



Flomberegning for Sira ved Tonstad (026.Z)

Revidert versjon

Thomas Væringstad

57
2017



R
A
P
P
O
R
T

Rapport nr 57-2017

Flomberegning for Sira ved Tonstad (026.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Thomas Væringstad

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 10

Forsidefoto: Sira ved Regevik. (Foto: Heidi Ryen, HH)

ISBN 978-82-410-1610-3

ISSN 1501-2832

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 gjentakintervall er beregnet for to steder i hovedelven. Flomvannstander med forskjellige gjentakintervall i Sirdalsvatn og samtidige vannstander med flomkulminasjonene i Sira er beregnet.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Siravassdraget, Sirdalsvatnet, Sira, Tonstad, flomsonekart

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

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

Juni 2017

Innhold

Forord.....	4
Sammendrag.....	5
1. Beskrivelse av oppgaven.....	6
2. Beskrivelse av vassdraget.....	6
3. Målestasjoner.....	11
4. Flomdata.....	14
5. Flomfrekvensanalyser	17
6. Beregning av flomverdier.....	21
6.1 Døgnmiddelvannføringer i Sira.....	21
6.2 Kulminasjonsvannføringer i Sira.....	22
6.3 Vannstander i Sirdalsvatnet.....	24
6.4 Sammenligning med tidligere flomberegning	26
6.5 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer.....	27
6.6 Vannstander konvertert til NN2000.....	27
7. Flommen i desember 2015.....	28
8. Usikkerhet.....	29
Referanser.....	30

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 en oppdatering av Pettersson (2010), utarbeidet av Thomas Væringstad. Kvalitetskontrollen er gjort av Erik Holmqvist.

Oslo, juni 2017



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.

Vannføringene er utjevnet til nærmeste hele 5 m³/s.

Resultatet av flomberegningen ble med dagens klima:

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira oppstrøms Finsåni	1145	270	335	410	495	630	765	910	1105	1270
Sira nedstrøms Finsåni	1235	295	365	445	540	685	835	990	1200	1385

	H _M m	H ₅ m	H ₁₀ m	H ₂₀ m	H ₅₀ m	H ₁₀₀ m	H ₂₀₀ m	H ₅₀₀ m	H ₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn (NN 2000)	51,58	52,05	52,43	52,80	53,28	53,63	53,99	54,45	54,81
Sirdalsvatn ved kulminasjon Sira	51,48	51,95	52,33	52,70	53,18	53,53	53,89	54,35	54,71

Resultatene inkludert anbefalt klimapåslag på 20 % er:

Flomverdier med klimapåslag for Sira ved Tonstad, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira oppstrøms Finsåni	1145	325	400	490	595	755	920	1090	1325	1525
Sira nedstrøms Finsåni	1235	353	435	535	650	820	1000	1190	1440	1660

Flomvannstander i Sirdalsvatnet med klimapåslag.

	H _M m	H ₅ m	H ₁₀ m	H ₂₀ m	H ₅₀ m	H ₁₀₀ m	H ₂₀₀ m	H ₅₀₀ m	H ₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn (NN 2000)	52,1	52,5	52,9	53,3	53,8	54,2	54,6	55,0	55,4
Sirdalsvatn ved kulminasjon Sira	52,0	52,4	52,8	53,2	53,7	54,1	54,5	54,9	55,3

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, 500 og 1000 år beregnes. I tillegg skal den samtidige vannstanden i Sirdalsvatnet ved flomkulminasjon i Sira anslås. Tilløpsflommen til Sirdalsvatnet kulminerer noe tidligere enn avløpsflommen og flomvannstanden. Tabell 1 viser feltareal og naturlig normalvannføring/normalavrenning ifølge 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 normalvannføring/normalavrenning (1961-1990)

	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

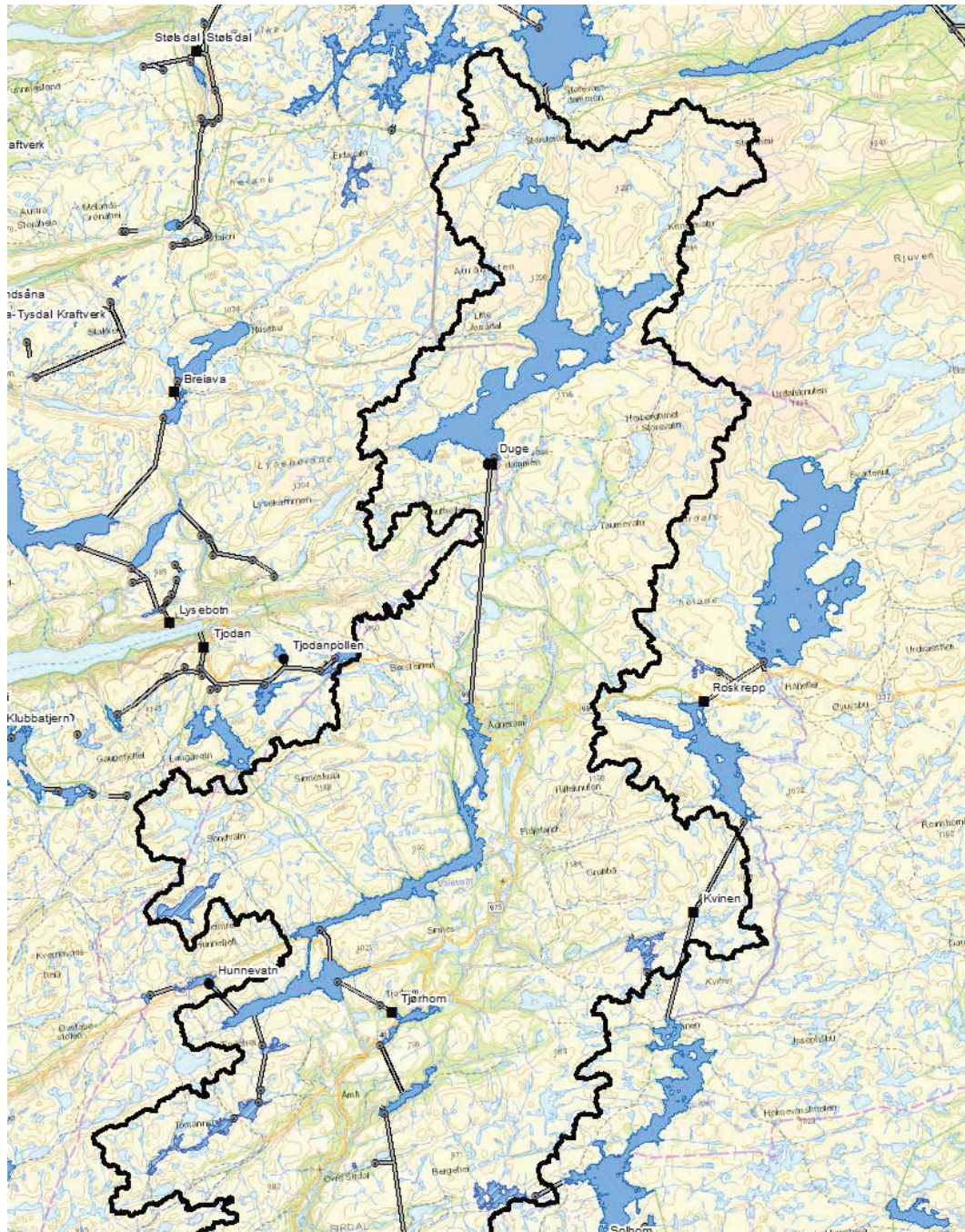
Sira har sine kilder i området der Aust-Agder, Vest-Agder og Rogaland møtes. Lengst nord i vassdraget ligger Svartevatnet, Norges fjerde største reguleringsmagasin volummessig. Høyeste regulerte vannstand er 899 m., mens laveste er 780 m. Her begynner Sira som stort sett renner i sørsørvestlig retning 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 inn 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 renner ut i Sira like oppstrøms Siras utløp i Sirdalsvatnet ved Tonstad. Senere kom enda to kraftverk til i Finsåni.

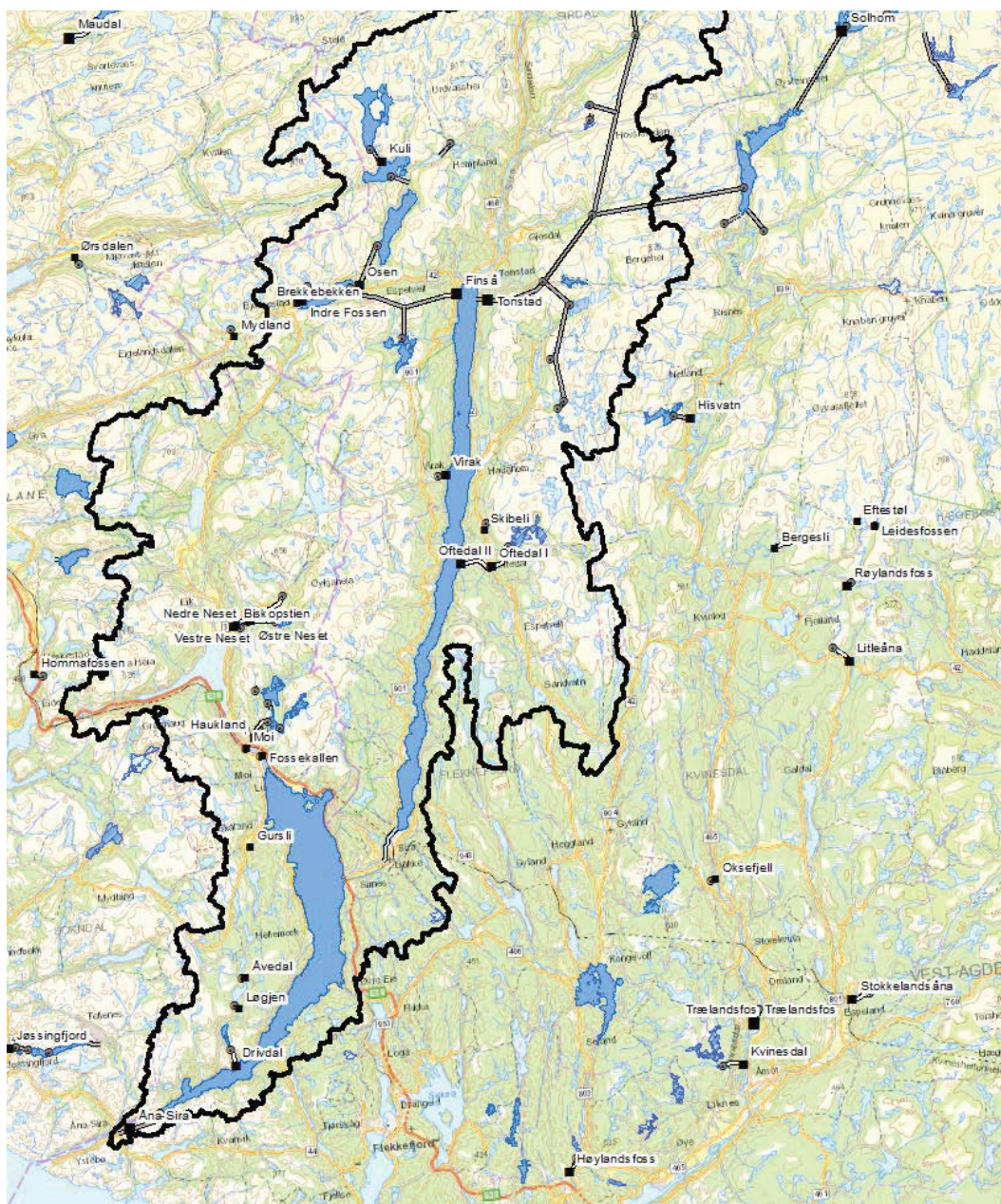
Det var i løpet av 1960-årene som den store utbyggingen av vassdraget tok til. I 1968 ble Tonstad kraftverk satt i drift, men vannet kom ikke fra Sira, men ble overført fra Kvina, nabovassdraget i øst. I løpet av 1970-årene ble Tonstad kraftverk utvidet, nå med vann fra Sira og tre nye kraftverk, Duge, 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 Sirdalsåna, gjennom Hunnevatn pumpekraftverk til Siravassdraget. Overført areal er 38,4 km² og

overføringen betyr lite for flomstørrelsene i Sira ved Tonstad. Det er også noen mindre overføringer østover fra Sira til oppstrøms Nesjenmagasinet i Kvina. Dette vannet blir senere tilbakeført gjennom Tonstad kraftverk.

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.



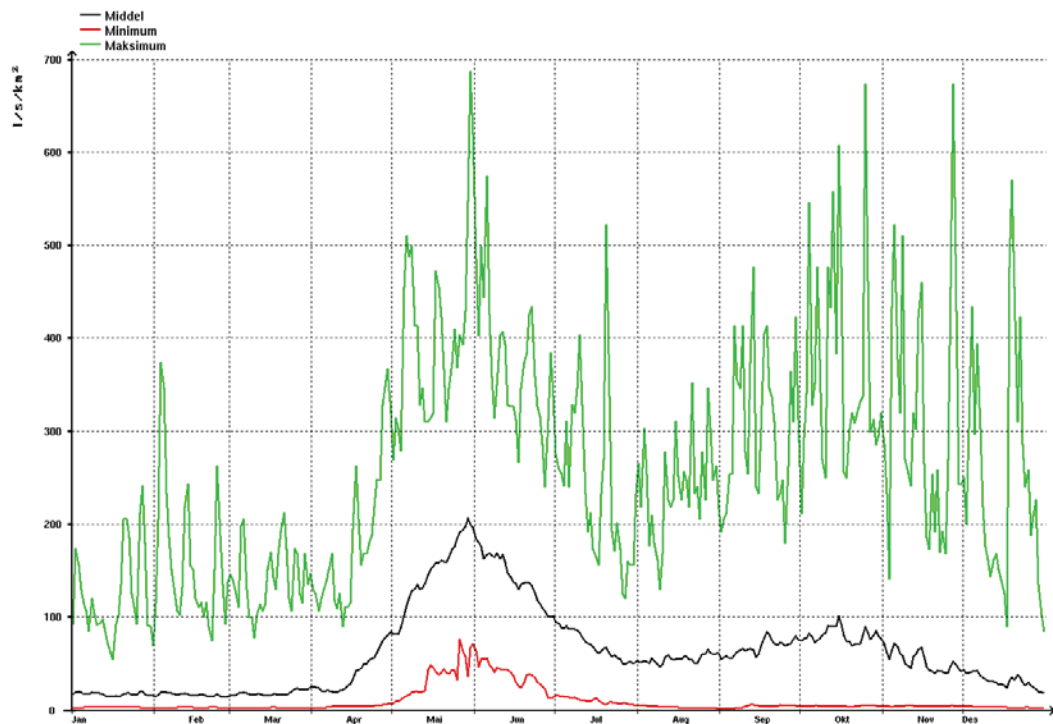
Figur 1. Kart over nordre del av Siravassdraget som viser magasiner, overføringer og kraftverk.



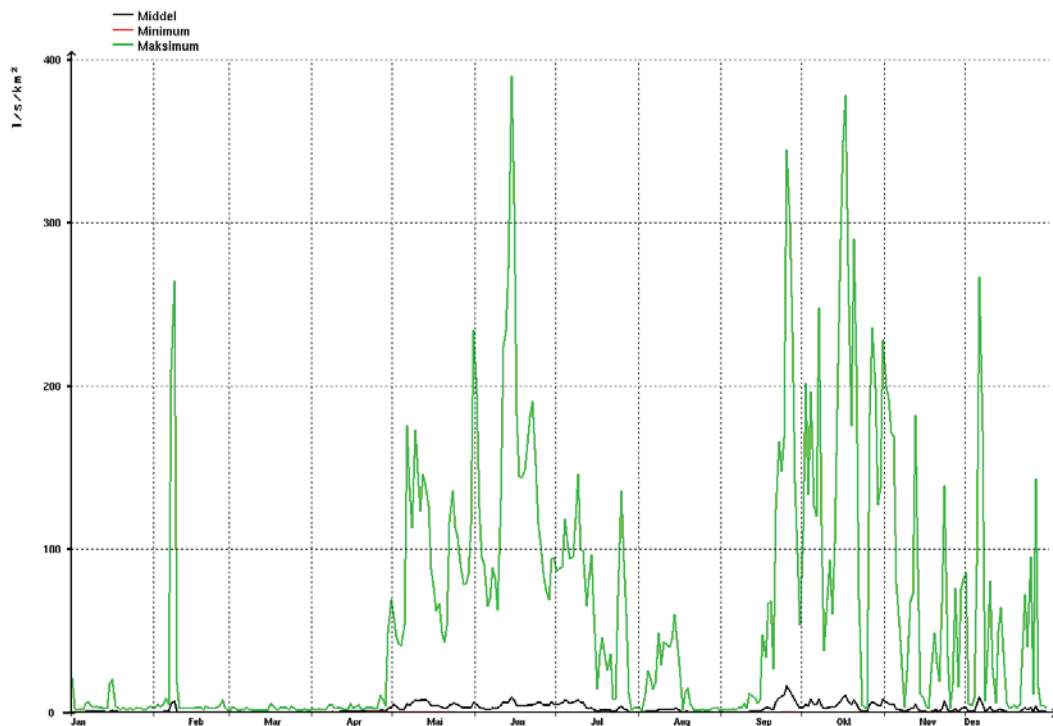
Figur 2. Kart over søndre del av Siravassdraget som viser magasiner, overføringer og kraftverk.

Den naturlige middellavrenningen 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 $76,4 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ ifølge 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 (Maksimum) i grafene viser største observerte verdier og den nederste kurven (Minimum) viser minste observerte verdier. Den midterste kurven

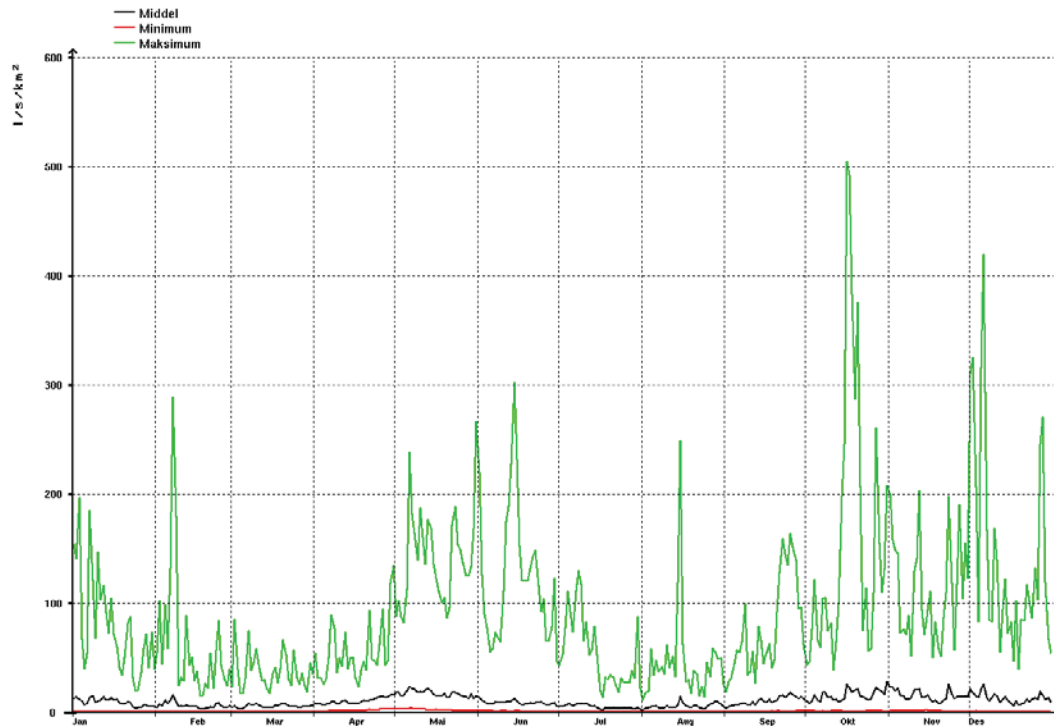
(Middel) er midlere kurve, dvs. gjennomsnittet av alle vannføringer i løpet av referanseperioden for hver enkelt dag gjennom året. Ved Dorgefoss og Regevik etter regulering ser man knapt middel- og minimumkurvene.



Figur 3. Karakteristiske vannføringer ved 26.5 Dorgefoss (1914-1969), l/s · km².



Figur 4. Karakteristiske vannføringer ved 26.5 Dorgefoss (1973-2015), l/s · km².



Figur 5. Karakteristiske vannføringer ved 26.25 Regevik (1973-2015), $\text{l/s} \cdot \text{km}^2$.

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. Målestasjoner

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 også tatt med.

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.

26.6 Lindeland lå i Sira og har observasjoner i perioden 1913-1971, men med manglende observasjoner i perioden 1932-1961. Siden høsten 1970 ble den påvirket av oppstrøms reguleringer og ble siden nedlagt.

26.7 Sirdalsvatn ble etablert i 1894 nært 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 m. Den nye stasjonen, 26.43, hadde også lokal skala, med 0-punkt 46.84 m., 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 nært 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 m.

26.10 Liland var i drift i perioden 1933-1971. Den registrerte vannføringen i en sideelv til Sira, Lilandsåni.

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 forbisliping) og altså ikke går gjennom Åna-Sira kraftverk.

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. Stasjonen ble tatt av flom i desember 2015, men kulminasjonsflommen er nivellert inn og anslått.

26.21 Sandvatn er en uregulert stasjon som ligger på østsiden av Sirdalsvatn og er antatt å beskrive uregulert tilsig til Sirdalsvatn fra dette området godt. Målestasjonen har data fra 1970 – d.d.

26.22 Deg har observasjoner siden 1971 og ligger i lokalfeltet til magasinet Valevatn. Nedbørfeltet er tilnærmet uregulert.

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. Kvaliteten på vannføringskurven er antatt usikker ved flom.

26.26 Jogla ligger i en liten uregulert sideelv ved Fidjeland. Det er målinger i perioden 1972 - d.d.

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.

26.32 Holmavatn ligger i en uregulert sideelv Storvassåni litt sør for Svartevatn og har målinger siden 1981.

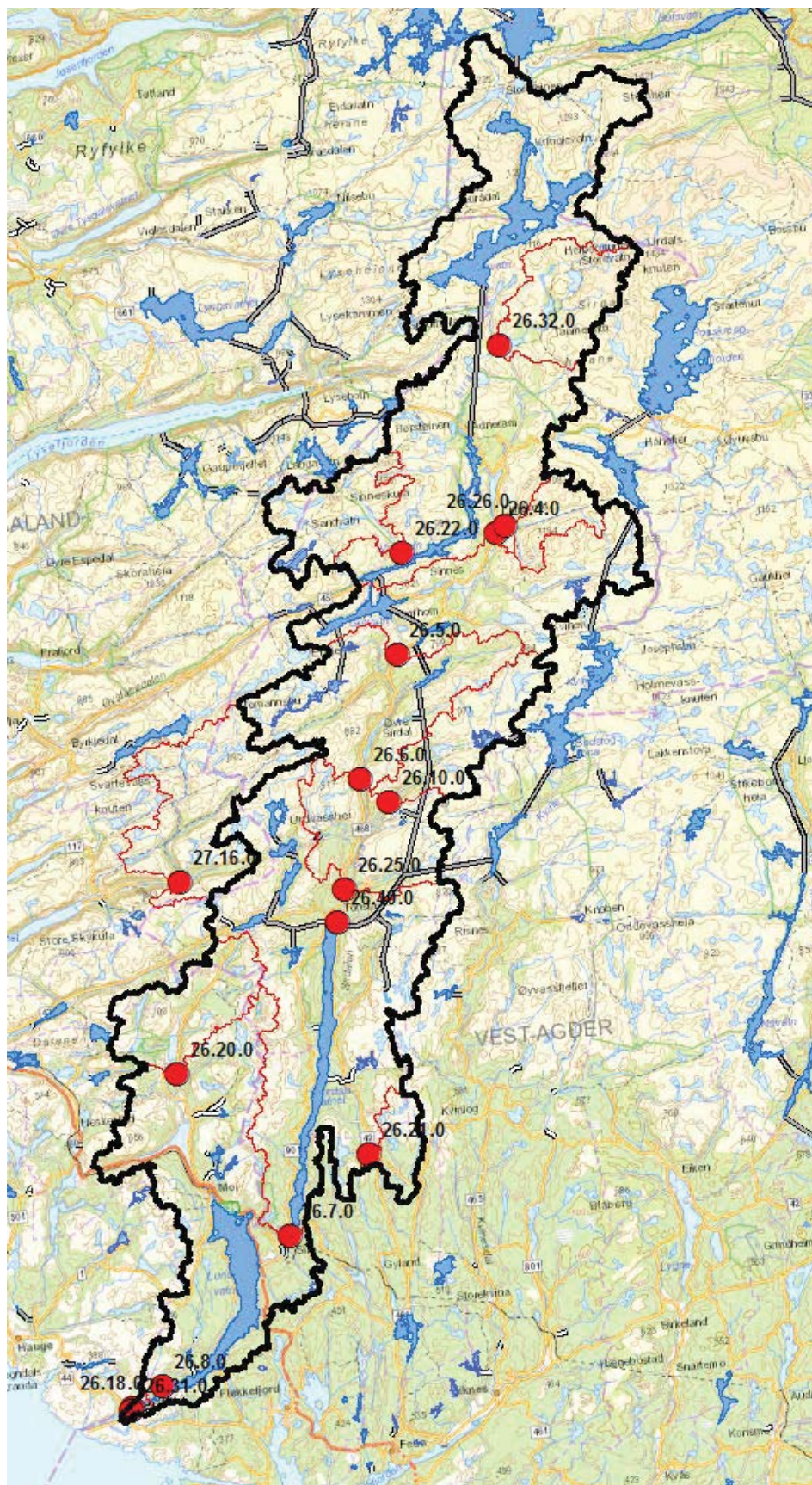
Ved målestasjonen 26.40 Tonstad kraftverk registreres driftsvannføringen i kraftverket. Dette er viktig for totaltilsiget til Sirdalsvatn.

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. Feltparametere for målestasjoner i Siravasdraget.

Målestasjon	Feltareal (km ²)	Eff. Sjø (%)	Normalavr., Q _N (l/s·km ²)*	Feltlengde (km)	Medianhøyde (m)
26.4 Fidjelandsvatn	643	2,5	80,8	41,1	938
26.5 Dorgefoss	809	0,7	76,5	51,6	906
26.6 Lindeland	963	0,5	74,2	62,4	887
26.7/43 Sirdalsvatn	1528	1,8	70,1	100	774
26.8/44 Lundevatn	1900	2,7	68,2	116	693
26.10 Liland	72,9	2,6	64,2	17,8	811
26.18 Langhølen	1901	2,7	68,2	117	692
26.20 Årdal	77,3	2,3	68,1	13,1	478
26.21 Sandvatn	27,5	2,4	62,1	6,3	470
26.22 Deg	69,0	2,9	95,3	11,9	957
26.25 Regevik	1128	0,4	72,6	71,6	853
26.26 Jogla	31,1	0,1	70,5	8,1	1002
26.31 Åna-Sira krv.	1902	2,7	68,2	118	692
26.32 Holmavatn	79,0	2,7	77,9	14,0	1005
26.40 Tonstad krv.	Største driftsvannføring: ca. 253 m ³ /s				
27.16 Bjordal	124	0,3	92,3	16,5	719

* Normalavrenningen er funnet fra avrenningskartet for perioden 1961 – 1990.



Figur 6. Aktuelle målestasjoner i eller nær Siravassdraget.

4. Flomdata

Tabell 3 viser de største observerte flommene, døgnmiddelvanntføring, ved 26.5 Dorgefoss før og etter regulering. Reguleringene har ført til betydelig reduserte flomstørrelser. Medianflommen er redusert fra rundt 300 m³/s ved uregulerte forhold til 27 m³/s etter regulering. Flommen i 2015 var på 215 m³/s. Det er antatt at flommene er relativt sett redusert mest for flommer med lave gjentakintervall, men at reduksjonen også er merkbar for de største gjentakintervallene.

Tabell 3. Observerte flommer ved 26.5 Dorgefoss, døgnmiddelvanntføringer.

Før regulering 1913-1970		Etter regulering 1971-2016	
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

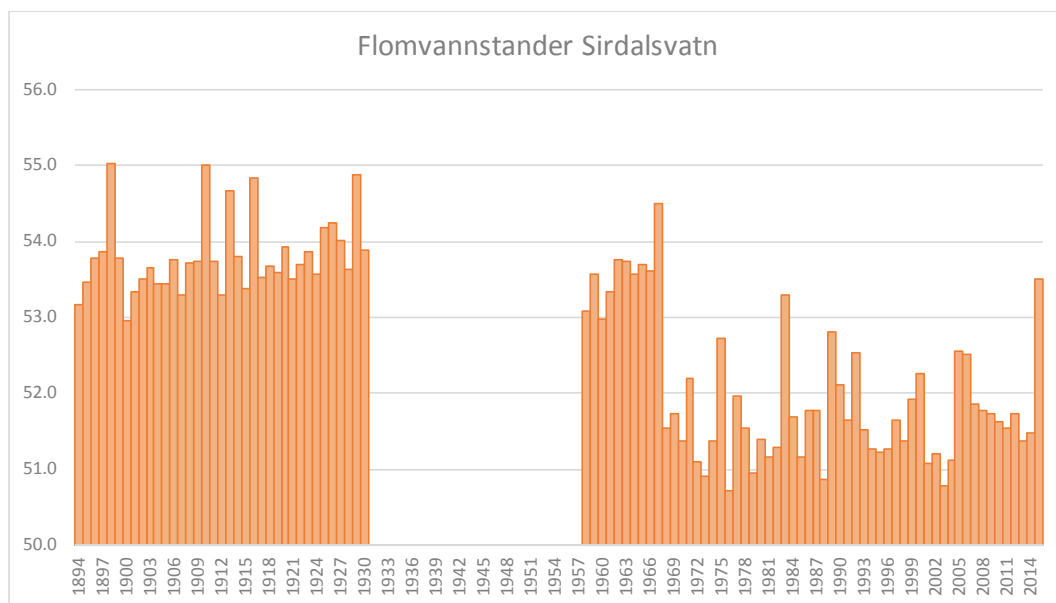
Tabell 4 viser de største observerte flommene, kulminasjonsvanntføring, ved 26.25 Regevik, alle etter regulering.

Tabell 4. Observerte flommer ved 26.25 Regevik, kulminasjonsvanntføringer.

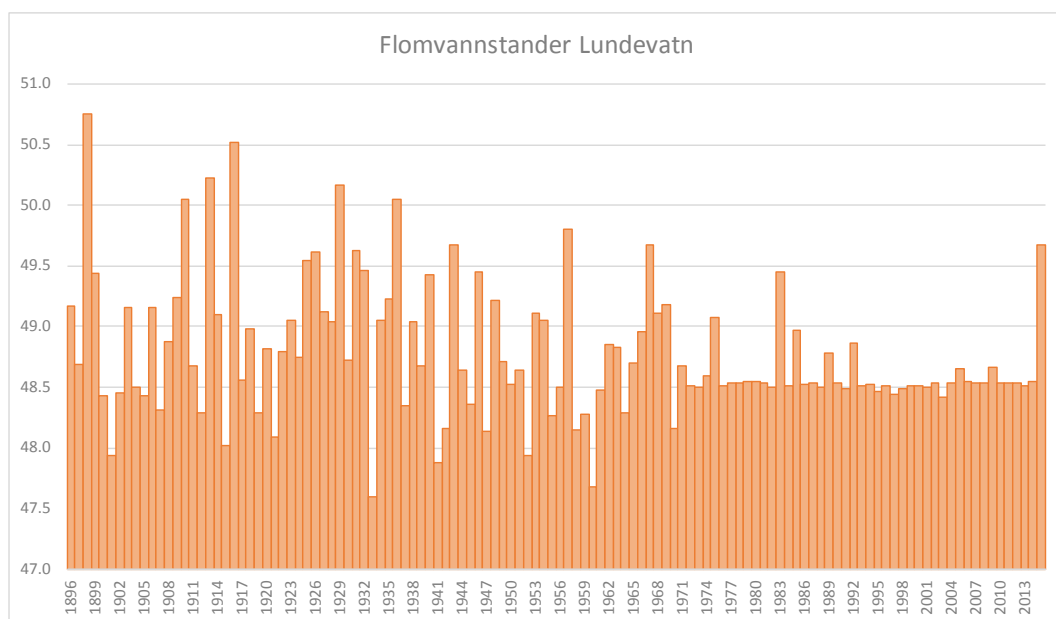
Etter regulering 1973-2016	
dato	m ³ /s
16.10.1983	660
06.12.2015	592
07.02.1989	447
02.12.1992	403
15.08.1979	400

Flommen i september 1975 var sannsynligvis større enn 400 m³/s ved Regevik. Observasjonen i 1983 er rekonstruert ut fra nivellering da målestasjonen ble tatt av flommen. Ut fra hydrogrammet kan det se ut til at flommen i 2015 har «gått i taket» en kort periode rundt kulminasjonen, og at høyeste vannstand ikke er registrert. Det er allikevel antatt at 592 m³/s er nokså riktig (e-post: Jan Ovedal, Sira-Kvina).

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. Flom vannstander (m, NN1954) i Sirdalsvatnet, døgnmiddelverdier. Senkningen av utløpet til Sirdalsvatn har virkning fra rundt 1968.



Figur 8. Flomvannstander (m, NN1954) i Lundevatnet, døgnmiddelverdier.

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 6. desember 2015 og var 53,50 m (døgn) og 53,81 m (kulminasjon). Verdiene er avlest manuelt rundt kulminasjonen, og er til å stole på (e-post: Jan Ovedal, Sira-Kvina). Ut fra en konstruert vannføringskurve for Sirdalsvatn etter senkning (Vassdrags- og havnelaboratoriet, 1967), er største vannføring i 2015 (kulminasjon) anslått til drøyt 900 m³/s. I 1983 ble det registrert en vannstand på 53,3 m og estimert vannføring er rundt 780 m³/s.

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

Vannstand, NN1954 (1894-2015)		Vannføring (1894-1967)	
dato	m	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. Den høyeste flomvannstanden etter regulering fant sted 7. desember 2015 og var 49,67 m. Observasjoner mangler under flommen i 2015 ved 26.18 Langhølen. Ut fra kapasitetskurven (Norconsult, 2010) ved dam Lundevatn og drift i kraftverket er vannføringen (kulminasjon) grovt anslått til 1020 m³/s.

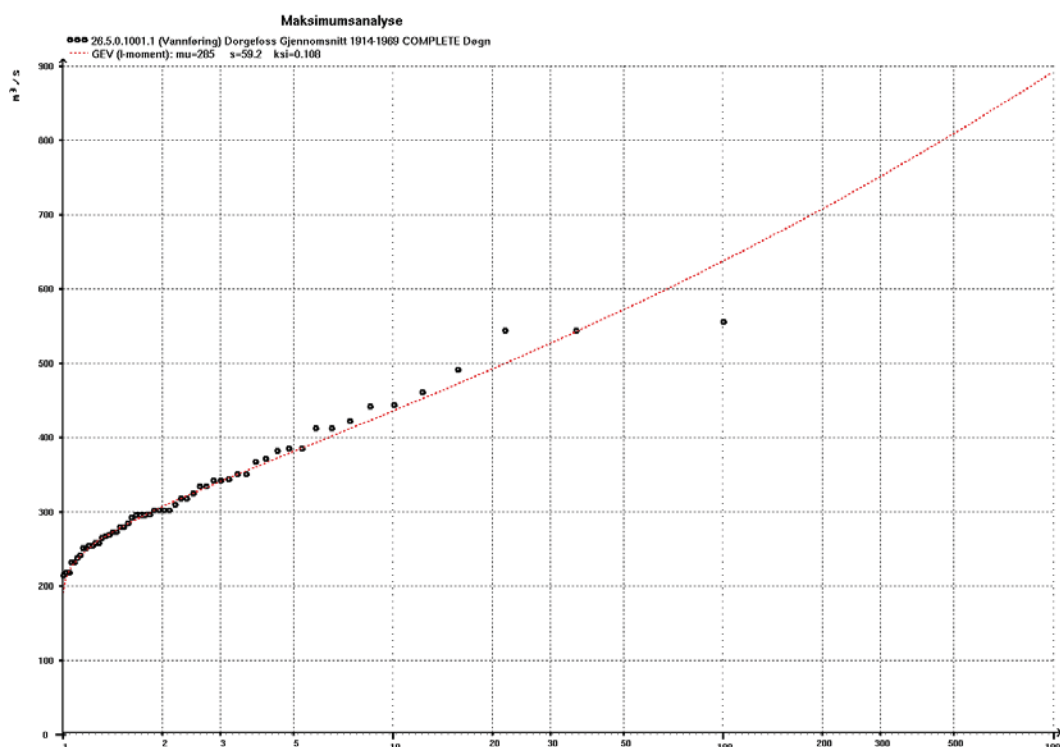
Tabell 6. Observerte flommer ved 26.8/26.44 Lundevatn og 26.18 Langhølen/ 26.31 Åna-Sira kraftverk, døgnmiddelverdier.

Vannstand, NN1954 (1896-2015)		Vannføring (1896-2014)	
dato	m	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

De høye vannstandene i både Sirdalsvatn og Lundevatn antyder at det har vært et svært stort tilsig fra lokalfeltene i nedre deler av vassdraget under flommen i 2015.

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.

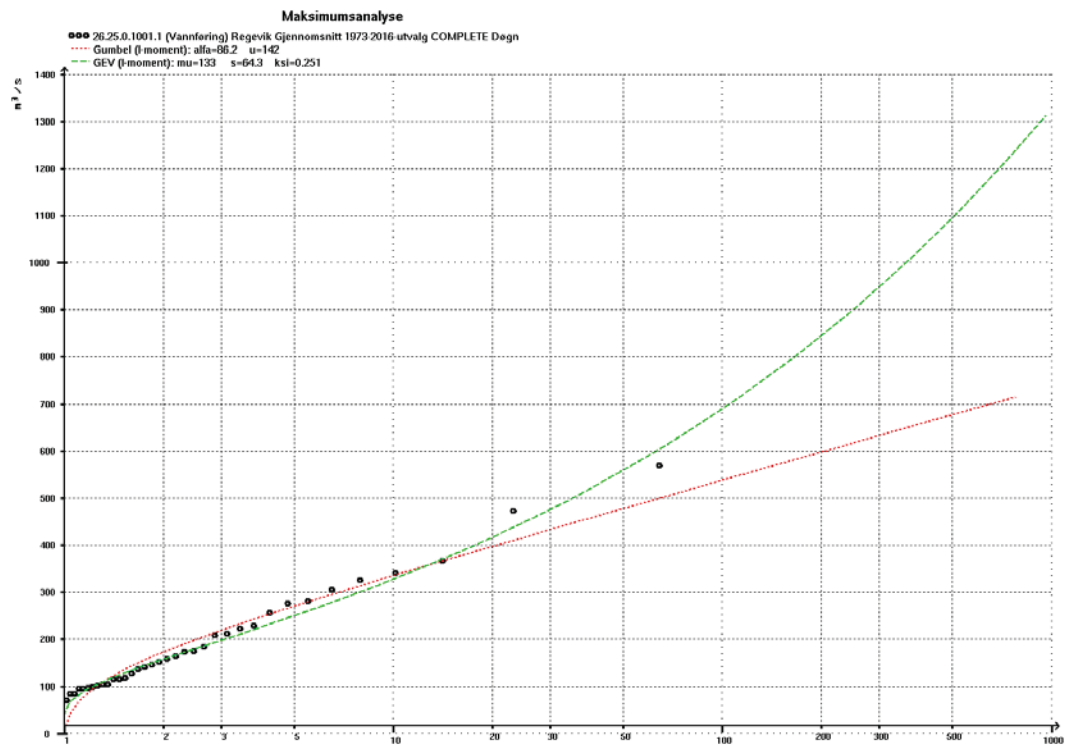


Figur 9. Flomfrekvensanalyse for 26.5 Dorgefoss (1914-1969), døgnmiddelverdier av års flommer.

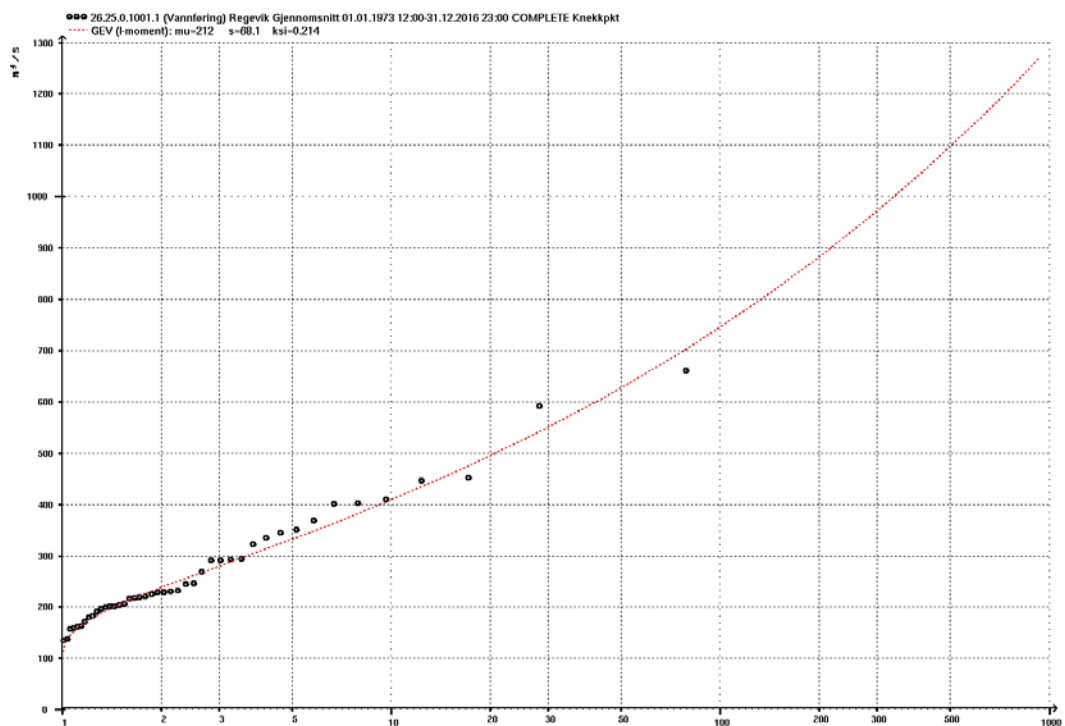
Flomdata fra 26.25 Regevik er representative for forholdene etter regulering. Figur 10 og 11 viser flomfrekvensanalysen for denne stasjonen, som er utført på hhv. døgnmiddel- og kulminasjonsvannføringer. Det er valgt å anvende snittet av frekvensanalysene for Gumbel- og GEV-fordelingen for døgnmiddelverdier og GEV-fordelingen for kulminasjonsvannføringer. GEV-fordelingen gir høye forholdstall for store gjentakintervall, og det er mulig dette er en konservativ antakelse. I regulerte vassdrag er det allikevel ofte større forholdstall ved store gjentakintervaller, og det er derfor valgt å bruke resultatene fra GEV-fordelingen videre.

Det er utført frekvensanalyse på flomvannstander i Sirdalsvatnet før og etter reguleringen. Se figur 12 for tilpasningen etter senkning og regulering. Frekvensanalyser direkte på flomvannstander er usikre og bør benyttes med forsiktighet.

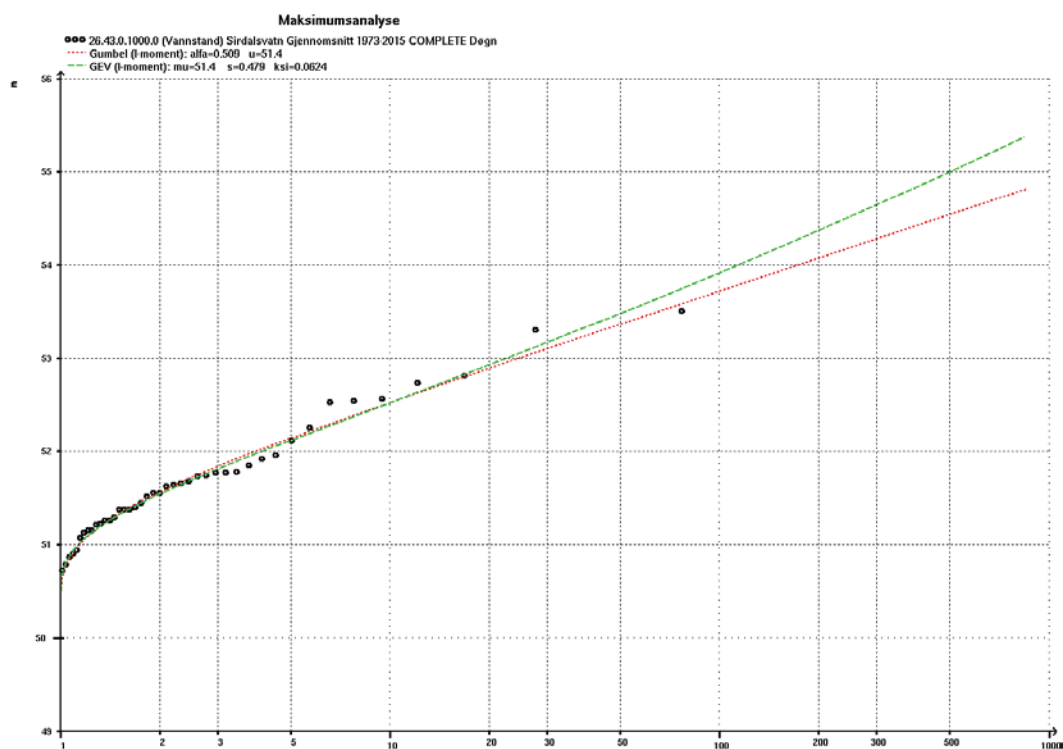
Resultatene av flomfrekvensanalysene er vist i tabell 7, hvor middelflom og forholdstallene Q_T/Q_M er presentert. Flomfrekvensanalyse av vannstander i Sirdalsvatnet er vist i tabell 8.



Figur 10. Flom frekvensanalyse for 26.25 Regevik (1973-2016), årsflommer (døgnmiddel).



Figur 11. Flom frekvensanalyse for 26.25 Regevik (1972-2016), årsflommer (kulminasjon).



Figur 12. Flom frekvensanalyse for 26.43 Sirdalsvatn (1973-2015), døgnmiddelvannstander.

Tabell 7. Flom frekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner.

Målestasjon	Periode	Ant. år	Areal km ²	Q _M		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
				l/s · km ²	m ³ /s								
26.4 Fidjelandsvatn	1920-1971	52	643	404	256	1,17	1,33	1,49	1,72	1,90	2,09	2,36	2,59
26.5 Dorgefoss	1914-1969	56	809	403	326	1,17	1,34	1,51	1,75	1,95	2,17	2,48	2,74
26.6 Lindeland	1913-1970	28	963	377	363	1,19	1,36	1,51	1,73	1,89	2,05	2,27	2,44
26.10 Liland	1934-1970	37	72.9	362	26,4	1,13	1,23	1,33	1,46	1,55	1,65	1,78	1,87
26.18 Langhølen	2005-2016	-	1901	Se målestasjon 26.31 Åna-Sira krv.									
26.20 Årdal	1970-2014	45	77.3	613	47,4	1,17	1,36	1,57	1,88	2,15	2,45	2,91	3,32
26.21 Sandvatn	1971-2016	46	27.5	499	13,7	1,17	1,37	1,59	1,93	2,23	2,58	3,12	3,60
26.22 Deg	1972-2015	37	70,0	426	29,8	1,13	1,26	1,39	1,58	1,74	1,91	2,16	2,36
26.25 Regevik	1973-2016	36	1128	170	192	1,36	1,73	2,13	2,71	3,21	3,77	4,63	5,39
26.25 Regevik (kulm)	1972-2016	44	1128	239	270	1,23	1,52	1,84	2,33	2,77	3,27	4,07	4,79
26.26 Jogla	1973-2016	44	31.1	640	19,9	1,22	1,40	1,58	1,80	1,97	2,14	2,36	2,52
26.31 Åna-Sira krv.	1973-2016	29	1900	253	480	1,26	1,47	1,68	1,94	2,14	2,33	2,59	2,79
26.32 Holmavatn	1982-2016	33	79	447	35,3	1,22	1,42	1,61	1,86	2,05	2,24	2,51	2,71
27.16 Bjordal	1985-2016	32	124	789	97,9	1,21	1,40	1,60	1,89	2,15	2,43	2,87	3,25

Tabell 8. Flom frekvensanalyser på vannstander i Sirdalsvatn, før og etter regulering. Høyder er gitt i NN1954.

Målestasjon	Periode	Ant. år	Areal km²	H_M m	H₅ m	H₁₀ m	H₂₀ m	H₅₀ m	H₁₀₀ m	H₂₀₀ m	H₅₀₀ m	H₁₀₀₀ m
26.7/43 Sirdalsvatn	1973-2015	43	1528	51,67	52,14	52,52	52,89	53,37	53,72	54,08	54,54	54,90
26.7/43 Sirdalsvatn	1895-1972	50	1528	53,87	54,25	54,56	54,86	55,25	55,54	55,83	56,22	56,51

6. Beregning av flomverdier

6.1 Døgnmiddelvannføringer i Sira

For å anslå verdiene for uregulerte flommer ved Regevik nært Tonstad, benyttes uregulerte målestasjoner eller uregulert observasjonsperiode i vassdraget oppstrøms Sirdalsvatn. Uregulert middelflom (døgnmiddel) ligger ved disse i størrelsesorden fra 360 – 450 l/s·km². Ved Dorgefoss og Lindeland, som antas å være mest representative, er middelflommen henholdsvis 403 og 377 l/s·km². Ser vi på mindre målestasjoner som ligger i nærheten av Sirdalsvatn, har disse større spesifikke middelflokker.

Høstflommer antas å være dominerende i Sira etter regulering. Store vårflokker vil dempes mer i reguleringsmagasinene, mens store høstflommer i mindre grad vil dempes på grunn av at magasinene vanligvis vil ha høyere fyllingsgrad om høsten enn våren. I følge regionalt formelverk (Sæthun m.fl., 1997) ligger Sira i grenseområdet mellom Høstflomregion 1 og 3. De regionale flomformlene for beregning av middelflom Q_M for disse to regionene er:

$$H1 \quad \ln Q_M = 1,2805 \cdot \ln Q_N - 0,2267 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0664 \cdot A_{SE} + 0,0053 \cdot S_T + 1,00$$

$$H3 \quad \ln Q_M = 1,2014 \cdot \ln Q_N - 0,0819 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0268 \cdot A_{SE} + 0,0013 \cdot S_T + 1,07$$

Resultater basert på formlene over er som vist i tabell 9.

Tabell 9. Middelflom, Q_M basert på flomformler, døgnmiddel i l/s·km².

26.5 Dorgefoss		26.25 Regevik		Sira ndf. Finsåni	
H1	H3	H1	H3	H1	H3
378	425	362	401	359	401

Ifølge flomformlene er spesifikk middelflom noe mindre ved Regevik enn ved Dorgefoss. Observert middelflom ved Dorgefoss og Lindeland er henholdsvis 403 l/s·km² og 377 l/s·km², se tabell 7. Spesifikk middelflom ved Regevik, uregulerte forhold, antas å ligge et sted mellom Dorgefoss og Lindeland og anslås derfor til 390 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 (døgnmiddel) for Sira ved Regevik under uregulerte forhold som vist i tabell 10.

Tabell 10. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for Sira, døgnmiddelvannføringer ved uregulerte forhold.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q_M		Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira v/Regevik	1128	390	440	514	588	664	772	860	955	1091	1203

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 Sælthun m.fl. (1997). Historiske flommer for uregulerte forhold ved Dorgefoss viser at datagrunnlaget består av en blanding av vår- og høstflommer. Ligningene for vår- og høstflommer er:

$$\text{Vår: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log(A) - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5}$$

$$\text{Høst: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log(A) - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5}$$

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

Med et feltareal på 1128 km² og effektiv sjøprosent på 0,40 blir forholdstallet kulminasjon/døgnmiddel for vår- og høstflommer henholdsvis 1,12 og 1,23 for Sira ved Regevik. Gjennomsnittet er 1,18.

Ved flomfrekvensanalysen for 26.25 Regevik ved regulerte forhold viste det seg at forholdstallet kulminasjon/døgnmiddel minket fra ca. 1,4 ved middelflom til 1,25-1,20 ved store flommer. Under Synne i 2015 var forholdstallet 1,25. Det ventes økende bidrag fra oppstrøms magasiner/arealer og et mer utjevnnet forløp ved de største flommene. Dette er med på å sannsynliggjøre at forholdstallet 1,18 kan være representativt for uregulerte forhold.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentakintervall ved Regevik er vist i tabell 11. Verdiene for regulerte forhold er hentet fra flomfrekvensanalysen i tabell 7.

Tabell 11. Flomverdier for Sira ved Regevik uregulerte og regulerte forhold, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Regevik (ureg.)	1128	460	519	607	694	784	911	1015	1127	1287	1420
Regevik (reg)	1128	239	270	333	409	495	628	(746)	(883)	(1098)	(1291)
Redusert flom	1128	-	249	274	284	288	283	269	244	190	129
Redusert flom (%)	1128	-	48	45	41	37	31	26	22	15	9

Som vi ser av tabell 11 er flommene i Sira redusert etter reguleringen, spesielt på korte gjentakintervall. Ved store flommer kan det ikke regnes med at flomreduksjonen er så stor, og vi ser at flomfrekvensanalysen på regulert serie gradvis nærmer seg uregulerte forhold ved store gjentakintervall. Reguleringseffekten ser ut til å avta med økende flomstørrelse, noe som er en vanlig antakelse i flomberegninger for regulerte vassdrag i forbindelse med flomsonekart.

Det er rimelig å anta at flomverdiene beregnet ut fra regulerte data er representative opp til kanskje 50 års gjentakintervall for dagens situasjon siden observasjonsserien er relativt lang med 44 år. Ved større gjentakintervall vil ikke nødvendigvis flomfrekvensanalysen for regulerte forhold gjelde. Det er gjort et noe konservativt valg mht. tilpasset frekvensfordeling og som nevnt over nærmer denne seg den uregulerte

analysen. Det er derfor valg å benytte denne som representativ også for større gjentaksintervaller.

I Norconsult (2010) ble dimensjonerende flom (Q_{1000}) beregnet for Tjørhom-magasinet. Avløpsflommen ble beregnet til hhv. 930 m³/s (Tonstad krv. ute av drift) og 783 m³/s (Tonstad krv. i full drift). Dette er i størrelsesorden med hva som er beregnet som uregulert 1000-årsflom (døgnmiddel) ved Dorgefoss før regulering. Magasinet Tjørhom er det nederste av flere magasiner i Sira oppstrøms Regevik og ligger rett oppstrøms Dorgefoss.

Ut fra dette kan det se ut til at det blir en liten økning av 1000-årsflommen i forhold til uregulerte forhold ved Dorgefoss hvis kraftverket står, og en reduksjon på rundt 100 m³/s hvis det driftes for fullt. Hvis man videre antar noe større reduksjon ned til Regevik grunnet diverse inntak og overføringer samt konservative antakelser i beregninger i forbindelse med damsikkerhet, anslås det at reguleringen i vassdraget reduserer en 1000-årsflom med rundt 150 m³/s ved Regevik. Siden vi har i underkant av 50 år med regulerte data, benytter vi disse til å beregne flommer opp t.o.m. 50 år, før det antas en stegvis tilnærming mot uregulerte forhold.

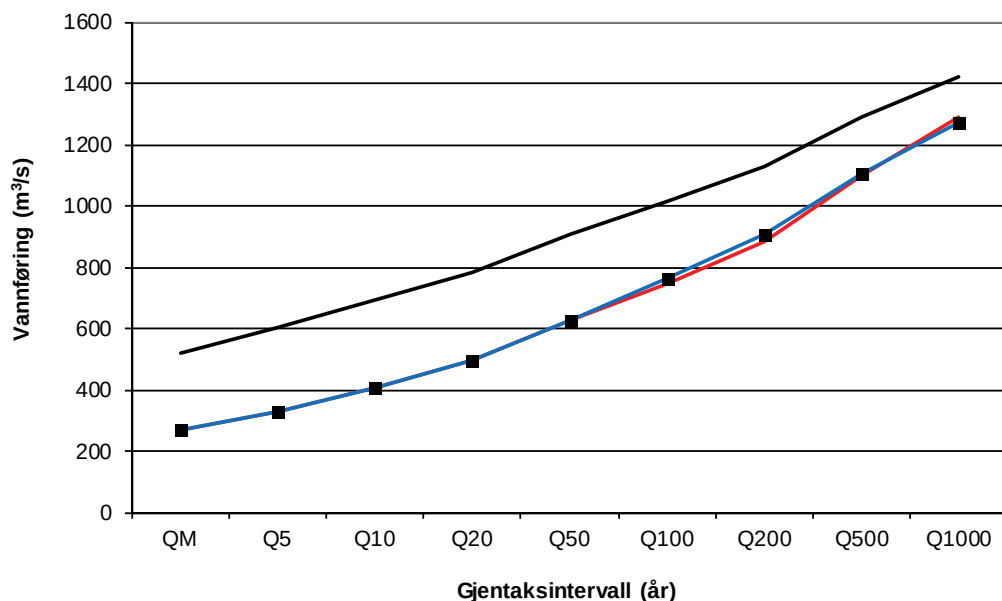
Ved bruk av denne tilnærmingen, ser vi at det ikke er så stor forskjell om vi benytter flomfrekvensanalyser på regulerte data sammen med et konservativt valg av fordelingsfunksjon eller stegvis tilnærming mot uregulerte forhold. Det velges å gå videre med sistnevnte variant. Flomstørrelsene ved Regevik blir da som gitt i fet skrift i tabell 12.

Disse vannføringsverdiene kan antas å være representative for Sira oppstrøms samløpet med Finsåni, der arealet har økt med 17 km² til 1145 km² fra Regevik. Finsåni bidrar med vannføring fra et felt på ca. 90 km² pluss noe overført areal. Feltet inneholder flere magasiner. Ved drift av kraftverket føres driftsvannet (maks. 9 m³/s) 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 del av Sira. Det er sett på vannføringer ved målestasjonen 26.20 Årdal som opptrer samtidig med store flommer ved 26.25 Regevik. Det var ikke mulig å finne en god sammenheng ut fra observerte vannføringer. Flommene ved Regevik er derfor skalert mht. forskjell i feltareal (ca. 9 prosent) til nedenfor Finsåni. Det er antatt at dette er nøyaktig nok sett i lys av den store spredningen i samtidige vannføringer på de to stedene under flom.

Tabell 12. Flomverdier for Sira ved Regevik, kulminasjonsvannføringer. Rad med fet skrift er antatt gjeldende for dagens forhold (etter regulering).

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira v/Regevik ureg.	1128	460	519	607	694	784	911	1015	1127	1287	1420
Sira v/Regevik reg.	1128	239	270	333	409	495	628	765	910	1103	1270
Redusert flom	1128	-	249	274	284	288	283	250	217	184	150
Redusert flom (%)	1128	-	48	45	41	37	31	25	19	14	11



Figur 12. Flomverdier for Sira ved Regevik, kulminasjonsvannføringer. Sort kurve viser uregulerte forhold, rød kurve viser "regulerte forhold", mens blå kurve, markert med punkter, antas å representere regulerte forhold også ved store gjentaksintervall.

Det benyttes samme prosentverdi ved alle flommer. Resulterende flomverdier er vist i tabell 13. Det må understrekes at forskjellen i flommer opp- og nedstrøms samløpet med Finsåni ikke representerer reelle gjentaksintervaller på flomvannføringer i Finsåni. Dette skyldes at flomtoppene normalt ikke vil være sammenfallende i tid. Flomverdiene vil være større når man ser på Finsåni isolert.

Tabell 13. Flomverdier for Sira ved Tonstad, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira oppstrøms Finsåni	1145	270	333	409	495	628	765	910	1103	1270
Sira nedstrøms Finsåni	1235	294	363	446	540	685	834	992	1202	1384

Dette betyr at bidraget fra Finsåni ved midlere flom i Sira er 24 m³/s eller 267 l/s·km² og ved 200-årsflom i Sira er bidraget fra Finsåni 82 m³/s eller 911 l/s·km². Til sammenligning kan nevnes at 26.20 Årdal har en midlere flom, døgnmiddel, på omkring 600 l/s·km².

6.3 Vannstander i Sirdalsvatnet

Norconsult (2010) er tilløpsflommen (Q_{1000}) til Sirdalsvatnet, ved beregning av dimensjonerende flom for Lundevatn, beregnet til ca. 1600 m³/s. Dvs. at denne nok skal være noe større om beregningspunktet er Sirdalsvatn. I dette inngår drift av Tonstad kr. og hvorav overført vann fra Kvina er antatt å utgjøre ca. 125 m³/s. Noe av dette vannet kan nok regnes som tidligere fraført vassdraget gjennom bekkeinntaket til Kvinen kraftverk og overføringene av Ånghellervatn og Guddilsvatn til Kvinavassdraget.

Tabell 8 viser flomvannstander med forskjellige gjentakintervall i Sirdalsvatnet ut fra en frekvensanalyse på vannstander og er gjengitt i tabell 14.

I Norconsult (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. Se tabell 15. Vannføringskurven er ekstrapolert etter skjønn på de høyeste vannstandene og avledede vannføringer inneholder dermed noe ekstra usikkerhet.

Tabell 14. Flom vannstander i Sirdalsvatnet, NN1954.

	H _M m	H ₅ m	H ₁₀ m	H ₂₀ m	H ₅₀ m	H ₁₀₀ m	H ₂₀₀ m	H ₅₀₀ m	H ₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn (Norconsult, 2010)	-	-	-	-	-	-	-	-	(54,10)
Sirdalsvatn (FFA 2017 ¹)	51,67	52,14	52,52	52,89	53,37	53,72	54,08	54,54	54,90

¹ Vannstander funnet ved frekvensanalyse av vannstander i 2017

Tabell 15. Avløpsflommer fra Sirdalsvatn.

	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
Sirdalsvatn avløpsflom	440	520	590	680	810	900	1020	1160	1300

Nye frekvensanalyser på vannstanden i Sirdalsvatn gir vesentlig høyere vannstand nå sammenlignet med Pettersson (2010). Dette skyldes i hovedsak en meget høy vannstand under flommen i 2015. Denne flommen indikerer at tidligere beregnet vannstand i Pettersson (2010) og Norconsult (2010) er noe lav. Frekvensanalyser direkte på vannstander er antatt å være mer usikkert enn på vannføringer, da formen på vannføringskurven ikke blir tatt hensyn til når verdiene ekstrapoleres mot ekstremene. Når vi ser på avledede avløpsflommer, virker disse allikevel til å være troverdige. Vi velger derfor å benytte verdiene direkte fra frekvensanalysene på vannstanden.

Vannstanden i Sirdalsvatn ved kulminasjon i Sira ved Regevik

I tillegg til flomvannstandene ved forskjellige gjentakintervall 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 kun vannstandsdata med finere tidsoppløsning enn døgnet fra 26.43 Sirdalsvatn etter 2005. 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. 0,5 og 1,5 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. Under Synne i 2015 steg vannstanden med bare rundt 0,1 meter etter kulminasjonen i Sira ved Regevik. Dette skyldes nok i noe grad at Tonstad kraftverk ble stoppet rett i forkant av kulminasjonen i Sirdalsvatnet.

Ut fra at det er stor forskjell i økningen i vannstanden mellom ulike hendelser, er det vanskelig å gi et godt svar på dette. Det er naturlig å legge vekt på den største hendelsen vi har gode data for, dvs. flommen i 2015. Vi antar derfor at vannstanden i Sirdalsvatnet er 0,1 m lavere enn tilhørende kulminasjonsvannstand når flommer med forskjellige gjentaksintervall kulminerer i Sira. I mange tilfeller vil nok dette være en konservativ antakelse, men er det som ble observert i 2015.

6.4 Sammenligning med tidligere flomberegning

I Pettersson (2010) ble det utarbeidet en flomberegning for Sira ved Tonstad. Svært høy observert vannstand i Sirdalsvatn under ekstremværet Synne i 2015 gjorde at det er behov for å oppdatere denne. Oppdaterte analyser gir vesentlig høyere vannstand i Sirdalsvatn, samt noe større flommer i Sira ved Tonstad.

Tabell 16. Flomverdier for Sira ved Tonstad, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira (FFA 2017)	1235	294	363	446	540	685	834	992	1202	1384
Sira (Pettersson, 2010)	1235	285	360	425	485	565	715	875	1075	1242

Endringene i flomverdiene på drøyt 100 m³/s ved en 200-årsflom skyldes i hovedsak et annet valg av frekvensfordeling ved uregulerte forhold i Sira. I tillegg påvirker observert vannføring i 2015 frekvensanalysen i regulert periode.

Tabell 17. Flom vannstander i Sirdalsvatnet, NN1954.

	H _M m	H ₅ m	H ₁₀ m	H ₂₀ m	H ₅₀ m	H ₁₀₀ m	H ₂₀₀ m	H ₅₀₀ m	H ₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn (Norconsult, 2010)	-	-	-	-	-	-	-	-	(54,10)
Sirdalsvatn (FFA 2017)	51,67	52,14	52,52	52,89	53,37	53,72	54,08	54,54	54,90
Sirdalsvatn (Pettersson, 2010)	51,64	52,12	52,44	52,73	53,08	53,32	53,54	53,82	54,03

Nye analyser gir vesentlig høyere vannstander på høye gjentaksintervall i Sirdalsvatn sammenlignet med Pettersson (2010). Observert vannstand under flommen i 2015 er nå estimert til å ha et gjentaksintervall på rundt 100 – 200 år, mens analysene i 2010 ville gitt et gjentaksintervall på rundt 500 år. Sett i lys av observasjoner ved flere målestasjoner for nedbør og vannføringsstasjoner, virker nye analyser å gi et mer realistisk anslag på gjentaksintervallet i Sirdalsvatn under ekstremværet Synne.

6.5 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

I henhold til NVEs klimastrategi (Hamarsland, 2015) skal det tas hensyn til et endret klima for tiltak med lang levetid. For eksempel ved å ta hensyn til endringer i flomstørrelser ved arealplanlegging og bygging/ombygging av viktig infrastruktur.

I Lawrence (2016) samt Hanssen Bauer m.fl., (2015) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall.

I Lawrence (2016) er det gjort spesifikke anbefalinger for elvestrekninger som er flomsonekartlagt. For Sira ved Tonstad er det anbefalt et klimapåslag på 20 %. Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) blir dermed som i Tabell 16 og vannstander i Sirdalsvatn som i tabell 17. Det anbefales at estimerte vannstander i Sirdalsvatn sjekkes opp mot en hydraulisk modell, siden vannføringskurven er ekstrapolert mye utover modellert kurve.

Tabell 18. Flomverdier med klimapåslag (20%) for Sira ved Tonstad, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Sira oppstrøms Finsåni	1145	324	400	491	594	754	918	1092	1324	1524
Sira nedstrøms Finsåni	1235	353	436	535	648	822	1001	1190	1442	1661

Tabell 19. Flom vannstander i Sirdalsvatnet med klimapåslag (20%), NN1954.

	H _M m	H ₅ m	H ₁₀ m	H ₂₀ m	H ₅₀ m	H ₁₀₀ m	H ₂₀₀ m	H ₅₀₀ m	H ₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn	52,2	52,6	53,0	53,4	53,9	54,3	54,7	55,1	55,5
Sirdalsvatn ved kulminasjon Sira	52,1	52,5	52,9	53,3	53,8	54,2	54,6	55,0	55,4

6.6 Vannstander konvertert til NN2000

Ved overgang fra høydesystem i NN1954 til NN2000 må høyder gitt i NN1954 reduseres med 9 cm. Pga. at høyder for Sirdalsvatn gitt i NVEs database er i NN1954 er alle analyser utført med utgangspunkt i dette. Resultatene gitt her og i sammendraget er fratrasket 9 cm slik at de er presentert i NN2000. Dette gir følgende vannstander for Sirdalsvatn:

Tabell 20. Flom vannstander i Sirdalsvatnet, NN2000.

	H _M m	H ₅ m	H ₁₀ m	H ₂₀ m	H ₅₀ m	H ₁₀₀ m	H ₂₀₀ m	H ₅₀₀ m	H ₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn (FFA 2017 ¹)	51,58	52,05	52,43	52,80	53,28	53,63	53,99	54,45	54,81
Sirdalsvatn ved kulminasjon Sira	51,48	51,95	52,33	52,70	53,18	53,53	53,89	54,35	54,71

Tabell 21. Flom vannstander i Sirdalsvatnet med klimapåslag (20%), NN2000.

	H_M m	H₅ m	H₁₀ m	H₂₀ m	H₅₀ m	H₁₀₀ m	H₂₀₀ m	H₅₀₀ m	H₁₀₀₀ m
Sirdalsvatn	52,1	52,5	52,9	53,3	53,8	54,2	54,6	55,0	55,4
Sirdalsvatn ved kulminasjon Sira	52,0	52,4	52,8	53,2	53,7	54,1	54,5	54,9	55,3

7. Flommen i desember 2015

Ekstremværet «Synne» forårsaket i desember 2015 store flomskader og oversvømmelser i Rogaland og Agder. Nedbørmengdene er nærmere omtalt i MET (2015). Konklusjonen derfra er at flere meteorologiske målestasjoner registrerte nedbørrekorder under hendelsen. I eller i nærheten av Siras nedbørfelt ble det observert opp mot 300 mm i løpet av tre døgn (Maudal i Gjesdal), og største nedbørverdi (døgn) var på 140,5 mm samme sted. De største nedbørverdiene hadde et gjentakintervall på mer enn 100 år.

Hovedtyngden av nedbøren falt nok litt sør og vest for Tonstad, hvorav en god del i lokalfeltet til Sirdalsvatn.

Ved Regevik i Sira kulminerte vannføringen på rundt 600 m³/s den 6. desember. Ut fra analysene i denne rapporten hadde flommen der et gjentakintervall på i underkant av 50 år.

I Sirdalsvatnet kulminerte flommen samme dag på høyde 53,81 m, noe som tilsvarer et gjentakintervall på drøyt 100 år.

I Lundevatn ble det registret en vannstand på 49,67 den 7. desember. Under flommen var det drift i kraftverket og tapping gjennom luker. Estimert avløpsflom er på 1020 m³/s, noe som er større enn dimensjonerende avløpsflom (997 m³/s) mens vannstanden er vesentlig lavere enn dimensjonerende flomvannstand (51,07 m) i magasinet. Forutsetningene for denne beregningen er imidlertid ikke drift i kraftverket (største driftsvannføring er på 340 m³/s).

Norconsult (2016) har beregnet reguleringenes effekt på flommen i Sira og Kvina og tilbakeregnet hva flomverdiene ville vært uten reguleringene. Estimert uregulert flom ved Regevik i Sira er 835 m³/s, mens vannstanden i Sirdalsvatn ville vært 55,4 m.

Reguleringen har dermed dempet flommen med rundt 235 m³/s ved Regevik. I følge beregninger for uregulerte forhold tilsvarer estimert uregulert flom i Sira ved Regevik en ca. 30 års flom, mens vannstanden i Sirdalsvatn en ca. 75 års flom. Dette er altså ikke så ulikt det vi har beregnet den observerte flommen til.

8. 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 reguleringenes 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.

Hamarsland, A.T., Grønsten, H.A., Halmrast, K., Hisdal, H., Jensen, T., Melvold, K., Magnussen, I., Midttømme, G. H., Molkersrød, K., Nelson, G. N., Pedersen, T. B., Sommer-Erichson, P. (2015). NVEs Klimatilpasningsstrategi 2015-2019. NVE Rapport nr. 80 – 2015.

Lawrence, Deborah og Hisdal, Hege. 2011: Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE Report no. 5 – 2011.

Lawrence, Deborah, 2016: Klimaendringer og framtidige flommer i Norge. NVE Rapport nr. 81 – 2016.

Meteorologisk institutt, 2015: Ekstremværrapport. Hendelse: Synne, 4-6.12.2015. METinfo Nr. 26/2015.

Norconsult, 2010: Sira-Kvinavassdraget. Flomberegning.

Norconsult, 2016: Sammenligning av regulert og uregulert flom i Sira- Kvinavassdraget. Flommen desember 2015.

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

NVE, 2002: Avrenningskart for Norge 1961-1990.

Pettersson, L.-E., 2010: Flomberegning for Sira ved Tonstad (026.Z). NVE Dokument nr. 6-2010.

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



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no