

# Masteroppgave i vassdragsteknikk

Sammenlikning av små elvekraftverk og  
kraftverk med magasin

**Sigrid Jacobsen Lofthus**

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Ivar Wangensteen, ELKRAFT

Medveileder: Knut Alfredsen, NTNU, institutt for vann og miljøteknikk  
Grethe Holm Midttømme, NVE

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



**NTNU**  
**NORGES TEKNISK NATURVITENSKAPLIGE UNIVERSITET**  
**Institutt for Vann- og miljøteknikk**

Masteroppgåve i vassdragsteknikk

Kandidat: **Sigrid Jacobsen Lofthus**

Tema: **Samanlikning av småkraft og kraftverk med magasin.**

### **1. Bakgrunn**

Bygging av småkraft har auka kraftig i Norge det siste tiåret og har generelt vore oppfatta som mindre kontroversielt enn større kraftverk med magasinering av vatn. Lite er gjort på å samanlikne desse to kraftverkstypene når det gjeld nytteverdi og miljøpåverknad. Det er i den siste tida kome opp ein diskusjon om dette temaet, og denne oppgåva vil freiste å gjere ei samanlikning av ei utbygging av eit større kraftverk med magasin og fleire småkraftverk i same vassdraget. Studieområdet vert Kvannevatn i Mo i Rana der det i dag er bygd tre småkraftverk, men der det og var planar om eit kraftverk med magasin med utgangspunkt i ein sjø som tidlegare var regulert som drikkevatn.

### **2. Arbeidsoppgåver**

Oppgåva vil ha følgjande hovuddelar:

1. Samle inn data om tilsig, regulering og turbin for det planlagde Kvannevatn kraftverk. Med utgangspunkt i dette sette opp programmet nMag for feltet og simulere produksjonen i kraftverket slik som det originalt var føreslått bygd med tanke på ei teknisk – økonomisk vurdering av kraftverket.
2. Utføre ei vurdering av miljøkonsekvensar av dette inngrepet (KU) og vurdere kva tiltak ein må gjere for å hindre uønska miljøeffekter. Dersom tiltaka viser seg å innebere ei anna miljøbasert vassføring, så skal denne leggst inn i nMag og nye simuleringa skal utførast.
3. Klargjere data frå dei tre småkraftverka (frå prosjektoppgåve) og eventuelt gjere naudsynte oppdateringar av desse. Deretter skal data frå småkraftverket samanliknast med data frå 1) og 2) med tanke på:
  - a. Produksjon og fordeling av produksjon over året
  - b. Økonomi
  - c. Miljøverknad og effekt av tiltak
  - d. Naturinngrep
  - e. Samfunnsnytte

4. Vurdering av småkraft mot større kraftverk med utgangspunkt i Kvannevatn. Vidare ei vurdering av kor vidt resultata kan generaliserast og kva som eventuelt må til for å gjere ei generell vurdering.
5. Til slutt skal det gjerast ei generell vurdering av minstevassføring og definisjon av denne i småkraftverk. Korleis måler vi effekt av denne og får vi noko ut av desse sleppa miljømessig?

### **3. Rettleiing, data og informasjon**

Faglærer vert professor Knut Alfredsen ved institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU saman med Professor II Grethe Holm Middtømme, NTNU. Kandidaten er elles ansvarleg for innsamling, kontroll og bruk av data. Hjelp frå dei ovanfor nemnde personane eller andre må refererast i rapporten.

### **4. Rapport**

Struktur og oppsett av rapporten er viktig. Gå utifrå at det målgruppa er teknisk personell på seniornivå.

Rapporten skal innehalde eit samandrag som gir lesaren informasjon om bakgrunn, framgangsmåte og hovudresultata.

Rapporten skal ha innhaldsliste og referanseliste. Referanselista skal vere formatert etter ein eksisterande standard.

Denne oppgåveteksta skal vere inkludert i rapporten.

Formatet på rapporten skal vere A4 og den skal vere laga ved hjelp av eit tekstbehandlingssystem. Alle figurar, kart og bilete som er inkludert i rapporten skal vere av god kvalitet.

Kandidaten skal inkludere ei signert fråsegn som seier at arbeidet som er presentert er eins eige, og at alle bidrag frå andre kjelder er identifiserte gjennom referanser eller på andre måtar.

Det skal og lagast ein 1-sides poster i A3 format som presenterer hovudresultata frå oppgåva.

**Frist for innlevering er 25. juni 2011.**

Institutt for vann og miljøteknikk, NTNU

Knut Alfredsen  
Professor

## SAMMENDRAG

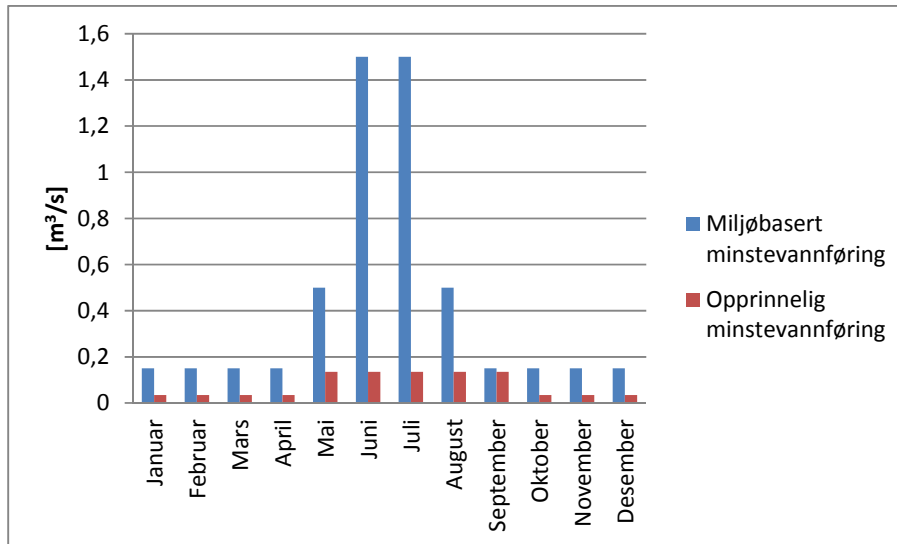
Det siste tiåret har småkraftutbygginger økt kraftig. Små kraftverk har generelt blitt oppfattet som mindre kontroversielt enn større magasinkraftverk, men lite er gjort for å sammenligne disse to kraftverkstypene når det gjelder nytteverdi og miljøpåvirkning.

Målet med denne rapporten var å gjøre en sammenligning av et større magasinkraftverk og flere små elvekraftverk med tanke på produksjon, økonomi, naturinngrep, miljøvirkning og samfunnsnytte. Videre var det ønskelig å gjøre en mer generell vurdering av små kraftverk og et større magasinkraftverk, med utgangspunkt i de analyserte kraftverkene.

Studieområdet var Kvannevatn og Sagelva i Rana kommune, der det i dag står tre små elvekraftverk, Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II. Minikraft AS, som er eier av disse elvekraftverkene, søkte tidligere om å få bygge et større magasinkraftverk. Sammenligningen tar utgangspunkt i dagens små elvekraftverk og et tenkt tilfelle med kun det planlagte magasinkraftverket.

Analysen av magasinkraftverket ble basert på dataprogrammet nMAG2004 som er en simuleringsmodell for drift og kraftproduksjon i vannkraftsystemer. Simuleringene forutsetter informasjon om blant annet magasin, kraftstasjoner, energimarkedet, restriksjonsdata, operasjonsstrategi og hydrologiske data. De hydrologiske dataene for både magasinkraftverket og de små kraftverkene ble basert på en nærliggende målestasjon, Bredek.

For å strukturere de ulike konsekvensene ved en planlagt magasinkraftutbygging, ble Samla plan-metoden benyttet. Den kategoriserer konsekvensene inn i *primære virkninger*, *fysiske virkninger*, *det levende miljø* og til slutt *brukerinteressene*. Metoden ga også et grunnlag for å fastsette en miljøbasert minstevannføring. Ved å bruke Samla plan-metoden ble fisk og den estetiske opplevelsen av elva vurdert til å være de viktigste verdiene i Sagelva for å sette et miljøbasert krav til minstevannføring. Disse verdiene ville mest sannsynlig ikke blitt ivaretatt ved den minstevannføringen som var planlagt basert på tradisjonelle beregninger til å være 0,035 m<sup>3</sup>/s om vinteren, og 0,135 m<sup>3</sup>/s om sommeren. Kravet til en miljøbasert minstevannføring ble satt ved hjelp av *building block*-metoden som baseres på at hvert definerte behov utgjør en *building block* i vannføringsregimet (Alfredsen, Harby, Linnansaari, & Ugedal, 2011). Figur 1 viser sammenhengen mellom miljøbasert krav til minstevannføring og det opprinnelige kravet som Minikraft AS benyttet i konsesjonssøknaden.



**Figur 1 – Figuren viser opprinnelig krav til minstevannføring basert på tradisjonell metode ved beregning av alminnelig lavvannføring og en gitt prosentandel av middelvannføringen, og krav til minstevannføring basert på en miljømessig vurdering ved hjelp av *building block*-metoden.**

Resultatene fra denne masteroppgaven viser at magasinkraftverket har mulighet til å slippe en miljøbasert vannføring og fortsatt ivareta en lønnsom produksjon. Den miljøbaserte minstevannføringen for magasinkraftverket ble satt til 0,15 m<sup>3</sup>/s fra september til og med april, 0,5 m<sup>3</sup>/s i mai, 1,5 m<sup>3</sup>/s i juni og juli, og 0,5 m<sup>3</sup>/s i august. Denne minstevannføringen ville imidlertid ikke vært forenlig med god produksjon for de små elvekraftverkene. Magasinkraftverket kan også produsere kraft gjennom hele året på grunn av reguleringsmuligheten, noe de tre elvekraftverkene ikke har mulighet til. Det ble derfor konkludert med at magasinkraftverket har større samfunnsnytte enn de tre små kraftverkene med tanke på leveringssikkert.

Basert på studiet av de tre elvekraftverkene og magasinkraftverket i Sagelva kan det videre konkluderes med at man ikke kan bevare viktige verdier i et vassdrag ved å sette et minstevannføringskrav gjennom et standardisert «skrivebords-studie». Siden hvert eneste vassdrag er unikt, er det rimelig å anta at disse verdiene må kartlegges og vurderes spesielt for hvert vassdrag, og at krav til minstevannføring bør settes spesielt ut ifra hvilke verdier som skal ivaretas.

Ut ifra beregninger viste det seg at det opprinnelig planlagte magasinkraftverket ikke var optimalisert, da bare 2-3 meter av en reguleringshøyde på 10 meter ble utnyttet i et normalår. I tillegg ville flomtapet i et normalår være stort. Dette gjorde at sammenligningen av det planlagte magasinkraftverket og de små kraftverkene basert på produksjonen ville bli misvisende, ettersom magasinkraftverket ikke var optimalisert.

På grunn av den dårlige utnyttelsen av magasinet som var planlagt opprinnelig, ble det utført en ny beregning av magasinkraftverket. Denne beregningen optimaliserer ikke magasinkraftverket fullstendig, men var ment til å gi en indikasjon på hvilket potensiale det har. Resultatene fra denne beregningen viste at magasinkraftverket har potensialet til å produsere større mengder kraft enn de tre små elvekraftverkene, men at en optimalisering av magasinkraftverket er nødvendig.

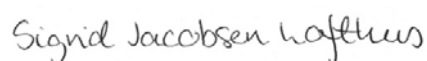
## FORORD

Denne rapporten under navnet «*Sammenligning av små elvekraftverk og kraftverk med magasin*» er et resultat fra avsluttende masteroppgave ved Institutt for vann- og miljøteknikk ved NTNU våren 2012. Jeg har helt siden jeg var liten hatt stor interesse og glede av natur og biologi. Etter jeg begynte å studere ved Energi og Miljø har interessen for kraftproduksjon i sammenheng med miljø vært økende. Jeg var så heldig å komme i kontakt med min nåværende veileder, professor Knut Alfredsen ved Institutt for vann og miljøteknikk, som gjorde det mulig for disse interessene å få utspring i en prosjekt- og masteroppgave. Sammen satte vi sammen en oppgave, med gode innspill fra Grethe Holm Midttømme fra NVE. Dette arbeidet har vært en svært fin avslutning på et 5 år langt studie på Energi og Miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim.

Jeg føler at jeg har lært svært mye gjennom arbeidet med prosjekt- og masteroppgaven. Derfor vil jeg gi en stor takk til Knut Alfredsen for gode innspill, tålmodige forklaringer, gode diskusjoner, alltid tilgjengelighet, samt støtte og oppmuntring gjennom arbeidet. En stor takk til Grethe Holm Midttømme for nyttige råd og innspill og god støtte. Takk til Hans Petter Fjeldstad, professor ved CEDREN, for blant annet inspirerende forelesninger på noen av oppgavens tema. Takk til Geir Magnor Olsen, eier av Minikraft AS, for samarbeidet. Takk til Ånund Killingtveit for raske tilbakemeldinger, innspill og råd knyttet til simuleringene. Videre ønsker jeg å takke folkene ved CEDREN for informasjon fra arbeidet deres og seminarer jeg har fått være med på, blant andre Tor Haakon Bakken, Håkon Sundt og Atle Harby.

En stor takk til min herlige kontorgjeng på El-bygget for diskusjoner, hjelp og en alltid hyggelig atmosfære! Og til slutt, men ikke minst, tusen takk til Ulrik for stor tålmodighet og oppmuntring under dette arbeidet.

Arbeidet som er presentert i denne rapporten er mitt eget, og alle bidrag fra andre kilder er identifiserte gjennom referanser. I tillegg til denne rapporten vil det ligge ved en CD med fullstendig dokumentasjon over resultatene og en poster med kort presentasjon av oppgaven.



---

Sigrid Jacobsen Lofthus



# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>Kapittel 1: Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål .....	4
1.3 Oppbygging av oppgaven .....	4
<b>Kapittel 2: Metode</b> .....	<b>6</b>
2.1 Analyse av magasinkraftverk: nMAG2004 .....	6
2.2 Analyse av små kraftverk .....	6
<b>Kapittel 3: Presentasjon av magasinkraftverket</b> .....	<b>8</b>
3.1 Høringsuttalelser til opprinnelig søknad .....	9
3.2 Data for magasinkraftverket .....	9
3.3 Isdannelse nedstrøms inntak .....	13
<b>Kapittel 4: Resultater for magasinkraftverket</b> .....	<b>16</b>
4.1 Konsekvensutredning av magasinkraftverket .....	16
4.2 Hydrologi: Primære virkninger .....	18
4.2.1 Magasinet .....	18
4.2.2 Vannføring i Sagelva .....	19
4.3 Hydrologi: Fysiske virkninger .....	36
4.3.1 Klima .....	36
4.3.2 Is- og vanntemperatur .....	36
4.3.3 Strøm og Spredning .....	39
4.3.4 Grunnvann .....	40
4.3.5 Erosjon .....	40
4.3.6 Vannkvalitet .....	40
4.4 Hydrologi: Levende miljø .....	40
4.4.1 Strandvegetasjon .....	40
4.4.2 Dyreliv i vann .....	40

4.4.3 Vegetasjon i vann .....	41
4.5 Landskap: Primære virkninger .....	41
4.6 Landskap: Fysiske virkninger .....	42
4.6.1 Arealer .....	42
4.7 Landskap: Levende miljø .....	45
4.7.1 Vegetasjon på land .....	45
4.7.2 Dyreliv på land .....	46
4.8 Hydrologi og landskap: Brukerinteresser .....	48
4.8.1 Naturvern .....	48
4.8.2 Reindrift .....	49
4.8.3 Friluftsliv .....	49
4.8.4 Kulturminner .....	49
4.8.5 Jord- og skogbruk .....	49
4.8.6 Vilt .....	49
4.8.7 Fisk .....	50
4.8.8 Vannforsyning .....	50
4.8.9 Transport .....	50
4.8.10 Flom- og erosjonssikring .....	50
4.9 Mulige avbøtende tiltak .....	51
4.9.1 Magasinet – regulering og slukeevne .....	51
4.9.2 Rørgater og dam – estetisk utforming .....	51
4.9.3 Anleggsveier - regulering .....	51
4.9.4 Sagelva – krav om minstevannføring .....	51
<b>Kapittel 5: Presentasjon av de tre små elvekraftverkene .....</b>	<b>57</b>
5.1 NVEs vurdering av tiltaket .....	58
5.2 Data for de små elvekraftverkene .....	58
<b>Kapittel 6: Sammenligning av magasinkraftverket og elvekraftverkene .....</b>	<b>60</b>
6.1 Magasinkraftverk med opprinnelig krav til minstevannføring og elvekraftverkene .....	60

6.1.1 Produksjon og fordeling av produksjonen over året .....	60
6.1.2 Økonomi.....	64
6.1.3 Naturinngrep.....	66
6.1.4 Miljøvirkninger og effekt av tiltak.....	75
6.1.5 Samfunnsnytte.....	75
6.2 Magasinkraftverk med miljøbasert krav om minstevannføring og elvekraftverkene .....	76
6.2.1 Produksjon og fordeling av produksjonen over året .....	76
6.2.2 Økonomi.....	78
6.2.3 Naturinngrep.....	78
6.2.4 Miljøvirkninger og effekt av tiltak.....	80
6.2.5 Samfunnsnytte.....	81
<b>Kapittel 7: Diskusjon.....</b>	<b>82</b>
7.1 Foreslått miljøbasert krav til minstevannføring.....	82
7.2 Sammenligning av magasinkraftverk og tre små kraftverk.....	84
7.2.1 Ny beregning med styrekurve for magasintapping, fastkraftfordeling og økt slukeevne .....	86
7.3 Vurdering av minstevannføring og definisjonen av denne i små kraftverk.....	95
7.4 Feilkilder.....	97
7.4.1 nMAG2004.....	97
7.4.2 Dimensjonerende målestasjon og skalering.....	97
7.4.3 Beregning av frysestreking.....	97
7.4.4 Miljøbasert krav til minstevannføring.....	100
<b>Kapittel 8: Konklusjon .....</b>	<b>101</b>
8.1 Konklusjoner .....	101
8.2 Videre arbeid.....	102
<b>Litteratur.....</b>	<b>104</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>106</b>
Vedlegg A .....	106

Vedlegg B .....	112
<b>Oversikt over vedlegg på CD.....</b>	<b>113</b>
1. nMAG-filer .....	113
Magasinkraftverk Kvannevatn.set .....	113
Magasinkraftverk med nytt miljøbasert mvf.set .....	113
Opprinnelig mvf og magasin- og fastkraftkurve, ny slukeevne.set.....	113
Miljøbasert mvf og magasin- og fastkraftkurve, ny slukeevne.set .....	113
Bredek.prn .....	113
2. Excel-filer .....	113
IVH-vedlegg .....	113
Isdannelse.xlsx .....	114
Uten utbygging.xlsx.....	114
Magasinkraftverk.xlsx .....	114
Magasinkraftverk med ny mvf.xlsx .....	115
Til sammenligning_magasinkraftverk.xlsx .....	115
Tre små kraftverk.xlsx .....	115
Til sammenligning.xlsx .....	115
Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx.....	116
Økonomi.xlsx.....	116
3. Andre vedlegg.....	116
Foto over eksisterende anlegg i Sagelva.docx .....	116
Virkningsgrad for magasinkraftverk.pdf .....	116

## LISTE OVER TABELLER

Tabell 1 - Oversikt over installert effekt og midlere årsproduksjon for de små kraftverkene og magasinkraftverket. ....	2
Tabell 2 - Oversikt over innholdet i rapporten "Sammenligning av små elvekraftverk og kraftverk med magasin" .....	5
Tabell 3 – Oversikt over data til det planlagte magasinkraftverket (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 09.02.2012). ....	10
Tabell 4 - Oversikt over variablene i formelen som beregner frysestreking (Beltaos, 1995). ....	13
Tabell 5 - Oversikt over variablene i Mannings formel. ....	14
Tabell 6 - Oversikt over data for Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II (Lofthus, 2011). ....	59
Tabell 7 – Oversikt over de tre små kraftverkene og deres midlere årsproduksjon samt inntekt. ....	65
Tabell 8 – Oversikt over inntekt knyttet til fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat for magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring.....	65
Tabell 9 - Arealoversikt knyttet til tilfellet med magasinkraftverk og tilfellet med tre små kraftverk. ....	74
Tabell 10 - Oversikt over inntekt knyttet til fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat for magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring.....	78
Tabell 11 – Oversikt over inntekten fra fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat-ordningen til magasinkraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. ....	90
Tabell 12 - Oversikt over inntekten fra fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat-ordningen til magasinkraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. ....	93
Tabell 13 - Data over vannføringen inn til inntakspunktet til magasinkraftverket i et tilfelle uten regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene. ....	107
Tabell 14 - Data over vannføringen inn til inntakspunktet til magasinkraftverket i et tilfelle med regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene. ....	108
Tabell 15 - Data over vannføringen like nedstrøms utløpet til magasinkraftverket i et tilfelle uten regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene. ....	109

Tabell 16 - Data over vannføringen like oppstrøms utløpet til magasinkraftverket i et tilfelle med regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene. .....	110
Tabell 17 - Data over vannføringen like nedstrøms utløpet til magasinkraftverket. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene.....	111
Tabell 18 - Frysestreking nedstrøms punkt for inntak i et naturlig tilfelle. I vedlagt CD, i filen «Isdannelse.xlsx», finnes en fullstendig oversikt over beregningene.....	112
Tabell 19 - Frysestreking nedstrøms inntak i et tilfelle med regulering. I vedlagt CD, i filen «Isdannelse.xlsx», finnes en fullstendig oversikt over beregningene.....	112

## LISTE OVER FIGURER

Figur 1 – Figuren viser opprinnelig krav til minstevannføring basert på tradisjonell metode ved beregning av alminnelig lavvannføring og en gitt prosentandel av middelvannføringen, og krav til minstevannføring basert på en miljømessig vurdering ved hjelp av <i>building block</i> -metoden. ....	2
Figur 2 - Kart over området hvor Kvannevatn og Sagelva ligger (NVE, 2012a). ....	3
Figur 3 - Kart over planlagt kraftverk i Sagelva med Kvannevatn som reguleringsmagasin. Kartet viser beliggenheten til Kvannevatn, inntaket til det planlagte kraftverket og selve kraftstasjonen (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 09.02.2012). ....	8
Figur 4 - Egentlige og antatt plassering av magasinkraftverket. Fast definerte REGINE-felt er benyttet fra NVE Atlas (NVE, 2012a). ....	12
Figur 5 - Skjematisk illustrering av termene som blir benyttet for å bestemme plasseringen av 0 °C-isotermen, total isproduksjon og tykkelsen til isakkumuleringen og isveksten (Beltaos, 1995). ....	14
Figur 6 - Kartet viser plasseringen av målestasjonen Røvassdalen (79670) (Meteorologisk_Institutt, 2012). ....	15
Figur 7 - Samla plan-metoden. Figuren viser en oversikt over hvordan en konsekvensutredning kan bygges opp og hvilke tema den bør inneholde. Figuren deler virkningene fra et vassdragsinngrep i to primære virkninger, videre inn i fysiske virkninger, levende miljø og til slutt virkninger på brukerinteressene (Roser Casas-Mulet, stipendiat, Institutt for vann- og miljøteknikk, forelesning i emnet Environmental Impact Assessment of Hydropower, 06.09.2011). ....	17
Figur 8 - Magasinnivået for Kvannevatn i tilfelle med et magasinkraftverk med HRV lik 479 og LRV lik 469. Dataene er generert via nMAG2004, og basert på en vannføringsserie fra Bredek målestasjon som er skalert etter REGINE-felt inndelingen på NVE Atlas. ....	18
Figur 9 - Vannføringen ved inntaket til magasinkraftverket i et tilfelle <i>uten</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000. ....	20
Figur 10 - Vannføring like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket. Denne vannføringen består av minstevannføringen og flomtap fra magasinet. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000, og er basert på fast definerte REGINE-felt inndeling på NVE Atlas og Bredek som måleserie. Dataene er generert via nMAG2004. ....	21
Figur 11 - Median-vannføringen for et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle uten regulering, i punktet like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket. . Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Grafen for magasinkraftverket er generert via nMAG2004. ....	22

Figur 12 - Variasjonen i vannføringen like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle <i>uten</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. ....	23
Figur 13 - Variasjonen i vannføringen like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle <i>med</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. ....	24
Figur 14 – 1-dags-, 3-dags- og 7-dags minimum og maksimumsverdier for et tilfelle med og uten en regulering av Kvannevatn i punktet for inntak til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. ....	25
Figur 15 - Vannføringen like ovenfor magasinkraftverkets utløp i et tilfelle <i>uten</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000. ....	26
Figur 16 - Vannføringen like ovenfor magasinkraftverkets utløp. Denne vannføringen består av et lokalt tilsig, minstevannføring og flomtap fra magasinet. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000, og er basert på fast definerte REGINE-felt inndeling på NVE Atlas og Bredek som måleserie. Dataene er generert via nMAG2004. ....	27
Figur 17 - Median-vannføringen for et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle uten regulering, i punktet like oppstrøms utløpet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Grafen for magasinkraftverket er generert via nMAG2004. ....	28
Figur 18 - Variasjonen i vannføringen like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle <i>uten</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.....	29
Figur 19 - Variasjonen i vannføringen like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle <i>med</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.....	30
Figur 20 - 1-dags-, 3-dags- og 7-dags minimum og maksimumsverdier for et tilfelle med og uten en regulering av Kvannevatn i punktet like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.....	31
Figur 21 - Vannføringen nedstrøms utløpet til magasinkraftverket. Vannføringen består av minstevannføringen, flomtap, lokalt tilsig og produksjonsvannføringen. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000, og er basert på fast definerte REGINE-felt inndeling på NVE Atlas og Bredek som måleserie. Dataene er generert via nMAG2004. ....	32
Figur 22 - Median-vannføringen for et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle uten regulering, i punktet like oppstrøms utløpet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra	



1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Grafen for magasinkraftverket er generert via nMAG2004. ....	33
Figur 23 - Variasjonen i vannføringen like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle <i>med</i> regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.....	34
Figur 24 - Figur 25 - 1-dags-, 3-dags- og 7-dags minimum og maksimumsverdier for et tilfelle med og uten en regulering av Kvannevatn i punktet like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. .	35
Figur 26 - Strekning nedstrøms utløpet til Kvannevatn vannføringen i Sagelva vil begynne å fryse i et tilfelle uten utbygging. Se vedlegg B for tabell med tallverdier. ....	37
Figur 27 - Strekning nedstrøms punkt for inntak før vannet i Sagelva vil begynne å fryse i et tilfelle med magasinkraftverk. Se vedlegg B for tabell med tallverdier. ....	38
Figur 28 - Strekning nedstrøms punkt for inntak før vannet i Sagelva vil begynne å fryse i et naturlig tilfelle og et tilfelle med magasinkraftverk. Se vedlegg B for tabell med tallverdier. ....	39
Figur 29 - Kvannevatn, damstedet slik det er idag. Sett mot nordvest (Søvgjarto, 2003). ....	42
Figur 30 - Kart over inngrepsfrie naturområder i Norge (DN, 2012a). ....	44
Figur 31 - Kart over berggrunnen i området rundt Kvannevatn og Sagelva. Området rundt Kvannevatn består av glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein, amfibolitt, mens nedre deler av Sagelva består av kalkspatmarmor, kalkglimmerskifer, kalksilikatgneis og dolomitmarmor i følge DNS naturdatabase (DN, 2012b). ....	45
Figur 32 - Kartet viser at i nordlige deler av Kvannevatn er det et myrområde og ei elv fra Norddalen som renner ut. I sørlige deler av vannet finnes noen flate øyer. Området rundt Kvannevatn er bratt og karrig, og det er relativt lite vegetasjon her, mens i områdene nedover langs Sagelva er vegetasjonen større (NVE, 2012b). ....	46
Figur 33 - Kart over området hvor magasinkraftverket finner sted og hvordan naturvern rammer området (DN, 2012b). ....	48
Figur 34 - Foreslått miljøbasert minstevannføring og naturlig, månedlig, gjennomsnittlig vannføring for utløpet til Kvannevatn. ....	56
Figur 35 - Kart over situasjonen slik den er i dag i Sagelva. Kvannevatn har inntaket sitt øverst i elva, deretter har Sagelva II inntak og til slutt har Sagelva II inntaket sitt. Sagelva I vil altså motta restvannføring fra Kvannevatn Kraftverk i tillegg til sitt lokale tilsig, Sagelva II vil motta driftsvannføring og/eller restvannføring fra Sagelva I i tillegg til sitt lokale tilsig. ....	57
Figur 36 - Produksjonsvannføring for Kvannevatn kraftverk. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». ....	61

Figur 37 - Produksjonsvannføring for Sagelva I. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». .....	61
Figur 38 - Produksjonsvannføring for Sagelva II. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». .....	62
Figur 39 – Den totale produksjonsvannføring til Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II med henholdsvis grønt, blått og rødt skravert areal. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». .....	63
Figur 40 - Produksjonsvannføring for magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». .....	63
Figur 41 – Den totale produksjonsvannføringen til de tre små kraftverkene og magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». .....	64
Figur 42 - Kart over situasjonen slik den er idag i Sagelva, og inndeling av de ulike elvestrekningene. Kvannevatn har inntaket sitt øverst i elva, deretter har Sagelva II inntak og til slutt har Sagelva II inntaket sitt. Sagelva I vil altså motta restvannføring fra Kvannevatn Kraftverk i tillegg til sitt lokale tilsig. ....	67
Figur 43 - Graf over vannføringen i elvestrekning I, mellom Kvannevatn og oppstrøms inntaket til Kvannevatn kraftverk, i et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små kraftverk. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx». .....	69
Figur 44 - Graf over vannføringen i elvestrekning II i et tilfelle med tre små kraftverk og i et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Se vedlagt CD i filene «Uten utbygging.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx»..	70
Figur 45 - Graf over vannføringen i elvestrekning III i et tilfelle med tre små kraftverk og i et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Uten utbygging.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».....	71
Figur 46 - Graf over vannføringen i elvestrekning IV i et tilfelle med tre små kraftverk og i et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Uten utbygging.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».....	72
Figur 47 - Graf over vannføringen i elvestrekning II i et tilfelle med et magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx». ....	73

Figur 48 - Produksjonsvannføring for magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». ....	77
Figur 49 - Den totale produksjonsvannføringen til de tre små kraftverkene og magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk_produksjonsvannføring.xlsx». ....	78
Figur 50 - Graf over vannføringen i elvestrekning I i et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små kraftverk. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk med ny mvf.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx». ....	79
Figur 51 - Graf over vannføringen i elvestrekning II i et tilfelle med et magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små kraftverk. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx». ....	80
Figur 52 - Opprinnelig krav til minstevannføring basert på tradisjonell metode ved beregning av alminnelig lavvannføring og en gitt prosentandel av middelvannføringen, og krav til minstevannføring basert på en miljømessig vurdering ved hjelp av <i>building block</i> -metoden. ....	83
Figur 53 – Nytt miljøbasert krav til minstevannføring og tilsiget ved utløpet til Kvannevatn i et tilfelle uten utbygging i Sagelva.....	84
Figur 54 - Tilsig gjennom året ved utløpet til Kvannevatn. ....	86
Figur 55 - Styrekurve for magasintapping som benyttes i simuleringen i nMAG2004. Styrekurven gir % av volum av reguleringshøyde. ....	87
Figur 56 - Variabel fastkraftfordeling gjennom året som benyttes i simuleringen i nMAG2004 (Killingtveit, 2004) .....	87
Figur 57 – Magasinnivået gjennom året i beregning med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med opprinnelig krav til minstevannføring. Lyse grå linjer indikerer hvert år i perioden 1968 til år 2000, mørkere kurver gir tilsiget for et normalt, tørt og vått år. ....	88
Figur 58 – «Nytt flomtap» gir flomtapet med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. «Tidligere flomtap» viser flomtapet uten styrekurver, med opprinnelig slukeevne og opprinnelig krav til minstevannføring, slik som magasinkraftverket ble planlagt i konsesjonssøknaden.....	89
Figur 59 - Produksjonsvannføring gjennom året til kraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med opprinnelig krav til minstevannføring. Grafene viser hvordan denne utarter seg i et normalt, tørt og vått år.....	90
Figur 60 - Magasinnivået gjennom året i beregning med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med miljøbasert krav til minstevannføring. Lyse grå	

linjer indikerer hvert år i perioden 1968 til år 2000, mørkere kurver gir tilsiget for et normalt, tørt og vått år. ....	91
Figur 61 - «Nytt flomtap» gir flomtapet med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. «Tidligere flomtap» viser flomtapet uten styrekurver, med opprinnelig slukeevne og miljøbasert krav til minstevannføring....	92
Figur 62 - Produksjonsvannføring gjennom året til kraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med miljøbasert krav til minstevannføring. Grafene viser hvordan denne utarter seg i et normalt, tørt og vått år. ....	93
Figur 63 - Sensitivitetsvurdering av Mannings tall i beregningen av frysestrekning.....	98
Figur 64 - Sensitivitetsvurdering av elvebredde i beregningen av frysestrekning. ....	99
Figur 65 - Sensitivitetsvurdering av helning i beregningen av frysestrekning. ....	99
Figur 66 - Sensitivitetsvurdering av varmeoverføringskoeffisienten i beregningen av frysestrekning. ....	100
Figur 67 - Miljøbasert krav til minstevannføring.....	101

## ORDFORKLARINGER

<b>Magasinkraftverk</b>	Kraftverk tilknyttet magasin med reguleringsmulighet.
<b>Elvekraftverk</b>	Kraftverk uten reguleringsmulighet. Kraftverket kan bare produsere når det renner vann i elva.
<b>HRV</b>	Høyeste regulerte vannstand
<b>LRV</b>	Laveste regulerte vannstand
<b>Små kraftverk</b>	Kraftverk under 10 MW, og omfatter småkraftverk, minikraftverk og mikrokraftverk.
<b>Småkraftverk</b>	Kraftverk mellom 1 og 10 MW
<b>Minikraftverk</b>	Kraftverk mellom 100 og 1000 kW
<b>Mikrokraftverk</b>	Kraftverk under 100 kW
<b>Alminnelig lavvannføring</b>	Er en beregnet verdi som bestemmes ved å sortere hvert år i en vannføringsserie i synkende rekkefølge. Deretter blir vannføringsverdi nummer 350 fra hvert år plukket ut. Av disse verdiene lages det så en ny dataserie. Den nye dataserien blir deretter sortert med synkende verdi, og den laveste tredjedelen av denne serien blir fjernet. Den laveste, gjenværende verdien i observasjonsperioden omtales som <i>alminnelig lavvannføring</i> .
<b>Persentiler</b>	Eks: En 25 %-persentil er at 25 % av data er under den gitte verdien, mens 75 % er over.
<b>Median</b>	Verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer.
<b>Naturlig vannføring</b>	Benyttes i denne oppgaven som den vannføringen som inntreffer uten en utbygging i Sagelva.
<b>Middelvannføring</b>	Gjennomsnittlig vannføring gjennom ett år.
<b>Minstevannføring</b>	Minimumskravet til hvilken vannføring som skal slippes forbi et vannkraftverk til enhver tid.

**Miljøbasert minstevannføring**

Halleraker and Harby (2006) definerer en miljøbasert vannføring som «en vannføring som tar mest mulig hensyn til økosystemets helhet og integritet, ulike brukerinteresser, og det fremtidige ressursgrunnlaget i vassdraget».

---

**Bypass-strekning**

Strekningen mellom inntak og utslipp til kraftverket.

# KAPITTEL 1: INNLEDNING

## 1.1 BAKGRUNN

Det har tidligere vært en myte at store vannkraftutbygginger forårsaker større miljøkonsekvenser per kraftenhet produsert enn små kraftverk, som visstnok har små negative virkninger på miljøet. Eksistensen til slike holdninger kan for eksempel spores i nyttårstalen til Jens Stoltenberg i 2001, der han sa «*Tiden for nye store vannkraftutbygginger i Norge er over*». Dette utsagnet kom trolig som en følge av miljøvirkningene slike utbygginger forårsaker, sosiale konflikter og folks økte verdsetting av naturen. De siste ti årene har det vært en stor utvikling i småkraft-prosjekter og disse prosjektene har vært viktige for små lokalsamfunn (T.H. Bakken, forsker ved CEDREN, personlig kommunikasjon, 26.04.2012). Småskala utbygging har vært ansett som miljøvennlige sammenliknet med større utbygginger, men få undersøkelser om reelle virkninger av små kontra større vannkraftutbygginger er gjennomført. I dag er det mangel på godt utprøvde metoder for å sammenligne små elvekraftverk og magasinkraftverk.

Krav om minstevannføring er ment som et avbøtende tiltak ved drift av vannkraftverk.

Minstevannføring er den minste tillatte vannføringen som skal forekomme i et regulert vassdrag, og fastsettes gjerne i forbindelse med konsesjonsbehandlingen. Kravene til hvordan denne vannføringen skal settes har hjemmel i Vannressursloven, som trådte i kraft 1.1.2001, § 10, som sier følgende:

*Ved uttak og bortledning av vann som endrer vannføringen i elver og bekker med årssikker vannføring, skal minst den alminnelige lavvannføring være tilbake, hvis ikke annet følger av denne paragraf. Det samme gjelder når vann holdes tilbake ved oppdemming. I konsesjon til uttak, bortledning eller oppdemming skal fastsetting av vilkår om minstevannføring i elver og bekker avgjøres etter en konkret vurdering. Ved avgjørelsen skal det blant annet legges vekt på å sikre*

- a) vannspeil,
- b) vassdragets betydning for plante- og dyreliv,
- c) vannkvalitet,
- d) grunnvannsforekomster.

*Vassdragsmyndigheten kan gi tillatelse til at vilkårene etter første og annet ledd fravikes over en kortere periode for enkelttilfelle uten miljømessige konsekvenser. Vedtak etter dette ledd kan ikke påklages (Vannressursloven, 2000).*

Se *Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk* (Lofthus, 2011) for en nærmere beskrivelse av krav til minstevannføring i tillegg til fastsettelse av denne.

I senere tid har temaet *miljøbasert minstevannføring* dukket opp. Med dette menes en minstevannføring som tar utgangspunkt i de naturlige variasjonene over året i et vassdrag, og/eller sikrer faktiske verdier i vassdraget. Halleraker and Harby (2006) definerer en miljøbasert vannføring som «*en vannføring som tar mest mulig hensyn til økosystemets helhet og integritet, ulike brukerinteresser, og det fremtidige ressursgrunnlaget i vassdraget*».

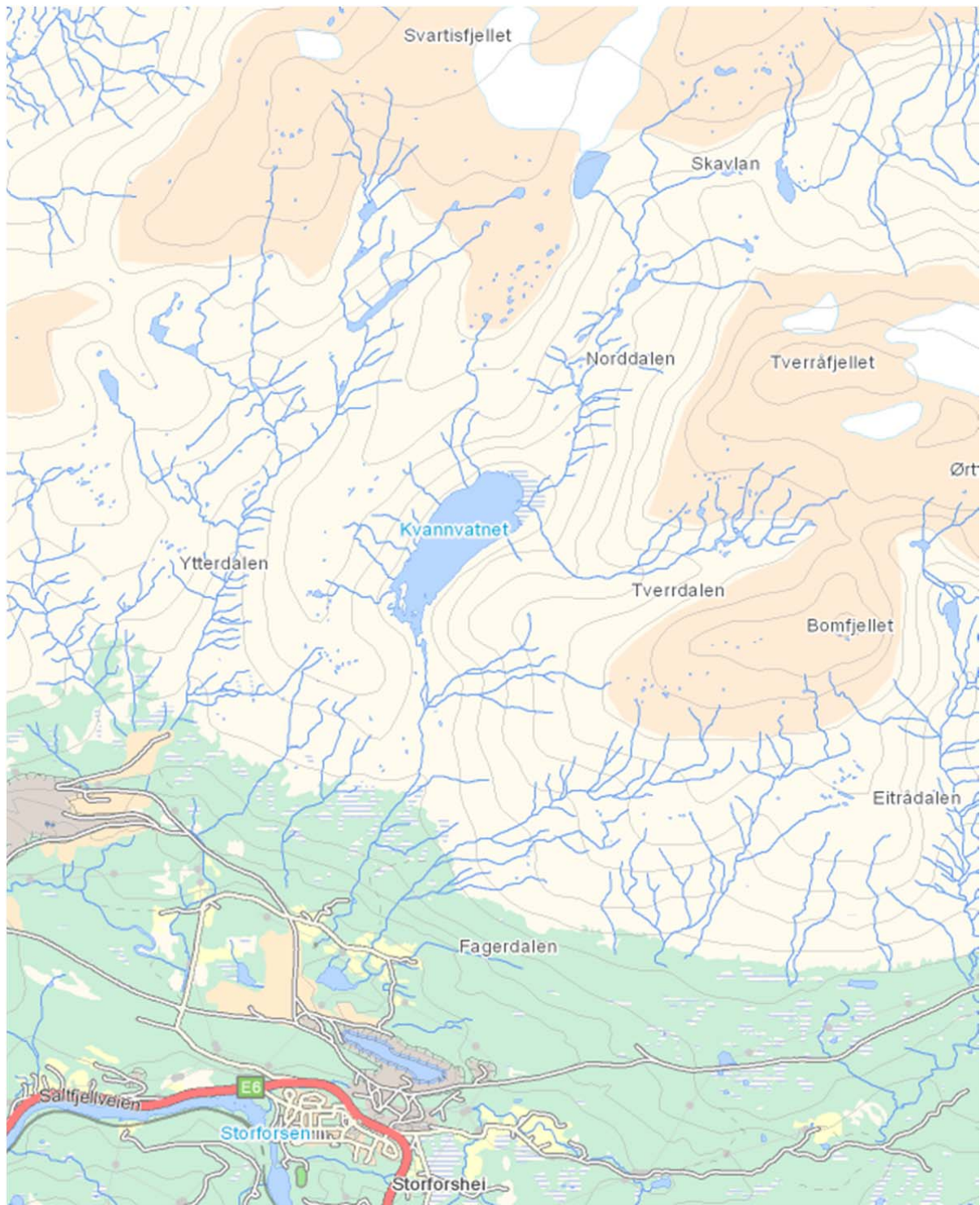
Minikraft AS søkte 10.09.2004 konsesjon om å få bygge et kraftverk med regulering av Kvannevatn, i tillegg til utvidelse av småkraftverkene Sagelva I og Sagelva II. Søknaden om regulering av Kvannevatn ble trukket etter signaler om at dette alternativet ikke ville få konsesjon av NVE. I dag er det derfor tre små kraftverk; Sagelva I, Sagelva II og Kvannevatn kraftverk, som utnytter fallet nedstrøms Kvannevatn med inntak i elva og ingen reguleringsmuligheter. Magasinkraftverket ble planlagt med en regulering mellom LRV på 469 moh og HRV på 479 moh. Kravet som er satt til minstevannføring for de tre små kraftverkene er det samme som ble planlagt for magasinkraftverket; 35 l/s i vinterperioden (alminnelig lavvannføring) og 135 l/s i sommerperioden (10 % av midlere årsvannføring). Magasinkraftverket og de tre små kraftverkene har en installert og en planlagt midlere årsproduksjon som vist i Tabell 1.

**Tabell 1 - Oversikt over installert effekt og midlere årsproduksjon for de små kraftverkene og magasinkraftverket.**

Kraftverk	Installert effekt [MW]	Midlere årsproduksjon [GWh/år]
Kvannevatn kraftverk	4,0	16,5
Sagelva I	0,52	1,3
Sagelva II	0,39	0,9
Magasinkraftverket	4,6	8,2

Kraftverkene som skal analyseres i denne oppgaven ligger eller var planlagt til å ligge langs Sagelva som er ei sideelv til Ranavassdraget. Sagelva ligger omtrent 25 km nord for Mo i Rana og 5 km fra Storforshei. Sagelva har utspring fra Kvannevatn som i dag reguleres med 2 meter for lokal vannforsyning. Kvannevatn ligger omtrent 1,5 km fra grensen til Saltfjellet og Svartisen nasjonalpark. Store deler av områdene rundt vannet er bratt, men i nordlige deler av vannet, er terrenget slakere med våtmarksområder.





Figur 2 - Kart over området hvor Kvannevatn og Sagelva ligger (NVE, 2012a).

## 1.2 FORMÅL

Denne rapporten vil dermed ta utgangspunkt i en sammenligning av magasinkraftverk og små elvekraftverk, samt krav til minstevannføring. Masteroppgaven er delt inn i følgende delmål:

1. Samle inn data om tilsig, regulering og turbin for det planlagte magasinkraftverket. Med utgangspunkt i dette sette opp programmet nMAG2004 for feltet og simulere produksjonen i kraftverket slik som det originalt ble foreslått bygd med tanke på en teknisk - økonomisk vurdering av kraftverket.
2. Utføre en vurdering av miljøkonsekvensene av dette inngrepet og vurdere hvilke tiltak man måtte gjøre for å hindre uønskede miljøeffekter. Dersom tiltakene viser seg å innebære en annen miljøbasert minstevannføring, så skal denne legges inn i nMAG2004 og nye simuleringer skal utføres.
3. Klargjøre data fra de tre små kraftverkene og eventuelt gjøre nødvendige oppdateringer av disse. Deretter skal data fra småkraftverket sammenlignes med data fra 1) og 2) med tanke på:
  - a. Produksjon og fordeling av produksjon over året
  - b. Økonomi
  - c. Naturinngrep
  - d. Miljøvirkning og effekt av tiltak
  - e. Samfunnsnytte
4. Vurdering av små kraftverk mot større kraftverk med utgangspunkt i Kvannevatn. Videre en vurdering av hvor vidt resultatene kan generaliseres og hva som eventuelt må til for å gjøre en generell vurdering.
5. Til slutt skal det gjøres en generell vurdering av minstevannføring og definisjon av denne i små kraftverk. Hvordan måler vi effekt av denne og får vi noe ut av disse slippene miljømessig?

## 1.3 OPPBYGGING AV OPPGAVEN

Rapporten vil først gi en presentasjon av det planlagte magasinkraftverket, og deretter utføre en konsekvensutredning av dette kraftverket. Videre vil det bli foreslått et miljøbasert krav til minstevannføring basert på konsekvensutredningen. Deretter følger en sammenligning av de tre små kraftverkene og magasinkraftverket med tanke på produksjon, økonomi, naturinngrep, miljøvirkning og samfunnsnytte. Fordi det planlagte magasinkraftverket ikke utnytter sin fulle kapasitet, vil det gjøres en ny beregning for å vise potensialet til magasinkraftverket. Til slutt vil det bli gjort en mer

generell vurdering av små kraftverk og magasinkraftverk, i tillegg til krav til minstevannføring. En oversikt over dette kan ses i Tabell 2.

**Tabell 2 - Oversikt over innholdet i rapporten "Sammenligning av små elvekraftverk og kraftverk med magasin".**

<b>Kapittel</b>	<b>Kommentar</b>
Kapittel 1: Innledning	Bakgrunn, formål, omfang og oppbygging
Kapittel 2: Metode	nMAG2004 og prosjektoppgaven
Kapittel 3: Presentasjon av magasinkraftverket	Høringsuttalelser, data og isdannelse
Kapittel 4: Resultater for magasinkraftverket	Konsekvensutredning og miljøbasert krav til minstevannføring
Kapittel 5: Presentasjon av de tre små elvekraftverkene	NVEs vurdering og data
Kapittel 6: Sammenligning av magasinkraftverket og elvekraftverkene	Sammenligning av produksjon, økonomi, naturinngrep, miljøvirkninger og samfunnsnytte
Kapittel 7: Diskusjon	Vurdering av magasinkraftverk og små kraftverk, vurdering av minstevannføring, ny beregning av magasinkraftverk og feilkilder.
Kapittel 8: Konklusjon	Konklusjoner og videre arbeid

## KAPITTEL 2: METODE

### 2.1 ANALYSE AV MAGASINKRAFTVERK: nMAG2004

Analysen av magasinkraftverket i denne rapporten baserer seg på resultatene fra dataprogrammet nMAG2004. nMAG2004 er en simuleringsmodell for drift av magasin og kraftproduksjon i vannkraftsystemer. I dette programmet får man mulighet til å legge inn informasjon om magasin, kraftstasjoner, kontrollpunkt, overføringssystem, energimarkedet, restriksjonsdata, operasjonsstrategi og hydrologiske data. Programmet har et minimumskrav til hva som behøves av data for å kunne kjøre en simulering, men gir også brukeren muligheten til å legge inn informasjon i noen tilfeller. Dersom brukeren ikke velger å legge inn informasjon for disse dataene, gjør nMAG2004 antagelser for dette.

Simuleringsmodellen ENMAG ble utviklet på 1980-tallet på Norges Hydrotekniske Laboratorie, som er tilknyttet SINTEF og NTNU. Et tiår senere ble modellen videreutviklet, og fikk da navnet nMAG. Det største fremskrittet ved denne utviklingen var at programmet nå kunne håndtere mer enn ett magasin. Den siste oppdateringen av programmet fant sted i 2004, og modellen fikk dermed navnet nMAG2004. Antallet moduler (kraftstasjon, magasin, overføringer og kontrollpunkt) og mulige dataserier ble da økt betraktelig.

nMAG programsystemet består av tre program som er knyttet sammen til ett brukermiljø. De tre er et Windows-program under navnet nMAG2004.exe som er brukergrensesnittet, et FORTRAN-90 program kalt nMAG\_DOS.exe som utfører simuleringen og et Visual Basic-program, nMAGRes.exe, som viser resultatene fra simuleringen (Killingtveit, 2004).

Se User's Manual Ver.12/5-2004 Killingtveit (2004) for en nærmere og mer detaljert beskrivelse av nMAG2004 simuleringsmodellen.

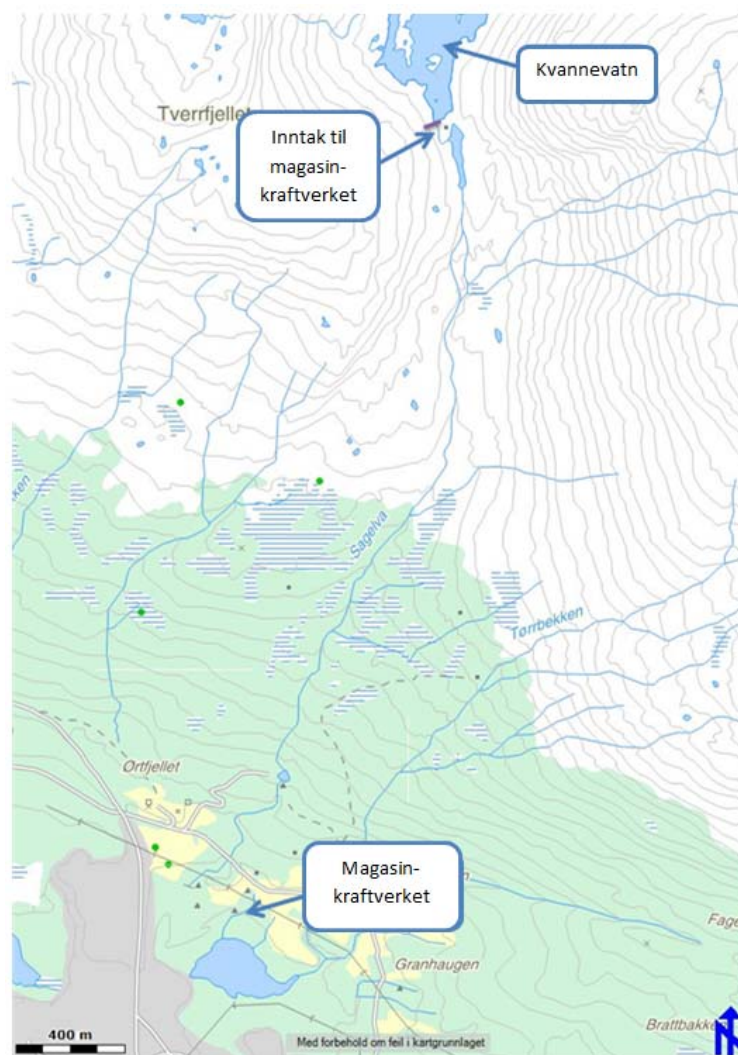
### 2.2 ANALYSE AV SMÅ KRAFTVERK

Analysen av de tre små kraftverkene i denne rapporten baserer seg i hovedsak på beregningene som ble utført i prosjektoppgaven *Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk* (Lofthus, 2011). Dataene for tilsig ble i det prosjektet beregnet ved hjelp av fast definerte REGINE-felt på karttjenesten NVE Atlas, og målestasjonen Bredek. I denne masteroppgaven er vannføringsdataene blitt tilpasset datointervallet som blir benyttet for å utføre simuleringene i nMAG2004 for magasinkraftverket. Dette betyr at skuddårsdagene er tatt ut, og perioden for beregningene er avgrenset til 1968 til og med år 2000.

Grafene for vannføring i denne rapporten er gjennomgående basert på medianverdier for årrekken 1968 til år 2000. I noen tilfeller er også 25 %-persentilen og 75 %-persentilen tatt med for å vise variasjonen i datasettet.

## KAPITTEL 3: PRESENTASJON AV MAGASINKRAFTVERKET

Minikraft AS søkte høsten 2004 NVE om å få tillatelse til å bygge et magasinkraftverk med Kvannevatn som reguleringsmagasin. Dammen i Kvannevatn ble planlagt til å være 13,48 meter høy og 131 meter lang, og Kvannevatn ville ha økt areal fra 550 daa til 1000 daa med en HRV på kote 479 (NVE, 2006). Anlegget ble planlagt til å være et småkraftverk, altså med en installert effekt på 1-10 MW. I dette kapitlet vil det bli satt fokus på det potensielle magasinkraftverket med inntak i Kvannevatn som alternativ til dagens tre små kraftverk. Det planlagte kraftverket blir i denne oppgaven referert til som *magasinkraftverket*.



**Figur 3 - Kart over planlagt kraftverk i Sagelva med Kvannevatn som reguleringsmagasin. Kartet viser beliggenheten til Kvannevatn, inntaket til det planlagte kraftverket og selve kraftstasjonen (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 09.02.2012).**

### 3.1 HØRINGSUTTALELSER TIL OPPRINNELIG SØKNAD

Minikraft AS valgte å trekke søknaden om regulering av Kvannevatn 08.12.2005 på bakgrunn av høringsuttalelsene. Gjennom høringsuttalelsene kom det fram at tiltaket med å regulere Kvannevatn 10 meter ville føre til store reduksjoner i INON-områder. Reduksjonen ville bestå av rundt 6 km<sup>2</sup> villmarkspregede områder, og størsteparten av denne reduksjonen lå innenfor Saltfjellet som ligger i Svartisen Nasjonalpark. Videre ble det understreket at oppdemmingen mest trolig ville gitt økt erosjon langs vannet, og at muligheten til ferdsel langs vannet ble ansett som redusert. Drikkevannsinntaket i Sagelva ble også nevnt i høringsuttalelsene. Rana kommune påpekte at det kunne oppstå negative konsekvenser for drikkevannsforsyningen i anleggsperioden, men at en rørlegging av øvre deler av Sagelva (mellom kote 340 og Kvannevatn) kunne ha en positiv effekt, da tilførselen av vann nedstrøms Kvannevatn er humusholdig. I nord-østenden av Kvannevatn ble det registrert en kokegrop, og denne ble automatisk fredet som kulturminne.

Av konsekvenser for biologisk mangfold, ble et storlompar den viktigste utfordringen. Storlom er en nasjonal rødlisteart og karakteriseres som hensynskrevende. Oppdemmingen av Kvannevatn ville oversvømme noen øyer i indre deler av vannet, og disse øyene ble beskrevet som hekkested til storlomparet. Videre ble kongeørn, som også er en rødlisteart, observert jaktende.

Nærmere beskrivelse av høringsuttalelsene og de ulike partene kan finnes i *Bakgrunn for vedtak* (NVE, 2006).

### 3.2 DATA FOR MAGASINKRAFTVERKET

Dataene som presenteres her vil være grunnlaget for beregningene utført i nMAG2004. En fullstendig oversikt over dataene finnes i vedlagt CD i mappen «nMAG».

Magasinkraftverket ble planlagt med en størrelse på 4,6 MW, og med en antatt årsproduksjon på 8,02 GWh. Største slukeevne for kraftverket skulle være på 1,5 m<sup>3</sup>/s, og kraftverket fikk anslått en virkningsgrad på 0,85. Inntaket ble planlagt til kote 469, mens utløpet skulle være på kote 110. Tabell 3 viser en oversikt over dataene (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 09.02.2012).

**Tabell 3 – Oversikt over data til det planlagte magasin kraftverket (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 09.02.2012).**

Variabel	Verdi	Enhet
Installert effekt	4,6	MW
Planlagt årsproduksjon	8,02	GWh
Inntak kote	469	moh
Utløp kote	110	moh
Virkningsgrad	0,85	
Energiekvivalent	0,8	kWh/m <sup>3</sup>

Energiekvivalenten er her beregnet ut ifra formelen (Killingtveit, 2004):

$$EEVK = \frac{\eta g H_n}{1000 \cdot 3600} \text{ [kWh/m}^3\text{]} \quad (1)$$

$\eta$  – virkningsgrad

$g$  – tettheten til vann, 1000 [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  – tyngdens akselerasjon, 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

$H_n$  – Netto høydeforskjell [m]

Netto høydeforskjell,  $H_n$ , er lik fallhøyden minus falltapet. Falltapet beregnes ved hjelp av Darcy – Weissbachs formel som er følgende (Guttormsen, 2006):

$$h_f = f \frac{L}{4R} \frac{v^2}{2g} \text{ [m]} \quad (2)$$

$h_f$  – falltapet [m]

$f$  – friksjonskoeffisient

$L$  – tunnallengde [m]

$R$  – hydraulisk radius [m]

$v$  – vannhastighet [m/s]

Falltapskoeffisienten for anlegget beregnes etter formelen (Killingtveit, 2004):

$$h_f = k_f (Q(t))^2 \text{ [m]} \quad (3)$$

$h_f$  – falltapet [m]

$k_f$  – Falltapskoeffisienten

$Q(t)$  – vannføringa [m<sup>3</sup>/s]



Kvannevatn ble planlagt som reguleringsmagasin, med en reguleringshøyde på 10 meter, der HRV er lik 479 moh og LRV er lik 469 moh. Volumet til Kvannevatn er beregnet til å være 7,55 millioner m<sup>3</sup>, med en nominell fallhøyde på 475,67 meter. Den nominelle fallhøyden er definert som høydedifferansen mellom magasinets tyngdepunkt og undervannet (Killingtveit, 2004). Denne beregnes etter følgende formel (K. Alfredsen, Institutt for vann- og miljøteknikk NTNU, personlig kommunikasjon, 13.02.2012):

$$h_{nominell} = LRV + \frac{2}{3}(HRV - LRV) - h_{utløp} [m], \text{ der} \quad (4)$$

$h_{nominell}$  – nominell fallhøyde [m]

LRV – laveste regulerte vannstand [m]

HRV – høyeste regulerte vannstand [m]

$h_{utløp}$  – utløpskote [m]

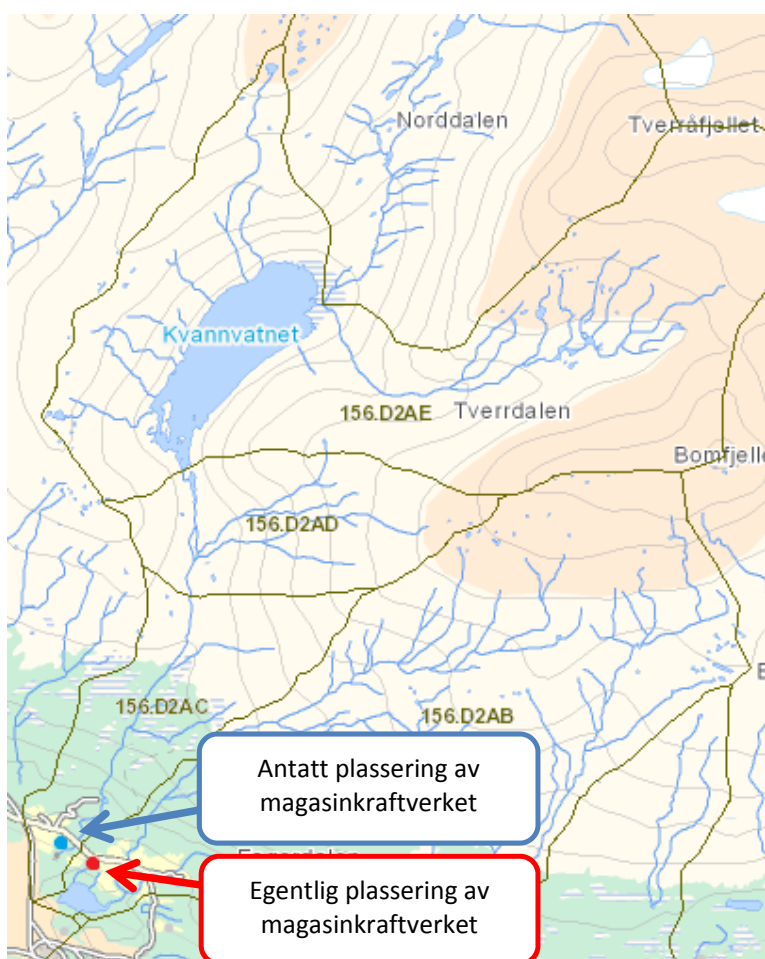
Det ble benyttet samme preferansefunksjon for kjøp og salg som i et tilsvarende eksempel utarbeidet av Ånund Killingtveit med tanke på mengde og verdi (Å. Killingtveit, professor ved Institutt for vann- og miljøteknikk, personlig kommunikasjon, 13.02.2012). Minikraft AS oppgir fastkraftnivået til å være 8,02 GWh/år (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 01.02.2012) og fastkraftprisen ble satt til 34 øre/kWh.

Minikraft AS planla en differensiert minstevannføring for sommer og vinter på henholdsvis 135 l/s og 35 l/s. Vinterperioden regnes fra 1.oktober frem til 30.april, og sommerperioden er dermed fra 1.mai til 30.september. I nMAG2004 er minstevannføringen definert som kravet om slipp av vann fra kraftverket i drift og omtales i nMAG2004 som bypass-vannføringen. Dette kan virke litt forvirrende ettersom bypass-vannføring ofte refererer til et lokalt tilsig og flomtap fra et magasin, og leseren bør være oppmerksom på dette når vedleggene studeres.

Når det gjelder vannføringsserier for det aktuelle inntaket, viste det seg at dette var vanskelig å oppdrive. Det ble derfor valgt en nærliggende målestasjon, Bredek, som er den samme målestasjonen som ble benyttet i forstudiet *Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk*, hvor man kan finne en nærmere begrunnelse av valget (Lofthus, 2011; Geir Magnor Olsen, 2004). Måleserien som ble anvendt er fra 1968 til og år 2000, hvor skuddårsdagene ble fjernet for å kunne benytte den i nMAG2004.

Nedbørfeltene tilknyttet det planlagte kraftverket er på henholdsvis 10,57 og 8,79 km<sup>2</sup>, og kan ses i Figur 4 som felt 156.D2AE og 156.D2AF, hvor REGINE-inndelingen på NVE Atlas er brukt. Disse feltene har et totalt tilsig på 39,23 m<sup>3</sup>/år, og en avrenning lik 39,2 millioner m<sup>3</sup>/år (NVE, 2012b). Se vedlagt CD i fila «Magasinkraftverk.xlsx» for beregning.

nMAG2004 ber brukeren om å oppgi gjennomsnittlig årlig avrenning for hver av de definerte modulene. Data for dette blir funnet i NVE Atlas med fast definerte REGINE felt. Det ble ikke tatt hensyn til at utløpet til magasinkraftverket er tenkt til å befinne seg i utkanten av nedbørfelt 156.D2AB, siden magasinkraftverket ikke vil få betydelig tilsig fra dette feltet. Fordi magasinkraftverket ikke er plassert nederst i nedbørfeltet ble det bestemt en skaleringsfaktor lik 15/16 for å tilpasse andelen av nedbørfelt 156.D2AC som har betydning for tilsiget til kontrollpunktet ved et uregulert tilfelle. Denne faktoren ble bestemt ut ifra en grov oppmåling på kartet.



Figur 4 - Egentlige og antatt plassering av magasinkraftverket. Fast definerte REGINE-felt er benyttet fra NVE Atlas (NVE, 2012a).

### 3.3 ISDANNELSE NEDSTRØMS INNTAK

Magasinkraftverket vil sørge for en minimumsvannføring forbi inntaket lik kravet om minstevannføring hele året. Dersom denne vannføringen skal ha effekt om vinteren er man avhengig av at den ikke fryser like nedstrøms inntaket. Det vil derfor være interessant å analysere hvordan isdannelsen nedstrøms for inntaket utarter seg.

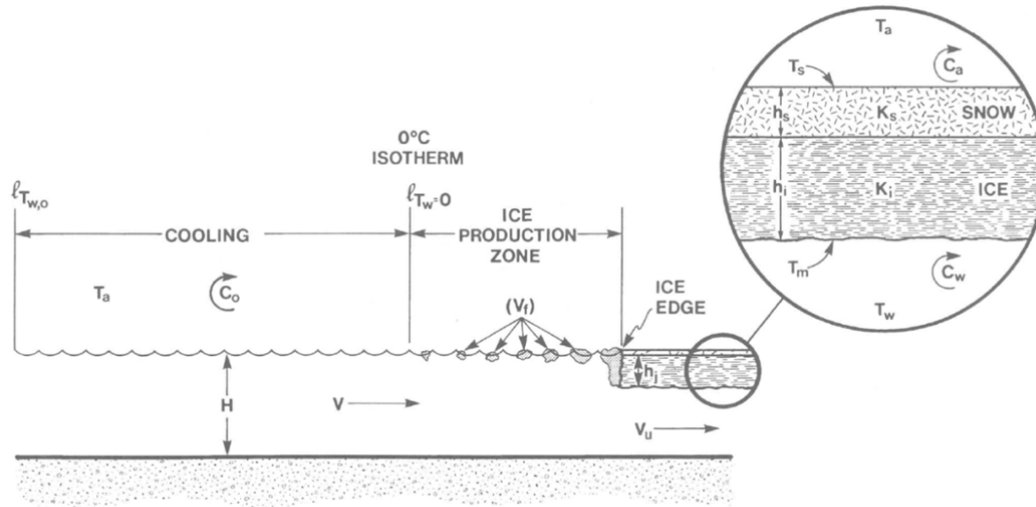
Formel 5 gir lokasjonen der en vannføring når 0 grader celsius. Tabell 4 angir variablene i denne formelen.

$$l_{T_w=0} - l_{T_w,0} = \frac{-\rho_w C_p V H}{C_0} \ln\left[\frac{-T_a}{T_{w,0} - T_a}\right] \quad (5)$$

Tabell 4 - Oversikt over variablene i formelen som beregner frysestrekning (Beltaos, 1995).

Variabel	Forklaring	Benevning
$l_{T_w=0}$	Lokasjonen nedstrøms der vanntemperaturen når 0 °C	[m]
$l_{T_w,0}$	Lokasjonen som har en initial vanntemperatur lik $T_{w,0}$ °C	[m]
$\rho_w$	Tettheten til vann	[kg/m <sup>3</sup> ]
$C_p$	Spesifikk varme til vann	[J/kg °C]
$V$	Hastigheten til vannet	[m/s]
$H$	Dybden av strømmingen	[m]
$C_0$	Varmeoverføringskoeffisienten	[W/m <sup>2</sup> °C]
$T_a$	Lufttemperaturen	[°C]
$T_{w,0}$	Initial vanntemperatur	[°C]

Figur 5 viser en skjematisk illustrasjon av termene som blir benyttet for å bestemme plasseringen av 0 °C-isoterme, total isproduksjon og tykkelsen til isakkumuleringen og isveksten.



Figur 5 - Skjematisk illustrering av termene som blir benyttet for å bestemme plasseringen av 0 °C-isotermen, total isproduksjon og tykkelsen til isakkumuleringen og isveksten (Beltaos, 1995).

Tettheten til vann,  $\rho_w$ , er satt til 1000 kg/m<sup>3</sup> og spesifikk varme,  $C_p$ , er satt til å være 4220 J/kg °C slik som den er ved 0 °C. Varmeoverføringskoeffisienten til vann er satt til 20 J/kg °C.

For å beregne hastigheten,  $V$ , på vannføringen og dybden på vannet,  $H$ , ble Mannings formel benyttet.

$$Q = VA = MAR^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

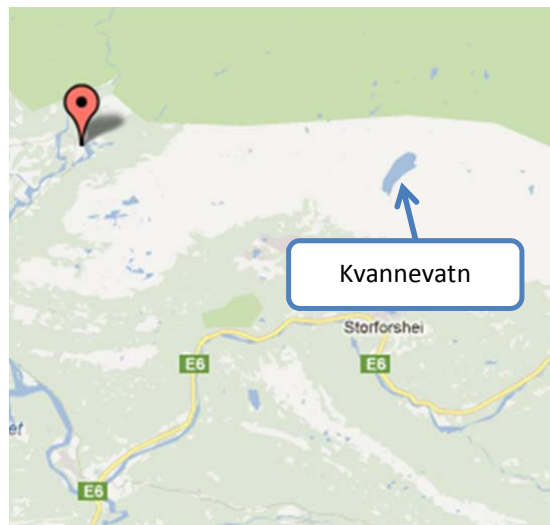
Tabell 5 - Oversikt over variablene i Mannings formel.

Variabel	Forklaring	Benevning
Q	Vannføring	[m <sup>3</sup> /s]
V	Hastighet	[m/s]
A	Tverrsnittsareal	[m <sup>2</sup> ]
M	Mannings tall	[m <sup>1/3</sup> /s]
R	Hydraulisk radius	[m]
I	Helning	-

Elva ble antatt til å være en kanal med sidehelning på 45 grader, og bunnbredden av elva ble anslått til å være 3 meter (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 18.04.2012). Mannings tall ble satt til 25 m<sup>1/3</sup>/s fordi det er noe vegetasjon langs elva og at elvebunnen antas til å bestå av større steiner (Einar Sæterbø, 1998). Helningen på elva ble satt til 0,06. Denne verdien ble beregnet basert

på helningen til den første kilometeren nedstrøms inntaket til magasinkraftverket. Kotene og beliggenheten til inntaket til det planlagte magasinkraftverket og inntaket til Kvannevatn Kraftverk er kjent, og avstanden mellom disse to punktene ble målt på Kartverkets karttjeneste, hvilket gjorde beregningen mulig. Se vedlagt CD og fila «isdannelse.xlsx» for beregningen.

For å beregne hvor langt nedstrøms inntaket til magasinkraftverket vannet vil begynne å fryse har lufttemperaturen blitt estimert ved hjelp av en måleserie fra en nærliggende stasjon. Denne heter Røvassdalen, som gir døgnnormalverdier basert på en årrekke fra 1982 til år 2004. Plasseringen til stasjonen kan ses på Figur 6.



Figur 6 - Kartet viser plasseringen av målestasjonen Røvassdalen (79670) (Meteorologisk\_Institutt, 2012).

Temperaturen i initialtilstanden til vannføringen, den temperaturen vannet har når det forlater magasinet, er variert fra 4 til 0 grader celsius.

I beregningen av lengden på elvestrekningen før vannet vil fryse, er variablene knyttet til elvedata holdt konstante, mens lufttemperatur og initialtemperatur på vannføringen er variert.

Lufttemperaturen ble variert mellom tre verdier, der én temperatur representerer en normal vinter, én temperatur representerer en kald vinter og én temperatur representerer en mild vinter. For å beregne lufttemperaturen for disse tre scenarioene har henholdsvis median-verdi, 25 %-persentilen og 75 %-persentilen blitt benyttet på måleserien fra Røvassdalen. Beregningen for tilfellene med magasinkraftverk og et tilfelle uten utbygging i Sagelva er basert på de samme variablene, der vannføringen er den eneste forskjellen.

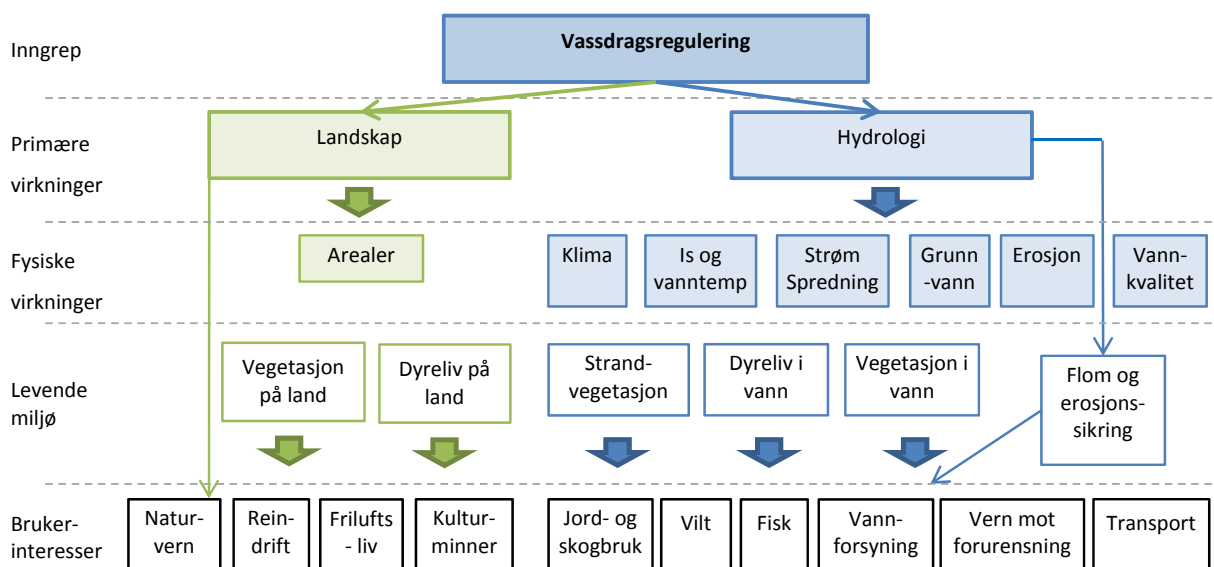
## KAPITTEL 4: RESULTATER FOR MAGASINKRAFTVERKET

I følgende kapittel vil det gjøres en konsekvensutredning for magasinkraftverket. Med grunnlag i denne konsekvensutredningen, vil det bli foreslått avbøtende tiltak, hvor det vil bli gått nærmere inn på et miljøbasert krav til minstevannføring.

### 4.1 KONSEKVENsutredning av Magasinkraftverket

Formålet med Samla plan for vassdrag var å bringe frem en mer samlet og nasjonal forvaltning av vassdragene. Når prosjekter blir vurdert etter Samla plan anvendes en fast metodikk som resulterer i at prosjektene blir satt i en av tre kategorier, på bakgrunn av lønnsomheter og konflikter. Opprinnelig inneholdt planen tre kategorier, hvor kategori I var de prosjektene som kunne konsesjonsbehandles straks. Kategori II var de prosjektene som ikke kunne søke om konsesjon med det samme, men var potensielle for kraftutbygging og andre formål. Kategori III var de prosjektene som hadde så store konflikter knyttet til seg i forhold til brukerinteresser og utbyggingskostnader at de ikke var aktuelle for en gjennomføring. I Stortingets siste behandling av Samla plan 1993 ble det besluttet at kategori I og II skulle slås sammen (Koksvik, 2010).

Samla plan benyttes for å vurdere miljøkonsekvensene av inngrepet ved bygging av et magasinkraftverk. Figur 7, som er hentet fra Samla plan, viser en oversikt over kategoriene som vil vurderes for å kartlegge miljøkonsekvensene. Det ble bestemt i 2005 at Samla plan skulle gjelde for kraftverk med en installert effekt over 10 MW, og dermed ikke ramme små kraftverk (Koksvik, 2010). For å strukturere konsekvensutredningen har det likevel blitt tatt utgangspunkt i Samla plan for vurdering av miljøkonsekvenser i denne rapporten.



**Figur 7 - Samla plan-metoden.** Figuren viser en oversikt over hvordan en konsekvensutredning kan bygges opp og hvilke tema den bør inneholde. Figuren deler virkningene fra et vassdragsinngrep i to primære virkninger, videre inn i fysiske virkninger, levende miljø og til slutt virkninger på brukerinteressene (Rosier Casas-Mulet, stipendiat, Institutt for vann- og miljøteknikk, forelesning i emnet *Environmental Impact Assessment of Hydropower*, 06.09.2011).

En vassdragsregulering vil forårsake flere alvorlige konsekvenser, og disse vil nå bli beskrevet, inndelt etter de primære virkningene som i Figur 7. Først vil den primære virkningen *hydrologi* og dens mulige, underordnede virkninger bli kartlagt. Deretter beskrives den primære virkningen *landskap* og dens underordnede virkninger. De underordnede virkningene er i første omgang de fysiske virkningene, som igjen kan utløse virkninger på det levende miljø, som igjen kan påvirke brukerinteressene. Da det kan være vanskelig å fastsette om det er de primære virkningene *landskap* eller *hydrologi* som utløser de ulike virkningene på brukerinteressene, vil brukerinteressene bli beskrevet som et samlet delkapittel til slutt. Kategoriene «Klima», «Vern mot forurensning» og «Transport» er ikke relevante for konsekvensutredningen, og vil dermed ikke bli nevnt.

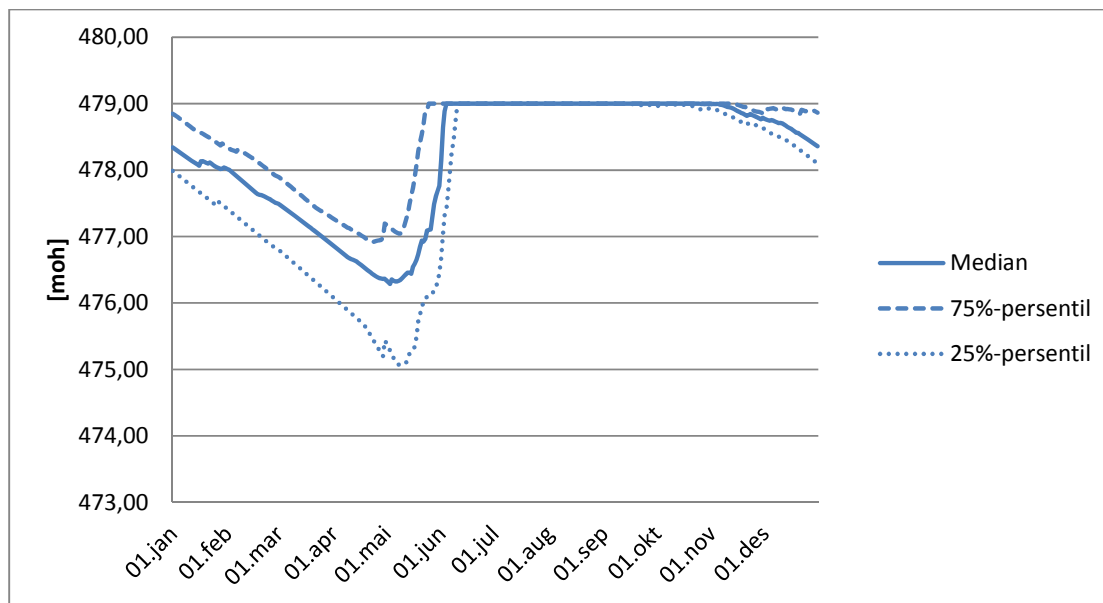
Mye av informasjonen i de påfølgende delkapitlene vil baseres på undersøkelser og høringsuttalelser knyttet til søknaden Minikraft AS sendte til NVE 10.09.2004. I denne søknaden søkte selskapet om å få bygge tilsvarende magasinkraftverk som det denne rapporten omhandler. Grønn Kompetanse ble innleid for å utføre miljøundersøkelsene knyttet til denne søknaden, og det henvises en del til disse undersøkelsene i denne rapporten. Grønn Kompetanse eksisterer ikke på det tidspunkt denne rapporten er utarbeidet.

## 4.2 HYDROLOGI: PRIMÆRE VIRKNINGER

### 4.2.1 Magasinet

Nedbørfeltet til Kvannevatn er på 19,4 km<sup>2</sup> og har et samlet tilsig på 39,2 millioner m<sup>3</sup>/år (NVE, 2012b). NVE har beregnet en alminnelig lavvannføring for utløpet ved Kvannevatn på 35 l/s ved hjelp av Bredek målestasjon og NVEs isohydatkart (Geir Magno Olsen, 2004). Kvannevatn er i dag regulert med 2 meter og fungerer som et buffermagasin for det kommunale vannforsyningsanlegget på Storforshei (NVE, 2006).

Ved en ny regulering (10 meter) vil vannet bli 187 meter lengre og rundt 65 meter bredere ved HRV (Søvgjarto, 2003). En foreslått økning i regulering fra 2 til 10 meter er planlagt. Dette vil gi en ny HRV på kote 479, og ny LRV på kote 469. Magasinnivået vil variere gjennom året som i Figur 8. Denne grafen baserer seg på medianverdiene for en årrekke mellom 1968 og år 2000. Dataene er generert med nMAG2004. Her kommer det frem at magasinnivået vil være tilnærmet lik HRV fra juni frem til november. I et år som følger mediankurven, et normalår, vil laveste vannstand være på kote 476,3, og dette inntreffer i mai. I et normalår vil altså vannstanden variere med 2,7 m. Den øverste stiplede linjen indikerer 75 %-persentilen, og dette kan omtales som et vått år. Tilsvarende kan 25%-persentilen representere et tørt år. Forskjellen mellom de stiplede linjene og medianen vil gi et mål på variasjonen i datasettet. Grafene i Figur 8 viser at magasinet aldri vil være helt nedtappet, men at man må regne med en regulering rundt 3 meter.



**Figur 8 - Magasinnivået for Kvannevatn i tilfelle med et magasinkraftverk med HRV lik 479 og LRV lik 469. Dataene er generert via nMAG2004, og basert på en vannføringsserie fra Bredek målestasjon som er skalert etter REGINE-felt inndelingen på NVE Atlas.**



## 4.2.2 Vannføring i Sagelva

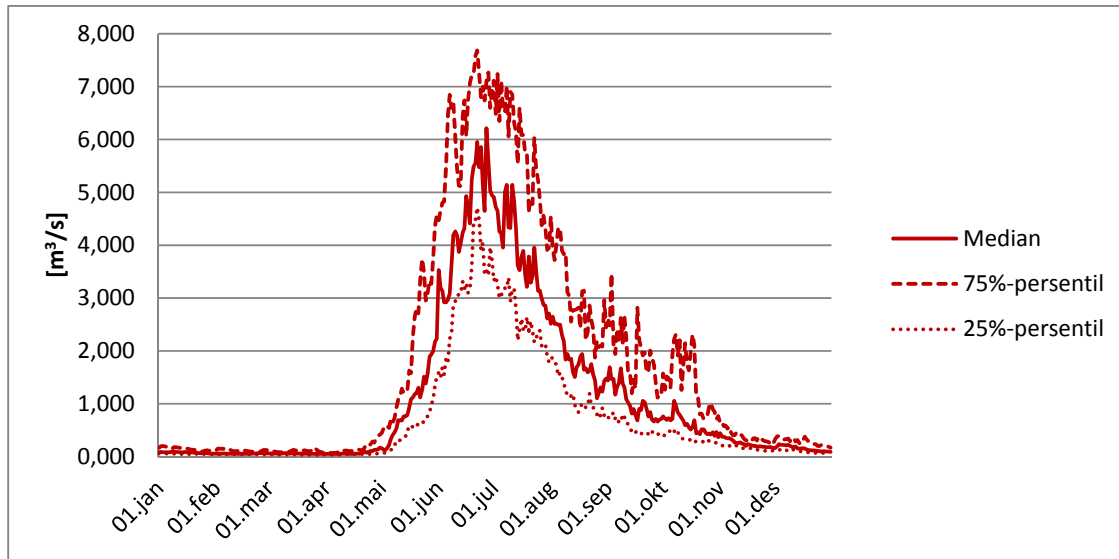
Ved regulering av Kvannevatn vil dette få konsekvenser for vannføringen i Sagelva gjennom året. For å beskrive hva som skjer, har det blitt valgt ut tre punkter i elva som er ønskelig å studere nærmere. Disse punktene er like nedstrøms inntaket, like oppstrøms utslippet og like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket.

For å underbygge og kartlegge mer spesifikt hvordan vannføringen i Sagelva vil endres, har det blitt utarbeidet grafer for vannføringen i et tilfelle uten og med regulering. På tilsvarende måte som i figuren for magasinnivået, har grafene for vannføring blitt skissert med en heltrukket linje for medianverdi og stiplede linjer for 75 %- og 25 %-persentilen. Figurene beskriver vannføringen på ulike steder i elven. Merk at blå graf er i tilfelle med regulering, og rød graf er i et tilfelle uten regulering.

### Like nedstrøms inntaket

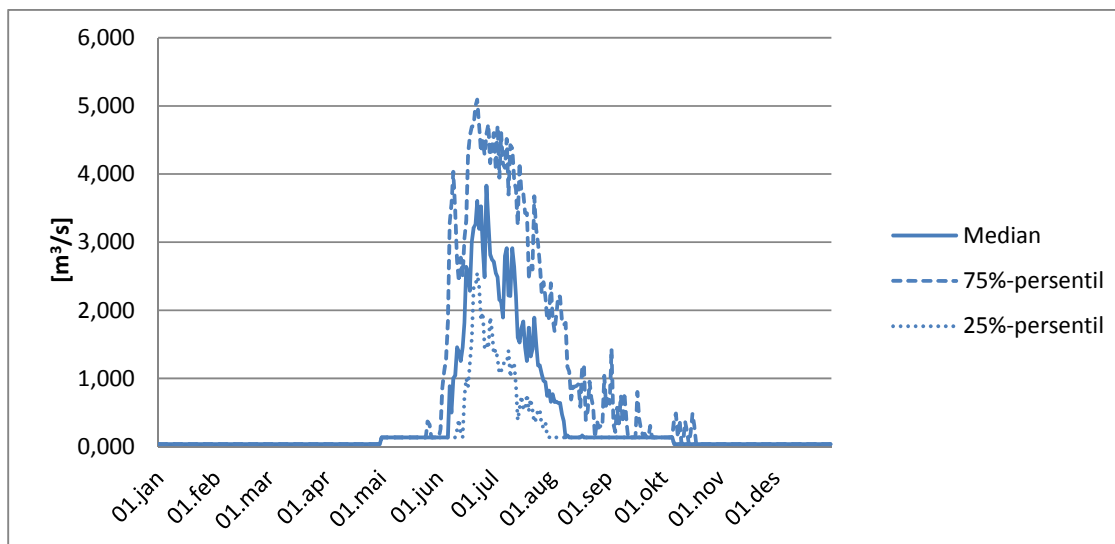
I et tilfelle uten regulering vil vannføringen like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket være relativt lav og stabil gjennom vinteren og våren. Om sommeren vil det derimot inntreffe en lengre flomperiode. Med en regulering av Kvannevatn vil kravet om minstevannføring være definierende for vannføringen i dette punktet i perioden med lavt tilsig. Flomperioden på sommeren vil bli betydelig kortere og flomtoppene vil bli mye lavere.

Figur 9 viser vannføringen i et tilfelle *uten* regulering like nedstrøms inntakspunktet til magasinkraftverket. Den høyeste vannføringen inntreffer i slutten av juni og er i følge mediankurven  $6,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det er en større variasjon i datasettet om sommeren. Dette kan ses i Figur 9, hvor kurvene for medianen, 75 %-persentilen og 25 %-persentilen spriker mest. 75 %-persentilen viser en maksimal vannføring lik  $7,7 \text{ m}^3/\text{s}$  og 25 %-persentilen viser en vannføring lik  $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . En vannføring i et tilfelle uten utbygging i Sagelva, ville vært ganske lav og variere innen intervallet  $0,05$  til  $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$  fra desember til og med mai. Medianen, 75 %-persentilen og 25 %-persentilen en relativt lik vannføring i vinterperioden.



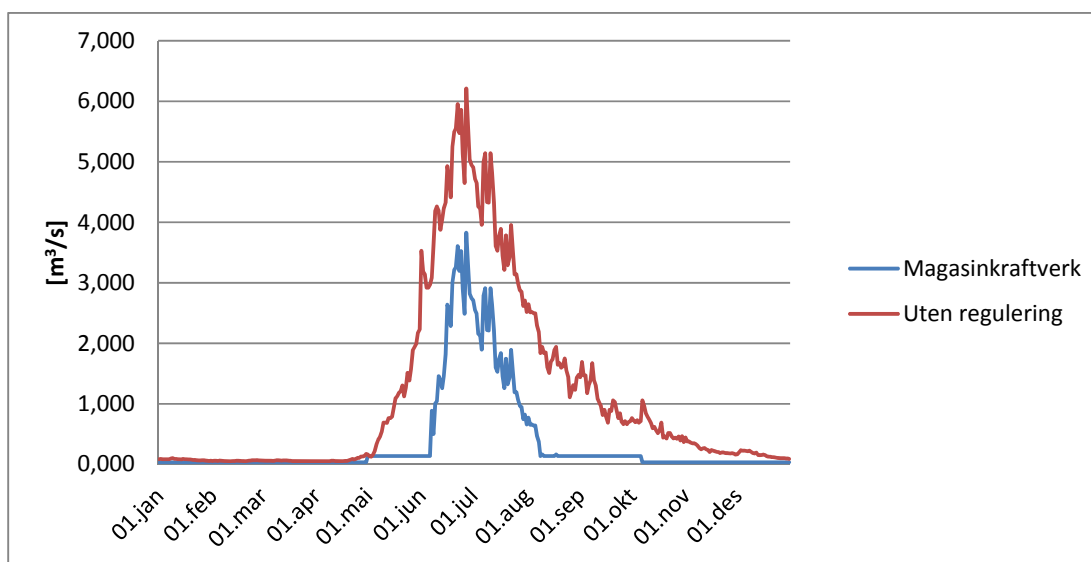
Figur 9 - Vannføringen ved inntaket til magasinkraftverket i et tilfelle *uten* regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000.

Figur 10 viser hvordan vannføringen er like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket i et tilfelle med en regulering. Denne vannføringen består av minstevannføringen og flømtapet. Grafen viser en nærmest statisk vannføring fra august til juni, og er lik kravet til minstevannføringen som er  $0,035\text{m}^3/\text{s}$  om vinteren, og  $0,135\text{ m}^3/\text{s}$  om sommeren. Minstevannføringen vil altså være avgjørende i store deler av året. Den høyeste vannføringen er på  $3,8\text{ m}^3/\text{s}$  i slutten av juni i følge mediankurven. Det er en større variasjon i datasettet i sommerperioden, og dette kan ses i Figur 10. I denne perioden spriker median-, 25 %-persentil- og 75 %-persentilkurvene mest. 75 % av målingene vil ha en vannføring under  $5,1\text{ m}^3/\text{s}$  og 25 % av målingene vil ha en vannføring under  $2,545\text{ m}^3/\text{s}$  som maksimalverdi i løpet av året. Den laveste vannføringen i løpet av året er lik for median, 75 %-persentilen og 25 %-persentilen og tilsvarer minstevannføringskravet på vinterstid som er lik  $0,035\text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figur 10 - Vannføring like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket. Denne vannføringen består av minstevannføringen og flomtap fra magasinet. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000, og er basert på fast definerte REGINE-felt inndeling på NVE Atlas og Bredek som måleserie. Dataene er generert via nMAG2004.**

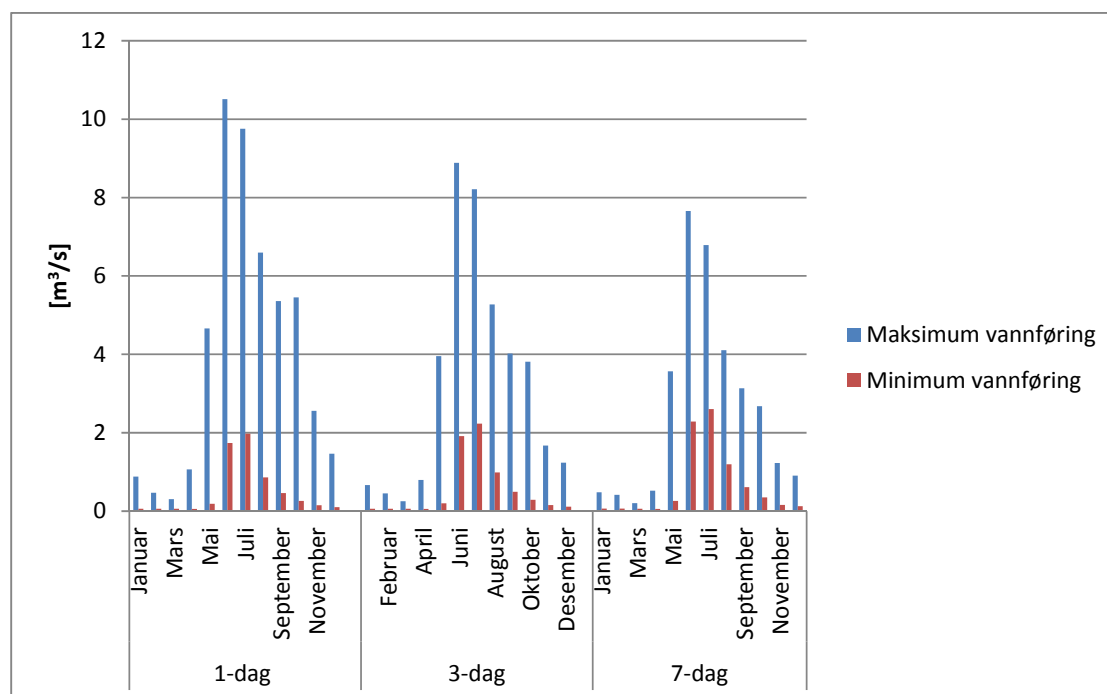
Sammenlignes vannføringen like nedstrøms inntaket i tilfellet med og uten et magasinkraftverk ser man at vannføringen uten regulering er  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere enn den maksimale vannføringen i et tilfelle med magasinkraftverk. Grafen i et tilfelle med regulering følger den samme trenden som grafen uten. Den laveste vannføringen i løpet av året er  $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere i tilfellet med et magasinkraftverk enn uten. Perioden med en relativ lav og stabil vannføring er rundt 5 måneder kortere i et tilfelle uten regulering.



Figur 11 - Median-vannføringen for et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle uten regulering, i punktet like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket. . Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Grafen for magasinkraftverket er generert via nMAG2004.

I januar, februar, mars og april holder den laveste vannføringen seg rundt  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$  i et tilfelle uten regulering. April er den måneden som har den laveste vannføringen, men forskjellen fra de andre månedene er marginal. Om sommeren er juli den måneden hvor minimumsverdiene er på sitt høyeste. Den laveste vannføringen om sommeren holder seg rundt  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den høyeste verdien for 1-dags minimum er lik  $1,975 \text{ m}^3/\text{s}$ , den høyeste verdien for 3-dagers minimumsvariabelen er lik  $2,231 \text{ m}^3/\text{s}$  og 7-dagers minimum er på sitt høyeste lik  $2,604 \text{ m}^3/\text{s}$ . Denne sammenhengen kan lettere ses i Figur 12.

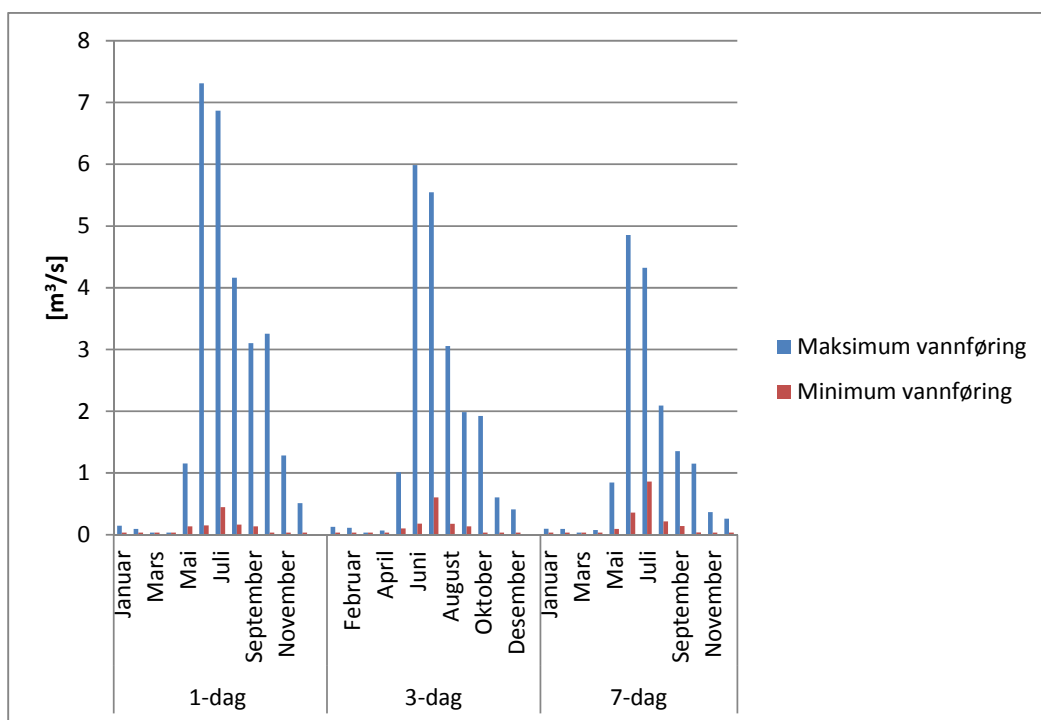
Den høyeste vannføringen i vintermånedene er ikke mye høyere enn den laveste vannføringen, og dette betyr variasjonen i denne perioden er liten. Om sommeren er tilfellet noe annet, da variasjonen i vannmengden er på sitt største. I juni når vannføringen er på sitt høyeste gjennom året med hele  $10,511 \text{ m}^3/\text{s}$ , er den også på sitt laveste  $1,741 \text{ m}^3/\text{s}$ . Figur 12 viser denne variasjonen. 3-dags maksimum viser en vannføring lik  $8,886 \text{ m}^3/\text{s}$  og 7-dags maksimum viser en vannføring lik  $7,658 \text{ m}^3/\text{s}$  på sitt høyeste i juni.



Figur 12 - Variasjonen i vannføringen like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle uten regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

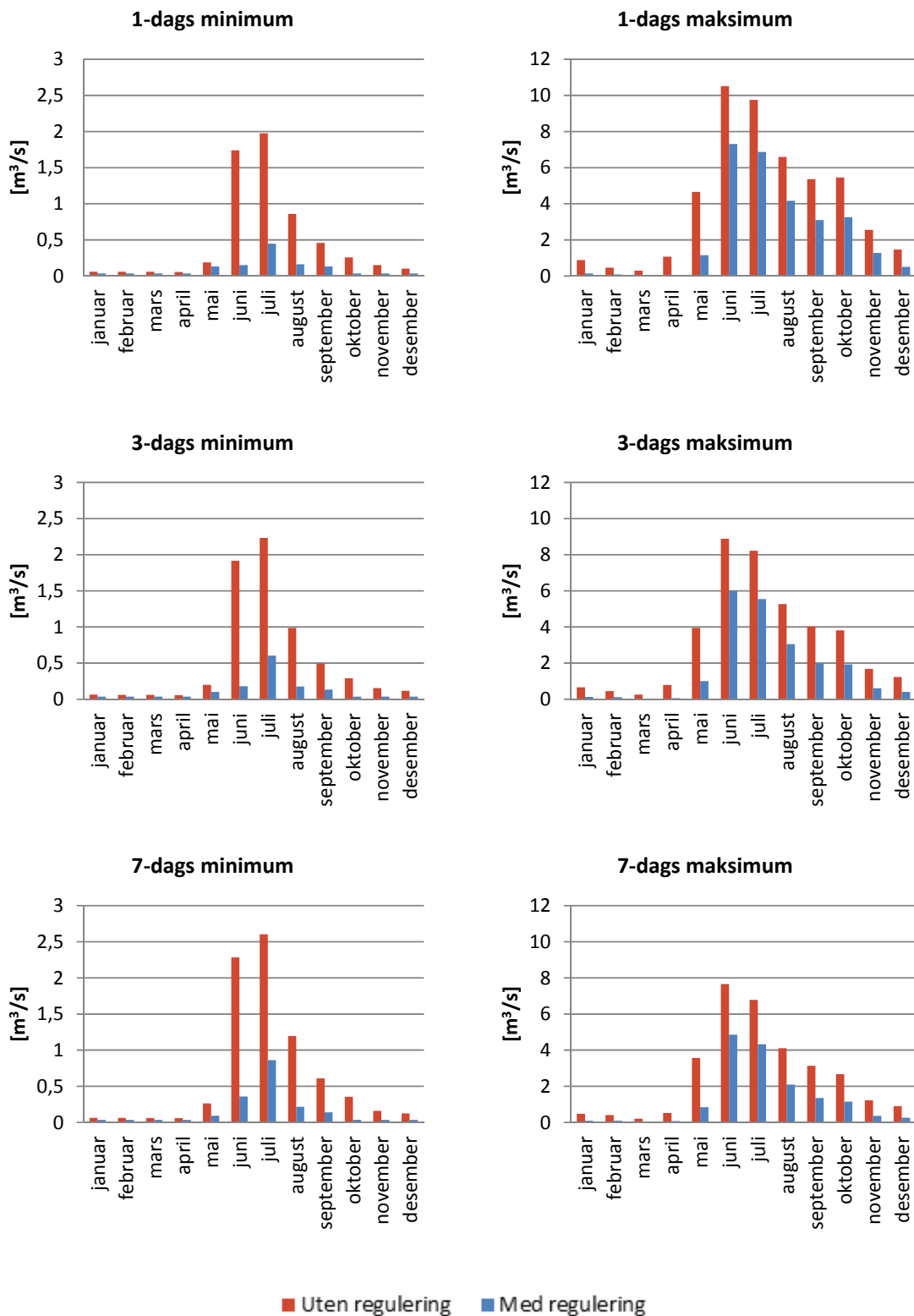
Som det allerede er kartlagt, er minstevannføringen svært avgjørende for store deler av året i et tilfelle med magasinkraftverk. Dette gjenspeiles i 1-dags minimum i Tabell 17, i Vedlegg A, som er minstevannføringskravet fra september til og med mai. 3-dagers minimum viser også at minstevannføringskravet er avgjørende fra september til april, og 7-dagers minimum viser at den er rådende fra november til april. Vannføringen nedstrøms inntakspunktet til magasinkraftverket vil dermed aldri bli helt tørrlagt med et slikt krav om minstevannføring. I juli vil minimumsvannføringen være på sitt høyeste.

Kravet om minstevannføring vil også være avgjørende for hva som er den maksimale vannføringen i løpet av en måned. Dette betyr at vannføringen er stabilt lik minstevannføringen, slik som det ble vist i Figur 9. 1-dags maksimumsverdi er lavest og lik minstevannføringskravet i mars og april, og er høyest i juni med  $7,311 \text{ m}^3/\text{s}$ . For 3-dagers maksimumsverdi inntreffer den laveste verdien i mars og er lik minstevannføringskravet, og den høyeste inntreffer i juni med  $5,987 \text{ m}^3/\text{s}$ . 7-dagers maksimumsverdi er lavest i mars og lik minstevannføringskravet og høyest i juni med  $4,856 \text{ m}^3/\text{s}$ . Variasjonen i vannføringen vil være størst om sommeren, og kraftigst i juni og juli. Dette kan ses ut i fra Figur 13.



Figur 13 - Variasjonen i vannføringen like nedstrøms inntaket til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle med regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

Minimums- og maksimumsvariablene er gjennomgående høyere i et naturlig tilfelle, og er mer varierende gjennom året enn i et tilfelle med regulering der verdiene ofte er lik kravet til minstevannføring. Figur 14 viser en sammenligning basert på Tabell 13 og 14 i Vedlegg A. Forskjellen mellom minimumsvariablene i et regulert og et uregulert tilfelle er tydeligst, og er spesielt stor om sommeren. Den største differansen inntreffer i juli. Maksimumsvariablene viser også en forskjell mellom et tilfelle med og uten regulering, og denne forskjellen er også størst om sommeren, men i juni.

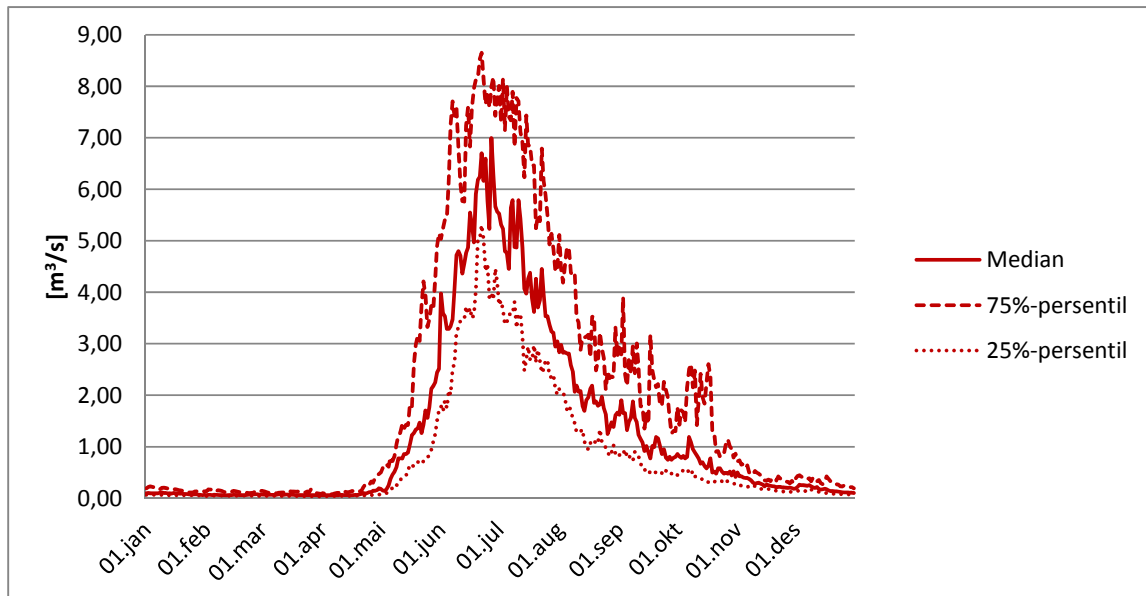


Figur 14 – 1-dags-, 3-dags- og 7-dags minimum og maksimumsverdier for et tilfelle med og uten en regulering av Kvannevatn i punktet for inntak til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

### Oppstrøms utløpet til magasinkraftverket

Uten en regulering vil vannføringen ved utslippet til magasinkraftverket vil være relativt lav og stabil gjennom vinteren og våren. Det vil være en lengre flomperiode om sommeren, som toppes på midtsommeren. Kravet til minstevannføring vil på samme måte som tidligere være avgjørende for vannføringen ved en regulering, men i dette punktet vil elva også motta et lokalt tilsig. Det lokale tilsiget vil være såpass lite på vinteren at det ikke vil ha noe særlig å si for vannføringen i elva. Om sommeren er utslaget fra dette tilsiget større. Flomperioden på sommeren vil være betydelig mye kortere og flomtoppene lavere ved en regulering.

Figur 15 viser vannføringen like oppstrøms utløpet fra magasinkraftverket, for et tilfelle *uten* regulering. Vannføringen vil være liten og relativt stabil fra slutten av desember til og med mai. Den største vannføringen inntreffer i slutten av juni og er  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  i følge mediankurven. Den laveste vannføringen er lik  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ . Grafen for 75 %-persentilen og 25 %-persentilen har en maksimal vannføring henholdsvis lik  $8,7$  og  $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den laveste vannføringen for disse grafene er henholdsvis  $0,08$  og  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vannføringskurven viser en større variasjon i datasettet i sommerperioden i forhold til vinteren, siden kurven for medianen, 25 %-persentilen og 75%-persentilen spriker mest.

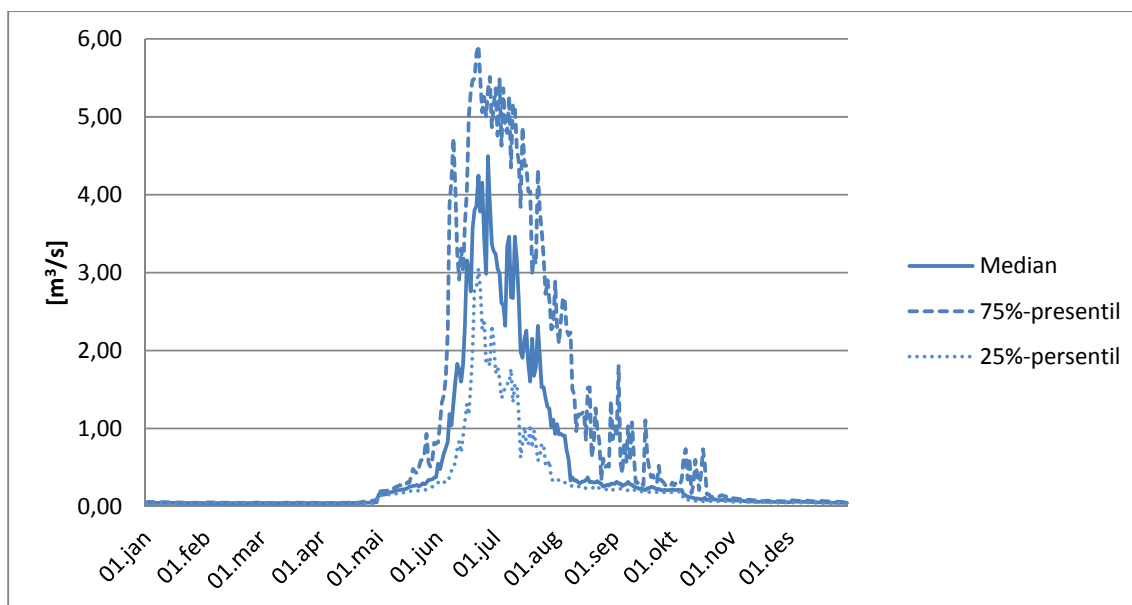


**Figur 15 - Vannføringen like ovenfor magasinkraftverkets utløp i et tilfelle *uten* regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000.**

Figur 16 viser hvordan vannføringen vil være like ovenfor utløpet til magasinkraftverket ved en regulering. Denne vannføringen er lik minstevannføringen, et lokalt tilsig i tillegg til flomtap fra magasinet. Grafen for medianen viser at vannføringen vil nå sitt maksimum i slutten av juni og være lik  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . 75 %-persentilen og 25 %-persentilen viser en maksimal vannføring henholdsvis lik  $5,9$

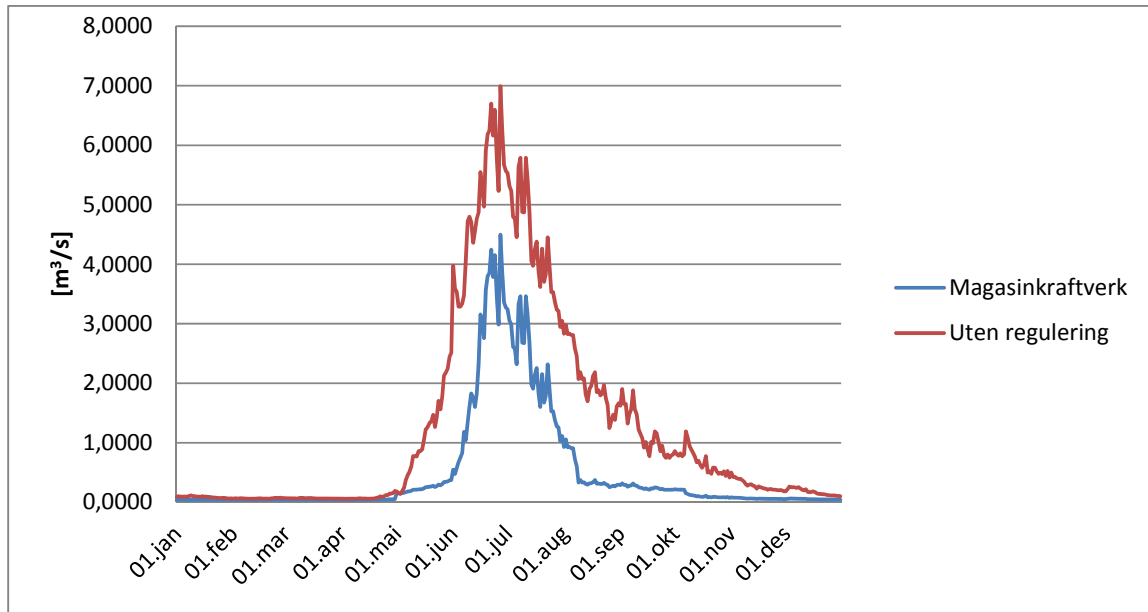


$\text{m}^3/\text{s}$  og  $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Medianverdien er så å si fast på  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ , altså lik minstevannføringskravet, fra starten av januar og frem til slutten av april, og ligger rundt  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$  fra november til desember. Det er en større variasjon i datasettet om sommeren, da median-, 25 %-persentil- og 75 %-persentilkurven spriker mest.



**Figur 16 - Vannføringen like ovenfor magasinkraftverkets utløp. Denne vannføringen består av et lokalt tilsig, minstevannføring og flomtap fra magasinet. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000, og er basert på fast definerte REGINE-felt inndeling på NVE Atlas og Bredek som måleserie. Dataene er generert via nMAG2004.**

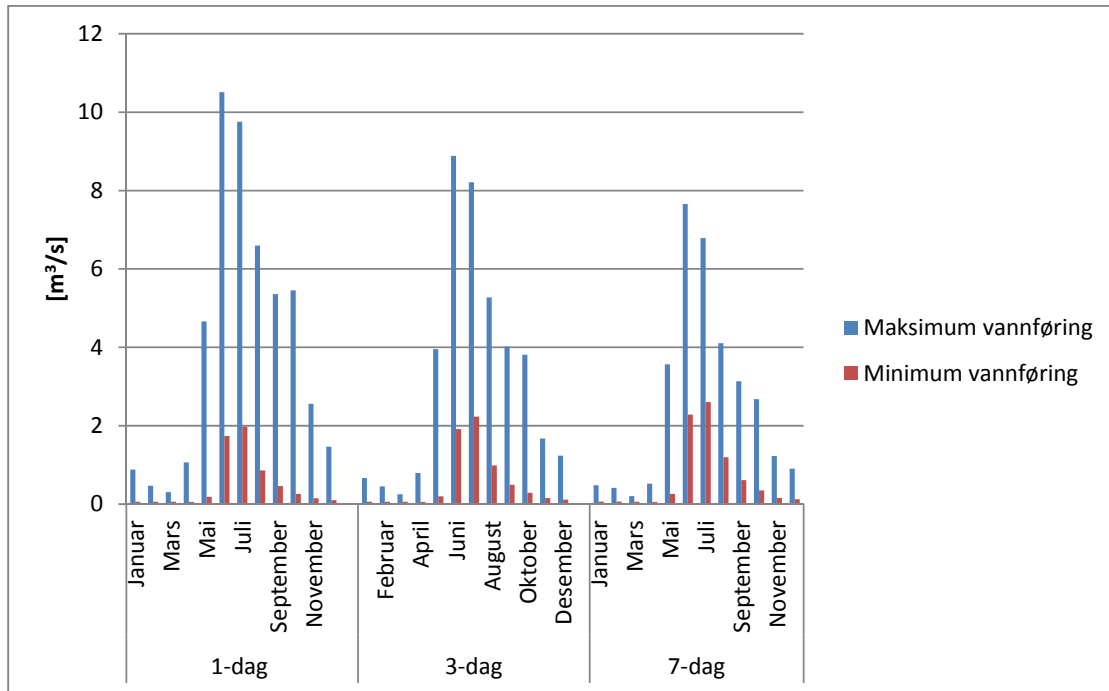
I et tilfelle uten regulering vil vannføringsgrafen følge den samme trenden som i et tilfelle med regulering i punktet like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket. I følge median-kurvene er vannføringen i et naturlig tilfelle  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  høyere enn i et tilfelle med regulering. Den laveste vannføringen vil være tilnærmet den samme i et tilfelle med og uten regulering, der vannføringen bare er  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  høyere uten regulering. Perioden med en relativ lav og stabil vannføring er mellom 4 og 5 måneder kortere i et tilfelle uten regulering. Kravet om minstevannføring vil ha stor betydning for fasongen for vannføringen, og grafen viser en mer stabil vannføring i periodene mai til juni og august til desember.



**Figur 17 - Median-vannføringen for et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle uten regulering, i punktet like oppstrøms utløpet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Grafen for magasinkraftverket er generert via nMAG2004.**

I et tilfelle uten regulering er den laveste vannføringen i underkant av  $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$  i månedene på starten av året. April er fortsatt den måneden med den laveste vannføringen. I flomperioden om sommeren er den laveste vannføringen i overkant av  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , da 1-dags minimum er  $2,223 \text{ m}^3/\text{s}$ , 3-dags minimum er  $2,511 \text{ m}^3/\text{s}$  og 7-dags minimum er  $2,931 \text{ m}^3/\text{s}$ .

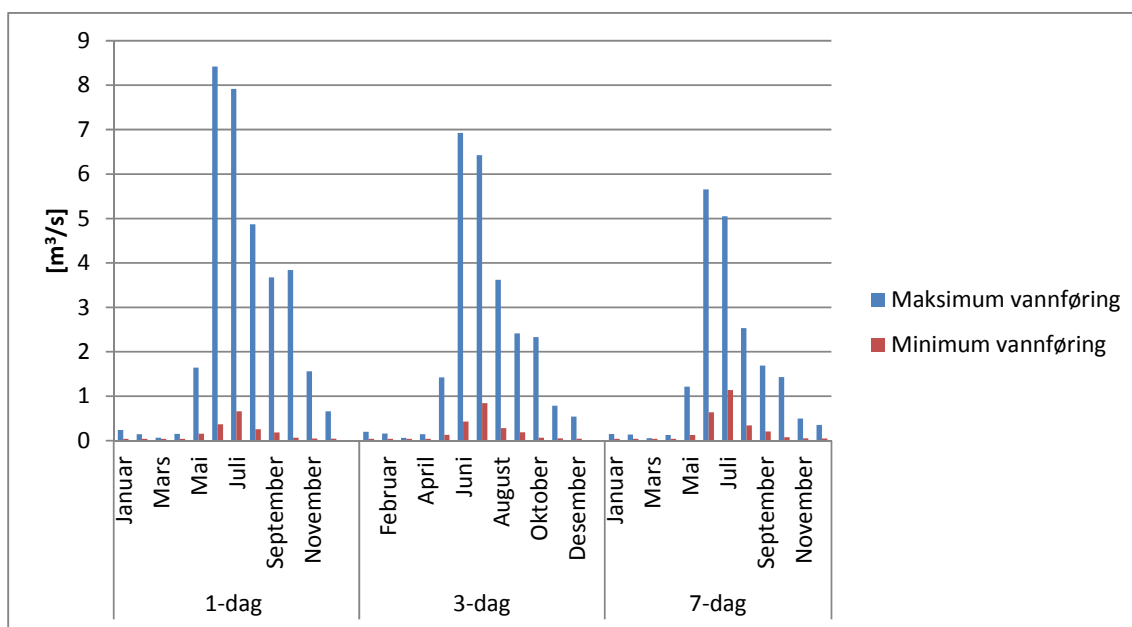
Den maksimale vannføringen i vintermånedene er ikke mye høyere enn den laveste vannføringen som inntreffer. Dette betyr at variasjonen i vannføringen er liten. I Tabell 15, i Vedlegg A, kommer det fram at den laveste vannføringen er i siste del av vinteren og på våren i månedene januar, februar, mars og april. 1-dags minimum holder seg rundt  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , mens 1-dags maksimum er under  $1,204 \text{ m}^3/\text{s}$ . I vinter-/høstmånedene oktober, november og desember er også vannføringen synkende og lav. Om sommeren, i juni, inntreffer den høyeste vannføringen. Maksimal vannføringen i et gjennomsnittsåår når  $11,833 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den høyeste vannføringen i en tredagers sammenhengende periode er på  $10,003 \text{ m}^3/\text{s}$ , og i en sjudagers periode er  $8,621 \text{ m}^3/\text{s}$ . Variasjonen i vannføringen i flomperioden er stor. Dette kan ses i Figur 18.



Figur 18 - Variasjonen i vannføringen like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle uten regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

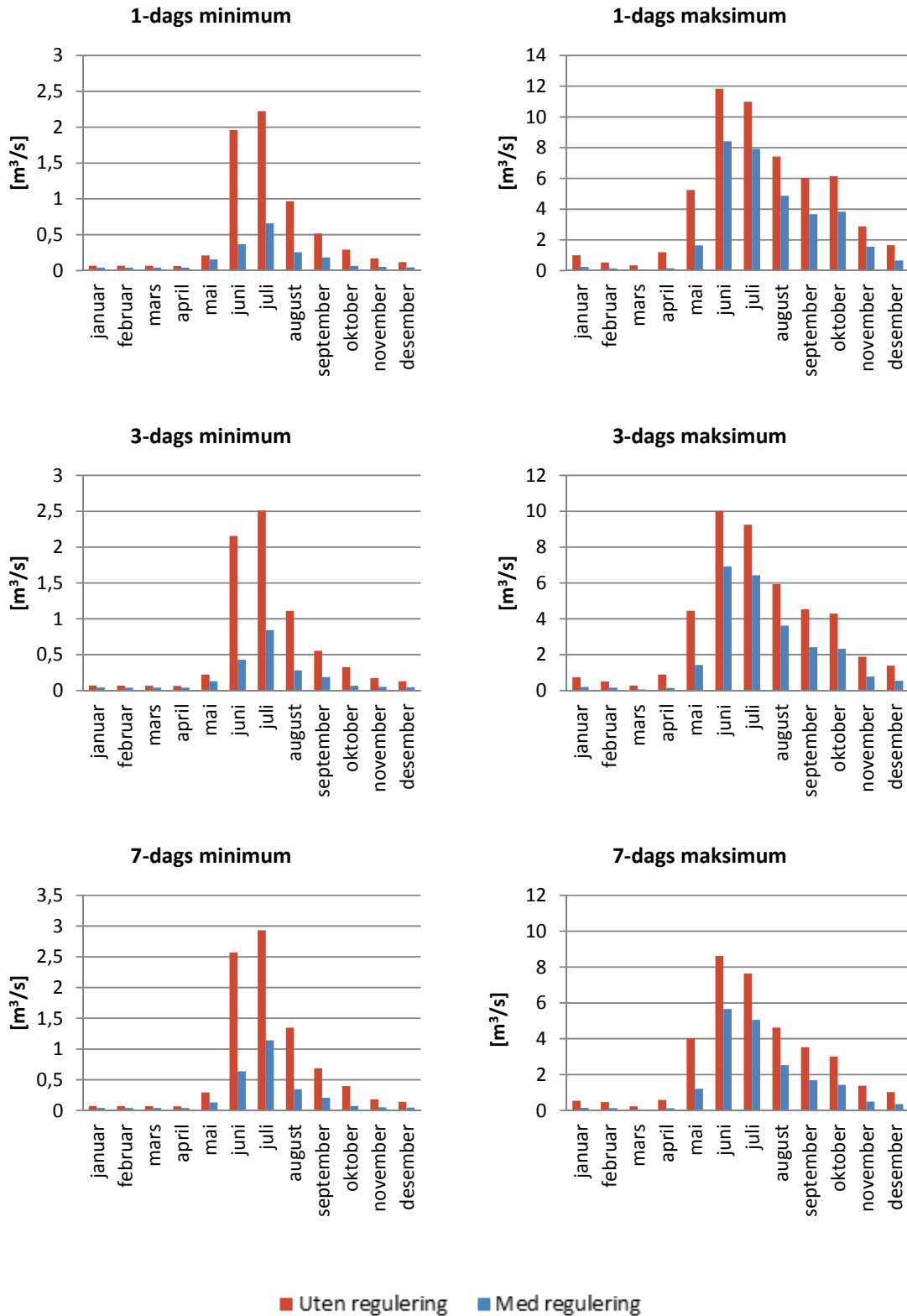
Ved en regulering ligger minimumsvariablene rundt  $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$  i desember til april. Dette betyr at det vil være et relativt stabilt og lavt, lokalt tilsig i denne perioden i tillegg til minstevannføringen. Den laveste vannføringen i oktober og november er også rimelig lav, men noe høyere enn på vårsiden. I sommerperioden er lokale tilsiget større, og i tillegg til et flomtap vil minimum vannføring være på sitt høyeste. Da er 1-dags minimum  $0,659 \text{ m}^3/\text{s}$ , 3-dags minimum  $0,844 \text{ m}^3/\text{s}$  og 7-dags minimum  $1,141 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Den høyeste vannføringen som inntreffer ved regulering vil være på sitt maksimale  $8,421 \text{ m}^3/\text{s}$ . I en tredagers sammenhengende periode er denne  $6,927 \text{ m}^3/\text{s}$ , og i en sjudagers periode lik  $5,657 \text{ m}^3/\text{s}$ . Variasjonen i vannføringen vil være størst om sommeren, og kraftigst på midtsommeren. Figur 19 viser sammenhengen mellom maksimal og minimal vannføring for hver måned.



Figur 19 - Variasjonen i vannføringen like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle med regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

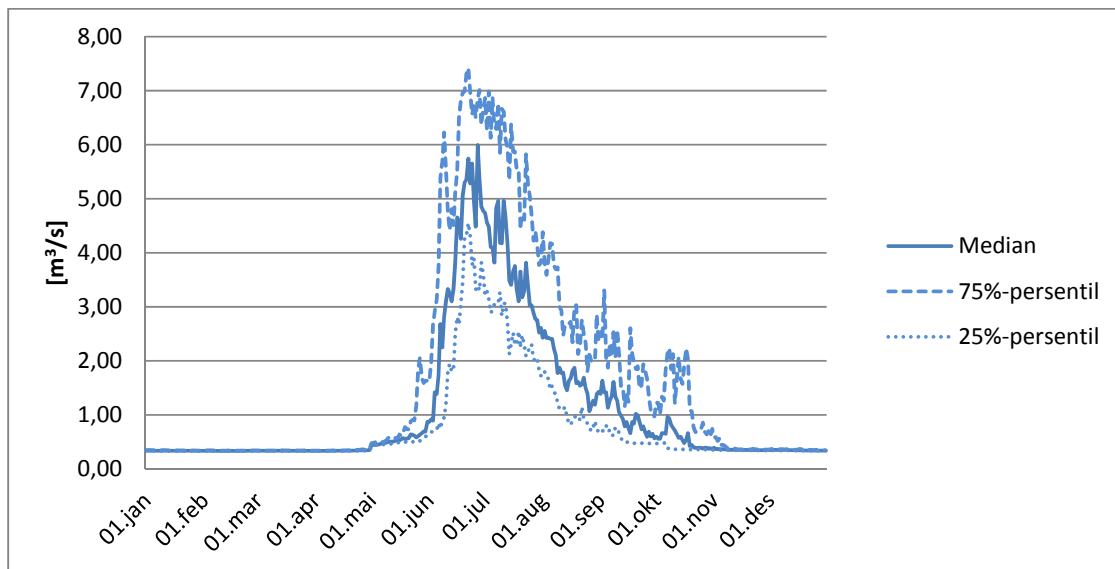
Minimums- og maksimumsvariablene er høyere i et naturlig tilfelle enn med en regulering like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket. I tillegg viser variablene en mer variert vannføring gjennom året i et naturlig tilfelle, da vannføringen i et tilfelle med magasinkraftverk ofte er definert av minstevannføringskravet. Forskjellen mellom minimumsvariablene i et regulert og uregulert tilfelle er størst, med den største differansen i juni og juli. Se Figur 20.



Figur 20 - 1-dags-, 3-dags- og 7-dags minimum og maksimumsverdier for et tilfelle med og uten en regulering av Kvannevatn i punktet like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

### Nedstrøms utslippet til magasinkraftverket

Figur 21 viser hvordan vannføringen vil utarte seg like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket. Denne vannføringen består altså av minstevannføringen, det lokale tilsiget, flomtap og vannføring fra produksjonen. Den største vannføringen vil inntreffe i slutten av juni og være lik  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . 75 %-persentilen og 25 %-persentilen viser henholdsvis en maksimal vannføring lik  $7,42 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $4,55 \text{ m}^3/\text{s}$ . I vinterperioden, som varer ifra slutten av november til april, er vannføringen ganske stabil og lav, og den ligger i overkant av  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det er en større variasjon i datasettet i sommerperioden i forhold til vinteren, da median-, 25 %-persentil- og 75 %-persentilkurven spriker mest. Om vinteren er disse kurvene for det meste sammenfallende.

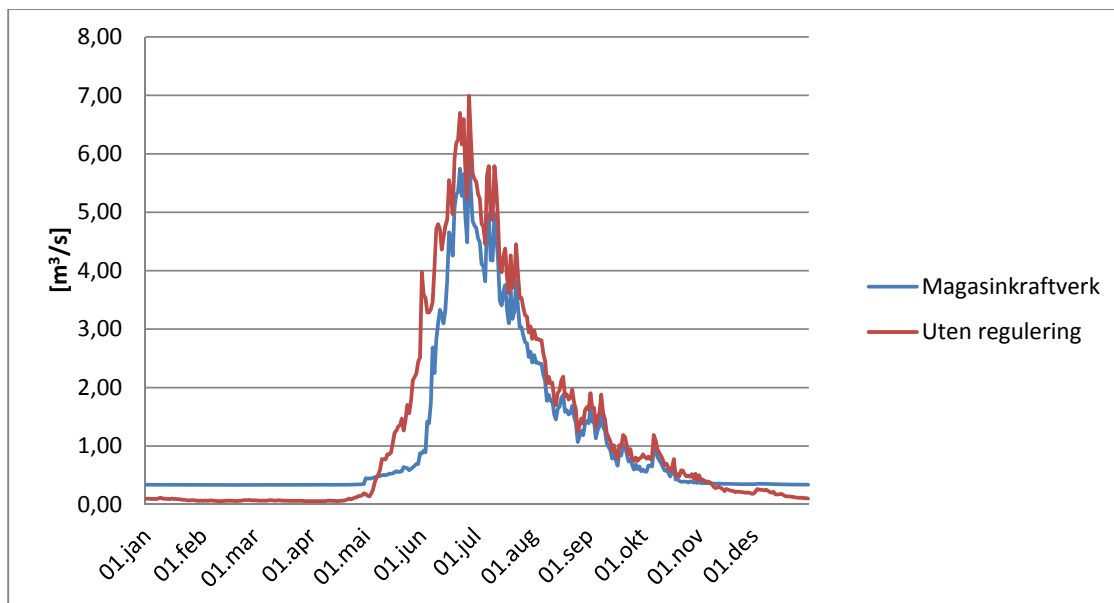


Figur 21 - Vannføringen nedstrøms utløpet til magasinkraftverket. Vannføringen består av minstevannføringen, flomtap, lokalt tilsig og produksjonsvannføringen. Median- og persentilverdiene er beregnet ut ifra en måleserie fra 1968 til år 2000, og er basert på fast definerte REGINE-felt inndeling på NVE Atlas og Bredek som måleserie. Dataene er generert via nMAG2004.

Vannføringen like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket vil sammenlignes med den samme naturlige vannføringen som inntreffer i et tilfelle uten regulering som ble beskrevet like oppstrøms utslippet til magasinkraftverket. Den naturlige vannføringen antas å være den samme på disse to punktene.

Figur 22 viser hvordan vannføringen like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket i et tilfelle med og uten regulering vil utarte seg gjennom året. Det vil være samme volum vann i et tilfelle med og uten regulering, men fordelingen av vannføringen gjennom året vil være forskjellig. Grafen viser at vannføringen vil være høyere i et tilfelle med regulering fra november til mai, og vil være tilsvarende lavere i de resterende sommermånedene. Perioden med en relativ lav og stabil vannføring nedstrøms utløpet til magasinkraftverket er omtrent lik for tilfellet med og uten regulering. Den

maksimal vannføringen uten en regulering vil være  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$  høyere enn i et tilfelle med regulering. Vannføringen vil på sitt laveste være  $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere i et tilfelle uten regulering.

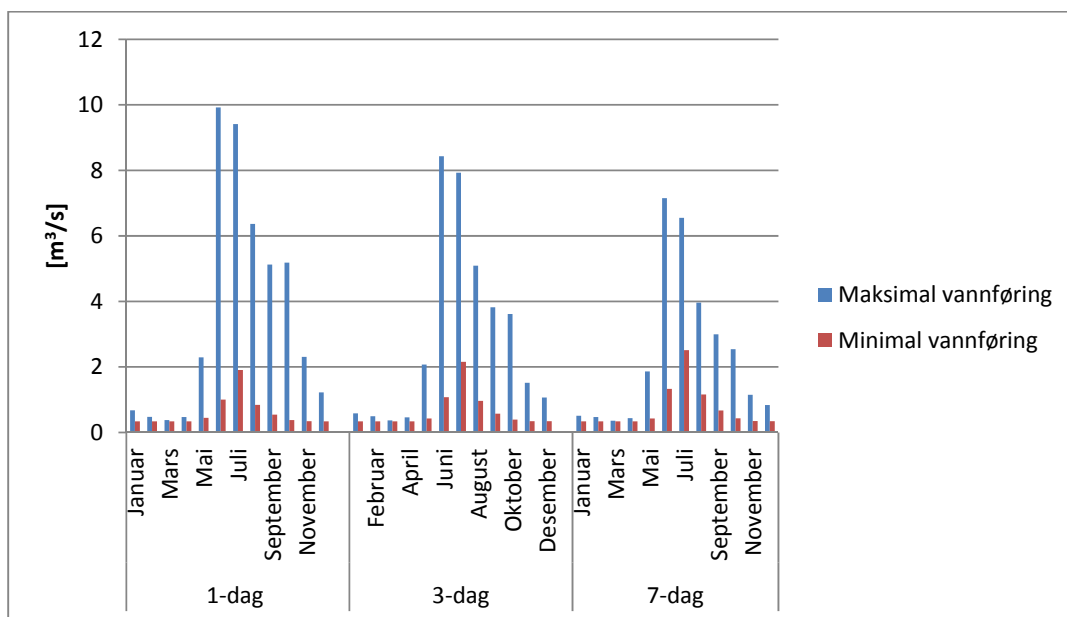


**Figur 22 - Median-vannføringen for et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle uten regulering, i punktet like oppstrøms utløpet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas. Grafen for magasinkraftverket er generert via nMAG2004.**

Minimumsvariabelen i Tabell 17, i Vedlegg A, viser at vannføringen på sitt laveste ligger i overkant av  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  på vinteren og vårparten av året. I juni er den laveste vannføringen henholdsvis  $1,906 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $2,153 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $2,513 \text{ m}^3/\text{s}$  for henholdsvis 1-dags-, 3-dagers- og 7dagers minimum.

Den høyeste vannføringen ved en regulering like nedstrøms utløpet til magasinkraftverket inntreffer i juni. I denne måneden er den  $9,914 \text{ m}^3/\text{s}$  på sitt høyeste, 3-dagers maksimum er  $8,428 \text{ m}^3/\text{s}$  og 7-dagers maksimum er  $7,153 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Variasjonen i vannføringen vil være relativt liten i vinterperioden, men økende på sommeren og minkende mot høsten. Figur 23 viser sammenhengen mellom den laveste og høyeste vannføringen for hver måned.

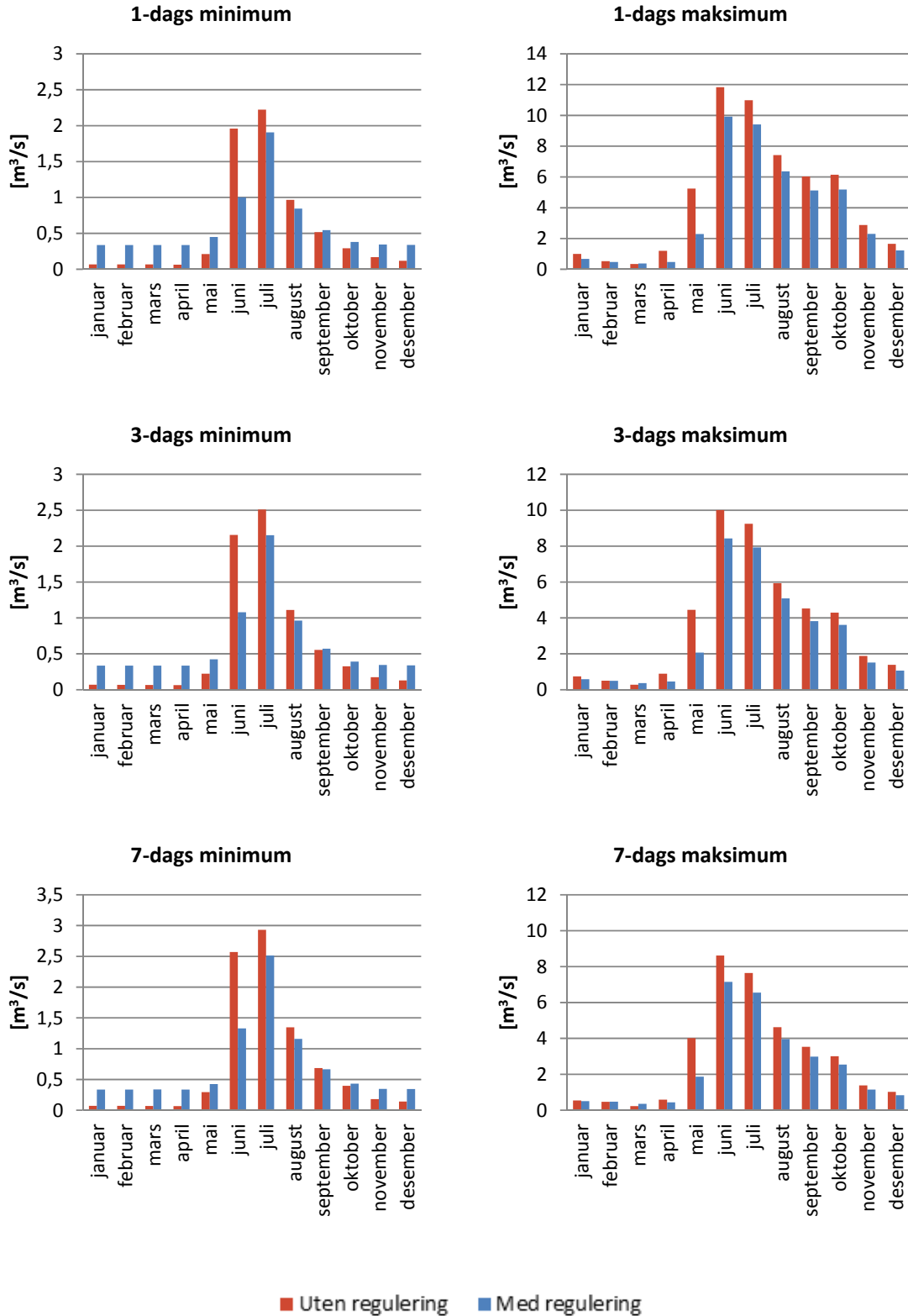


**Figur 23 - Variasjonen i vannføringen like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket basert på 1-dags, 3-dags og 7-dags minimum og maksimum. Dette er for et tilfelle med regulering. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.**

Vannføringen nedstrøms utløpet til magasinkraftverket vil på sitt laveste være høyere enn hva vannføringen er i et naturlig tilfelle. I Tabell 15 og 17, i Vedlegg A, kommer det fram at den laveste vannføringen i januar, februar, mars og april er nesten  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  høyere med regulering. På tilsvarende måte er vannføringen om sommeren lavere ved en regulering, hvor flomtoppene vil bli noe lavere. Den maksimale vannføringen med regulering vil være lik  $9,921 \text{ m}^3/\text{s}$  i juni, mens uten regulering er denne verdien lik  $10,982 \text{ m}^3/\text{s}$  og dette i juli. Differansen her er rundt  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . 3-dagers minimum vil ha en differanse rundt  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , og 7-dagers minimum en differanse rundt  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Maksimumsvariablene viser en gjennomgående høyere vannføring i et tilfelle uten regulering. Minimumsvariablene for et uregulert tilfelle vil grovt sett være lavere i vinterperioden og høyere i sommerperioden. Differansen mellom minimums- og maksimumsvariablene vil være en del mindre enn for kontrollpunktene oppstrøms utslippet og nedstrøms inntaket til magasinkraftverket, siden nedstrøms utslippet også vil ta produksjonsvannføringen i betraktning. Den største differansen er for minimumsvariablene på sommeren.





Figur 24 - Figur 25 - 1-dags-, 3-dags- og 7-dags minimum og maksimumsverdier for et tilfelle med og uten en regulering av Kvannevatn i punktet like nedstrøms utslippet til magasinkraftverket. Dataene er skalert fra måleserien Bredek fra 1968 til 2000, og basert på REGINE-inndelingen fra NVE Atlas.

Analysen av vannføringen i et tilfelle med og uten regulering har vist at flomtoppene vil være lavere med regulering, og flomperioden vil være kortere i strekningen mellom inntaket og utslippet til magasinkraftverket. Nedstrøms utslippet til magasinkraftverket vil det være samme volum vann i et tilfelle med og uten regulering, men fordelingen av vannføringen gjennom året vil være forskjellig. Om vinteren vil vannføringen være høyere, mens om sommeren vil vannføringen være tilsvarende lavere.

Variasjonen i vannføring i løpet av en måned vil være mindre i et tilfelle med regulering i forhold til et uten i bypass-strekningen. Maksimal og minimal vannføring vil være lavere ved en regulering enn uten. Nedstrøms utslippet til magasinkraftverket vil maksimal vannføring være tilnærmet høyere i et tilfelle uten regulering enn med. Minimal vannføring vil tilnærmet være lavere om vinteren, og høyere om sommeren uten en regulering i forhold til med.

Med dette kan man blant annet se at magasinkraftverket kan bidra med å minke de verste flomtoppene dersom dette skulle være et problem for brukerinteressene. Samtidig kan det være at sedimentavsetninger avhenger av en slik flom for ikke å skape problemer.

## 4.3 HYDROLOGI: FYSISKE VIRKNINGER

### 4.3.1 Klima

Ettersom magasinet og kraftverket er av relativt liten størrelse, blir det antatt at prosjektet ikke vil ha noen innvirkning på klimaet. Magasinet vil ikke ha noen betydelig varmekapasitet som ville gitt noen effekter på lokalklimaet.

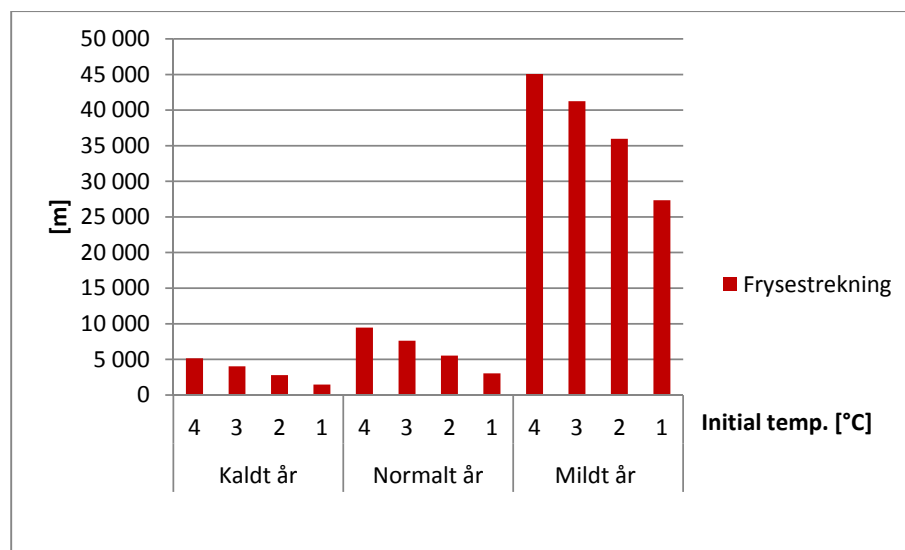
### 4.3.2 Is- og vanntemperatur

#### Uten regulering

Uten en regulering, med en gjennomsnittlig vannføring lik  $0,202 \text{ m}^3/\text{s}$ , viser Figur 26 i hvilken avstand, fra utløpet til Kvannevatn, vannføringen vil begynne å fryse. Med antagelsen at elva har en uniform strømning og en bredde på 3 meter, vil vanddybden være i størrelsesorden 5-10 cm, dersom man ser bort fra lokalt tilsig i vinterperioden. Dette er fornuftig fordi det lokale tilsiget i vinterperioden vil være tilnærmet lik null. Se vedlagt CD i filen «magasinkraftverk.xlsx». Med en så lav vannstand vil vannet mest sannsynlig ikke renne mye lenger, enn der temperaturen i vannet når 0 grader celsius, før elva er bunnfryst.

I følge Figur 26 er det bare sjanse for at elva vil fryse i bypass- strekningen, strekningen mellom punktet for inntaket og utslippet til magasinkraftverket, i et kaldt år når initialtemperaturen til vannet er under 2 grader celsius. I et normalt år vil ikke vannet fryse på denne strekningen, med

mindre initialtemperaturen er under 1 grad celsius. I en varm vinter vil ikke elvestrekningen fryse, siden frysestrekningen overgår den bypass-strekningen. Bypass- strekningen er antatt til å være litt i overkant av 3 kilometer, ettersom høydeforskjellen mellom punktene er 359 meter og avstanden mellom disse to punktene i luftlinje er 3120 meter ut ifra Kartverkets karttjeneste.



Figur 26 - Strekning nedstrøms utløpet til Kvannevatn vannføringen i Sagelva vil begynne å fryse i et tilfelle uten utbygging. Se vedlegg B for tabell med tallverdier.

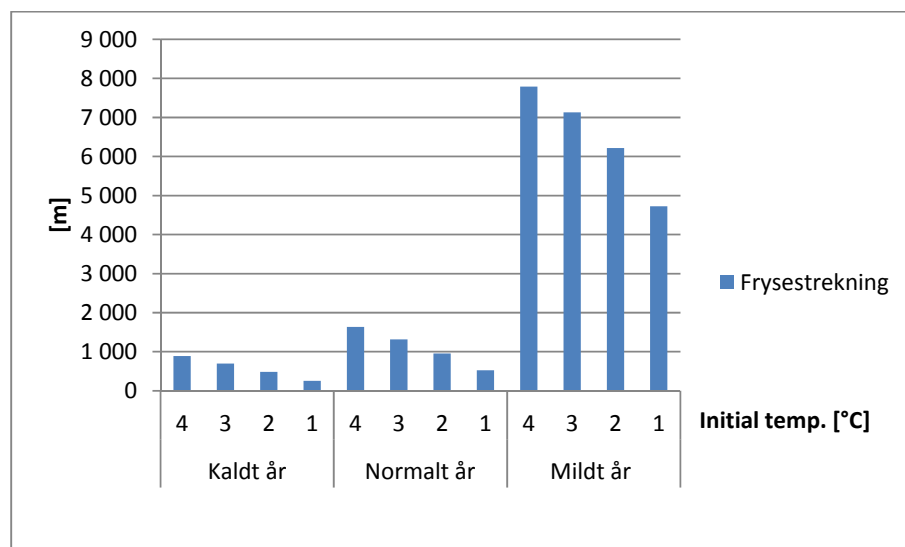
### Med regulering

Figur 27 viser hvor langt vannet renner før det fryser i et kaldt, normalt og varmt år med varierende initialtemperatur, i et tilfelle med magasinkraftverk. Vannføringen er satt lik  $0,035\text{m}^3/\text{s}$ , som er minstevannføringskravet om vinteren. Elva er antatt til å ha en uniform strømning i hele sitt løp, og en bredde på 3 meter. Vandybden vil med disse antagelsene være kun i størrelsesorden 2-5 cm. Dermed er det antatt at elva vil være tilnærmet bunnfrosset i punktet der vannføringen når en temperatur lik 0 grader celsius.

I et normalt og kaldt år kommer det tydelig frem at frysestrekningen er betydelig kortere enn i et mildt år. Dersom vannet som forlater magasinet har en temperatur lik 4 celsius, og dette er et normalår der lufttemperaturen er  $-4,1$  grader celsius, vil vannet strømme cirka 1650 meter før det fryser. Har vannet en initialtemperatur lik 1 grad celsius, vil denne strekningen være rundt 550 meter. Initialtemperaturen har altså mye å si for frysestrekningen.

Under en kald vinter, med lufttemperatur lik  $-8,93$  grader celsius, vil vannføringen strømme 890 meter før det fryser dersom initialtemperaturen er 4 grader celsius. Ved 1 grad celsius strømmer det bare 255 meter før det fryser.

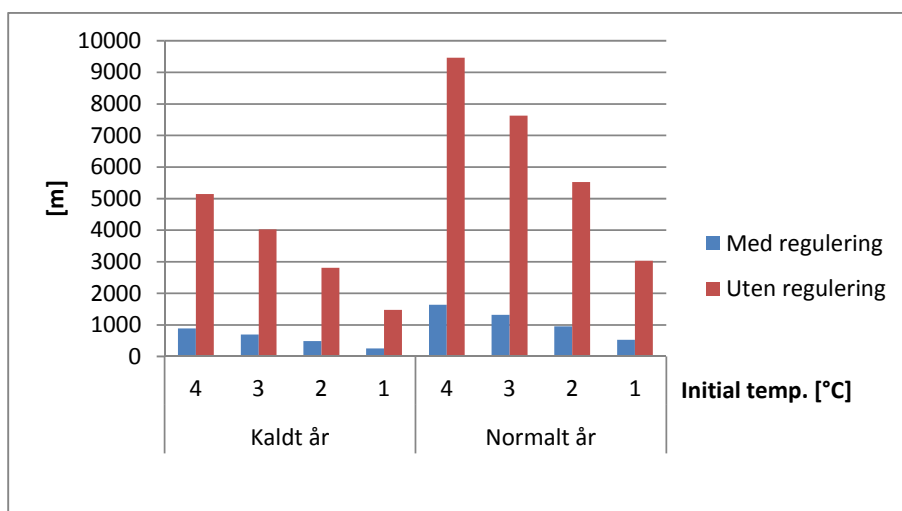
Under en mild vinter med  $-0,16$  grader celsius vil ikke vannet fryse i strekningen mellom inntak og utslipp til magasinkraftverket. Dette kommer frem i Tabell 18, i Vedlegg B, da frysestrekningen overskrider avstanden mellom inntak og utslipp.



**Figur 27 - Strekning nedstrøms punkt for inntak før vannet i Sagelva vil begynne å fryse i et tilfelle med magasinkraftverk. Se vedlegg B for tabell med tallverdier.**

Sammenlignes frysestrekningen mellom inntaket og utslippet til magasinkraftverket i et tilfelle med og uten regulering, viser Figur 28 sammenhengen mellom frysestrekningene. Som nevnt tidligere vil ikke vannet fryse innenfor den aktuelle strekningen i et mildt år i noen av tilfellene, ettersom frysestrekningen er lenger enn strekningen mellom inntaket og utslippet til magasinkraftverket. Derfor er ikke verdiene for en mild vinter tatt med i Figur 28. Det er tydelig at frysestrekningen er kraftig forkortet i et tilfelle med regulering. Med regulering og i et normalt år vil elva fryse, noe som bare er tilfelle dersom initialtemperaturen er under 1 grad celsius i tilfellet uten regulering. I et kaldt år med regulering vil elva fryse med initialtemperatur under 4 grader celsius, mens uten regulering vil den bare fryse dersom initialtemperaturen er under 2 grader celsius.

Resultatene av beregning av frysestrekning viser at en regulering vil gi betydelig kortere frysestrekning enn i et tilfelle uten regulering. Dersom kravet til minstevannføring uansett vil bunnfryse like nedstrøms utløpet til Kvannevatn, er det lite poeng i et slikt krav.



Figur 28 - Strekning nedstrøms punkt for inntak før vannet i Sagelva vil begynne å fryse i et naturlig tilfelle og et tilfelle med magasin kraftverk. Se vedlegg B for tabell med tallverdier.

### 4.3.3 Strøm og Spredning

Strømningen i elva er avgjørende for transport og rearrangering av materiale på elvebunnen og bredden. Ettersom elvebunnen blant annet utgjør fotfestet for flere organismer, er stedet flere arter klekker og oppbevarer eggene sine, er et tilfluktsted og et lager for mat og næring, er strømmingen en avgjørende faktor (Nancy D. Gordon, Thomas A. McMahon, Brian L. Finlayson, Christopher J. Gippel, & Nathan, 2004).

Ved en regulering kan strømningsmønsteret i elva endres i forhold til et naturlig tilfelle uten utbygging i Sagelva. Som det ble vist i delkapittel 4.2.2 vil vannføringen i bypass-strekningen følge trenden som den naturlige strømmingen viser. Perioden i løpet av året hvor vannføringen er lav og relativt stabil, er likevel betydelig kortere i øvre deler av Sagelva, ved en regulering i forhold til uten, med hele 5 måneder. I tillegg er vannføringen ved en regulering mellom 25 og 40 % lavere enn den naturlige vannføringen i denne strekningen. Dette kan ha konsekvenser for eksempel fisk som er avhengig av kulper for å legge eggene sine, og det er fare for at disse tørker ut, eller at fisk og egg strander i slike kulper. Videre kan det hende at fisken er avhengig av en lang flomperiode for sin livssyklus.

Ettersom det allerede står en dam ved utløpet til Kvannevatn fordi vannet benyttes som en drikkevannskilde, vil ikke en større dam utgjøre et stort problem med tanke på strøm og spredning. Dagens dam er allerede et fysisk hinder for strømmingen fra Kvannevatn og ut i Sagelva, og hindrer dermed fysiske og kjemiske prosesser som spredning av næringsstoffer og sedimenter nedstrøms Kvannevatn.

### 4.3.4 Grunnvann

Minikraft AS skrev i søknaden at det ikke forventes noen virkninger av betydning på grunnvannet i området. Ettersom Sagelva er en elv som mottar vann fra sidevassdrag, og det i tillegg kommer grunnvann opp i elva, omtalt som «oppkom», vil elva aldri bli synlig tørr fra Ørtfjellvegen som krysser elva. På grunn av dette oppkommet vil Sagelvas nedre del aldri bli islagt (NVE, 2006).

### 4.3.5 Erosjon

Geolog Ulrik Sovegjarto, innleid av Minikraft AS, vurderer erosjonsfaren ved oppdemming som minimal. Han skriver at skråningene ned mot Kvannevatn er av stabil grunn, og at det bare er flekkvis relativt tynn jord, løsmasser med lavt gress, mose og lyng mellom bare fjellflater (Søvgjarto, 2003).

### 4.3.6 Vannkvalitet

En oppdemming av Kvannevatn vil få konsekvenser for vannkvaliteten. Oversvømming av myrområder og økt turbiditet vil føre til at fargetallet endres. Dette blir nærmere beskrevet i delkapittelet 4.8.8.

## 4.4 HYDROLOGI: LEVENDE MILJØ

### 4.4.1 Strandvegetasjon

Strandvegetasjonen vil oppleve en regulering fra kote 479 til laveste på kote 476 slik det ble beskrevet i delkapittel 4.3. Selv om denne reguleringsforskjellen ikke er stor, vil magasinet på sitt høyeste ha en vannstand 8 meter høyere enn dagens nivå, og dette vil føre til at myrområdet nord i vannet, og de flate øyene i sørenden av vannet, vil bli oversvømt. Dette kan føre til at flere arter går tapt, og det kan oppstå en ny sammensetning av arter. Ettersom øst- og vestsiden av Kvannevatn er beskrevet som et bratt og karrig område med steinur, vil tap/endring av strandvegetasjonen her anses for å være mindre kritisk.

### 4.4.2 Dyreliv i vann

I Kvannevatn finnes det røye og ørret, og begge disse artene er stasjonære. Dette vil si at de holder seg i Kvannevatn eller Sagelva, og ikke går ut på vandring til saltere vann. Denne antagelsen baseres på at Sagelva stuper ned i en tunell under Ørtfjellområdet etter utslippet til dagens Sagelva II, og kommer ut ved samløp med Ranaelva. I tillegg vil dagens dam og fosser i Sagelva utgjøre hinder for fiskens vandring. Gytetiden for ørret er som regel i perioden oktober til november, men dette kan variere, og den kan gyte både i rennende vann og i innsjøer. Røya gyter helst i innsjøer. Etter at røya ble satt ut i Kvannevatn på 70-tallet har ørret-bestanden minnet. Lokalbefolkningen fisker i vannet

om sommeren, men noen fisker også i kulper i Sagelva. Lokale har informert om at det er mye fisk i Kvannevatn, men at denne fisken er av liten størrelse (NVE, 2006).

Etter en regulering av vann og vassdrag er det normalt en oppgang i antall fisk og dens størrelse. Dette kommer av at fisken får tilgang på mer næring ettersom strandområder blir oversvømt hvor det finnes insekter og næringsrike forbindelser. Denne oppgangen vil stagnere på lang sikt, men den endelige endringen i fiskebestanden trenger ikke å vises før 10 år etter regulering (NVE, 2006).

Grønn Kompetanse observerte noen husbyggende vårfluer i Sagelva, og en regulering av elva kan ha negativ konsekvenser for disse. Likevel vurderer de denne verdien som liten. De observerte ellers ingen virvelløse dyr under befaringen (NVE, 2006).

#### 4.4.3 Vegetasjon i vann

Grønn Kompetanse påviste flere fossesprøytsoner, som er en hensynskrevende naturtype, i den delen av elva som må utbygges. Fossesprøytzone utgjør de åpne kantsonene omkring fosser med så stort fall at det dannes en sky med stabil fossesprøyt og fosserøyk. Særlig fuktighetskrevende arter avhenger av denne naturtypen, og dette kan ofte være sjeldne og spesialiserte mosearter. En regulering vil være av stor trussel mot denne naturtypen (Naturvernforbundet, 2012). Det er nasjonalt resultatmål at de viktige økologiske funksjonene skal opprettholdes i disse sonene. Grønn Kompetanse registrerte ikke noen rødlistearter eller arter som var avhengig av aerosol vanntilgang i denne naturtypen. Likevel ble denne fossesprøytsonen beskrevet som *spesiell* med sine ulike elveløp. Videre ble mosefloraen langs Sagelva beskrevet som ordinær (NVE, 2006).

### 4.5 LANDSKAP: PRIMÆRE VIRKNINGER

Betongdammen er planlagt i et naturlig søkk der Sagelvdalen er smalest på solid fjell. Dammen er planlagt med topp på kote 481 (Søvegjarto, 2003). Det er mye bart fjell i området rundt, så dammen i seg selv trenger ikke å bli spesielt skjemmende.



**Figur 29 - Kvannevatn, damstedet slik det er idag. Sett mot nordvest (Søvgjarto, 2003).**

Rørgater kan virke skjemmende, men dersom de graves ned i løsmasser kan sårene i terrenget bli små. Men om rør skal legges «under bakken» i fjellterreng, kan dette gi store «sår» i terrenget, fordi det ofte må sprenges grøfter. Sprengstein kan være vanskelig å bli kvitt, siden denne ikke kan uten videre kan legges tilbake oppå rørene, og sprengstein er uansett mer plasskrevende enn fast. Rør i fjellgrøft krever finere omfyllingsmasser av sand eller grus, og dette må ofte hentes fra andre steder (G. H. Middtømme, NVE, personlig kommunikasjon, 08.02.2012). Blir rørgatene liggende på bakken, vil de være svært synlige og i tillegg en barriere for passasje. Over tid kan denne ulempen reduseres noe, dersom det etableres vegetasjon langs rørtraseensom bidrar til å kamuflere røret. I tillegg kan rør oppå bakken bli utsatt for skred og andre ytre påkjenninger. Fordeler med rør oppå bakken i fjellterreng er at spor etter rørgata kan fjernes dersom kraftverket legges ned, og det vil bli lettere å overvåke og føre tilsyn med røret. Videre kan en regulering gi mindre vannføring i Sagelva, og dette kan gå utover den landskapsmessige opplevelsen av fossene og elva.

## **4.6 LANDSKAP: FYSISKE VIRKNINGER**

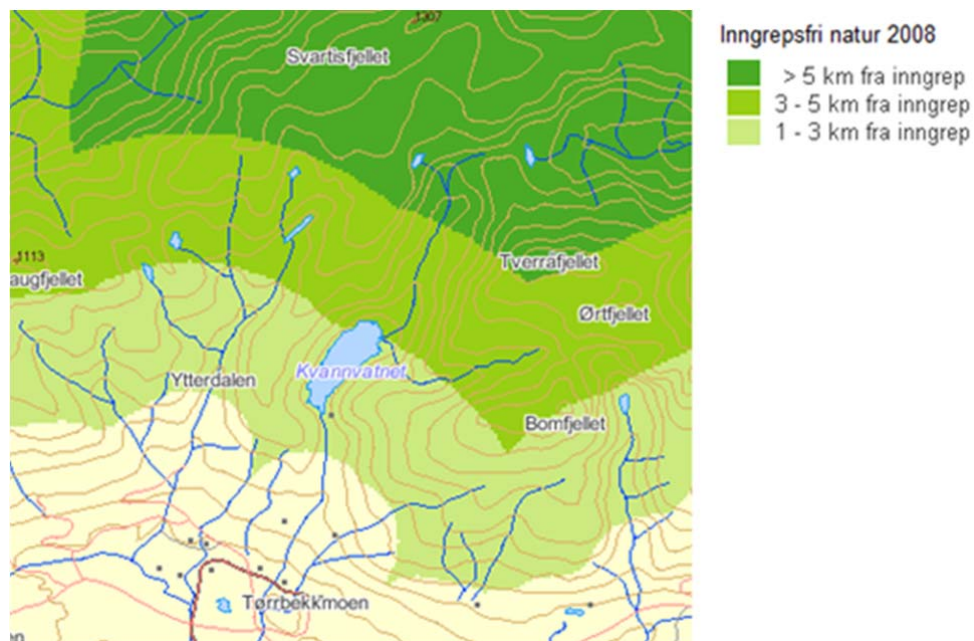
### **4.6.1 Arealer**

Området rundt Kvannevatn er forholdsvis urørt dersom man ser bort ifra dagens dam knyttet til vannverket. Urørt betyr at det ikke finnes noen kraftlinjer, gjerder eller veier i de nærmeste områdene.



Rørene som er planlagt brukt har en rørdiameter på 0,9 m og en rørlengde i terrenget på 3052 m. Dersom det antas at 15 meter bredde i terrenget vil påvirkes per meter lengde rør, vil i underkant 46 000 m<sup>2</sup> berøres av rørtraséen, hvis rørene graves ned (G. H. Middtømme, NVE, personlig kommunikasjon, 08.02.2012). Det neddemte arealet i Kvannevatn vil tilsvare 0,45 km<sup>2</sup> og kraftstasjonen vil dekke et areal på 60 m<sup>2</sup> (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 10.02.2012). Av infrastruktur er det planlagt at det er nødvendig med 1,4 km vei knyttet til utbyggelsen. Ellers vil eksisterende vei opprustes, men dette regnes ikke som et arealinngrep. For å frakte materiell helt opp til inntaket til magasinkraftverket vil det benyttes helikopter og snøveier (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 31.05.2012). Videre vil kraftlinjer ta opp areal ved utbyggelsen. Her er det antatt at linjene vil ha tilnærmet den samme lengden som rørgatene, og dermed være 3052 meter. Dersom hver lengdemeter anleggsvei og kraftlinje har innvirkning på 20 breddemeter i terrenget, vil anleggsveiene og kraftlinjene påvirke henholdsvis 28 000 m<sup>2</sup> og 61 040 m<sup>2</sup> (G. H. Middtømme, NVE, personlig kommunikasjon, 08.02.2012). Minikraft AS er eier av fallrettighetene til prosjektet og er i tillegg grunneiere i det aktuelle området i Sagelva (NVE, 2006).

I oversikten over det inngrepsfrie området, utarbeidet av Direktoratet for Naturforvaltning (DN), er ikke eksisterende dam regnet som et vesentlig naturinngrep. På bakgrunn av det vil magasinkraftverket medføre at 8,6 km<sup>2</sup> arealer går fra å være inngrepsfrie områder til å bli inngrepsnære, og 26,3 km<sup>2</sup> villmarkspregede områder vil bli redusert til INON-sone 1 og 2. Villmarkspregede tilsvarer områder som ligger fem kilometer eller mer i luftlinje fra tyngre tekniske inngrep (DN, 2011). INON sone 1 og 2 beskriver henholdsvis områder mellom 3 og 5, og 1 og 3 kilometer fra tyngre tekniske inngrep. Hvis dagens dam for drikkevannsforsyning blir betraktet som et eksisterende inngrep, noe som er høyst relevant, vil de berørte arealene bli mye mindre. Da vil tap av inngrepsfrie områder tilsvare 0,65 km<sup>2</sup> og tap av villmarkspregede områder være 1,35 km<sup>2</sup> (NVE, 2006).



Figur 30 - Kart over inngrepsfrie naturområder i Norge (DN, 2012a).

DN skriver i sin høringsuttalelse at i øvre deler av Sagelva er det ingen inngrep per i dag, og at magasinkraftverket vil medføre sprengninger for å få lagt en rørgate her. Dette mener DN at må gjøres uansett om rørgaten blir lagt på øst- eller vestsiden av Sagelva (NVE, 2006).

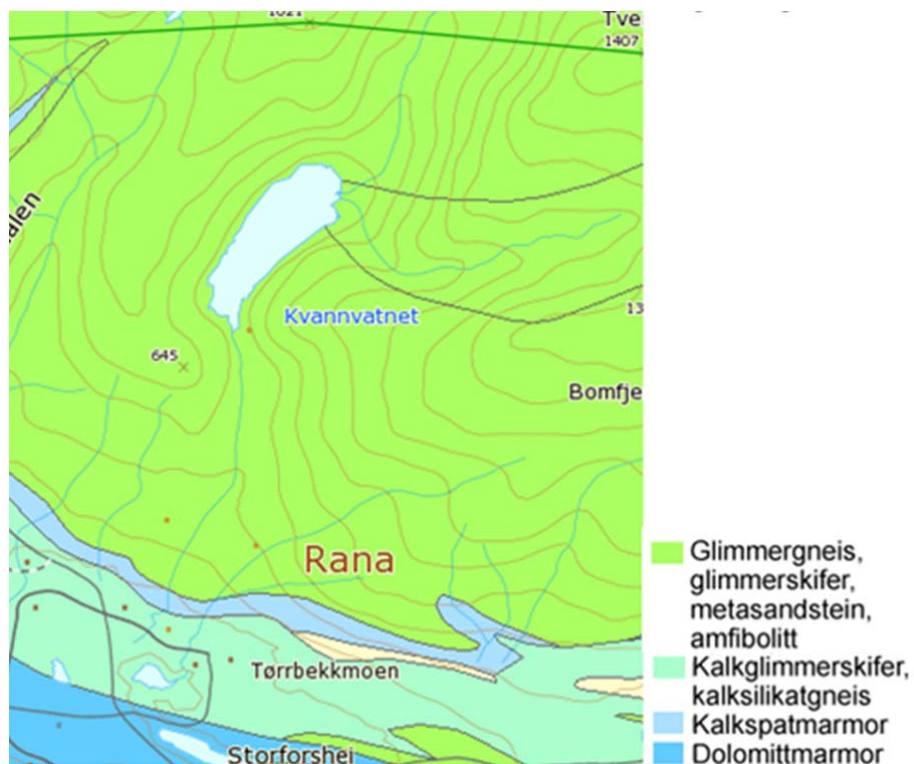
Rana kommune skriver i sin høringsuttalelse angående konsesjon til magasinkraftverket at det aktuelle området er klassifisert som LNF-1 område i kommuneplanen. Dette innebærer følgende bestemmelser:

- «1. Innenfor disse områdene tillates ikke fradelt tomt eller oppført bolig-, fritids- eller ervervsbebyggelse utenom stedbunden næring, dersom det ikke foreligger særskilte grunner for å dispensere.
2. Massetak vesentlige terrenginngrep eller annen anleggsvirksomhet som ikke er knyttet til stedbunden næring er ikke tillatt.
3. Bygging av mindre kraftverk kan tillates etter en nærmere og særskilt vurdering av de enkelte vassdrag ,jff. bestemmelser for dette i LNF -2 område. Dette behandles politisk»

Tiltaket vil være i strid med kommuneplanen ettersom dambygging og oppdemming ikke er definert som «stedbunden næring». Magasinkraftverket trenger derfor en dispensasjon fra denne planen eller bli lovliggjort gjennom en reguleringsplan (NVE, 2006).

## 4.7 LANDSKAP: LEVENDE MILJØ

### 4.7.1 Vegetasjon på land

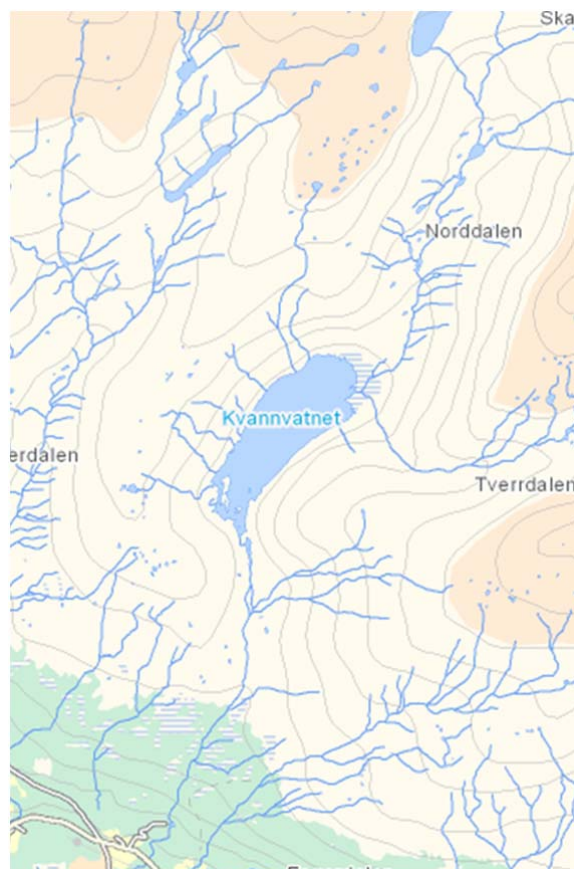


Figur 31 - Kart over berggrunnen i området rundt Kvannevatn og Sagelva. Området rundt Kvannevatn består av glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein, amfibolitt, mens nedre deler av Sagelva består av kalkspatmarmor, kalkglimmerskifer, kalksilikatgneis og dolomittmarmor i følge DNs naturdatabase (DN, 2012b).

Mesteparten av området rundt Kvannevatn består av glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein og amfibolitt i følge DNs naturdatabase, og dette utgjør et noe karrig område. I nedre deler av Sagelva, se Figur 31, finnes det kalkspatmarmor, kalkglimmerskifer og dolomittmarmor, og denne grunnen er mer finkornet (DN, 2012b). Dette gjør berggrunnen mer kalkholdig og det er dermed mer vegetasjon her. Under befaring i forbindelse med den opprinnelige søknaden utført av geolog Ulrik Sjøvegjar, ble det observert granatglimmerskifer i øvrige deler av Sagelva, og et 150 meter bredt kalk- og 1000 meter bredt karbonatglimmerskiferområde i nedre deler av Sagelva (Sjøvegjar, 2003). Kartet til DN avviker altså fra de faktiske forhold i terrenget som er observert under befaring.

I de nordlige delene av Kvannevatn er det et våtmarksområde hvor det kommer inne en elv fra Norddalen. Dette våtmarksområdet ble definert til å være en intermediaermyr av Grønn Kompetanse. Øst- og vestområdet for Kvannevatn er ganske bratt, og på østsiden er det en steinur som går helt ned til vannkanten. I sørenden av vannet finnes det noen flate øyer med vegetasjon. Generelt preges

området rundt Kvannevatn av vierkjerr og seintvoksende bjørkeskog. Området ved utløpet til Kvannevatn og nedover Sagelva har mer vegetasjon, og her er det bjørkeskog, fjellbjørkeskog, vier og myrområder. Området rundt den nederste delen av Sagelva består av blandingskog med mye gran og her preges vegetasjonen av bregner, moser og lyngarter. Grønn Kompetanse registrerte ikke noen truede eller hensynskrevende natur- eller vegetasjonstyper under befaringen i området som vil rammes av en eventuell oppdemming av Kvannevatn (NVE, 2006).



**Figur 32 - Kartet viser at i nordlige deler av Kvannevatn er det et myrområde og ei elv fra Norddalen som renner ut. I sørlige deler av vannet finnes noen flate øyer. Området rundt Kvannevatn er bratt og karrig, og det er relativt lite vegetasjon her, mens i områdene nedover langs Sagelva er vegetasjonen større (NVE, 2012b).**

#### 4.7.2 Dyreliv på land

Gjennom befaringen gjort av Grønn Kompetanse ble det observert rødstilk og strandsnipe i indre deler av Kvannevatn, og disse hekker mest sannsynligvis her. I tillegg ble observert et lirypekull med åtte unger. Rødstilk og fjellryper er omtalt som ansvarsarter i nasjonal Rødliste for truede arter i Norge (NVE, 2006).

Den største utfordringen med tanke på rødlistearter var et storlom-par som ble observert på vannet. Storlom er under kategorien NT, som står for *nær truet*, og krever spesielle hensyn og tiltak (John Atle Kålås, 2010). Dette paret hekket trolig på de flate, små øyer i sørenden av vannet, og disse vil bli oversvømt med en oppdemming på ti meter. Ved en regulering kan dette skape vansker for storlommen som har svært store problemer med å bevege seg på land. Bakbena dens er plassert langt bak på kroppen, og fuglen er dermed avhengig av at reirplassen er så nær vannkanten slik at de kan hoppe rett opp i reiret fra vannet. En ujevn vannstand kan føre til at dette ikke blir mulig, og i det verste tilfelle oversvømme eggene. Reguleringen vil også ha konsekvenser for vann- og vadefuglene som er avhengig av de samme grunne områdene som storlommen. Disse artene vil mest sannsynligvis forsvinne ved en regulering (NVE, 2006).

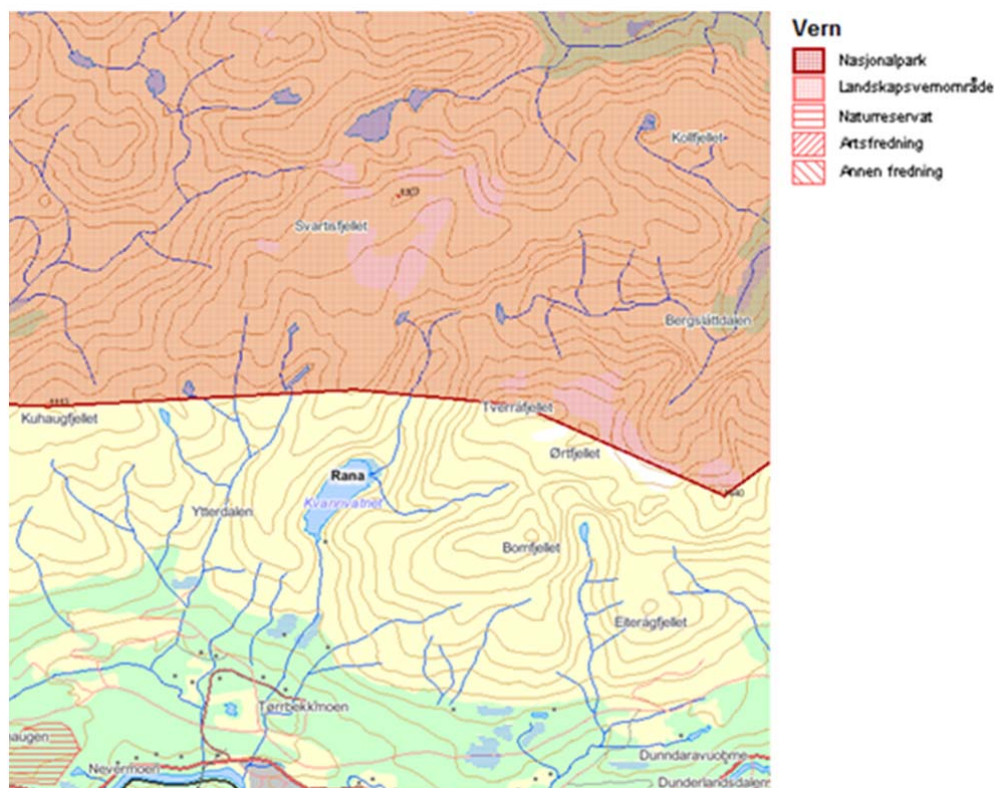
Det er ellers observert en kongeørn, som er under kategorien *sjelden*, dvergfalt og noen spurvefugler. Noe av tilholdsstedet til både dvergfalken og spurvefuglene nedre deler av Sagelva vil bli ødelagt ved en utbyggelse med rørgater. Oppsummert ble det registrert 16 arter spurvefugl, 3 arter rovfugl, 2 arter vadefugler, 1 lomart og 3 arter hønsfugl i området rundt Kvannevatn og Sagelva. Det rike fuglebildet er en følge av at området rundt Kvannevatn og Sagelva er av varierende natur.

Pattedyr som jerv, rødrev, hare og elg registrert i området rund Kvannevatn og Sagelva (NVE, 2006). Jerv en rødlisteart under kategorien EN, som betyr at den er sterkt truet (John Atle Kålås, 2010). Rein er ett av jervens viktigste føde, og ettersom det anses uproblematisk av Reindrifftsforvaltningen i Nordland at tiltaket vil komme på bekostning av reinens beiteland, bør det heller ikke være av betydning for jerven. Grønn Kompetanse advarer mot at Kvannevatn ligger i nærheten av Saltfjellet i Svartisen Nasjonalpark og her har fjellreven, som er en rødlisteart, yngleområde. Rørgater kan bli et hinder for disse dyrene dersom de ikke blir nedgravd.

## 4.8 HYDROLOGI OG LANDSKAP: BRUKERINTERESSER

Det kan være utfordrende å avgjøre om konsekvensene på brukerinteressene opprinnelig skyldes de primære virkningene på hydrologi eller landskap. Det kan også hende at konsekvensene på brukerinteressene opprinnelig skyldes en kombinasjon av virkningene på hydrologi og landskap. Dermed vil følgende delkapittel ta for seg potensielle virkninger på alle brukerinteressene som følge av en magasinkraftutbygging.

### 4.8.1 Naturvern



**Figur 33 - Kart over området hvor magasinkraftverket finner sted og hvordan naturvern rammer området (DN, 2012b).**

I følge DNS Naturbase ligger Kvannevatn i nærheten av en nasjonalpark. Det nordligste nedbørfeltet Kvannevatn mottar tilsiget sitt fra ligger innenfor denne nasjonalparken. Kvannevatn ligger om lag 1,5 km fra grensen til Saltfjellet og Svartisen nasjonalpark.

En nasjonalpark er et større områdevern som Norge iverksetter for å ta vare på viktige naturverdier. I Norge regnes en nasjonalpark som en middels streng verneform, der naturreservat er en strengere verneform, mens landskapsvernomsråde er mildere. I Naturmangfoldloven § 35 står det at

nasjonalparker ikke skal ha noen varig påvirkning av naturmiljø eller kulturminner, med mindre denne påvirkningen er en forutsetning for å ivareta verneformålet (Naturmangfoldloven, 2009).

#### **4.8.2 Reindrift**

En større regulering av Kvannevatn vil ha minimal negativ effekt for reindriften.

Reindriftsforvaltningen i Nordland skriver at beitelandet som tas opp ved en slik regulering vil være av svært liten karakter. Videre sier de at tiltaket vil trolig ha liten innvirkning på reinens beitetrekk selv om oppdemmingen vil gjøre passasje av vannet vanskeligere (NVE, 2006).

#### **4.8.3 Friluftsliv**

Området rundt Kvannevatn er ikke registrert som et viktig friluftsområde i DN's naturbase (DN, 2012b). Tilgjengeligheten til området er noe krevende, og i tillegg er vannet brukt til drikkevannsforsyning, noe som medfører noen begrensninger med tanke på friluftsliv som bading. Likevel pågår det noe fiske her om sommeren, og ei ferdselsrute som går langs vannet inn til nasjonalparken benyttes noe. Passasje av Kvannevatn vil ved en regulering oppleves som vanskeligere, og i tillegg kan en regulering ha negativ effekt på elvas utseende.

#### **4.8.4 Kulturminner**

Under befarung utført av fylkeskommunen ble det oppdaget en kokegrop i området rundt Kvannevatn. Dette ble vurdert til å være et automatisk fredet kulturminne, og ble relatert til samisk kultur. Minikraft AS søkte om dispensasjon fra dette, og fikk innvilget denne søknaden av riksantikvaren 17. mars 2005 (NVE, 2006).

#### **4.8.5 Jord- og skogbruk**

Magasinkraftverket vil ikke ramme skogbruk eller landbruk i området, ettersom inngrepet først og fremst er i fjellområdet. Tiltaket kan ramme beiteområder for sau, men dette er kun i svært liten grad (NVE, 2006).

#### **4.8.6 Vilt**

Områdene rundt Kvannevatn og Sagelva blir brukt til småviltjakt, og i tillegg inngår terrenget i området for elgjakt. Grønn kompetanse skriver at verdien for vilt i området vurderes som liten, siden det ikke er registrert noen viktige viltlokaliteter i influensområdet (NVE, 2006).

### 4.8.7 Fisk

Det pågår noe fiske i Kvannevatn og i kulpene i Sagelva. Som nevnt tidligere, kan en regulering ha positiv effekt på mengde og størrelse på fisken i Kvannevatn, men en regulering kan også føre til en tørrlegging i Sagelva slik at fiskene strander i kulpene.

### 4.8.8 Vannforsyning

En oppdemming av Kvannevatn kan få konsekvenser for fargetallet på Kvannevatn. Fargetallet sier noe om renheten til vannet, og økt fargetall betyr at vannet blir mer uklart og mindre rent. I dag er dette tallet på 2,5 og vannet er dermed klart og rent. En oppdemming vil derimot kunne føre til at turbiditeten øker på grunn av nedtapping og erosjon i den første tiden, og dermed føre til økt fargetall.

Ved en ytterligere oppdemming av Kvannevatn vil myrområdene i nordlige deler av vannet bli oversvømt. Minikraft AS skriver i søknaden sin at Næringsmiddeltilsynet er betenkelig nettopp på grunn av dette. Supplerende vannbehandling vil være et tiltak dersom fargetallet endres til et uakseptabelt nivå skriver Minikraft AS (NVE, 2006). Ved bygging av et magasinkraftverk vil Minikraft AS ta på seg ansvaret for levering av vann til Storforshei vannverk.

I dag befinner inntaket til drikkevannsforsyningen på kote 190. Vannet i øvrige deler av Sagelva er noe humusholdig, og dersom magasinkraftverket gjør det mulig for denne vannforsyningen å legges i rør, vil dette kunne bedre vannkvaliteten. Likevel er det fare for at vannkvaliteten vil være dårligere under anleggsfase og i den første tiden etter ferdigstilling av den nye dammen. Det vil også være nødvendig med en reservevannløsning i mellomtiden.

### 4.8.9 Transport

Det er ingen transport via Kvannevatn eller Sagelva i dag, og dermed gir prosjektet ingen konsekvenser for dette.

### 4.8.10 Flom- og erosjonssikring

Flomfaren vil bli redusert ved en ytterligere oppdemming av Kvannevatn. Dette kan ses i Figur 11, 17 og 22 da flomtoppene vil være lavere ved en regulering. Siden vannføringen er betydelig lavere ved regulering, kan finmasser bli lagret, og ikke skyldt bort, hvilket kan gi problemer.



## 4.9 MULIGE AVBØTENDE TILTAK

Dette kapittelet vil ta for seg mulige avbøtende tiltak ved utbygging av magasinkraftverket. Det vil bli gått nærmere inn på temaet miljøbasert minstevannføring, og gitt et forslag til en slik vannføring.

### 4.9.1 Magasinet – regulering og slukeevne

Resultatene, fra delkapittelet 4.2, kan tyde på at en oppdemming på 10 meter ikke er nødvendig når bare 2-3 meter av reguleringshøyden utnyttes i et år som følger mediankurven. En lavere oppdemming kunne vært et alternativ. Da hadde det oversvømte arealet blitt kraftig redusert, og dette kunne igjen spart en del vegetasjon som ellers ville ha druknet. Storlommen, som var den største utfordringen i forhold til rødlistearter, ville mest sannsynligvis fått tilholdsstedet sitt oversvømt uansett, ettersom den holder til på de grunne øyene og grunne partiene i Kvannevatn.

Dersom en lavere regulering ikke hadde vært aktuelt, burde slukeevnen til kraftverket økes betydelig for å kunne utnytte vannkraftpotensialet i Kvannevatn. En slukeevne lik  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  har vist seg til bare å utnytte en liten del av magasinkapasiteten, og dermed kan en så stor oppdemming virke meningsløs.

### 4.9.2 Rørgater og dam – estetisk utforming

Når det gjelder det estetiske knyttet til utbyggingen, kan man med riktig type materiale, utforming og plassering av dammen få små effekter på landskapet. Videre nevnes det blant annet at sprengning for å legge rørgater kan skape stygge sår i naturen. Et alternativ til å sprengne hadde vært å legge røret oppå bakken. Med et hensiktsmessig valg av type rør og farge på rør, kan disse gjøres mindre synlige. I tillegg vil alle spor etter rørgaten kunne fjernes dersom magasinkraftverket skulle legges ned (G. H. Middtømme, NVE, personlig kommunikasjon, 08.02.2012).

### 4.9.3 Anleggsveier - regulering

Det blir påpekt at anleggsveier erfaringsmessig skaper større utfart, og dette kan for eksempel forstyrre friluftsliv og vilt. Dette kan reguleres med en bom, slik at trafikk på disse veiene kun er ærender knyttet til kraftverkene.

### 4.9.4 Sagelva – krav om minstevannføring

Minikraft AS har foreslått en statisk minstevannføring lik 35 l/s om vinteren, hvilket tilsvarer alminnelig lavvannføring ved utløpet av Kvannevatn. Tilsvarende er minstevannføringen satt til 135 l/s på sommeren, noe som er 10 % av midlere årsvannføring i samme punkt. Dette kravet til minstevannføring har vist seg å gi konsekvenser for det fysiske miljø, levende miljø og brukerinteressene. Som det ble vist tidligere vil denne minstevannføringen uansett fryse like nedstrøms dammen, og dermed har den liten eller ingen effekt. I sommerperioden vil vannføringen i

Sagelva være ubetydelig i forhold til naturlig vannføring dersom det ikke inntreffer et stort flomtap. Her betraktes noen av konsekvensene som av større betydning enn andre.

Følgende avsnitt vil benytte seg av en forenklet versjon av *building block*-metoden for å foreslå en ny miljøbasert vannføring. *Building block*-metoden er bygger på fagkunnskap og er basert på workshops der eksperter som er kjent med vassdraget kartlegger interessegrupper og deres behov for vannføring. Dermed vil hvert definerte behov utgjøre en *building block* for vannføringsregime. Denne blokken vil spesifisere mengden og varigheten av vannføringen (Alfredsen et al., 2011). I dette tilfellet er konsekvensene knyttet til vannføringen i Sagelva studert, og til slutt vil det bli foreslått et nytt krav til minstevannføring som skal tilfredsstillere alle interessegrupper på en god måte. Interessegruppene som er ansett til å være de mest avgjørende for kravet til minstevannføring er den estetiske opplevelsen av elva og fisk.

### **Den estetiske opplevelsen**

Den estetiske opplevelsen av elva vil reduseres med mindre en tilstrekkelig minstevannføring er på plass. Hvis dette ikke er tilfelle, kan fossene i verste fall tørke ut og inntrykket av landskapet kan degraderes betydelig. Det lokale tilsiget kan bidra til å opprettholde det estetiske inntrykket i våte perioder.

Med den foreslåtte minstevannføringen på 35 og 135 l/s i henholdsvis vinter- og sommerperioden, vil vannføringen på sitt maksimale være 25-40 % lavere med regulering av Sagelva enn uten. Så og si hele vannføringen i sommerperioden er en følge av flomtappet fra magasinet. Dersom slukeevnen på magasinkraftverket økes, og flomvannet til elva forsvinner, vil elva nærmest være tørrlagt om sommeren i forhold til et naturlig tilfelle. Det er dermed avgjørende for den estetiske opplevelsen av elva at en tilstrekkelig minstevannføring er på plass for å sikre disse verdiene.

I artikkelen *Vassdrag, vannføring og landskap* av Simensen, Hiller, and Vaskinn (2011) er det undersøkt hvordan ulike vannføringer i elver vil påvirke landskapsopplevelsen. Det ble gitt fire konklusjoner, der den første er at «*Et hvert vassdrag er unikt*». Dette vil si at et hvert vassdrag kan fremstå totalt forskjellig selv med lik vannføring. Videre ble det konkludert med at «*det finnes ingen «normal» vannføring i et vassdrag*». Normal tilstand for et vassdrag er dermed at vannføringen er i kontinuerlig endring, alt fra flom til tørke. Den tredje slutningen som ble tatt var at «*det visuelle inntrykket av et vassdrag er ikke nødvendigvis proporsjonalt med vannføringen*». Dette kommer blant annet av at vannhastigheten reduseres raskere enn det vanndekte arealet når vannføringen blir redusert. Videre har tverrsnittet i elva stor betydning for spredningen av vannet. Den siste konklusjonen var at «*det er mulig å identifisere kritiske vannføringer for opplevelsen av et vassdrag som landskapselement*». Betydningen av vassdraget som et landskapselement ved lave vannføringer

kan være svært varierende, da noen vassdrag mister sin betydning ved lave vannføringer, mens andre kan fortsette å ha en viktig betydning i landskapet. Med utgangspunkt i rapporten, *Vassdrag, vannføring og landskap* av av Simensen et al. (2011), blir det antatt at vannføringen om sommeren kan reduseres betraktelig, og fortsatt bevare Sagelva som et viktig landskapselement på avstand. Som det ble nevnt tidligere, har Sagelva en foss som fremstår som spesiell med sine ulike elveløp. Disse elveløpene kan derimot være mer sårbare ved en endret vannføring.

I den nevnte rapporten ble Forslandselva i Nordland beskrevet til å ha bevart sin landskapsmessige verdi ved en vannføring lik den årlige middelvannføringen, og på avstand kunne man ikke se noen store endringer ved elva. Forslandselva har en beregnet alminnelig lavvannføring lik  $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ , en middelvannføring lik  $3,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , et fall lik 90 meter og en horisontal lengde lik 650 meter. Sagelva har en beregnet alminnelig lavvannføring lik  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ , en middelvannføring lik  $1,36 \text{ m}^3/\text{s}$ , et fall lik 359 meter og en horisontal lengde rundt 3100 meter (Lofthus, 2011). Forholdet mellom fall og lengde til de to elvene er svært likt, og det gjøres derfor en noe grov antagelse om at Sagelva tilsvarer Forslandselva med tanke på minstevannføringskrav. Det antas derfor at slipp av en vannføring lik middelvannføringen vil bevare Sagelvas landskapsmessige verdi, slik som var tilfellet i Forslandselva.. Som nevnt kan fossesonen i Sagelva med sine ulike elveløp være noe mer sårbar for lavere vannføringer, og en vannføring litt over middelvannføringen som gunstig anses derfor for gunstig.

### **Fisk i Sagelva**

Grønn kompetanse gjorde ingen registreringer av rødlistearter eller arter som var avhengig av aerosol vanntilgang i den kartlagte fossesprutsonen. Likevel ble denne fossesprutsonen beskrevet som *spesiell* med sine ulike elveløp. Videre ble mosefloraen langs Sagelva beskrevet som ordinær.

Når det gjelder dyr i Sagelva ble det ikke kartlagt noen virvelløse dyr av stor verdi. Fisk virker til å være mest avgjørende for et valg av minstevannføring. I Sagelva finnes det både røye og ørret, som lokale fisker på. Denne fisken lever oftest i de store kulpene.

Fisken i Sagelva er antatt til å være stasjonær, og dermed vil den ikke vandre over lange strekninger for å gyte. Under selve gytingen er ikke fisken avhengig av en stor vannføring, og vannføringen kan derfor med fordel være relativt lav og stabil. Ørret gyter vanligvis på høsten mellom september og desember, og røye begynner å gyte i oktober. Tidspunktet for gytingen kan være svært varierende, og dette avhenger hovedsakelig av vanntemperaturen. Røye gyter helst i strandsonen i innsjøer, men kan også gyte i rennende vann i Sagelva. For at fisken skal kunne gyte er den avhengig av finmasser i elvebunnen slik at den kan lage seg gytegroper. Det er dermed viktig at disse finmassene ikke skylles vekk. Etter gytingen har funnet sted, graver hunn-fisken den befruktede rognen ned i løsmassene

(Borgstrøm & Hansen, 1987). Røye graver eggene sine ned i noe grovere grus enn ørreten (Brabrand, 2011).

I løpet av vinteren vil den nedgravde ørret- og røyerognen utvikle seg, og klekkingen foregår på våren. Dette er den mest kritiske perioden for fisken i Sagelva. Den første næringen yngelen får i seg er plommesekken som den fortærer når den fortsatt ligger nede i grusen. Denne perioden er kritisk i den forstand at vannføringen ikke må være for høy, for da kan den sårbare yngelen og grusen skylles vekk. Det er videre avgjørende at vannføringen er den samme i perioden når eggene legges og klekkes, slik at ikke eggene strander og tørker ut (K. Alfredsen, professor ved Institutt for vann og miljøteknikk, personlig kommunikasjon, 02.05.2012)(Borgstrøm & Hansen, 1987).

Dersom elva fryser om vinteren med dagens krav om minstevannføring er det liten hensikt med dette minstevannføringskravet. Et slipp av minstevannføring om vinteren kan dermed få negative effekter istedenfor positive ettersom den kan bidra til dannelser av issvuller som kan bli problematiske. Geir Magnor Olsen fra Minikraft AS bekrefter at dette er tilfellet ved spesielle forhold i elva. Dette er i tilfeller når man får sørping i inntaksristen og dermed issvuller nedover i Sagelva, og Olsen mener dette problemet kan reduseres dersom man dykker utløpet fra minstevannføringen (G. M.Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 13.03.2012). I følge beregningene vil minstevannføringen i minste fall bare renne en halv kilometer i et normalt år før det fryser. Om vinteren vil altså store deler av vannføringen bli bundet i is og snø, og fisken får et lite område på å bevege seg på. Selv om isen kan fungere som en beskyttelse for fiskens ytre fiender, hjelper det lite hvis isen fanger fisken slik at den ikke får i seg den næringen den trenger. For at fisken skal kunne overleve i kulpen om vinteren, er det nødvendig at det renner noe vann i elva. Denne vannføringen må dermed være så stor at den ikke vil komme til å bunnfryse. I følge Alfredsen et al. (2011) ble det i et annet tilfelle i Dalelva, på Vestlandet, konkludert med at et vannføringskrav noe høyere enn den naturlige vannføringen i vinterperioden ville bedre forholdene. Årsaken til dette var at det ville gitt bedre muligheter for fisken til å finne gunstige skjulested i substratum og være mest fordelaktig for levekårene til smolten. I tillegg ble det anbefalt en stabil vannføring under temperaturnedgangen om høsten. Denne antagelsen er også gjeldende i denne studien.

I sommerperioden vil en høyere vannføring i Sagelva sikre et større areal for fisken å bevege seg på, og dermed gi større muligheter for fisken å få i seg næring. Dette er viktig for at fisken ikke skal oppleve konkurranse som en følge av plassbegrensning. I tillegg vil rekreasjonsmuligheter som fiskeing bedres med en større vannføring

### Forslag til nytt krav om minstevannføring

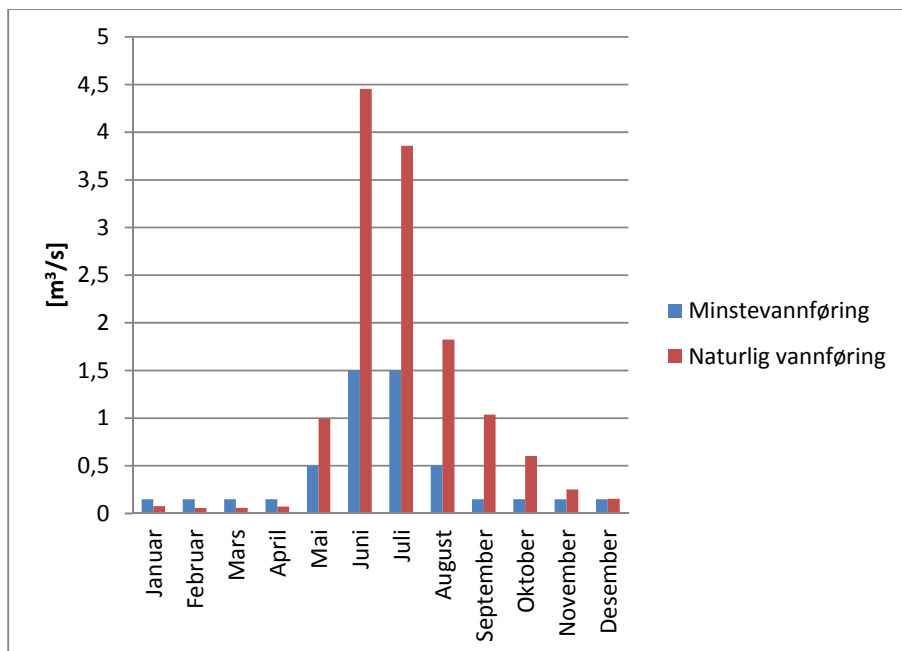
For å bevare de ovenfor nevnte verdiene i Sagelva, vil det utarbeides et forslag til en miljøbasert vannføring. Det er antatt at en månedsvis inndeling er hensiktsmessig i en slik vurdering.

I perioden 1.september til og med april, er det kun verdien fisk som anses til å være av betydning for kravet om minstevannføringen. Det er ønskelig at vannføringen ikke skal bunnfryses, og det mest optimale ville vært en minstevannføring som er noe høyere enn den naturlige for dette formålet. Det ville trolig være gunstig for livet i Sagelva med en slik vannføring, men samtidig kan det hende at en litt høyere vannføring kunne gi konsekvenser for balansen i Sagelva med tanke på dyr- og planteliv. Med andre ord kan det hende at fiskebestanden er avhengig av noen kalde vintre som tar livet av en del av fisken, slik at populasjonen holdes på et bærekraftig nivå. Uansett vil ikke en vannføring noe høyere enn den naturlige være mulig i den oppsatte modellen i nMAG2004. På grunn av dette, ble minstevannføringskravet i vinterperioden satt til  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ , som var den høyeste mulige verdien. Denne vannføringen vil ha en dybde i størrelsesorden 5-10 centimeter og det vil være fare for at den flyser i et normalt år dersom initialtemperatur ut fra magasinet er lik 1 grad celsius. I et kaldt år vil denne vannføringen mest sannsynligvis bunnfryses mellom inntaket og utslippet til magasinkraftverket. Den gjennomsnittlige vannføringen i vinterperioden i et naturlig tilfelle er  $0,202 \text{ m}^3/\text{s}$ . Et minstevannføringskrav lik  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  er ikke langt i fra den naturlige, gjennomsnittlige vannføringen, og dermed antas de økologiske verdiene å være bevart. Videre ville vannføringen i et kaldt år uten regulering også mest sannsynligvis bunnfryst. Den foreslåtte minstevannføringen i vinterperioden vil være noe høyere enn den naturlige på vårparten, men igjen lavere i høstsesongen, slik som vist i Figur 26.

I sommerperioden vil både fisk og den estetiske opplevelsen av elva være avgjørende for et gunstig minstevannføringsregime. I sommerperioden foreslås et krav til minstevannføring som både skal sikre den estetiske opplevelsen av Sagelva, i tillegg til at den skal gi de beste leveforholdene for fisken. Det foreslåtte kravet til minstevannføringen vil være høyest på midtsommeren fordi den naturlige vannføringen vil være høyest på dette tidspunktet. Kravet til minstevannføring settes da til  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , som er noe høyere enn midlere årsvannføring.

Figur 34 viser forslaget til minstevannføring sammen den naturlige vannføringen. Den naturlige vannføringen er basert på median-verdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000, og månedsverdiene er igjen gjennomsnittet for hver måned. Grafen viser at forslaget til minstevannføring vil være høyere enn den naturlige vannføringen på vårparten. I september, oktober og november vil kravet til minstevannføring være en del lavere enn den gjennomsnittlige naturlige vannføringen, i tillegg til å

være stabil. Fra mai til august er kravet til minstevannføring foreslått slik at det til en viss grad skal gjenspeile fasongen til vannføringskurven i et naturlig tilfelle.



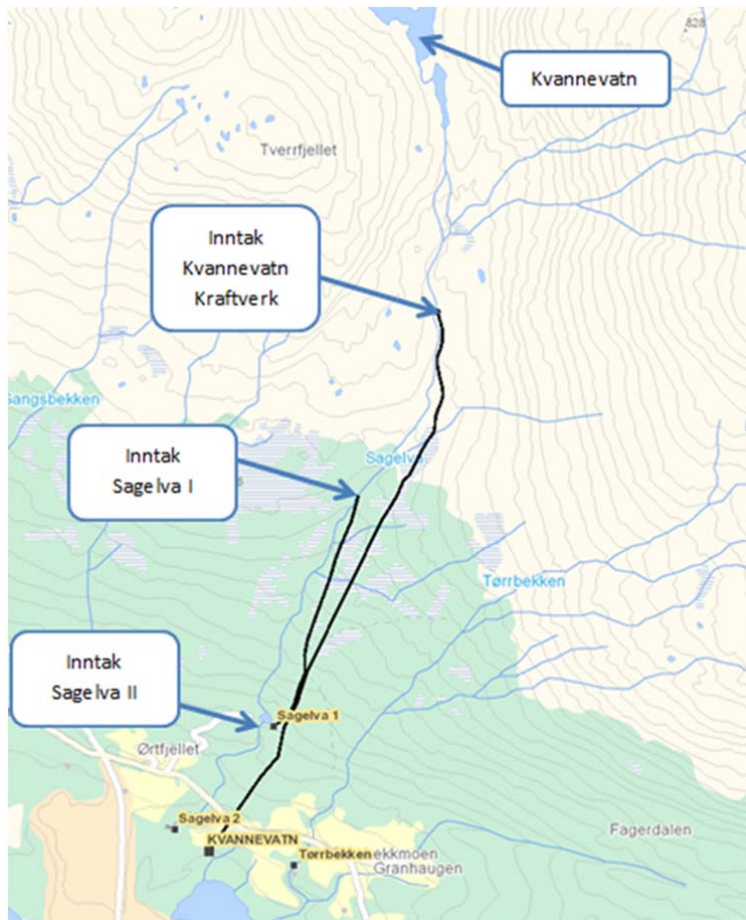
Figur 34 - Foreslått miljøbasert minstevannføring og naturlig, månedlig, gjennomsnittlig vannføring for utløpet til Kvannevatn.

Det er blitt gjort en «trade off» ved at kravet til minstevannføring er høyere enn den naturlige månedlige vannføringen på våren, mens den er en del lavere om sommeren og høsten. Det er dermed antatt at livsvilkårene for fisk vil bedres om vinteren, og fortsatt ble bevart om sommeren, mens den estetiske opplevelsen av elva om sommeren vil være noe redusert.

## KAPITTEL 5: PRESENTASJON AV DE TRE SMÅ ELVEKRAFTVERKENE

Dette kapitlet vil gi en kort presentasjon av de tre små elvekraftverkene som står i Sagelva i dag, med tanke på beliggenhet, data og NVEs vurdering av tiltaket. Beskrivelsen av de tre små kraftverkene er hentet fra prosjektoppgaven *Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk* (Lofthus, 2011), som har dannet noe av grunnlaget for denne rapporten.

I dag finnes det tre små elvekraftverk langs Sagelva. Kvannevatn kraftverk har inntak på høyeste kote, deretter Sagelva I og på det laveste punktet har Sagelva II inntaket sitt. Som Figur 35 indikerer vil Sagelva I motta restvannføring fra Kvannevatn Kraftverk i tillegg til sitt lokale tilsig, og Sagelva II vil motta driftsvannføring og/eller restvannføring fra Sagelva I i tillegg til sitt lokale tilsig.



Figur 35 - Kart over situasjonen slik den er i dag i Sagelva. Kvannevatn har inntaket sitt øverst i elva, deretter har Sagelva II inntak og til slutt har Sagelva II inntaket sitt. Sagelva I vil altså motta restvannføring fra Kvannevatn Kraftverk i tillegg til sitt lokale tilsig, Sagelva II vil motta driftsvannføring og/eller restvannføring fra Sagelva I i tillegg til sitt lokale tilsig.

## 5.1 NVEs VURDERING AV TILTAKET

Sagelva I og II har fått fritak fra konsesjonsplikt, mens Kvannevatn kraftverk er konsesjonspliktig. Minikraft AS søkte i utgangspunktet med en minstevannføring lik alminnelig lavvannføring på 35 l/s, og denne skulle gjelde for hele året. Etter høringsuttalelsene foreslo Minikraft AS en differensiert vannføring med 135 l/sek i sommerhalvåret (1. mai til og med 30. september) og 35 l/sek i vinterhalvåret (1. oktober til 30. april), noe NVE syntes var en fornuftig minstevannføring og gav konsesjon deretter. Denne minstevannføringen skulle ta både landskapsopplevelsen og det biologiske mangfoldet i betraktning (NVE, 2006).

Inntaket til Kvannevatn kraftstasjon ble planlagt med en 4 meter høy og 20 meter lang dam. I utgangspunktet ønsket Minikraft AS å plassere dette inntaket ovenfor noen fosser som vistes godt i landskapet. NVE satte et krav om at inntaket til Kvannevatn kraftstasjon måtte flyttes nedenfor disse fossene, for å bevare landskapsopplevelsen. Videre mente NVE at utformingen av rørgatetraseen burde gjøres på en mest mulig landskapsvennlig måte. Vassdraget hvor anleggene ligger er ikke vernet, men NVE anser likevel utbyggingen som svekkende for verneverdiene innenfor nasjonalparken, slik som friluftsliv og reduksjon av inngrepsfrie områder (NVE, 2006).

## 5.2 DATA FOR DE SMÅ ELVEKRAFTVERKENE

Nedbørfeltene til Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og II er oppgitt av Minikraft AS til å være henholdsvis 19,5, 20,2 og 21 km<sup>2</sup>. Sagelva I har en installert effekt på 520 kW, og har en midlere årsproduksjon på 1,3 GWh/år. Tilsvarende data for Sagelva II er 385 kW og 0,9 GWh/år, mens Kvannevatn kraftverk har en installert effekt på hele 4 MW og en midlere årsproduksjon lik 16,5 GWh/år. Dette kraftverket har inntaket sitt høyst oppe, på kote 410, mens det har avløp på kote 110. Sagelva I har inntak på kote 340 og avløp på kote 190. Sagelva II tar inn vannet på kote 190 og har avløp på samme kote som Kvannevatn kraftverk, kote 110. Middelvannføringen ved inntakene for Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II er henholdsvis 1,2 m<sup>3</sup>/s, 1,3 m<sup>3</sup>/s og 1,36 m<sup>3</sup>/s. Laveste driftsvannføring for de samme kraftverkene er henholdsvis 0,15 m<sup>3</sup>/s, 0,195 m<sup>3</sup>/s og 0,16 m<sup>3</sup>/s og maksimale slukeevne for kraftverkene er 1,5, 0,57 og 0,78 m<sup>3</sup>/s (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 04.11.2011). Tabell 6 viser denne oversikten.



Tabell 6 - Oversikt over data for Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II (Lofthus, 2011).

	<b>Kvannevatn kraftverk</b>	<b>Sagelva I</b>	<b>Sagelva II</b>
Nedbørfelt [km <sup>2</sup> ]	19,5	20,2	21
Effekt [MW]	4,0	0,52	0,385
Midlere årsproduksjon [GWh/år]	16,5	1,3	0,9
Inntak [kote]	410	340	190
Utløp [kote]	110	190	110
Middelvannføring [m <sup>3</sup> /s]	1,2	1,3	1,36
Laveste driftsvannføring [m <sup>3</sup> /s]	0,15	0,195	0,16
Maksimal slukeevne [m <sup>3</sup> /s]	1,5	0,57	0,78

## KAPITTEL 6: SAMMENLIGNING AV MAGASINKRAFTVERKET OG ELVEKRAFTVERKENE

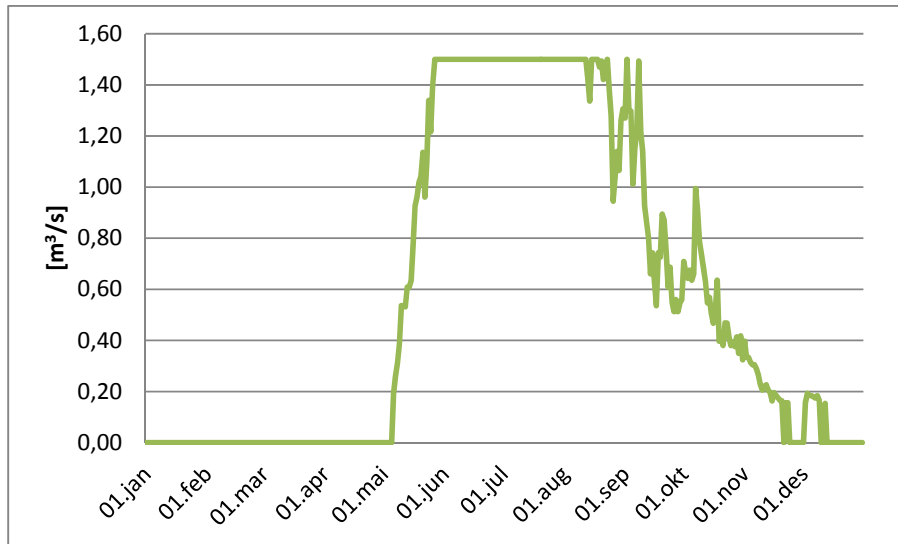
Dette kapittelet vil ta for seg en sammenligning av magasinkraftverket som ble presentert i Kapittel 3 og de tre små elvekraftverkene, som ble forklart in forrige kapittel. De tre små elvekraftverkene er Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II. Først vil det bli gjort en sammenligning av magasinkraftverket med det opprinnelige kravet til minstevannføring og de tre små elvekraftverkene, deretter vil det bli gjort en ny sammenligning av magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring og de tre små elvekraftverkene.

Som det ble funnet i Kapittel 4, ville ikke magasinkraftverket utnyttet sin fulle kapasitet, da magasinet bare reguleres en liten del av sin fulle reguleringshøyde. Videre ble det påvist et overraskende stort flomtap. Disse observasjonene vil ha store innvirkninger på resultatene for magasinkraftverket og denne sammenligningen.

### 6.1 MAGASINKRAFTVERK MED OPPRINNELIG KRAV TIL MINSTEVANNFØRING OG ELVEKRAFTVERKENE

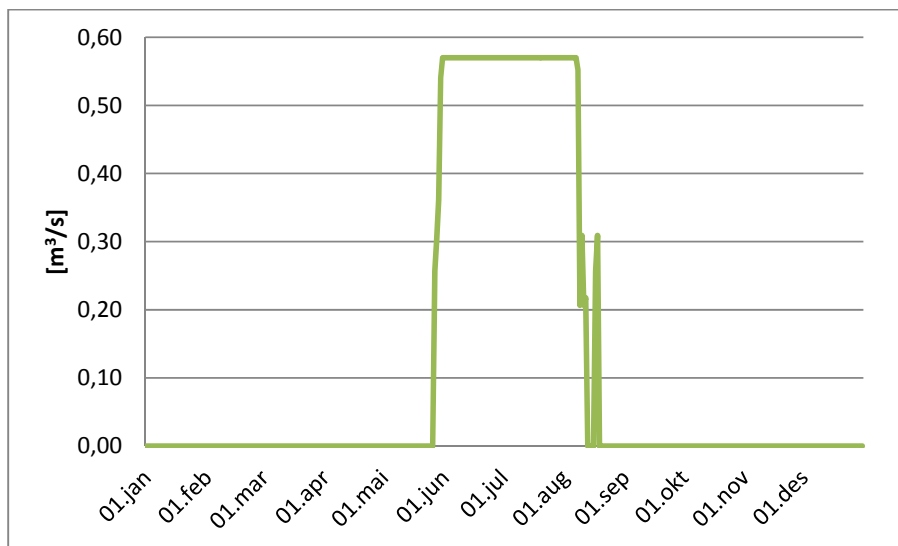
#### 6.1.1 Produksjon og fordeling av produksjonen over året

De tre små elvekraftverkene vil ikke kunne produsere kraft i vinterperioden, og Kvannevatn kraftverk er det kraftverket som står minst stille. Kvannevatn kraftverk vil ikke produsere kraft fra midten av desember til starten av mai. I løpet av mai vil kraftverket gå fra ikke å produsere til å nå sin maksimale produksjon. Produksjonen vil være maksimal og stabil fra slutten av mai til midten av august. Av de tre små elvekraftverkene, har Kvannevatn kraftverk den største slukeevnen og vil dermed sørge for den største kraftproduksjonen om sommeren. Fra slutten av august og frem til desember viser kurven en mer varierende produksjon, og tendensen er en minkende produksjon. Figur 36 viser produksjonsvannføringen for Kvannevatn kraftverk.



**Figur 36 - Produksjonsvannføring for Kvannevatn kraftverk. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».**

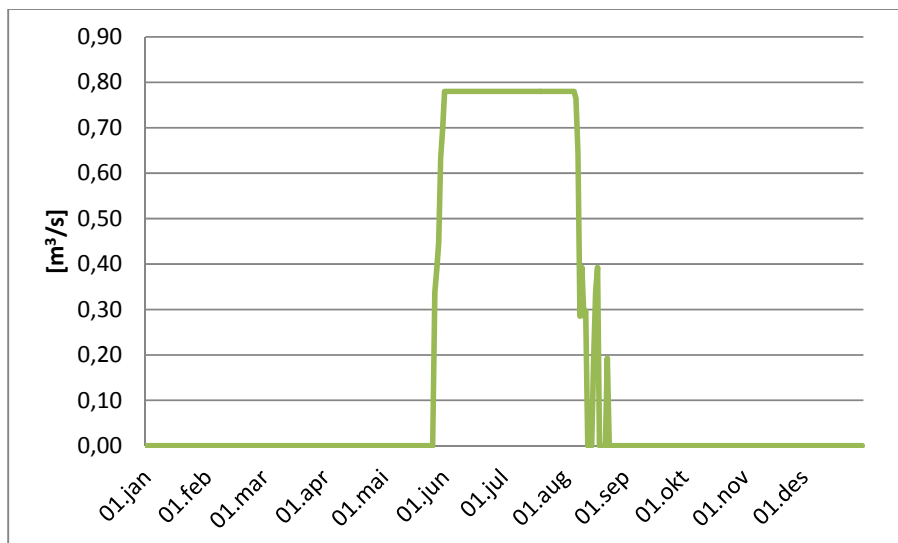
Sagelva I vil stå stille fra midten av august til og med slutten av mai, da Sagelva I raskt kommer opp i maksimal produksjon. Produksjonen holder seg på sitt maksimale og er stabil fram til august, og deretter vil produksjonen avta raskt før kraftverket normalt stoppes igjen. Figur 37 viser produksjonsvannføringen til Sagelva I.



**Figur 37 - Produksjonsvannføring for Sagelva I. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».**

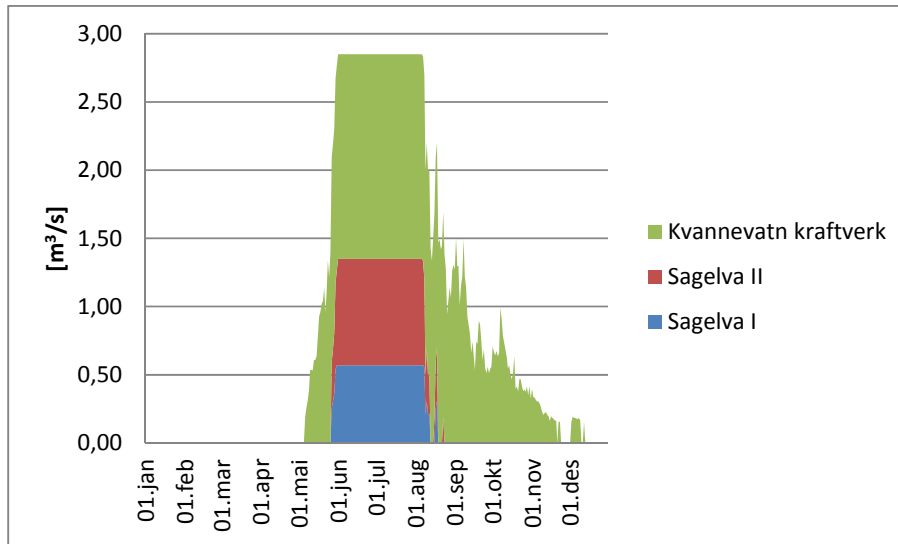
Sagelva II vil ikke produsere noe kraft fra slutten av august til slutten av mai. I slutten av mai når kraftverket sin maksimale produksjon med et sprang, og produksjonen vil være stabil frem til starten

av august. I løpet av august vil produksjonsvannføringen være noe varierende, på samme måte som for Sagelva I.



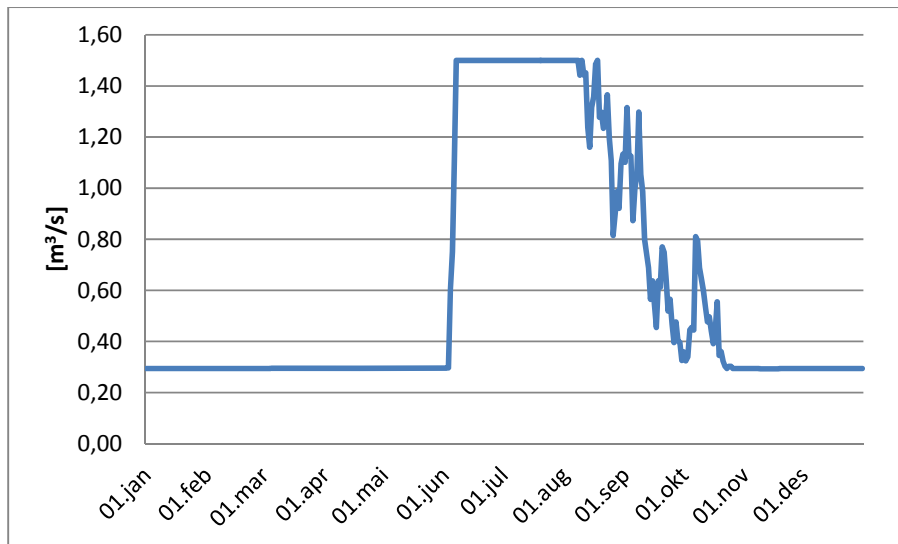
**Figur 38 - Produksjonsvannføring for Sagelva II.** Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».

Legges de tre vannføringsgrafene for Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II sammen, kommer den totale produksjonsvannføringen frem. Denne kan ses i Figur 39. Her representerer det grønne, skraverte arealet vannføringen gjennom turbinen i Kvannevatn kraftverk. På samme måte representerer det røde og blå skraverte arealet produksjonsvannføringen for henholdsvis Sagelva II og Sagelva I. Det er tydelig at Kvannevatn kraftverk står for den største kraftproduksjonen av de tre små kraftverkene. Sagelva II og Sagelva I har ganske lik produksjonsvannføring, da slukeevnen til disse kraftverkene er ganske like. Etersom alle de tre små kraftverkene er plassert i den samme elva, vil vannføringen benyttes på «nytt» nedover elva. Sagelva I vil motta restvannføringen fra Kvannevatn kraftverk i tillegg til sitt lokale tilsig. Sagelva II vil motta driftsvannføring og/eller restvannføringen fra Sagelva I og sitt lokale tilsig.



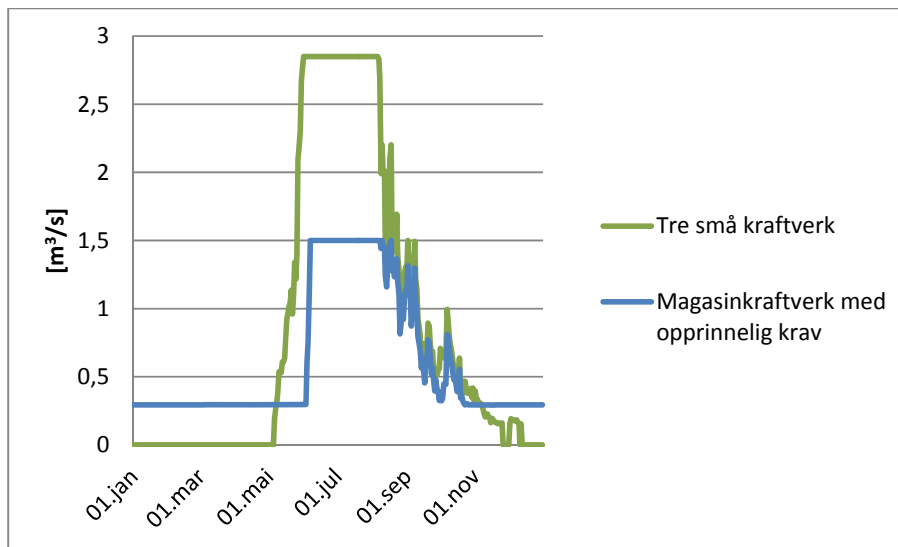
**Figur 39 – Den totale produksjonsvannføring til Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II med henholdsvis grønt, blått og rødt skravert areal. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».**

Produksjonsvannføringen til magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring vises i Figur 40. Her er slukeevne på  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Fra slutten av oktober frem til starten av juni vil produksjonen fra magasinkraftverket være stabil og lav, og vannføringen som går til produksjon er rundt  $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ . I juni når magasinkraftverket sin maksimale produksjon, og denne holder seg stabil frem til midten av august. Deretter viser Figur 40 at vannføringen vil være mer varierende, med en synkende tendens.



**Figur 40 - Produksjonsvannføring for magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».**

Dersom den adderte produksjonsvannføringen til de tre små kraftverkene sammenlignes med produksjonsvannføringen til magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring, vil Figur 41 vise resultatet. I perioden hvor de små kraftverkene vil stå uten produksjon, vil magasinkraftverket ha en lav, men stabil produksjon. Når de tre små kraftverkene gjør et kraftig sprang i produksjonen, vil det fortsatt i tilfellet med magasinkraftverket være en lav og stabil produksjon. Produksjonsspranget i tilfellet med magasinkraftverk inntreffer ikke før i juni, omtrent en måned senere. I sommerperioden vil de tre små kraftverkene ha nesten dobbelt så stor produksjonsvannføring som magasinkraftverket. Spranget fra å ha liten eller ingen produksjon til å nå maksimal produksjon, er gjeldene for begge tilfellene. I tillegg er den varierende, men avtagende vannføringen gjeldende for begge tilfellene i høstperioden.



Figur 41 – Den totale produksjonsvannføringen til de tre små kraftverkene og magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».

Sammenligningen av produksjonsvannføringen til magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring og de tre små elvekraftverkene viser at magasinkraftverket kan produsere gjennom hele året, noe de små elvekraftverkene ikke kan. Videre sørger de tre små kraftverkene totalt sett for en større produksjon i løpet av et år, men dette må ses i sammenheng med at magasinkraftverket ikke er optimalisert.

### 6.1.2 Økonomi

For å sammenligne tilfellet med de tre små kraftverkene med tilfellet med et magasinkraftverk, er det i det første tilfellet vanlig å bruke en fast midlere pris, og eventuelt legge til en pris for elsertifikater. Fastkraftprisen ble satt til 0,34 kr/kWh (Kapittel 3) og inntekten fra de elsertifikatene

ble satt til 0,25 øre/kWh. Energien fra småkraftverk bør i prinsippet ha lavere verdi sammenlignet større kraftverk, men det kan være vanskelig å vite hvor mye. Det blir dermed antatt samme fastkraftpris for både små- og store kraftverk. Ettersom elsertifikat-ordningen er teknologinøytral, antas også inntektene fra disse å være identiske for småkraftverkene og magasinkraftverket (Å. Killingtveit, professor Institutt for vann- og miljøteknikk, personlig kommunikasjon, 05.05.2012).

I et tilfelle med tre små kraftverk er netto årlig inntekt beregnet til 11,03 millioner NOK. Her står Kvannevatn kraftverk for størsteparten av denne inntekten, deretter Sagelva I og til slutt Sagelva II. Se Tabell 7. Elsertifikatene øker inntekten med 4,68 millioner NOK/år.

**Tabell 7 – Oversikt over de tre små kraftverkene og deres midlere årsproduksjon samt inntekt.**

	Midlere årsproduksjon [GWh/år]	[Mill. NOK/år]
Kvannevatn Kraftverk	16,5	5,61
Sagelva I	1,3	0,44
Sagelva II	0,9	0,31
Elsertifikat	18,7	4,68
<b>Sum</b>		<b>11,03</b>

For magasinkraftverket med opprinnelig krav om minstevannføring er netto inntekt beregnet til 10,36 millioner NOK/år. Se Tabell 8. Fastkraftnivået er satt av Minikraft AS, og er lik 8 GWh/år. Begrepet «tilfeldig kraft» viser til den kraftproduksjonen som magasinkraftverket står for utover fastkraften, og denne er 9,56 GWh/år. Elsertifikatene står for 4,39 millioner NOK/år av netto inntekten.

**Tabell 8 – Oversikt over inntekt knyttet til fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat for magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring.**

	Beregnet årsproduksjon [GWh/år]	[Mill. NOK/år]
Fastkraft	8	2,72
Tilfeldig kraft	9,56	3,25
Elsertifikat	17,56	4,39
<b>Sum</b>		<b>10,36</b>

De tre små kraftverkene vil sørge for en årlig netto inntekt 670 000 NOK høyere enn i tilfellet med magasinkraftverk og opprinnelig krav til minstevannføring. Dette vil si at netto inntekt er 6,1 % lavere i tilfellet med magasinkraftverk. Men dette må igjen ses i sammenheng med at magasinkraftverket *ikke* er optimalisert.

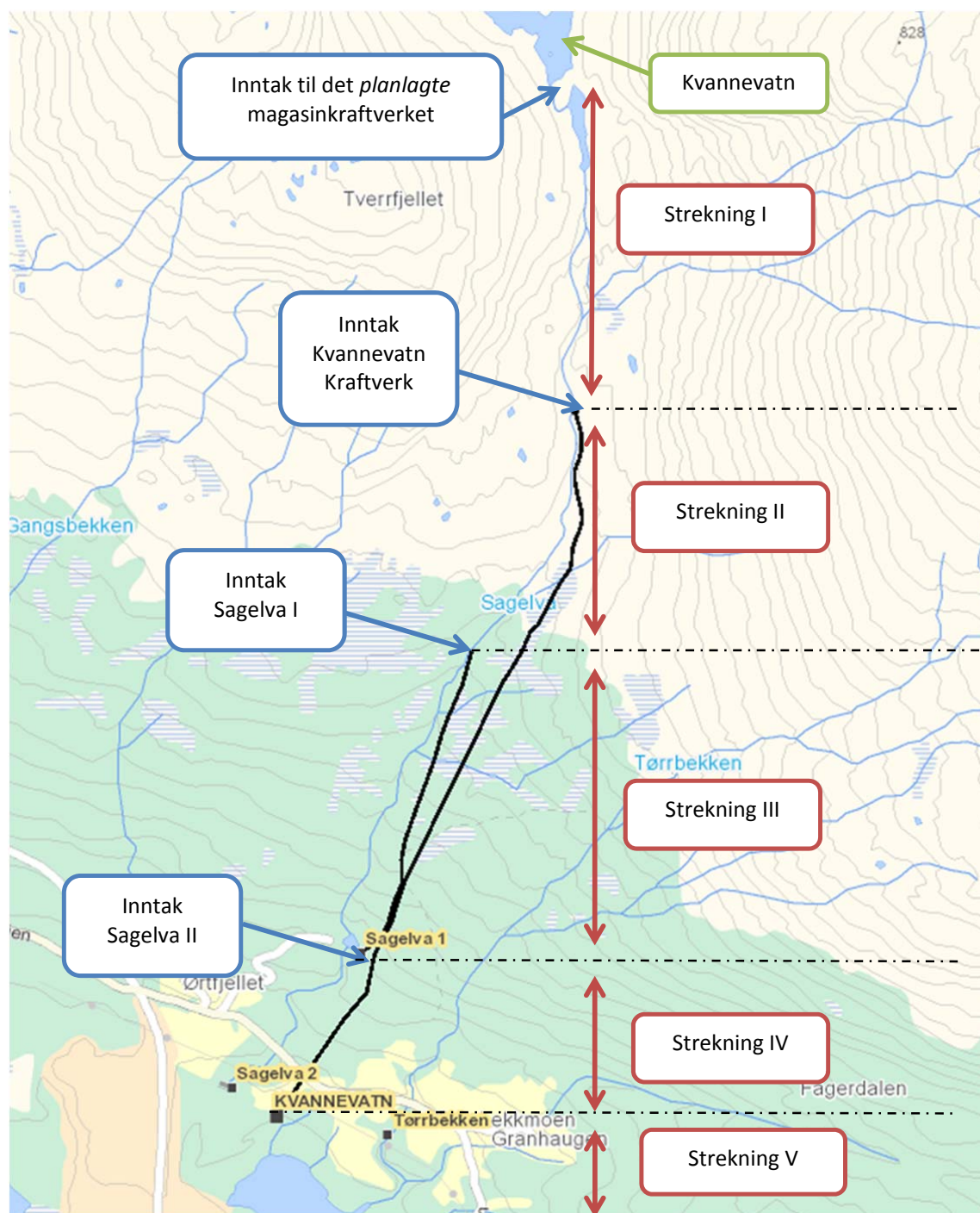
### 6.1.3 Naturinngrep

I et tilfelle med magasinkraftverk vil vannføringen mellom inntak og utslipp til kraftverket endres, og vannføringen her avhenger sterkt av kravet til minstevannføring. På grunn av magasinets evne til å lagre vann, vil også elvestrekningen nedstrøms utslippet få en endret vannføring. I et tilfelle med tre små elvekraftverk vil også strekningen mellom øverste inntak og nederste utslipp endres.

Vannføringen nedstrøms det laveste utslippet vil i teorien ikke endres, ettersom de små kraftverkene ikke har noen form for lagringskapasitet. Den berørte strekningen i et tilfelle med magasinkraftverk vil altså være lengre.

For å sammenligne vannføringen i Sagelva i et tilfelle med ett kraftverk tilknyttet Kvannevatn som reguleringsmagasin og et tilfelle med tre små elvekraftverk, deles Sagelva inn i fire bypass-elvestrekninger. Den første elvestrekningen vil være strekningen mellom Kvannevatn og inntaket til Kvannevatn kraftverk, neste elvestrekning er mellom inntaket til Kvannevatn kraftverk og inntaket til Sagelva I, tredje elvestrekning er mellom inntaket til Sagelva I og inntaket til Sagelva II og den fjerde elvestrekningen er nedenfor Sagelva II sitt inntak. En nærmere beskrivelse av beliggenheten til de tre små elvekraftverkene finnes i Kapittel 5, og beskrivelse av det planlagte magasinkraftverket finnes i Kapittel 3. Strekningen nedstrøms de nederste kraftverkene i nedbørfeltet, Kvannevatn kraftverk og Sagelva II, er omtalt som strekning V.





Figur 42 - Kart over situasjonen slik den er i dag i Sagelva, og inndeling av de ulike elvestrekningene. Kvannevatn har inntaket sitt øverst i elva, deretter har Sagelva II inntak og til slutt har Sagelva II inntaket sitt. Sagelva I vil altså motta restvannføring fra Kvannevatn Kraftverk i tillegg til sitt lokale tilsig.

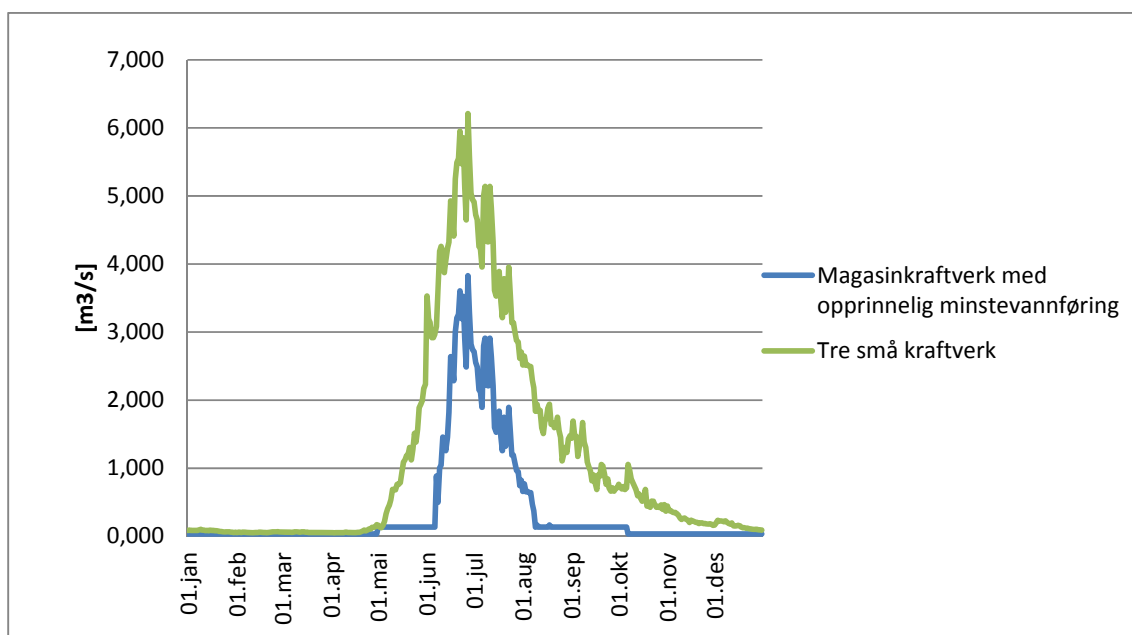
I følgende avsnitt vil hver strekning analyseres, og det vil bli tatt utgangspunkt i vannføringen i startpunktet i strekningen. Dette vil si at i strekning I blir vannføringen ved utløpet til Kvannevatn beskrevet. I strekning II blir vannføringen like etter inntaket til Kvannevatn kraftverk beskrevet og slik fortsetter det.

I tilfellet med tre små kraftverk er bypass-strekningene delt opp som nevnt tidligere. For magasinkraftverket studeres kun én bypass-strekning, siden dette tilfellet bare innebærer ett kraftverk, dermed vil bare strekning I og V bli analysert. Magasinkraftverket vil dermed ikke være med i figurene for bypass-strekning II, III og IV, men en kort kommentar er inkludert. I det tilfellet med små kraftverk vil ikke strekning I og V endre vannføringen ifra et naturlig tilfelle. Vannføringen i strekning V vil i teorien ikke endres, siden de tre små kraftverkene ikke har noen lagringskapasitet. Dersom det skulle oppstå endring i vannføringen i virkeligheten, kommer dette av en treghet i systemet, eller at inntakene til de små kraftverkene demmer opp noe vann, men dette er små mengder.

I de kommende grafene er det benyttet bestemte farger for å skille tilfellene fra hverandre. Grønn graf indikerer vannføringen slik den vil være i et tilfelle med tre små kraftverk, blå graf viser vannføringen i et tilfelle med magasinkraftverk og det opprinnelige kravet til minstevannføring, mens rød graf er vannføringen i et naturlig tilfelle.

### **Strekning I – oppstrøms inntaket til Kvannevatn Kraftverk**

Denne strekningen vil ikke påvirkes i et tilfelle med tre små kraftverk uten tilknytning til reguleringsmagasinet. Derfor vil vannføringen i et tilfelle med tre små kraftverk tilsvare den naturlige vannføringen i elva. Figur 43 viser hvordan vannføringen vil utarte seg gjennom året i den første strekningen. Grafen for magasinkraftverket i denne strekningen er beregnet ved å addere minstevannføringen og flomtapet.

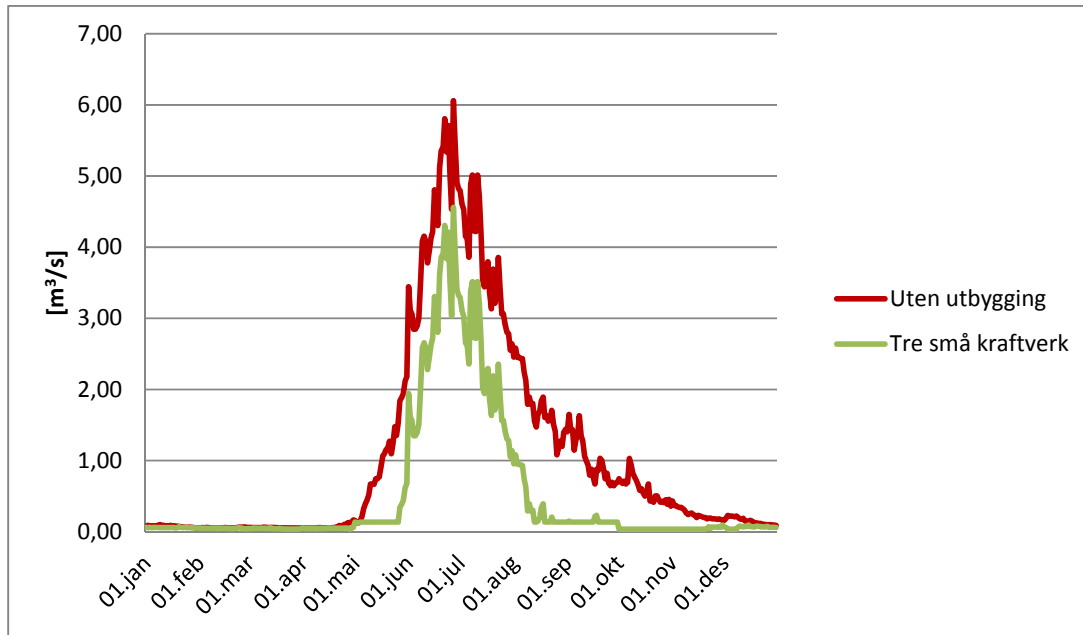


**Figur 43 - Graf over vannføringen i elvestrekning I, mellom Kvannevatn og oppstrøms inntaket til Kvannevatn kraftverk, i et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små kraftverk. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».**

Den høyeste vannføringen ved innløpet til strekning I er  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere i et tilfelle med regulering av Kvannevatn enn ved naturlig vannføring, når opprinnelig krav om minstevannføring anvendes. Vannføringen er dermed nesten 40 % lavere i tilfelle med magasinkraftverk. Vannføringen vil være lik kravet til minstevannføring, altså  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$  om vinteren, og  $0,135 \text{ m}^3/\text{s}$  fra midten av august til starten av juni i et år som følger mediankurven. I et naturlig tilfelle vil vannføringen være lav og nærmest stabil fra slutten av desember til slutten av april. Altså vil vannføringen være tilnærmet stabil og lav 6 måneder mer av året i et tilfelle med regulering i forhold til et tilfelle uten utbygging i Sagelva.

#### **Strekning II – mellom inntakene til Kvannevatn Kraftverk og Sagelva I**

Figur 44 viser vannføringen for et tilfelle med tre små kraftverk og et tilfelle uten utbygging i Sagelva i punktet like nedstrøms inntaket til Kvannevatn kraftverk.



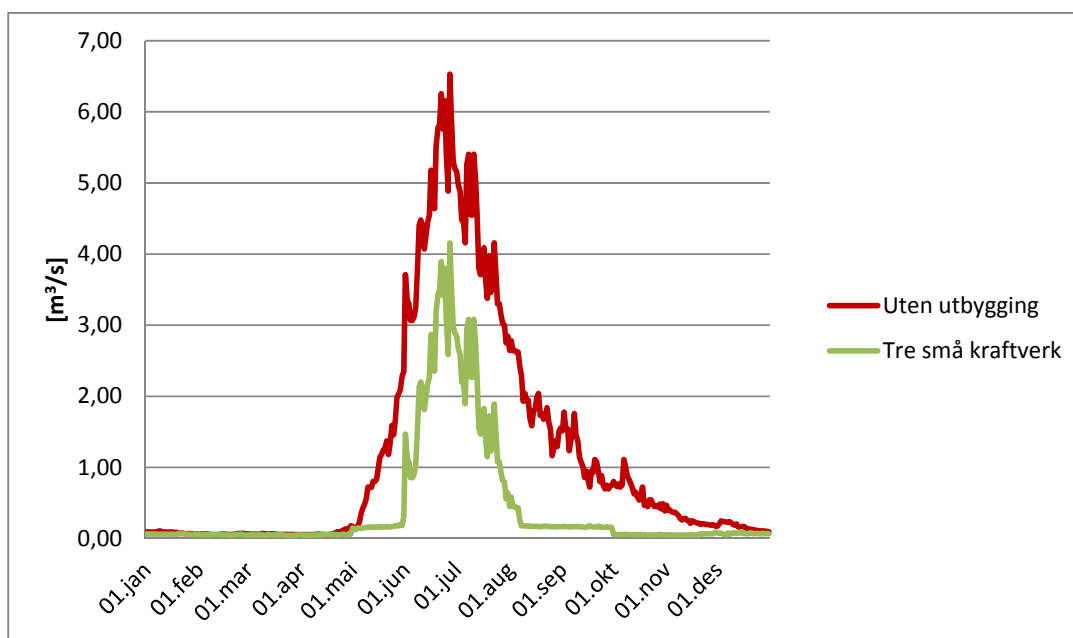
**Figur 44 - Graf over vannføringen i elvestrekning II i et tilfelle med tre små kraftverk og i et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Se vedlagt CD i filene «Uten utbygging.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».**

Vannføringen vil i store deler av året være stabil og lav for tilfellet med tre små kraftverk. Dette gjelder fra slutten av august til juni. Slukeevnen til Kvannevatn kraftverk og tilsiget gjør at kraftverket vil stå i store deler av året, vinter og vår, og dermed ikke endre vannføringen i elva nedstrøms. I sommerperioden vil vannføringen i Sagelva være noe mindre, der den maksimale vannføringen vil være  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere ved regulering. Dette tilsvarer en omtrent 25 % lavere vannføring. I mai, september, oktober og november er vannføringen lik kravet til minstevannføring. På midtsommeren oppstår det et flomtapp som gjør at vannføringen følger tilnærmet den naturlige variasjonen, men med en lavere vannføring.

Magasinkraftverket ville gitt en vannføring i vinterperioden lik kravet til minstevannføring,  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ , i forhold til elvekraftverket som ville stått stille og dermed gitt en vannføring nedstrøms lik den naturlige. Kravet til minstevannføring er i denne perioden mye lavere enn den naturlige vannføringen. Magasinkraftverket ville også gitt en noe lavere vannføring på sommeren i dette punktet, på grunn av lagringskapasiteten.

### **Strekning III – mellom inntakene til Sagelva I og Sagelva II**

Grafen for et tilfelle med tre små kraftverk viser vannføringen som er like nedstrøms inntaket til Sagelva I. Denne vannføringen består av bypass-vannføringen fra Kvannevatn kraftverk og et lokalt tilsig.



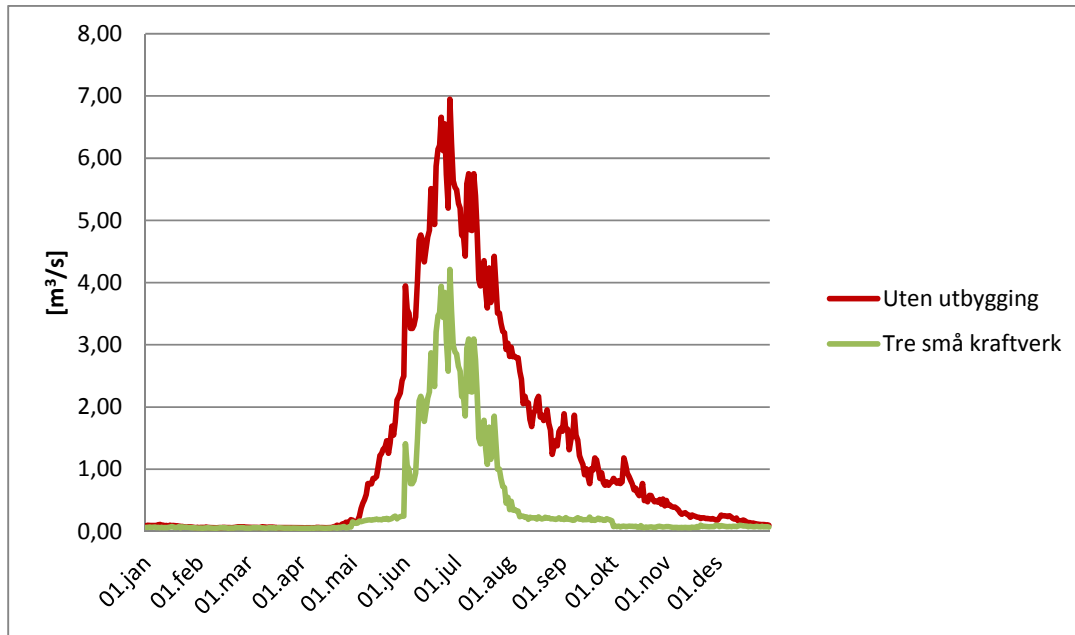
**Figur 45 - Graf over vannføringen i elvestrekning III i et tilfelle med tre små kraftverk og i et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Uten utbygging.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».**

Vannføringen vil i et tilfelle med tre små kraftverk oppleve en maksimal vannføring  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere enn i et naturlig tilfelle. Sagelva I og Kvannevatn kraftverk vil også stå stille i store deler av vinteren og våren, og derfor vil vannføringen tilsvare et naturlig tilfelle. Flomtap om sommeren gjør at vannføringen følger formen til grafen for det naturlige tilfellet.

I et tilfelle med magasinkraftverk vil vannføringen i vinterperioden i dette punktet ofte være lavere enn i tilfellet med de små kraftverkene med samme årsak som nevnt tidligere. Flomtoppene vil også være lavere i et slikt tilfelle, på grunn av lagringskapasiteten til magasinet.

#### **Strekning IV – mellom inntaket og utløpet til Sagelva II**

Vannføringen for tilfellet med de tre små kraftverkene er den vannføringen som er beregnet i punktet like nedstrøms inntaket til Sagelva II. Merk at forskjellen mellom vannføringen i tilfellet med de små kraftverkene i strekning III og strekning IV er marginal. Dette er fordi at Sagelva II mottar restvannføringen til Sagelva I i tillegg til et lite lokalt tilsig, og at slukeevnene til disse to kraftverkene er ganske like.



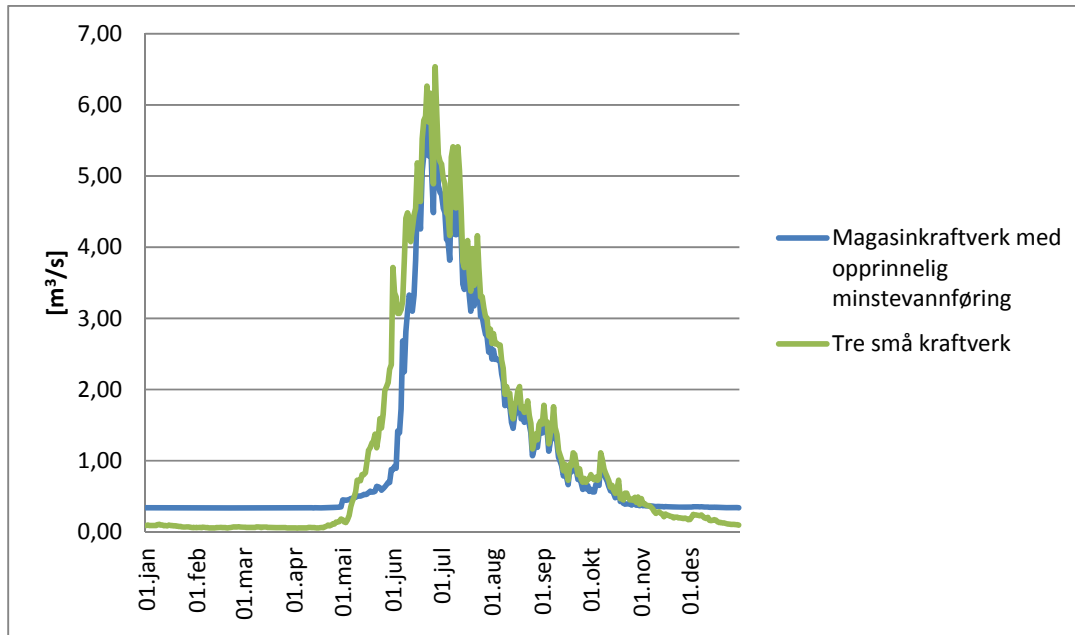
**Figur 46 - Graf over vannføringen i elvestrekning IV i et tilfelle med tre små kraftverk og i et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Uten utbygging.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».**

Den maksimale vannføringen i et år som følger median-kurven er  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere ved en regulering. Dette er nesten 40 % lavere enn et naturlig tilfelle. På midtsommeren vil vannføringen ved et tilfelle med tre små kraftverk ha samme form på vannføringskurven som i et naturlig tilfelle på grunn av flomtap. Ellers vil vannføringen være tilnærmet stabil resten av året, på grunn av krav til minstevannføring og et lite lokalt tilsig.

Vannføringen vil på samme måte som i de øvrige punktene i Sagelva være høyere om vinteren i et tilfelle med magasinkraftverk og opprinnelig minstevannføring, i forhold til i et tilfelle med små kraftverk. Flomtoppene om sommeren vil være tilsvarende lavere.

### Strekning V – Nedstrøms alle kraftverkene

Vannføringen for magasinkraftverket er det lokale tilsiget, produksjonsvannføringen, flomtap og minstevannføringen. Grafen for de tre små kraftverkene viser vannføringen like nedstrøms utløpet til Sagelva II og Kvannevatn kraftverk. Disse utløpene er antatt til å være tilnærmet på samme sted. Denne vannføringen er lik det lokale tilsiget addert med restvannføringen i elva og vannføringen fra produksjonen for Sagelva II og Kvannevatn kraftverk. Det lokale tilsiget vil være marginalt lite, ettersom det kun vil motta en estimert del på (11/80) fra nedbørfelt 156.D2AC som har et lokalt tilsig lik  $0,0093 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figur 47 - Graf over vannføringen i elvestrekning II i et tilfelle med et magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».**

Ettersom de tre små kraftverkene ikke har mulighet til å lagre vann, vil de bare kunne produsere kraft når det renner vann i Sagelva. På grunn av dette vil vannføringen i strekning V være den samme i et tilfelle med og uten utbygging i Sagelva. I et tilfelle med magasinkraftverk vil vannføringen være høyere i strekning V i vinterperioden, og tilsvarende lavere i sommerperioden. Dette ble nærmere beskrevet i Kapittel 4. Det vil altså være det samme volumet vann nedstrøms utslippene, men spredningen av vann over året viker noe fra den naturlige vannføringen i et tilfelle med magasinkraftverk.

Situasjonen på denne strekningen i dag gjør at vannføringen er av mindre interesse. Dette kommer av at vannføringen fra Sagelva vil forsvinne i en tunnel under Ørtfjell, og dermed ikke har noen betydning for plante- og dyreliv, samt brukerinteresser. Likevel er det valgt å legge fokus på denne strekningen ettersom dette er noe som generelt gjelder magasinkraftverk i forhold til små elvekraftverk.

Delkapittel 6.1.3 har gitt en beskrivelse av hvordan vannføringen vil endre seg fra naturlig stand i et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små elvekraftverk. Det er nå interessant å se videre på hvor store areal hvert av tilfellene vil legge beslag på.

### Berørte areal

I et tilfelle med magasinkraftverk vil store arealer rundt Kvannevatn legges under vann. I et tilfelle med flere små elvekraftverk vil ikke disse arealene gå tapt, og man unngår de påfølgende konsekvensene. Det neddemte arealet i Kvannevatn vil tilsvare 450 000 m<sup>2</sup>, se Kapittel 4.

Rørene som er planlagt til å benyttes i forbindelse med magasinkraftverket vil ta opp et areal lik 45 780 m<sup>2</sup> og kraftstasjonen vil dekke et areal på 60 m<sup>2</sup>. I et tilfelle med tre små kraftverk utgjør Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II et areal på henholdsvis 60 m<sup>2</sup>, 60 m<sup>2</sup> og 200 m<sup>2</sup>.

Rørgatene knyttet til Kvannevatn kraftverk utgjør en lengde lik 1500 meter, Sagelva I 780 meter og Sagelva II 750 meter. Dersom det antas at 15 meter bredde i terrenget vil påvirkes per meter rør, vil 45 450 m<sup>2</sup> påvirkes (G. H. Middtømme, NVE, personlig kommunikasjon, 08.02.2012).

Når det gjelder anleggsveier er det planlagt at hvert av tilfellene berører samme areal knyttet til anleggsveier, og dette er 28 000 m<sup>2</sup>. Dette er fordi det ved bygging av magasinkraftverket skal benyttes snøveier og helikopter for frakt av materiale. Det ble bygd 1,4 km vei i forbindelse med Kvannevatn kraftverk og Sagelva I. Ved bygging av Sagelva II ble eksisterende vei rustet opp (G. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 31.05.2012).

Kraftlinjer vil også oppta areal i naturen som en følge av utbyggelsene og ha innvirkning på 20 meter per lengdemeter. Magasinkraftverket krever et areal lik 61 040 m<sup>2</sup> knyttet til dette. Dersom det antas at kraftlinjer til de tre små kraftverkene vil påvirke tilsvarende lengde som rørene, utgjør dette et areal lik 60 600 m<sup>2</sup> (G. H. Middtømme, NVE, personlig kommunikasjon, 24.05.2012).

Tabell 9 viser den totale arealbruken for magasinkraftverket og de små kraftverkene. Her vil åpenbart det oppdemmete arealet av Kvannevatn utgjøre den største forskjellen. Magasinkraftverket vil oppta et grovt estimert areal rundt 585 000 m<sup>2</sup> og de tre små kraftverkene vil til sammen oppta et areal rundt 135 000 m<sup>2</sup>.

**Tabell 9 - Arealoversikt knyttet til tilfellet med magasinkraftverk og tilfellet med tre små kraftverk.**

Arealbruk	Magasinkraftverk	Tre små kraftverk
Kraftstasjon [m <sup>2</sup> ]	60	320
Rørgater [m <sup>2</sup> ]	45 780	45 450
Magasin [m <sup>2</sup> ]	450 000	-
Anleggsveier [m <sup>2</sup> ]	28 000	28 000
Kraftlinjer [m <sup>2</sup> ]	61 040	60 600
<b>Summert [m<sup>2</sup>]</b>	<b>584 880</b>	<b>134 370</b>



### 6.1.4 Miljøvirkninger og effekt av tiltak

De ovenfor nevnte naturinngrepene vil gi virkninger på miljøet. Dette kan være virkninger på plante- og dyreliv, eller virkninger på brukerinteresser som fiske og rekreasjonsmuligheter.

Et magasinkraftverk vil omgjøre området rundt Kvannevatn fra å være et miljø på land til å være i vann. Videre kan en regulering føre til at miljøet vil skifte mellom disse to tilstandene. Dette vil gi effekter på dyre- og planteliv slik som det ble kartlagt i Kapittel 4. I et tilfelle med flere små elvekraftverk, vil ikke disse konsekvensene være til stede, da kraftverkene ikke baserer produksjonen på lagring av vann.

Når det gjelder plante- og dyreliv i Sagelva, vil effektene på dette være mindre i et tilfelle med flere små elvekraftverk, enn magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. Dette kommer av at elvekraftverkene har en slukeevne som gjør at de vil stå store deler av vinteren, og dermed ikke påvirke vannføringen i elva. Om sommeren er det blitt vist at flomtoppene vil være høyere i et tilfelle med små kraftverk, enn med et magasinkraftverk. Dette er fordi magasinkraftverket vil lagre vann om sommeren, og kunne tappe vann til produksjon om vinteren.

### 6.1.5 Samfunnsnytte

Vannkraft omfatter energi som har en stadig tilførsel av ny energi, og regnes dermed som en fornybar energikilde. Et magasinkraftverk eller flere små kraftverk vil dermed ha en nytteverdi for samfunnet ved at kilden til denne kraftproduksjonen aldri vil bli tømt. Videre regnes vannkraft som en miljøvennlig energikilde, så lenge effektene på landskap, hydrologi og brukerinteresser må minimeres.

Den mest vesentlige forskjellen mellom tilfellet med magasinkraftverk og små kraftverk, er at magasinkraftverket vil kunne produsere kraft om vinteren da de små kraftverkene ville stått stille. Vann blir lagret i magasinet når tilsiget er større enn etterspørselen. Dette gjør at det kan produseres kraft i de periodene når etterspørselen etter vann til kraftproduksjon er større enn tilsiget. Dette vil skape leveringssikkerhet. De små kraftverkene vil derimot produsere mye kraft om sommeren, da kraftetterspørselen er mindre. Den produserte kraften kan dermed bli solgt til utlandet, og salget kan bidra til et tilskudd til Rana kommune, slik at andre samfunnsmessige formål kan dekkes.

Magasinkraftverket har også mulighet til å unngå eller minke flom. I beregningen på magasinkraftverket slik det ble planlagt av Minikraft AS, vil det inntreffe et betydelig flomtap. Dermed kreves det en optimalisering av magasinkraftverket for å unngå dette.

Magasinkraftverket kan unngå å produsere på de tidspunktene det er aller størst press på overføringslinjene. Dette betyr at man kan unngå overbelastning på kraftnettet og behov for å løse flaskehals (L. M. Hytten, elkraft-student ved NTNU, personlig kommunikasjon, 06.06.2012).

Tilfellet med de små kraftverkene vil føre til tre inngrep i miljøet, mens magasinkraftverket gir ett større inngrep. For å gi en størst mulig samfunnsnytte av vannkraftprosjektene, er det viktig at utbyggingene og driften gjøres på en best mulig miljøtilpasset måte. Her er avbøtende tiltak som krav til minstevannføring avgjørende.

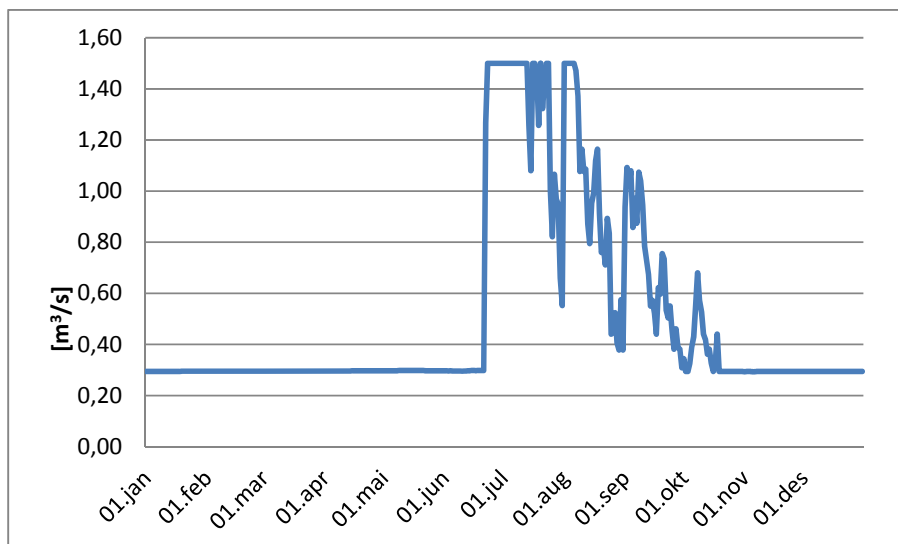
Et magasinkraftverk bringer videre med seg driftsfordeler. Det vil være lettere og mer effektivt å drifte ett større kraftverk enn flere små.

Både de små kraftverkene og magasinkraftverket vil skape arbeidsplasser under planlegging, bygging og drift. Dette vil igjen være av verdi for lokalsamfunnet. Det vil også være mulig å kombinere kraftproduksjon og oppdrett av fisk (G. M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 19.05.2012).

## **6.2 MAGASINKRAFTVERK MED MILJØBASERT KRAV OM MINSTEVANNFØRING OG ELVEKRAFTVERKENE**

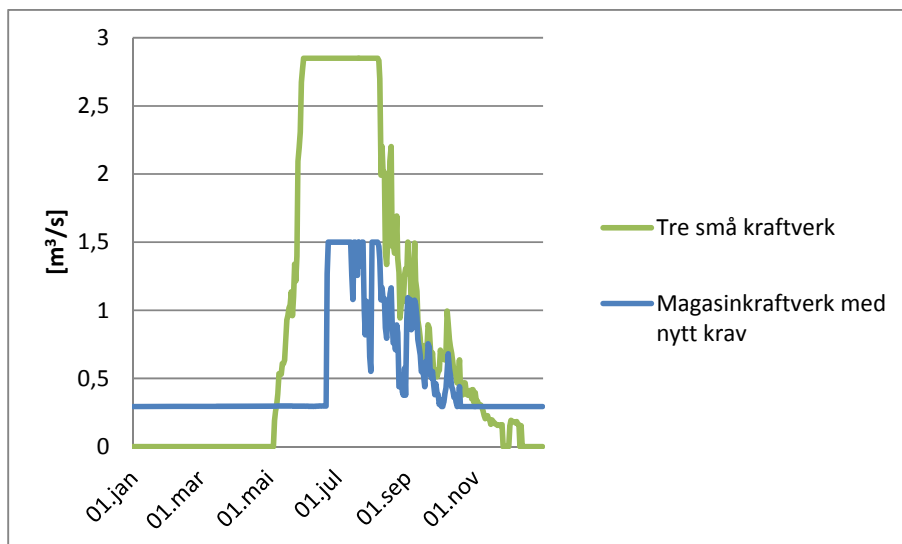
### **6.2.1 Produksjon og fordeling av produksjonen over året**

Med et nytt krav til minstevannføring, se Kapittel 4, Figur 34, vil vannføringen til produksjonen utarte seg igjennom året som i som Figur 48. Det nye kravet til minstevannføring er et mer varierende krav enn opprinnelig minstevannføring. Det miljøbaserte kravet er  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  i september til og med april,  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  i mai,  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  i juni og juli og  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  i august. Produksjonsvannføringen vil holde seg lav og stabil fra midten av oktober til slutten av juni, og er da rundt  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . I juni gjør vannføringen et hopp, og kraftverket har maksimal produksjon frem til midten av juli. Deretter vil vannføringen være mer varierende med en avtagende tendens. Perioden med lav og stabil produksjon med det nye kravet til minstevannføring er lengre enn med det opprinnelige kravet. Videre er produksjonen på sitt maksimale i en kortere periode, og om høsten er produksjonen mer varierende enn ved det opprinnelige kravet. Se 6.1.1 Produksjon og fordeling av produksjonen over året for produksjonsvannføringen med opprinnelig krav til minstevannføring.



**Figur 48 - Produksjonsvannføring for magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. Grafen er et resultat av medianverdiene for en årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».**

Med et nytt miljøbasert krav til minstevannføring viser Figur 49 sammenhengen mellom produksjonsvannføringen til magasinkraftverket og de tre små kraftverkene. I perioden hvor de tre små kraftverkene ville stått stille, ville magasinkraftverket hatt en lav og stabil produksjon. Når de tre små kraftverkene gjør et sprang i produksjonen i starten av mai, vil magasinkraftverket fortsatt ha en lav og stabil produksjon. Magasinkraftverket gjør ikke dette spranget før i slutten av juni, og perioden hvor magasinkraftverket produserer på maks kapasitet er kortere enn for småkraftverkene. Om sommeren vil de tre små kraftverkene stå for en produksjon som er nesten dobbelt så stor som magasinkraftverket.



Figur 49 - Den totale produksjonsvannføringen til de tre små kraftverkene og magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. Se vedlagt CD i filen «Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx».

## 6.2.2 Økonomi

Med nytt krav om minstevannføring vil netto årlig inntekt være 8,57 millioner NOK (se Tabell 10).

Tilfeldig kraft er nå 6,52 GWh/år. Elsertifikatene står for 3,63 millioner NOK/år av nettoinntekten.

Tabell 10 - Oversikt over inntekt knyttet til fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat for magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring.

	GWh/år	Mill.NOK/år
Fastkraft	8	2,72
Tilfeldig kraft	6,52	2,22
Elsertifikat	14,52	3,63
<b>Sum</b>		<b>8,57</b>

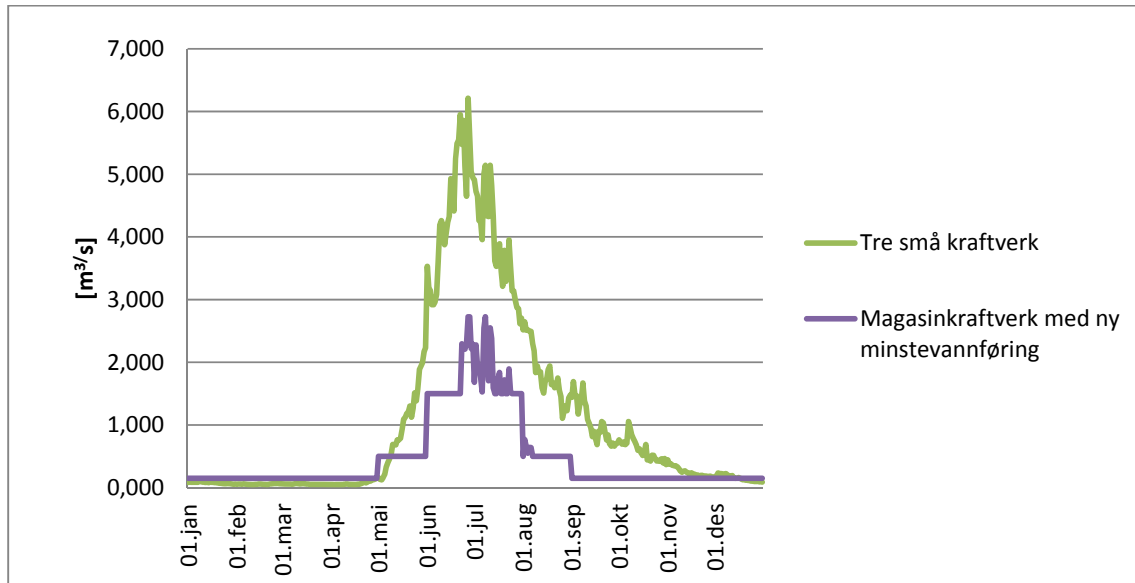
Sammenlignes tilfellet med de tre små kraftverkene og magasinkraftverket med nytt krav til minstevannføring, er netto årlig inntekt 2,46 millioner NOK høyere i tilfellet med de små kraftverkene. Dette betyr at netto inntekt er 22,3 % lavere i et tilfelle med magasinkraftverk med nytt krav til minstevannføring i forhold til tilfellet med de tre små elvekraftverkene.

## 6.2.3 Naturinngrep

### Strekning I – oppstrøms inntaket til Kvannevatn Kraftverk

Som det ble nevnt tidligere, vil ikke denne strekningen påvirkes i et tilfelle med tre små elvekraftverk, siden disse ikke har inntak før en lavere høydekote. Derfor vil vannføringen i et tilfelle med tre små

kraftverk tilsvare den naturlige vannføringen i elva. Figur 50 viser hvordan vannføringen vil utarte seg gjennom året i den første strekningen. Grafen for magasinkraftverket i denne strekningen er beregnet ved å addere det nye kravet til minstevannføring og flomtapet.



**Figur 50 - Graf over vannføringen i elvestrekning I i et tilfelle med magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små kraftverk. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk med ny mvf.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».**

Med et nytt krav til minstevannføring er vannføringen stabilt lik  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  fra september til mai, og stabilt lik  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  i mai og august, som er minstevannføringskravet. I juni og slutten av august er vannføringen også lik kravet til minstevannføring, og er  $0,150 \text{ m}^3/\text{s}$ . På midtsommeren er det et flomtap fra magasinet som gjør at maksimal vannføring er  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  lavere enn den naturlige. Det nye kravet til minstevannføring er i vinterperioden er over fire ganger større enn det opprinnelige kravet. Det nye kravet gir en trappet vannføringsgraf som er gjennomgående høyere i vinterperioden, men igjen noe lavere i sommersesongen. Uten flomtappet fra magasinet ville vannføringen i Sagelva vært svært liten i sommerperioden med det opprinnelige kravet til minstevannføring. Det nye kravet sikrer en høyere vannføring i denne perioden.

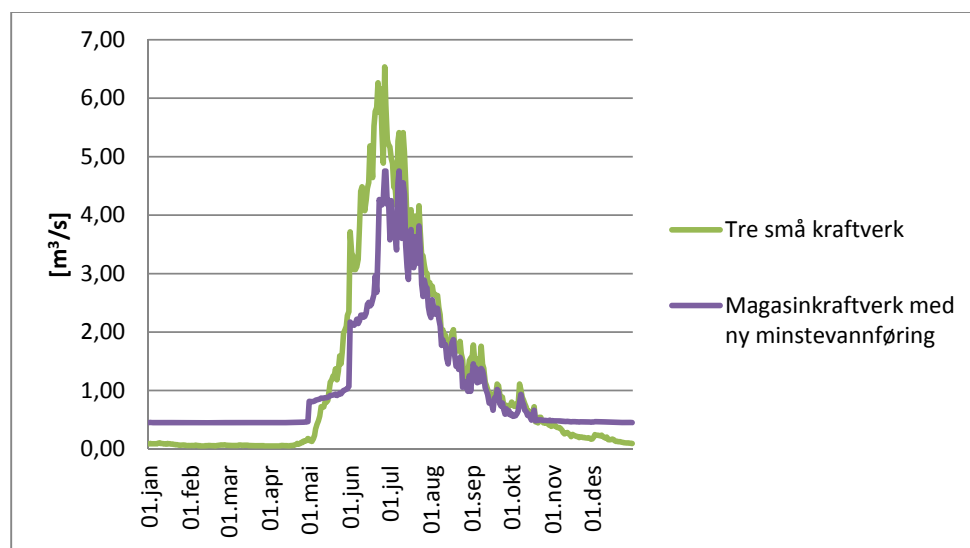
### Strekning II til IV

I et tilfelle med magasinkraftverk med et nytt, miljøbasert krav til minstevannføring ville vannføringen i vinterperioden ikke være så langt i fra den naturlige vannføringen. Dette gjelder hele veien fra Kvannevatn ned til punktet for nederste utslipp til de små kraftverkene. Fra strekning I til IV vil Sagelva også motta et økende lokalt tilsig. I sommerperioden vil flomtoppene bli noe lavere, ettersom magasinkraftverket har et mindre flomtap enn de små kraftverkene. Magasinkraftverkets miljøbaserte krav til minstevannføring sikrer en høyere vannføring i flomperioden. I tilfellet med de

tre små kraftverkene ville vannføringen vært betydelig lav sammenlignet med den naturlige dersom flomvannet ikke hadde vært til stede. I vår- og høstperioden ville vannføringen hatt en trappevis oppgang og nedgang på samme måte som vist i Figur 50. I et tilfelle med flere små kraftverk ville vannføringen vært betydelig lavere enn den naturlige om høsten og våren. Se Figur 43 til 46 for en nærmere beskrivelse av vannføringen i tilfellet med tre små elvekraftverk.

### Strekning V – Nedstrøms alle kraftverkene

Grafen for magasinkraftverket er det lokale tilsiget, produksjonsvannføringen, flomtap og minstevannføringen. Grafen for de tre små kraftverkene er lik vannføringen like nedstrøms utløpet til Sagelva II og Kvannevatn kraftverk. Disse utløpene er som sagt antatt til å være tilnærmet på samme sted. Denne vannføringen er lik det lokale tilsiget addert med restvannføringen i elva og vannføringen fra produksjonen for Sagelva II og Kvannevatn kraftverk.



Figur 51 - Graf over vannføringen i elvestrekning II i et tilfelle med et magasinkraftverk og i et tilfelle med tre små kraftverk. Grafene er basert på medianverdiene i årrekke fra 1968 til år 2000. Se vedlagt CD i filene «Magasinkraftverk.xlsx» og «Tre små kraftverk.xlsx».

Det nye kravet til minstevannføring vil gi en enda høyere vannføring i forhold til et naturlig tilfelle i vinterperioden i denne strekningen. Om sommeren vil vannføringen være tilsvarende mye lavere. Det økte kravet til minstevannføring altså vil vike mer fra den naturlige vannføringen nedstrøms alle kraftverkene i forhold til det opprinnelige kravet til minstevannføring.

### 6.2.4 Miljøvirkninger og effekt av tiltak

Konsekvensene knyttet til oppdemmingen av Kvannevatn vil fortsatt være til stede, og her kommer tilfellet med de tre små kraftverkene fortsatt bedre ut enn tiltaket med magasinkraftverk. En oppdemming på 10 meter vil endre store arealer fra å være landbaserte til å variere mellom et

akvatisk og terrestrisk miljø. Dette krever mye av plantelivet for å kunne overleve, og samtidig skaper dette utfordringer for blant annet fugleliv som avhenger av de grunne områdene i Kvannevatn.

I forhold til konsekvensene knyttet til magasinkraftverket med den opprinnelige minstevannføringen, vil konsekvensene med ny miljøbasert vannføring være betydelig mindre i Sagelva. Det miljøbaserte kravet skal, som beskrevet i delkapittel 4.9.4 ivareta brukerinteresser som rekreasjonsmuligheter, fiske og det estetiske ved en regulering. Videre er plante- og dyreliv tatt i betraktning. Et slikt krav til en miljøbasert vannføring vil ikke være mulig i et tilfelle med små kraftverk, ettersom det ville gitt en ulønnsom produksjon. Magasinet gir mulighet til å kunne slippe en minstevannføring av betydelig størrelse for å ivareta ulike interesser på en tilfredsstillende måte, noe som er nærmest umulig for de små kraftverkene.

Det nye kravet til minstevannføring vil være stor nok til å ivareta fiskens livsvilkår om vinteren, og den vil også sørge for en økende vannføring om sommeren og minkende vannføring om vinteren. Kravet sikrer en vannføring som er så stor om sommeren at det estetiske knyttet til fossefall og elvas løp blir ivaretatt. I et tilfelle med de små kraftverkene, er Sagelva fullstendig avhengig av flomtapet i sommerperioden for å bevare de nevnte verdiene. Uten dette flomtapet ville det knapt vært vann i Sagelva sammenlignet med et naturlig tilfelle, og Sagelvas estetiske og livsviktige verdi ville gått tapt.

### 6.2.5 Samfunnsnytte

Et miljøtilpasset krav til minstevannføring er avgjørende for å kunne maksimere samfunnsnyttene av et vannkraftprosjekt. Verdier som både gjelder det biologiske og rekreasjonsmuligheter kan bli bevart ved et slikt krav til minstevannføring, noe de små kraftverkene har ikke mulighet til å gjøre. Magasinkraftverket har derfor fordeler på dette området.

Ettersom områder rundt Kvannevatn vil legges under vann i et tilfelle med magasinkraftverk, må det gjøres en avveining om hva som vil maksimere samfunnsnyttene. Er det at verdiene langs Sagelva blir bevart med et miljøtilpasset krav til minstevannføring og kan man «tåle» konsekvensene en oppdemming av Kvannevatn vil gi, eller er området rundt Kvannevatn viktigere å bevare enn Sagelva? Dette må også ses i sammenheng med produksjon og lønnsomhet.

Magasinkraftverket vil som kjent kunne produsere kraft om vinteren da krafttetterspørselen er størst, noe de små kraftverkene ikke kan. Videre har magasinkraftverket potensialet til å produsere større mengder kraft enn de små kraftverkene. Dette vil bli diskutert videre i delkapittel 7.2.1.

## KAPITTEL 7: DISKUSJON

I dag er det mangel på godt utprøvde metoder for å sammenligne små elvekraftverk og magasinkraftverk. En metode er å gjøre en sammenligning med miljøvirkninger per enhet kraft produsert. Ettersom energi ikke er en uniform størrelse kan den ikke sammenlignes direkte, men man må også ta kvaliteter som leveringssikkerhet og risiko med i betraktningen. Videre kan det være problematisk å sammenligne på tvers av miljøkategorier. I Kapittel 4 ble Samla plan-metoden benyttet for å kartlegge konsekvensene ved en utbygging av magasinkraft, og konsekvensene ble inndelt i ulike miljøkategorier. For eksempel kan det være vanskelig å si hva som er viktigst å bevare i Sagelva av miljøkategoriene *fisk* og *rekreasjon*. Det må dermed gjøres en verdivurdering av miljøkvalitetene, og dette finnes det egentlig ingen svar på (T.H. Bakken, forsker ved CEDREN, personlig kommunikasjon, 26.04.2012).

I følgende kapittel skal det foreslåtte kravet til miljøbasert minstevannføring og den tidligere sammenligningen av magasinkraftverket og de tre små kraftverkene diskuteres. Det skal gjøres noen generelle betraktninger rundt en slik sammenligning, men dette er utfordrende ettersom det planlagte magasinkraftverket ikke er optimalisert. På grunn av dette skal det utføres en ny beregning av magasinkraftverket. Dette vil ikke optimalisere kraftverket fullstendig, men er ment å gi et inntrykk av potensialet til magasinkraftverket. Videre vil det bli gjort en mer generell vurdering av minstevannføring og definisjonen av denne i små kraftverk. Diskusjonen vil avsluttes med et delkapittel som går igjennom mulige feilkilder.

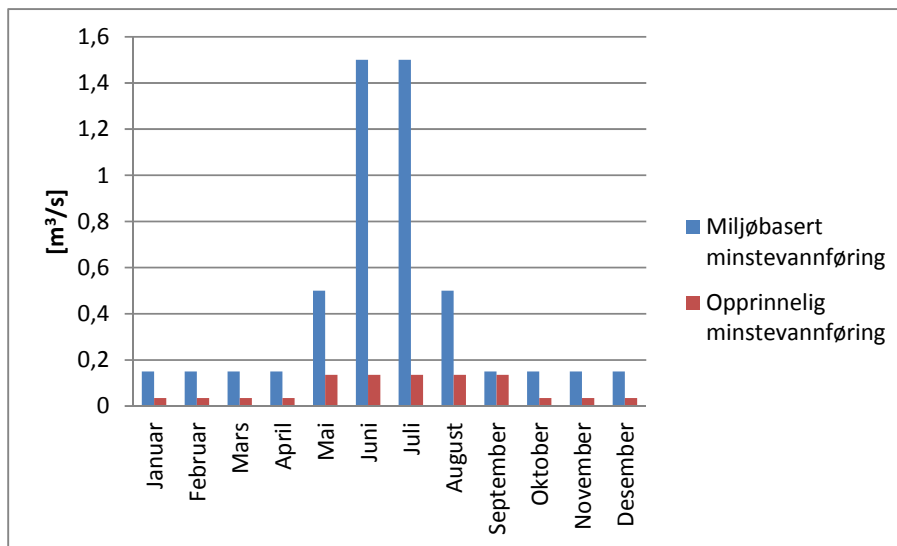
### 7.1 FORESLÅTT MILJØBASERT KRAV TIL MINSTEVANNFØRING

Etter en konsekvensutredning av utbyggingen i Sagelva og Kvannevatn ble miljøkategorien *fisk* og *rekreasjon* vurdert til å være de kategoriene med størst betydning for elva, og kravet til miljøbasert minstevannføring ble bestemt deretter. Den foreslåtte, miljøbaserte minstevannføringen er i utgangspunktet høy. Minstevannføringen ble bestemt slik at det estetiske ved elva skulle bevares, men det kan hende at personene som har glede av det estetiske ved Sagelva hadde hatt større glede av økt kraftproduksjon. Dette blir en sammenligning av ulike goder som strengt tatt ikke er direkte sammenlignbare. Videre er spørsmålet hvor store deler av lokalbefolkningen det egentlig er som benytter seg av området rundt Sagelva til turgåing og annen rekreasjon. I konsekvensutredningen ble det kartlagt at Kvannevatn og Sagelva ikke var registrert som et viktig friluftsområde i følge DNS naturdatabase, noe som tyder på at bruken av området til rekreasjon er begrenset. Selv om området rundt Kvannevatn og Sagelva ikke er registrert til å være av stor friluftsmessig verdi, ble likevel



områdets *potensielle verdi* valgt å bli ivaretatt med det miljøbaserte kravet til minstevannføring. Det kan hende at Sagelvas estetiske verdi ble overvurdert, og dermed er minstevannføringen i sommerperioden satt for høy for dette formålet. Denne vurderingen ble gjort så sent at nye beregninger ikke lot seg gjøre. Den miljøbaserte minstevannføringen burde muligens heller vært bestemt ut ifra fiskehensyn.

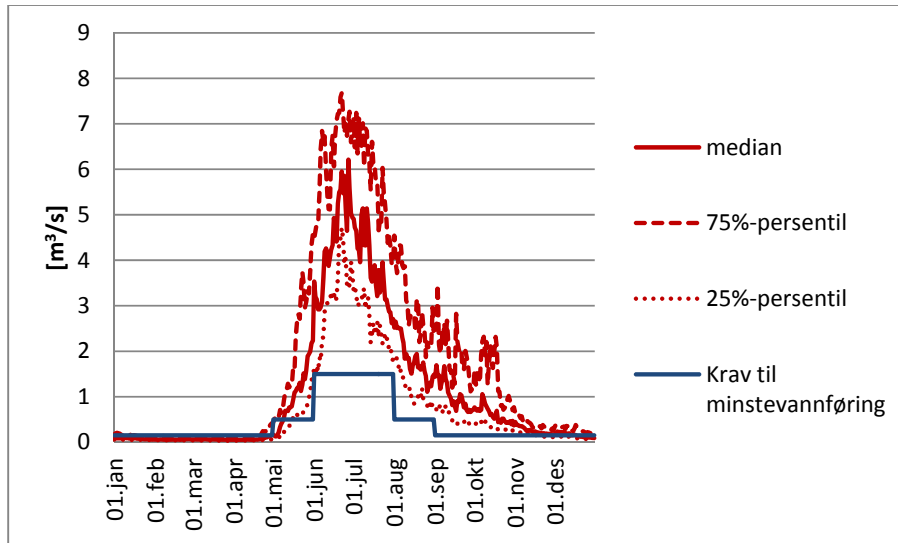
Figur 52 viser sammenhengen mellom det nye, foreslåtte kravet til en miljøbasert minstevannføring og det opprinnelige kravet til minstevannføring som Minikraft AS søkte med i utgangspunktet. Det miljøbaserte kravet er gjennomgående høyere enn det opprinnelige kravet, og i juni og juli er denne differansen størst med  $1,365 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det vil si at det miljøbaserte kravet er over elleve ganger så høyt som det opprinnelige. I vinterperioden er det miljøbaserte kravet over fire ganger så høyt som det opprinnelige kravet. Det kommer frem at et krav til minstevannføring som tar utgangspunkt i viktige verdier i Sagelva er betydelig høyere enn et krav som er satt ut i fra tradisjonelle metoder der man baserer minstevannføringen på beregning av alminnelig lavvannføring og en gitt prosentandel av middelvannføringen. Det er ikke gitt at et miljøbasert krav vil være høyere enn et krav satt ved tradisjonelle metoder, men i dette tilfellet er det slik.



**Figur 52 - Opprinnelig krav til minstevannføring basert på tradisjonell metode ved beregning av alminnelig lavvannføring og en gitt prosentandel av middelvannføringen, og krav til minstevannføring basert på en miljømessig vurdering ved hjelp av *building block*-metoden.**

Det miljøbaserte kravet til minstevannføring har fasong som en symmetrisk «hatt». Figur 53 viser sammenhengen mellom kravet til minstevannføringen og tilsiget i et normalt, tørt og vått år ved utløpet til Kvannevatn. I følge denne utviklingen kan man se at kravet til minstevannføring er noe høyere i vinterperioden enn den naturlige vannføringen som inntreffer uten en utbygging i Sagelva,

og i mai er denne differansen på sitt største da kravet øker fra 0,15 m<sup>3</sup>/s til 0,5 m<sup>3</sup>/s, og dette gjelder spesielt i et tørt år.



**Figur 53 – Nytt miljøbasert krav til minstevannføring og tilsiget ved utløpet til Kvannevatn i et tilfelle uten utbygging i Sagelva.**

Det kan se ut til at et miljøbasert krav til minstevannføring som skiller mellom et normalt, tørt og vått år hadde vært mer gunstig enn et minstevannføringskrav som er det samme uavhengig av tilsiget det aktuelle året. I artikkelen *Development of an inflow-controlled environmental flow regime for a Norwegian river* av Alfredsen et al. (2011) er *building block*-metoden benyttet for å foreslå et krav til en miljøbasert minstevannføring. I denne artikkelen skiller det mellom et minstevannføringskrav for et normalt, tørt og vått år. Et tørt år er når vannføringen er under 25%-persentilen, et normalt år er når vannføringen er mellom 25%- og 75%-persentilen, og et vått år er når vannføringen er over 75%-persentilen. Forfatterne anbefaler å etablere en måleanordning i en uregulert sideelv og deretter bruke denne til å avgjøre om det er en tørr, normal eller våt periode for å velge kravet til minstevannføring deretter. Denne måleanordningen vil gi et minstevannføringsregime som er nær sanntidsendringene i den naturlige vannføringen i elva, vil utnytte gjenværende vannføring fra nedbørfeltet og gi enkle kontrollmekanismer for det offentlige og myndighetene. Dette kunne også vært aktuelt for utbyggingen i Sagelva.

## 7.2 SAMMENLIGNING AV MAGASINKRAFTVERK OG TRE SMÅ KRAFTVERK

Det ble gjort to sammenligninger av magasinkraftverket, og de tre små kraftverkene, med henholdsvis opprinnelig og miljøbasert krav til minstevannføring. Her ble det vist at

magasinkraftverket med opprinnelig og nytt krav til minstevannføring har mulighet til å produsere kraft i vinterperioden, noe de små elvekraftverkene ikke har mulighet til. Dette er av stor samfunnsmessig verdi, ettersom etterspørselen etter kraft er størst om vinteren.

Når det gjelder naturinngrep og berørte elvestrekninger vil magasinkraftverket med inntak på høyere kote berøre en lengre bypass-strekning enn de små kraftverkene. Videre vil vannføringen nedstrøms utslippet til magasinkraftverket bli omfordelt gjennom året, der det i vinterperioden blir en høyere vannføring og i sommerperioden en tilsvarende lavere vannføring enn den naturlige. Utslagene ble større ved det miljøbaserte kravet til minstevannføring. De små elvekraftverkene vil gi en vannføring nedstrøms det nederste kraftverket som er tilnærmet lik et tilfelle uten utbygging i Sagelva. Et viktig poeng er at berørte elvestrekninger må ses i sammenheng med produsert kraft. Teknisk Ukeblad informerer om at en rapport fra Multiconsult konkluderer med at småkraftverk berører en vesentlig lengre nedstrøms elvestrekning enn oppgraderings- og utvidelsesprosjekter av større kraftverk. Per 10 TWh berører småkraftverk 100 km, der oppgraderings- og utvidelsesprosjektene berører 40 km. Multiconsult baserer disse resultatene på statistikk fra 50 småkraftprosjekter og fire større vannkraftprosjekter (Lie, 2012b). Selv om dette ikke er den samme sammenligningen som gjøres i denne oppgaven, kan dette tyde på at små kraftverk har større miljøkonsekvenser per produserte enhet enn større utbygginger.

Selv om magasinkraftverket er planlagt å ha inntak på en høyere kote enn det øverste inntaket til de små kraftverkene, er arealene som går med til infrastruktur nærmest det samme. De små kraftverkene vil kreve mer areal til linjer og anleggsveier, ettersom de utgjør tre ulike punkt som krever infrastruktur, mens magasinkraftverket bare utgjør ett punkt. Magasinkraftverket vil derimot føre til at større arealer rundt Kvannevatn blir berørt, som en følge av reguleringen, noe som ikke er tilfelle for de tre elvekraftverkene.

Resultatene fra sammenligningen av magasinkraftverket og de tre små kraftverkene er sterkt farget av at magasinkraftverket ikke er optimalisert. Magasinkraftverket kan utnytte bare 2-3 meter av en planlagt reguleringshøyde på 10 meter, noe som igjen gjenspeiler seg i produksjon og økonomi. Dermed vil en sammenligning som baseres på naturinngrep per kraftenhet produsert bli misvisende. Dette kan tyde på at Minikraft AS søkte på en så stor reguleringshøyde bare for å være på den «sikre siden», og at de har planlagt kraftverket med en mindre regulering.

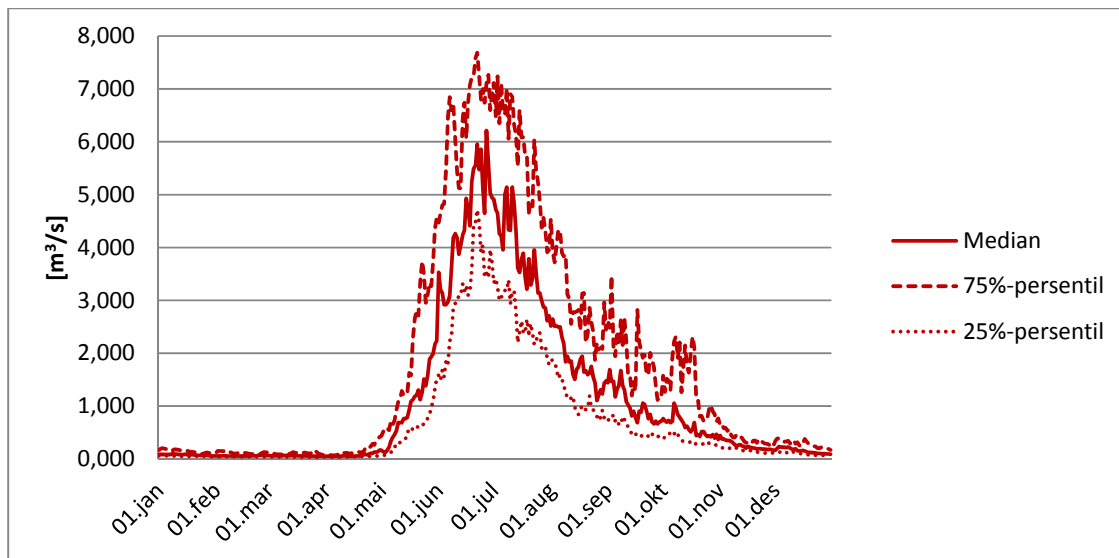
## 7.2.1 Ny beregning med styrecurve for magasintapping, fastkraftfordeling og økt slukeevne

Magasinkraftverket vil ikke utnytte sin fulle reguleringshøyde på 10 meter slik kraftverket ble planlagt i utgangspunktet. På grunn av dette, er det valgt å gjøre en ny simulering av magasinkraftverket med opprinnelig og miljøbasert krav til minstevannføring med styrecurve for magasintappingen og fastkraftfordelingen gjennom året. I tillegg er slukeevnen til kraftverket økt fra å være  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  til  $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Reguleringshøyden er den samme, altså 10 meter.

Det er viktig å bemerke at disse beregningene ikke optimaliserer magasinkraftverket, men viser hvordan en foreslått styrecurve for magasintapping og fastkraftfordeling, i tillegg til økt slukeevne, kan gi en bedre utnyttelse av magasinkapasiteten og dermed øke inntekten til kraftverkseieren. Simuleringen kan dermed gi et inntrykk av hva potensialet for magasinkraftverket er. Videre er inntektsberegningen til magasinkraftverket forenklet, da rasjonering ikke er vurdert.

### Styrecurve for magasintapping

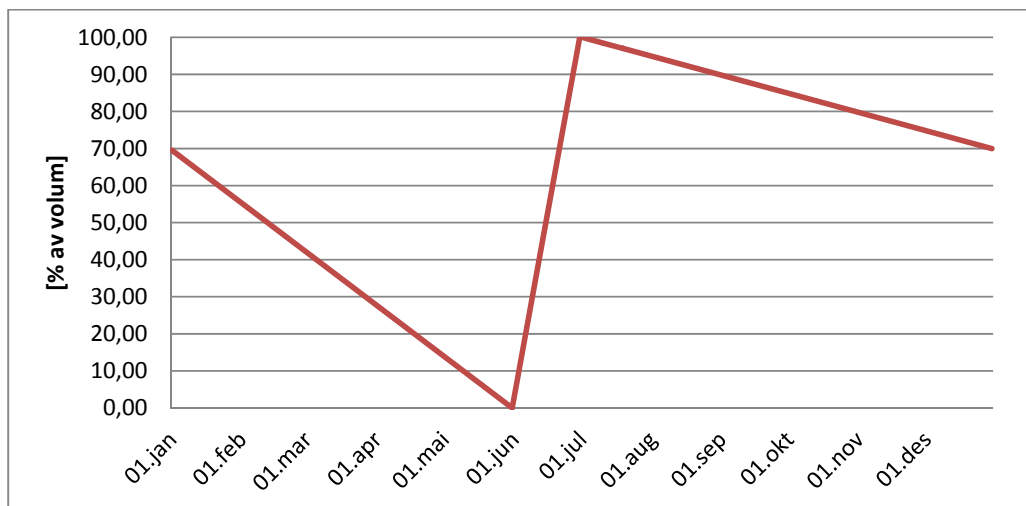
Tilsiget ved utløpet til Kvannevatn er som i Figur 54, slik som også vist i Kapittel 4. Tilsiget vil være lavt og stabilt i vinterperioden og flomperioden tar seg opp i starten av mai. I månedsskiftet juni/juli er tilsiget på sitt maksimale.



Figur 54 - Tilsig gjennom året ved utløpet til Kvannevatn.

Med utgangspunkt i dette, er det blitt lagt inn en styrecurve for magasintappingen av Kvannevatn. Det er med tappekurven ønskelig at magasinnivået skal være lik LRV når flomperioden begynner. På grunn av at det miljøbaserte kravet til minstevannføring gir en økning fra  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  til  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  i

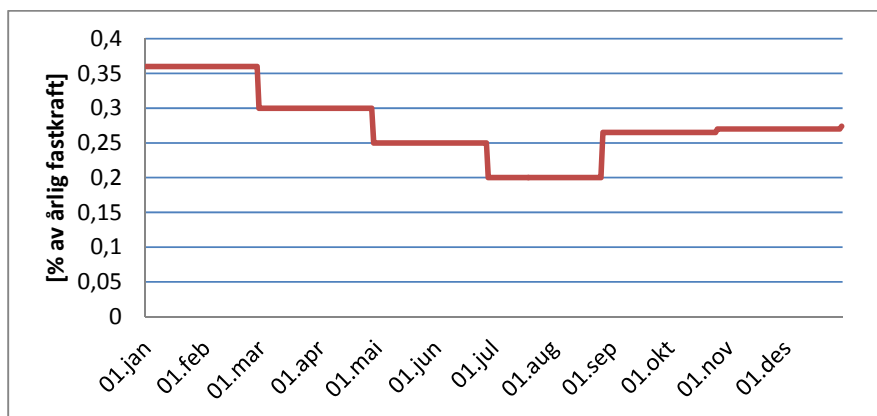
månedsskiftet april/mai, er tidspunktet for når magasinet skal være nedtappet forskjøvet litt lenger ut i flomperioden. I løpet av flomperioden skal magasinet fylles opp igjen slik at det blir mulig for kraftverket å produsere i vinterperioden med lavt tilsig.



Figur 55 - Styrekurve for magasintapping som benyttes i simuleringen i nMAG2004. Styrekurven gir % av volum av reguleringshøyde.

### Fastkraftfordeling

Styrekurve for fastkraftfordeling ble innført for å øke andelen fastkraft om vinteren, da kraftprisen er høy, og tilsvarende minke den i sommerperioden, da kraftprisen er lavere. Fastkraftfordelingen ble bestemt ved å ta utgangspunkt i et tilsvarende eksempel utarbeidet av Ånund Killingtveit (Killingtveit, 2004). Fastkraftfordeling ble satt som i Figur 56.

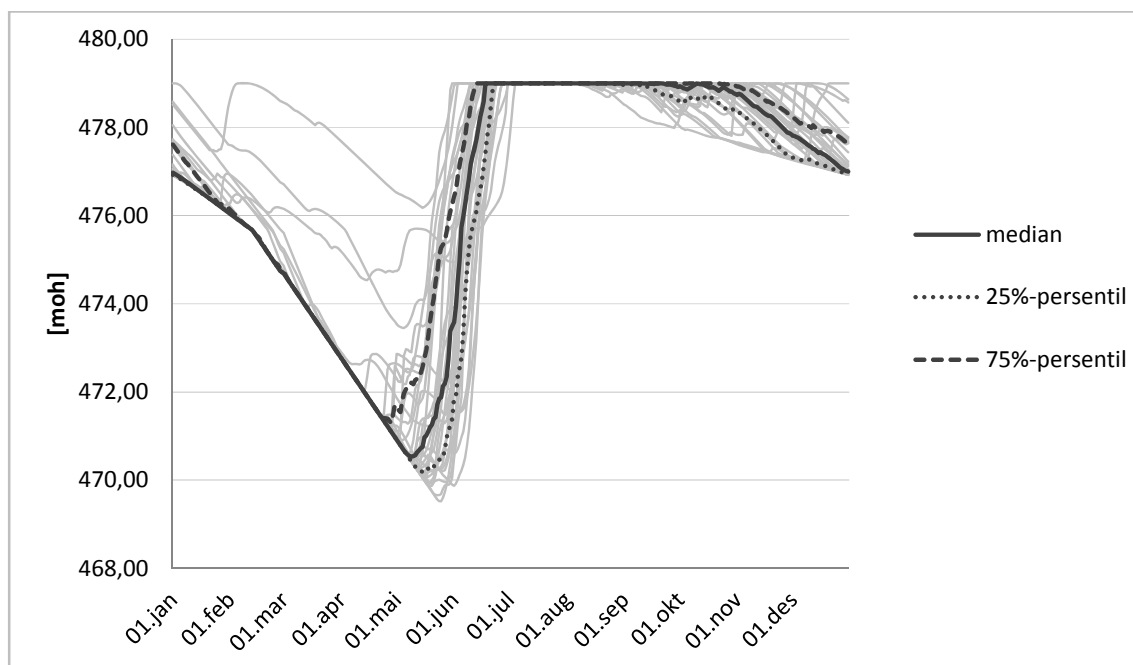


Figur 56 - Variabel fastkraftfordeling gjennom året som benyttes i simuleringen i nMAG2004 (Killingtveit, 2004)

Her er fastkraftnivået satt til å være 0,36 % fra juni til mars, og fra mars til mai 0,3 %, fra mai til juli 0,25 %, fra juli til september 0,2 %, fra september til november 0,27 % og fra november og ut året 0,274 %. Den totale fastkraften vil summeres opp til 100 %.

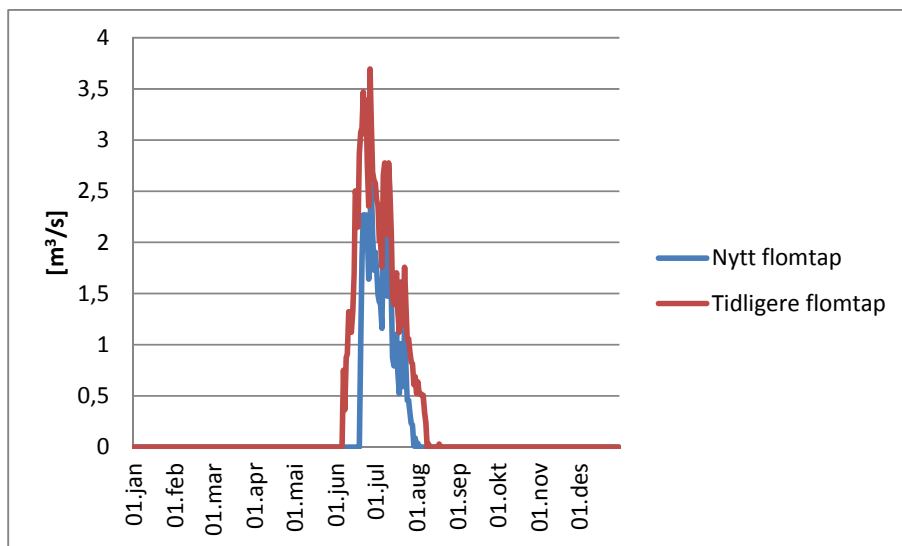
### Magasinkraftverk med opprinnelig krav til minstevannføring

Ved innføring av tappekurve for magasinet viser Figur 57 hvordan magasinkraftverket utnytter sin fulle magasinkapasitet. De lyse grå grafene viser vannføringen for hvert år i tidsperioden mellom 1968 og år 2000. De mørkere grafene viser median, 25 %-persentilen og 75 %-persentilen for disse årene. Disse grafene representerer dermed henholdsvis et normalt, tørt og vått år. I perioden 19.juni frem til 14. september er vannstanden i magasinet lik HRV i et normalt år. Magasinet har sitt laveste nivå 08. og 09. mai og befinner seg 470,54 moh.



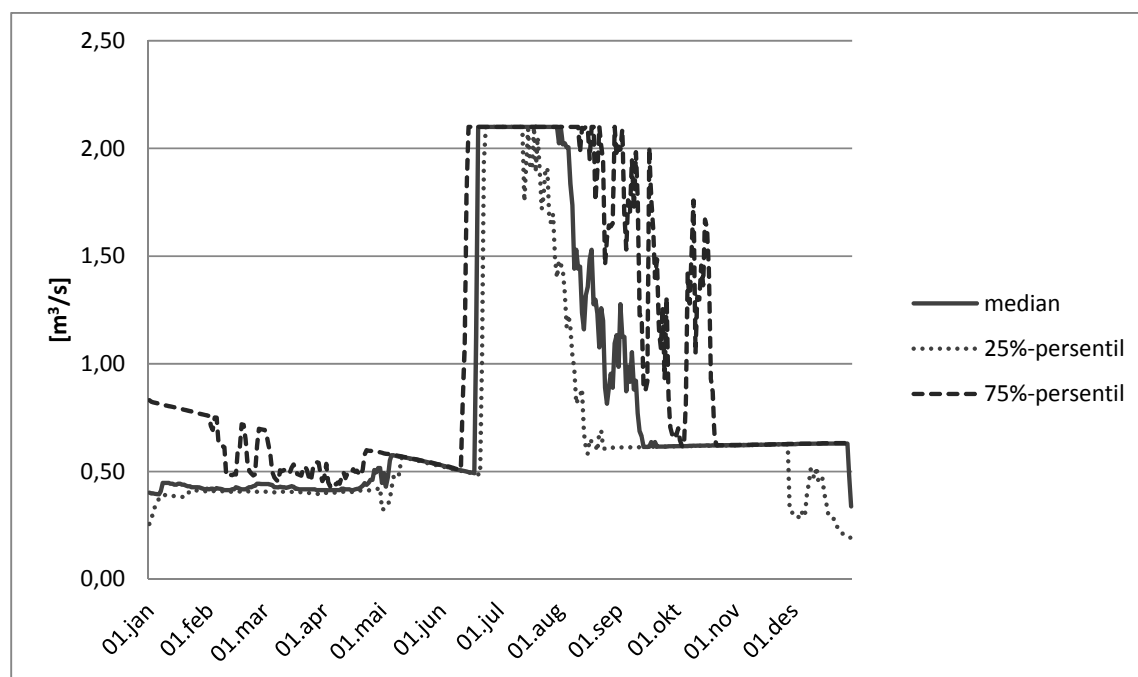
**Figur 57 – Magasinnivået gjennom året i beregning med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med opprinnelig krav til minstevannføring. Lyse grå linjer indikerer hvert år i perioden 1968 til år 2000, mørkere kurver gir tilsiget for et normalt, tørt og vått år.**

Flomtaptet vil være betydelig lavere enn for det opprinnelige, planlagte magasinkraftverket, da dette er på sitt høyeste lik  $2,55 \text{ m}^3/\text{s}$ , mot  $3,69 \text{ m}^3/\text{s}$  slik som det var uten styrekurver. Perioden for flomtapp er også kortere, da den nå inntreffer i kun 43 dager, mens den tidligere varte i 65 dager. Figur 58 viser denne sammenhengen, og her omtales den nye beregningen som «nytt flomtapp», mens tidligere beregning med opprinnelig spesifikasjoner til kraftverket omtales som «tidligere flomtapp».



**Figur 58 – «Nytt flomtap» gir flomtapet med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring. «Tidligere flomtap» viser flomtapet uten styrekurver, med opprinnelig slukeevne og opprinnelig krav til minstevannføring, slik som magasinkraftverket ble planlagt i konsesjonssøknaden.**

Krafteieren vil med økt utnyttelse av magasinet kunne produsere mer kraft gjennom året. Figur 59 viser hvordan kraftproduksjonen utarter seg gjennom året. Hele produksjonsvannføringen er økt på sitt maksimale ettersom kraftverket har fått større slukeevne. Produksjonen er fortsatt noe lav og stabil om vinteren, og er på sitt maksimale om sommeren.



**Figur 59 - Produksjonsvannføring gjennom året til kraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med opprinnelig krav til minstevannføring. Grafene viser hvordan denne utarter seg i et normalt, tørt og vått år.**

Magasinkraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring vil føre til en inntekt lik 13,38 millioner NOK/år. Dette er 3,02 millioner NOK/år høyere enn magasinkraftverket slik det ble planlagt i utgangspunktet. Tabell 11 viser en oversikt over inntekten fra fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat-ordningen. Begrepet «tilfeldig kraft» viser til den kraftproduksjonen som magasinkraftverket står for utover fastkraften.

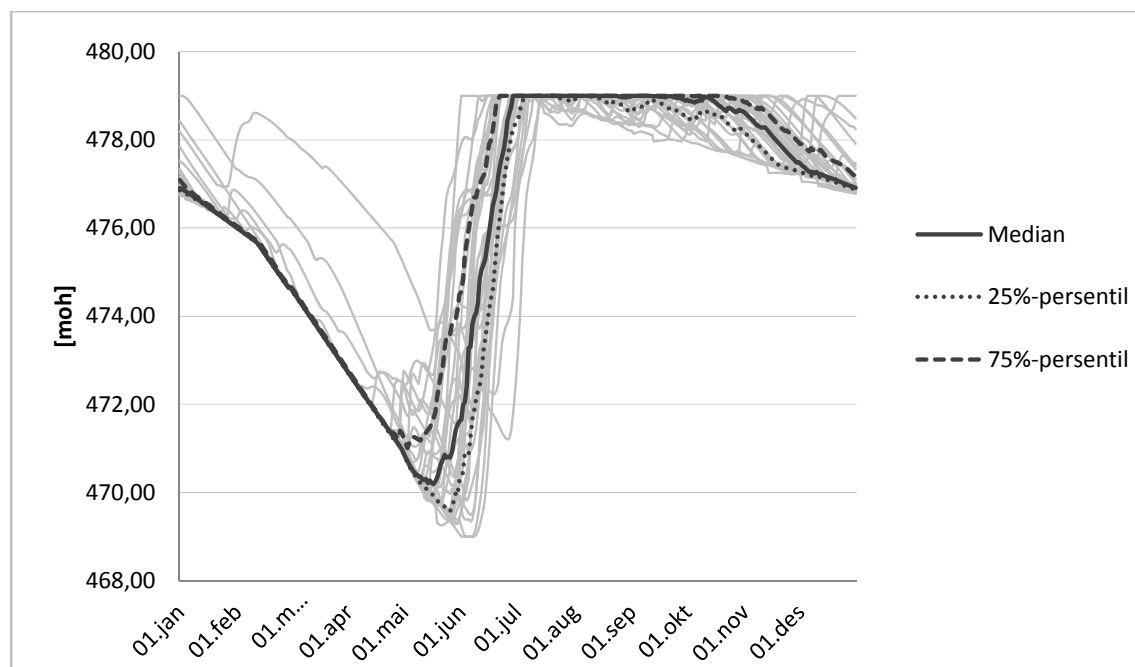
**Tabell 11 – Oversikt over inntekten fra fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat-ordningen til magasinkraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med opprinnelig krav til minstevannføring.**

	GWh/år	Mill. NOK/år
Fastkraft	8	2,72
Tilfeldig kraft	14,68	4,99
Elsertifikat	22,68	5,67
<b>SUM</b>		<b>13,38</b>



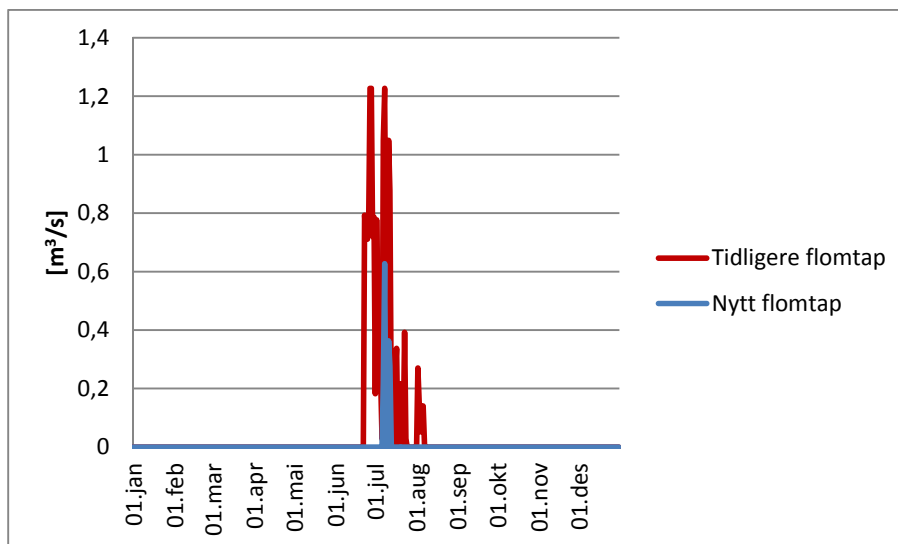
### Magasinkraftverk med miljøbasert krav til minstevannføring

Med et miljøbasert krav til minstevannføring vil magasinkraftverket også utnytte kapasiteten til magasinet med den nye slukeevnen og styrekurvene. Fra 30.juni til og med 12.september er vannstanden lik HRV. Vannstanden i Kvannevatn er på sitt laveste i et normalår lik 470,19 moh.



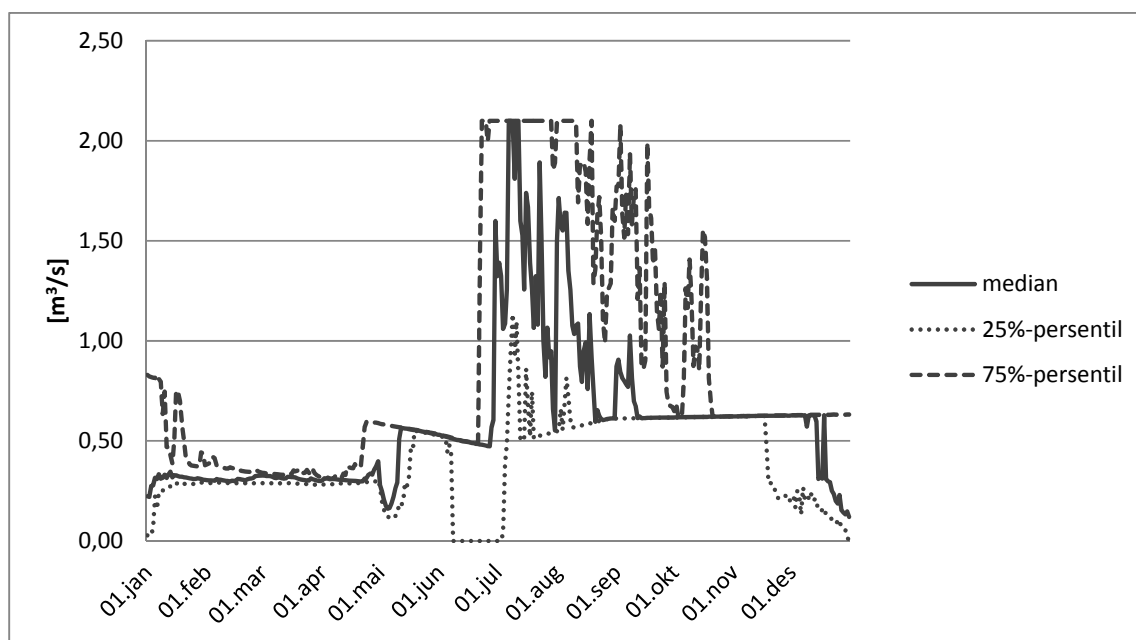
**Figur 60 - Magasinnivået gjennom året i beregning med styrecurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med miljøbasert krav til minstevannføring. Lyse grå linjer indikerer hvert år i perioden 1968 til år 2000, mørkere kurver gir tilsiget for et normalt, tørt og vått år.**

Flomtapet er betraktelig lavere med de nye spesifikasjonene. Flomtapet er nærmest neglisjerbart da det i et normalt år kun vil inntreffe i fire dager, og på sitt høyeste være  $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tidligere flomtap for det opprinnelige magasinkraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring inntreffer i 31 dager, og er på sitt høyeste  $1,23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Figur 61 viser denne sammenhengen, der «Tidligere flomtap» er flomtapet i tilfellet med opprinnelig magasinkraftverk med miljøbasert krav til minstevannføring og «Nytt flomtap» er flomtapet som inntreffer i tilfellet med styrecurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne og miljøbasert krav til minstevannføring.



**Figur 61 - «Nytt flomtap» gir flomtapet med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring. «Tidligere flomtap» viser flomtapet uten styrekurver, med opprinnelig slukeevne og miljøbasert krav til minstevannføring.**

Kraftproduksjonen vil bli økt som en følge av bedre utnyttelse av magasinet. Det miljøbaserte kravet til minstevannføring vil imidlertid gjøre kraftproduksjonen noe lavere i forhold til tilfellet med opprinnelig minstevannføring. Produksjonen er også her noe lav og stabil om vinteren, og på sitt maksimale om sommeren. Merk forøvrig at i mai opplever kraftverket et lite fall i den stabile produksjonen. Dette kommer av at det miljøbaserte kravet til minstevannføring øker på dette tidspunktet. En optimalisering av kraftverket kunne gitt en høyere og jevnere produksjon, da man blant annet kunne tilpasset tappingen av magasinet bedre etter kravet til minstevannføring.



**Figur 62 - Produksjonsvannføring gjennom året til kraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket, med miljøbasert krav til minstevannføring. Grafene viser hvordan denne utarter seg i et normalt, tørt og vått år.**

Den nye produksjonen vil gi en inntekt lik 10,80 millioner NOK/år. Dette er 2,58 millioner NOK/år lavere enn med tilsvarende tilfelle med opprinnelig krav til minstevannføring. Den nye produksjonen med et miljøbasert krav til minstevannføring gir en 2,23 millioner NOK /år større inntekt enn uten styrekurve for magasintapping, fastkraftfordeling gjennom året og ny slukeevne. Tabell 12 viser hvordan fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat-ordningen bidrar til krafteierens inntekt.

**Tabell 12 - Oversikt over inntekten fra fastkraft, tilfeldig kraft og elsertifikat-ordningen til magasinkraftverket med styrekurve for tapping av magasin, fastkraftfordeling og ny slukeevne til kraftverket med miljøbasert krav til minstevannføring.**

	GWh/år	Mill.NOK/år
Fastkraft	8	2,72
Tilfeldig kraft	10,31	3,51
Elsertifikat	18,31	4,58
<b>SUM</b>		<b>10,80</b>

Den nye beregningen viser at magasinkraftverket har stort potensial til å produsere større mengder kraft når magasinet blir bedre utnyttet. Beregningen med nye spesifikasjoner og opprinnelig krav til minstevannføring viser en økning i produksjonen på nesten 30 % fra opprinnelig beregning med opprinnelig krav til minstevannføring. Den nye beregningen med miljøbasert krav til

minstevannføring gir 26 % høyere produksjon enn opprinnelig beregning med miljøbasert krav til minstevannføring.

Sammenligningen av magasinkraftverket og de små kraftverkene, Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II, har vist at magasinkraftverket kan produsere kraft om vinteren da folk er villig til å betale mer for kraften. Dette kan igjen veie for at kraftverkseier kan tillate seg å ta ut mer vann til minstevannføring og dermed ivareta viktige verdier i vassdraget. Dette har ikke små elvekraftverk mulighet til, og dermed kan miljøkonsekvenser per kraftenhet produsert være større. Avbøtende tiltak er svært avgjørende for miljøkonsekvensene ved en vassdragsutbygging, og dette er viktig å ta i betraktning i debatten om små elvekraftverk og magasinkraftverk.

I artikkelen *Development of small versus large hydropower in Norway-comparison of environmental impacts* av Tor Haakon Bakken, Håkon Sundt, Audun Ruud, and Harby (2011) ble 27 små vannkraftverk og tre store vannkraftverk analysert med tanke på akkumulerte miljøkonsekvenser. Resultatene fra denne analysen viste en svak tendens til at større kraftverk har en lavere grad av miljøkonsekvenser enn småskala vannkraftverk. Det blir understreket at det er mangel på nøyaktighet i dataene og at mangel på et veletablert og sterkt metodisk grunnlag gir usikkerhet i resultatene. Men med fordeler som for eksempel muligheten til regulering tatt i betraktning, ble storskala vannkraftverk vurdert til å ha en lavere miljøkostnad enn mange små kraftverk. Det kan være vanskelig å ta stilling til denne slutningen gjennom denne studien ettersom magasinkraftverket ikke er optimalisert, og en sammenligning av miljøkonsekvenser basert på produksjon og økonomi ikke har vært mulig.

Vassdrags- og energidirektør Per Sanderud sier til Teknisk Ukeblad at han vil prioritere storskala vannkraft fordi det er best for kraftsystemet og mener det er mest lønnsomt for samfunnet. Sanderud varsler på NVEs vegne at de vil gi flere avslag på konsesjonssøknader til småkraft. I januar 2012 har NVE 6,5 TWh storskala vannkraft og 4,5 TWh småkraft til behandling. Han sier storskala vannkraft er billigst å bygge ut, og at mange av disse prosjektene også er lønnsomme selv uten elsertifikater. Sanderud sier videre at NVE har avslått omtrent hver femte småkraftsøknad frem til nå. Disse avslagene baseres ofte på at prosjektene ligger for langt fra nett eller har store miljøkonsekvenser (Lie, 2012a). Dette kan bety at Sanderud har sett noen av de samme fordelene av magasinkraftverk som er blitt presentert i denne oppgaven. Dette kan være fordeler som leveringssikkerhet, mulighet til å produsere kraft om vinteren og det å slippe en miljøbasert minstevannføring og fortsatt opprettholde en lønnsom produksjon. Videre kan magasinkraftverket unngå å produsere på de tidspunktene det er aller størst press på overføringslinjene, og dette betyr at man kan unngå overbelastning på kraftnettet og behov for å løse flaskehalser.

På det tidspunkt da denne rapporten utarbeides planlegger Minikraft AS å sende inn ny konsesjonssøknad på et magasinkraftverk med Kvannevatn som reguleringsmagasin. I søknaden som er under utarbeiding, er slukeevnen økt fra 1,5 m<sup>3</sup>/s til 2,1 m<sup>3</sup>/s. Reguleringen av Kvannevatn er også i denne søknaden minket fra 10 meter til 6 meter. Dagens Kvannevatn kraftverk vil bli dette magasinkraftverket, og Sagelva I og Sagelva II vil gå som før (G.M. Olsen, Minikraft AS, personlig kommunikasjon, 12.06.2012).

## 7.3 VURDERING AV MINSTEVANNFØRING OG DEFINISJONEN AV DENNE I SMÅ KRAFTVERK

Det ble beregnet at minstevannføringskravet som ble forslått i konsesjonssøknaden til magasinkraftverket (0,035 m<sup>3</sup>/s i vinterperioden) hadde lite for seg da det uansett ville fryse like nedstrøms inntaket. Dette var også noe kraftverkseier bekreftet kunne være et problem for dagens små elvekraftverk. Tilsvarende var kravet 0,135 m<sup>3</sup>/s om sommeren, og uten et kraftig flomtap, ville vannet i Sagelva være nærmest ubetydelig i forhold til den naturlige vannføringen som på sitt maksimale er i overkant av 6 m<sup>3</sup>/s om sommeren. Det kan virke som den opprinnelige minstevannføringen ikke ville hatt noen funksjon for økologi eller miljø i Sagelva, og den kunne nærmest vært spart, og heller gått til produksjon. Dette vurderes til å være langt i fra bærekraftig.

Det opprinnelige kravet til minstevannføring for de små kraftverkene og det planlagte magasinkraftverket tilsvarer alminnelig lavvannføring i vinterperioden. Vannressursloven har bestemmelser for tiltak som vil endre vannføringen i elver og bekker med årssikker vannføring. Dersom et tiltak endrer vannføringen i ei elv, skal minst alminnelige lavvannføring være tilbake, jmfør § 10 (Vannressursloven, 2000). Om det planlegges tiltak som ikke sikrer at alminnelig lavvannføring slippes, kan man søke om konsesjon, og det kan bli gitt bestemmelser om en særegen minstevannføring. Alminnelig lavvannføring er ofte gjeldende som krav til minstevannføring for små kraftverk. I prosjektoppgaven *Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk*, som danner noe av grunnlaget for denne rapporten, ble det kartlagt at halvparten av små kraftverk søker med alminnelig lavvannføring som krav til minstevannføring. Her ble 30 tilfeldig utvalgte små kraftverk analysert, og av disse fikk 25 av kraftverkene krav om en annen minstevannføring enn det de søkte med (Lofthus, 2011). Dette betyr at NVE som konsesjonsmyndighet vurderte alminnelig lavvannføring til ikke å være et tilstrekkelig mål for minstevannføringen siden den ikke ville ivareta viktige verdier ved vassdraget. Alminnelig lavvannføring baseres på et «skrivebord-studie» og tar ikke miljømessige faktorer i betraktning. Se rapporten *Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk* for beregning av alminnelig lavvannføring.

Kravet til minstevannføring i sommerperioden, som var  $0,135 \text{ m}^3/\text{s}$ , tilsvarer 10 % av midlere årsvannføring. Dette kravet er  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  høyere enn kravet til minstevannføring om vinteren, og et slikt krav vil mest sannsynlig ikke ivareta miljømessige verdier. Som det ble vurdert i delkapittel 4.9.4, der det ble foreslått et nytt krav til en miljøbasert vannføring, blir ikke de estetiske interessene i elva ivaretatt med en vannføring under middelvannføringen. Det foreslåtte kravet til minstevannføring er i utgangspunktet høyt, men en sommervannføring 90 % lavere enn denne blir vurdert til ikke å være tilstrekkelig. Videre er fisken i Sagelva avhengig av areal for å kunne bevege seg på og skaffe seg næring, noe en slik vannføring ikke ivaretar.

Resultatene i denne rapporten kan tyde på at hver utbygging og hvert avbøtende tiltak må vurderes individuelt. Kartlegging av viktige verdier i et vassdrag og nødvendig vannføring bør følgelig ikke bestemmes ut i fra et standardisert «skrivebords-studie».

Når det er flere verdier som må tas i betraktning for å sette en gunstig minstevannføring, er ikke nødvendigvis et todelt krav med en fast minstevannføring for både sommer og vinter optimalt. Men det kan være en utfordring å implementere et vannføringsregime som ikke er statisk gjennom henholdsvis sommeren og vinteren, og for små kraftverk uten regulering av magasin kan et slikt minstevannføringsregime gjøre produksjonen ulønnsom.

En utfordring ved innføring av et miljøbasert vannføringsregime, der minstevannføringen kan forutsettes å variere mer enn ved tradisjonelle krav til minstevannføring, er knyttet til en av bestemmelsene i Vannressursloven om dokumentering av minstevannføringen. Dersom minstevannføringen kan variere mye over året vil det være vanskelig for allmennheten og myndighetene å foreta kontrollerer på slippstedet. Det skal være mulig for forbipasserende å kontrollere at minstevannføringen blir overholdt. Dersom det skilles mellom et vannføringsregime for et normalt, tørt og vått år ved fastsettelse av miljøbasert minstevannføring, bør løsningen med å benytte en måleanordning i en uregulert sideelv gjøre en inspeksjon mulig, slik som det ble beskrevet i delkapittel 7.2 (Alfredsen et al., 2011; Vannressursloven, 2000).

Slik bestemmelsene og lovverket er i dag, synes det ikke til å være vanlig med noen form for kartlegging eller registreringer som sier noe om effekten av å slippe minstevannføring. Det eneste kravet som finnes i forhold til målinger, er målinger som sier noe om minstevannføringen blir overholdt. Dette lite informasjon om minstevannføringskravet har noen miljømessig effekt eller hensikt.

## 7.4 FEILKILDER

Det er flere feilkilder som kan påvirke resultatene i denne masteroppgaven. Dette delkapittelet vil gå nærmere inn på feilkilder knyttet til simuleringene i nMAG2004, vannføringsdataene, beregningen av frysestrekningen i Sagelva og slutningene dratt i forhold til det miljøbaserte kravet til minstevannføring. Når det gjelder beregningen av frysestrekningen, vil det bli gjort en kort sensitivitetsanalyse av variablene.

### 7.4.1 nMAG2004

For å utføre analysen av magasinkraftverket ble simuleringsprogrammet nMAG2004 benyttet. Dette programmet gjør en rekke antagelser der data ikke er fylt inn. Disse antagelsene kan studeres nærmere i *nMAG2004 A computer program for hydropower and reservoir operation simulation User's Manual* av Killingtveit (2004). Slik som det ble nevnt tidligere, tar ikke den nye beregningen av magasinkraftverket med styrekurve for magasintapping, fastkraftfordeling gjennom året og økt slukeevne kostnaden for rasjonering i betraktning. Dette vil dermed gå utover resultatene på inntekten til kraftverket, ved at inntekten er beregnet høyere.

### 7.4.2 Dimensjonerende målestasjon og skalering

I analysen av vannføringsdata for magasinkraftverket og de små kraftverkene har valget av dimensjonerende målestasjon, Bredek, mye å si for resultatene. Ulik høydefordeling og sjøprosent i nedbørfeltene er faktorer som kan gjøre at resultatene kan avvike fra virkeligheten. Videre tar beregningene utgangspunkt i REGINE-inndeling på karttjenesten NVE-Atlas, noe som også kan gi avvik. Estimering av plassering for inntak og utløp til kraftstasjonene kan også ha innvirkning på resultatene.

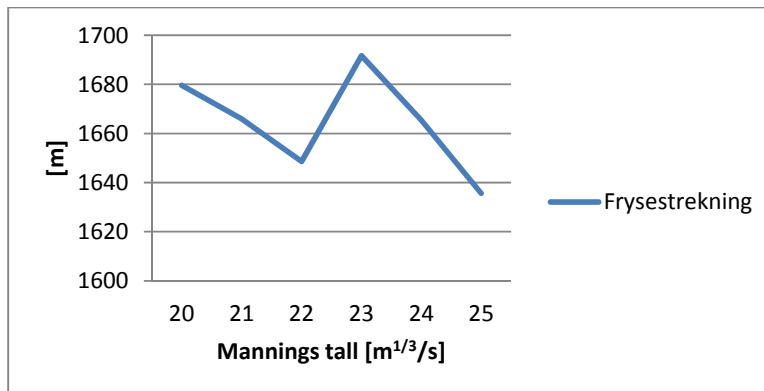
### 7.4.3 Beregning av frysestrekning

Beregningene på frysestrekning er basert på en nokså grov approksimering av verden. Det er antatt at elva har fasong som en kanal med fast bredde og med stabil helning. Dette kan føre til feil, ettersom elva består av kulper og ujevnheter. Det er blant annet kjent at det finnes noen fosser i Sagelva som gjør at antagelsen om en jevn helning kan gi feilutslag. Beregningene er basert på den første delen av Sagelva, hvor terrenget er slakere. Likevel viser sensitivitetsvurderingen at helningen på elva ikke vil ha noen kraftig effekt på frysestrekningen. Videre er det antatt at temperaturen i hele elveløpet er stabil, noe som er usannsynlig i den virkelige verden, ettersom faktorer som varierende høyde kan gi ulik temperatur. Siden den utvalgte målestasjonen ligger på en lavere høyde enn Kvannevatn, blir det naturlig å anta at temperaturen vil være noe lavere rundt Kvannevatn, og dermed at fryselen vil være noe kortere enn hva som er beregnet.

### Sensitivitetsvurdering av variablene

For å undersøke hvor sensitive resultatene for frysestrekning er har Manningstallet, elvebredden, helningen på elva og varmeoverføringskoeffisienten blitt undersøkt gjennom en sensitivitetsanalyse. Hver av variablene har blitt endret innen et gitt intervall, mens de resterende variablene har vært holdt konstante. I denne vurderingen har verdiene for en normal vinter vært benyttet. Vedlagt CD viser sensitivitetsvurderingen i filen «Isdannelse.xlsx».

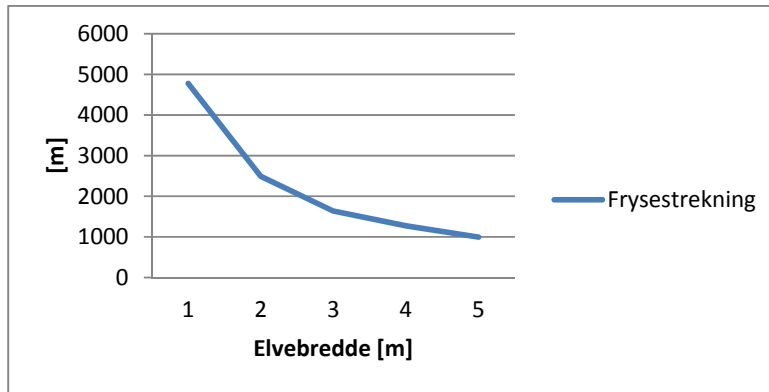
Manningstallet ble variert mellom 20 og 25  $m^{1/3}/s$  og gav resultater som i Figur 63. Her kommer det frem at frysestrekningen minker når Manningstallet endres fra 20 til 22  $m^{1/3}/s$ , og vil igjen øke fra 22 til 23  $m^{1/3}/s$ , for så igjen minke fra 23 til 25  $m^{1/3}/s$ . Fasongen på grafen i Figur 63 kommer av at vandybden vil minke med økende Manningstall, mens hastigheten på vannføringen vil øke med økt Manningstall. Utslaget mellom korteste og lengste frysestrekning er på 56 meter, og dermed regnes ikke Manningstallet til å gi noen store utslag for beregningen.



Figur 63 - Sensitivitetsvurdering av Mannings tall i beregningen av frysestrekning.

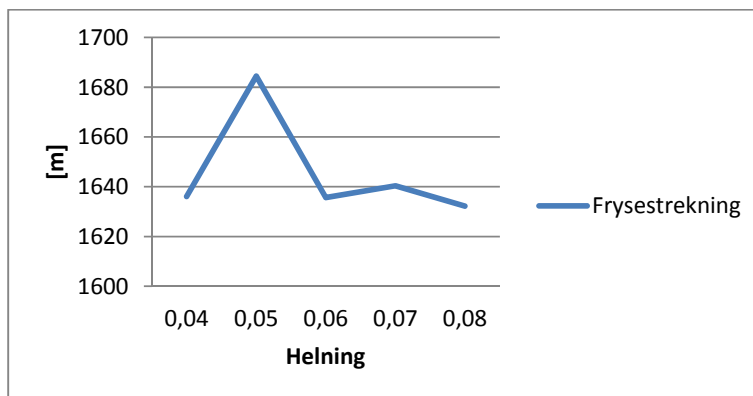
Ved å endre elvebredden innen 1 til 5 meter, gir Figur 64 strekningen før vannet vil fryse. Det kommer frem at frysestrekningen vil avta med en eksponentiell form ved økt elvebredde. En elvebredde på 1 meter ville gitt en frysestrekning på 4778 meter, mens en elvebredde lik 5 meter ville gitt en frysestrekning lik 992 meter. Det kommer dermed frem at resultatene er svært sensitiv for elvebredden. Dersom elvas bredde hadde vært økt med 25 % fra antatte 3 meter, ville resultatet vært endret 22 %. Hadde elvas bredde vært minket 25 % fra antatte 3 meter, ville frysestrekningen vært økt 52 %. Ved å minke elvebredden ville dette gitt større utslag for frysestrekningen i forhold til å øke elvebredden.





**Figur 64 - Sensitivitetsvurdering av elvebredde i beregningen av frysestrekning.**

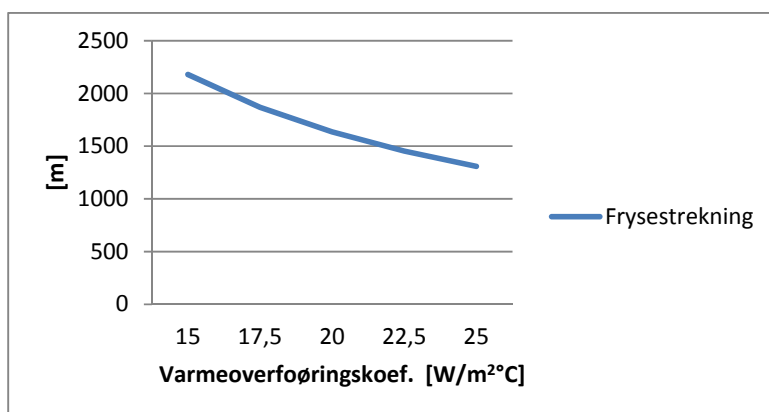
Ved å endre elvas helning i terrenget mellom en helning lik 0,04 og en helning lik 0,08, ville dette gitt en frysestrekning som i Figur 65. Strekningen vil øke mellom en helning fra 0,04 til 0,05, og igjen minke mellom 0,05 og 0,06, for også igjen øke mellom 0,06 og 0,07 og igjen minke. Variasjonen mellom høyeste og laveste verdi for frysestrekningen er 52 meter, og dermed regnes ikke helningen til å ha noen kraftig effekt på resultatene.



**Figur 65 - Sensitivitetsvurdering av helning i beregningen av frysestrekning.**

Varmeoverføringskoeffisienten,  $C_0$ , er variert innen intervallet 15 til 25 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ ]. For å beregne denne koeffisienten kreves det detaljert meteorologisk informasjon. Dette er det ikke lagt vekt på i denne sensitivitetsvurderingen, og dermed benyttes typiske verdier for koeffisienten som er mellom 15 og 25 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ ] (Beltaos, 1995).

Elvestrekningen før elva ville fryse minket nærmest lineært ved økende varmeoverføringskoeffisient. Med en økning på 12,5 % fra opprinnelig varmeoverføringskoeffisient lik 20 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ ], minket frysestrekningen 11,1 %. Med en minking lik 12,5 % fra opprinnelig varmeoverføringskoeffisient lik 20 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ ], økte frysestrekningen 14,2 %. Varmeoverføringskoeffisienten vil altså ha merkelig innvirkning på resultatet.



Figur 66 - Sensitivitetsvurdering av varmeoverføringskoeffisienten i beregningen av frysestrekning.

#### 7.4.4 Miljøbasert krav til minstevannføring

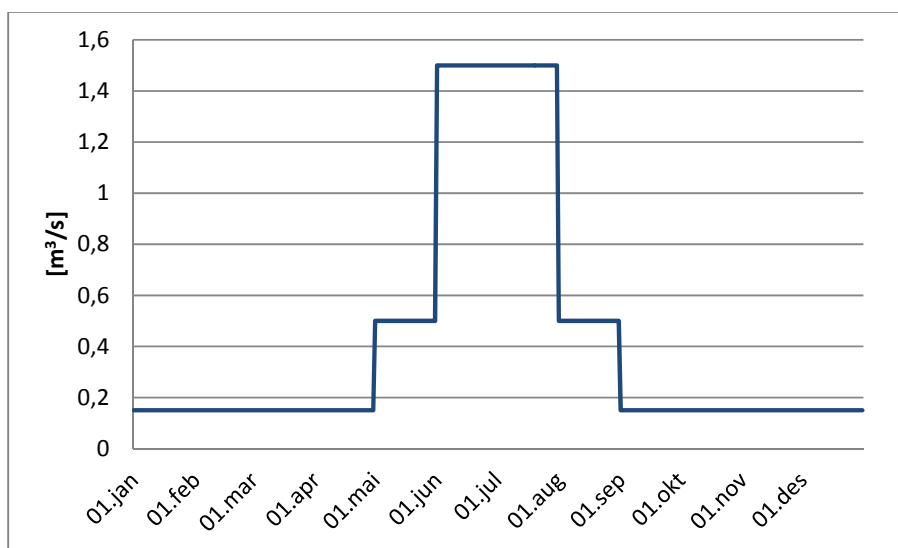
Forslag til nytt krav til minstevannføring er basert på saksdokumenter tilknyttet konsesjonssøknaden til magasinkraftverket. Mye av denne informasjonen er kvalitativ, og vurderingen av denne er da også av en subjektiv art. Det kan hende det er flere viktige verdier i Sagelva som er avhengig av en gitt vannføring, og at disse har blitt oversett. Forfatterens mangel på kunnskap om økologiske, biologiske og kjemiske prosesser kan også føre til at viktige faktorer er oversett i bestemmelse av minstevannføringen. *Building block*-metoden skal i utgangspunktet baseres på samarbeid mellom eksperter på ulike fagområder som kjenner elvesystemet. På grunn av tidsbegrensning og omfang av denne rapporten, har det ikke vært mulig å gjøre en så omfattende vurdering av minstevannføringen. Likevel er det viktig å merke seg at tilsvarende vannkraftprosjekter mest sannsynligvis svært sjelden har den nødvendige finansieringen til å kunne utføre omfattende hydrologiske og biologiske undersøkelser for å kunne bestemme et krav til en miljøbasert minstevannføring, og forenklete metoder med tilgjengelige data er en mer sannsynlig fremgangsmåte (Alfredsen et al., 2011).

## KAPITTEL 8: KONKLUSJON

Målet med denne oppgaven var å sammenligne tre små kraftverk uten tilknytning til magasin og et magasinkraftverk med tanke på nytteverdi og miljøpåvirkning. I første omgang skulle det gjøres en konsekvensutredning av magasinkraftverket, og deretter foreslås et krav til en miljøbasert minstevannføring. Deretter skulle det gjøres en mer generell vurdering av magasinkraftverk sammenlignet med de tre små kraftverkene. Til slutt skulle det gjøres en generell vurdering av minstevannføring og definisjonen av denne i småkraftverk.

### 8.1 KONKLUSJONER

Konsekvensutredningen av magasinkraftverket viste at fisk og den estetiske opplevelsen av Sagelva ville være de mest avgjørende miljøkategoriene ved bestemmelse av en miljøbasert minstevannføring. Disse verdiene ville trolig ikke vært bevart med den opprinnelige minstevannføringen på  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $0,135 \text{ m}^3/\text{s}$  for henholdsvis vinter og sommer. Minstevannføringen ble bestemt til å være lav og stabil gjennom høsten og våren for å gi best mulig gytevilkår for fisken om høsten, og at eggene ikke skulle strandre når de skulle klekkes om våren. Om sommeren ble vannføringen bestemt på bakgrunn av at fisken skulle ha et større areal å bevege seg på for å skaffe seg næring, og i tillegg skulle elvas estetiske verdi bevares. Minstevannføringen ble bestemt som i Figur 67.



Figur 67 - Miljøbasert krav til minstevannføring

Når magasinkraftverket ble sammenlignet med de tre små kraftverkene, kom det frem at førstnevnte har større samfunnsnytte med tanke på leveringssikkert, og at magasinkraftverket kan tillate seg å

slippe en miljøbasert minstevannføring. Magasinkraftverket kan også, på grunn av reguleringsmuligheten, produsere kraft gjennom hele året. Den muligheten magasinkraftverket har til å produsere jevnere gjennom året, og unngå å produsere i perioder med stort press på overføringslinjene, gjør at man kan unngå overbelastning på kraftnettet.

Simuleringene av magasinkraftverket slik det ble beskrevet av Minikraft AS har vist at kraftverket ikke er optimalisert slik det ble planlagt. Det planlagte magasinkraftverket utnytter ikke reguleringshøyden på 10 meter, og det inntreffer et stort flomtap i sommerperioden. Derfor ble en sammenligning av miljøinngrep per kraftenhet produsert for planlagt magasinkraftverk og de små elvekraftverkene, Kvannevatn kraftverk, Sagelva I og Sagelva II, meningsløs. Det ble derimot gjennomført en ny beregning av magasinkraftverket med økt slukeevne, styrekurve for magasintapping og fastkraftfordeling gjennom året, og denne viste at magasinkraftverket har potensialet til å produsere langt større mengder kraft enn først forutsatt.

Resultatene fra simuleringene har også vist at magasinkraftverket har bedre mulighet til å slippe en større, miljøbasert minstevannføring og bevare lønnsomheten, noe som ikke ville vært mulig for de små elvekraftverkene. Dette vil trolig gjelde de fleste magasinkraftverk og elvekraftverk. En av årsakene er at magasinkraftverket har mulighet til å produsere kraft gjennom hele året, inkludert vinterperioden når kraftprisen er høy. Avbøtende tiltak er avgjørende for å bevare viktige verdier i et vassdrag, og det kan se ut til at et magasinkraftverk er et bedre utgangspunkt for slipp av miljøbasert minstevannføring enn uregulerte småkraftverk. Dette studiet har også vist at en gunstig minstevannføring ikke bør settes ut i fra en standardisert «skrivebord-studie» hvor det tas utgangspunkt i beregning av alminnelig lavvannføring eller en gitt prosent av middelårsvannføringen. For å bevare viktige verdier i et vassdrag, må disse kartlegges og vurderes spesielt, siden hvert eneste vassdrag er unikt.

## 8.2 VIDERE ARBEID

Først og fremst ville en optimalisering av det planlagte magasinkraftverket være nødvendig i et videre arbeid. Magasinkraftverket, slik det er planlagt, utnytter bare 2-3 meter av reguleringskapasiteten på 10 meter. Her må slukeevne på magasinkraftverket, styrekurve for tappemønster av magasin og årlig fastkraft vurderes blant andre mulige faktorer.

Med et optimalisert magasinkraftverk kunne man gjort en sammenligning med de tre små elvekraftverkene basert på miljøvirkning per kraftenhet produsert. Videre burde det vært undersøkt om resultatene fra en slik sammenligning kunne vært generalisert for å si noe om små kraftverk i forhold til magasinkraftverk på et mer overordnet nivå.

Som det ble nevnt i diskusjonen, kan det være at kravet til minstevannføring er satt i overkant høyt for å bevare den estetiske opplevelsen av Sagelva. Videre arbeid kunne dermed bestått av å samle inn mer informasjon om hvor mange som egentlig benytter seg av området rundt Sagelva og Kvannevatn til rekreasjon. Har disse større glede av økt kraftproduksjon enn turmuligheter? Det kunne også vært nyttig å sette et differensiert krav til minstevannføring, hvor man skiller mellom et normalt, tørt og vått år, da dette mest trolig ville gitt et bedre tilpasset krav.

## LITTERATUR

- Alfredsen, K., Harby, A., Linnansaari, T., & Ugedal, O. (Forfattere). (2011). Development of an inflow-controlled environmental flow regime for a Norwegian river. Wiley Online Library. DOI: 10.1002/RRA.1550
- Beltaos, S. (1995). *River Ice Jams*. Colorado USA. Side 30-32. ISBN:0-918334-87-X
- Borgstrøm, R., & Hansen, L. P. (1987). *Fisk i ferskvann*. Oslo: Landbruksforlaget. ISBN: 82-529-1016-5
- Brabrand, Å. (2011). Rekrutteringssvikt hos røye i Møsvatn, Telemark. Naturhistorisk museum. Dokumentnummer:978-82-7970-026-5
- DN. (2011). Inngrepsfri natur Nedlastet: 01.03.2012, Nedlastet fra:  
<http://www.miljostatus.no/Tema/Naturmangfold/Arealbruk/inon/>
- DN (Atlas). (2012a). Inngrepsfrie naturområder i Norge. Nedlastet: 01.03.2012, Nedlastet fra:  
[http://dnweb12.dirnat.no/inon/NB3\\_viewer.asp](http://dnweb12.dirnat.no/inon/NB3_viewer.asp)
- DN (Atlas). (2012b). Naturbase. Nedlastet: 29.02.2012, Nedlastet fra:  
[http://dnweb12.dirnat.no/nbinnsyn/NB3\\_viewer.asp](http://dnweb12.dirnat.no/nbinnsyn/NB3_viewer.asp)
- Einar Sæterbø, L. S., Einar Tesaker. (1998). *Håndbok i forbygningsteknikk og vassdragsmiljø*. Oslo: NVE. ISBN: 82-519-1290-3
- Guttormsen, O. (2006). Vannkraftverk og vassdragsteknikk *Vassdragsteknikk II* (Vol. II, pp. side 76). Trondheim: Institutt for Vann- og Miljøteknikk (NTNU).
- Halleraker, J. H., & Harby, A. (2006). Internasjonale metoder for å bestemme miljøbasert vannføring – hvilke egner seg for norske forhold? *Miljøbasert Vannføring* (Vol. 9). Oslo: NVE.
- John Atle Kålås, Å. V., Snorre Henriksen, Sigrun Skjelseth. (2010). Norsk Rødliste for Arter 2010, Nedlastet: 29.02.2012, Nedlastet fra:  
<http://www.artsdatabanken.no/Article.aspx?m=273&amid=8288>
- Killingtveit, Å. (2004). nMAG2004 - A computer program for hydropower and reservoir operation simulation *User's manual Ver.12/5-2004*. Trondheim: Institutt for Vann- og Miljøteknikk (NTNU).
- Koksvik, J. (2010, 16.12.2010). Samlet plan for vassdrag Nedlastet: 28.02.2012
- Lie, Ø. (2012a). NVE varsler flere småkraft-avslag. *Teknisk ukeblad*. Nedlastet fra:  
<http://www.tu.no/energi/2012/01/18/nve-varsler-flere-smakraft-avslag>
- Lie, Ø. (2012b). Småkraft er verst for miljøet. *Teknisk ukeblad*, 1312, 14.
- Lofthus, S. J. (2011). Minstevannføringsregler ved bygging av små kraftverk (pp. side 41). Trondheim: Institutt for Vann- og Miljøteknikk (NTNU).

Metorologisk\_Institutt. (2012). eKlima Nedlastet: 18.04.2012, Nedlastet fra:

[http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39080&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39080&_dad=portal&_schema=PORTAL)

Nancy D. Gordon, Thomas A. McMahon, Brian L. Finlayson, Christopher J. Gippel, & Nathan, R. J. (2004). *Stream Hydrology An introduction for Ecologists* (Vol. Second Edition, pp. Chapter 7). ISBN: 0-470-84357-8.

Naturmangfoldloven. (2009). Lov om forvaltning av naturens mangfold. [LOV-2009-06-19-100].  
*Miljøverndepartementet, LOV-2009-06-19-100.*

Naturvernforbundet. (2012). Fossesprøytzone. Nedlastet: 02.03.2012, Nedlastet fra:

[http://naturvernforbundet.no/imakerdata/f/1/23/66/7\\_2401\\_0/Fossesproytsone\\_DN-Haandbok\\_13\\_2\[1\].\\_utgave\\_2006.pdf](http://naturvernforbundet.no/imakerdata/f/1/23/66/7_2401_0/Fossesproytsone_DN-Haandbok_13_2[1]._utgave_2006.pdf)

NVE. (2006). Bakgrunn for vedtak. Oslo.

NVE. (2012a). NVE Atlas Nedlastet: 08.12.2011, Nedlastet fra:

<http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas>

NVE (Atlas). (2012b). NVE Atlas.

Olsen, G. M. (2004). Søknad om konsesjon for bygging av Kvannevatn kraftverk og utvidelse av Sagelva 1 og 2. Storforshei.

Olsen, G. M. (2004). Søknad om tilatelse til bygging av Kvannevatn kraftverk og utvidelse av Sagelva 1 og 2 og regulering av Kvannevann, Rana kommune i Nordland. In M. AS (Ed.), *Konsesjonssøknad*. Nordland.

Simensen, T., Hiller, P. H., & Vaskinn, K. (2011). Vassdrag, vannføring og landskap. In NVE (Ed.), *Rapport Miljøbasert vannføring*. Oslo: NVE. Dokument nummer: 978-82-410-0732-3

Søvegjarto, U. (2003). Befaringer av Sagelva sør for utløpet av stor Kvannevann 471. In G. cand.real. (Ed.), *Intern rapport*. Storforshei.

Søvgjarto, U. (2003). Foreløpig notat - vurdering av flom- og erosjonsfare ved større regulering av Kvannevann, Storforshei *Intern rapport*. Storforshei.

Tor Haakon Bakken, Håkon Sundt, Audun Ruud, & Harby, A. (2011). Development of small versus large hydropower in Norway-comparison of environmental impacts *ScienceDirect*. SINTEF Energy Research. ISSN: NO-7465

Vannressursloven. (2000). Lov om vassdrag og grunnvann [LOV-2000-11-24-82]. *Olje- og Energidepartementet*.

## VEDLEGG

### VEDLEGG A

Tabeller er listet opp for å gi bestemte nøkkelparametere for vannføringen gjennom året. Tabellene er basert på gjennomsnittsvannføringen for årrekken 1968 til år 2000. Her er 1-dags, 3-dagers og 7-dagers maksimums- eller minimumsverdi vist. 1-dags minimum indikerer den laveste vannføringen som inntreffer på en dag i en måned. På samme måte indikerer 3-dagers minimum den laveste tredagers varige vannføringen i løpet av en måned. 7-dagers minimum er den laveste vannføringen som er tilfelle i sju sammenhengende dager i løpet av en måned. På tilsvarende måte gjelder dette for maksimumsvariablene.



**Tabell 13 - Data over vannføringen inn til inntakspunktet til magasinkraftverket i et tilfelle uten regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene.**

Minimum		Maksimum	
Variabel	[m <sup>3</sup> /s]	Variabel	[m <sup>3</sup> /s]
min januar	0,060	maks januar	0,883
min februar	0,060	maks februar	0,467
min mars	0,060	maks mars	0,306
min april	0,056	maks april	1,069
min mai	0,189	maks mai	4,660
min juni	1,741	maks juni	10,511
min juli	1,975	maks juli	9,755
min august	0,859	maks august	6,598
min september	0,459	maks september	5,360
min oktober	0,259	maks oktober	5,452
min november	0,151	maks november	2,559
min desember	0,105	maks desember	1,467
3-dag min. januar	0,063	3-dag maks. januar	0,666
3-dag min. februar	0,061	3-dag maks. februar	0,451
3-dag min. mars	0,061	3-dag maks. mars	0,254
3-dag min. april	0,057	3-dag maks. april	0,794
3-dag min. mai	0,199	3-dag maks. mai	3,956
3-dag min. juni	1,916	3-dag maks. juni	8,886
3-dag min. juli	2,231	3-dag maks. juli	8,214
3-dag min. august	0,987	3-dag maks. august	5,273
3-dag min. september	0,494	3-dag maks. september	4,022
3-dag min. oktober	0,291	3-dag maks. oktober	3,812
3-dag min. november	0,155	3-dag maks. november	1,675
3-dag min. desember	0,116	3-dag maks. desember	1,237
7-dag min. januar	0,064	7-dag maks. januar	0,484
7-dag min. februar	0,064	7-dag maks. februar	0,413
7-dag min. mars	0,062	7-dag maks. mars	0,204
7-dag min. april	0,059	7-dag maks. april	0,522
7-dag min. mai	0,262	7-dag maks. mai	3,568
7-dag min. juni	2,283	7-dag maks. juni	7,658
7-dag min. juli	2,604	7-dag maks. juli	6,788
7-dag min. august	1,196	7-dag maks. august	4,106
7-dag min. september	0,609	7-dag maks. september	3,135
7-dag min. oktober	0,354	7-dag maks. oktober	2,675
7-dag min. november	0,161	7-dag maks. november	1,229
7-dag min. desember	0,126	7-dag maks. desember	0,906

**Tabell 14 - Data over vannføringen inn til inntakspunktet til magasinkraftverket i et tilfelle med regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene.**

Minimum		Maksimum	
Variabel	[m <sup>3</sup> /s]	Variabel	[m <sup>3</sup> /s]
min januar	0,035	maks januar	0,145
min februar	0,035	maks februar	0,094
min mars	0,035	maks mars	0,035
min april	0,035	maks april	0,035
min mai	0,135	maks mai	1,155
min juni	0,151	maks juni	7,311
min juli	0,447	maks juli	6,869
min august	0,165	maks august	4,162
min september	0,135	maks september	3,102
min oktober	0,035	maks oktober	3,257
min november	0,035	maks november	1,285
min desember	0,035	maks desember	0,510
3-dag min. januar	0,035	3-dag maks. januar	0,129
3-dag min. februar	0,035	3-dag maks. februar	0,114
3-dag min. mars	0,035	3-dag maks. mars	0,035
3-dag min. april	0,035	3-dag maks. april	0,068
3-dag min. mai	0,102	3-dag maks. mai	1,010
3-dag min. juni	0,180	3-dag maks. juni	5,987
3-dag min. juli	0,605	3-dag maks. juli	5,547
3-dag min. august	0,176	3-dag maks. august	3,055
3-dag min. september	0,135	3-dag maks. september	1,986
3-dag min. oktober	0,035	3-dag maks. oktober	1,926
3-dag min. november	0,035	3-dag maks. november	0,605
3-dag min. desember	0,035	3-dag maks. desember	0,410
7-dag min. januar	0,035	7-dag maks. januar	0,096
7-dag min. februar	0,035	7-dag maks. februar	0,094
7-dag min. mars	0,035	7-dag maks. mars	0,035
7-dag min. april	0,035	7-dag maks. april	0,078
7-dag min. mai	0,094	7-dag maks. mai	0,845
7-dag min. juni	0,359	7-dag maks. juni	4,856
7-dag min. juli	0,861	7-dag maks. juli	4,324
7-dag min. august	0,217	7-dag maks. august	2,092
7-dag min. september	0,140	7-dag maks. september	1,354
7-dag min. oktober	0,037	7-dag maks. oktober	1,153
7-dag min. november	0,035	7-dag maks. november	0,368
7-dag min. desember	0,035	7-dag maks. desember	0,259

**Tabell 15 - Data over vannføringen like nedstrøms utløpet til magasinkraftverket i et tilfelle uten regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene.**

Minimum		Maksimum	
Variabel	[m <sup>3</sup> /s]	Variabel	[m <sup>3</sup> /s]
min januar	0,067	maks januar	0,994
min februar	0,067	maks februar	0,526
min mars	0,067	maks mars	0,345
min april	0,063	maks april	1,204
min mai	0,212	maks mai	5,246
min juni	1,959	maks juni	11,833
min juli	2,223	maks juli	10,982
min august	0,967	maks august	7,427
min september	0,517	maks september	6,035
min oktober	0,292	maks oktober	6,138
min november	0,170	maks november	2,881
min desember	0,119	maks desember	1,651
3-dag min. januar	0,070	3-dag maks. januar	0,749
3-dag min. februar	0,069	3-dag maks. februar	0,508
3-dag min. mars	0,068	3-dag maks. mars	0,286
3-dag min. april	0,064	3-dag maks. april	0,893
3-dag min. mai	0,224	3-dag maks. mai	4,453
3-dag min. juni	2,157	3-dag maks. juni	10,003
3-dag min. juli	2,511	3-dag maks. juli	9,247
3-dag min. august	1,112	3-dag maks. august	5,936
3-dag min. september	0,556	3-dag maks. september	4,527
3-dag min. oktober	0,327	3-dag maks. oktober	4,291
3-dag min. november	0,174	3-dag maks. november	1,886
3-dag min. desember	0,130	3-dag maks. desember	1,392
7-dag min. januar	0,072	7-dag maks. januar	0,545
7-dag min. februar	0,072	7-dag maks. februar	0,465
7-dag min. mars	0,070	7-dag maks. mars	0,230
7-dag min. april	0,067	7-dag maks. april	0,588
7-dag min. mai	0,295	7-dag maks. mai	4,017
7-dag min. juni	2,570	7-dag maks. juni	8,621
7-dag min. juli	2,931	7-dag maks. juli	7,642
7-dag min. august	1,347	7-dag maks. august	4,622
7-dag min. september	0,685	7-dag maks. september	3,529
7-dag min. oktober	0,398	7-dag maks. oktober	3,011
7-dag min. november	0,181	7-dag maks. november	1,384
7-dag min. desember	0,142	7-dag maks. desember	1,020

**Tabell 16 - Data over vannføringen like oppstrøms utløpet til magasinkraftverket i et tilfelle med regulering. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene.**

Minimum		Maksimum	
Variabel	[m <sup>3</sup> /s]	Variabel	[m <sup>3</sup> /s]
min januar	0,041	maks januar	0,239
min februar	0,041	maks februar	0,144
min mars	0,041	maks mars	0,068
min april	0,041	maks april	0,150
min mai	0,155	maks mai	1,644
min juni	0,367	maks juni	8,421
min juli	0,659	maks juli	7,915
min august	0,257	maks august	4,870
min september	0,184	maks september	3,676
min oktober	0,065	maks oktober	3,841
min november	0,051	maks november	1,559
min desember	0,046	maks desember	0,660
3-dag min. januar	0,042	3-dag maks. januar	0,200
3-dag min. februar	0,041	3-dag maks. februar	0,162
3-dag min. mars	0,041	3-dag maks. mars	0,062
3-dag min. april	0,041	3-dag maks. april	0,143
3-dag min. mai	0,130	3-dag maks. mai	1,425
3-dag min. juni	0,430	3-dag maks. juni	6,928
3-dag min. juli	0,844	3-dag maks. juli	6,427
3-dag min. august	0,283	3-dag maks. august	3,620
3-dag min. september	0,188	3-dag maks. september	2,415
3-dag min. oktober	0,068	3-dag maks. oktober	2,334
3-dag min. november	0,052	3-dag maks. november	0,785
3-dag min. desember	0,047	3-dag maks. desember	0,542
7-dag min. januar	0,042	7-dag maks. januar	0,148
7-dag min. februar	0,042	7-dag maks. februar	0,138
7-dag min. mars	0,042	7-dag maks. mars	0,057
7-dag min. april	0,041	7-dag maks. april	0,126
7-dag min. mai	0,129	7-dag maks. mai	1,216
7-dag min. juni	0,638	7-dag maks. juni	5,657
7-dag min. juli	1,141	7-dag maks. juli	5,051
7-dag min. august	0,345	7-dag maks. august	2,532
7-dag min. september	0,206	7-dag maks. september	1,689
7-dag min. oktober	0,075	7-dag maks. oktober	1,433
7-dag min. november	0,052	7-dag maks. november	0,500
7-dag min. desember	0,048	7-dag maks. desember	0,356

**Tabell 17 - Data over vannføringen like nedstrøms utløpet til magasinkraftverket. I vedlagt CD, i mappen «IVH-indeks», finnes en fullstendig oversikt over IVH-indeksene.**

Minimum		Maksimum	
Variabel	[m <sup>3</sup> /s]	Variabel	[m <sup>3</sup> /s]
min januar	0,336	maks januar	0,673
min februar	0,336	maks februar	0,477
min mars	0,336	maks mars	0,380
min april	0,336	maks april	0,473
min mai	0,450	maks mai	2,293
min juni	1,003	maks juni	9,921
min juli	1,906	maks juli	9,415
min august	0,845	maks august	6,366
min september	0,545	maks september	5,124
min oktober	0,381	maks oktober	5,182
min november	0,345	maks november	2,304
min desember	0,340	maks desember	1,224
3-dag min. januar	0,336	3-dag maks. januar	0,584
3-dag min. februar	0,336	3-dag maks. februar	0,495
3-dag min. mars	0,336	3-dag maks. mars	0,368
3-dag min. april	0,336	3-dag maks. april	0,461
3-dag min. mai	0,425	3-dag maks. mai	2,071
3-dag min. juni	1,080	3-dag maks. juni	8,428
3-dag min. juli	2,153	3-dag maks. juli	7,927
3-dag min. august	0,963	3-dag maks. august	5,088
3-dag min. september	0,571	3-dag maks. september	3,819
3-dag min. oktober	0,394	3-dag maks. oktober	3,615
3-dag min. november	0,345	3-dag maks. november	1,515
3-dag min. desember	0,341	3-dag maks. desember	1,064
7-dag min. januar	0,336	7-dag maks. januar	0,506
7-dag min. februar	0,336	7-dag maks. februar	0,473
7-dag min. mars	0,337	7-dag maks. mars	0,356
7-dag min. april	0,336	7-dag maks. april	0,437
7-dag min. mai	0,426	7-dag maks. mai	1,865
7-dag min. juni	1,330	7-dag maks. juni	7,153
7-dag min. juli	2,513	7-dag maks. juli	6,551
7-dag min. august	1,160	7-dag maks. august	3,962
7-dag min. september	0,667	7-dag maks. september	2,992
7-dag min. oktober	0,432	7-dag maks. oktober	2,546
7-dag min. november	0,347	7-dag maks. november	1,152
7-dag min. desember	0,343	7-dag maks. desember	0,840

## VEDLEGG B

Tabell 18 - Frysestrekning nedstrøms punkt for inntak i et naturlig tilfelle. I vedlagt CD, i filen «Isdannelse.xlsx», finnes en fullstendig oversikt over beregningene.

<i>Initialtemperatur [°C]</i>	<i>Lufttemperaturen [°C]</i>	<i>Strekning [m]</i>
4	-8,93	5 146
3	-8,93	4 026
2	-8,93	2 809
1	-8,93	1 475
4	-4,10	9 461
3	-4,10	7 630
2	-4,10	5 521
1	-4,10	3 033
4	-0,16	45 069
3	-0,16	41 251
2	-0,16	35 969
1	-0,16	27 343

Tabell 19 - Frysestrekning nedstrøms inntak i et tilfelle med regulering. I vedlagt CD, i filen «Isdannelse.xlsx», finnes en fullstendig oversikt over beregningene.

<i>Initialtemperatur [°C]</i>	<i>Lufttemperaturen [°C]</i>	<i>Strekning [m]</i>
4	-8,93	890
3	-8,93	696
2	-8,93	486
1	-8,93	255
4	-4,10	1 636
3	-4,10	1 319
2	-4,10	954
1	-4,10	524
4	-0,16	7 791
3	-0,16	7 131
2	-0,16	6 218
1	-0,16	4 727

# OVERSIKT OVER VEDLEGG PÅ CD

## 1. NMAG-FILER

### **Magasinkraftverk Kvannevatn.set**

nMAG-fil med data fra opprinnelig, planlagt, magasinkraftverk.

### **Magasinkraftverk med nytt miljøbasert mvf.set**

nMAG-fil med data for magasinkraftverket med ny, miljøbasert minstevannføring.

### **Opprinnelig mvf og magasin- og fastkraftkurve, ny slukeevne.set**

nMAG-fil med data fra magasinkraftverk med opprinnelig minstevannføring, økt slukeevne, styrekurve for magasintapping og fastkraftfordeling.

### **Miljøbasert mvf og magasin- og fastkraftkurve, ny slukeevne.set**

nMAG-fil med data fra magasinkraftverk med miljøbasert minstevannføring, økt slukeevne, styrekurve for magasintapping og fastkraftfordeling.

### **Bredek.prn**

Vannføringsdata fra 1968 til år 2000 fra Bredek målestasjon. Skuddårsdagene er fjernet.

## 2. EXCEL-FILER

### **IVH-vedlegg**

Inneholder IVH-resultater: 1-dags-, 3-dags-, 7 dags maksimum/minimumsverdier for vannføringen for følgende punkt og tilfeller:

- Med regulering: Inntak magasinkraftverk
- Med regulering: Oppstrøms utløp magasinkraftverk
- Med regulering: Nedstrøms utløpet til magasinkraftverk
- Uten regulering: Inntak magasinkraftverk
- Uten regulering: punkt for utløp til magasinkraftverk

Kommentar: Dette Excel-arket er utarbeidet av Knut Alfredsen, og i beregningene i denne rapporten er kun følgende faner benyttet:

- «IVH-resultat»
- «percentilar»

- «middel, max,min»
- «vannstand»

Det fullstendige Excel-arket er kun lagt ved i tilfelle det skulle være behov for dette ved videre arbeid.

### **Isdannelse.xlsx**

Inneholder:

- Beregning av isdannelse for et kaldt/mildt/normal år for et tilfelle med og uten regulering.
- Temperaturdata fra eklime.no, og beregning av temperatur for et kaldt/mildt/normal år.
- Sensitivitetsvurdering av variablene.

### **Uten utbygging.xlsx**

Inneholder:

- Bredek vannføringsdata
- Nedbørfelt
- Strekning
- Vannføring strekning I
- Vannføring strekning II
- Vannføring strekning III
- Vannføring strekning IV
- Vannføring strekning V

### **Magasinkraftverk.xlsx**

Inneholder:

- Reservoarnivå
- Minstevannføring
- Flomtap
- Vannføring nedstrøms inntak
- Vannføring oppstrøms utslipp
- Vannføring nedstrøms utslipp
- Nedbørselt og tilsig
- Produksjonsvannføring
- Lokalt tilsig



## Magasinkraftverk med ny mvf.xlsx

Inneholder:

- Produksjonsvannføring
- Flomtap
- Lokalt tilsig
- Minstevannføring
- Vannføring nedstrøms inntak
- Vannføring oppstrøms utslipp
- Vannføring nedstrøms utslipp
- Sammenligning nedstrøms inntak
- Sammenligning oppstrøms utslipp
- Sammenligning nedstrøms utslipp

## Til sammenligning\_magasinkraftverk.xlsx

Inneholder: Sammenligning av vannføring av magasinkraftverk med opprinnelig minstevannføring og i et naturlig tilfelle:

- Vannføring nedstrøms inntak
- Vannføring oppstrøms utslipp
- Vannføring nedstrøms utslipp

## Tre små kraftverk.xlsx

Inneholder:

- Vannføring strekning I
- Vannføring strekning II
- Vannføring strekning III
- Vannføring strekning IV
- Vannføring strekning V

## Til sammenligning.xlsx

Inneholder: Sammenligning av et tilfelle med magasinkraftverk, et tilfelle uten utbygging i Sagelva og i et tilfelle med tre små kraftverk:

- Vannføring strekning I
- Vannføring strekning II

- Vannføring strekning III
- Vannføring strekning IV
- Vannføring strekning V

### **Tre små kraftverk og magasinkraftverk\_produksjonsvannføring.xlsx**

Inneholder:

- Data for de tre små kraftverkene
- Målestasjoner
- Beregning av med krav om minstevannføring (fra prosjektoppgaven)
- Vannføring turbin Sagelva I
- Vannføring turbin Sagelva II
- Vannføring turbin Kvannevatn kraftverk
- Total produksjonsvannføring for de tre små kraftverkene
- Vannføring turbin magasinkraftverk med opprinnelig minstevannføring
- Vannføring turbin magasinkraftverk med ny minstevannføring
- Sammenligning av små kraftverk og magasinkraftverk med opprinnelig minstevannføring
- Sammenligning av små kraftverk og magasinkraftverk med ny minstevannføring

### **Økonomi.xlsx**

Inneholder: Beregning av inntekt for tilfelle med:

- Magasinkraftverk og opprinnelig krav til minstevannføring
- Magasinkraftverk og nytt krav til minstevannføring
- Tre små kraftverk

## **3. ANDRE VEDLEGG**

### **Foto over eksisterende anlegg i Sagelva.docx**

Inneholder: Bilde over eksisterende anlegg i Sagelva med avmerking av kraftstasjoner, inntak og dam.

### **Virkningsgrad for magasinkraftverk.pdf**

Inneholder: Virkningsgradskurve for turbin i magasinkraftverket.