



Flomberegning for Sira ved Tonstad

Lars-Evan Pettersson

6
2010



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Sira ved Tonstad (026.Z)

Dokument nr 6 - 2010

Flomberegning for Sira ved Tonstad (026.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Lars-Evan Pettersson

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 30

Forsidefoto: Sira like ved utløpet i Sirdalsvatnet 30. oktober 2008
(Foto: Jan Henning L'Abée-Lund)

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for et delprosjekt i Siravassdraget i Vest-Agder. Flomvannføringer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for to steder i hovedelven. Flomvannstander med forskjellige gjentaksintervall i Sirdalsvatnet og samtidige vannstander med flomkulminasjonene i tilløpselven er også beregnet.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Siravassdraget, Sirdalsvatnet

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Mai 2010

Innhold

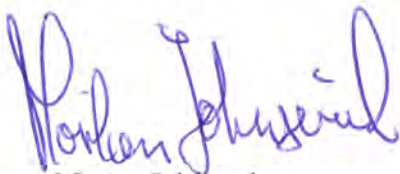
Forord.....	4
Sammendrag.....	5
1. Beskrivelse av oppgaven	6
2. Beskrivelse av vassdraget	6
3. Hydrometriske stasjoner	10
4. Flomdata	13
5. Flomfrekvensanalyser	15
6. Beregning av flomverdier.....	18
6.1 Døgnmiddelvannføringer i Sira	18
6.2 Kulminasjonsvannføringer i Sira.....	18
6.3 Vannstander i Sirdalsvatnet.....	21
6.4 Sammendrag	22
7. Usikkerhet.....	23
Referanser	23

Forord

Flomsonekart er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Som et ledd i utarbeidelse av slike kart må flomvannføringer og flomvannstander beregnes. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer, for eksempel det som benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging av et område i Siravassdraget i Vest-Agder. Rapporten er utarbeidet av Lars-Evan Pettersson og kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist.

Oslo, mai 2010



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Siravassdraget er basert på data fra flere vannføringsstasjoner i vassdraget. De store reguleringene i vassdraget gjør beregningene noe kompliserte. Det er også anslått vannstand i Sirdalsvatnet ved flomkulminasjon i tilløpselven.

Resultatet av flomberegningen ble:

Sted	Areal km ²	Middel- flom	5-års- flom	10-års- flom	20-års- flom	50-års- flom	100- årsflom	200- årsflom	500-års- flom
Sira oppstrøms samløp med Finsåni, m ³ /s	1145	260	335	395	450	520	665	810	995
Sira ved utløp i Sirdalsvatnet, m ³ /s	1235	285	360	425	485	565	715	875	1075
Vannstand Sirdalsvatnet samtidig med flomkulminasjon i Sira, moh.	1528	50.64	51.12	51.44	51.73	52.08	52.32	52.54	52.82
Flomvannstand Sirdalsvatnet, moh.	1528	51.64	52.12	52.44	52.73	53.08	53.32	53.54	53.82

Vannføringene er utjevnet til nærmeste hele 5 m³/s.

Datagrunnlaget for denne flomberegningen er relativt godt, men usikkerhet bl.a. til reguleringens effekt på flommer i vassdraget, fører til at beregningen klassifiseres i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for Sira ved Tonstad. Som grunnlag for flomsonekartkonstruksjonen skal vannføringen i elven oppstrøms samløpet med Finsåni, nedstrøms samløpet, dvs. ved utløpet i Sirdalsvatnet, og vannstanden i Sirdalsvatnet ved midlere flom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes. I tillegg skal den samtidige vannstanden i Sirdalsvatnet ved flomkulminasjon i Sira anslås. Tilløpsflommen til Sirdalsvatnet kulminerer nemlig noe tidligere enn avløpsflommen og flomvannstanden. Tabell 1 viser feltareal og naturlig normalvannføring/normalavrenning i følge avrenningskartet for Norge 1961-1990 for Sira ved Tonstad, tettstedet ved Siras utløp i Sirdalsvatnet. Figur 1 gir et kart over vassdraget.

Tabell 1. Feltareal og naturlig normalvannførings/normalavrenning

	Feltareal km ²	Normal- vannføring, m ³ /s	Normal- avrenning, l/s•km ²	Normal- avrenning, mm
Sira oppstrøms Finsåni	1145	82.8	72.3	2281
Sira ved utløpet i Sirdalsvatnet	1235	90.0	72.9	2299

2. Beskrivelse av vassdraget

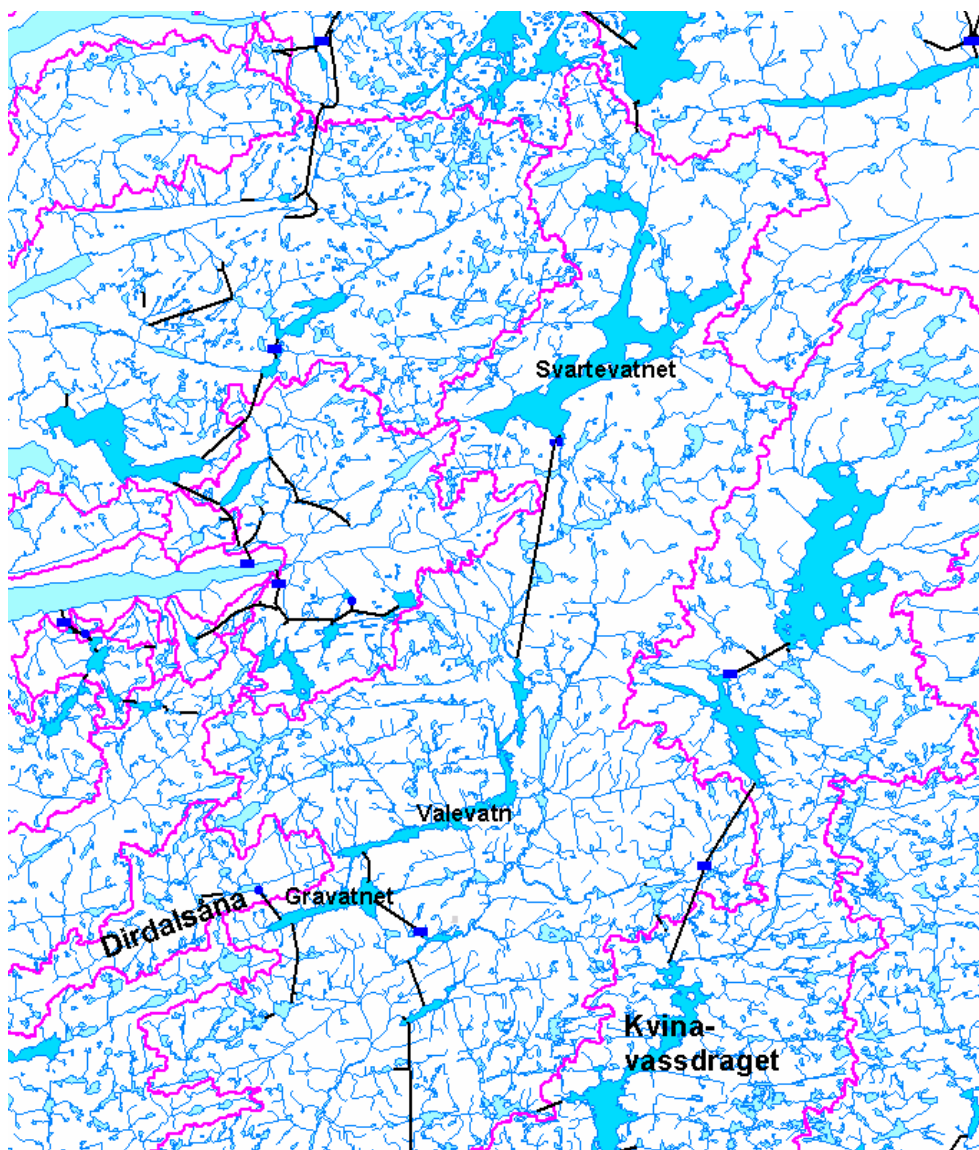
Sira har sine kilder i området der Aust-Agder, Vest-Agder og Rogaland møtes. Lengst nord i vassdraget ligger Svartevatnet, Norges fjerde største reguleringsmagasin volummessig. Høyeste regulerte vannstand er 899 moh., mens laveste er 780 moh. Her begynner Sira som stort sett renner i sørsørvestlig retning mot havet. Vassdraget inneholder flere store innsjøer, Valevatn og Gravvatnet i den midtre delen og Sirdalsvatnet og Lundevatnet i den sørlige delen. Sirdalsvatnet og Lundevatnet ligger bare ca. 50 meter over havet. Tettstedene i vassdraget ligger her, Tonstad ved nordenden av Sirdalsvatnet og Sira ved sørenden, mens Moi ligger ved nordenden av Lundevatnet. Vassdraget, som er 11-12 mil langt, er smalt og det er ingen store sideelver som renner til hovedelven. Den største sideelven er Moisåni, 209 km², som renner ut i nordenden av Lundevatnet.

Vassdraget var lite berørt av reguleringer inntil 1960-årene. Da kom først Finså kraftverk i 1963, med regulering av flere innsjøer i den 90 km² store Finsåni, en sideelv som faller ut i Sira like oppstrøms Siras utløp i Sirdalsvatnet ved Tonstad. Senere kom enda to kraftverk til i Finsåni.

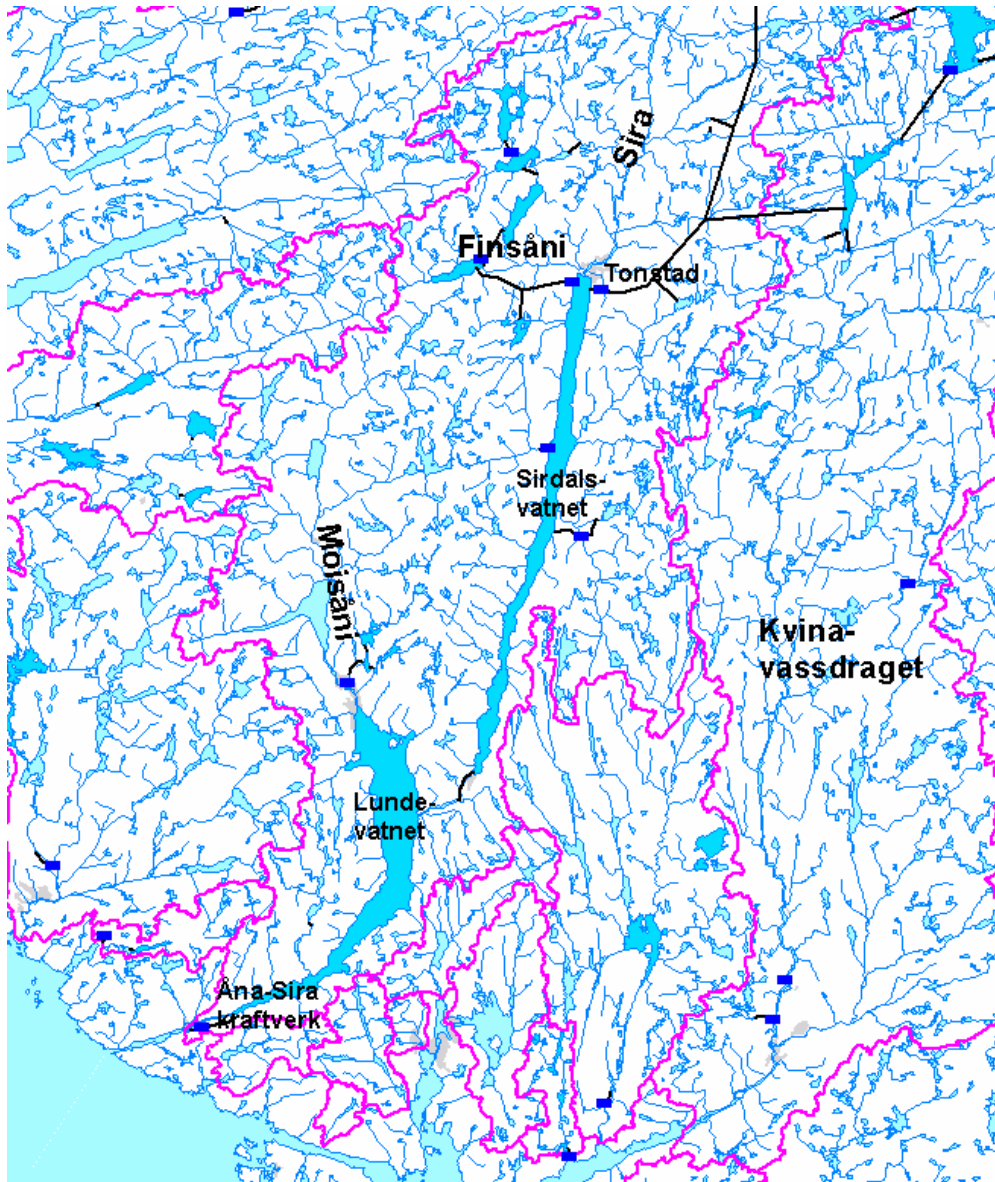
Det var i løpet av 1960-årene som den store utbyggingen av vassdraget tok til. I 1968 ble Tonstad kraftverk satt i drift, men vannet kom ikke fra Sira, men ble overført fra Kvina, nabovassdraget i øst. I løpet av 1970-årene ble Tonstad kraftverk utvidet, nå med vann fra Sira og tre nye kraftverk, Duge, Tjørhom og Åna-Sira ble satt i drift. I en ca. 5 år lang periode i slutten av 1970-årene og begynnelsen av 1980-årene ble en del av Otras nedbørfelt overført til Siravassdraget. Denne delen av Otra er senere blitt en del av

Blåsjømagasinets nedbørfelt. Siden 1983 overføres det vann fra vest, fra Dirdalsåna, gjennom Hunnevatn pumpekraftverk til Siravassdraget. Overføringen betyr neppe noe for flomstørrelsene i Sira ved Tonstad. Det er også noen mindre overføringer østover fra Sira til oppstrøms Nesjenmagasinet i Kvina.

I løpet av 1970-årene ble flere dammer i vassdraget ferdigstilt. Ved Sirdalsvatnet ble det imidlertid ikke noen dam. Innsjøen ble regulert ved senkning. En kanal ble sprengt og gravd ut slik at flomvannstandene ble senket med ca. to meter.

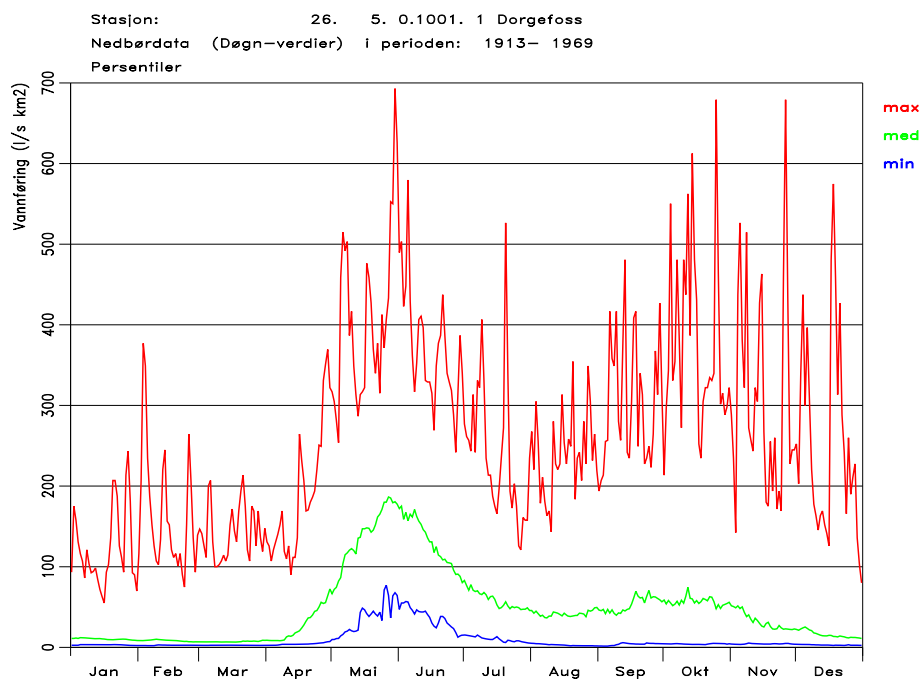


Figur 1. Kart over nordre delen av Siravassdraget. De sorte linjene er overføringer og tunneler/rør til og fra kraftverk.

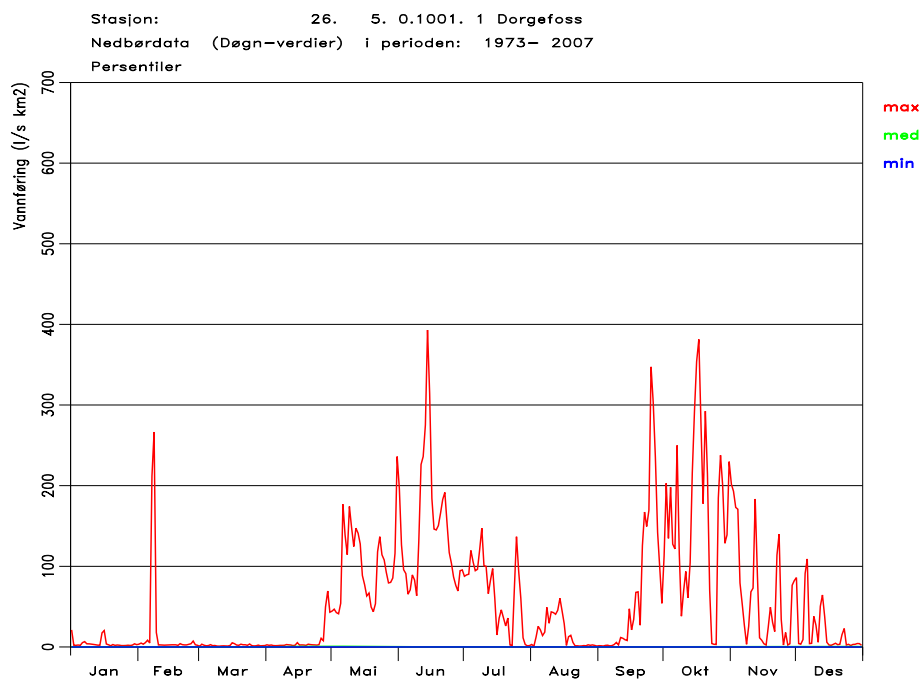


Figur 2. Kart over søndre delen av Siravassdraget. De sorte linjene er overføringer og tunneler/rør til og fra kraftverk.

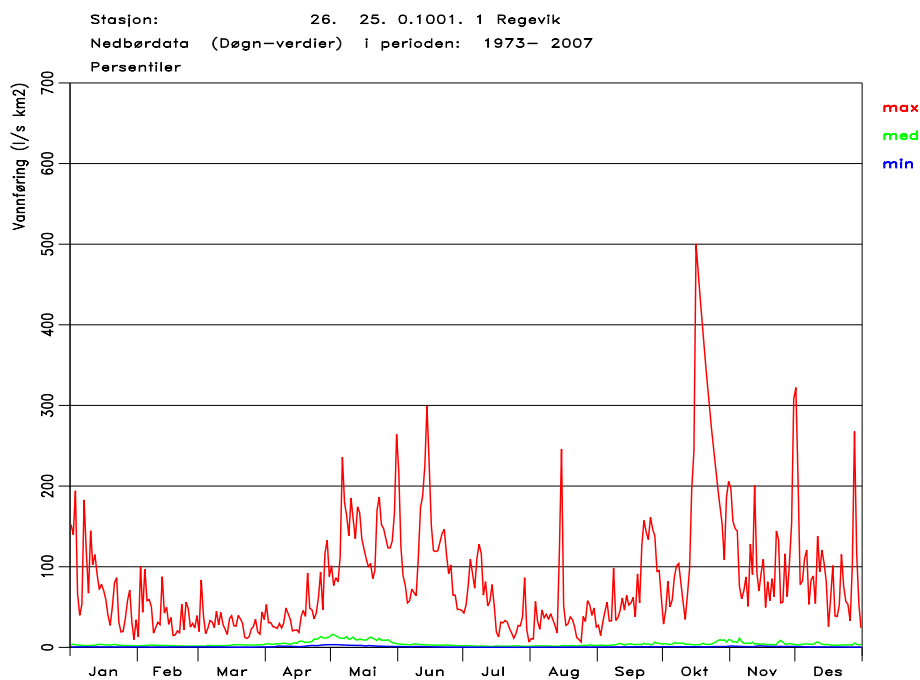
Den naturlige middelavrenningen i Sira ved Tonstad er vist i tabell 1. Ved målestasjonen 26.5 Dorgefoss, som ligger drøyt to mil ovenfor Tonstad, er normalavrenningen i perioden 1961-1990 $76.4 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ i følge avrenningskartet for Norge, dvs. noe større enn hva som er beregnet lenger ned i vassdraget. Ved Dorgefoss finnes det observasjoner både før og etter reguleringen, som fant sted rundt 1970. Figurene 3 og 4 viser karakteristiske avrenningsverdier i $\text{l/s}\cdot\text{km}^2$ for hver dag i løpet av året ved Dorgefoss før og etter regulering. Figur 5 viser karakteristiske avrenningsverdier ved målestasjonen 26.25 Regevik som ligger bare litt oppstrøms Tonstad og har observasjoner etter reguleringen. Den øverste kurven (max) i grafene viser største observerte verdier og den nederste kurven (min) viser minste observerte verdier. Den midterste kurven (med) er mediankurven, dvs. det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større og mindre enn denne. Ved Dorgefoss og Regevik etter regulering ser man knapt median- og minimumkurvene



Figur 3. Karakteristiske vannføringer ved 26.5 Dorgefoss 1913-1969, l/s•km².



Figur 4. Karakteristiske vannføringer ved Dorgefoss 1973-2007, l/s•km².



Figur 5. Karakteristiske vannføringer ved Regevik 1973-2007, l/s•km².

De naturlige vannføringsforholdene i Sira oppstrøms Sirdalsvatnet karakteriseres av stor vannføring i forbindelse med snøsmeltingen i mai-juni. Data fra Dorgefoss viser at de største flommene vanligvis var på høsten i forbindelse med regn, men at den største observerte flommen var i forbindelse med snøsmeltingen på våren. Også mindre vinterflommer kunne forekomme. Reguleringene har ført til betydelig redusert vannføring på strekningen, og også flommene er betydelig redusert selv om enkelte vår- og høstflommer kan opptre.

3. Hydrometriske stasjoner

De viktigste vannføringsstasjonene for flomberegning for Sira ved Tonstad er 26.5 Dorgefoss og 26.25 Regevik. For beregning av ekstreme flomvannstander i Sirdalsvatnet benyttes målestasjonene 26.7/26.43 Sirdalsvatn. Andre målestasjoner som gir nyttig informasjon om flommer i vassdraget er 26.8/26.44 Lundevatn, 26.18 Langhølen, 26.31 Åna-Sira kraftverk og 26.20 Årdal.

26.5 Dorgefoss ligger i midtre delen av Siravassdraget. Stasjonen ble etablert i 1913 og er fortsatt i drift. Siden høsten 1970 er den påvirket av reguleringer oppstrøms.

26.25 Regevik ligger i Sira like oppstrøms Tonstad. Stasjonen ble etablert i 1972 og er altså helt siden start påvirket av reguleringene oppstrøms. Stasjonen er i drift, men mangler delvis data for årene 1972, 1975, 1976, 1990 og 1993. Under en stor flom 25. september 1975 ble stasjonen ødelagt, men den ble snart gjenoppbygget. Det samme skjedde under den store flommen høsten 1983. For den flommen har man anslått en

døgnmiddelvannføring, mens kulminasjonsvannstanden er nivellert og omregnet til vannføring. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til vannføringsverdiene ved den flommen.

26.7 Sirdalsvatn ble etablert i 1894 nær utløpet av innsjøen. Her ble vannstanden i innsjøen og vannføringen ut observert fram til 1930. Etter et langt opphold ble observasjonene startet opp igjen i 1958. Stasjonen ble nedlagt i 1967 på grunn av reguleringen. I juli det året ble den erstattet av en ny stasjon i nordenden av vatnet, 26.43 Sirdalsvatn. Denne stasjonen er fortsatt i drift og registrerer vannstander i innsjøen. Ved 26.7 ble vannstanden observert ved en lokal skala som hadde 0-punktet på 49.836 moh. Den nye stasjonen, 26.43, hadde også lokal skala, med 0-punkt 46.84 moh., inntil man i 1973 begynte observasjonene i Statens kartverks høydesystem.

26.8 Lundevatn ble etablert i 1896 ca. to kilometer fra utløpet på nordsiden av innsjøen. Vannstand og vannføring ble observert her til 1968 da dambyggingen stoppet muligheten å registrere vannføringen i utløpselven. En ny vannstandsstasjon, 26.44, ble nær utløpet på sørsiden av innsjøen og vannstandsobservasjonene der er fortsatt i drift. Ved Lundevatn foregikk observasjonene på lokal skala inntil 1971, da man gikk over til Statens kartverks høydesystem. 0-punktet på de lokale skalaene var 42.405 moh.

26.18 Langhølen er en tradisjonell vannføringsstasjon som ble etablert i 1968 nedenfor dammen i Lundevatn. Her registreres vannet som går forbi dammen (overløp og forbislipping) og altså ikke går gjennom Åna-Sira kraftverk.

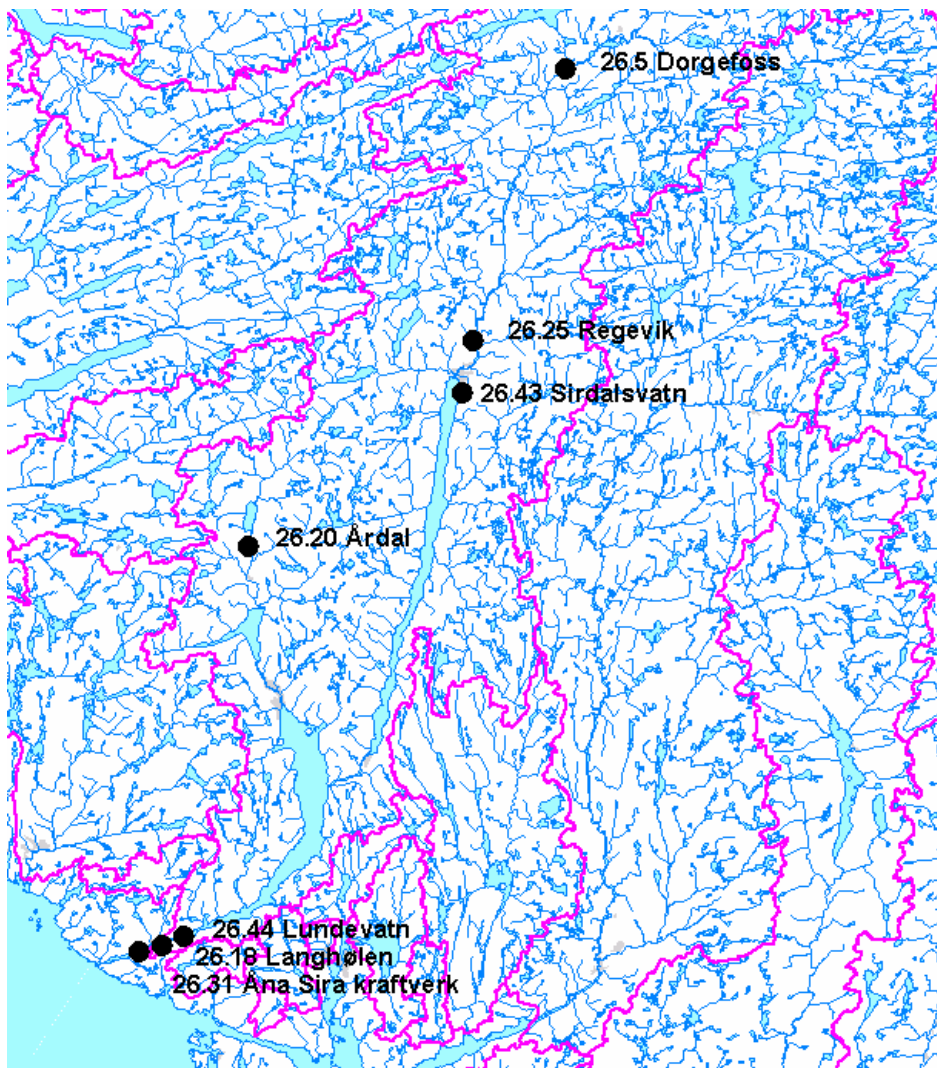
Ved målestasjonen 26.31 Åna-Sira kraftverk registreres driftsvannføringen i kraftverket og totalvannføringen i vassdraget. I perioden 1972-1989 og fra og med 2005 finnes data for totalvannføringen, dvs. driftsvannføringen tillagt vannføringen i Langhølen. I perioden 1990-2004 er ikke daglige data fra Langhølen tilgjengelige, slik at det er usikkert hvor store flommene ut fra Lundevatn har vært i den perioden.

26.20 Årdal er en uregulert stasjon som ligger et godt stykke opp i Moisåni og som ble etablert i 1970. Nedbørfeltet grenser til Finsånis nedbørfelt og avrenningsforholdene ved Årdal er sannsynligvis de som mest ligner de uregulerte avrenningsforholdene i Finsåni.

Noen viktige opplysninger om vannføringsstasjonene er gitt i tabell 2, mens stasjonenes beliggenhet er vist i figur 6. Årsavrenningen er hentet fra Avrenningskart for Norge 1961-1990.

Tabell 2. Hydrometriske stasjoner i Siravassdraget.

	Feltareal, A km ²	Effektiv sjø- prosent, A _{SE} %	Feltlengde, L _F km	Hovedelvas gradient, S _T m/km	Feltets median- høyde, H _{median} moh.	Årsavrenning, Q _N l/s•km ²
26.5 Dorgefoss	808	1.68	52.0	9	907	76.4
26.25 Regevik	1128	0.99	71.6	12	853	72.6
26.43 Sirdalsvatn	1528	1.79			774	70.1
26.44 Lundevatn	1899	2.63			694	68.3
26.18 Langhølen	1901	2.63			694	68.3
26.31 Åna-Sira kraftverk	1902	2.63			694	68.3
26.20 Årdal	77.6	2.26			479	68.1



Figur 6. Hydrometriske stasjoner i Siravassdraget.

4. Flomdata

Tabell 3 viser de største observerte flommene, døgnmiddelvannføring, ved 26.5 Dorgefoss før og etter regulering. Vi ser at reguleringen har ført til betydelig mindre flommer.

Tabell 3. Observerte flommer ved 26.5 Dorgefoss, døgnmiddelvannføringer.

Før regulering 1913-1970		Etter regulering 1970-2007	
dato	m ³ /s	dato	m ³ /s
30.05.1967	555	23.10.1971	402
25.10.1929	544	14.06.1973	315
27.11.1940	544	17.10.1983	306
15.10.1916	491	25.09.1975	278
19.12.1932	460	09.08.1972	233

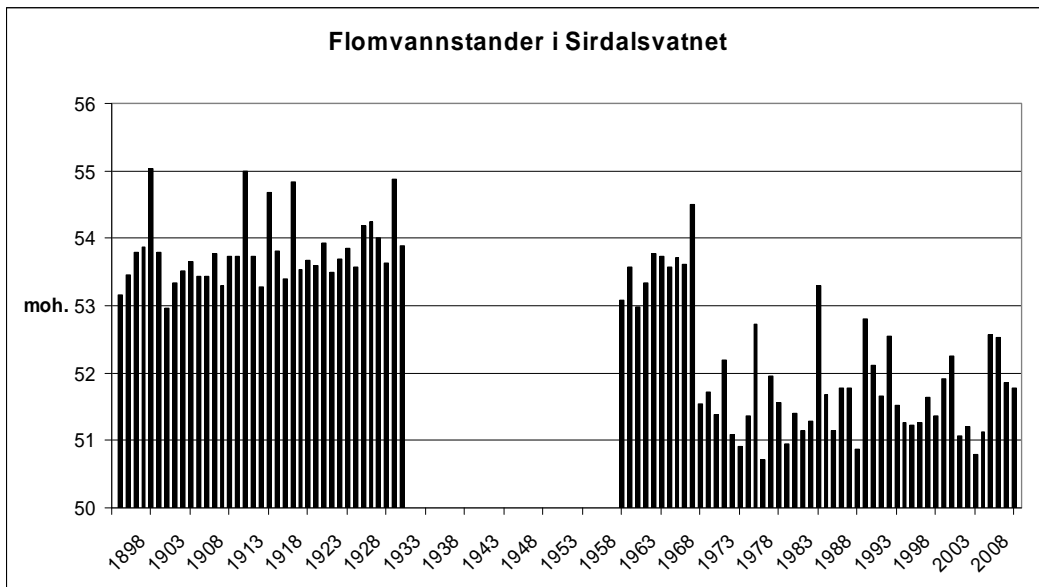
Tabell 4 viser de største observerte flommene, kulminasjonsvannføring, ved 26.25 Regevik, alle etter regulering.

Tabell 4. Observerte flommer ved 26.25 Regevik, kulminasjonsvannføringer.

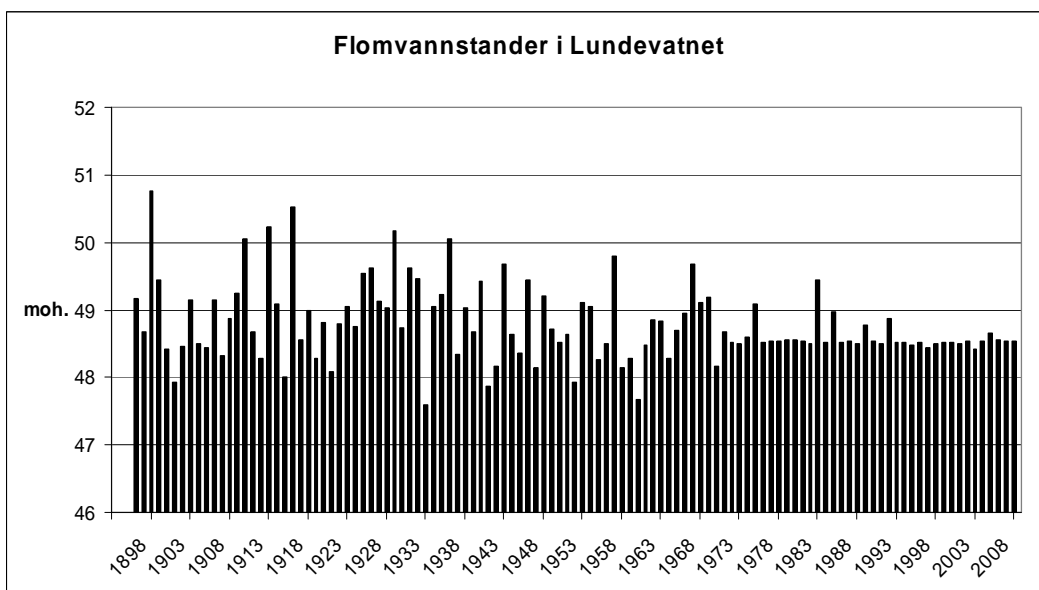
Etter regulering 1972-2008	
dato	m ³ /s
16.10.1983	660
07.02.1989	447
02.12.1992	403
15.08.1979	400
08.08.1972	368

Flommen i september 1975 var sannsynligvis større enn 400 m³/s ved Regevik.

Figurene 7 og 8 viser de høyeste flomvannstandene i Sirdalsvatnet og Lundevatnet hvert år tilbake til 1890-årene, dog med en manglende periode ved Sirdalsvatnet.



Figur 7. Flomvannstander i Sirdalsvatnet.



Figur 8. Flomvannstander i Lundevatnet.

Tabell 5 viser de største flommene i Sirdalsvatnet siden 1894, men med observasjonsbrudd i perioden 1931-1957. Etter 1967 finnes det ikke verdier for flomvannføringen ut av Sirdalsvatnet. Den høyeste flomvannstanden etter regulering fant sted 17. oktober 1983 og var 53.30 moh.

Tabell 5. Observerte flommer ved 26.7/26.43 Sirdalsvatn, døgnmidler.

Vannstand i perioden 1894-2008		Vannføring i perioden 1894-1967	
dato	moh.	dato	m ³ /s
03.11.1898	55.04	03.11.1898	811
16.05.1910	55.00	16.05.1910	797
25.10.1929	54.88	25.10.1929	757
15.10.1916	54.84	15.10.1916	744
03.05.1913	54.68	03.05.1913	694
31.05.1967	54.50	31.05.1967	639

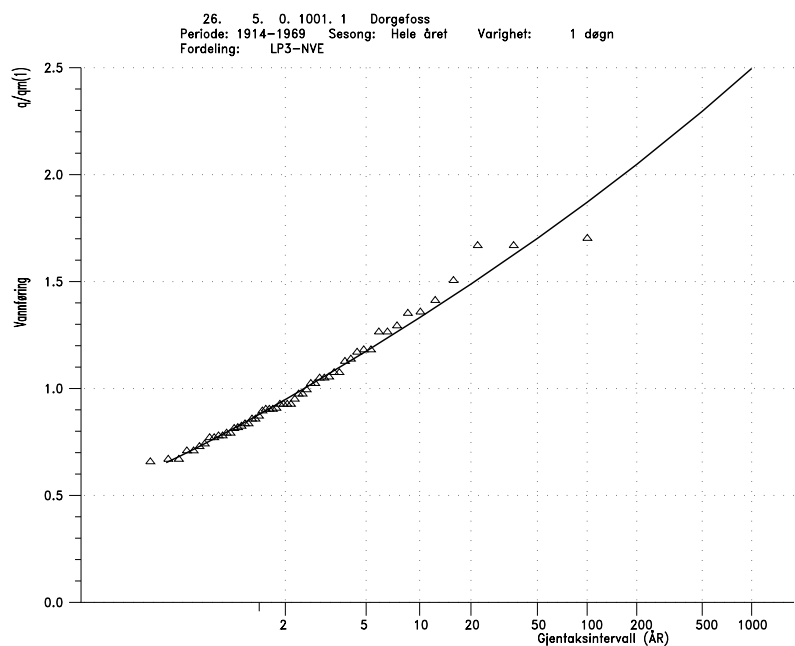
Tabell 6 viser de største flommene i Lundevatnet siden 1896. Etter 1968 er flomvannføringene hentet fra 26.18 Langhølen og 26.31 Åna-Sira kraftverk. Data for flomvannføringer mangler for årene 1968-1972 og 1990-2004. Sannsynligvis var det en meget stor flomvannføring i 1971. Den høyeste flomvannstanden etter regulering fant sted 19. oktober 1983 og var 49.45 moh.

Tabell 6. Observerte flommer ved 26.8/26.44 Lundevatn og 26.18 Langhølen/ 26.31 Åna-Sira kraftverk, døgnmidler.

Vannstand i perioden 1896-2008		Vannføring i perioden 1896-2008	
dato	moh.	dato	m ³ /s
05.11.1898	50.76	05.11.1898	825
16.10.1916	50.52	19.10.1983	798
05.05.1913	50.23	16.10.1916	769
27.10.1929	50.17	05.05.1913	704
18.05.1910	50.06	27.10.1929	691
23.12.1936	50.05	18.05.1910	668

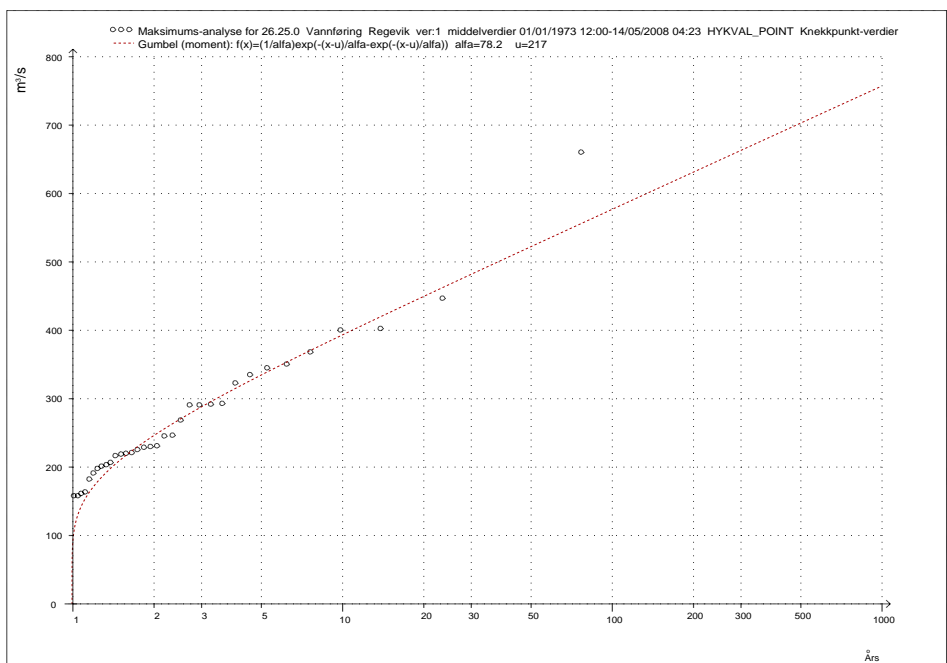
5. Flomfrekvensanalyser

Som en støtte for å bestemme flomforholdene i Sira ved Tonstad før regulering er det gjort frekvensanalyse på flommene ved 26.5 Dorgefoss i perioden 1914-1969. Se figur 9.



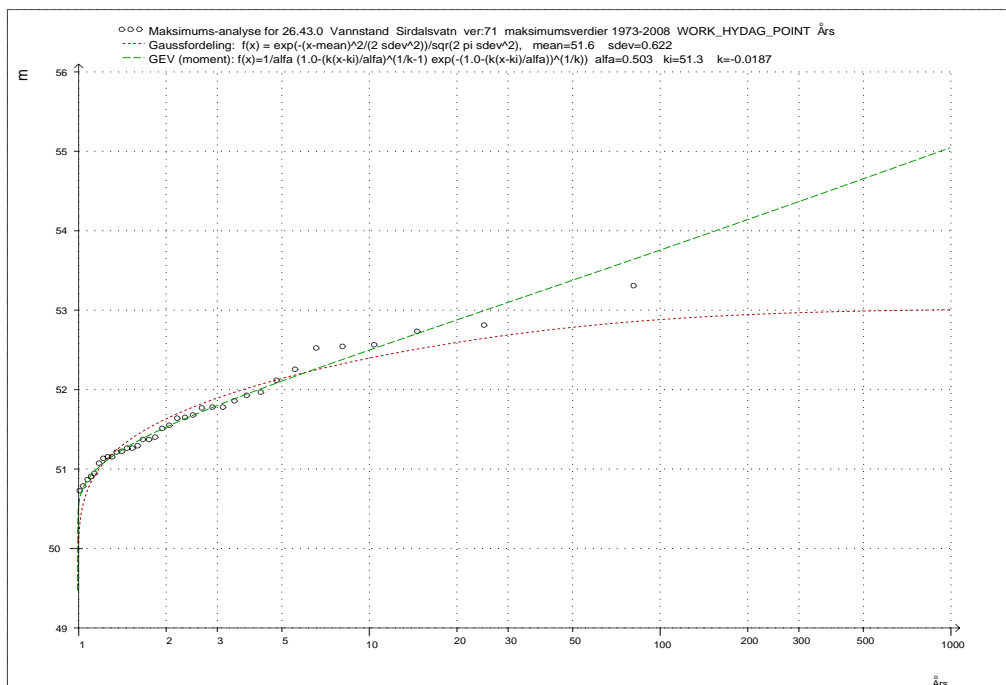
Figur 9. Flomfrekvensanalyse for 26.5 Dorgefoss 1914-1969, døgnmiddel av årsflommer.

Flomdata fra 26.25 Regevik er representative for forholdene etter regulering. Figur 10 viser flomfrekvensanalysen for denne stasjonen, som er utført på kulminasjonsvannføringer.



Figur 10. Flomfrekvensanalyse for 26.25 Regevik 1973-2008, kulminasjonsvannføringer.

Det er utført frekvensanalyse på flomvannstander i Sirdalsvatnet etter reguleringen. Se figur 11. Frekvensanalyser av flomvannstander er usikre. For Sirdalsvatnet velges midlet av to frekvensfordelinger som representative for forholdstallene H_T/H_M . Valget er styrt av at i en flomberegningsrapport fra 2010 for dam sikkerhetsvurderinger, utført av Norconsult, er flomvannstand med gjentaksintervall 1000 år beregnet til 54.10 moh.



Figur 11. Flomfrekvensanalyse for 26.43 Sirdalsvatn 1973-2008, døgnmiddelvannstander.

Resultatene av flomfrekvensanalysene er vist i tabell 7, hvor midlere flom, Q_M og H_M , og forholdstallene Q_T/Q_M samt H_T -verdiene er presentert.

Tabell 7. Flomfrekvensanalyser av årsflommer.

Målestasjon	Areal km ²	Periode	Antall år	Q_M m ³ /s	Q_M l/s·km ²	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M
26.5 Dorgefoss, døgnmiddelvannføring	808	1914-1969	56	326	403	1.17	1.33	1.49	1.70	1.87	2.05	2.30	2.50
26.25 Regevik, kulminasjonsvannføring	1128	1973-2008	36	262	232	1.28	1.50	1.71	1.99	2.20	2.41	2.68	2.89
		Periode	Antall år	H_M moh.		H_5 moh.	H_{10} moh.	H_{20} moh.	H_{50} moh.	H_{100} moh.	H_{200} moh.	H_{500} moh.	H_{1000} moh.
26.43 Sirdalsvatn		1973-2008	36	51.64		52.12	52.44	52.73	53.08	53.32	53.54	53.82	54.03

6. Beregning av flomverdier

6.1 Døgnmiddelvanntføringer i Sira

For å anslå verdiene for uregulerte flommer ved Regevik nær Tonstad, benyttes de regionale flomformlene. Selv om den største observerte, uregulerte flomvannføringen i Sira oppstrøms Sirdalsvatnet var ved en vårflom, se tabell 3, må det antas at høstflommer vil være de største etter regulering. Mens store vårflommer vil dempes i reguleringsmagasin, vil store høstflommer i mindre grad dempes på grunn av at magasinene vanligvis i høy grad er fylt opp om høsten. Sira ligger i grenseområdet mellom Høstflomregion 1 og 3 i "Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag": De regionale flomformlene for beregning av midlere flom Q_M for disse to regioner er:

$$H1 \quad \ln Q_M = 1.2805 \cdot \ln Q_N - 0.2267 \cdot \ln(A/L_F) - 0.0664 \cdot A_{SE} + 0.0053 \cdot S_T + 1.00$$

$$H3 \quad \ln Q_M = 1.2014 \cdot \ln Q_N - 0.0819 \cdot \ln(A/L_F) - 0.0268 \cdot A_{SE} + 0.0013 \cdot S_T + 1.07$$

Med de feltparametere som er nevnt i tabell 2 blir resultatet av beregningene som i tabell 8.

Tabell 8. Midlere flom, Q_M basert på flomformler, døgnmiddel i l/s•km².

26.5 Dorgefoss		26.25 Regevik	
H1	H3	H1	H3
353	412	351	396

Vi ser at spesifikk midlere flom er noe mindre ved Regevik enn ved Dorgefoss i følge flomformlene. Observerte midlere flom ved Dorgefoss er 403 l/s•km², se tabell 7. Spesifikk midlere flom ved Regevik, uregulerte forhold, anslås derfor til 400 l/s•km². Frekvensfaktorene som ble funnet for Dorgefoss, tabell 7, antas å være representative for Sira ved Regevik ved uregulerte forhold. Det gir flomverdier for Sira ved Regevik under uregulerte forhold som vist i tabell 9.

Tabell 9. Flomverdier for Sira ved Regevik, døgnmiddelvanntføringer ved uregulerte forhold.

	Q_M l/s•km ²	Q_M m ³ /s	Q_5 m ³ /s	Q_{10} m ³ /s	Q_{20} m ³ /s	Q_{50} m ³ /s	Q_{100} m ³ /s	Q_{200} m ³ /s	Q_{500} m ³ /s	Q_{1000} m ³ /s
Q_T/Q_M			1.17	1.33	1.49	1.70	1.87	2.05	2.30	2.50
Q	400	451	528	600	672	767	844	925	1038	1128

6.2 Kulminasjonsvannføringer i Sira

Kulminasjonsvannføringene (momentanflommene) i Sira ved Regevik kan anslås ved hjelp av de ligninger som er utarbeidet basert på feltparametere i "Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag". Ligningen for høstflommer er:

$$Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{middel}} = 2.29 - 0.29 \cdot \log A - 0.270 \cdot A_{SE}^{0.5}$$

hvor A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent.

Med et feltareal på 1128 km² og effektiv sjøprosent på 0.99 blir forholdstallet kulminasjon/døgnmiddel 1.14 for Sira ved Regevik.

Ved flomfrekvensanalysen for 26.25 Regevik ved regulerte forhold viste det seg at forholdstallet kulminasjon/døgnmiddel minket fra ca. 1.50 ved midlere flom til 1.20-1.15 ved store flommer. Dette er med på å sannsynliggjøre at forholdstallet 1.14 kan være representativt for uregulerte forhold.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentaksintervall ved Regevik er vist i tabell 10. Verdiene for regulerte forhold er hentet fra flomfrekvensanalysen i tabell 7.

Tabell 10. Flomverdier for Sira ved Regevik, kulminasjonsvannføringer.

	Areal km ²	$Q_{\text{mom}} / Q_{\text{mid}}$	Q_M m ³ /s	Q_5 m ³ /s	Q_{10} m ³ /s	Q_{20} m ³ /s	Q_{50} m ³ /s	Q_{100} m ³ /s	Q_{200} m ³ /s	Q_{500} m ³ /s	Q_{1000} m ³ /s
Uregulerte forhold	1128	1.14	514	602	684	766	874	962	1054	1183	1286
”Regulerte forhold”	1128		262	335	393	448	521	576	631	702	757

Som vi ser av tabell 10 er flommene i Sira redusert betraktelig etter reguleringen, men ved store flommer kan man neppe regne med at flomreduksjonen er så stor som frekvensanalysene av flommene etter regulering tilsier. Reguleringseffekten vil sannsynligvis avta med økende flomstørrelse, i hvert fall relativt sett. Det er rimelig å anta at flomverdiene i regulert tilstand er representative opp til kanskje 50 års gjentaksintervall siden observasjonsserien er nesten 40 år. Ved større gjentaksintervall vil ikke flomfrekvensanalysen for uregulerte forhold gjelde.

I Norconsults flomberegningsrapport fra 2010 ble dimensjonerende flom, Q_{1000} , beregnet. Dimensjonerende avløpsflom for Tjørhommagasinet ble beregnet til drøyt 900 m³/s, mens dimensjonerende tilløpsflom til Sirdalsvatnet ble beregnet til ca. 1600 m³/s.

Tjørhommagasinet er det nederste av flere magasiner i Sira oppstrøms Regevik.

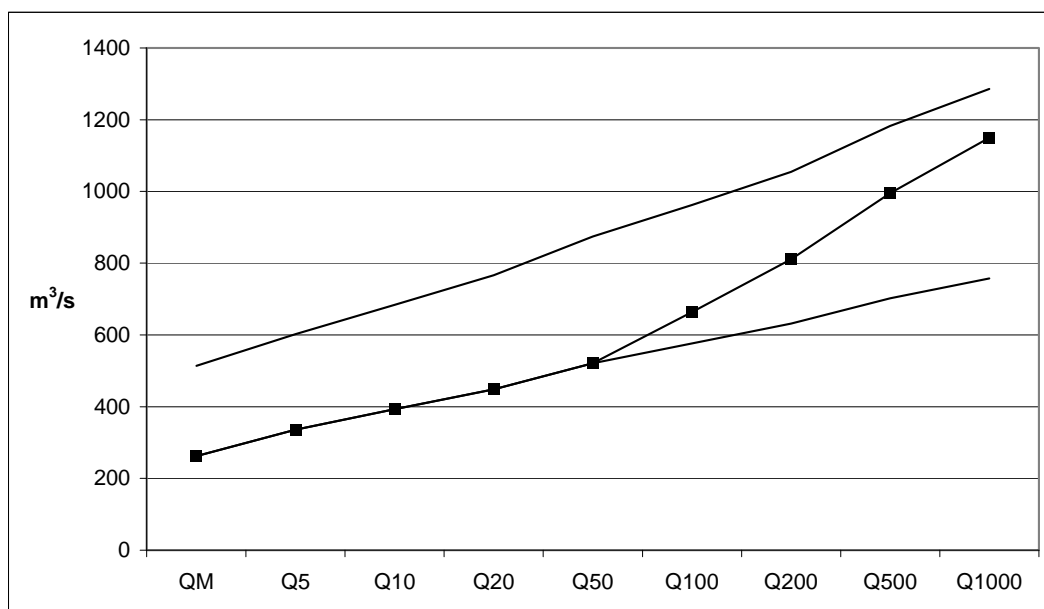
Reguleringene gjør det komplisert, men omtrent 45 % av lokalfeltet til Sirdalsvatnet nedstrøms Tjørhom ligger oppstrøms Regevik. Det antas derfor at 45 % av økningen av dimensjonerende flom fra Tjørhom, avløpsflom, til Sirdalsvatnet, tilløpsflom, kommer oppstrøms Regevik. I dimensjonerende tilløpsflom til Sirdalsvatnet inngår overført vann fra Kvina, ca. 125 m³/s gjennom Tønstad kraftverk. Siden den totale flomøkningen uten overført vann er ca. 570 m³/s, blir økningen ned til Regevik ca. 250 m³/s.

Q_{1000} ved Regevik blir da 1150 m³/s. Det betyr en flomreduksjon i forhold til uregulerte forhold på 136 m³/s ved Q_{1000} . Ved Q_{50} er flomreduksjonen på 353 m³/s. Flomreduksjonen antas å avta lineært mellom Q_{50} og Q_{1000} . Det gir flomverdier ved Regevik som vist i tabell 11 og figur 12. Tabell 11 viser også antatt flomreduksjon i % i forhold til uregulerte tilstander.

Tabell 11. Flomverdier for Sira ved Regevik, kulminasjonsvannføringer.

	Q_M m ³ /s	Q_5 m ³ /s	Q_{10} m ³ /s	Q_{20} m ³ /s	Q_{50} m ³ /s	Q_{100} m ³ /s	Q_{200} m ³ /s	Q_{500} m ³ /s	Q_{1000} m ³ /s

Uregulerte forhold	514	602	684	766	874	962	1054	1183	1286
Regulerte forhold	262	335	393	448	521	664	811	995	1150
Flomreduksjon	252	267	291	318	353	298	243	188	136
Flomreduksjon i %	49	44	43	42	40	31	23	16	11



Figur 12. Flomverdier for Sira ved Regevik, kulminasjonsvannføringer. Øverste kurve viser uregulerte forhold, nederste kurve viser "regulerte forhold", mens midtre kurve, markert med punkter, antas å representere regulerte forhold også ved store gjentakintervall.

Disse vannføringsverdiene kan antas å være representative for Sira oppstrøms samløpet med Finsåni, der arealet har øket med 17 km² til 1145 km². Finsåni bidrar med vannføring fra et felt på 90 km², men som er regulert. Det inneholder flere magasin og ved drift på kraftverket føres driftsvannet direkte ut i Sirdalsvatnet.

Det foreligger ikke vannføringsdata fra Finsåni i NVEs hydrologiske database. Det er derfor vanskelig å anslå hvor stort Finsånis bidrag er ved forskjellige flommer i nedre Sira. Vi velger å se på vannføringer ved målestasjonen 26.20 Årdal, som opptrer samtidig med store flommer ved 26.25 Regevik. Se tabell 12.

Tabell 12. Samtidige vannføringer i Sira ved Regevik og Moisåni ved Årdal.

Dato	26.25 Regevik m ³ /s	26.20 Årdal m ³ /s	Årdal/Regevik %
07.02.1989	447	50	11
02.12.1992	403	99	25
16.10.1987	345	42	12
28.12.2007	334	14	4
07.01.2005	322	91	28
04.10.2004	268	63	24
29.11.1999	246	42	17

31.10.2000	245	69	28
05.12.1986	230	37	16
07.10.1985	229	30	13

I gjennomsnitt er vannføringen ved Årdal i Moisåni ca. 17 % av vannføringen ved flomkulminasjon i Sira ved Regevik. Nedbørfeltet til Finsåni er noe større enn Årdalfeltet, men er regulert og omfatter flere innsjøer. Av den grunn vil bidraget fra Finsåni ved flomkulminasjon i Sira neppe være så stort som 17 % av Siras vannføring. Vi anslår det til å være omtrent halvparten eller 8 %. Det finnes ikke noe grunnlag for å vurdere om dette prosenttallet endres ved forskjellige gjentaksintervall på flommer. Derfor benyttes samme prosentverdi ved alle flommer. Resulterende flomverdier er vist i tabell 13.

Tabell 13. Flomverdier for Sira ved Tonstad, kulminasjonsvannføringer. NB! – ikke kulminasjonsvannføringer i Finsåni.

	Q_M m ³ /s	Q_5 m ³ /s	Q_{10} m ³ /s	Q_{20} m ³ /s	Q_{50} m ³ /s	Q_{100} m ³ /s	Q_{200} m ³ /s	Q_{500} m ³ /s	Q_{1000} m ³ /s
Oppstrøms Finsåni	262	335	393	448	521	664	811	995	1150
Bidrag Finsåni	21	27	31	36	42	53	65	80	92
Nedstrøms Finsåni	283	362	424	484	563	717	876	1075	1242

Dette betyr at bidraget fra Finsåni ved midlere flom er 21 m³/s eller 234 l/s•km² og ved 200-årsflom 65 m³/s eller 722 l/s•km². Til sammenligning kan nevnes at 26.20 Årdal har en midlere flom, døgnmiddel, på 594 l/s•km².

6.3 Vannstander i Sirdalsvatnet

Tabell 7 viser flomvannstander med forskjellige gjentaksintervall i Sirdalsvatnet. I Norconsults flomberegningsrapport fra 2010 finnes en kapasitetskurve, gitt av Sira-Kvina kraftselskap, for utløpet av Sirdalsvatnet etter kanaliseringen. Kapasitetskurven er utarbeidet av Vassdrags- og havnelaboratoriet i 1967. Ut fra denne er det funnet hvilke vannføringer de forskjellige beregnede flomvannstandene tilsvarer. Det er også anslått størrelsen på tilhørende tilløpsflom. Det er basert på at tilløpsflommen ved Q_{1000} i Norconsults rapport er ca. 55 % større enn avløpsflommen, og antakelsen at dette gjelder ved alle gjentaksintervall. Se tabell 14.

Tabell 14. Flomverdier for Sirdalsvatnet, kulminasjonsverdier.

	Middel- flom	5-års- flom	10-års- flom	20-års- flom	50-års- flom	100- årsflom	200- årsflom	500- årsflom	1000- årsflom
Flomvannstand, moh.	51.64	52.12	52.44	52.73	53.08	53.32	53.54	53.82	54.03
Avløpsflom, m ³ /s	439	524	588	655	740	800	857	938	1000
Tilløpsflom, m ³ /s	680	812	911	1015	1147	1240	1328	1454	1550

Som nevnt i avsnitt 5 er flomfrekvensanalysen for Sirdalsvatnet styrt av resultatene i Norconsults flomberegningsrapport fra 2010. Vannstands- og vannføringsverdiene ved

1000-årsflom er imidlertid noe lavere enn Norconsults resultater som følge av at det i avsnitt 5 er valgt midlet av to fordelinger for å beskrive flomvannstander i Sirdalsvatnet ved forskjellige gjentaksintervall.

En sammenligning mellom de anslåtte tilløpsflomverdiene til Sirdalsvatnet (nederste rad i tabell 14) og flomverdiene nederst i Sira (nederste rad i tabell 13) viser at bidraget fra lokalfeltet til Sirdalsvatnet, 293 km², og overføringen fra Kvina gjennom Tonstad kraftverk øker fra ca. 400 m³/s ved de minste flommene, til nesten 600 m³/s ved 50-årsflom. Deretter avtar bidraget ned til ca. 300 m³/s ved 1000-årsflom.

Beregningene har altså ikke gitt til resultat et jevnt økende bidrag fra Sirdalsvatnets uregulerte lokalfelt ved økende gjentaksintervall. Dette kan virke ulogisk, men det kan finnes forklaringer på det. Det kan ha sammenheng med at flommen fra lokalfeltet og flommen i hovedelven kulminerer til forskjellige tidspunkter og at dette endres med endrede flomstørrelser. Det kan også være slik at flomvannføringer i Sira og flomvannstander i Sirdalsvatnet, med samme gjentaksintervall, ikke opptrer ved samme flomsituasjon. Men det kan også være gale forutsetninger i noen av delberegningene eller under- eller overestimeringer av noen av flomstørrelsene.

Konklusjonen er imidlertid at de beregnede flomstørrelsene, dels flomvannføringene i Sira ved Tonstad og dels flomvannstandene i Sirdalsvatnet, aksepteres som representative for de forskjellige gjentaksintervallene.

I tillegg til flomvannstandene ved forskjellige gjentaksintervall skal det for Sirdalsvatnet også beregnes vannstander da flommen i Sira kulminerer. Vanligvis kulminerer vannstanden i Sirdalsvatnet døgnet etter at flommen ved 26.25 Regevik har kulminert. Det foreligger ikke vannstandsdata med finere tidsoppløsning enn døgn fra 26.43 Sirdalsvatn. Det er derfor vanskelig å gi et sikkert anslag på hvor mye vannet vanligvis stiger frem til kulminasjon. Tilgjengelige data viser at Sirdalsvatnet stiger mellom ca. 1.5 og 0.5 meter fra Siras kulminasjon til innsjøens kulminasjon. I Norconsults rapport vises at vannstanden ved dimensjonerende flom stiger ca. 1 meter fra tilløpsflommens kulminasjon til avløpsflommens kulminasjon. Vi antar derfor at vannstanden i Sirdalsvatnet er 1.0 m lavere enn tilhørende kulminasjonsvannstand da flommer med forskjellige gjentaksintervall kulminerer i Sira. Resultatet er vist i avsnitt 6.4.

6.4 Sammendrag

I tabell 15 er resultatene av flomberegningen sammenfattet. Vannføringene er utjevnet til nærmeste hele 5 m³/s.

Tabell 15. Flomverdier for Sira og Sirdalsvatnet.

Sted	Areal km ²	Middel- flom	5-års- flom	10-års- flom	20-års- flom	50-års- flom	100- årsflom	200- årsflom	500-års- flom
Sira oppstrøms samløp med Finsåni, m ³ /s	1145	260	335	395	450	520	665	810	995
Sira ved utløp i Sirdalsvatnet, m ³ /s	1235	285	360	425	485	565	715	875	1075
Vannstand Sirdalsvatnet samtidig med flomkulminasjon i Sira, moh.	1528	50.64	51.12	51.44	51.73	52.08	52.32	52.54	52.82
Flomvannstand Sirdalsvatnet, moh.	1528	51.64	52.12	52.44	52.73	53.08	53.32	53.54	53.82

7. Usikkerhet

Grunnlaget for flomberegning i Siravassdraget er relativt godt, med flere relativt lange dataserier i og nært vassdraget.

Selv der det finnes data er det imidlertid en del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjonene som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstand og måling av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ikke alltid utført på ekstreme flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert samband mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer kan derfor inneholde en grad av usikkerhet.

En annen faktor som fører til usikkerhet i flomdata er at NVEs hydrologiske database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.

I tillegg er de eldste dataene i databasen basert på én daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det virkelige døgnmidlet.

I regulerte vassdrag er usikkerhet også knyttet til vurderingen av hvor stor reguleringens flomdempende effekt er på de store vannføringene. I denne rapporten gjelder det både Sira og Sirdalsvatnet.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Konklusjonen for denne beregningen er at datagrunnlaget er relativt godt, men at det er en ekstra usikkerhet knyttet til reguleringens effekt på flommene i vassdraget, og at beregningen derfor klassifiseres i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

Beldring, S., Roald, L.A., Voksø, A., 2002: Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. NVE-Dokument nr. 2-2002.

Norconsult, 2010: Sira-Kvinavassdraget. Flomberegning.

NVE, 2000: Prosjekthåndbok – Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.

NVE, 2002: Avrenningskart for Norge 1961-1990.

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E., Roald, L. A., 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE-Rapport nr. 14-1997.

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

Utgitt i Dokumentserien i 2010

- Nr. 1 Inger Sætrang: Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2010 (58 s.)
- Nr. 2 Styrende dokumenter for tilsyn og reaksjoner. Versjon 2 – mars 2009 (92 s.)
- Nr. 3 Ingjerd Haddeland: Flommen på Sør- og Vestlandet november 2009 (20 s.)
- Nr. 4 Heidi Bache Stranden : Evaluering av seNorge: data versjon 1.1. (36 s.)
- Nr. 5 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2009 (14 s.)
- Nr. 6 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Sira ved Tonstad (23 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen,
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no