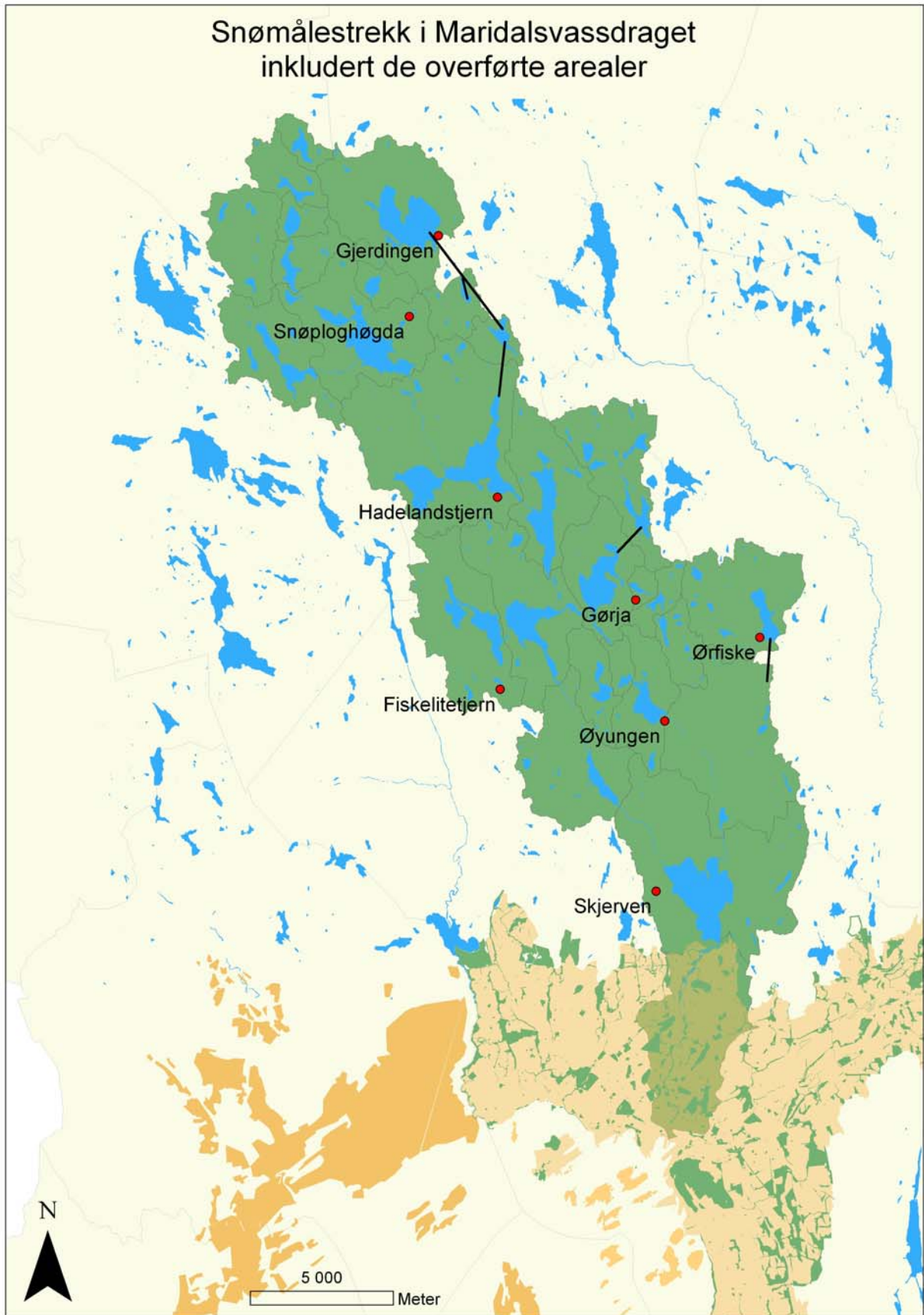
Det er en stor variasjon i nedbørforholdene i Nordmarka med gjennomgående økning av nedbøren med høyden.

Snøtakseringer

VAV har utført snøtakseringer i Nordmarka årlig siden 1987, se figur 3.2. Det er foretatt ukentlige målinger av snødybde og tetthet i perioden fra kulminasjonen og til avslutningen av snøsmeltesesongen.

Det er utført målinger i 8 snøtrekk fordelt på 255 km² i Maridalsvassdraget.

Strekkeene er plassert slik at de representerer deler av den hypsografiske kurven, en geografisk fordeling og tilgjengelighet for mannskapene.



Figur 3.2 Snømålestrekk i Maridalsvassdraget inkludert de overførte arealer.

3.4 Hammeren Kraftverk

Hammeren kraftverk ligger ved nordenden av Maridalsvannet og betraktes i dag som et kulturminne, se figur 3.3. Kraftverket ble satt i drift i år 1900 og er nå det eneste kraftverket innenfor Oslos grenser.

Kraftverket eies av Oslo Lysverker A/S og er et datterselskap av E-CO Energi. Kraftverket utnytter fallet fra Skjær sjøen på omtrent 100 meter. Nedbørfeltet oppstrøms Skjær sjøen er ca. 130 km². Maksimaleffekt er 5 MW, mens midlere årsproduksjon ligger på 16 GWh. Denne produksjon er nok til å dekke årlig strømforbruk til ca. 800 eneboliger. Maksimal vannføring i de to rørgatene fra Skjær sjøen er 5 m³/s. Minstevannføringen i Skjær sjøelva er 0,5 m³/s. Dette betyr for kraftverket at vannmengder ut av Skjær sjøen som overskrider 5,5 m³/s blir å regne som tapt for kraftproduksjonen. Planleggingen for tappingen dreier seg mye om å ha en jevn vannføring slik at minst mulig vann utover minstevannføringen går i Skjær sjøelva.



Figur 3.3 Hammeren Kraftverk
(kilde: Wikipedia)

VAV skal sikre en optimal drift av Hammeren kraftverk. Driften er imidlertid underordnet formålet med denne oppgaven, og Hammeren kraftverk vil ikke bli behandlet videre i oppgaven.

3.5 Nedbørfeltet til Bjørnegårdssvingen

Siden det ikke foreligger tilsigsdata på døgnopplosning for Maridalsvassdraget brukes nedbørfeltet til Bjørnegårdssvingen som et referansefelt. En HBV modell er kalibrert for Bjørnegårdssvingen. Hensikten er å overføre og tilpasse dette parametersettet til Maridalsvassdraget. Modellen opererer med døgndata, mens sammenligning av tilsigsdata gjøres for månedsverdier.

Bjørnegårdssvingen er en hydrometrisk målestasjon som inngår i NVEs nasjonale stasjonsnett. Nedbørfeltet til Bjørnegårdssvingen ligger i fylkene Akershus og Buskerud og kommunene Bærum, Hole og Ringerike (figur 3.4). Bjørnegårdssvingen ligger i Sandvikselva som renner videre ut i Oslofjorden. Feltarealet er 190 km² og består i hovedsak av Isielva (70 km²) og Lomma (110 km²) som går i samløp ved Vøyenenga (Væringstad 2003). Nedbørfeltet grenser i øst til Langlivassdraget som igjen grenser til Maridalsvassdraget. Nedbørfeltets høyeste punkt er Gyrihaugen som ligger 682 m.o.h., det laveste punktet ligger kun 4 m.o.h. Feltet består hovedsakelig av boreal skog og er dekket med et tynt morenelag. I en nordisk regionklassifisering som bygger på avrenningens sesongvariasjon (Gottschalk et al. 1979) klassifiseres vassdraget som et innlands-regime med betegnelsen H₂L₁.



Figur 3.4 Nedbørfelt til Bjørnegårdssvingen ligger oppstrøms punkt 8.2 på kartet .
Kilde Væringstad, 2003

Sandvikselva betraktes som en typisk flomelv med raske og høye flomtopper som avløses med perioder med lav vannføring. Den raske avrenningen skyldes type jordsmonn, kraftig relieff og at det er svært få sjøer i feltet. De sjøene som finnes ligger høyt oppe i feltet og gir liten flomdemping. Flomforløpet viser likhetstrekk med vestlandselver (Spikkeland 1999).

Det er flere reguleringer i vassdraget. Det overføres vann fra Søndre Heggelivatnet til Trehørningen. Noen av de regulerte vannene inngår i vannforsyningen til Bærum kommune. I følge NVE er ikke vannføringsverdiene fra Bjørnegårdssvingen korrigert for overføring og vannuttak.

3.6 Sammenligning av nedbørfeltene til Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen

Feltkarakteristika i tabell 3.3 viser store likheter mellom nedbørfeltene til Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen. Feltareal, skogprosent, myrprosent, spesifikk avrenning og høyderelieff er forholdsvis likt for begge feltene. Begge feltene er i samme regionklassifisering og store arealer i begge feltene er dekket med et tynt morenelag,

Den forskjellen som har størst betydning for avrenningsforholdene er sjøprosenten. Sjøprosenten i Maridalsvassdraget er høy og vil dempe avrenningen kraftig. Det finnes også store sjøer nederst i Maridalsvassdraget som gjør at den effektive sjøprosenten blir høy. Feltet til Bjørnegårdssvingen inneholder få sjøer, disse ligger i tillegg høyt opp i feltet og har liten innvirkning på flomdempingen.

Tabell 3.3: Feltkarakteristika for Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen.

Kilde: NVEs dataarkiv

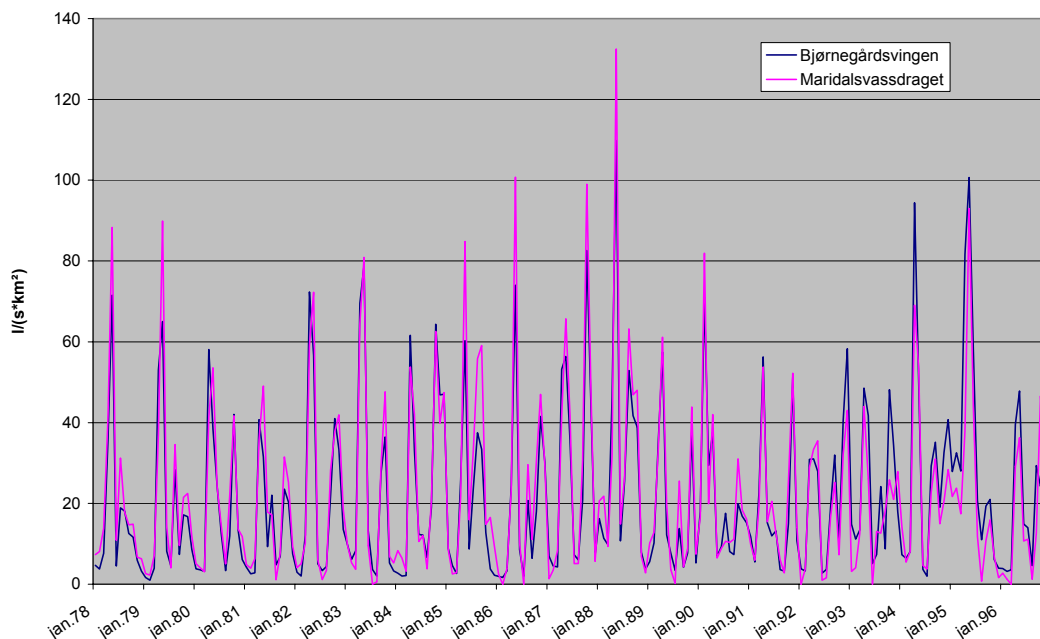
Stasjon	Feltareal (km ²)	Skog %	Sjø (%)	Myr (%)	Urban %	Dyrk (%)	Qa (l/s·km ²)	Høydeint (moh.)
Maridalsvassdraget	255	81,9	12,2	3,8	0	1,4	22,6	149 - 717
Bjørnegårdssvingen	190	83,8	1,7	3,0	3,2	6,0	22,0	4 - 682

Bjørnegårdssvingen får raskere og høyere flomtopper enn Maridalsvassdraget. Den observerte oktoberflommen 1987 ved Bjørnegårdssvingen hadde en momentankulminasjon på 145 m³/s, mens Akerselva kulminerte på 41 m³/s. Forskjellen på flomverdiene blir enda større dersom man ser på spesifikk avrenning.

Dersom avrenningen skulle sammenlignes på døgndata ville det bli store forskjeller. Derimot vises en god tilpasning på månedsverdier for begge feltene i figur 3.5. Det er vanlig ved sammenligning av vannmerker at man korrigerer for forskjell i feltareal og midlere avløp. Her er det kun korrigert for forskjell i feltareal siden midlere avløp er forholdsvis like og trolig innenfor usikkerheten av målingene.

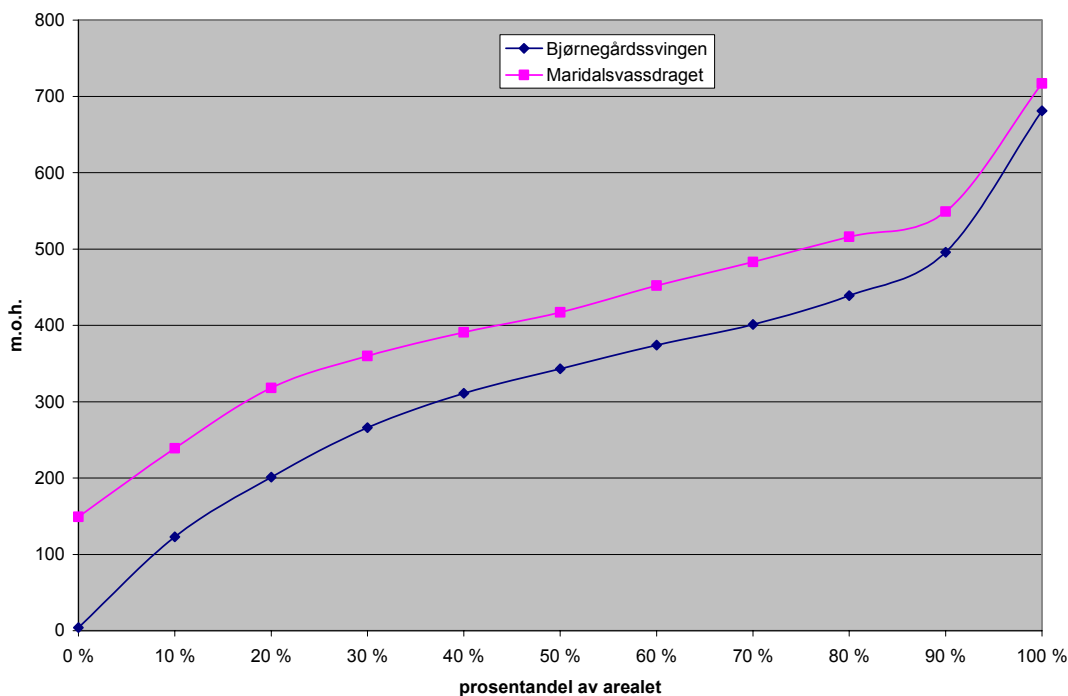
Høydeforholdene i feltene vises ved hypsografisk kurve i figur 3.6. Nedbørfeltet til Maridalsvassdraget ligger gjennomgående noe høyere enn feltet til Bjørnegårdssvingen.

Spesifikk avrenning Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen



Figur 3.5 Spesifikk månedsavrenning Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen.

Hypsografisk kurve for Maridalsvassdragets og Bjørnegårdssvingens nedbørfelt



Figur 3.6 Hypsografisk kurve for nedbørfeltene til Maridalsvassdraget og Bjørnegårdssvingen.

3.7 VANNFØRINGSDATA

Ved utløpet av Maridalsvann har det vært utført målinger av vannføring i Akerselva siden 1891. Det ble da opprettet et vannmerke i kanalen rett nedstrøms dammen. Her ble det målt vannstand med en limnigraf (selvregistrerende enhet). En vannføringskurve som angir vannføringen som en funksjon av vannstanden ble etablert.

I tillegg til vannføringen er det registrert drikkevannsuttak, endring av vannstand i markavannene og vannmengdene som har gått i overløp og drenert østover og ut av Maridalsvassdraget. Vannføring i Akerselva og vannuttaket er beregnet på døgnbasis. Vannstandsmålingene i marka og ”flomtåpet” østover er registrert ukentlig, i vintersesongen har registreringen til tider skjedd hver 14. dag. Dette har resultert i en naturlig tilsigsserie for Maridalsvassdraget på månedsbasis. Tilsigsserien for Maridalsvassdraget (inkludert de overførte feltene) for perioden 1891-2007 vises i appendiks A.

NVE klassifiserer ofte datagrunnlag på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse. Tilsigsserien til Maridalsvassdraget klassifiseres i klasse 3. Bakgrunnen for denne klassifiseringen er at det har vært for sjeldne avlesninger av vannstand, vanskeligheter med å måle drikkevannsutaket og ikke god nok dokumentasjon på kontroll og kvalitetssikring av dataene.

3.7.1 Målefeil og usikkerhet i vannføringsdata

Vannføringsdata har som alle målte data feilkilder som kan klassifiseres (Nordseth 1995) :

- Tilfeldige feil
- Systematiske feil
- Grove feil

Tilfeldige feil skyldes den generelle måleusikkerheten. De opptrer tilfeldig og er som regel normalfordelte rundt den sanne verdien. Måleusikkerheten kan reduseres ved å øke antall målinger.

Systematiske feil kan være feil i målemetodikken, feil ved måleinstrumentene eller feil ved kalibreringen. Systematiske feil har en tendens til å påvirke målingene i en bestemt retning.

Grove feil kan for eksempel være avlesningsfeil, feil i skalaen, feil ved registrering og regnefeil ved sammensatte målinger.

Vannføringsmålinger består av en rekke enkeltkomponenter som igjen har sin måleusikkerhet. Vannføringsmålinger etter hastighet - areal metoden med strømmåler som er utført etter internasjonal standard (ISO 2005) opererer med en usikkerhet for en enkel vannføringsmåling på $\pm 6\%$ i et

konfidensintervall på 95 %, det vil si at den målte vannføringen i gjennomsnitt vil ligge innenfor en usikkerhet på $\pm 6\%$ i 19 av 20 tilfeller. Dersom vannføringsmålingene er normalfordelte ligger usikkerheten innenfor omtrent to standardavvik på hver side av den målte vannføringen. Det stilles imidlertid en rekke krav til vannføringsmålingene etter denne standarden som må oppfylles for å kunne bruke denne måleusikkerheten.

For vannføringskurven som er en funksjon av vannstand og vannføring er det vanskelig å kvantifisere usikkerhet. Usikkerheten reduseres ved at kurven etableres med mange vannføringsmålinger. Vannføringskurven ekstrapoleres der det ikke finnes målte verdier. I det ekstrapolerte området er usikkerheten stor. Denne usikkerheten kan reduseres noe ved oppmåling av elvetverrsnittet. En vannføringsmåling er sammensatt av det vannførende tverrsnittet og en hastighetskomponent. Dersom elvetverrsnittet er innmålt trenger man kun å ekstrapolere hastigheten, som er sikrere enn å ekstrapolere selve vannføringskurven. Usikkerheten i vannføringskurven er også stor for små vannføringer, spesielt er små vannføringer følsomme for profilendringer. Det kan også forekomme store usikkerheter ved isoppstuvning. Profilet nedstrøms Maridalsvann er isfritt på grunn av ganske stor vannstrøm ved minstevannføringer. I kanalen nedstrøms Maridalsdammen er det støpt en terskel som utgjør det bestemmende profil. Ved ekstra høye vannføringer kan den noe ustabile elvestrekning nedenfor kanalen gi en oppstuvende effekt.

Drikkevannsuttaget måles med Venturimåler på 3 steder (Grefsen-, Årvoll- og Nydalsledningen). Hver av disse målerne har igjen sin usikkerhet.

Måling av vannstand i de regulerte vannene skjer ved fjernavlesning og kontrollmålinger av en vannstandsskala. Avlesningen av målestaven har en liten usikkerhet. Derimot kan en usikkerhet på avlesningen på 1-2 cm gi store volumer fordi vannene har et stort areal. Dette kommer tydelig fram ved lave tilsig. Denne usikkerheten sammen med usikkerheten ved addering av målte verdier gjør at det har blitt noen sommermåneder med negativt tilsig.

Usikkerheten i magasinkurvene er i denne sammenhengen neglisjerbar.

4 Hydrologiske modeller

4.1 Hydrologiske modeller generelt

Hydrologiske modeller prøver gjennom forenklinger å beskrive det hydrologiske kretsløp. Prosessene beskrives ved matematiske og numeriske metoder basert på fysiske prinsipper og empiriske sammenhenger.

Oppbygging av modeller kan ha en fysikalsk og en systemanalyttisk angrepsmåte:

1. De fysikalske modellene er basert på kunnskap om de forskjellige delprosessene i modellen og beskrives ofte med partielle differensialligninger.
2. Modeller som har en systemanalyttisk tilnærming baserer seg på sammenhengen mellom inngangsverdier og utgangsverdier, uten å ha kunnskap om modellens indre struktur. Den siste kalles gjerne en "svart boks".

De fleste modeller ligger et sted i mellom disse to beskrivelsene. Forskerne støtter seg gjerne til beskrivelsen i punkt 1, mens til operativ bruk har angrepsmåten i punkt 2 vært et utgangspunkt for modellbygging.

Hydrologiske modeller kan også deles inn i fysiske modeller og abstrakte modeller. De fysiske modellene består av analoge modeller og skalamodeller. Abstrakte modeller på en matematisk form er dominerende i dagens arbeid med hydrologiske problemstillinger. De abstrakte modellene kan klassifiseres på en rekke forskjellige måter og noen av de mest vanlige inndelingene er:

➤ Deterministisk/stokastisk

Deterministisk vil si at et sett med inngangsverdier vil alltid gi den samme utgangsverdien. I en stokastisk modell er det innbygget sannsynligheter. Dermed kan det forekomme flere sett av utgangsverdier for samme sett av inngangsverdier.

➤ Distribuerte/ikke-distribuerte

Distribuerte modeller deler opp nedbørfeltene i forskjellige elementer. Det kan være en høydeinndeling eller en inndeling i rutenett ”griddet”. Ikke-distribuerte modeller beskriver ikke-romlig variabilitet.

➤ Tidsvariant/tidsinvariant

I en tidsinvariant modell varierer ikke sammenhengen mellom inngangsverdier og utgangsverdier med tiden.

De mest vanlige hydrologiske modeller er grunnvannsmodeller og nedbør- avløpsmodeller. Inngangsvariablene til nedbør- avløpsmodeller temperatur og nedbør, mens utgangsvariablene er vannføringsverdier. Vannføringsverdiene i et punkt gjenspeiler avrenningen i nedbørfeltet oppstrøms dette punkt. Klimadataene hentes fra klimastasjoner og beskriver bare punktet der målingene foretas. Utfordringen blir da å arealfordeler klimadataene til nedbørfeltet slik at det oppnås romlig representativitet. Både temperatur og nedbør er høydeavhengige klimavariabler og det brukes vertikale temperatur- og nedbørgradienter for å få en god tilpasning.

Den mest kjente nedbør-avløpsmodellen i Norden er HBV modellen som ble utviklet ved Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) i begynnelsen av 1970 tallet (Bergström 1976). Modellen fikk navn etter den avdelingen som utviklet modellen, **H**ydrologiska **B**yråns **V**attenbalansavdeling. Modellen er seinere videreutviklet og tilpasset for bruk i mange land og til ulike anvendelsesområder. I Norge har modellen blitt mye brukt i kraftverkssammenheng. Modellen har en forholdsvis enkel struktur med en del parametere som kan beskrive det hydrologiske kretsløp i et gitt nedbørfelt. Det har vært vanskelig å relatere parametrene til målbare verdier i feltet. Modellen kan følgelig ikke beskrive eksakt den fysiske prosessen i feltet. Dette gjør at modellen må kalibreres for det feltet som skal betraktes.

Nedbør- avløpsmodellene kan ha mange forskjellige anvendelsesområder:

- Flomprognosering
- Avrenningsprognosering
- Generering av avløpsserier både i målte og umålte felt
- Komplettering av tilsigsserier som mangler data
- Avdekke feil i hydrologiske data
- Dimensjonering av vassdragsanlegg
- Konsekvensutredninger
- Analyse av lønnsomhet for utbygging
- Studier av effekten av arealinngrep
- Studier av effekten av klimaforandringer
- Planlegging av det nasjonale hydrometriske stasjonsnett
- Anvendelse i forskning

4.2 Distribuert HBV-modell

Modellen som beskrives i dette kapittelet er det analyseverktøyet som brukes for å løse oppgaven. Modellen klassifiseres som en romlig distribuert begrepsmessig modell.

Inngangsvariablene til modellen er nedbør og temperatur som hentes fra klimastasjoner i nærheten av nedbørfeltet. Det hentes døgndata fra henholdsvis 3 nedbør- og 2 temperaturstasjoner for simuleringene i kapittel 6. Antall nedbør- og temperaturstasjoner kan imidlertid velges etter behov. Inngangsvariablene gjennomgår en romlig interpolasjon til det elementet som betraktes. Nedbørverdiene korrigeres for målerens oppfangingssvikt for å oppnå representativitet, og det gis en eksponentiell høydegradient. For at temperaturen skal være representativ opereres det med en lineær vertikal temperaturgradient. Målestasjonene vektet slik at de nærmeste stasjonene får størst betydning. Utgangsverdien til modellen er vannføring ut av nedbørfeltet.

Hele nedbørfeltet blir delt inn i et rutenett med kvadratiske landskapselementer. Størrelsen på rutenettet kan settes etter behov og er satt til ruter á 1 km² for simuleringer i denne oppgaven. Inndelingen følger et hierarkisk system der rutene gis en identitet. I hvert landskapselement finnes sjø- og breprosenten, videre tildeles elementet inntil 2 landskapsklasser med korresponderende jordartsklasser (Beldring 2008). Landskaps- og jordartsklassene har unike parametere uavhengig av rutens beliggenhet i feltet.

Alle rutene gjennomgår for hvert tidsskritt en fullstendig vannbalanse, og vannet blir transportert fra hver rute til vassdraget som avrenning.

HBV-modellen blir ofte kalt for en vannbalansemodell.

Vannbalansen kan uttrykkes på følgende form:

$$P - E - Q = \frac{d}{dt} [SP + SM + UZ + LZ + lakes]$$

hvor:

P = precipitation (nedbør)

E = evapotranspiration (fordampning)

Q = runoff (vannføring)

SP = snow pack (snøpakke)

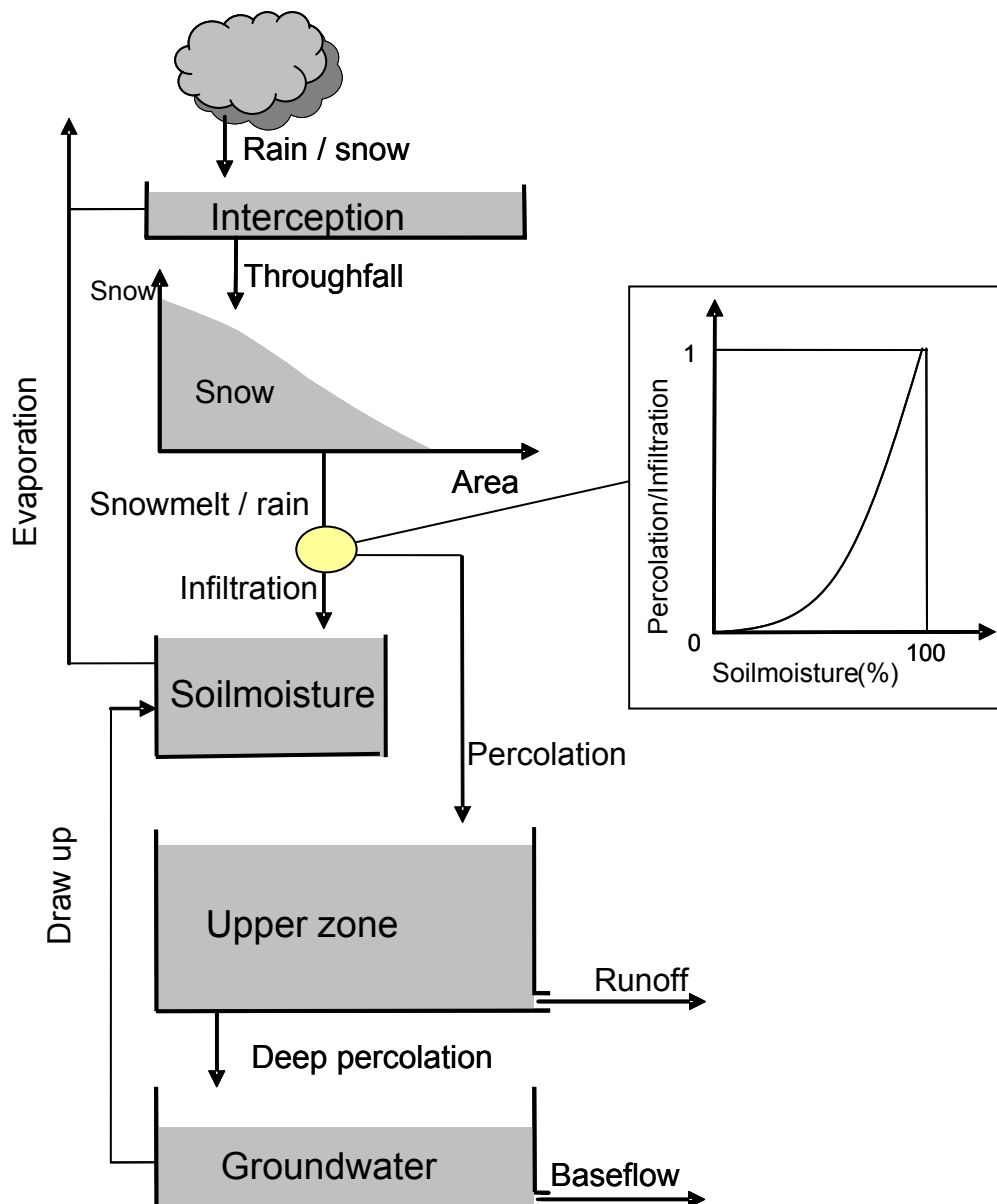
SM = soil moisture (markvannssone/rotsone/umettet sone)

UZ = upper groundwater zone (øvre grunnvannssone)

LZ = lower groundwater zone (nedre grunnvannssone)

$lakes$ = lake volume (magasinering i sjøer)

4.2.1 Modellens hovedstruktur



Figur 4.1 Hovedstrukturen i modellen som brukes i oppgaven.

Hovedstrukturen er vist i figur 4.1 og HBV- modellen inneholder 3 hoveddeler:

- Snørutinen
- Markvannsrutinen
- Responsfunksjonen (øvre og nedre sone)

4.2.2 Modellens rutiner og algoritmer

I dette underkapittelet vil det orienteres om modellens subrutiner og de mest sentrale algoritmene vil gjennomgås. Programmets algoritmer er i hovedsak basert på ”den nordiske HBV-modellen” (Sælthun 1996), mens algoritmen i øvre sone er beskrevet av Lindstrøm et al. 1997.

Snørutinen

Omtrent halvparten av årsnedbøren i Norge faller som snø, derfor er snørutinen svært viktig i HBV-modellen. I nedbørfeltene som omtales i denne oppgaven er det i et normalår omtrent 25 % av årsnedbøren som faller som snø. HBV-modellens snørutine er forholdsvis enkel. Den bygger på høydegradienter for temperatur og nedbør, en terskeltemperatur som avgjør om nedbøren faller som regn eller snø, og en snøsmelting som er proporsjonal med lufttemperaturen. I tillegg forekommer det refrysing av vannet i en snøpakke, og at snøen kan få en refordeling på grunn av vinden.

Snøakkumulasjonen starter når nedbøren faller ved en temperatur som er lavere enn en terskelverdi som er rundt 0° Celsius. Det er bakketemperaturen som benyttes som indeks på nedbørtype. Snøen akkumuleres videre med en jevn fordeling opp til et gitt nivå. Når dette nivået er nådd vil snøen distribueres etter en lognormalfordeling. Denne fordelingen gjøres for å kunne etterligne virkeligheten med stor variabilitet i snødekket.

Snøsmeltingen beregnes ut fra en temperaturindeksmodell, en såkalt graddags modell:

$$M = CX (T - TS) \text{ for } T > TS$$

$$M = 0 \text{ for } T \leq TS$$

M er smelting i mm.

CX er graddagfaktoren og har benevnningen mm/dag*(°C)

T er døgnmiddeltemperaturen i den aktuelle høydesone

TS er terskeltemperatur for smelting og er rundt 0° Celsius

Denne forenklingen viser at smeltingen er en lineær funksjon av lufttemperaturen. Dette gir et visst samsvar med energibalanseligningen, som beregner energiutveksling mellom snøpakke og atmosfæren. Energibalanseligningen inneholder mange ledd. Det må foretas mange feltmålinger for å regne ut energiutvekslingen, derfor foretrekkes denne enkle temperaturindeksmodellen.

For at det skal foregå en avrenning til markvannssonen så må det frie smeltevannet som akkumuleres i et ”kar” overstige en terskelverdi. Terskelverdien representerer fritt vanninnhold i snøpakke som er kapillært bundet. Det må en et visst vanninnhold til for at snøpakke er moden og klar for smelting.

Tilsvarende foregår det en refrysing av vanninnholdet i snøpakke dersom temperaturen blir negativ. Det innføres en ny parameter CFR , en gjenfrysingsfaktor som er dimensjonsløs og langt mindre enn 1. Hvilket betyr at gjenfrysing er en langt svakere prosess enn smeltingen på grunn av frigiving av energi/varme ved frysing. Funksjonen for refrysing er på formen:

$$\text{Refrysing av snøpakke} = CFR \times CX (T - TS) \text{ for } T < TS$$

Markvannsrutinen

Markvannssonen blir også betegnet som rotsonen og umettet sone. Markvannssonen mottar vannbidrag fra regn på snøfri bakke, smeltevann fra snø. I tillegg kan kapillære krefter bidra til å trekke vann fra grunnvannet og opp til markvannet. Aktuell evapotranspirasjon blir beregnet, og baserer seg på tilgjengeligheten av vann i sonen. Evapotranspirasjonen innbefatter alt vanntap til atmosfæren, det vil si fordampning fra bakken, vannflater og transpirasjon fra plantenes stomata. Perkulasjonsvannet fra markvannssonen gjennomgår ingen dynamisk prosess, men fordeles direkte til øvre sone. Dersom infiltrasjonskapasiteten overskrides, går det overskytende vann direkte til øvre sone. Den aktuelle fordampningen (E_A) er en funksjon av potensiell fordampning (E_P) og forholdet mellom markvannsinholdet (SM) og feltkapasiteten (FC) til jordpakka. Dette forholdet opphøyes og har potensverdien β . Ligningen har formen:

$$E_A = E_P \text{ når } SM \geq FC \times FCDEL$$

$$E_A \text{ reduseres når } SM < FC \times FCDEL$$

Dersom det er vann tilgjengelig i intersepsjonsmagasinet vil fordampningen fra markvannssonen reduseres.

Avrenning fra markvannssonen er gitt ved ligning:

$$CUZ = INSOIL \times (SM/FC)^\beta$$

CUZ er den vannmengde som transporteres direkte til øvre sone. INSOIL er vannmengden som infiltreres til markvannssonen.

Responsrutinen

Responsfunksjonen i modellen tar for seg avrenningsdynamikken og beskriver vannets forsinkelse i grunnvann, bekker, elver og innsjøer. Responsrutinen består av to kar som er i forbindelse med hverandre, den øvre og den nedre sone samt vannføring ut av sjøene i feltet. Det foregår en vanntransport fra den øvre til den nedre sone. Vannføringen ut av karene er en funksjon av vanntrykket i hver beholder og de respektive tappekonstantene.

Øvre sone styrer den raske avrenningen til feltet, og består av et ikke lineært kar. Vanntilgangen til øvre sone er perkulasjonsvannet fra markvannsrutinen. Karet i øvre sone har ingen terskelverdi og bare et utløp, i motsetning til mange andre versjoner av HBV-modellen.

Vannføringen ut av karet og til vassdraget er bestemt av ligningen:

$$Q_U = KUZ \times (UZ)^{ALFA}$$

KUZ er en tappekonstant med benevnningen (døgn)⁻¹, UZ er vannhøyden i karet og ALFA er en dimensjonsløs parameter.

Perkolasjonen fra øvre til nedre sone er gitt ved parameteren PERC, som er en konstant parameter og har benevnningen mm/døgn.

Det nedre karet styrer den langsomme delen av grunnvannsavrønnen. Vannføringen ut av karet og til vassdraget er styrt av ligningen:

$$Q_L = KLZ \times LZ$$

KLZ er tappekonstanten med benevnningen (døgn)⁻¹, LZ er vannhøyden i karet.

Vannføring fra sjøer kan skrives på formen

$$Q_{Lake} = K_{LAKE} \times (H(LAKE) - DELTA LEVEL)^{N_{LAKE}}$$

K_{LAKE} er vannføringskonstanten, H(LAKE) er vannstand i innsjøen, DELTA LEVEL er vannføringskurvens sadelpunkt og N_{LAKE} er vannføringskurvens eksponent.

Summen av de ovenstående vannføringen gir vannføringen for hver tidsskritt:

$$Q = Q_U + Q_L + Q_{Lake}$$

Det kan modelleres opptrekk fra grunnvannet og opp til markvannssonen, men det blir ikke gjort i oppgaven.

Vannføringen fra den dynamiske delen av modellen kan få en ytterligere forsinkelse gjennom vassdraget i form av en routingbeskrivelse. Dette er ikke gjort for modelleringen i denne oppgaven. Dette skyldes at nedbørfeltet er forholdsvis lite, og at tidsoppløsningen er så lang som døgn.

4.3 Modellkalibrering

Ved kalibrering foretas en tilpasning mellom simulert og observert avløp. Det forutsettes at modellstrukturen er ferdig tilpasset.

Nedbør- avløpsmodeller generer avløp hvor inngangsverdiene er temperatur og nedbør. Det avløpet som simuleres må tilpasses, for å oppnå et optimalt samsvar med den målte tidsserien. Hydrologiske modeller består av en rekke parametere som beskriver de forskjellige hydrologiske prosesser. Det skilles mellom to hovedtyper av parametere som er faste og frie parametere. Faste parametere kan finnes ut fra kart, terrengmodeller og ved enkle målinger. Eksempler på faste parametere er feltareal, sjøprosent, effektiv sjøprosent og arealfordeling. Nedbørens høydeavhengighet kan for eksempel måles i felt, men parameteren ligger i en gråsoner mellom fast og fri parameter og er ofte gjenstand for kalibrering. Av frie parametere kan nevnes regn- og snøkorreksjonsfaktoren. Tilpasning av det simulerte og det observerte kan gjøres både manuelt og ved automatisk kalibrering.

Manuell kalibrering

Ved manuell kalibrering brukes samsvarskriteriene og kurver av den observerte og den simulerte tilsigsserien som hjelpemiddel. Den manuelle kalibreringen er ganske subjektiv ut i fra hvor lenge man skal foreta testingene og erfaringen til den som foretar kalibreringen. Det at parametere er funksjonelt avhengig av hverandre gjør også kalibreringen vanskelig.

Automatisk kalibrering

Automatisk kalibreringen gjøres med dataprogram og et kjent program er PEST (Model – Independant- Parameter – Estimation) Dette programmet kan optimalisere parametriseringen ved å kombinere av Nash – Sutcliffe kriteriet og relativ volumfeil.

Det er videreutviklet et annet automatisk kalibreringsprogram (Lindstrøm et al. 1997) som også kombinerer de samme samsvarskriteriene som PEST programmet.

Verifisering

Etter at kalibreringen er utført på den første halvdel av tidsserien bør det foretas en verifisering av modellen på den andre halvdel. Dette kalles gjerne ”split sample”. Det forventes en noe dårligere tilpasning på verifiseringsdelen fordi den er upåvirket av kalibreringen.

Objektive samsvarskriterier

Her vil kun de to objektive samsvarskriteriene som brukes i oppgaven bli beskrevet:

Det er utviklet følgende samsvarskriterium som baserer seg på å forklare variansen (Nash & Sutcliffe 1970) :

$$R^2 = \frac{\Sigma(Q_{\text{obs}} - \bar{Q}_{\text{obs}})^2 - \Sigma(Q_{\text{sim}} - Q_{\text{obs}})^2}{\Sigma(Q_{\text{obs}} - \bar{Q}_{\text{obs}})^2}$$

Hvor Q_{obs} = observert avrenning, \bar{Q}_{obs} = gjennomsnittlig avrenning og Q_{sim} = simulert avrenning.

Resultatet R^2 kan få verdier fra minus uendelig og opp til 1, hvor 1 forteller at det er fullstendig tilpasning mellom observert og simulert vannføring. Normale verdier for R^2 ved kalibreringer ligger i intervallet 0,6 – 0,9 (Killingtveit & Sælthun 1995).

Det andre samsvarskriteriet som behandles er relativ volumfeil :

$$\text{Relativ volumfeil} = \frac{\Sigma(Q_{\text{sim}} - Q_{\text{obs}})}{\Sigma Q_{\text{obs}}}$$

4.4 Estimering i umålte felt

Vannføringsmålinger danner grunnlaget for forskjellige typer av hydrologiske beregninger. Det kan være behov for å beregne flomstørrelser, lavvannføringer og årlige avrenningsmønstre i et nedbørfelt. Dersom det ikke finnes vannføringsmålinger i det aktuelle feltet må man benytte nærliggende målestasjoner, eller felt med tilsvarende karakter som det feltet som undersøkes. Dette gjøres ved bruk av modeller eller andre funksjonssammenhenger.

For estimering av flomstørrelser i umålte felt benyttes flomfrekvenskurver som er gruppert i regioner med tilnærmet samme feltegenskaper. De regionale flomfrekvenskurvene er utarbeidet etter analyser av lange tidsserier fra mange vannføringsstasjoner (Tveito 1993). Alle tidsseriene er skalert på sin middelflom. Flommer med gitte gjentakintervaller uttrykkes som en funksjonssammenheng med middelflommen. For å estimere middelflommen i et umålt felt må man først finne feltkarakteristika. Etter å ha funnet middelflommen må den multipliseres med et indekstall for å finne flom med et ønsket gjentakintervall. Denne metoden innebærer selvfølgelig forholdsvis stor usikkerhet. Denne usikkerheten kan reduseres med lokal informasjon. Selv få år med vannføringsobservasjoner vil redusere usikkerheten.

Estimering av lavvannføringer er blitt mer vanlig etter innføring av vannressursloven og EUs vanddirektiv. Tradisjonelt har bestemmelse av lavvannføring vært basert på tre ulike metoder: 10 % av middelvannføringen, representativ målestasjon og regresjon mot nedbørfeltkarakteristika (Væringstad & Hisdal 2005). Den første metoden har ofte gitt upresise verdier, og for små felt med rask avrenning har denne metoden hatt en tendens til overestimering. Representativ målestasjon er benyttet, men metoden er subjektiv og kan gi store usikkerheter ved feil valg av sammenligningsstasjon. Usikkerheten kan imidlertid reduseres ved valg av flere sammenligningsstasjoner. Den siste metoden med regresjonsanalyse mot nedbørfeltkarakteristika er en objektiv vurdering, og gir oftest gode resultater, men det kan forekomme regionale avvik.

For å kunne predikere avrenning i umålte felt kan det benyttes uregulerte felt i regionen hvor det finnes hydrologiske data. Modellen kalibreres der hydrologiske data er tilgjengelig. De kalibrerte parametrene overføres til felter i regionen med tilsvarende feltkarakteristika. Modellen foretar vannbalanse for hver kvadratiske rute som er karakterisert av dets høyde og forskjellige landskapsformer. Det forutsettes at identiske vannbalanseelementer responderer på temperatur og nedbør på samme måte, uavhengig av beliggenhet (Beldring et al. 2003). Derfor skal like vannbalanseelementer ha de samme verdier for modellparametere både i det kalibrerte og det ukalibrerte feltet.

Under bearbeidelsen av avrenningskartet for Norge i perioden 1961 – 1990 er parametersett for et kalibrert område flyttet til områder med manglende vannføringsdata (Beldring et al. 2002). I utarbeidelsen av avrenningskartet er det brukt en ”griddet” distribuert modell. Man har sett på avrenningsforholdet igjennom 30 år, dermed kan magasineringsleddet i vannbalanseligningen neglisjeres. Videre er det ikke tatt hensyn til transporttiden i vassdragene. Dette har igjen ført til at kalibreringen mot NVEs hydrologiske stasjonsnett er utført med tidsskritt måned. Usikkerheten i avrenningskartet er varierende avhengig av representasjonen av målestasjoner både for klima- og vannføringsdata. Usikkerheten antas å variere fra $\pm 5\%$ til $\pm 20\%$ (Astrup 2001).

I Sverige ble det gjort forsøk på kalibrering av en HBV-modell mot feltkarakteristika på døgnbasis (Seibart 1997). Usikkerheten var imidlertid større for inngangsvariablene enn for parametrene i modellen. Det ble utført forsøk på estimering av parametre i umålte nedbørfelt på månedsbasis (Xu 1999). Dette ga gode resultater, modellen som ble brukt hadde også færre parametre enn i kalibreringen til Seibart.

5 Metode

HBV modellen er valgt som analyseverktøy fordi den er anerkjent og brukes mye i operativ virksomhet i Norge.

Det er utarbeidet tabeller som kalles tappematriser. Tappematrissene er satt opp for å få en tilnærming til dagens tapping, basert på manøvreringsreglementet. Kjenner man fyllingsgraden til det lokale og det totale magasinet kan man finne ut hva som skal tappes, avhengig av forventet tilsig de neste to måneder. Det ble satt opp scenarier for framtidig tilsig på henholdsvis 70 %, 100 % og 130 % av normaltilsig, og følgelig hvordan det skal tappes etter disse. Tappematrissen implementeres i modellverktøyet for å kunne simulere den valgte tappestrategi. Videre skal tappestrategiene endres for å undersøke hvilken virkning det vil gi.

5.1 Tappematrise

Tappematrissen er satt opp med 5 intervaller for den totale magasinfyllingen: Hvert intervall har bredde på 20 %. Tilsvarende er inndelingen for det lokale magasinet som er Maridalsvannet. Maridalsvannet er inntaksmagasin for drikkevannsforsyningen i Oslo. Verdene for vannføringen ut av Maridalsvannet til Akerselva inngår i matrisen.

Tabell 5.1 Eksempel på en matrise for en tilfeldig valgt måned med et forventet tilsig neste 2 måneder på 130 % av normaltilsig. Magasinfyllingen er representert med et lokalt og et totalt magasin. Videre er vannføringen i Akerselva satt opp med benevnning m³/s.

Totalt magasin Lokalt magasin	0 - 20 % m ³ /s	20 - 40 % m ³ /s	40 - 60 % m ³ /s	60 - 80 % m ³ /s	80 - 100 % m ³ /s
0-20 %	0,5	0,5	2,7	7,1	11,6
20-40 %	0,5	0,5	2,7	7,1	11,6
40-60 %	0,5	0,5	2,7	7,1	11,6
60-80 %	0,5	0,5	2,7	7,1	11,6
80-100 %	0,5	0,5	2,7	7,1	11,6

Det er satt opp en matrise for hver av årets måneder og for tilsig på henholdsvis 70 %, 100 % og 130 % av normaltilsig. Totalt utgjør dette 900 beregnede vannføringsverdier som er samlet i appendiks B.

Følgende ligger til grunn for de beregnede vannføringsverdier:

- Starttidspunkt er den 1. i hver måned.
- Start magasinbeholdning er midt i intervallbredden.
- Begrensning av lagringskapasiteten i drikkevannsreservoarene.
- Bestemmelser om minstevannføring.
- Flomdempingsmagasiner i oktober.
- Styringskurver for tapping i Akerselva .
- Oppfylling av magasinene i snøsmelteperioden.
- Forventet tilsig nærmeste 2 måneder, beregnet for henholdsvis 70 %, 100 % og 130 % av normaltilsig.
- Aktuell drikkevannsproduksjon.

Starttidspunkt den 1. i hver måned er valgt siden det kun er tilsigsdata med månedsoppløsning. I tillegg er det valgt å starte med magasinbeholdning midt i intervallbredden. Begrensning av lagringskapasitet er gitt av det volumet som ligger mellom laveste regulerte vannstand (LRV) og høyeste regulerte vannstand (HRV). Minstevannføringer, flomdempingsmagasin, og styringskurver for tapping i Akerselva er beskrevet i manøvreringsreglementet. Magasinene fylles etter snøsmeltingen for å sikre drikkevannsforsyningen, men til hvilket nivå vil bli behandlet i kapittel 6.

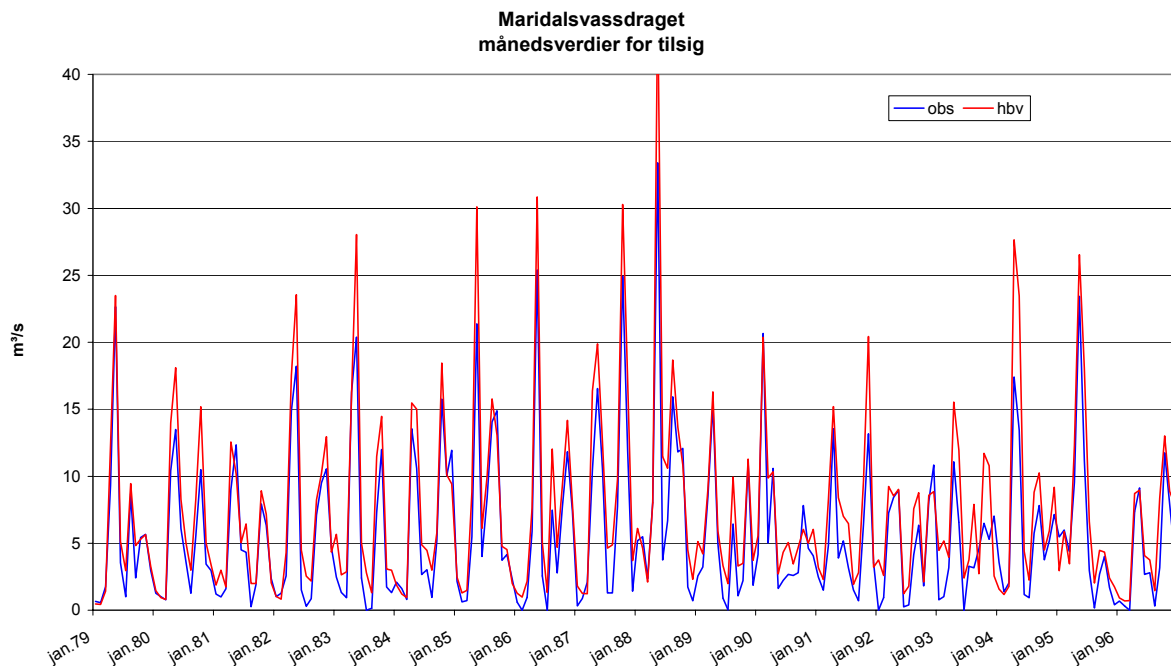
Den langsiktige planleggingen av tappingen i Maridalsvassdraget har et tidsperspektiv på 1-2 måneder. Den kortsiktige planleggingen er fra 1-10 dager. På kort sikt må det reguleres ved store fluktuasjoner i tilsiget. Tidsperspektivet for framtidig tilsig er satt til 2 måneder for å ivareta snøsmelteperioden. Det er tilnærmet den tiden som går fra kulminasjonen av snømagasinene til snøsmeltingen er over.

5.2 Kalibrering av HBV-modellen

Modelloppbyggingen er beskrevet i kapittel 4 og modellen består av beregningselementer á 1 km². Et rutenett á 1 km² er lagt over nedbørfeltet. I randsonen til feltet telles bare de rutene som inneholder mer enn 0,5 km² av feltet. Til sammen har det gitt 258 ruter á 1 km². Nedbørfeltet er målt til 255 km². Denne forskjellen er så liten at det ikke er gjort korrigeringer for forskjell i feltareal. Alle landskapselementer og jordklasser har sine unike parametere. Parametrene og andre karakteristika som er felles for alle jordklasser og landskapselementer er vist i appendiks C1 og C2. Parametrene fra en kalibrert modellkjøring for Bjørnegårdssvingen er vist i appendiks C3. I den første simuleringen overføres parametersettet fra Bjørnegårdssvingen direkte til Maridalsvassdraget. Det

antas at landskapselementene har egenskaper som er uavhengig av beliggenhet. Det antas også at det er stasjonære betingelser til stede, det vil si at det ikke er noen signifikante endringer i klima og arealbruk i nedbørfeltet for den perioden som undersøkes.

Når avløpsserier kalibreres er det mest vanlig å bruke data med døgnoppløsning. Modellen har nedbør- og temperaturdata på døgnoppløsning som inngangsverdier og genererer avløpsverdier på døgnbasis. Den hydrologiske tidsserien til Maridalsvassdraget inneholder kun månedsverdier, derfor må kalibreringen utføres med en måned som tidsskritt.



Figur 5.1 Simulering av tilsig til Maridalsvassdraget med et parametersett som er tilpasset og anvendt for Bjørnegårdssvingen.

Simuleringen er vist i figuren over og har følgende verdier for tilpassningskriterier:

- Nash - Sutcliffe : 0,75
- Relativ volumfeil : 0,32

Verdien for Nash- Sutcliffe anses som god. Verdien for relativ volumfeil indikerer at simuleringene gir et alt for stort totalvolum og en dårlig tilpasning for høye vannføringsverdier.

Det ble utført flere forsøk for å få til en god kalibrering for Maridalsvassdraget. Det ble prøvd med korreksjon av både nedbør og av parameteren som beskriver nedbørens høydeavhengighet. Dette er to parametere som er funksjonelt avhengige, da de påvirker simulert avløp på samme måte.

Nedbørkorreksjonen for regn er den eneste parameteren som ble forandret fra parametersettet til Bjørnegårdssvingen. Denne parameteren er dimensjonsløs og ble forandret fra 1,0 til 0,85. Nedbørkorreksjonen har bidratt til en bedre romlig representativitet for nedbørmålingene.

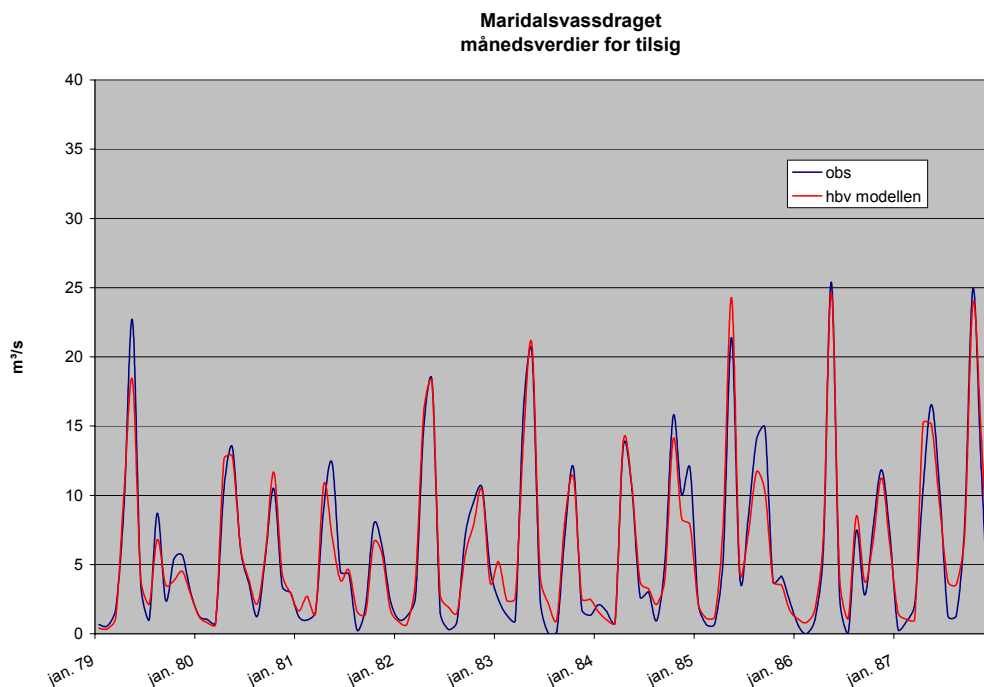
Simuleringen med nedbørkorreksjonen er vist i figur 5.2. Tidsseriens første del ble kalibrert, mens den andre delen ble verifisert.

Følgende verdier for tilpasningskriterier er beregnet:

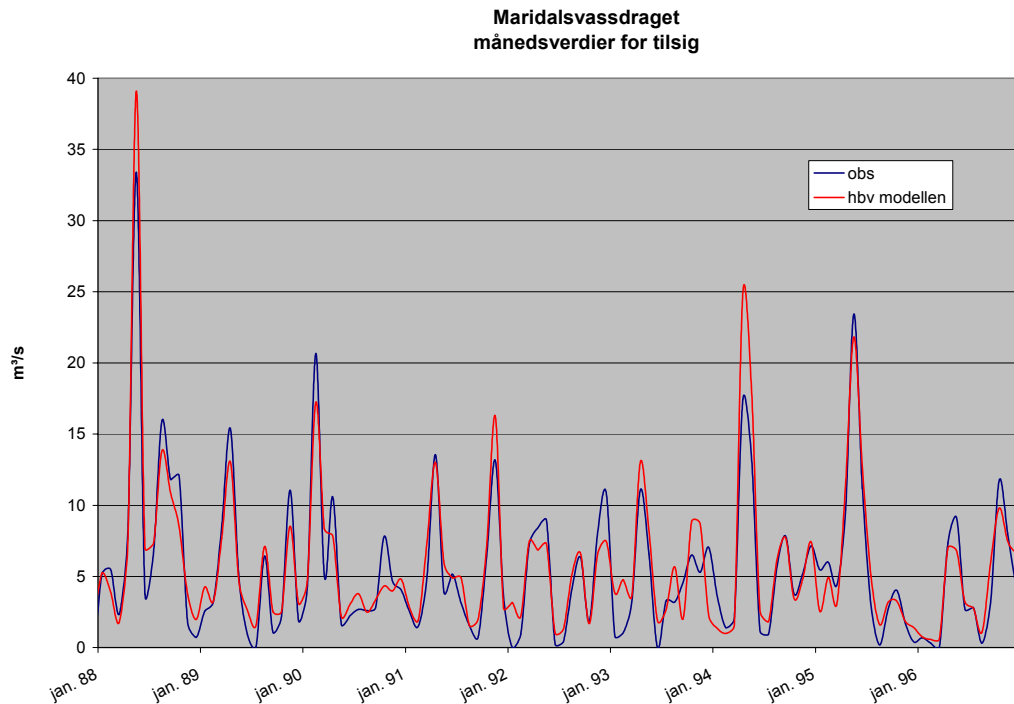
- Nash- Sutcliffe : 0,97
- Relativ volumfeil : 0,016

Dette er et langt bedre resultat enn modellforsøket uten nedbørkorreksjon. Det er lettere å oppnå en høy verdi for Nash-Sutcliffe med betraktning av månedsverdier i forhold til døgnverdier, spesielt tidsforsinkelser av flomverdier gjør store utslag på døgnbasis. En Nash-Sutcliffe verdi på 0,8 for døgndata betraktes som en relativ god tilpasning (Sælthun 1996).

En Nash-Sutcliffe verdi på 0,97 er et godt resultat for data som er basert på månedsverdier. Relativ volumfeil på 0,016 indikerer at den relative volumforskjellen er under 2 %, hvor HBV modellens verdier er høyest. Gjennomsnittsvannføringen i kalibreringsperioden er observert til 5,92 m³/s mens modellen gir 6,01 m³/s. Dette er verdier som ligger innenfor grensen for usikkerheten i dataene.



Figur 5.2 Simuleringer av tilsig til Maridalsvassdraget som viser kalibreringsperioden 1979 – 1987.



Figur 5.3 Simulering av tilsig til Maridalsvassdraget som viser verifiseringsperioden 1988 – 1996, basert på kalibrering i foregående periode.

Simuleringen for den perioden som er upåvirket av kalibreringen er vist i figur 5.3 og har gitt følgende verdier for tilpasningskriterier:

- Nash- Sutcliffe : 0,86
- Relativ volumfeil: -0,07

Som forventet er tilpasningen noe dårligere for den perioden som ikke er påvirket av kalibreringen. Siden det bare er en parameter som er endret kan det også være tilfeldigheter som bidrar til denne forskjellen.

For de laveste vannføringsverdiene ligger de observerte ensidig under de simulerte. Dette gjør lite utslag på Nash-Sutcliffe kriteriet, som favoriserer tilpasning for høyere vannføringer. Det har ingen hensikt å prøve å tilpasse kurvene for de laveste vannføringsverdiene, da differansen trolig skyldes måleusikkerhet. VAVs tilsigsserie er basert på en kombinasjon av målt vannføring og magasinendringer i det tidsskrittet som betraktes. Ved subtraksjon av to omtrent like verdier vil usikkerheten bli stor. Liten avrenning kombinert med stor usikkerhet har ført til negative tilsig i noen av sommermånedene i VAVs tilsigsserie. Det er nærliggende å se på avrenningen til Bjørnegårdssvingen, stasjonen der de overførte parametere er hentet fra. Bjørnegårdssvingen er en hydrometrisk stasjon som måler vannføringen som representerer avrenning for hele nedbørfeltet oppstrøms målestasjonen (190 km²). Den laveste observerte vannføringen i perioden er 0,16 m³/s. Alminnelig lavvannføring for denne stasjonen er til orientering 0,38 m³/s, som gir en spesifikk lavvannføring på 2 l/s * km² (Væringstad 2007). Ut fra dette kan det fastslås at det er feil med negative sommertilsig til Maridalsvassdraget.

5.3 Implementering av tappematrixen og modelltilpasning

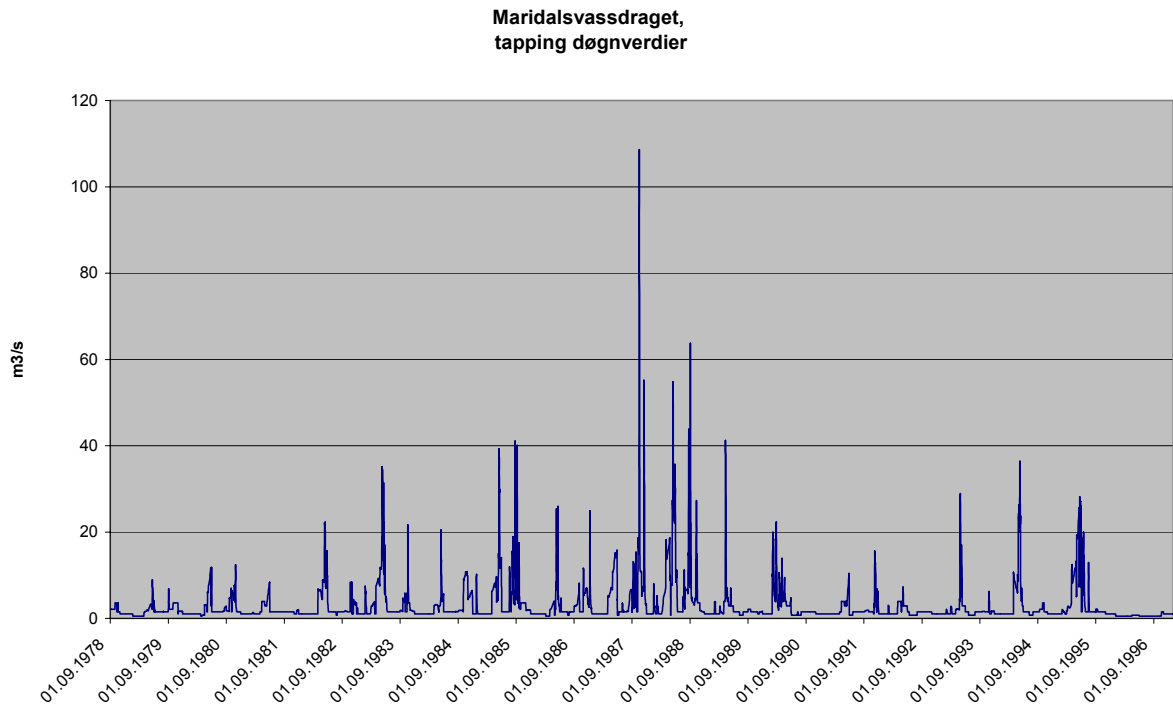
Ved implementering av tappematrixen betraktes Maridalsvassdragets felt som et uregulert felt med unntak av selve Maridalsvannet som er det lokale magasinet. De overførte feltene inngår i det totale nedbørfelt som om det ikke eksisterer drenering østover. Dette er i tråd med flomberegninger der det ugunstigste tilfelle legges til grunn for beregningene. Arealet av de overførte feltene er 46 km². Volumet over LRV i Maridalsvannet og vannene oppstrøms inngår i det totale magasinet.

Tappematrixene gir retningslinjer for hvordan det skal tappes ut av Maridalsvannet.

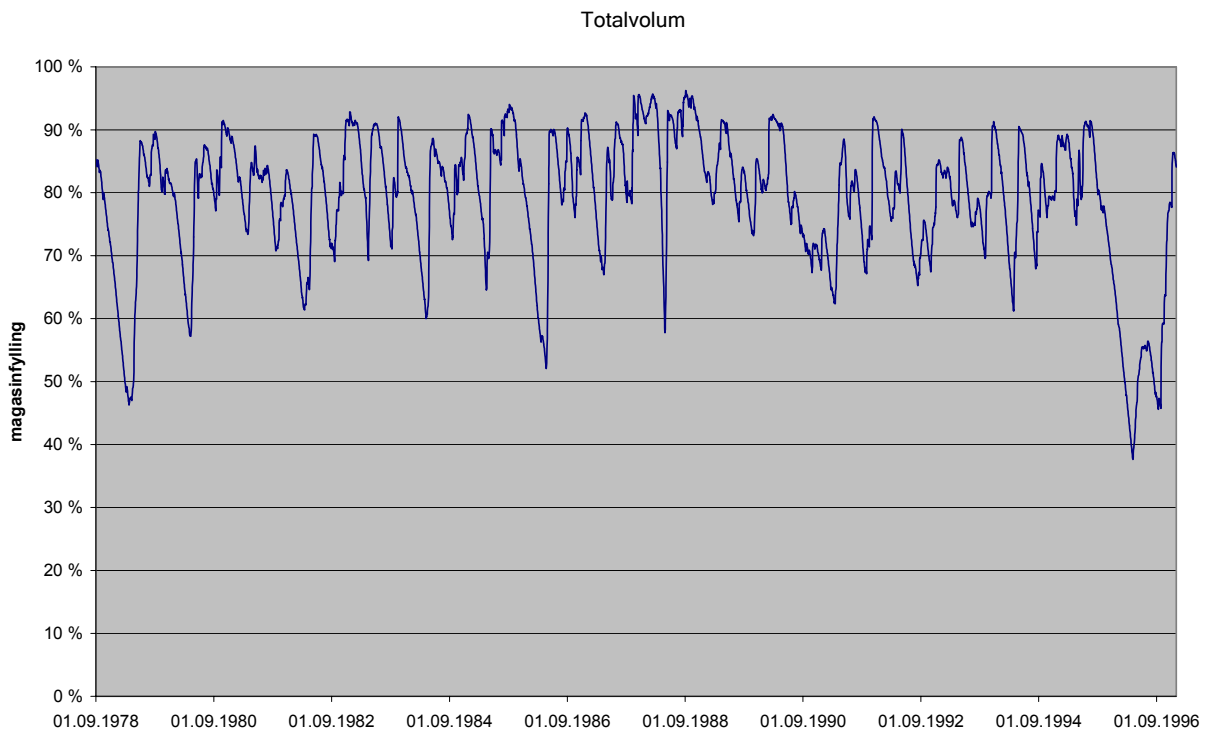
For hver dag er magasinprosenten i det lokale og det totale magasinet kjente størrelser. Hvordan det skal tappes bestemmes av forventet tilsig de neste 60 dager. Det historiske tilsig er beregnet av modellen. Programmet sammenligner det historiske tilsiget for de neste 60 dager med modellens gjennomsnittlige tilsig for samme periode. Det gjennomsnittlige tilsiget er representert med en vannføringsverdi for hver av årets dager. Ved sammenligning av tilsigene kommer man fram til en prosentsats i forhold til normaltilsig. Dersom denne prosentsatsen ligger mellom 70 % og 130 % foretas det en interpolasjon av verdiene i tappematrixen. Koden til programmet sier at dersom tilsiget er under 70 % vil verdiene som er satt i tabellen for eksakt 70 % tilsig være gjeldende. Dersom tilsiget er over 130 % så foretas det en ekstrapolasjon, for å finne den vannføringsverdien som programmet bruker.

Det lokale magasinet er lite i forhold til det totale magasinet. Dette gjør at den totale magasinutfyllingen er fullstendig dominerende, for hvilken tappestrategi som velges. Dersom et delnedbørfelt betraktes, vil magasinutfyllingen for det lokale magasinet være mer bestemmende for tappingen.

Simuleringer viste at for høye vannføringsverdier genererte modellen alt for høyt lokalt og totalt magasinivolum. For at det lokale magasinet ikke skulle bli for stort, ble det foretatt en liten endring i modellen. Endringen innebærer at modellen tester størrelsen av magasinivolumet i Maridalsvannet. Hvis det er større enn definert maksimum magasinutfylling vil det overskytende sendes til avløp i Akerselva, lokalt og totalt magasinivolum vil reduseres tilsvarende. Det fører til at magasinivolumene blir mindre og vannføringen i Akerselva blir større. I figur 5.4 vises simulerte vannføringsverdier for modellkjøringen etter denne endringen, mens figur 5.5 viser magasinutfyllingen ved den samme simuleringen.



Figur 5.4 Simulering av tapping ut av Maridalsvann til Akerselva.



Figur 5.5 Utviklingen i totalmagasin for simuleringen som vises i figur 5.4.

Simuleringen ga forholdsvis store vannføringer ut av Maridalsvann. Dimensjonerende flom (Q_{1000}) for Maridalsdammen er beregnet til $116 \text{ m}^3/\text{s}$. Den største simulerte flommen i perioden er $109 \text{ m}^3/\text{s}$ og det er 4 simulerte flommer som er rundt $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette er ingen god representasjon av virkeligheten, da den observerte flommen i 1987 kulminerte på $41 \text{ m}^3/\text{s}$ (gjentakintervall 20 år). Det er begrensninger på tappekapasiteten ut av Maridalsvannet som gjør det umulig å kunne tappe det

samme som tilløpsflommen. Normalt vil tilløpsflommen kulminere og bli lik avløpsflommen etter en viss vannstandsheving i Maridalsvannet. For at modellen skal få flomdemping i Maridalsvannet må vannføringen i Akerselva begrenses i forhold til tilløpsflommen. Modellen har en opsjon på maksimum vannføring i Akerselva. Det er satt en maksimumsgrense for vannføringen i Akerselva for simuleringene som gjøres i neste kapittel.

6 Simuleringer og diskusjon

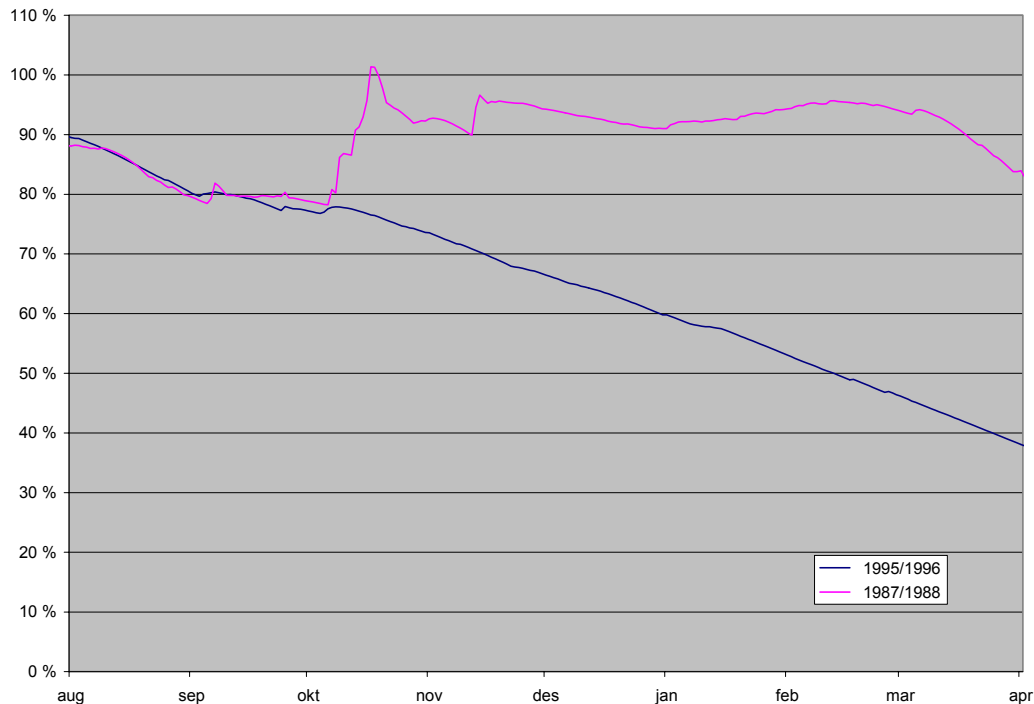
Modellen er kalibrert og tilpasset for videre simuleringer.

I alle simuleringene brukes kalibreringen som er angitt i appendiks C.4. Det er kun tappestrategien som beskriver vannføringen ut av Maridalsvannet som vil bli endret videre i oppgaven.

Det vil bli foretatt avveining mellom vannforsyning og flomskader i dette kapittelet, i tillegg vil ytterpunktene flom og vannmangel bli behandlet.

6.1 Tappestrategier høst

Det hydrologiske året starter 1. september. For å følge kronologien startes det med høsttapping. Månedene september, oktober og november regnes her som høsten, selv om snølegging kan begynne allerede i oktober. Denne perioden består av ordinær tapping og flomtapping. Når det hydrologiske året starter, er fokus satt på flomdempingen som i følge manøvreringsreglementet skal være etablert fra 1. oktober. Det reguleres for å oppnå den foreskrevne dempingen. Man vil ikke ha et større flomdempingsvolum, enn det som er fastsatt i manøvreringsreglementet. Dette prinsippet vises ved å betrakte to kurveforløp etter etableringen av flomdempingsmagasinet. Det simulerte kurveforløpet som gir henholdsvis størst og minst tilsig i perioden som undersøkes er vist i figur 6.1.



Figur 6.1 Total magasinifylling for Maridalsvassdraget. Simuleringen viser en tilsigsrik og tilsigsfattig periode.

Hvis flomdempingen hadde vært mindre i det tilfelle der magasinifyllingen overskrider 100 %, ville maksimal magasinifylling ha økt omtrent tilsvarende. Dette ville ha gitt en mye større flomfare. I det tilsigsfattede hydrologiske året 1995/1996 ville situasjonen ha vært betraktelig dårligere enn i figur 6.1 dersom flomdempingen i oktober hadde vært større enn vist i figuren. Dette forsterker betydningen av å ikke ha større flomdempingsmagasin enn det som er fastslått i manøvreringsreglementet. En magasinifylling rundt 30–40 % anses som så kritisk at det vurderes å sette restriksjoner på vannforbruket.

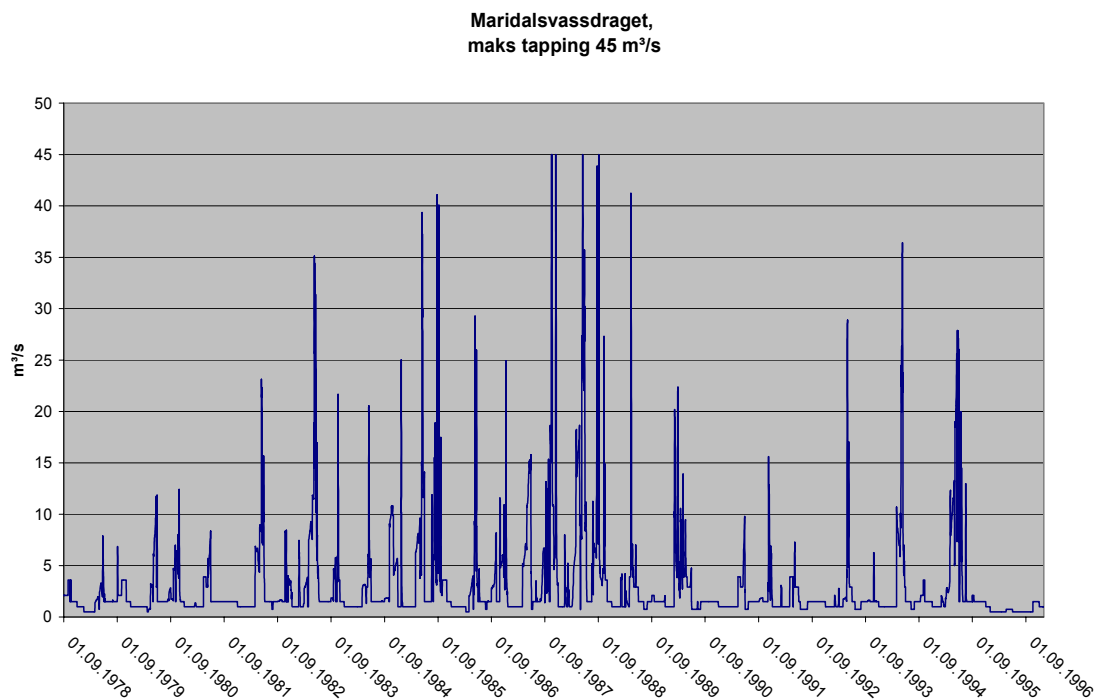
I september skal det tappes for å etablere flomdempingsmagasin til 1. oktober. Er flomdempingsmagasinet intakt tidlig i september, tappes det kun mistevannføring. Simuleringene har gitt en gjennomsnittlig vannføring på 4,5 m³/s i september. Reglementet krever at flomdempingen skal opprettholdes i hele oktober. Det er ikke noen nedtrapping av flomdempingsvolumet i denne måneden. Dette fører til at hele oktobertilsgiet skal tappes ut av systemet, gitt at det er riktig demping 1. oktober. Simulert oktobertilsgiet for perioden 1978 - 1996 er i gjennomsnitt 7,1 m³/s. Dersom flomdempingsmagasinet minker vil tilsigsprognosene, og aktuelt tilsig være med på å bestemme tempoplan for reetablering av dempingsmagasinet. Dersom tilsgiet er så stort at det er vanskelig å opprettholde flomdempingen, skapes ofte en flomsituasjon. Flomtapping behandles særskilt i neste underkapittel.

Under modellforsøkene for flomtapping er det satt en begrensning på vannføring i Akerselva. Som tidligere tester modellen størrelsen av magasinivolumet i Maridalsvannet. Hvis det er større enn definert maksimum magasinistørrelse vil det overskytende sendes til avløp i Akerselva, dog begrenset av den maksimalverdi som settes. Det kjøres to modellforsøk med henholdsvis 45 m³/s og 55 m³/s. Hensikten med å velge disse verdiene er å vurdere den tappestrategien som gir minst flomskader, og eventuelt finne ut hvor i vassdraget det er mest hensiktsmessig å "ta" flomskadene.

6.1.1 Simuleringer med begrenset vannføring i Akerselva

Simuleringer med begrenset maksimal vannføring i Akerselva bruker tappestrategien som er vist i appendiks B. Begrensningen settes inn i "maximum reservoir outflow".

Begrensningen er i den første simuleringen satt til 45 m³/s (gjentakintervall 20 – 25 år) som er 10 % høyere enn den observerte vannføringen i oktoberflommen i Akerselva i 1987. Med denne vannføringen er Vann- og avløpsetaten på beredskapsnivå II (nest høyeste nivå). I simuleringen som vises i figur 6.2 var det 12 døgnverdier som nådde maksimumsgrensen på 45 m³/s.

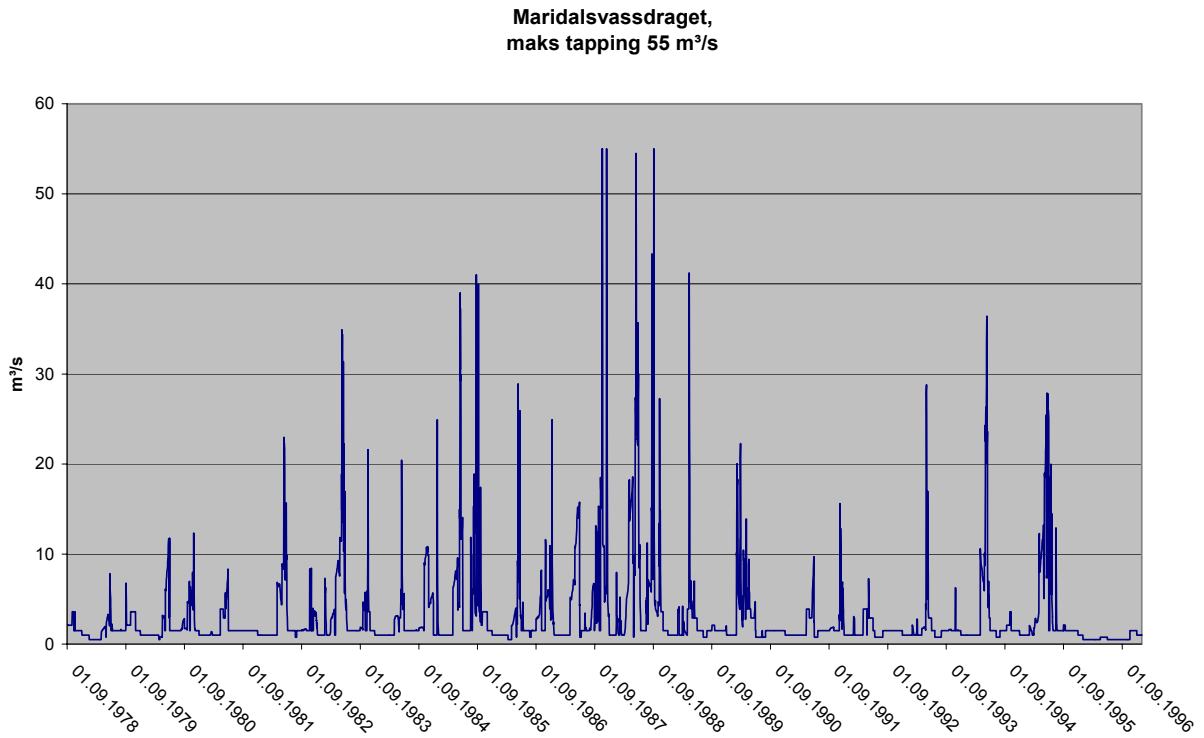


Figur 6.2 Simulering med maksimum vannføring 45 m³/s i Akerselva.

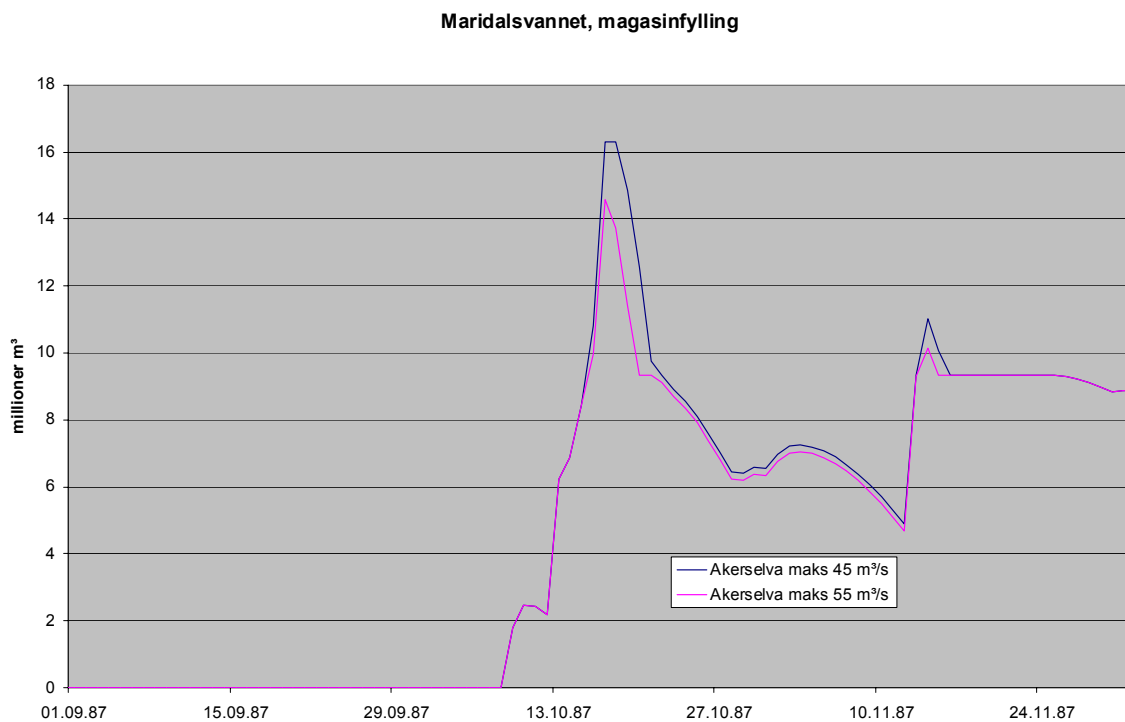
Modellforsøket som vises i figur 6.3 er maksimumsgrensen for tapping i Akerselva satt til 55 m³/s, som tilsvarer beredskapsnivå III (det høyeste) i VAVs beredskapshåndbok.

Det var kun 6 døgnverdier som nådde maksimum vannføring på 55 m³/s .

En vannføring på 45 m³/s vil gi en høyere flomvannstand og følgelig en høyere magasinifylling enn ved tapping av 55 m³/s. Magasinifyllingen for det totale magasinet gjenspeiler virkeligheten ganske godt. Modellen genererer imidlertid et for stort lokalmagasin (se fig 6.4). Modellen tar det meste av flomdempingen i det lokale magasinet, mens i en naturlig flom vil flomdempingen være størst oppstrøms Maridalsvann. Maridalsvassdraget med en reguleringsprosent på 64 % har et stort potensial for å dempe flommer. I flomsituasjoner er flomdempingen ganske jevnt fordelt i hele nedbørfeltet.

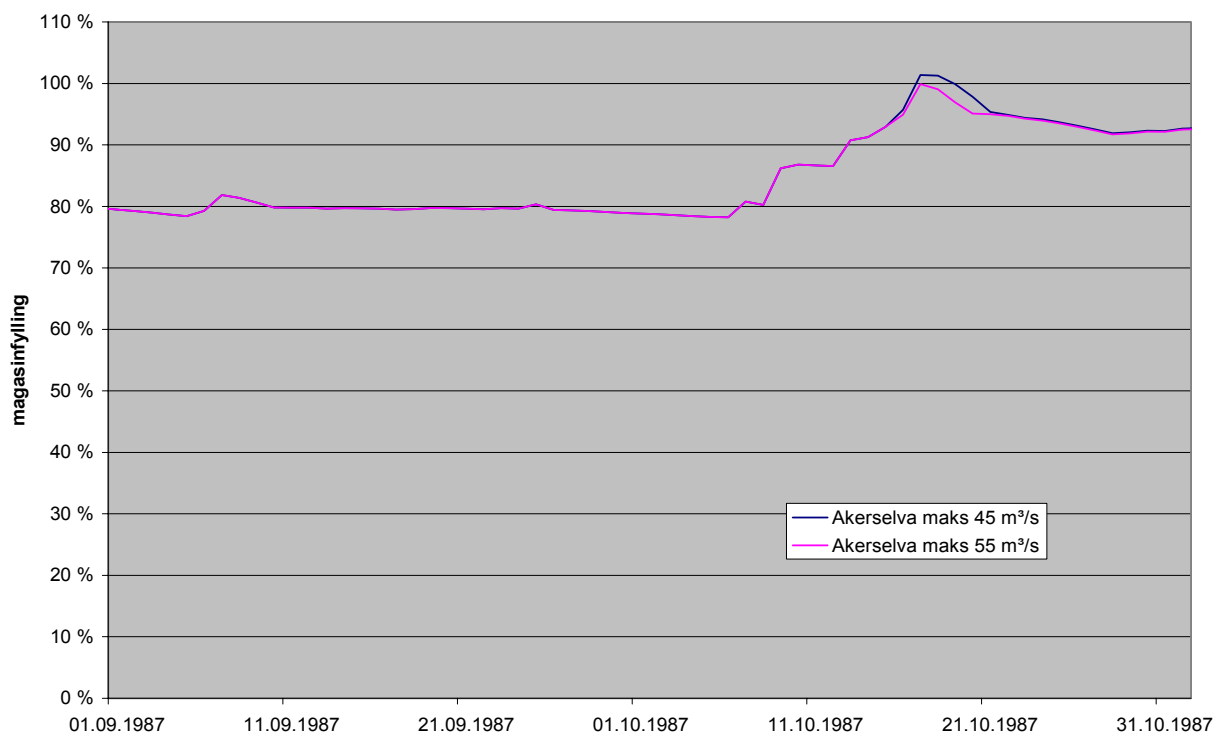


Figur 6.3 Simulering med maksimum vannføring 55 m³/s i Akerselva.



Figur 6.4 Simulert magasinbeholdning i Maridalsvannet under oktoberflommen i 1987 med forskjellige flomvannføringer.

Maridalsvassdraget, magasinifylling



Figur 6.5a Simulert magasinbeholdning i Maridalsvassdraget med forskjellige vannføringer.

Det er ikke foretatt risiko- og sårbarhetsundersøkelse (ROS) for potensielle flomskader nedstrøms Maridalsdammen. ROS analyse kan være nyttig for vurdering av skadereduserende tiltak. Risiko er sannsynligheten for at en uønsket hendelse inntreffer multiplisert med konsekvensen av hendelsen. I et økonomisk perspektiv uttrykkes konsekvensen som en kostnad. I tillegg til skadereduserende tiltak vil en ROS analyse også være nyttig for tappestrategier ved at man kjenner vannføringen når kritiske situasjoner inntreffer.

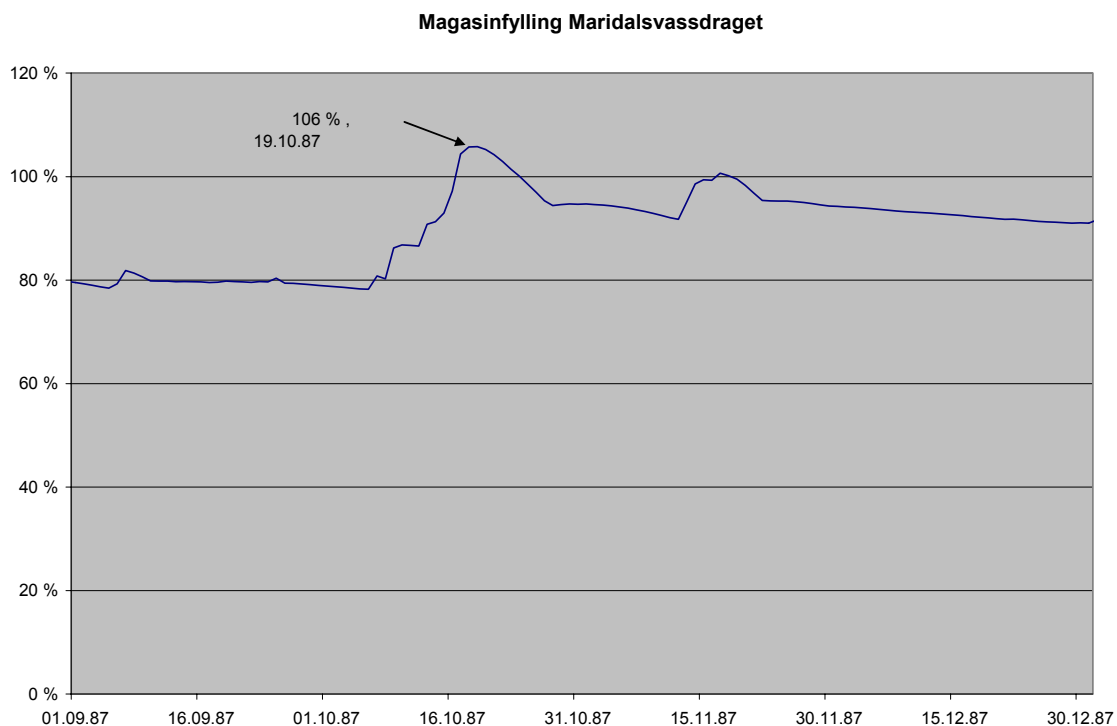
Elva er befart under vannføring på 45 m³/s og det antas at skadene vil øke betraktelig på vannføring rundt 50 m³/s i forhold til vannføring på 45 m³/s. VAV har ikke klart å kvantifisere skader som har oppstått i og rundt Akerselva med en vannføring på 45 m³/s, til tross for forespørsler til forsikringsselskaper. Det har imidlertid blitt opprettet kontakt mellom VAV og oppsitterne for de mest flomutsatte områdene. Det vil etterstrebes å kvantifisere skadeomfanget etter de ferskeste flomhendelsene. De samme oppsitterne inngår også i en varslingsordning, varslings sendes ut etter definerte vannføringsstørrelser. Flomlinjeberegningen som er utført for Akerselva er først og fremst et planverktøy. Det er vanskelig å kvantifisere skadepotensialet ut fra flomsonekartene.

Ved hjelp av regresjonsanalyse kan man etablere skadefunksjoner for objekter. En skadefunksjon viser sammenhengen mellom vannstand og skade. Anvendelsesområdet for skadefunksjoner er i risikoanalyser. I risikoanalyser beregnes sannsynligheten for de forskjellige vannstander. Man trenger skadefunksjonen, vannføringskurve for vannmerket og flomfrekvensanalyse for vannmerket (Gottschalk & Krasovskaja 2000). Videre er det utarbeidet skadefunksjoner for Åsnes kommune (Sælthun et al. 2000). Som forventet øker skadene på objekter med økende vannstand. Glommens- og

Laagens Brukseierforening (GLB) skriver på sine nettsider om barbering av flomtopper under flommen 1995. Ut fra dette er det viktig å dempe flomtoppene. Dersom et gitt volum skal ut av Akerselva er strategien å dempe flommen mest mulig. Det vil for eksempel være bedre med en vannføring på 45 m³/s i 5 dager enn 55 m³/s i 4 dager. I begge tilfeller blir flomvolumet omtrent det samme. For flommen i 1987 ville man valgt 45 m³/s framfor 55 m³/s. Figur 6.5a viser simulert totalmagasinet for vannføringen på 45 m³/s og 55 m³/s. For vannføringen på 45 m³/s kulminerte totalmagasinet på 101,4 % den 17.10.87.

Størrelsen på dammenes fribord er også avgjørende for flomdemping over HRV. Dammens fribord er avstanden mellom HRV og damkronen. Tas dette med som flomdempingsvolum i Maridalsvassdraget vil kritisk magasinprosent ligge rundt 106 %, det vil si at alle vannene ligger på damkronenivå. Det er kjørt flere modellforsøk for å finne ut hvilken vannføring i Akerselva som ville gitt en magasinifylling på 106 % i oktoberflommen 1987. Dette betraktes som en teoretisk verdi. En simulering med vannføringsbegrensning på 25 m³/s i Akerselva ville gitt en kulminasjon på 106 % den 19.10.1987, se figur 6.5 b.

Det må understrekes at i enda større flomsituasjoner er tappebegrensningene bare midlertidige, avhengig av tilsigsprognoser og det aktuelle tilsiget. Man må regne med en akseptabel flomfare. Det grunnleggende for reguleringene er at flommene ikke må bli større enn om det ikke hadde vært reguleringer.



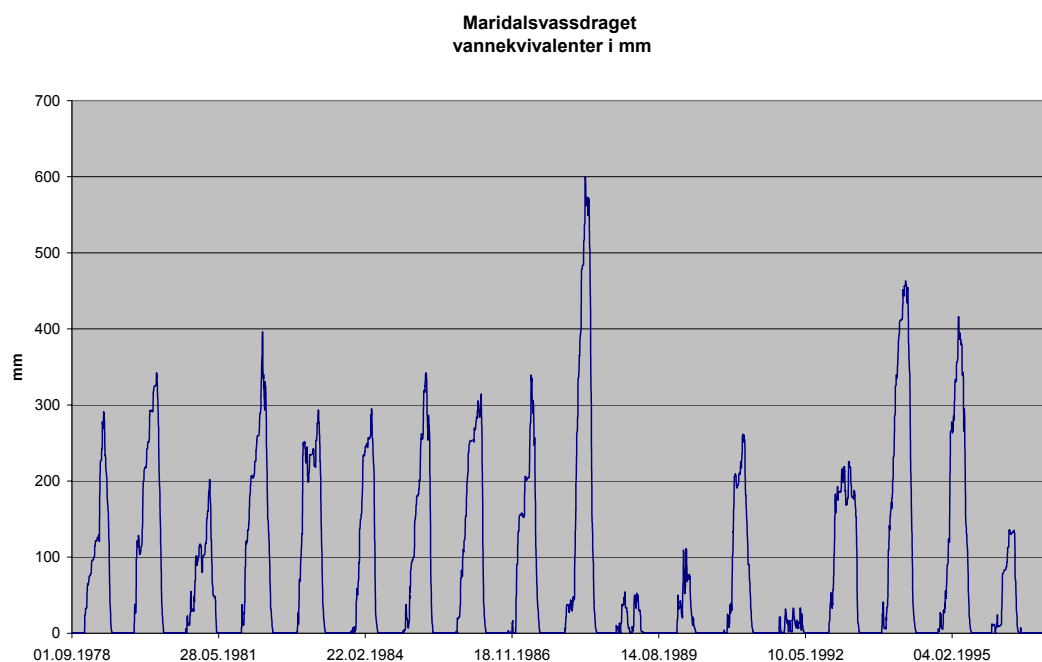
Figur 6.5b Simulert totalmagasin i Maridalsvassdraget med tappebegrensning i Akerselva på 25 m³/s.

6.2 Tappestrategier vinter

Normalt er det minstevannføring som tappes i snøakkumuleringsperioden. Stadige smelteperioder fører imidlertid til at vannføringen må oppjusteres. Desember, januar, februar og mars regnes som månedene for akkumulering av snø. Matrisene for tapping er satt opp for magasinfylling eksklusiv snømagasin. Et delmål i oppgaven er å etablere styringskurver som inneholder snømagasinet.

6.2.1 Snøens vannekvivalent

Modellen viser kurveforløpet for vintersesongene uttrykt i vannekvivalent med benevnningen mm. Figur 6.6 viser at vinteren 1988 skiller seg ut som den desidert mest snørike i perioden som undersøkes. Av de snøfattige vintrene kan nevnes årene 1989, 1990, 1992 og 1996. Det stilles store krav til hvordan det skal tappes ved de mest snørike vintrene. Man må tappe for å unngå flom og samtidig sikre drikkevannsforsyningen ved å ha fulle magasiner etter snøsmeltingen. Det er tilsvarende lettere å regulere i de snøfattige vintrene.

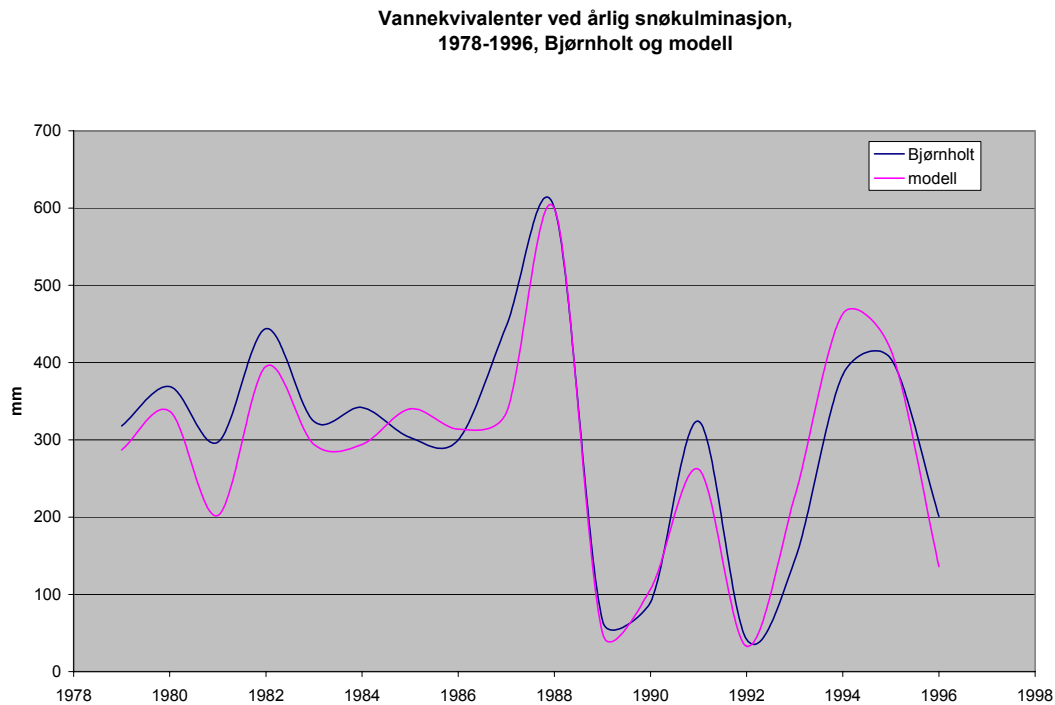


Figur 6.6 Simulering som viser kurveforløp for snøens vannekvivalent i Maridalssvassdraget.

6.2.2 Kulminasjonsverdier for snø

Ved gjennomgang av simuleringene er det beregnet når snøkulminasjonen inntraff og tilhørende vannekvivalent er funnet. I perioden 1978 – 1996 inntraff snøkulminasjonen i gjennomsnitt den 30. mars. Modellens gjennomsnittlige vannekvivalent for denne dato er 283 mm. Til sammenligning var gjennomsnittlig observert kulminasjon den 28. mars på klimastasjonen på Bjørnholt (360 m.o.h.) og den gjennomsnittlige vannekvivalent for denne dato er 334 mm. Figur 6.7 viser at det er god

overensstemmelse mellom modellens beregninger og punktmålingene på Bjørnholt. VAV har som regel begynt snøtakseringen rundt snøkulminasjonen, og foretatt ukentlige målinger fram til midten av mai. Den første snømålingen danner grunnlaget for tappeplaner i smeltesesongen. Tappestrategiene går ut på å fylle drikkevannsmagasiner og ha en rasjonell drift av Hammeren kraftverk. Man prøver å ha en skånsom tapping som hindrer flom og ikke ødelegger forholdene for skiløpere.

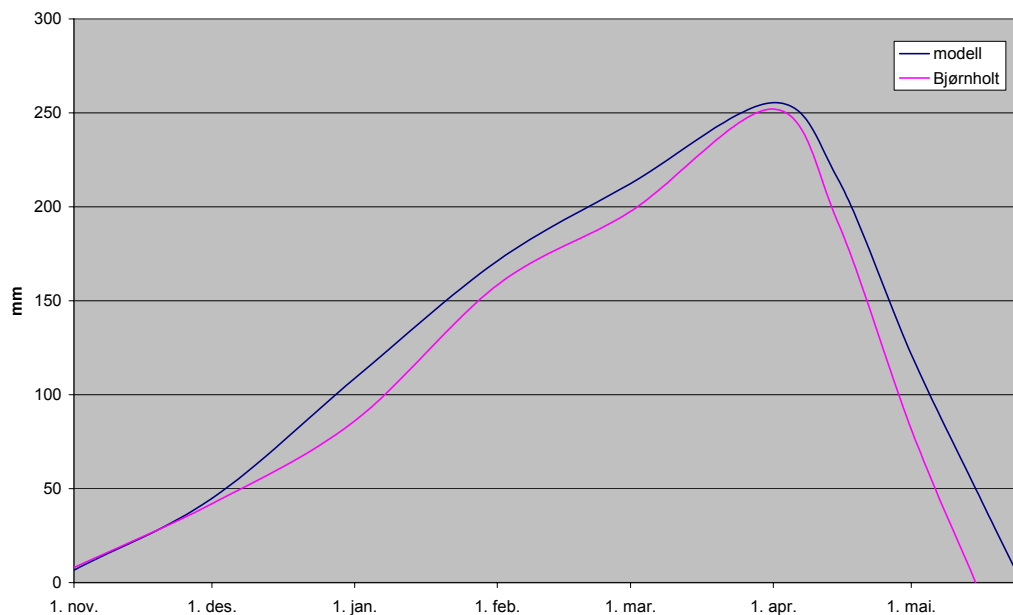


Figur 6.7 Snøens vannekvivalent ved årlig kulminasjon i modellen og målte verdier for klimastasjonen på Bjørnholt.

6.2.3 Vannekvivalent for vinterperioden

Vintersesongene gir et gjennomsnittlig forløp for snømagasinene. For å konvertere snødybder til vannekvivalent er det benyttet en tabell som viser sammenhengen mellom snøens alder i måneder og tetthetsverdier (Otnes & Ræstad 1978). Gjennomsnittskurven for vannekvivalent vil implementeres til en magasinutfyllingskurve som inkluderer snømagasin. I tillegg til punktmålingen på Bjørnholt foretas en del snømålinger som kan sammenlignes med modellkjøringen. Snøputa på Brunkollen, som ligger i Bærum, er også en god indikator. Denne snøputa som ligger 370 m.o.h. er en punktmåling som måler snøens vannekvivalent direkte. Med den klare nedadgående tendensen i årlige snømagasiner (Bjørnbæk 2000), er det viktig at sammenligning av vannekvivalent gjøres for identiske perioder.

Maridalsvassdraget, modell og Bjørnholt,
vannekvivalenter, 1978 - 1996

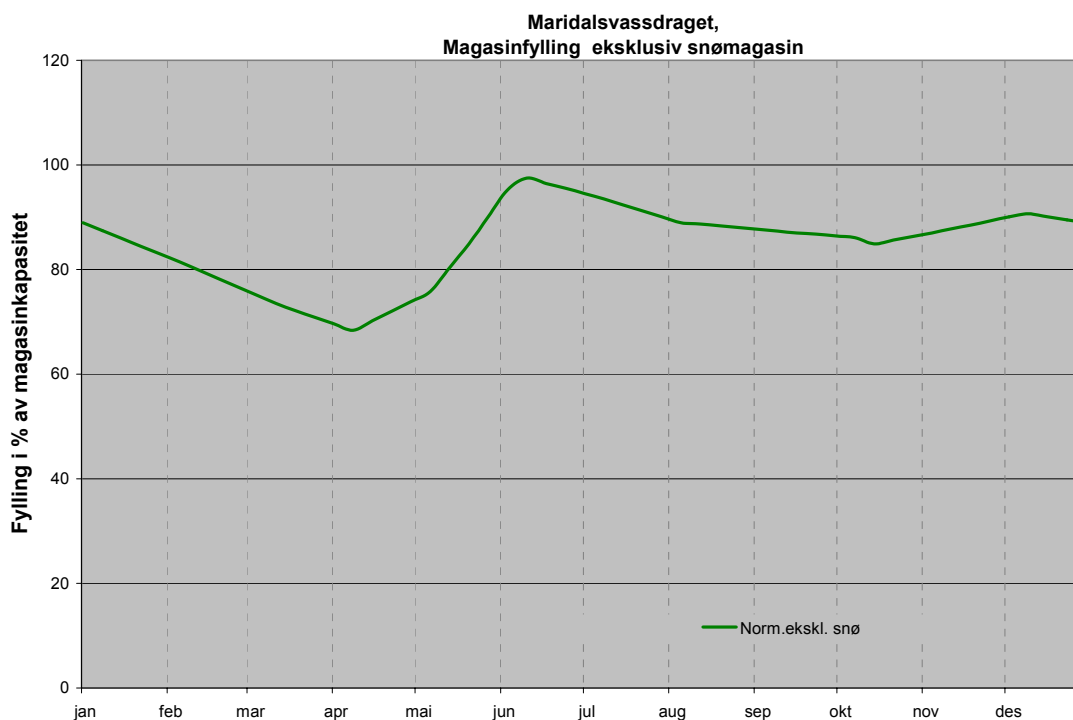


Figur 6.8 Gjennomsnittlig vannekvivalent for vintersesongen. Modellens resultat gjelder for hele nedbørfeltet, mens på Bjørnholt er det kun punktmålinger.

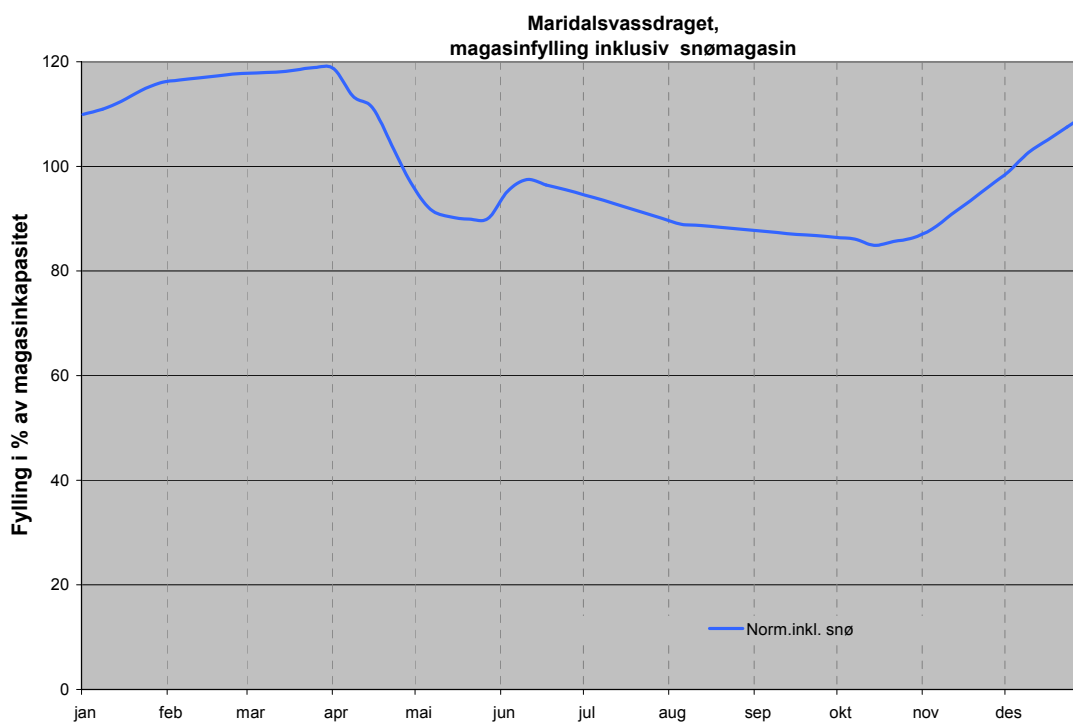
I snøakkumuleringsperioden er det godt samsvar mellom modellens og Bjørnholts vannekvivalent, se figur 6.8. Gjennomsnittlig kulminasjon er også sammenfallende. Det er imidlertid en signifikant forskjell i kurvens resesjonsdel. Det kan skyldes at snømålingene på Bjørnholt ikke er representative for smelteperioden. Temperaturindeksmodellen må eventuelt justeres. Forskjellen er størst i slutten av smeltesesongen, da reflekterer ikke snøen så mye, og graddagsmodellen kan gi for lite smelting. Helt på slutten av snøsmeltingen vil også den kortbølgede strålingen gå gjennom snødekket og treffe bakken slik at det blir snøsmelting fra to sider, dette kan også være en forklaring på at den reelle snøsmeltingen går forttere enn den simulerte. Usikkerhet i selve snødybdemålingen er så liten at den kan neglisjeres, derimot kan det være noe usikkerhet i fastsettelsen av tettheten til snøen. I den operative hydrologien er ikke denne forskjellen i smelteperioden av noen særlig betydning. Det er viktigere at størrelsen på det simulerte og det observerte vårflomvolumet viser samsvar. I gjennomsnitt er det snøfritt på Bjørnholt 15. mai. Gjennomsnittlig dato for når det er snøfritt i modellkjøringene er 25. mai.

6.2.4 Etablering av magasinfyllingskurve som inkluderer snømagasinet

Kurven med snøens vannekvivalent i figur 6.8 vil bli innlemmet i den eksisterende normalkurve. For at snøens vannekvivalent skal kunne legges til normalkurven må det foretas volumberegning hvor størrelsen på feltarealet inngår i beregningen. Det arealet som representerer sjøene i feltet må trekkes ut, siden snøen på islagte sjøer allerede inngår i målingene av vannstanden i de samme sjøene.



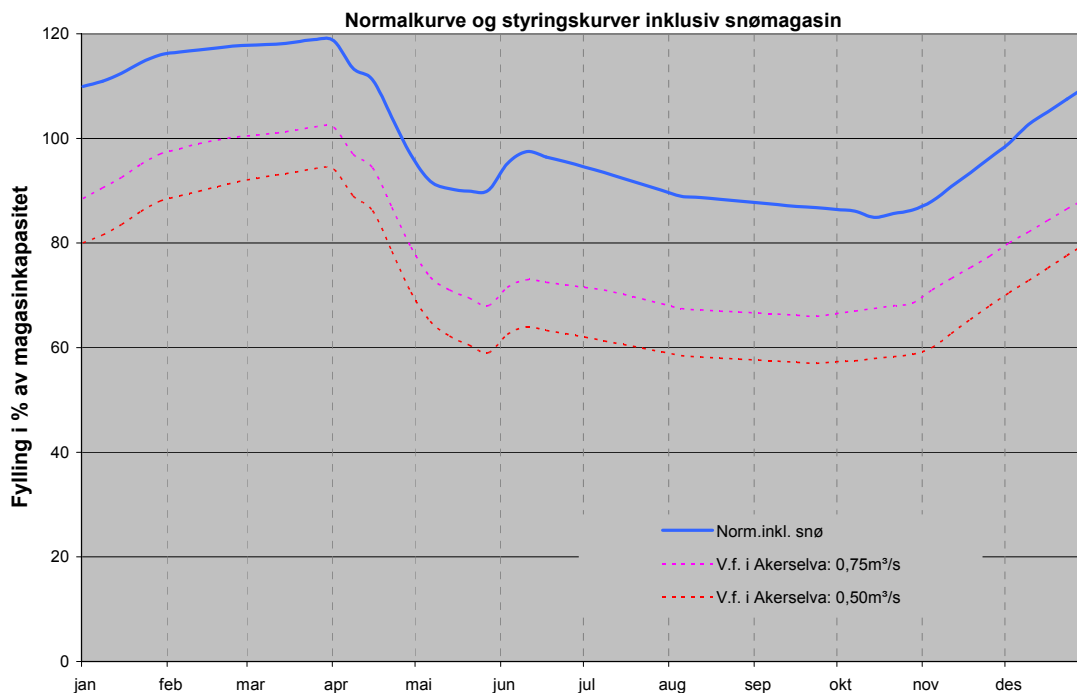
Figur 6.9 Den eksisterende normalfyllingen eksklusiv snømagasin.



Figur 6.10 Den nyetablerte normalfyllingen inklusiv snømagasin.

Magasinfyllingskurven i figur 6.9 og styringskurvene i figur 6.17 har vært retningsgivende for tapping i Akerselva de siste årene. Disse kurvene er basert på normale snømengder. Det er nå etablert en normalkurve som inkluderer snømagasinet, se figur 6.10. Styringskurvene som inkluderer

snømagasinet er vist i figur 6.11. De nye kurvene som inkluderer snømagasinet vil gi et bedre presisjonsnivå på vintertappingen. Tappingen bedres først og fremst der snømagasinet avviker fra normalkurven. Dersom det er mer enn normale snømengder i feltet, vil styringskurvene som inkluderer snømagasinet bidra til høyere vannføring på et tidligere tidspunkt, enn styringskurvene eksklusiv snømagasinet. Dette kan igjen minske flomfaren. Tilsvarende er det når det er mindre snø i feltet enn normalt, da vil styringskurvene som inkluderer snømagasinet bidra til lavere vannføringer på et tidligere tidspunkt, enn styringskurvene eksklusive snømagasinet, og drikkevannsforsyningen vil få en bedre sikring.



Figur 6.11 Det er etablert en normalkurve og styringskurver som inkluderer snømagasinet i feltet.

6.2.5 Tapping i snøsmelteperioden

Manøvreringsreglementet har ingen fullgod beskrivelse av tapping under snøsmeltingen. Snøsmeltingen foregår hovedsakelig i april og mai.

Normalt planlegges tappingen når snømagasinene er på sitt mektigste rundt månedsskiftet mars-april. Snøtakseringer i feltet starter rundt kulminasjonen av snømagasinene. Dersom det er snømengder i feltet som er langt større enn normalverdier, bør planleggingen og tappingen starte før snømagasinene kulminerer. Snødybder på Bjørnholt og snøputa på Brunkollen brukes som indikatorer for å gi et overslag over hvor store vannmengder det er i snømagasinene. I ekstreme vintre kan selvfølgelig snøtakseringen starte tidligere.

Modellkjøringen har vist at snøsmelteperioden fra kulminasjonen til feltet er snøfritt omfatter perioden 30.03 – 25.05. Problemstillingen har vært å arealfordele verdiene fra snømålingene og å vurdere snømålingenes representativitet for feltet. Volumfordeling av hva som går til mark- og grunnvannsmagasinet, fordampning og sublimasjon er grunnleggende for presisjonsnivået for tappingen i snøsmelteperioden. Kunnskap om volumfordelingen vil gi bedre oversikt om hvor mye vann som er tilgjengelig for oppfylling av drikkevannsmagasinet i smelteperioden.

Tabell 6.1 viser hvilke verdier som modellkjøringene har gitt.

Tabell 6.1 Modellens vannekvivalent ved kulminasjonen, nedbør og tilsig i snøsmelteperioden og hvor stor prosentandel av nedbøren og snømagasinet som bidrar til tilsig i samme periode.

	Snø, vannekvivalent pr. 30. mars (mm)	Nedbør 30.03 – 25.05 (mm)	Tilsig 30.03 – 25.05 (mm)	tilsig/(vannekv.+nedb) 30.03 – 25.05 (%)
1979	287	141	258	60
1980	337	21	232	65
1981	202	39	164	68
1982	395	120	324	63
1983	294	202	332	67
1984	294	99	240	61
1985	340	130	308	66
1986	314	146	311	68
1987	335	82	296	71
1988	599	70	413	62
1989	50	163	175	82
1990	107	101	97	47
1991	262	42	194	64
1992	33	141	139	80
1993	226	104	207	63
1994	463	112	429	75
1995	416	71	287	59
1996	<u>136</u>	<u>108</u>	<u>124</u>	<u>51</u>
Gjennomsnitt	283	105	252	65

Snømagasinet er dimensjonerende faktor for tilsig i april og mai. Snømagasinet og nedbøren i smelteperioden er summert. Hvor stor prosentandel av denne summen som går til tilsig i smelteperioden er vist i kolonne 5 i tabell 6.1. Det er store variasjoner i denne prosentandelen. Tilsvarende store variasjoner er også funnet for Grosetbekken forsøksfelt ved Møsvatn (Otnes & Ræstad, 1978, 123).

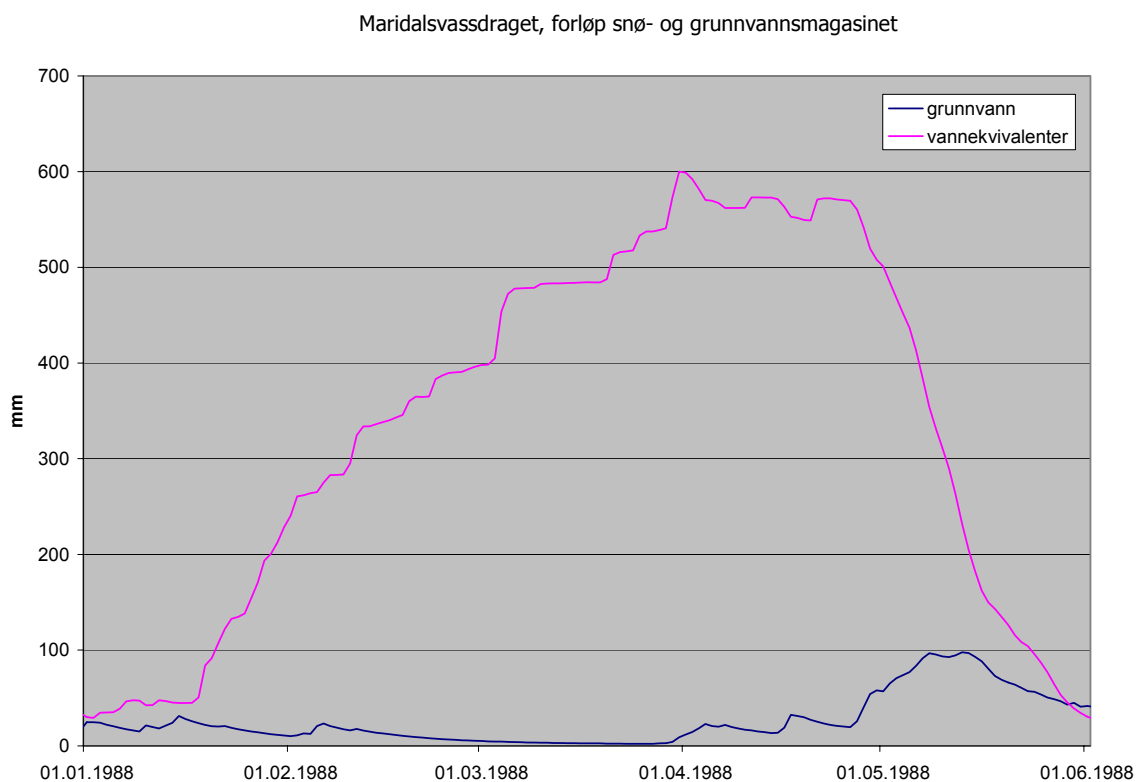
18 årsverdier gir et spinkelt grunnlag for betraktninger med sannsynlighetsfordelinger og konfidensintervaller. I stedet er det funnet 5 persentil og 95 persentil for dataene i kolonne 5 i tabell 6.1. Dette har gitt at dataene ligger i området $65\% \pm 15$ prosentpoeng i gjennomsnitt 9 av 10 år. Optimal magasindisponering bør ikke avgjøres på grunnlag av det mest sannsynlige utfallet, men på grunnlag av hele mulighetsområdet for tilsig (Hauge 2006).

Det er lettere å styre tappingen mot en gitt fyllingsgrad i begynnelsen av juni når mulighetsområdet for tilsiget i smelteperioden er kjent. Da trengs det bare å gjøre noen justeringer avhengig av nedbørmengder. Med denne kjennskapen om hvor mye som går til grunnvann og fordampning vil

presisjonsnivået på tappingen bli bedre. Dette vil igjen minske flomfaren samtidig som det er lettere å sikre fulle magasiner etter snøsmeltingen. Det er lett å predikere drikkevannsproduksjonen i smelteperioden. Volumet som skal til for å fylle opp magasinene er kjent, resten blir vannføring i Akerselva.

Ved å ha HBV modellen tilgjengelig kan man kjøre simuleringer i starten av snøsmelteperioden med forskjellige prognoser for temperatur og nedbør. Det finnes allerede en mengde sett av historiske verdier for temperatur og nedbør i smelteperioden. Simuleringer bør utføres flere ganger i smelteperioden.

Snøsmeltingen bidrar med å fylle opp mark- og grunnvannsmagasinet. Gjennomsnittlig fordamping som modellen gir i snøsmelteperioden er rundt 50 mm. I figur 6.12 vises et eksempel på simulert snø- og grunnvannsutvikling i den mest snørike vinteren i tidsrommet 1978 – 1996.

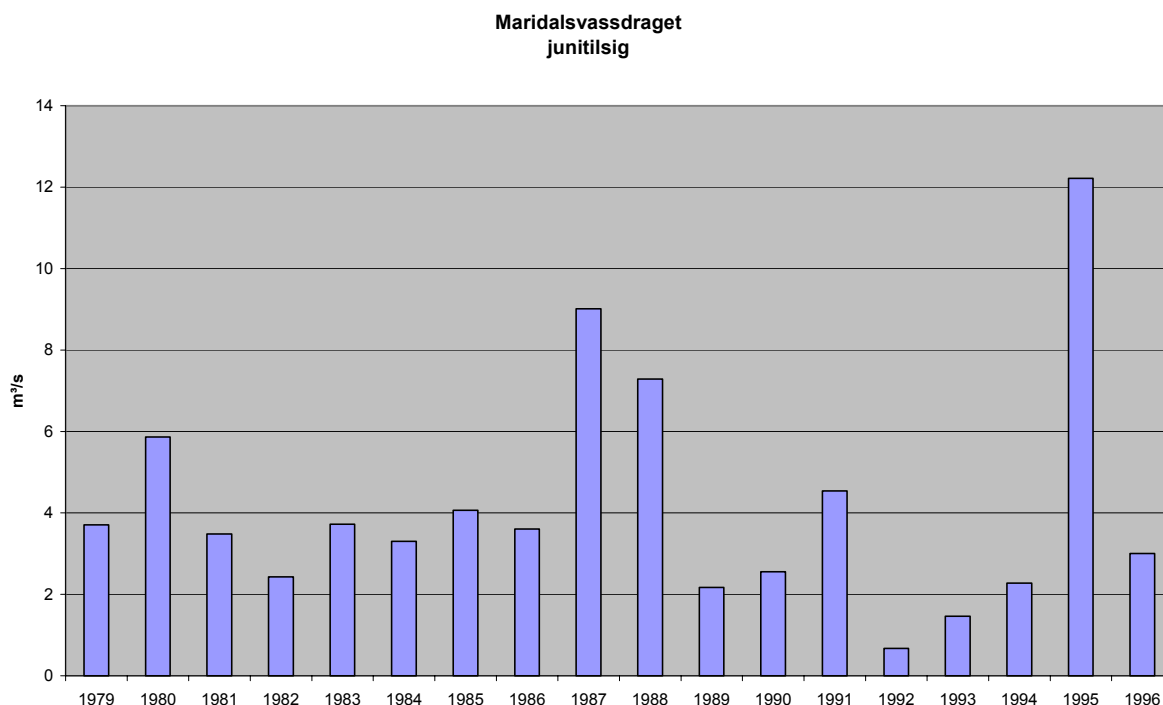


Figur 6.12 Simulering av snø- og grunnvannsutviklingen gjennom den mest snørike vinteren i perioden 1979 – 1996.

Modellens behandling av grunnvann vises i figur 6.12 og representerer summen fra øvre og nedre sone. Grunnvannsnivået avtar gradvis gjennom snøakkumulasjonsperioden og er på sitt laveste rett før snøsmelting. Grunnvannsmagasinet begynner å stige straks snøsmeltingen starter, og når sitt maksimum medio mai. Man skulle ha forventet toppen noe seinere, men figuren representerer hele feltet (150 – 717 m.o.h.), og store deler av feltet er snøfritt midt i mai. Dersom man hadde betraktet et ”grid” som ligger på omtrent samme kotenivå antas det at grunnvannsmagasinet ville kulminert ved slutten av snøsmeltingen. Grunnvannsreduksjonen etter kulminasjonen er først og fremst representert ved den raske avrenning fra øvre sone.

6.3 Mål for magasinfylling etter snøsmeltingen

Et spørsmål som må vurderes er hvilket mål man skal ha for magasinfylling etter snøsmelting, forutsatt tilstrekkelig med snømengder i feltet. I utarbeidelsen av tappematrixene som er beskrevet i kapittel 5, ble det forutsatt at målet for magasinfyllingen rett etter snøsmeltingen skulle være 100 %. I simuleringene har magasinfyllingen vært rundt 90 % etter snøsmeltingen (figur 5.5). Formålet med høy magasinfylling etter snøsmeltingen er å sikre drikkevannsforsyningen mot framtidige lave tilsig. Det må undersøkes om hvor stort tilsiget er rett etter snøsmelting, og om dette tilsiget kan bidra til skadeflom. Det blir nok en gang en vurdering og en balanse mellom flomfare og sikring av tilstrekkelig drikkevann.



Figur 6.13 Maridalsvassdraget, simulerte vannføringer for juni måned.

Figur 6.13 viser simulerte junitilsig for Maridalvassdraget. Dette tilsiget er helt uproblematisk å håndtere i en reguleringssituasjon, og situasjonen vil være langt utenfor flomfare. Modellkjøringene viser at perioden 2.6 – 9.6.1995 var den juniperioden med 7 påfølgende dager som ga det største tilsiget. Det gjennomsnittlige tilsiget var tilnærmet 25 m³/s. Dette er å betrakte som ordinær driftsvannføring. Den største tilsigsverdien på døgnbasis for alle junimånedene som er behandlet opptrådte den 02.06.1995, og hadde verdien 38 m³/s. Dette er også en vannføring som er lett å håndtere i reguleringssammenheng. Ut fra det foreliggende tallmaterialet er det relativt liten flomfare ved å ha en målsetting på 100 % magasinfylling etter snøsmelting. I tillegg til å sikre drikkevannsforsyningen vil også en høy magasinfylling på våren øke sannsynligheten for det er nok vann til ”lokkeflommer” om høsten, som sikrer oppgang av fisk i Akerselva.

Den ønskelige fyllingsgraden som er beskrevet må også ses i sammenheng med det flomdempingsmagasinet som skal etableres fra 1. oktober. Det må undersøkes hvilken sannsynlighet det er for å ha et for stort flomdempingsvolum pr.1. oktober, gitt 100 % fylling rundt månedsskiftet mai-juni. Tilsiget i perioden 01.06 – 30.09 må sammenlignes med tapping ut av nedbørfeltet (drikkevannsbehov og minstevannføring i Akerselva) og utviklingen i magasinutfyllingen. Dersom det kjøres minstevannføring i denne perioden og drikkevannsbehovet er 3 m³/s, vil et gjennomsnittstilsig på 3,4 m³/s være nok til å sikre at flomdempingsvolumet ikke blir for stort.

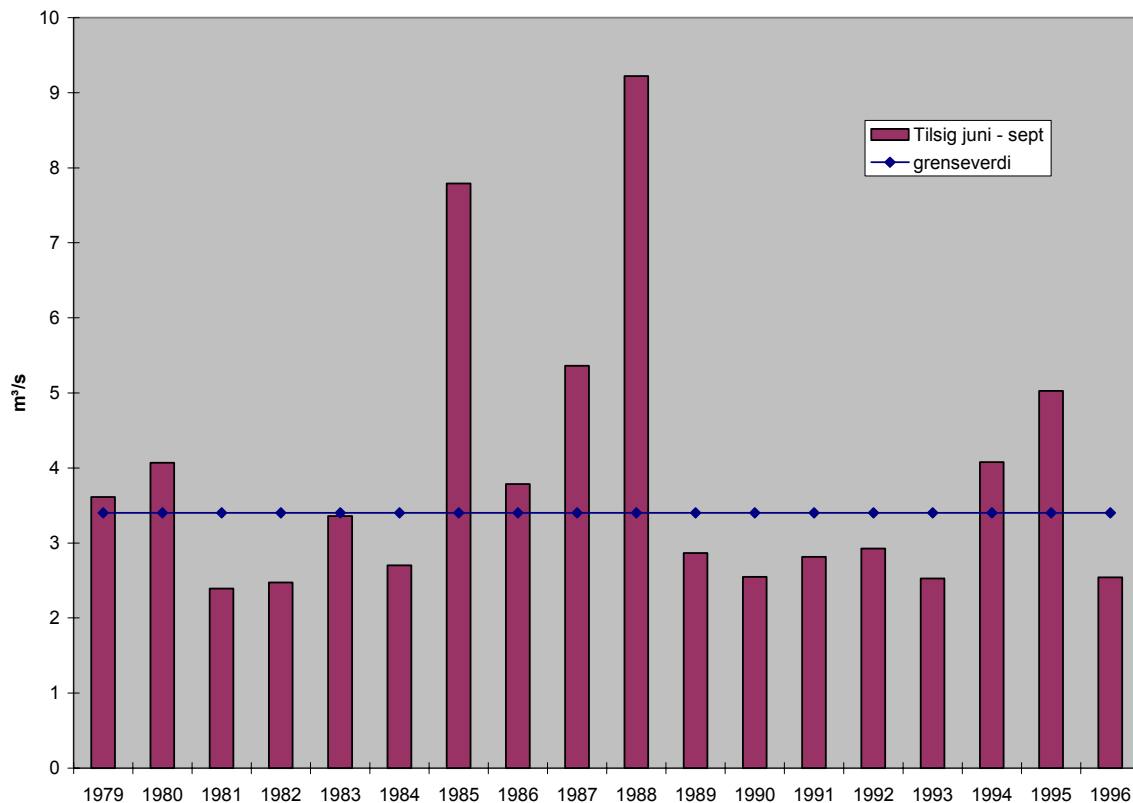


Fig 6.14 Stolpediagrammet viser årlig simulert tilsig i perioden 01.06 – 30.09 for Maridalsvassdraget. Den vannrette linjen er det tilsiget som sikrer eksakt flomdempingsvolum.

Det kan ses av figur 6.14 at omtrent halvparten av årene gir et for lavt simulert tilsig, følgelig vil det være større flomdemping enn det som manøvreringsreglementet krever.

Dette underbygger strategien om å ha fulle magasiner etter snøsmeltingen. Fulle magasiner etter snøsmeltingen vil også øke sikkerheten i vannforsyningen med framtidige lave tilsig.

Et framtidig økende drikkevannsbehov forsterker også viktigheten av å fylle opp magasinene om våren.

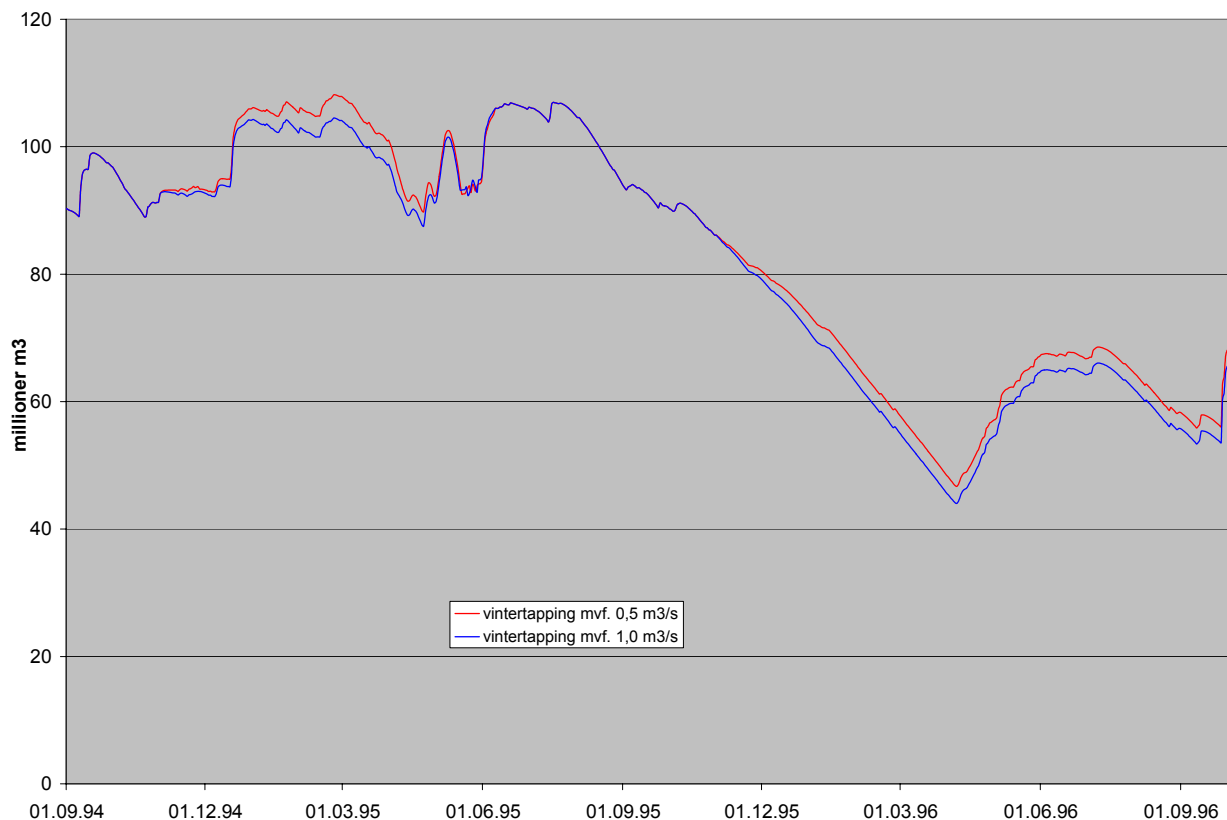
6.4 Endring av strategier for å øke magasinfyllingen i ugunstige år.

Det vil kjøres simuleringer med forskjellige tappestrategier for å finne ut hvordan mulighetene er for å øke magasinfyllingen i ugunstige år.

6.4.1 Reduksjon av vintervannføring

Det foretas en modellkjøring hvor vintervannføringen i Akerselva reduseres fra 1 m³/s til 0,5 m³/s i tidsrommet 1. november til 31. mars. Når vintervannføringen settes til 0,5 m³/s vil det i praksis si at styringskurvene med redusert vannføring i Akerselva bortfaller om vinteren.

Forsøket utføres for å finne ut om denne endringen vil føre til en høyere magasinbeholdning i en tilsigsfattig periode som igjen sikrer drikkevannsforsyningen. Tappestrategien vises i appendiks D.1.



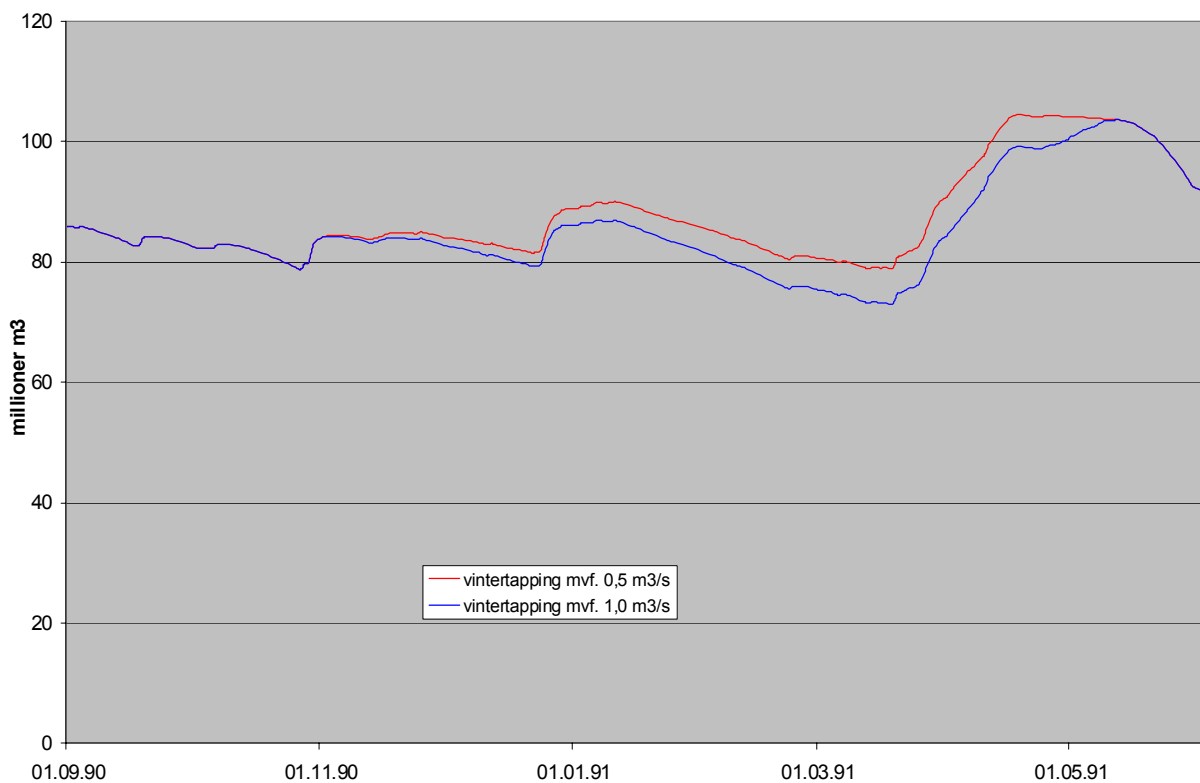
Figur 6.15 Magasinfylling i Maridalsvassdraget med simulerte vintervannføringer i Akerselva på henholdsvis 0,5 m³/s og 1,0 m³/s for perioden for nedre kulminasjon.

Den nedre kulminasjonen for den simulerte tidsserien inntraff den 6. april 1996 for begge kurvene i figur 6.15. Magasininnholdet ved kulminasjonen er 42,9 og 46,7 millioner m³ for vintertapping på

henholdsvis 1,0 og 0,5 m³/s. Forskjellen på 3,8 millioner m³ er betydelig, og med dagens drikkevannsproduksjon tilsvarer dette ca. 14 dagers forbruk for Oslos befolkning. Det beregnede tilgjengelige drikkevannsvolum for Maridalsvassdraget i ugunstigste år (Morstad 2007) vil øke med omtrent 4% med denne tilveksten.

Den største forskjellen i magasinbeholdning inntraff 3. mars 1991 og er 6,5 mill m³. Denne forskjellen er betydelig større enn forskjellen ved nedre kulminasjon og tilsvarer ca. 25 dagers forbruk med dagens produksjonsnivå. Grunnen til at denne forskjellen er vesentlig større er at kurveforløpet flater mye mer ut i figur 6.16 enn i figur 6.15. Ved et flatere kurveforløp vil det ta lengre tid før styringskurvene krysses enn ved et brattere kurveforløp.

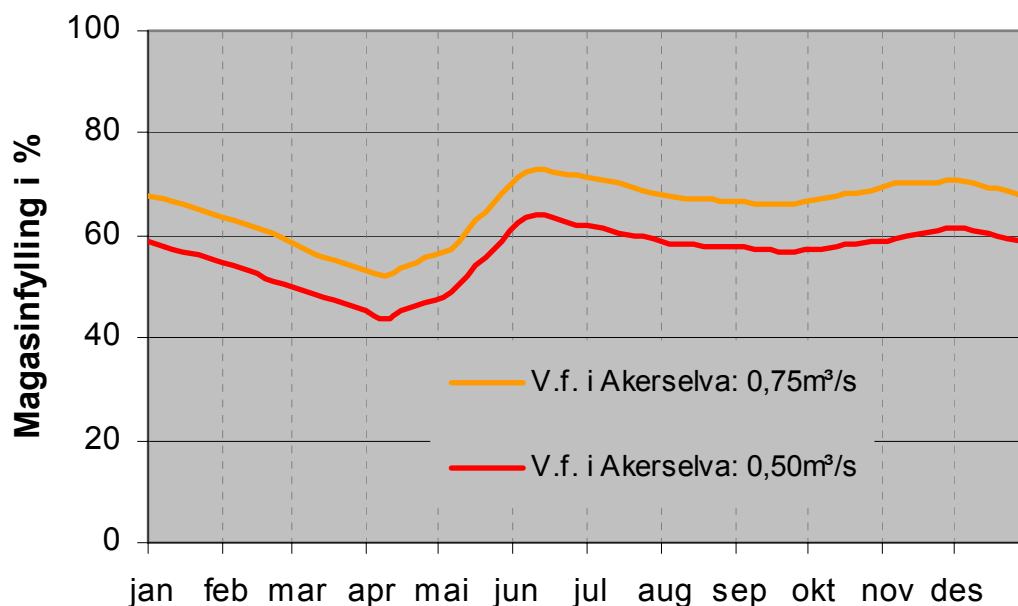
Tiltaket med redusert vintervannføring er kontroversielt, men bør vurderes. De privatrettslige avtaler åpner for en redusert vintertapping. En konsekvensanalyse må også utføres før vintertappingen eventuelt reduseres.



Figur 6.16 Magasinfylling i Maridalsvassdraget med simulerte vintervannføringer i Akerselva på henholdsvis 0,5 m³/s og 1,0 m³/s. Utsnittet som gir størst differanse for magasinbeholdningen er vist.

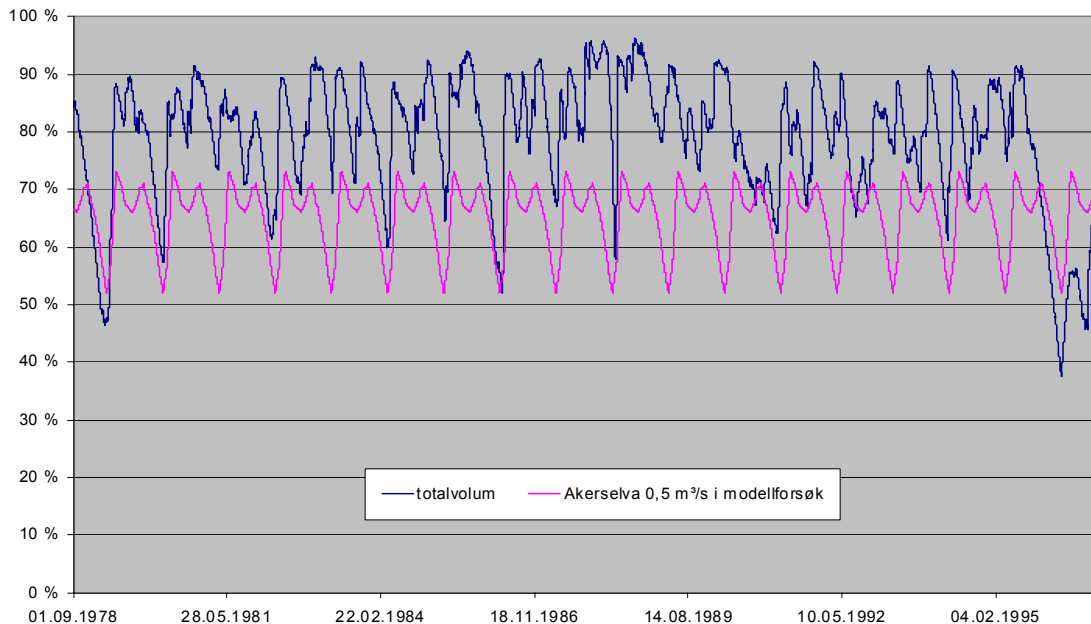
6.4.2 Modellforsøk med endring av styringskurve

Styringskurven for tapping av vann i Akerselva som viser 0,75 m³/s settes til 0,5 m³/s, se appendiks D.2. I praksis vil det si at den røde styringskurven i figur 6.17 flyttes opp til nivået til den oransje kurven. Modellforsøket gjøres for å finne ut hvor mye denne endringen påvirker kildekapasiteten i ugunstige tilsigsperioder.



Figur 6.17 Manøvreringsreglementets styringskurver for tapping i Akerselva.

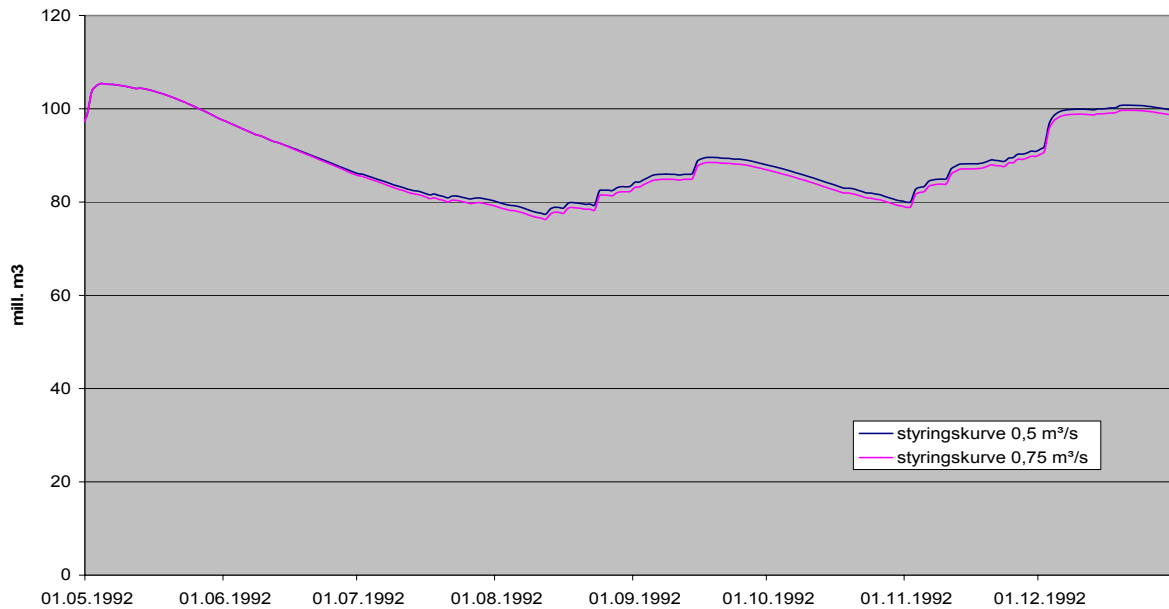
Den oransje kurven i figur 6.17 viser tappebegrensningen til Akerselva på 0,75 m³/s. Vannføringen endres normalt til 0,75 m³/s når magasinfyllingen krysser denne kurve. Vannføringen reduseres eller økes avhengig av om magasinfyllingskurven skjærer kurven ovenfra eller nedenfra.



Figur 6.18 Kurveforløp for simulert totalmagasin i Maridalsvassdraget med den endrede styringskurven for Akerselva som gir en vannføring på 0,5 m³/s.

Figur 6.18 viser at vannføringsendringen sjelden utløses fordi magasinfyllingskurven stort sett ligger over styringskurven. Figuren viser imidlertid redusert vannføring i Akerselva i store deler av 1996. Den største differansen i magasinfyllingen opptrer ikke i 1996. Den største forskjellen i magasinfyllingen inntraff i juli 1992, der kurven flater mer ut enn i 1996. Den største forskjellen i

magasinvolum for de respektive tappestrategiene utgjør cirka 1 million m³ i juli 1992. Figur 6.19 viser det utsnittet som representerer den største forskjellen i magasinutfylling for de ulike tappestrategiene.



Figur 6.19 Simulert magasinutvikling i Maridalsvassdraget for tapping i Akerselva etter manøvreringsreglementet (0,75 m³/s) og for tapping der styringskurven er endret til 0,5 m³/s.

Gevinsten på 1 million m³ mer tilgjengelig vann vil kun utgjøre cirka en prosent av tilgjengelig vann i ugunstigste år.

For å bedre kildekapasiteten var det langt bedre å redusere vintertappingen enn å forandre styringskurven.

Reduksjon av vintertappingen vil også sikre vannforsyningen. Denne vannføringen vil eventuelt bare bli gjeldende inntil det foreligger en fjernvannkilde for VAV.

7 Konklusjon

Oppgavens mål og problemstilling er å optimalisere tappestrategier i Maridalsvassdraget for å sikre drikkevannsforsyningen til Oslos befolkning og samtidig redusere faren for flomskader.

Modellen som ble brukt som analyseverktøy har fungert tilfredsstillende. Modellen har imidlertid sin begrensning for flomtapping. Dette skyldes først og fremst at modellen betrakter nedbørfeltet som et uregulert felt, med unntak av Maridalsvann. Denne forenklete beskrivelse av virkeligheten gjør at modellen ikke håndterer flomdempingen oppstrøms Maridalsvannet godt nok. Maridalsvassdraget med en reguleringsprosent på 64 % har et stort potensial for å dempe flommer. Ved flomtapping er det brukt skadefunksjoner som hjelpemiddel for å komme fram til tappestrategier. Som forventet øker skadene på objekter med økende vannstand. Dette gjør at tappestrategien går ut på å dempe flomtoppene i Akerselva ved å ta flomdempingen oppstrøms Maridalsdammen. Skadepotensialet er langt mindre i områdene oppstrøms enn nedstrøms dammen.

Dagens styringskurver for tapping i Akerselva inkluderer ikke snømagasinet, men er basert på normale snømengder. I oppgaven er det etablert styringskurver som inkluderer snømagasinet. Kurvene som inkluderer snømagasinet gir et bedre presisjonsnivå på vintertappingen. Presisjonsnivået på vintertappingen bedres først og fremst der snømagasinene avviker fra normalkurven. Dersom det er mer enn normale snømengder i feltet, vil styringskurvene som inkluderer snømagasinet bidra til høyere vannføring på et tidligere tidspunkt, enn styringskurvene eksklusiv snømagasinet. Dette kan igjen minske flomfaren. Tilsvarende er det når det er mindre snø i feltet enn normalt, da vil styringskurvene som inkluderer snømagasinet bidra til lavere vannføringer på et tidligere tidspunkt enn styringskurvene eksklusiv snømagasinet, og drikkevannsforsyningen vil få en bedre sikring.

Snømagasinet er den dimensjonerende faktor for størrelsen på vårflommen. Simulert snømagasin ved kulminasjonen er tillagt nedbør i snøsmelteperioden. $65 \% \pm 15$ prosentpoeng av denne summen bidrar til vannforsyningen, vannføring i Akerselva og oppfylling av drikkevannsmagasiner. Resten går til fordamping og oppfylling av markvanns- og grunnvannsmagasinet Kjennskap til hvor mye som går til avrenning i snøsmelteperioden bedrer presisjonsnivået på tappingen i smelteperioden. Dette bidrar til å minske flomfaren samtidig som det er lettere å sikre en målsatt magasinifylling ved snøsmeltingens slutt. Optimal magasinindisponering avgjøres på grunnlag av hele mulighetsområdet. En HBV modell kombinert med snømålinger vil være et godt grunnlag for å mestre tappingen under snøsmeltingen.

Målet for magasinifylling etter snøsmeltingen er foreslått satt til 100 %, gitt at snømagasinet er stort nok. En magasinifylling etter snøsmelting på 100 % gir minimal flomfare. Fulle magasiner etter snøsmeltingen vil øke sikkerheten i drikkevannsforsyningen ved framtidige lave tilsig.

Det er utført simulering der vintervannføringen i Akerselva er redusert fra 1,0 m³/s til 0,5 m³/s. Denne simuleringen ga på det meste en forskjell i magasinbeholdningen på ca. 6,5 mill. m³ som tilsvarer 25 dagers forbruk med dagens vannproduksjon. Tiltaket med redusert vintervannføring er kontroversielt, men bør vurderes. De privatrettslige avtaler åpner for en redusert vintertapping. En konsekvensanalyse må også utføres før vintertappingen eventuelt reduseres.

Det ble utført en simulering der styringskurven for tapping i Akerselva ble endret fra 0,75 m³/s til 0,5 m³/s. Den største differansen i magasinbefyllingen ved denne simuleringen var kun 1 mill. m³. Dette anses som så lite at det ikke anbefales å endre denne styringskurven.

8 Litteraturliste

- Astrup, M. 2001. Avløpsnormaler. Normalperioden 1961 – 1990. NVE Rapport nr. 2 – 2001, 224 s.

- Beldring, S., Roald, L.A., Voksø, A. 2002. Avrenningskart for Norge. Årsmiddelavrenning 1961 - 1990. NVE Rapport nr. 2 – 2002, 49 s.

- Beldring, S., Engeland, K., Roald, L.A., Sælthun, N.R., Voksø, A. 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff modell for Norway. Hydrology and Earth system Sciences 7, 304 – 316.

- Beldring, S. 2008. Distributed HBV model , upubl.rapp. NVE. 27 s.

- Bergström, S. 1976. Development and Application of a conceptual Runoff Model for Scandinavian catchments. Report RH07, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.

- Bjørnbæk, G. 2000. Mindre snø og varmere klima ,Snø & Ski, 4/2000.

- Carlsen, A.J. 1994. Manøvreringsreglement for magasinene. Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune. 25 s.

- Gottschalk L., Undager Jensen J., Lundquist D., Solantie, R. og Tollan, A. 1979. Hydrologic regions in the Nordic countries, Nordic Hydrology 10, 273-286.

- Gottschalk, L., Krasovskaia, I. 2000. Economic Risk of Flooding - a case study for the floodplain upstream Nor in the Glomma River, Norway (R01), HYDRA.

- Hauge, L. K. 2006. NTNU rapport i fordypningsemnet TIØ 4700: Produksjonsplanlegging i vannkraftanlegg under usikkerhet, 37 s.

- International Standard 2005. Measurement of fluid flow - Procedures for the evaluation of uncertainties. –ISO 5168.

- Killingtveit, Å., Sælthun N.R. 1995. Hydropower development, Vol. no 7 Tapir, Trondheim, 113 – 119.

- Lindstrøm, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. og Bergstrøm, S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological modell. Journal of Hydrology 201, 272-288.

- Morstad, P. 2007. Delprosjekt vannressurser, Hovedplan vann, Upubl. VAV dokument, 19 s.

- Nordseth, K. 1995. Elementær databearbeidelse i emnet GG 247. Fluviale prosesser i vassdrag. Universitetet i Oslo, Geografisk institutt: Unipub kompendier, 165 s.

- Nash, J. E. og Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10, 282 – 290.

- Otnes, J. og Ræstad, E. 1978. Hydrologi i praksis 2. utg., Ingeniørforlaget, Oslo, 314 s.

- Seibert, J. 1997. Estimation of parameter uncertainly in the HBV modell. Nordic Hydrology 28. 247-262

- Spikkeland, O.K. 1999. Verneverdier og brukerinteresser i Sandvikselva. Upubl. NVE-dokument 1-20.

- Sælthun, N.R. 1996. The Nordic HBV modell. NVE publikasjon 7, Oslo, 26 s.

- Sælthun, N.R., Gottschalk I., Berg H., Voksø A., Elkjær Kristensen S.E. Eggestad H.O., Krasovskaia, I. Wathne M., Skoglund M. 2000 Økonomisk risikoanalyse for flommer (R03) , HYDRA,

- Tveito, O.E. 1993. A regional flood frequency analysis of Norwegian catchments. Institutt rapport serie nr. 86. Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo.

- Væringstad, T., Hisdal, H. 2005. Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt. Miljøbasert Vannføring NVE nr. 6-2005.

- Væringstad T. 2003. Flomberegninger for Sandvikselva. NVE dok. nr. 8.

- Væringstad T. 2007. Hydrologiske data for Aurevann, Søndre Heggelivann og Langlivann i Bærum, Ringerike og Oslo kommuner. NVE 200708880-2, 13 s.

- Xu, C.Y. 1999. Estimation of parameters of a conceptual water balance modell for ungauged catchments. Water Resources Management 13, 353-368.

Appendiks

A Tilsigsserie for Maridalsvassdraget

Nedbørfeltet er 255 km² og inkluderer de overførte feltene. Tilsigsverdiene er oppgitt med benevnningen m³/s.

År	Jan	Feb	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des	Gj.snitt
1891	0,76	0,62	0,32	5,53	17,40	3,51	2,51	7,89	7,61	20,60	6,12	4,69	6,46
1892	2,33	1,76	1,67	10,69	13,38	3,46	1,49	3,08	6,35	10,94	9,07	2,98	5,60
1893	1,50	0,42	0,54	10,63	9,09	0,83	2,19	4,06	1,43	11,88	1,06	6,35	4,17
1894	2,13	1,11	2,59	21,33	21,80	3,98	2,56	9,16	1,88	0,86	14,07	2,20	6,97
1895	1,77	1,71	1,97	8,77	20,24	3,95	6,35	10,08	4,63	4,86	9,69	2,96	6,42
1896	1,00	1,49	2,27	9,54	13,08	2,40	1,24	1,33	4,37	16,74	5,49	2,23	5,10
1897	1,42	0,76	1,72	14,29	21,48	3,13	0,38	9,42	12,13	5,33	3,17	7,19	6,70
1898	4,58	1,65	1,67	3,68	23,17	6,93	4,38	8,54	2,38	4,09	4,96	2,02	5,67
1899	1,95	2,61	2,37	6,32	15,44	1,54	1,33	0,42	2,15	3,39	6,44	0,66	3,72
1900	1,37	1,35	0,66	4,74	19,41	6,99	3,99	9,76	0,84	2,63	8,23	3,91	5,32
1901	1,22	0,35	0,92	8,96	13,26	3,21	0,70	2,08	3,21	10,27	3,01	1,60	4,07
1902	1,22	1,20	1,25	3,37	17,19	10,00	0,60	7,66	7,83	3,56	4,48	1,10	4,96
1903	0,37	1,83	7,22	9,24	14,05	2,50	2,17	12,01	3,95	14,45	5,90	2,85	6,38
1904	2,74	2,46	1,97	10,86	25,95	6,89	0,48	1,04	1,06	4,52	2,25	2,40	5,22
1905	0,42	0,44	2,41	4,50	18,43	3,42	0,84	6,54	8,99	6,04	9,12	2,28	5,29
1906	1,17	0,58	0,94	8,29	16,30	4,41	0,37	2,03	2,15	4,55	13,49	2,66	4,75
1907	1,49	0,94	2,06	8,31	20,28	8,38	7,84	6,12	3,30	12,40	9,39	5,93	7,20
1908	1,48	2,19	2,45	6,00	22,04	8,58	5,13	3,75	7,60	2,04	0,66	3,72	5,47
1909	1,97	0,62	1,34	4,44	17,33	8,86	6,00	8,44	5,65	15,48	4,17	3,35	6,47
1910	2,36	3,53	4,37	21,64	21,73	4,14	5,58	6,61	3,04	6,53	5,89	4,97	7,53
1911	3,10	2,00	2,17	15,56	14,19	1,32	1,09	0,02	0,91	2,62	6,52	4,69	4,52
1912	2,06	1,00	2,68	11,30	16,46	5,75	1,31	14,40	6,80	4,40	4,05	7,59	6,48
1913	6,56	1,55	1,73	9,86	13,63	2,40	2,64	1,90	1,46	1,23	9,06	3,59	4,63
1914	1,40	4,62	2,64	12,91	14,36	2,06	0,91	0,99	1,12	0,49	1,31	8,86	4,31
1915	3,49	1,83	2,08	12,70	16,94	4,05	10,60	6,23	1,95	3,74	2,21	1,22	5,59
1916	1,82	1,71	1,10	11,66	28,13	9,36	3,28	0,56	1,28	8,74	20,68	5,97	7,86
1917	1,47	0,52	1,73	1,91	14,76	3,53	0,99	10,35	6,50	6,26	8,76	1,28	4,84
1918	1,14	1,26	0,79	7,93	4,66	1,46	5,98	2,41	14,02	9,10	7,47	3,87	5,01
1919	3,21	1,37	1,28	10,73	20,88	0,48	1,57	1,25	4,95	1,84	1,51	1,49	4,21
1920	2,03	2,66	10,48	25,74	28,71	1,47	3,79	7,34	8,61	0,74	0,82	1,03	7,79

År	Jan	Feb	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des	Gj.snitt
1921	1,97	0,60	5,37	6,78	2,94	1,37	-0,21	3,36	1,92	0,98	0,78	1,38	2,27
1922	1,22	0,77	0,81	7,73	19,53	0,00	9,07	10,64	3,01	1,48	1,12	2,89	4,86
1923	5,43	1,43	1,66	6,39	25,01	5,82	0,32	2,52	9,93	15,26	10,16	0,95	7,07
1924	1,68	0,76	0,49	3,00	25,53	11,28	9,63	11,80	8,93	11,86	5,70	7,37	8,17
1925	2,79	2,48	1,42	12,53	14,98	1,98	1,15	2,07	5,23	10,83	2,73	1,23	4,95
1926	1,44	1,16	1,66	17,42	20,42	8,68	4,33	4,40	2,54	3,82	22,06	1,49	7,45
1927	3,41	3,02	4,77	6,11	27,06	23,77	7,02	8,23	15,39	6,20	3,36	0,65	9,08
1928	1,53	1,28	0,64	9,39	19,49	1,42	1,51	10,06	3,41	12,63	15,86	2,45	6,64
1929	0,86	0,23	1,06	4,13	12,44	5,42	1,40	8,42	3,15	15,39	23,09	15,79	7,62
1930	10,80	2,59	1,32	14,63	11,44	2,51	10,92	6,61	8,38	11,80	7,68	4,49	7,76
1931	2,52	2,36	0,82	9,05	38,93	1,75	5,04	3,88	0,54	1,69	12,81	3,08	6,87
1932	5,63	1,13	1,40	8,89	10,02	1,74	1,72	1,25	4,70	16,01	5,06	10,57	5,68
1933	7,75	2,48	2,45	7,89	9,19	2,71	0,60	1,15	0,63	14,76	3,29	0,51	4,45
1934	2,13	1,27	3,36	17,50	19,28	1,62	0,72	5,86	16,32	7,49	5,48	19,45	8,37
1935	2,84	1,87	2,26	12,99	7,86	5,73	0,02	0,07	10,11	17,63	18,79	4,11	7,02
1936	5,97	1,74	1,11	7,43	23,26	1,29	3,57	8,76	1,66	2,59	10,69	6,99	6,26
1937	2,87	1,54	1,46	26,17	14,86	9,95	2,67	0,60	5,10	3,06	2,32	1,88	6,04
1938	2,63	2,83	9,50	9,70	3,90	2,18	5,06	2,39	8,91	12,20	13,18	11,18	6,97
1939	2,70	2,87	2,77	11,84	14,81	6,86	14,96	3,54	0,42	0,75	7,25	2,30	5,92
1940	0,83	0,20	0,43	3,24	15,92	0,08	6,74	7,43	8,00	6,87	5,32	2,97	4,84
1941	0,51	0,44	0,37	2,02	12,09	2,45	1,05	8,97	2,24	4,71	1,85	2,73	3,29
1942	0,44	0,08	0,16	8,08	7,06	5,12	0,46	11,45	8,84	10,91	9,43	4,45	5,54
1943	2,18	2,34	3,15	13,07	9,00	0,96	1,64	2,21	3,87	6,06	5,05	2,60	4,34
1944	1,87	1,21	0,57	8,41	9,81	11,72	3,58	3,08	13,87	14,58	7,25	8,74	7,06
1945	2,11	1,51	4,33	15,08	11,52	4,23	0,31	0,74	0,86	2,27	1,86	3,14	4,00
1946	1,30	1,56	1,36	14,32	5,00	8,33	0,90	8,73	19,12	3,96	8,42	8,39	6,78
1947	2,58	0,77	0,48	9,60	12,93	0,62	1,07	0,78	0,12	0,34	0,58	0,84	2,56
1948	1,20	1,08	4,90	24,64	7,24	4,69	4,89	7,51	7,36	7,77	3,55	5,47	6,69
1949	3,11	2,20	1,78	14,04	7,55	6,72	0,86	0,81	3,76	7,71	16,62	4,59	5,81
1950	1,89	2,16	6,07	19,54	8,47	8,37	7,00	15,04	9,06	8,84	6,36	2,95	7,98
1951	1,86	3,07	1,68	7,64	36,67	10,93	3,35	20,28	8,10	2,22	14,54	5,82	9,68
1952	4,01	0,87	0,67	11,48	10,90	2,75	0,80	6,24	2,99	8,18	4,48	2,41	4,65
1953	0,73	1,20	4,59	15,01	9,01	5,52	6,45	7,18	7,02	6,13	8,27	4,25	6,28
1954	1,86	1,70	1,93	5,89	23,75	4,13	7,08	9,01	7,29	6,12	5,70	12,36	7,24
1955	1,30	2,13	0,59	3,63	19,42	2,16	0,35	-0,05	1,45	5,29	5,76	1,18	3,60
1956	1,32	0,01	0,17	4,96	10,48	5,70	3,05	2,82	8,34	2,21	1,38	2,70	3,59
1957	1,37	1,47	1,01	9,03	9,48	4,03	4,76	9,78	12,60	5,24	7,00	0,69	5,54
1958	0,85	0,41	0,03	4,36	15,38	3,79	3,89	5,09	3,80	12,49	6,21	1,83	4,84
1959	1,55	0,47	4,77	19,23	13,18	0,11	0,01	-0,65	-0,73	7,36	19,97	11,92	6,43
1960	6,90	1,71	0,91	10,56	10,22	3,74	15,76	5,12	4,57	8,22	13,62	6,67	7,33
1961	2,24	1,37	6,83	9,86	7,87	1,16	0,89	1,66	6,00	20,08	17,81	1,40	6,43
1962	2,23	1,96	1,08	11,05	24,07	1,59	3,44	10,06	7,10	3,67	8,32	2,01	6,38
1963	0,81	0,24	0,37	9,52	21,38	2,43	2,30	13,04	11,91	8,68	9,35	1,50	6,80
1964	0,75	0,31	0,76	7,13	7,16	6,16	5,54	3,38	4,26	23,31	3,75	5,96	5,71
1965	1,73	0,86	1,13	13,44	15,54	10,67	5,13	7,43	25,76	2,56	1,86	1,22	7,28
1966	0,86	1,27	1,63	2,11	37,49	2,88	0,76	7,18	3,56	9,34	13,41	6,29	7,23
1967	2,16	0,92	7,76	14,17	29,38	5,93	1,91	3,78	8,24	17,84	18,06	3,17	9,44
1968	1,65	1,67	4,25	17,94	11,72	2,43	5,23	0,18	1,44	10,20	6,91	2,07	5,48
1969	2,55	1,54	0,78	10,87	23,58	4,12	0,86	0,22	1,83	2,87	4,42	1,92	4,63
1970	1,17	0,34	1,78	5,43	17,93	1,66	11,13	5,10	6,42	7,14	12,56	5,00	6,30
1971	3,37	3,39	2,76	12,65	19,97	2,79	2,32	2,58	0,13	2,11	2,31	4,08	4,87

År	Jan	Feb	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des	Gj.snitt
1972	2,00	1,91	1,48	14,41	17,00	12,63	3,86	9,87	2,29	0,52	1,21	6,87	6,17
1973	1,67	1,83	2,91	6,54	11,67	2,05	2,67	2,06	2,63	2,84	2,59	1,63	3,42
1974	3,56	6,10	2,50	13,59	3,67	2,15	3,66	0,52	17,03	8,06	10,96	4,21	6,33
1975	6,69	2,22	1,51	7,59	16,42	-0,23	-0,34	0,31	4,03	7,38	5,52	2,64	4,48
1976	0,70	0,13	0,39	7,56	6,75	0,06	-0,25	-0,94	0,52	11,25	11,96	2,45	3,38
1977	1,67	1,12	3,04	7,73	32,25	8,11	2,62	0,92	3,69	5,65	12,38	2,08	6,77
1978	1,85	2,03	3,47	10,40	22,25	2,74	7,87	4,50	3,70	3,74	1,68	1,58	5,49
1979	0,66	0,57	1,77	9,33	22,65	3,56	1,01	8,70	2,42	5,42	5,66	2,98	5,40
1980	1,28	1,03	0,78	10,42	13,49	6,09	3,63	1,27	5,58	10,50	3,44	2,97	5,04
1981	1,22	0,99	1,60	9,01	12,35	4,50	4,33	0,27	1,92	7,93	6,33	2,37	4,40
1982	1,03	1,28	2,57	14,89	18,20	1,52	0,29	0,86	7,11	9,52	10,56	4,68	6,04
1983	2,47	1,34	0,93	16,26	20,38	2,40	-0,34	0,15	7,31	12,00	1,74	1,32	5,50
1984	2,09	1,62	0,80	13,55	10,58	2,67	3,03	0,96	5,21	15,76	10,04	11,94	6,52
1985	2,17	0,63	0,72	5,49	21,38	4,02	8,38	14,07	14,88	3,73	4,16	2,33	6,83
1986	0,61	-0,91	0,97	5,89	25,39	2,56	-0,39	7,45	2,79	7,67	11,83	7,40	5,94
1987	0,33	0,88	2,09	10,45	16,55	10,54	1,29	1,29	7,77	24,94	12,00	1,42	7,46
1988	5,19	5,49	2,35	8,08	33,39	3,75	6,68	15,92	11,81	12,09	1,73	0,71	8,93
1989	2,56	3,23	8,49	15,40	5,00	0,90	0,05	6,42	1,08	2,21	11,05	1,87	4,86
1990	4,17	20,65	5,02	10,58	1,63	2,23	2,68	2,60	2,80	7,82	4,63	4,06	5,74
1991	2,48	1,50	4,88	13,55	3,90	5,17	3,16	1,53	0,71	6,43	13,16	3,54	5,00
1992	-0,14	0,95	7,27	8,42	8,95	0,25	0,40	4,15	6,34	1,83	8,11	10,84	4,78
1993	0,79	1,03	3,18	11,08	6,57	-1,50	3,28	3,18	4,58	6,50	5,29	7,03	4,25
1994	3,57	1,38	2,04	17,40	13,45	1,17	0,94	5,75	7,82	3,77	5,18	7,15	5,80
1995	5,47	5,99	4,39	9,57	23,43	11,20	2,97	0,18	2,70	4,02	1,71	0,41	6,00
1996	0,68	0,31	-0,04	7,35	9,13	2,69	2,80	0,31	3,18	11,74	7,93	4,17	4,19
1997	0,87	2,26	3,93	5,46	10,63	2,68	2,23	-0,07	4,95	5,27	7,47	4,94	4,22
1998	5,90	3,67	3,82	14,94	8,99	6,93	6,56	4,13	8,11	9,69	3,50	1,92	6,51
1999	4,65	2,97	4,09	22,22	14,80	10,02	4,53	0,17	8,01	8,02	4,88	4,03	7,37
2000	4,35	3,02	1,98	12,37	8,07	3,99	3,54	4,11	5,32	23,40	42,44	12,76	10,45
2001	3,17	2,01	1,46	14,76	11,06	2,87	1,70	3,23	6,11	15,28	3,32	2,59	5,63
2002	3,72	6,56	3,06	10,44	12,87	2,24	6,02	0,77	1,21	5,99	4,10	1,49	4,87
2003	2,70	3,18	2,66	13,63	18,62	2,15	2,50	1,15	3,09	3,33	6,87	6,28	5,51
2004	2,78	1,95	4,16	17,79	4,99	3,43	2,14	0,79	10,42	11,64	3,95	4,61	5,72
2005	6,60	1,24	1,27	6,42	7,61	2,11	1,66	2,36	3,44	7,46	19,02	5,00	5,35
2006	3,51	1,56	1,60	11,32	18,19	0,32	1,10	5,58	3,85	11,49	21,42	11,05	7,58
gj. snitt	2,40	1,82	2,36	10,63	15,76	4,23	3,25	4,84	5,53	7,82	7,76	4,22	5,89

B Beregnede vannføringsverdier og drikkevannsproduksjon

# Number of reservoirs: 1									
Reservoir number: 1									
Area: 3710000.0									
Initial reservoir storage: 9.0E+6									
Maximum reservoir storage: 9.34E+6									
Minimum reservoir outflow: 0.5									
Maximum reservoir outflow: ingen									
Water production 1978: 2.90 3.21 2.90 2.93 2.83 2.93 2.55 2.55 2.54 2.52 2.60 2.52									
Water production 1979: 2.90 3.21 2.90 2.93 2.83 2.93 2.55 2.55 2.64 2.61 2.70 2.61									
Water production 1980: 2.76 2.95 2.76 2.99 2.90 2.99 2.72 2.72 2.81 2.79 2.88 2.79									
Water production 1981: 2.74 3.03 2.74 2.74 2.65 2.74 2.59 2.59 2.67 2.59 2.67 2.59									
Water production 1982: 2.64 2.92 2.64 2.82 2.73 2.82 2.95 2.95 3.05 2.84 2.94 2.84									
Water production 1983: 2.79 3.09 2.79 2.95 2.86 2.95 2.90 2.90 3.00 2.75 2.84 2.75									
Water production 1984: 2.73 2.92 2.73 2.97 2.87 2.97 2.75 2.75 2.84 2.74 2.83 2.74									
Water production 1985: 2.82 3.12 2.82 2.80 2.71 2.80 2.82 2.82 2.92 2.85 2.94 2.85									
Water production 1986: 2.98 3.30 2.98 3.25 3.14 3.25 3.02 3.02 3.12 2.82 2.91 2.82									
Water production 1987: 3.25 3.59 3.25 3.33 3.23 3.33 2.99 2.99 3.09 2.79 2.89 2.79									
Water production 1988: 2.81 2.69 2.61 2.77 2.92 3.48 2.94 3.03 2.97 2.83 3.00 3.10									
Water production 1989: 3.03 2.95 2.84 2.82 2.91 3.16 3.13 2.92 2.80 2.73 2.72 2.83									
Water production 1990: 2.91 2.94 3.00 2.99 3.28 3.18 2.87 2.98 2.83 2.79 2.92 3.18									
Water production 1991: 3.19 3.23 3.19 3.29 3.57 3.32 3.03 3.36 3.43 3.41 3.49 3.37									
Water production 1992: 3.45 3.38 3.41 3.32 3.61 3.97 3.29 3.28 3.35 2.82 2.70 2.95									
Water production 1993: 3.17 3.37 3.48 3.37 3.50 3.61 3.26 3.39 3.43 3.28 3.28 3.38									
Water production 1994: 3.56 3.78 3.99 3.83 3.94 3.92 4.24 3.67 3.33 3.24 2.98 2.81									
Water production 1995: 2.85 2.93 2.88 2.66 2.98 2.95 3.08 3.50 3.24 3.16 3.04 2.99									
Water production 1996: 3.23 3.22 3.20 2.84 2.74 2.72 2.96 3.09 2.97 2.81 3.05 2.79									
70% tilsig									
Januar									
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0									
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0									
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0									

0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Februar				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Mars				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
April				
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9
Mai				
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
September				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1

Oktober
0.5 0.5 0.5 1.5 3.6
0.5 0.5 0.5 1.5 3.6
0.5 0.5 0.5 1.5 3.6
0.5 0.5 0.5 1.5 3.6
0.5 0.5 0.5 1.5 3.6
November
0.5 0.5 0.5 1.0 1.5
0.5 0.5 0.5 1.0 1.5
0.5 0.5 0.5 1.0 1.5
0.5 0.5 0.5 1.0 1.5
0.5 0.5 0.5 1.0 1.5
Desember
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
100% tilsig (normaltilsig)
Januar
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
Februar
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
0.5 0.5 0.5 1.0 1.0
Mars
0.5 0.5 0.5 1.0 1.9
0.5 0.5 0.5 1.0 1.9
0.5 0.5 0.5 1.0 1.9
0.5 0.5 0.5 1.0 1.9
0.5 0.5 0.5 1.0 1.9
April
0.5 0.5 0.75 3.3 7.7
0.5 0.5 0.75 3.3 7.7
0.5 0.5 0.75 3.3 7.7
0.5 0.5 0.75 3.3 7.7
0.5 0.5 0.75 3.3 7.7
Mai
0.5 0.5 0.75 1.5 7.2
0.5 0.5 0.75 1.5 7.2
0.5 0.5 0.75 1.5 7.2
0.5 0.5 0.75 1.5 7.2
0.5 0.5 0.75 1.5 7.2
Juni

0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
September				
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
November				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Desember				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
130% tilsig				
Januar				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Februar				
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0

0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
Mars				
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
April				
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
Mai				
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
September				
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5

0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
November				
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
Desember				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0

C Parametere

C.1 HBV - soil parameters

Type	no.	FC	BETA	FCDEL	INFMAX	KUZ	ALFA	PERC	KLZ	DRAW
OPEN	0	.300000000	.500000000	1.00000000	50.0	.145163000	3.00000000	.005043051	1.00000000	0.0
BOG	1	.300000000	.500000000	1.00000000	50.0	.003233306	3.00000000	.001671870	.013611056	0.0
FOREST	2	.128854800	.500000000	1.00000000	50.0	.525133100	1.19408200	.003931526	.078912744	0.0
ALPINE	3	.050000000	.500000000	1.00000000	50.0	5.00000000	1.00000000	.010000000	.214302900	0.0
HEATHER	4	.054826270	.851579000	1.00000000	50.0	5.00000000	1.00000000	9.84002E-4	.102342500	0.0
BEDROCK	5	.300000000	.500000000	1.00000000	50.0	.145163000	3.00000000	.005043051	1.00000000	0.0
GLACIER	6	.300000000	.500000000	1.00000000	50.0	.145163000	3.00000000	.005043051	1.00000000	0.0

C.2 HBV - landsurface parameters

Type	no.	INTER_MAX	EPOT_PAR	WET_PER_CORR	ACC_TEMP	MELT_TEMP	SNOW_MELT_RATE	ICE_MELT_RATE	FREEZE_EFF	MAX_REL	ALBEDO	CV_SNOW
OPEN	0	.001356706	3.45404E-4	0.8	0.0	-1.00000000	.010000000	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0
BOG	1	.001374947	.001000000	0.8	0.0	.643504000	.010000000	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0
FOREST	2	1.00000E-4	1.93335E-4	0.8	0.0	.781931000	.003143558	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0
ALPINE	3	.003000000	2.35425E-4	0.8	0.0	-.21812200	.001676690	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0
HEATHER	4	.001952777	1.92842E-4	0.8	0.0	.140648000	.001694065	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0
BEDROCK	5	.001356706	3.45404E-4	0.8	0.0	-1.00000000	.010000000	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0
GLACIER	6	.001356706	3.45404E-4	0.8	0.0	-1.00000000	.010000000	5.0e-3	0.01	0.08	0.90	0.0

C.3 Parametersett som er tilpasset Bjørnegårdssvingen

Number of seconds per time step	SECONDS_Timestep	: 86400
Number of precipitation series	NUM_PREC_SERIES	: 3
Number of temperature series	NUM_TEMP_SERIES	: 2
Prec. grad. low per 100 m	PREC_GRAD_LOW	: 1.20065600
Prec. grad. high per 100 m	PREC_GRAD_HIGH	: 1.0
Altitude for 50 % reduction	GRAD_CHANGE_ALT	: 0
Prec. correction for rain	PREC_CORR_RAIN	: 1.0
Additional prec. corr. for snow	PREC_CORR_SNOW	: 1.0
Temp. lapse rate dry days	LAPSE_DRY	: -.90000000
Temp. lapse rate precip. days	LAPSE_WET	: -.45000000
Lake temperature memory (days)	DAY_TEMP_MEMORY	: 30.0
Lake evaporation constant	LAKE_EPOT_PAR	: 3.38335E-5
Rating curve constant	KLAKE	: .030000000
Rating curve saddle point (m)	DELTA_LEVEL	: 0.0
Rating curve exponent	NLAKE	: 1.0
Initial soil moisture	INITIAL_SOIL_MOISTURE	: .10
Initial upper zone	INITIAL_UPPER_ZONE	: 0.0
Initial lower zone	INITIAL_LOWER_ZONE	: .05
Initial lake temperature	INITIAL_LAKE_TEMP	: 0.0
Initial lake level	INITIAL_LAKE_LEVEL	: 0.0
Initial snow storage	INITIAL_SNOW_STORAGE	: 0.0
Initial total reservoir	INITIAL_TOTAL_RESERVOIR	: 0.0
Day no. for zero snow storage	DAY_SNOW_ZERO	: 0

C.4 Parametersett som er tilpasset Maridalsvassdraget

Number of seconds per time step	SECONDS_Timestep	: 86400
Number of precipitation series	NUM_PREC_SERIES	: 3
Number of temperature series	NUM_TEMP_SERIES	: 2
Prec. grad. low per 100 m	PREC_GRAD_LOW	: 1.20065600
Prec. grad. high per 100 m	PREC_GRAD_HIGH	: 1.0
Altitude for 50 % reduction	GRAD_CHANGE_ALT	: 0
Prec. correction for rain	PREC_CORR_RAIN	: 0.85
Additional prec. corr. for snow	PREC_CORR_SNOW	: 1.0
Temp. lapse rate dry days	LAPSE_DRY	: -.90000000
Temp. lapse rate precip. days	LAPSE_WET	: -.45000000
Lake temperature memory (days)	DAY_TEMP_MEMORY	: 30.0
Lake evaporation constant	LAKE_EPOT_PAR	: 3.38335E-5
Rating curve constant	KLAKE	: .030000000
Rating curve saddle point (m)	DELTA_LEVEL	: 0.0
Rating curve exponent	NLAKE	: 1.0
Initial soil moisture	INITIAL_SOIL_MOISTURE	: .10
Initial upper zone	INITIAL_UPPER_ZONE	: 0.0
Initial lower zone	INITIAL_LOWER_ZONE	: .05
Initial lake temperature	INITIAL_LAKE_TEMP	: 0.0
Initial lake level	INITIAL_LAKE_LEVEL	: 0.0
Initial snow storage	INITIAL_SNOW_STORAGE	: 0.0
Initial total reservoir	INITIAL_TOTAL_RESERVOIR	: 0.0
Day no. for zero snow storage	DAY_SNOW_ZERO	: 0

D Simuleringer med tappestrategier

D.1 Reduksjon av vintertapping i kapittel 6.4.1

Behandlet i kapittel 6.4.1 Reduksjon av vintervannføring									
Tapping med minstevannføring 0,5 m ³ /s i vinterperioden (01.11-31.03)									
Normal minstevannføring i dette tidsrommet er 1,0 m ³ /s									
# Number of reservoirs: 1									
Reservoir number: 1									
Area: 3710000.0									
Initial reservoir storage: 9.0E+6									
Maximum reservoir storage: 9.34E+6									
Minimum reservoir outflow: 0.5									
Maximum reservoir outflow: ingen grense									
Water production 1978: 2.90 3.21 2.90 2.93 2.83 2.93									
2.55 2.55 2.54 2.52 2.60 2.52									
Water production 1979: 2.90 3.21 2.90 2.93 2.83 2.93									
2.55 2.55 2.64 2.61 2.70 2.61									
Water production 1980: 2.76 2.95 2.76 2.99 2.90 2.99									
2.72 2.72 2.81 2.79 2.88 2.79									
Water production 1981: 2.74 3.03 2.74 2.74 2.65 2.74									
2.59 2.59 2.67 2.59 2.67 2.59									
Water production 1982: 2.64 2.92 2.64 2.82 2.73 2.82									
2.95 2.95 3.05 2.84 2.94 2.84									
Water production 1983: 2.79 3.09 2.79 2.95 2.86 2.95									
2.90 2.90 3.00 2.75 2.84 2.75									
Water production 1984: 2.73 2.92 2.73 2.97 2.87 2.97									
2.75 2.75 2.84 2.74 2.83 2.74									
Water production 1985: 2.82 3.12 2.82 2.80 2.71 2.80									
2.82 2.82 2.92 2.85 2.94 2.85									
Water production 1986: 2.98 3.30 2.98 3.25 3.14 3.25									
3.02 3.02 3.12 2.82 2.91 2.82									
Water production 1987: 3.25 3.59 3.25 3.33 3.23 3.33									
2.99 2.99 3.09 2.79 2.89 2.79									
Water production 1988: 2.81 2.69 2.61 2.77 2.92 3.48									
2.94 3.03 2.97 2.83 3.00 3.10									
Water production 1989: 3.03 2.95 2.84 2.82 2.91 3.16									
3.13 2.92 2.80 2.73 2.72 2.83									
Water production 1990: 2.91 2.94 3.00 2.99 3.28 3.18									
2.87 2.98 2.83 2.79 2.92 3.18									
Water production 1991: 3.19 3.23 3.19 3.29 3.57 3.32									
3.03 3.36 3.43 3.41 3.49 3.37									
Water production 1992: 3.45 3.38 3.41 3.32 3.61 3.97									
3.29 3.28 3.35 2.82 2.70 2.95									
Water production 1993: 3.17 3.37 3.48 3.37 3.50 3.61									
3.26 3.39 3.43 3.28 3.28 3.38									
Water production 1994: 3.56 3.78 3.99 3.83 3.94 3.92									
4.24 3.67 3.33 3.24 2.98 2.81									

Water production 1995:	2.85	2.93	2.88	2.66	2.98	2.95
3.08	3.50	3.24	3.16	3.04	2.99	
Water production 1996:	3.23	3.22	3.20	2.84	2.74	2.72
2.96	3.09	2.97	2.81	3.05	2.79	
70 % tilsig						
Januar						
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
Februar						
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
Mars						
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
April						
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	3.9		
Mai						
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9		
0.5	0.5	0.75	1.5	2.9		
Juni						
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
Juli						
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5		
August						
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5		
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5		

0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
September				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
November				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
Desember				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
100 % tilsig (normaltilsig)				
Januar				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Februar				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mars				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.9
0.5	0.5	0.5	0.5	1.9
0.5	0.5	0.5	0.5	1.9
0.5	0.5	0.5	0.5	1.9
0.5	0.5	0.5	0.5	1.9
April				
0.5	0.5	0.75	3.3	7.7
0.5	0.5	0.75	3.3	7.7
0.5	0.5	0.75	3.3	7.7

0.5	0.5	0.75	3.3	7.7
0.5	0.5	0.75	3.3	7.7
Mai				
0.5	0.5	0.75	1.5	7.2
0.5	0.5	0.75	1.5	7.2
0.5	0.5	0.75	1.5	7.2
0.5	0.5	0.75	1.5	7.2
0.5	0.5	0.75	1.5	7.2
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
September				
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
November				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Desember				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

130 % tilsig				
Januar				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Februar				
0.5	0.5	0.5	0.5	2.0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.0
Mars				
0.5	0.5	0.5	0.5	3.9
0.5	0.5	0.5	0.5	3.9
0.5	0.5	0.5	0.5	3.9
0.5	0.5	0.5	0.5	3.9
0.5	0.5	0.5	0.5	3.9
April				
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
Mai				
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
0.5	0.5	0.75	2.8	11.5
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
0.5	0.5	0.5	0.75	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
September				

0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
November				
0.5	0.5	0.5	0.5	3.1
0.5	0.5	0.5	0.5	3.1
0.5	0.5	0.5	0.5	3.1
0.5	0.5	0.5	0.5	3.1
0.5	0.5	0.5	0.5	3.1
Desember				
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

D.2 Endring av styringskurve i kapittel 6.4.2

# Number of reservoirs: 1											
Reservoir number: 1											
Area: 3710000.0											
Initial reservoir storage: 9.0E+6											
Maximum reservoir storage: 9.34E+6											
Minimum reservoir outflow: 0.5											
Maximum reservoir outflow: ingen											
Water production 1978:											
2.55	2.55	2.54	2.52	2.60	2.52	2.90	3.21	2.90	2.93	2.83	2.93
Water production 1979:											
2.55	2.55	2.64	2.61	2.70	2.61	2.90	3.21	2.90	2.93	2.83	2.93
Water production 1980:											
2.72	2.72	2.81	2.79	2.88	2.79	2.76	2.95	2.76	2.99	2.90	2.99
Water production 1981:											
2.59	2.59	2.67	2.59	2.67	2.59	2.74	3.03	2.74	2.74	2.65	2.74
Water production 1982:											
2.95	2.95	3.05	2.84	2.94	2.84	2.64	2.92	2.64	2.82	2.73	2.82
Water production 1983:											
2.90	2.90	3.00	2.75	2.84	2.75	2.79	3.09	2.79	2.95	2.86	2.95
Water production 1984:											
2.75	2.75	2.84	2.74	2.83	2.74	2.73	2.92	2.73	2.97	2.87	2.97
Water production 1985:											
2.82	2.82	2.92	2.85	2.94	2.85	2.82	3.12	2.82	2.80	2.71	2.80
Water production 1986:											
3.02	3.02	3.12	2.82	2.91	2.82	2.98	3.30	2.98	3.25	3.14	3.25
Water production 1987:											
2.99	2.99	3.09	2.79	2.89	2.79	3.25	3.59	3.25	3.33	3.23	3.33
Water production 1988:											
2.94	3.03	2.97	2.83	3.00	3.10	2.81	2.69	2.61	2.77	2.92	3.48
Water production 1989:											
3.13	2.92	2.80	2.73	2.72	2.83	3.03	2.95	2.84	2.82	2.91	3.16
Water production 1990:											
2.87	2.98	2.83	2.79	2.92	3.18	2.91	2.94	3.00	2.99	3.28	3.18
Water production 1991:											
3.03	3.36	3.43	3.41	3.49	3.37	3.19	3.23	3.19	3.29	3.57	3.32
Water production 1992:											
3.29	3.28	3.35	2.82	2.70	2.95	3.45	3.38	3.41	3.32	3.61	3.97
Water production 1993:											
3.26	3.39	3.43	3.28	3.28	3.38	3.17	3.37	3.48	3.37	3.50	3.61
Water production 1994:											
4.24	3.67	3.33	3.24	2.98	2.81	3.56	3.78	3.99	3.83	3.94	3.92
Water production 1995:											
3.08	3.50	3.24	3.16	3.04	2.99	2.85	2.93	2.88	2.66	2.98	2.95
Water production 1996:											
2.96	3.09	2.97	2.81	3.05	2.79	3.23	3.22	3.20	2.84	2.74	2.72
70% tilsig											
Januar											
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0							

0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Februar				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Mars				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
April				
0.5	0.5	0.5	1.5	3.9
0.5	0.5	0.5	1.5	3.9
0.5	0.5	0.5	1.5	3.9
0.5	0.5	0.5	1.5	3.9
0.5	0.5	0.5	1.5	3.9
Mai				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.9
0.5	0.5	0.5	1.5	2.9
0.5	0.5	0.5	1.5	2.9
0.5	0.5	0.5	1.5	2.9
0.5	0.5	0.5	1.5	2.9
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
September				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1

0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
0.5	0.5	0.5	1.5	2.1
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
0.5	0.5	0.5	1.5	3.6
November				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.5
0.5	0.5	0.5	1.0	1.5
0.5	0.5	0.5	1.0	1.5
0.5	0.5	0.5	1.0	1.5
0.5	0.5	0.5	1.0	1.5
Desember				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
100% tilsig (normaltilsig)				
Januar				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Februar				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Mars				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.9
0.5	0.5	0.5	1.0	1.9
0.5	0.5	0.5	1.0	1.9
0.5	0.5	0.5	1.0	1.9
0.5	0.5	0.5	1.0	1.9
April				
0.5	0.5	0.5	3.3	7.7
0.5	0.5	0.5	3.3	7.7
0.5	0.5	0.5	3.3	7.7
0.5	0.5	0.5	3.3	7.7
0.5	0.5	0.5	3.3	7.7
Mai				
0.5	0.5	0.5	1.5	7.2
0.5	0.5	0.5	1.5	7.2
0.5	0.5	0.5	1.5	7.2
0.5	0.5	0.5	1.5	7.2

0.5	0.5	0.5	1.5	7.2
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
0.5	0.5	0.5	1.5	1.5
September				
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
0.5	0.5	0.5	1.5	4.1
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
0.5	0.5	0.5	1.5	6.2
November				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
Desember				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
130% tilsig				
Januar				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0

Februar				
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
Mars				
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
0.5	0.5	0.5	1.0	3.9
April				
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
0.5	0.5	2.7	7.1	11.6
Mai				
0.5	0.5	0.5	2.8	11.5
0.5	0.5	0.5	2.8	11.5
0.5	0.5	0.5	2.8	11.5
0.5	0.5	0.5	2.8	11.5
0.5	0.5	0.5	2.8	11.5
Juni				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
Juli				
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
August				
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
0.5	0.5	0.5	1.5	2.6
September				
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
0.5	0.5	0.5	1.7	6.2
Oktober				
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5

0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
November				
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
0.5	0.5	0.5	1.0	3.1
Desember				
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	1.0	1.0