



Flomberegning for Årdalsvassdraget

Lars-Evan Pettersson

8
2009



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Årdalsvassdraget (074.Z)

Dokument nr 8 - 2009

Flomberegning for Årdalsvassdraget (074.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Lars-Evan Pettersson

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 30

Forsidefoto: Utlå i flom (Foto: Årdal kommune)

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for delprosjekter i Årdalsvassdraget i Sogn og Fjordane. Flomvannføringer med forskjellige gjentakintervall er beregnet for flere steder i vassdraget. Samtidige vannstander i Årdalsvatnet med flommene i tilløpselvene er også beregnet.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Årdalsvassdraget, Årdalsvatnet

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 2009

Innhold

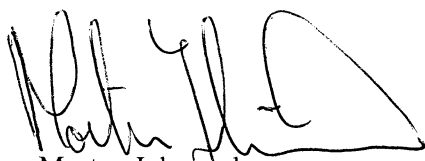
Forord.....	4
Sammendrag.....	5
1. Beskrivelse av oppgaven.....	6
2. Beskrivelse av vassdraget.....	6
3. Hydrometriske stasjoner.....	9
4. Flomdata	11
5. Flomfrekvensanalyser.....	12
6. Beregning av flomverdier	14
6.1 Døgnmiddelvannføringer.....	14
6.2 Kulminasjonsvannføringer	17
6.3 Vannstander i Årdalsvatnet	19
6.4 Sammendrag	20
7. Usikkerhet.....	21
Referanser.....	21

Forord

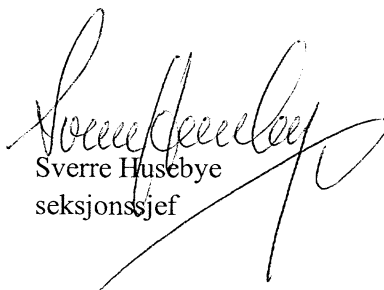
Flomsonekart er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Som et ledd i utarbeidelse av slike kart må flomvannføringer og flomvannstander beregnes. Grunnlaget for flomberegninger 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 områder i Årdalsvassdraget i Sogn og Fjordane. Rapporten er utarbeidet av Lars-Evan Pettersson og kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist.

Oslo, mai 2009



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Årdalsvassdraget er basert på data fra flere vannføringsstasjoner i og nært vassdraget. De store reguleringene i deler av vassdraget gjør beregningene noe kompliserte. Det er også anslått vannstand i Årdalsvatnet ved flomkulminasjon i tilløpselvene Utle og Fardalselvi.

Resultatet av flomberegningen ble:

Sted	Areal km ²	Q _M m ³ /s	Q _s 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
Utle oppstrøms samløp med Tya	444	220	280	320	355	400	430	465	505
Tya ved utløp i Utle	292	45	55	60	75	85	100	125	155
Utle nedstrøms samløp med Tya	735	255	325	370	420	475	520	580	645
Sitla ved utløp i Utle	24.5	12	15	17	19	21	22	24	26
Utle ved utløp i Årdalsvatnet	765	265	335	385	435	490	540	595	665
Fardalselvi ved utløp i Årdalsvatnet	94.9	55	70	80	90	100	105	115	125
Årdalselva ved utløp i Sognefjorden	981	290	355	410	455	525	600	680	770
Vannstand Årdalsvatnet, samtidig med flomkulminasjon i Utle og Fardalselvi									
m på lokal skala ved målestasjon 74.1		3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07
moh.		4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98

Alle vannføringer unntatt ved Sitla 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 deler av 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 flere elvestrekninger i Årdalsvassdraget i Sogn og Fjordane. Som grunnlag for flomsonekartkonstruksjonen skal midlere flom og flommer med gjentakintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes for flere steder i vassdraget oppstrøms Årdalsvatnet og for Årdalselva nedstrøms Årdalsvatnet. I tillegg skal vannstanden i Årdalsvatnet ved flomkulminasjon i Utla og Fardalselvi anslås. Tabell 1 gir en oversikt over beregningspunktene med feltareal og naturlig normalvannføring/normalavrenning i følge avrenningskartet for Norge 1961-1990. Figur 1 gir et kart over vassdraget.

Tabell 1. Beregningspunkter i Årdalsvassdraget

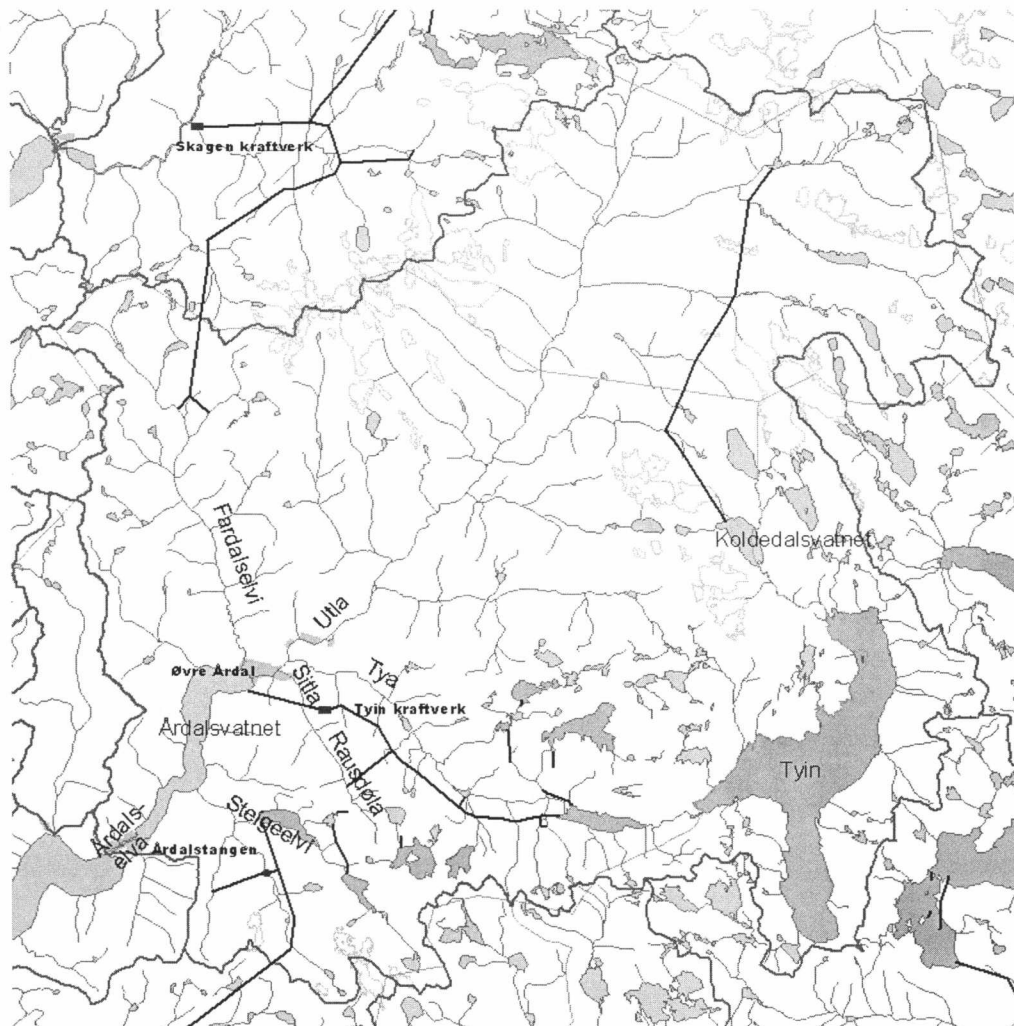
	Feltareal km ²	Normal- vannføring m ³ /s	Normal- avrenning l/s•km ²	Normal- avrenning mm
Utla oppstrøms samløp med Tya	443.5	23.0	51.8	1634
Tya ved utløp i Utla	291.9	11.7	40.1	1265
Utla nedstrøms samløp med Tya	735.4	34.7	47.2	1488
Utla oppstrøms samløp med Sitla	736.9	34.7	47.1	1486
Sitla ved utløp i Utla	24.5	0.9	38.4	1211
Utla nedstrøms samløp med Sitla	761.4	35.7	46.8	1477
Utla ved utløp i Årdalsvatnet	764.6	35.7	46.7	1473
Fardalselvi ved utløp i Årdalsvatnet	94.9	4.7	49.6	1565
Årdalsvatnet ved utløpet	978.9	44.3	45.3	1428
Årdalselva ved utløp i Sognefjorden	981.3	44.4	45.2	1426

Det er små forskjeller mellom feltareal og normalvannføring ved Utla nedstrøms Tya og oppstrøms Sitla, ved Utla nedstrøms Sitla og utløp i Årdalsvatnet og ved Årdalselva ved utløpet av Årdalsvatnet og ved utløpet i fjorden. Flomverdier beregnes derfor bare for ett punkt ved de tre områdene i vassdraget: Utla nedstrøms Tya, Utla ved utløp i Årdalsvatnet og Årdalselva ved utløp i fjorden.

2. Beskrivelse av vassdraget

Årdalsvassdragets nordligste deler er i Jotunheimen med Store Skagastølstind, drøyt 2400 moh., som høyeste punkt. Her har Utla sine kilder. Elven renner mot sørvest og fanger opp en rekke sideelver både fra østsiden og fra vestsiden av dalen. I den nedre delen av Utla kommer den største sideelven inn fra øst. Det er Tya som kommer fra den store innsjøen Tyin. Elvene møtes i øvre delen av tettstedet Øvre Årdal. Litt lenger ned i tettstedet kommer den lille sideelven Sitla inn fra sør, og straks etter det faller Utla ut i

Årdalsvatnet. Like utenfor tettstedet kommer Fardalselvi ut i Årdalsvatnet fra nord. Årdalsvatnet strekker seg mot sør/sørvest ca. åtte kilometer og har et sjøareal på 7.5 km². Det ligger bare noen få meter over havet og terrenget rundt vatnet er som i hele vassdraget meget bratt. I sørenden av vatnet ligger tettstedet Årdalstangen der Årdalselva har et kort løp fra vatnet ned til Sognefjorden.



Figur 1. Kart over Årdalsvassdraget. De sorte linjene er overføringer.

Store deler av Årdalsvassdraget er påvirket av de store vassdragsreguleringer som tok til i 1940-årene. Allerede før den tid var vannføringen i vassdraget i mindre grad påvirket av reguleringer. Da dammene ved Tyn og flere andre, mindre magasiner ble tatt i bruk og Tyn kraftverk ble satt i drift i 1944 førte det til endringer i vannføringsforholdene i Tya og nedre del av Årdalsvassdraget. Reguleringen fra den tid omfattet også en overføring av vann fra Rausdøla, den øvre delen av Sitla, til Tyn kraftverk. Rausdøla får i sin tur overført vann fra de øvre delene av Steigeelvi, som er en sideelv som faller rett ut i Årdalvatnet.

I begynnelsen av 1960-årene ble vann overført gjennom et takrennesystem fra Utla øvre, østlige sideelver til Koldedalsvatnet og Tynmagasinet. Vann fra et areal på drøyt 100 km² overføres på denne måten.

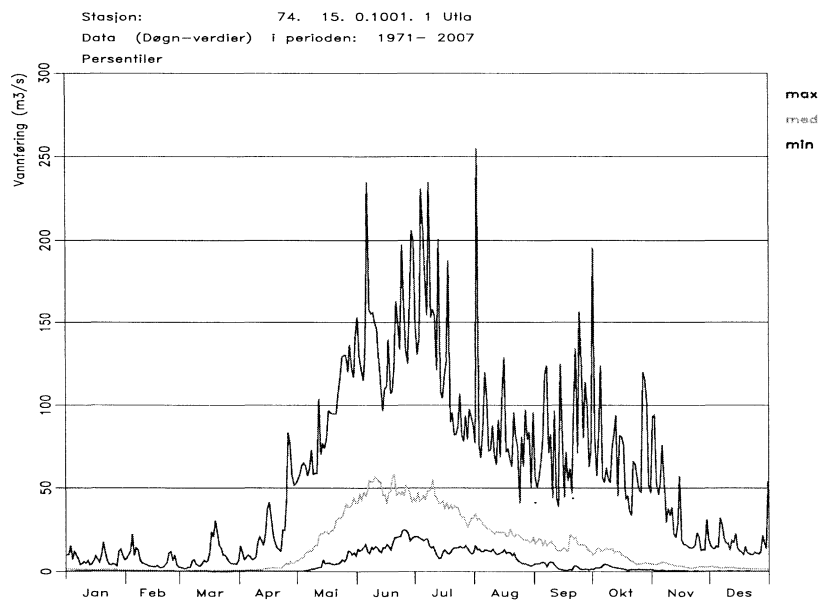
I slutten 1970-årene ble vann overført fra sideelver øverst i Fardalselvi til Skagen kraftverk i Fortunvassdraget, totalt feltareal 37 km².

I slutten av 1980-årene ble Nyset kraftverk satt i drift i Nysetelvi, et vassdrag som munner litt lenger ut i Sognefjorden enn Årdalsvassdraget. Noe av driftsvannet får Nyset kraftverk fra Årdalsvassdraget gjennom overføring fra flere inntak i Steigeelvi.

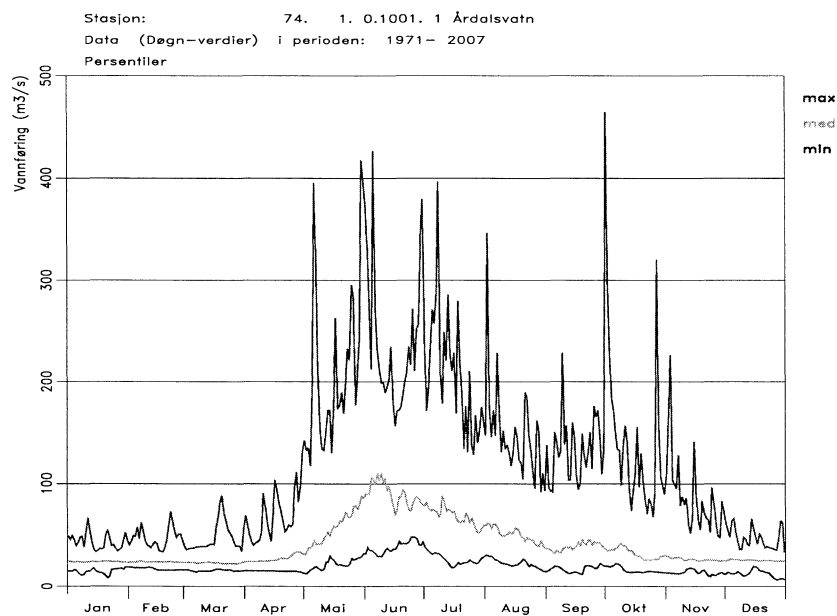
Den naturlige middelvannføringen forskjellige steder i vassdraget er vist i tabell 1. Overføringer har ført til en del endringer av dette; mindre vannføring i Utla og i utløpet av Årdalsvatnet.

Figur 2 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året i Utla ved målestasjonen 74.15 Utla, som ligger i elven litt oppstrøms samløpet med Tya. Data er for perioden etter at overføringene øverst i vassdraget ble gjennomført. Figur 3 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året i Årdalselva ved målestasjonen 74.1 Årdalsvatn. Data er for samme periode som for Utla. I løpet av den perioden har overføringen av vann ut av vassdraget blitt gjennomført. Den øverste kurven (max) i grafen 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.

Vannføringsforholdene i vassdraget karakteriseres av stor vannføring i forbindelse med snøsmeltingen i juni-juli, da også de fleste og største flommene vanligvis opptrer. Det er også mange tilfeller med store flommer på høsten. Etter reguleringene fant sted er det noen høstflommer som har vært de største i Årdalselva ut av Årdalsvatnet, men før reguleringene var det flommer i juni, juli og august som var de største. Vinterstid er det liten vannføring i Utla og uregulerte elver. Pga. kraftverksdriften har vintervannføringen i Årdalselva øket i forhold til det naturlige.



Figur 2. Karakteristiske vannføringer i Utlå 1971-2007, m³/s.



Figur 3. Karakteristiske vannføringer i Årdalselva 1971-2007, m³/s.

3. Hydrometriske stasjoner

Det er flere vannføringsstasjoner i og nært Årdalsvassdraget som er aktuelle å benytte ved denne flomberegningen. De viktigste er 74.15 Utlå og 74.1 Årdalsvatn.

74.15 Utlå ligger like oppstrøms bebyggelsen i Øvre Årdal og stasjonen ble etablert i 1971, dvs. etter at overføringene til Tynmagasinet fra øvre delene av feltet ble åpnet. Stasjonen 74.1 ble etablert i Årdalvatnet allerede i 1900 men har et opphold i observasjonene i perioden 1962-1970. Stasjonen er påvirket av reguleringer siden 1921, og etter hvert i økende grad.

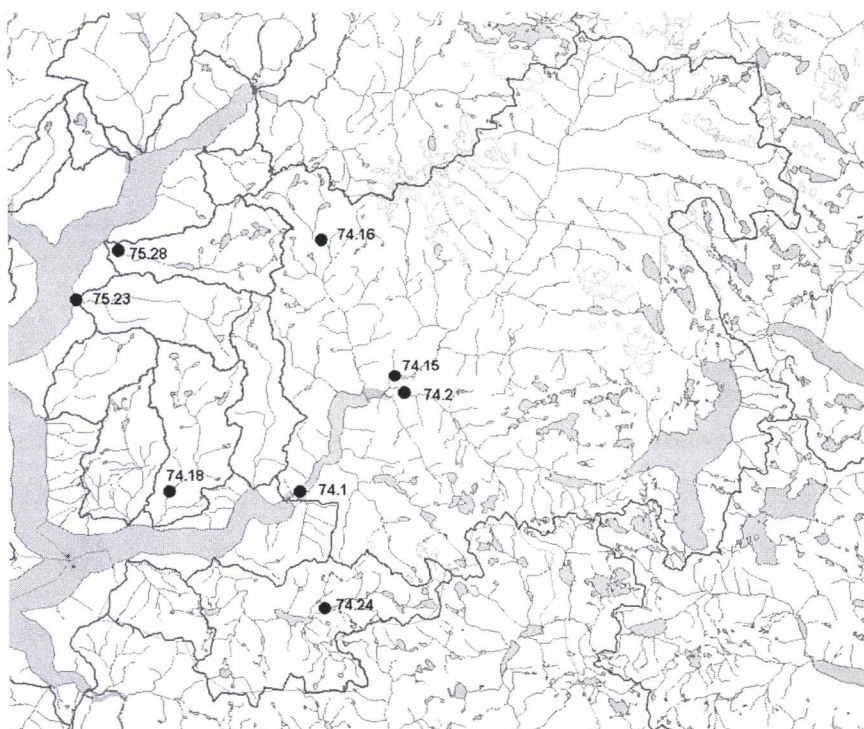
Andre vannføringsstasjoner i Årdalsvassdraget er 74.2 Tya, 74.26 Koldedalen, 74.16 Langedalen og 74.13 Muradn. 74.2 lå i Tya litt oppstrøms bebyggelsen i Øvre Årdal og var i drift i perioden 1911-1940, dvs. før reguleringene påvirket vannføringen i elven. 74.26 registrerer overført vann fra Utladalen til Koldedalsvatnet og Tynmagasinet. Data viser at det overføres maksimalt i underkant av 30 m³/s. Ved større flommer i de overførte feltene, renner vannet ned i Utladalen og registreres ved 74.15 Utlå. Stasjonen 74.16 Langedalen ligger øverst i Fardalselvi og observerer uregulert vannføring siden 1972. Like nedenfor målestasjonen er det ene inntaket på overføringen mot Fortunvassdraget og Skagen kraftverk. Nedstrøms dette inntak ligger 74.13 Muradn, som registrerer flomtap ved inntaket.

I nærliggende vassdrag ligger de uregulerte vannføringsstasjonene 74.18 Fornabu, 74.24 Nysetvatn, 75.23 Krokenelv og 75.28 Feigumfoss. 74.18 Fornabu ligger i Indre Offerdalselvi, et vassdrag som har utløp i Sognefjorden litt vest for Årdalstangen. Stasjonen har data siden 1982. 74.24 Nysetvatn ligger høyt oppe i Nysetelvi og har et nedbørfelt som grenser til de sørlige delene av Årdalsvassdraget. Stasjonen har data siden 1990. 75.23 Krokenelv ligger i Krokadalselvi vest for Årdalsvassdraget. Stasjonen har data siden 1965. Litt nord for Krokenelv, i Feigedalselvi, ligger 75.28 Feigumfoss, som har data siden 1972.

Noen viktige opplysninger om vannføringsstasjonene er gitt i tabell 2, mens stasjonenes beliggenhet er vist i figur 4. For 74.26 Koldedalen og 74.13 Muradn er opplysninger om nedbørfelt ikke relevante.

Tabell 2. Vannføringsstasjoner i og nært Årdalsvassdraget.

	Feltareal km²	Effektiv sjøprosent %	Feltets medianhøyde moh.	Årsavrenning l/s•km²
74.15 Utlå (naturlig felt)	440	0.02	1354	52.0
74.1 Årdalvatn (naturlig felt)	979	1.46	1281	45.3
74.2 Tya	291	7.82	1278	40.2
74.16 Langedalen	23.8	0.46	1329	59.4
74.18 Fornabu	53.1	0.08	1054	42.0
74.24 Nysetvatn	27.7	4.03	1371	49.3
75.23 Krokenelv	46.2	0.05	1148	47.1
75.28 Feigumfoss	48.0	1.15	1293	45.2



Figur 4. Vannføringsstasjoner i og nært Årdalsvassdraget.

4. Flomdata

I tabell 3 er de største observerte flommene, døgnmiddelvannføring, ved 74.15 Utle og 74.1 Årdalsvatn vist. For Årdalsvatn er det vist de største flommene før og etter 1962. I 1962 opphørte observasjonene for noen år og i denne første perioden var påvirkningen av reguleringene på flommer mindre tydelig enn senere.

I tabell 4 er de største flommene etter hhv. 1985 og 1986 vist, dvs. i den perioden som det finnes data med fin tidsoppløsning på NVEs hydrologiske database.

Tabell 3. Observerte flommer i Utle og Årdalselva, døgnmiddelvannføringer.

74.15 Utle 1971-2008		74.1 Årdalsvatn 1900-1962		74.1 Årdalsvatn 1971-2008	
dato	m ³ /s	dato	m ³ /s	dato	m ³ /s
02.08.1983	255	20.06.1939	613	01.10.1985	464
07.06.1972	235	16.08.1906	542	06.06.1972	427
08.07.1973	235	06.07.1914	535	30.05.1971	418
04.07.2005	231	22.10.1956	481	08.07.1973	397
07.05.2004	209			07.05.2004	396

Tabell 4. Observerte flommer i Utla og Årdalselva.

74.15 Utla 1985-2008			74.1 Årdalsvatn 1986-2008		
dato	kulminasjon, m ³ /s	døgnmiddel, m ³ /s	dato	kulminasjon, m ³ /s	døgnmiddel, m ³ /s
13.07.1993	371	201	07.05.2004	423	396
01.10.1985	314	196	30.06.1994	418	380
29.06.1994	313	187	29.06.1999	403	341
24.09.2007	287	188	29.06.1989	372	310
29.06.1999	286	206	13.07.1993	345	286

5. Flomfrekvensanalyser

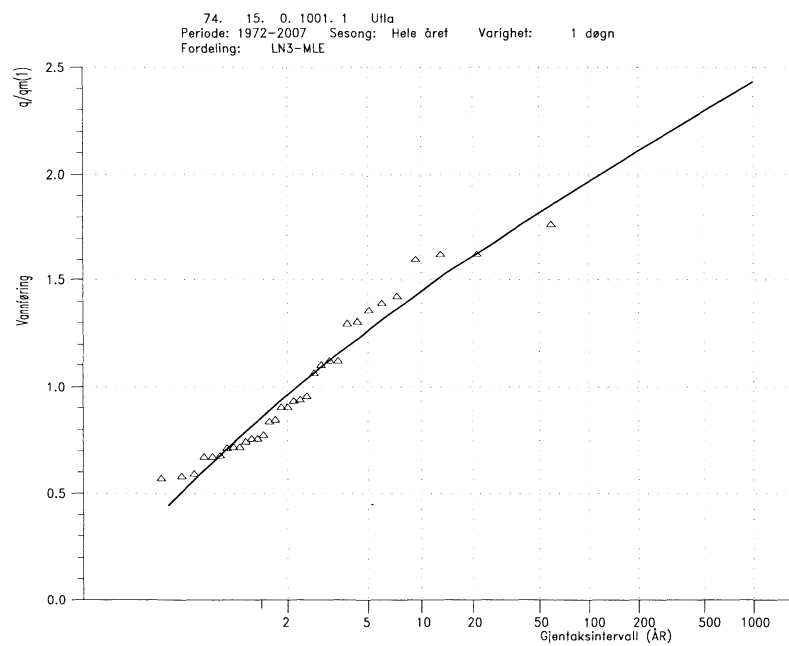
Det er utført frekvensanalyser på årsflommer for de målestasjonene som er nevnt i tabell 2. Resultatene er vist i tabell 5, hvor midlere flom, Q_M , og forholdstallene Q_T/Q_M presenteres.

I figurene 5-7 er flomfrekvensanalysene for hhv. 74.15 Utla, 74.1 Årdalsvatn i perioden 1901-1961 og 74.2 Tya vist grafisk.

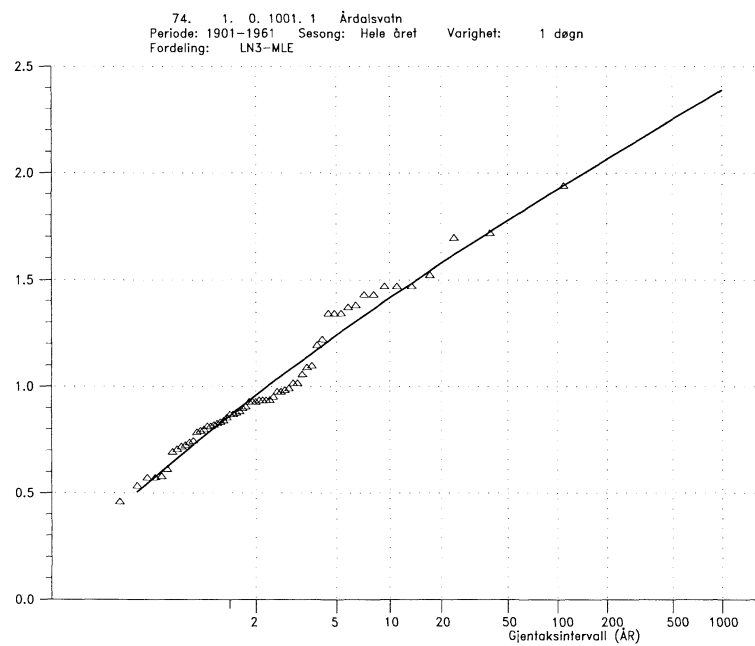
I tabell 5 vises også verdiene for den regionale flomfrekvenskurven for vårflomområde 2 fra "Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag, 1997". Årdalsvassdraget tilhør vårflomområde 2.

Tabell 5. Flomfrekvensanalyser, døgnmiddel av årsflommer.

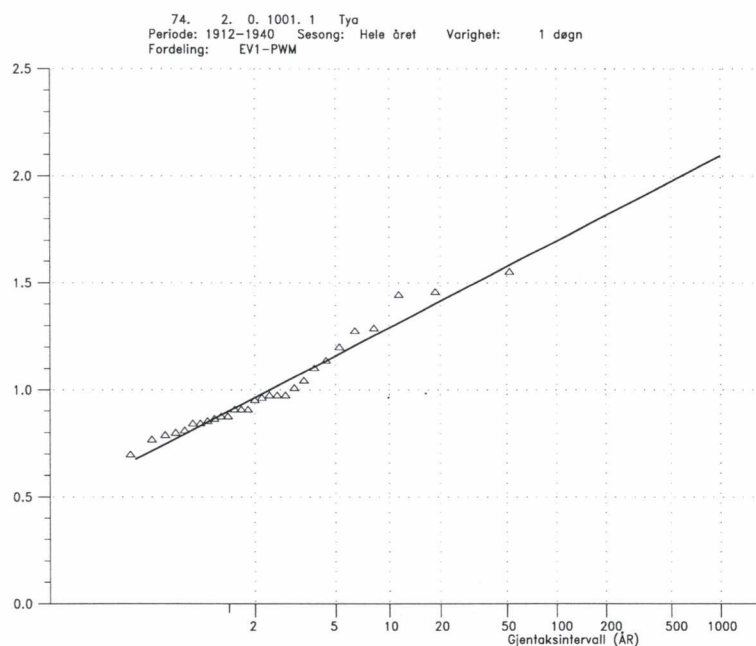
Vannføringsstasjon	Areal km ²	Periode	Antall år	Q_M m ³ /s	Q_M l/s·km ²	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M
74.15 Utla	440	1972-2007	33	145	330	1.27	1.45	1.62	1.82	1.97	2.11	2.29
74.1 Årdalsvatn	979	1901-1961	61	317	324	1.24	1.42	1.58	1.78	1.92	2.07	2.25
74.1 Årdalsvatn	979	1990-2007	17	250	255	1.23	1.40	1.56	1.76	1.90	2.05	2.24
74.2 Tya	291	1912-1940	29	58.2	200	1.16	1.29	1.41	1.58	1.70	1.82	1.97
74.16 Langedalen	23.8	1973-2007	35	10.5	441	1.18	1.33	1.47	1.67	1.82	1.97	2.18
74.18 Fornabu	53.1	1983-2007	21	19.2	362	1.27	1.48	1.68	1.94	2.14	2.33	2.60
74.24 Nysetvatn	27.7	1993-2007	15	11.7	422	1.40	1.72	2.03	2.44	2.74	3.04	3.43
75.23 Krokenelv	46.2	1966-2007	42	25.6	554	1.29	1.52	1.74	2.03	2.25	2.46	2.76
75.28 Feigumfoss	48.0	1973-2007	35	15.8	329	1.10	1.16	1.21	1.27	1.31	1.35	1.40
Vårflom 2 (1997)						1.24	1.41	1.57	1.77	1.88	2.01	2.19



Figur 5. Flomfrekvensanalyse for 74.15 Ulla 1972-2007, døgnmiddel av årsflommer.



Figur 6. Flomfrekvensanalyse for 74.1 Årdalsvatn, 1901-1961, døgnmiddel av årsflommer.



Figur 7. Flomfrekvensanalyse for 74.2 Tya, 1912-1940, døgnmiddel av årsflommer.

6. Beregning av flomverdier

6.1 Døgnmiddelvannføringer

Flomvannføringer for forskjellige gjentaksintervall skal bestemmes for syv steder i Årdalsvassdraget, som nevnt i kapittel 1. I første omgang bestemmes flomvannføringene som døgnmidler.

For Utle oppstrøms samløpet med Tya benyttes de observerte dataene fra 74.15 Utle i den regulerte perioden. Selv om observasjonsserien er relativt kort benyttes også flomfrekvensfaktorene fra stasjonen. De er i rimelig samsvar med tilsvarende faktorer fra de andre stasjonene som er analysert i tabell 5.

For uregulerte forhold i Tya kan data fra målestasjonen 74.2 Tya antas å være representative. De regulerte forholdene i Tya er kompliserte, med flere overføringer til vassdraget, flere overføringer innen vassdraget, driftsvannføringen i Tyin kraftverk og flere reguleringsmagasin med Tyin som det dominerende. Det er vanskelig å knytte de regulerte forholdene til spesifikke gjentaksintervall. Ved denne flomberegningen betrakter vi området nedenfor Tyinmagasinet som uregulert. Overføringen inn i feltet antas lukket, Tyin kraftverk antas å være ute av drift og overføringene innenfor feltet antas å ikke påvirke flomforholdene. Magasineringene antas å ikke påvirke flomforholdene på annen måte enn hva innsjøer vanligvis gjør. Ved små gjentaksintervall

antas det ikke være noe overløp over Tyindammen. Fra og med 20-årsflom antas det å være overløp med økende vannføring med økende gjentakintervall, til 80 m³/s ved Q₁₀₀₀. Den senere verdien er basert på "Flomberegning for Tyinvassdraget" hvor dimensjonerende avløpsflom (Q₁₀₀₀) er beregnet til 161 m³/s. Rapporten viser også at når tilløpsflommen kulminerer har avløpsflommen fra Tyin ennå bare nådd omtrent halvveis til sin kulminasjonsvannføring, som inntreffer et døgn senere.

Tya nedenfor Tyin har et areal på 107 km². Ligningen for å beregne middelflom i vårflomregion 2, som Årdalsvassdraget tilhør, hentet fra "Prosjekthåndbok – Flomsonekartprosjektet", er:

$$\ln Q_M = 0.0930 \cdot \ln S_T - 0.0816 \cdot \ln A_{SE} + 0.0281 \cdot \ln A_{SF} + 0.5076 \cdot \ln Q_N + 3.59.$$

Hovedelvas gradient S_T er for Tya 69 m/km, effektiv sjøprosent A_{SE} er 2.96 %, snaufjellprosenten A_{SF} er 82 % og midlere spesifikt årsavløp Q_N er 37 l/s•km². Det gir en midlere flom på 348 l/s•km². Denne spesifikke flomverdien er i rimelig samsvar med tilsvarende verdi for de nærliggende stasjonene, og benyttes for Tya nedenfor Tyinmagasinet. Flomfrekvensfaktorene for vårflomområde 2 fra "Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag" antas å være de mest representative for Tya nedenfor Tyinmagasinet og benyttes.

Tabell 6 viser beregnede flomverdier for Tya før og etter regulering. At de regulerte flommene er større enn de uregulerte ved store gjentakintervall skyldes delvis overføringen fra Utla til Tyinmagasinet.

Tabell 6. Flomverdier for Tya, døgnmiddelvannføringer.

Sted	Areal km ²		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
Tya ved utløp i Utla, uregulert	292	Q _T /Q _M			1.16	1.29	1.41	1.58	1.70	1.82	1.97	2.09
		Q	200	58	68	75	82	92	99	106	115	122
Tya nedenfor Tyin, regulert	107	Q _T /Q _M			1.24	1.41	1.57	1.77	1.88	2.01	2.19	2.32
		Q	348	37	46	53	58	66	70	75	82	86
Tyin, regulert	185			0	0	0	5	10	20	40	60	80
Tya ved utløp i Utla, regulert	292			37	46	53	63	76	90	115	142	166

Reguleringene i Rausdøla/Sitla omfatter blant annet overføring inn i feltet fra Steigeelvi og overføring ut av feltet til Tyin kraftverk. Omtrent halve nedbørfeltet til Sitla ligger nedenfor reguleringene. Det er vanskelig å si sikkert hvordan flommene i Sitla blir påvirket av reguleringene. Ved denne beregningen antas derfor uregulerte forhold, dvs. overføringene inn og ut av feltet er lukkede og flomdempningen i magasin tilsvarer flomdempningen i innsjø.

Midlere flom for Sitla beregnes med samme ligning som ble benyttet for Tya. Hovedelvas gradient S_T er 114 m/km, effektiv sjøprosent A_{SE} er 2.40 %, snaufjellprosenten A_{SF} er 81 % og midlere spesifikt årsavløp Q_N er 38 l/s•km². Det gir en midlere flom på 378 l/s•km². Denne spesifikke flomverdien er i rimelig samsvar med tilsvarende verdi for de nærliggende stasjonene. Flomfrekvensfaktorene for vårflomområde 2 fra "Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag" antas å være de mest representative for Sitla og benyttes. Resultatet av beregningen er vist i tabell 7.

Tabell 7. Flomverdier for Sitla, døgnmiddelvannføringer.

Sted	Areal km ²		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
Sitla ved utløp i Utlea	24.5	Q_T/Q_M			1.24	1.41	1.57	1.77	1.88	2.01	2.19
		Q	378	9	11	13	15	16	17	19	20

Tabell 8 viser beregnede flomverdier i Utlea. Døgnmiddelvannføringene ved forskjellige gjentakintervall i Tya og Sitla legges til døgnmiddelvannføringene i Utlea.

Tabell 8. Flomverdier for Utlea, døgnmiddelvannføringer.

Sted	Areal km ²		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
Utlea oppstrøms samløp med Tya	444	Q_T/Q_M			1.27	1.45	1.62	1.82	1.97	2.11	2.29
		Q	330	146	186	212	237	266	288	309	335
Utlea nedstrøms samløp med Tya	735		250	184	232	265	301	342	378	424	477
Utlea nedstrøms samløp med Sitla/ved utløp i Årdalsvatnet	765		252	193	244	278	315	359	396	442	497

Midlere flom for Fardalselvi beregnes med samme ligning som ble benyttet for Tya og Sitla. Hovedelvas gradient S_T for Fardalselvi er 73 m/km, effektiv sjøprosent A_{SE} er 0.57 %, snaufjellprosenten A_{SF} er 84 % og midlere spesifikt årsavløp Q_N er 50 l/s•km². Det gir en midlere flom på 465 l/s•km². Denne spesifikke flomverdien er i rimelig samsvar med tilsvarende verdi for de nærliggende stasjonene, og relativt lik den for 74.16 Langedalen, som ligger øverst i Fardalselvi. Ved store flommer får man ikke overføre vann fra Fardalen mot Skagen kraftverk. Vanligvis går det bare noen få m³/s ut av Fardalselvi ved flommer. Ved denne beregningen antas overføringen å være lukket og flommen i Fardalselvi blir som i naturlig tilstand. Flomfrekvensfaktorene for vårflomområde 2 fra ”Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag” antas å være de mest representative for Fardalselvi og benyttes. De er omtrent de samme som ble funnet for 74.16 Langedalen. Resultatet av beregningen er vist i tabell 9.

Tabell 9. Flomverdier for Fardalselvi, døgnmiddelvannføringer.

Sted	Areal km ²		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
Fardalselvi ved utløp i Årdalsvatnet	94.9	Q_T/Q_M			1.24	1.41	1.57	1.77	1.88	2.01	2.19
		Q	465	44	55	62	69	78	83	89	97

For Årdalselva ved utløpet i Sognefjorden er det regnet for to situasjoner. Den ene situasjonen er basert på flomfrekvensanalysene for 74.1 Årdalsvatn i perioden 1901-1961 med mindre regulering og ingen overføring av vann ut fra vassdraget. Den andre situasjonen er basert på analyser for perioden 1990-2007 da overføringene hadde trått i

kraft. Flomfrekvensfaktorene for de to periodene er nesten identiske og faktorene for perioden 1901-1961 benyttes for begge alternativene. Tabell 10 viser resultatene.

Tabell 10. Flomverdier for Årdalselva, døgnmiddelvannføringer.

Årdalselva ved utløp i Sognefjorden	Areal km ²		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 _T /Q _M			1.24	1.42	1.58	1.78	1.92	2.07	2.25
Mindre regulert, 1901-1961	981		324	318	394	451	502	566	610	658	715
Mer regulert, 1990-2007	981		255	250	310	355	395	445	480	518	563
Flomreduksjon				68	84	96	107	121	130	140	152

6.2 Kulminasjonsvannføringer

De presenterte flomverdiene så langt representerer døgnmiddelverdier. Kulminasjonsvannføringen kan være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen ved store flommer. Forholdet mellom kulminasjonsvannføringen (momentanvannføringen) og døgnmiddelvannføringen kan anslås ut fra observerte flomdata i vassdraget eller fra sammenlignbare vannføringsstasjoner. Det kan også beregnes ved ligninger som er utarbeidet basert på feltparametrer i ”Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag”. Ligningen for vårflommer er:

$$Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{middel}} = 1.72 - 0.17 \cdot \log A - 0.125 \cdot A_{\text{SE}}^{0.5},$$

mens ligningen for høstflommer er:

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

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

For Utlea og Årdalselva finnes vannføringsobservasjoner med fin tidsoppløsning, som kan danne grunnlag for beregningen av kulminasjonsvannføring, mens for Tya, Sitla og Fardalselvi må ligningene benyttes.

Ved 74.15 Utlea finnes 24 år med flomdata med fin tidsoppløsning og det viser at forholdstallet kulminasjon/døgnmiddel kan anslås til 1.50 ved store flommer. Ved 74.1 Årdalsvatn finnes 22 år med flomdata med fin tidsoppløsning og det viser at forholdstallet kulminasjon/døgnmiddel kan anslås til 1.15 ved store flommer.

I tabell 11 er vist resultatet ved bruk av ligningen for vårflommer for Tya nedenfor Tyinmagasinet, Sitla og Fardalselvi.

Tabell 11. Forhold kulminasjons-/døgnmiddelvannføring ut fra vårflomligning.

	A, km ²	A _{SE} , %	Q _{mom} /Q _{mid}
Tya nedenfor Tyin	107	2.96	1.16
Sitla	24.5	2.40	1.29
Fardalselvi	94.9	0.57	1.29

Tabell 12 viser beregnede kulminasjonsvannføringer i vassdraget. Utgangspunktet er døgnmiddelvannføringene i tabellene 6-10 og forholdstallene kulminasjon/døgnmiddel som er nevnt oven.

Som tidligere nevnt har avløpsflommen fra Tyin ennå bare nådd omtrent halvveis til sin kulminasjonsvannføring da flommen i lokalfeltet nedenfor Tyin kulminerer. For å anslå kulminasjonsvannføringen i Tya ved utløp i Utlå kombineres derfor kulminasjonsvannføringen i lokalfeltet med døgnmidlet fra Tyin.

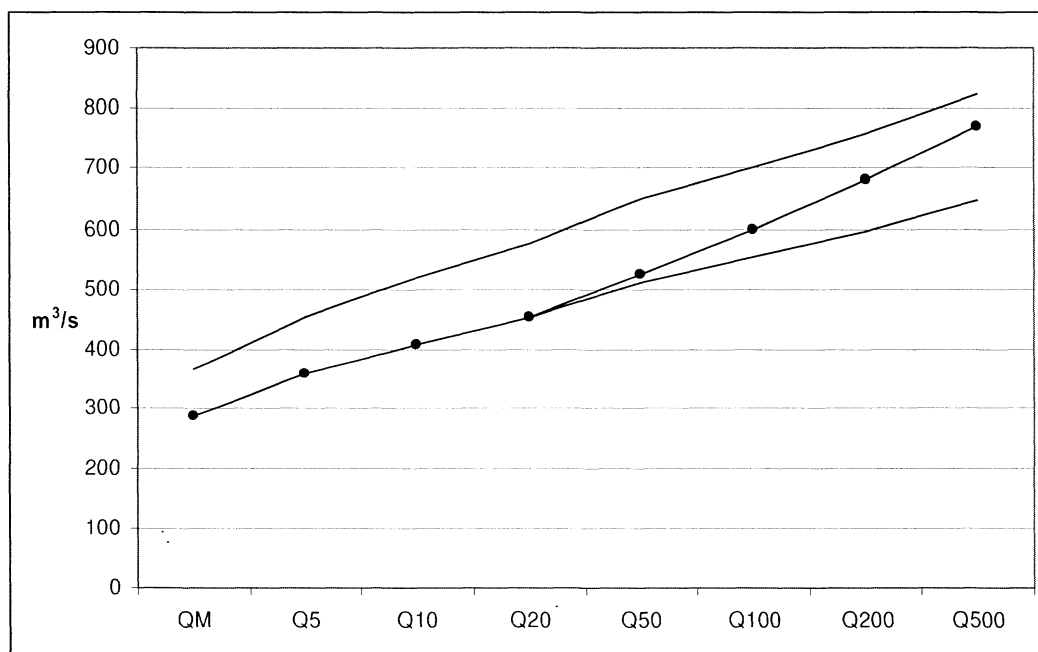
Vannføringsobservasjonene viser at flommene i Årdalsvassdraget vanligvis kulminerer samme dag på de forskjellige stedene. Et unntak er selvfølgelig flommene ut fra Tyin. Men det er ikke sannsynlig at de også kulminerer til samme tidspunkt på dagen. Det er heller ikke sikkert at de samtidige flommene forskjellige steder i vassdraget har samme gjentakintervall. Det siste er dog noe som forutsettes i denne beregningen, noe som kanskje overestimerer flommene nedover Utlå. Denne usikkerheten antas å være liten i forhold til andre usikkerheter ved slike beregninger.

Det antas at flommene i Utlå, Tya og Sitla kulminerer samme dag, men ikke til samme tidspunkt. Kulminasjonsvannføringene i Utlå kombineres derfor med døgnmiddelvannføringene i Tya og Sitla.

Tabell 12. Flomverdier for Årdalsvassdraget, kulminasjonsvannføringer.

Sted	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
Utlå oppstrøms samløp med Tya	444	1.50	220	279	318	356	400	432	463	503
Tya nedenfor Tyin	107	1.16	43	54	61	68	76	81	87	95
Tyin	185		0	0	0	5	10	20	40	60
Tya ved utløp i Utlå	292		43	54	61	73	86	101	127	155
Utlå nedstrøms samløp med Tya	735		257	325	371	419	475	522	578	644
Sitla ved utløp i Utlå	24.5	1.29	12	15	17	19	21	22	24	26
Utlå ved utløp i Årdalsvatnet	765		266	336	384	434	492	540	597	665
Fardalselvi ved utløp i Årdalsvatnet	94.9	1.29	57	71	80	89	101	107	114	125
Årdalselva ved utløp i Sognefjorden	981		288	357	409	455	525	600	680	770

Som vi ser av tabell 10 er flommene i Årdalselva redusert betraktelig, 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. Det er rimelig å anta at flomverdiene i regulert tilstand er representative opp til 20 års gjentakintervall siden observasjonsserien er nesten 20 år. Med økende gjentakintervall antas regulerte flomverdier nærme seg gradvis de "uregulerte" flomverdiene. Flomreduksjonen antas avta fra ca. 120 m³/s ved 20- og 50-årsflom til ca. 50 m³/s ved 500-årsflom. Se figur 8.



Figur 8. Flomverdier for Årdalselva ved utløp i Sognefjorden, 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 gjentaksintervall.

6.3 Vannstander i Årdalsvatnet

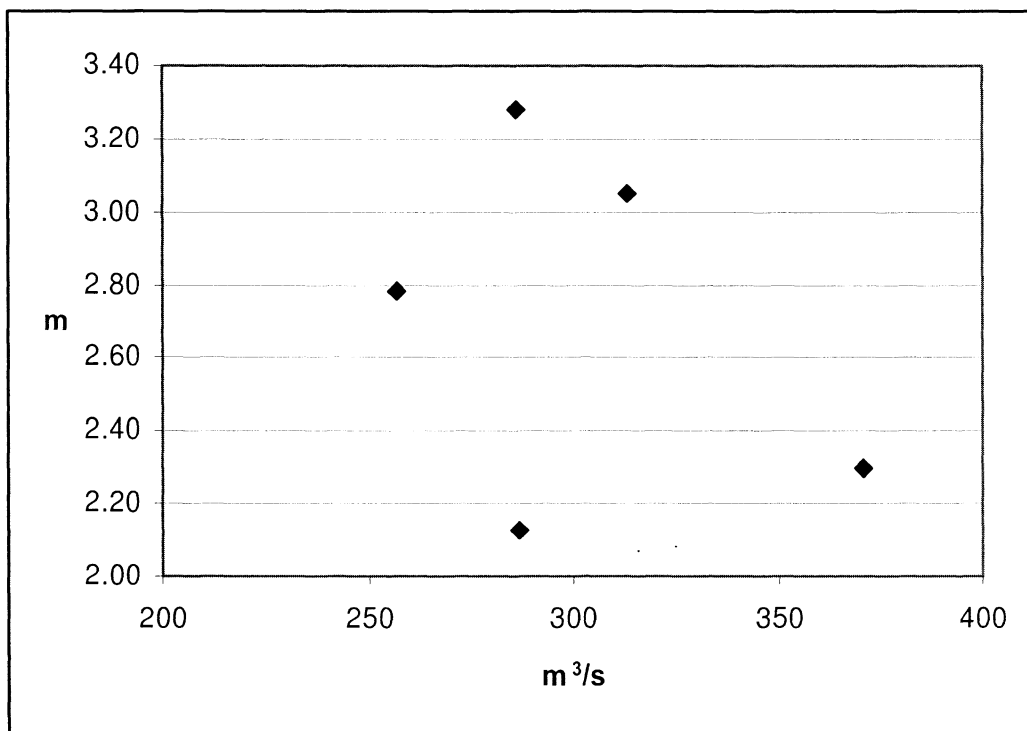
Det skal anslås samtidige vannstander i Årdalsvatnet ved de forskjellige flommene i Utle og Fardalselvi, som grensebetingelse ved hydraulisk beregning i de to elvene.

Vannstanden i Årdalsvatnet er alltid stigende da tilløpsflommene kulminerer.

Vannstanden kulminerer vanligvis noen timer senere i vatnet enn i tilløpselvene og har i mellomtiden øket kanskje opp mot én meter. Det er imidlertid ikke noen tydelig sammenheng mellom tilløpsflommens størrelse og den samtidige vannstanden i Årdalsvatnet. Figur 9 viser sammenhengen mellom tilløpsflommens kulminasjon ved noen av de største flommene ved 74.15 Utle og de samtidige vannstandene ved 74.1 Årdalsvatn.

Ved den største observerte flommen ved 74.15 Utle, i juli 1993, var vannstanden i Årdalsvatnet relativt liten da Utle kulminerte. Ved flommen i juni 1994, som var en ca. 10-årsflom ved målestasjonen i Utle, var vannstanden i Årdalsvatnet 3.05 meter på den lokale skalaen og det tilsvarer omtrent middelflom ut av Årdalsvatnet. Middelflom i Årdalselva er beregnet til 288 m³/s og det tilsvarer 3.07 m på den lokale skalaen. Vi antar at dette er en rimelig vannstand ved kulminasjon i tilløpselvene, ved alle flomstørrelser.

I NVEs arkiv er det opplyst at skalaens nullpunkt har SK-høyde 1.91 moh. Det står at det er SK-høyde i følge Bjørke Hydro energi. Nivået bør kontrolleres før vannstandverdiene benyttes i hydrauliske beregninger. Det betyr at en rimelig vannstand ved kulminasjon i tilløpselvene, ved alle flomstørrelser, er 4.98 moh.



Figur 9. Kulminasjonsvannføringer i m^3/s ved 74.15 Utlø og samtidige vannstander ved 74.1 Årdalsvatn.

6.4 Sammendrag

I tabell 13 er resultatene av flomberegningen sammenfattet. Alle vannføringer unntatt ved Sitla er utjevnert til nærmeste hele $5 m^3/s$.

Tabell 13. Flomverdier for Årdalsvassdraget, kulminasjonsvannføringer og samtidige vannstander.

Sted	Areal 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
Utlø oppstrøms samløp med Tya	444	220	280	320	355	400	430	465	505
Tya ved utløp i Utlø	292	45	55	60	75	85	100	125	155
Utlø nedstrøms samløp med Tya	735	255	325	370	420	475	520	580	645
Sitla ved utløp i Utlø	24.5	12	15	17	19	21	22	24	26
Utlø ved utløp i Årdalsvatnet	765	265	335	385	435	490	540	595	665
Fardalselvi ved utløp i Årdalsvatnet	94.9	55	70	80	90	100	105	115	125
Årdalselva ved utløp i Sognefjorden	981	290	355	410	455	525	600	680	770
Vannstand Årdalsvatnet, samtidig med flomkulminasjon i Utlø og Fardalselvi									
m på lokal skala ved målestasjon 74.1		3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07
moh.		4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98

7. Usikkerhet

Grunnlaget for flomberegning i Årdalsvassdraget 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 reguleringsens flomdempende effekt er på de store vannføringene. I denne rapporten gjelder det både Utlea og Årdalselva nedstrøms Årdalsvatnet.

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 reguleringsens effekt på flommer i deler av 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.

Krokli, B., 1993: Flomberegning for Tyinvassdraget. NVE-Rapport nr. 1-1993.

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 2009

- Nr. 1 Inger Sætrang: Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2009 (60 s.)
- Nr. 2 Roar Kristensen: Endringer i forskrift om systemansvar i kraftsystemet. Forskriftstekst og merknader til innkommende høringskommentarer (65 s.)
- Nr. 3 Kjersti Halmrast, Ingunn Bendiksen Åsgård, Anne Rogstad (red.)
Styrende dokumenter for tilsyn og reaksjoner. Versjon 2 – mars 2009 (85 s.)
- Nr. 4 Inger Sætrang: Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2008 (16 s.)
- Nr. 5 Endringer i forskrift 11. mars 1999 nr 301 om måling, avregning mv.
Oppsummering av høringsuttalelser og endelig forskriftstekst (s.)
- Nr. 6 Anleggsbidrag og fellesmåling. Forslag til endringer i forskrift nr 302 av 11. mars 1999 (18 s.)
- Nr. 7 Erik Holmqvist (red.): Flommen på Sør- og Østlandet våren 2008
- Nr. 8 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Årdalsvassdraget (21 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

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

