OPPDRAGSRAPPORT A

Nr 2/2019

Flomberegning for Aurlandselvi (072.Z)

Thomas Væringstad

Oppdragsrapport A nr 2-2019

Flomberegning for Aurlandselvi (072.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Forfatter: Thomas Væringstad

Trykk: NVEs hustrykkeri
Forsidefoto: Aurlandselvi, 2004. Foto: NVE/Arne T. Hamarsland
ISBN: 978-82-410-1879-4
ISSN: 1503-0318

Sammendrag: Hydrologisk avdeling har utført flomberegninger for Aurlandselvi ved Vassbygdvatn i Aurland kommune i Sogn og Fjordane. Flomberegningen inngår som en del av det hydrologiske grunnlaget i et FoU prosjekt som NVE/RV har sammen med LFI: « Flaum og vassdragsmiljø i eit endra klima – innovative metodar for restaurering og betre miljøtilstand.»

Middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100 og 200 år er beregnet. Flomverdiene er justert i forhold til ventede klimaendringer.

Emneord: Flomberegning, Aurland, Aurlandselvi.

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

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

Oslo, april 2019

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Beskrivelse av nedbørfeltet **6**

2 Observasjoner **7**

2.1 Flommen 28. – 29. oktober 2014. 9

3 Flomanalyser **10**

3.1 Døgnverdier. 10

3.1.1 Effekt av regulering 13

3.2 Kulminasjonsvannføring. 16

3.3 Klimaendringer. 16

4 Sammenligning mot tidligere flomberegninger **17**

5 Usikkerhet **17**

6 Referanser **18**

Forord

Hydrologisk avdeling har for Region Vest (RV) utført flomberegninger for Aurlandselvi ved Vassbygdvatn i Aurland kommune i Sogn og Fjordane. Flomberegningen inngår som en del av det hydrologiske grunnlaget i et FoU prosjekt som NVE/RV har sammen med Laboratory for Freshwater ecology and Inland fisheries (LFI) i Bergen: « *Flaum og vassdragsmiljø i eit endra klima – innovative metodar for restaurering og betre miljøtilstand*.»

Middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til ventede klimaendringer.

Arbeidet er blitt utført i april 2019.

Thomas Væringstad har utført beregningene, og Ann-Live Øye Leine har kvalitetskontrollert arbeidet.

Oslo, april 2019

Elise Trondsen
seksjonssjef

Thomas Væringstad
senioringeniør

Sammendrag

NVE (Region Vest) har et FoU-prosjekt sammen med Laboratory for Freshwater ecology and Inland fisheries (LFI) i Bergen; « *Flaum og vassdragsmiljø i eit endra klima – innovative metodar for restaurering og betre miljøtilstand*.». I den sammenheng er det behov for flomberegninger for tre ulike vassdrag, et av disse er Aurlandselvi i Aurland kommune i Sogn og Fjordane.

Det er utført flomberegning for Aurlandselvi ved utløpet av Vassbygdvatnet. Middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200.

Datagrunnlaget for flomberegningen kan klassifiseres som middels, med en inndeling fra godt, middels og til dårlig.

Aurlandselvi ligger i et av de områdene i Norge hvor klimaframskrivningene gir størst økning i flomstørrelser frem mot år 2100. Her er det derfor benyttet et klimapåslag på 20 og 40 prosent på de beregnede flomvannføringene.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ble:

	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
Aurlandselvi	760	115	140	170	220	280	360	460
Klima + 20 %	760	140	170	202	260	330	430	550
Klima + 40 %	760	160	190	240	300	390	500	640

Flomberegningen er kontrollert av Ann-Live Øye Leine, NVE.

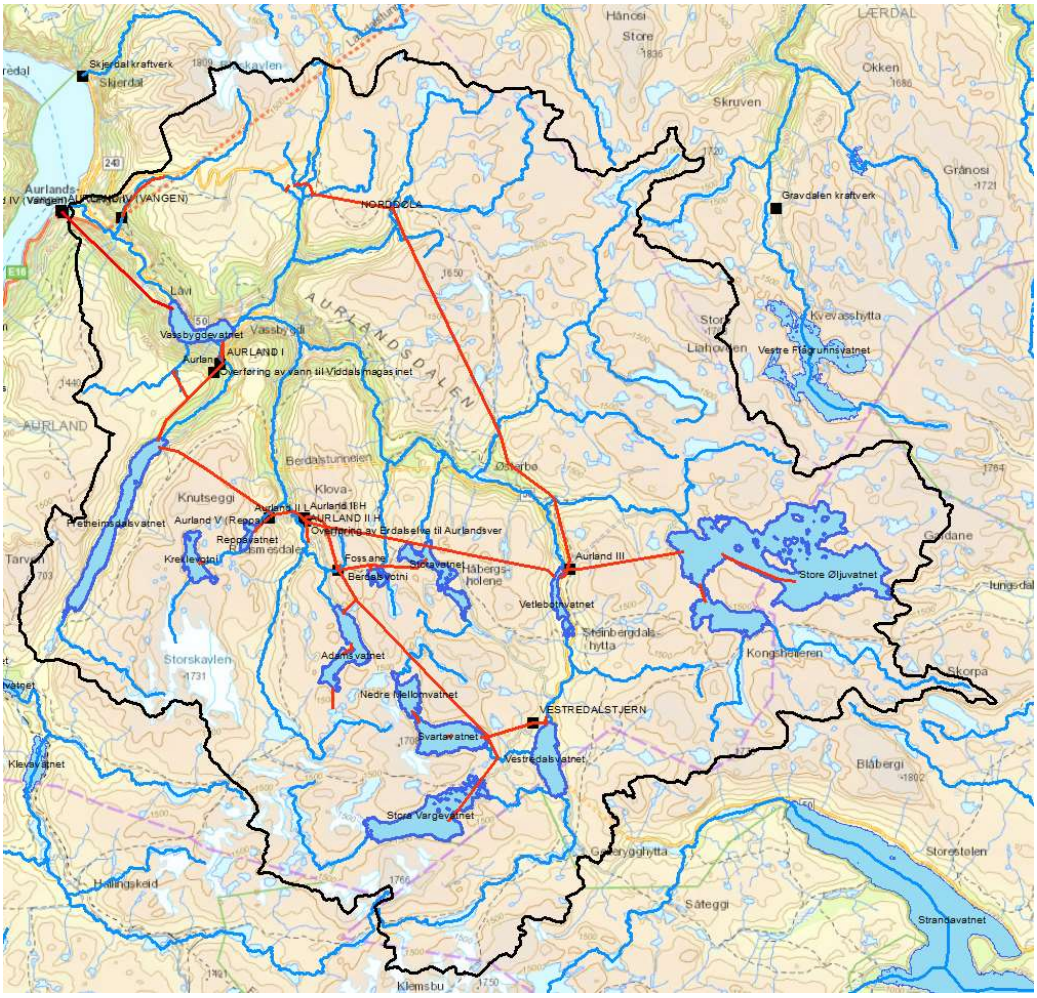
1 Beskrivelse av nedbørfeltet

Det skal beregnes flommer med gjentaksintervall fra 5 til 200 år ved utløpet av Vassbygdvatn. Feltkarakteristika for beregningspunktet er vist i tabell 1.

Nedbørfeltet ved Vassbygdvatn er på rundt 760 km^2, mens ved utløp i Aurlandsfjorden er nedbørfeltet drøyt 800 km^2. Det er flere små sideelver på denne strekningen, og hvor den største er Tverrelvi med et nedbørfelt på drøyt 20 km^2.

Fra utløpet av Vassbygdvatnet er det ca. 6 km til elva munner ut i Aurlandsfjorden. Vannføringen er sterk påvirket av reguleringer i vassdraget. Utbyggingen startet rundt 1970 og ble gradvis mer utbygget frem til 1980. Totalt magasinvolum er 894 mill. m^3, noe som gir en reguleringsgrad (magasinvolum i prosent av midlere årlig tilsig) på drøyt 75 prosent for hele vassdraget. Det medfører at under flom vil magasinene ha betydning på flomforholdene.

Kraftverket Aurland IV (Vangen) har inntak i Vassbygdvatn og utløp i fjorden. Største driftsvannføring er på rundt 90 m^3/s, men kraftverket er normalt ikke i drift i perioden 1/5-15/9. Når kraftverket er i drift vil vannføringen i Aurlandselvi, på strekningen mellom Vassbygdvatn og utløpet i sjøen, være redusert med inntil driftsvannføringen.



Figur 1. Nedbørfeltet til Aurlandselvi.

Tabell 1. Feltkarakteristika, naturlig felt.

Nedbørfelt	Feltareal km^2	Eff. sjø	Q_N* l/s·km^2	Høydeintervall moh.
Aurlandselvi v/Vassbygdvatn	760	0,8	47	54 – 1441 – 1764

2 Observasjoner

Målestasjon 72.7 Vassbygdvatn

Ved Vassbygdvatn er det observert vannstander siden 1908. Vannføringskurven er antatt å være meget god frem til 1980. Vannføringen er uregulert frem til ca. 1971, men er påvirket av økende grad av regulering fra 1972-1980. Etter 1980 er vannføringskurven antatt å være middels god, men gjelder kun i perioder hvor klappluka i utløpet av Vassbygdvatn ligger helt nede. Dette er normalt i sesongen 1/5-15/9. Utenom denne perioden anbefales det å bruke målestasjon 72.22 Låvisbrua.

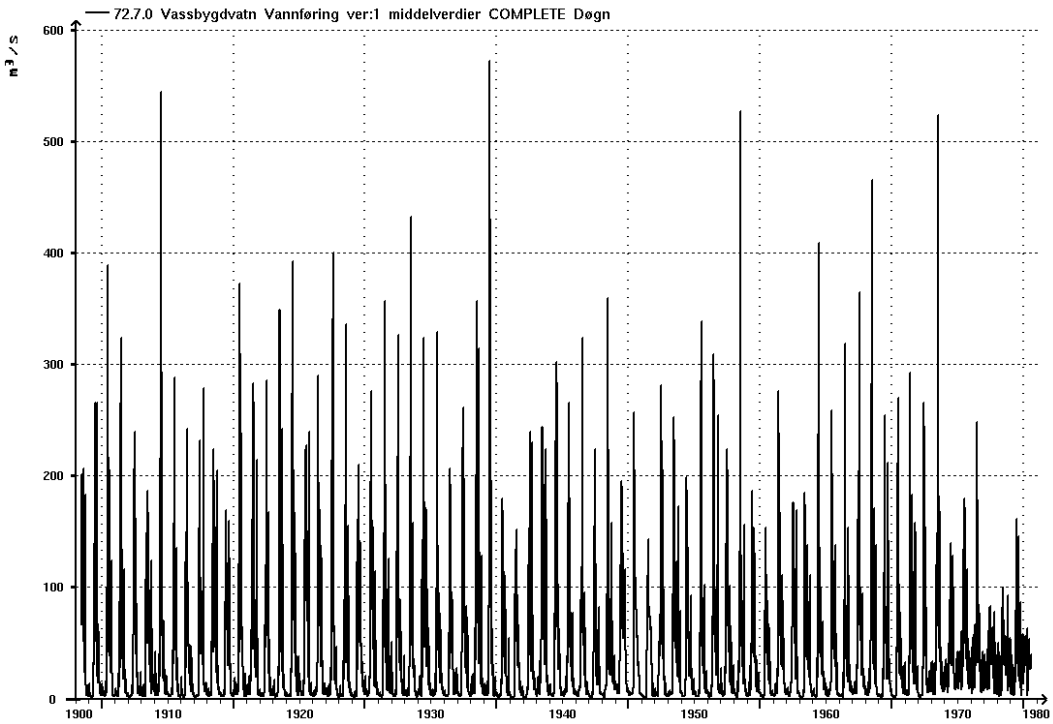
Målestasjon 72.22 Låvisbrua

Målestasjonen har data fra 1989 og frem til i dag. Den ligger nedstrøms inntaket til Aurland IV (Vangen) kraftverk og registrerer normalt minstevannføringen i perioden som kraftverket er i drift. I enkelte kortere perioden kan det være noe flomtap i kraftverket, for eksempel i 2014. Minstevannføringen er på 3,0 m^3/s i perioden 11.9 – 15.6, 10 m^3/s 16.6 – 15.7 og 25 m^3/s 16.7 – 10.9.

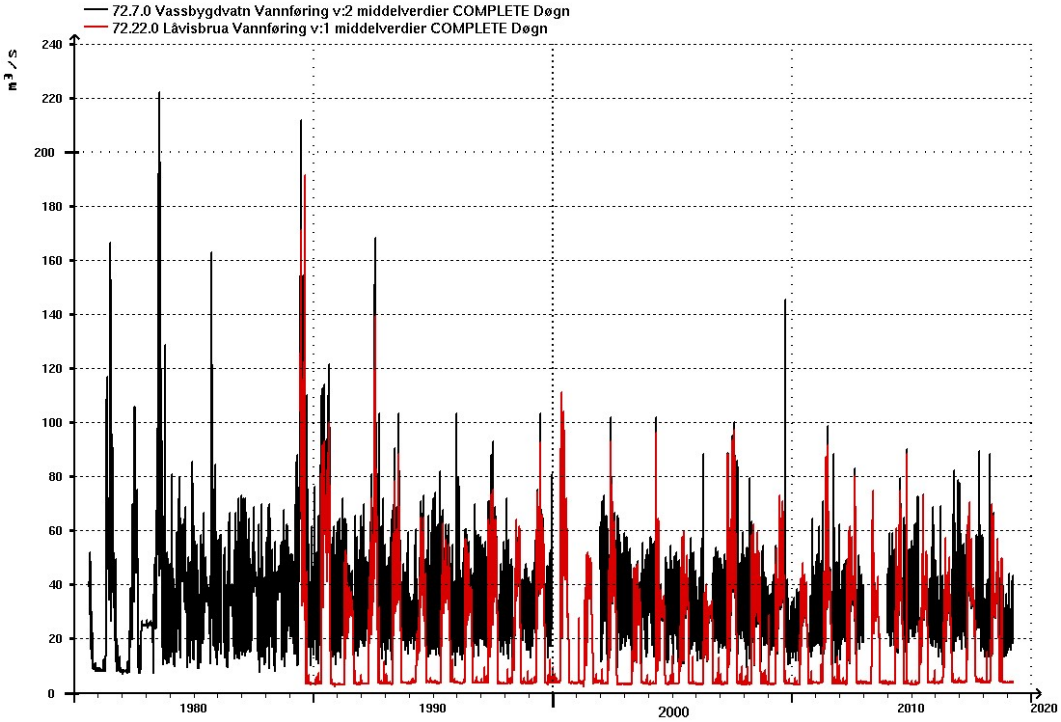
Andre målestasjoner i analysen omtales ikke her, men kan for eksempel leses mer om i Holmqvist (2015).

I figur 2 er vannføringen (døgnmiddel) ved målestasjon 72.7 Vassbygdvatn fra 1908 til 1979 vist. Vannføringene er påvirket av reguleringer i vassdraget mot slutten av perioden.

I figur 3 er vannføringen det vist en sammensatt serie fra målestasjon 72.7 Vassbygdvatn (1980-2018) og 72.22 Låvisbrua (1989-2018). Det kommer tydelig frem at det vises feil vannføring ved målestasjon 72.7 Vassbygdvatn i sesongen 16/9-30/4. Normalt slippes kun minstevannføring i denne perioden. Fra 1989 – 2018 er det kun i enkeltår det er registrert betydelig flomtap fra Vassbygdvatn, hhv. i årene 1989, 1992 og 2014.



Figur 2. Vannføring (døgnmidler) ved målestasjonen 72.7 Vassbygdvatn (1908-1980). Enhet på y-aksen er m³/s.

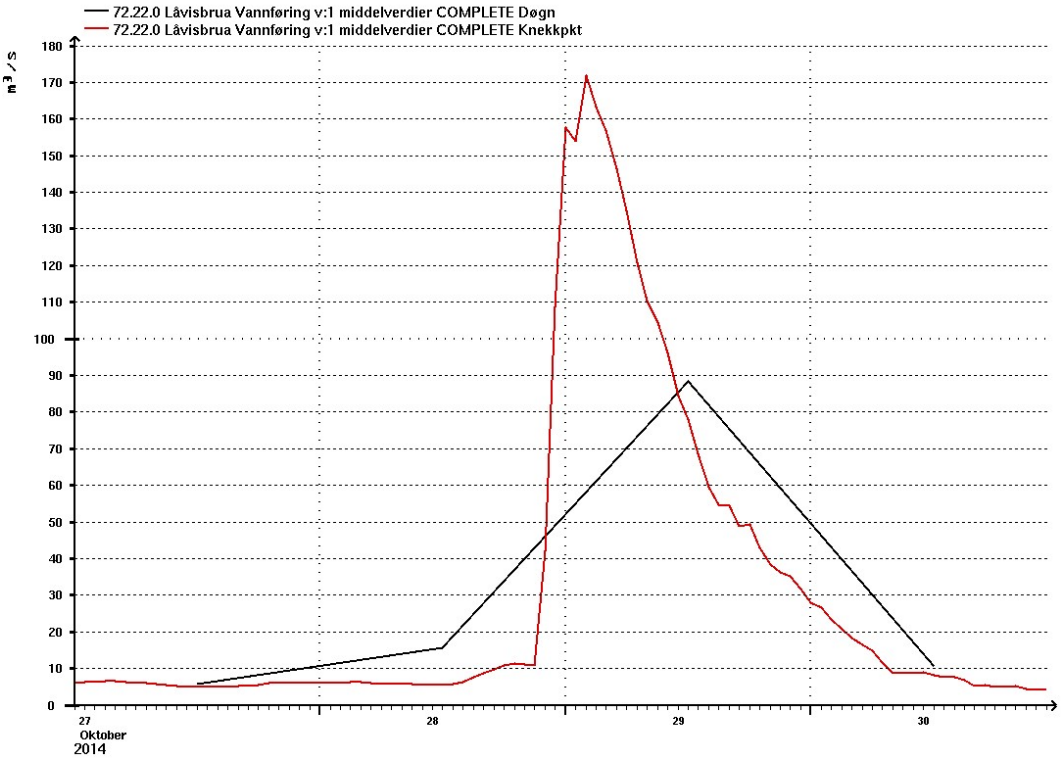


Figur 3. Vannføring (døgnmidler) ved målestasjonen 72.7 Vassbygdvatn (1980-2019) og 72.22 Låvisbrua (1989-2019). Enhet på y-aksen er m³/s.

2.1 Flommen 28. – 29. oktober 2014.

Under flommen 28. – 29. oktober i 2014 viser observasjonene ved Låvisbrua en maksimal vannføring på i overkant av 170 m^3/s, se figur 4. Døgnmiddelvannføringen viser en langt lavere verdi på i underkant av 90 m^3/s. Dette vil i tilfelle gi et forholdstall på nesten 1,9 mellom kulminasjon og døgnmiddel for årets flom. En mulig årsak til den raske økningen i vannføringen kan være at klappluka ved Vassbygdvatn ble senket når vannstanden nærmet seg HRV eller stor reduksjon i driftsvannføringen i kraftverket.

Det er ikke her sjekket lukestillinger eller hvordan kraftverket ble driftet under flommen.



Figur 4. Flomforløpet i oktober 2014, døgn og kulminasjonsverdier.

3 Flomanalyser

3.1 Døgnverdier.

Flomanalysene er i stor grad basert på observasjoner (døgnverdier) ved målestasjonen 72.7 Vassbygdvatn. Stasjonen har en serie som går tilbake til 1908. Analysene av data fra Vassbygdvatn er sammenlignet med analyser av andre lange vannføringsserier på Vestlandet. Feltkarakteristika for disse er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Feltkarakteristika for vannføringsstasjoner.

Stasjon	Feltareal km^2	Eff. sjø %	Q_N* l/s·km^2	Høydeintervall moh.
48.5 Reinsnosvatn	121	3,3	75	595-1232-1635
50.1 Hølen	233	2,0	52	123-1277-1686
72.5 Brekke bru	268	0,7	62	16–1273–1761
72.7 Vassbygdvatn	759	0,8	49	54-1441-1764
72.8 Aurdalsvatn	395	1,8	48	813-1466-1764
72.22 Låvisbrua	770	0,8	-	36-1439-1764

* Normalavrenning er beregnet fra observerte vannføringer ved målestasjonene for normalperioden 1961-1990.

Det er utført frekvensanalyse på årsflommer for målestasjonene. Store flommer forekommer både sent på våren, sommeren og høsten. Flere av de største flommene har vært i juni/juli i Aurlandselvi. I tabell 3 vises resultatene for flomfrekvensanalysene. I figur 5 er resultatet fra analysen av dataene fra 72.7 Vassbygdvatn (uregulert periode) vist ved bruk av GEV-fordelingsfunksjonen. Det er benyttet 65 år med data i analysen.

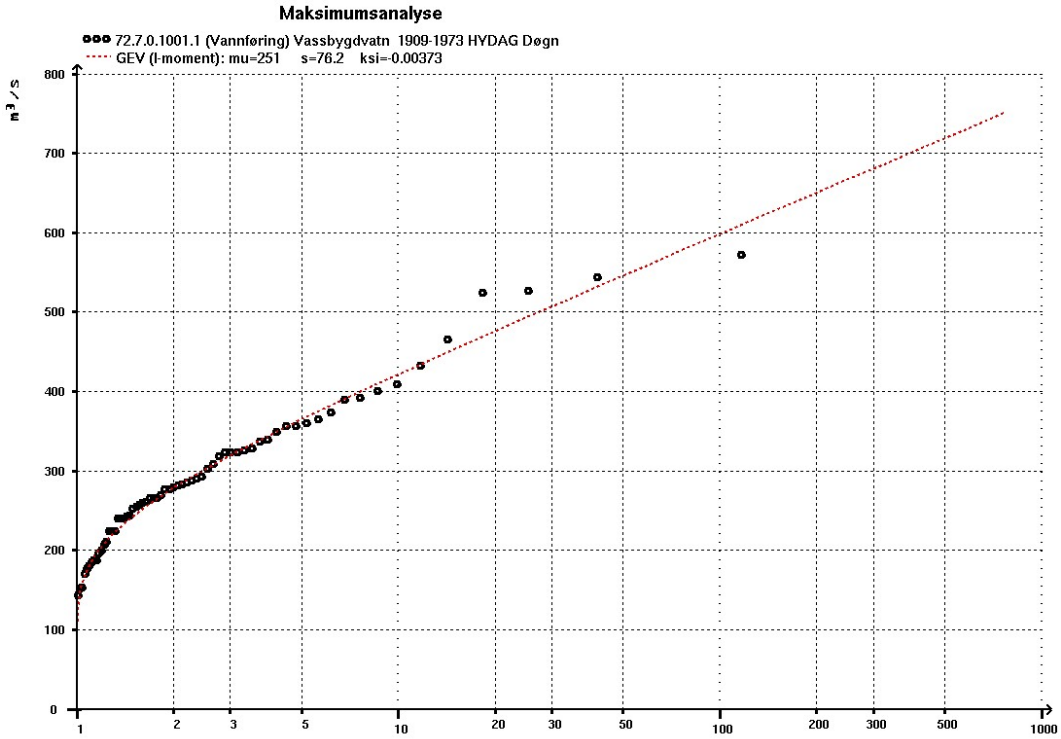
Spesifikk middelflom ser ut til å variere relativt lite mellom målestasjonene i tabell 3. Ser vi på middelflommen i regulert periode, er denne blitt langt mindre enn før regulering.

Resultatene av flomfrekvensanalysen er i noen grad avhengig av hvilken fordelingsfunksjon som legges til grunn. Forholdstallet Q_{200}/Q_M for analyse av data fra Brekke bru i Flåmselvi (Holmqvist, 2015) gir omtrent likt resultat som her, begge med et forholdstall i størrelsesorden 2,1 - 2,2. De øvrige sammenligningsstasjonene har noe lavere forholdstall for de største gjentaksintervallene.

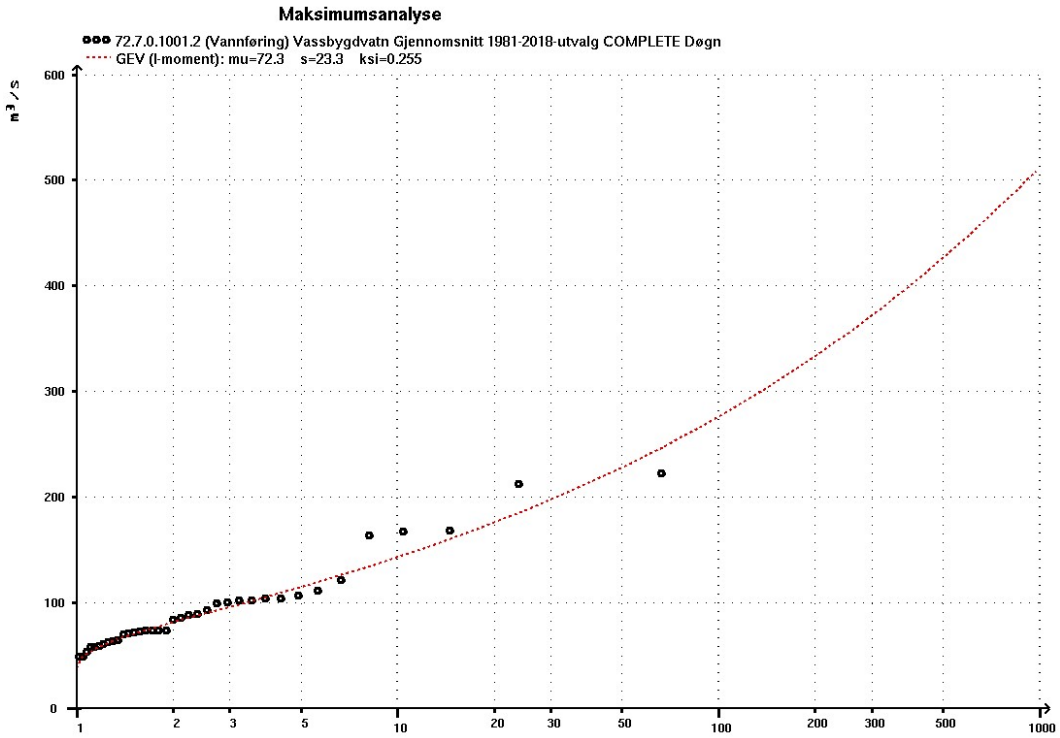
Nytt regionalt formelverk (RFFA-2018) gir litt mindre spesifikk middelflom og lavere forholdstall. Siden vi har gode data fra vassdraget velger vi å benytte disse fremfor formelverk.

Tabell 3. Flomfrekvensanalyse på årsflommer, døgnmiddelverdier.

	Per.	Ant. år	Areal km²	Q_M m³/s	Q_M l/s·km²	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M
48.5 Reinsnosvatn	1918-2018	96	121	53	438	1,20	1,30	1,39	1,47	1,53	1,58
50.1 Hølen	1923-2018	96	233	75	324	1,20	1,35	1,51	1,70	1,85	2,00
72.5 Brekke bru	1908-2014	107	268	101	378	1,20	1,36	1,51	1,73	1,92	2,11
72.7 Vassbygdvatn	1909-1973	65	759	295	388	1,24	1,43	1,62	1,52	2,03	2,21
72.7 Vassbygdvatn	1981-2018	37	759	94	123	1,23	1,53	1,88	2,44	2,95	3,57
72.8 Aurdalsvatn	1953-1973	21	395	150	379	1,18	1,32	1,45	1,63	1,76	1,89
RFFA-2018	-	-	-	234	308	1,17	1,34	1,51	1,72	1,89	2,05



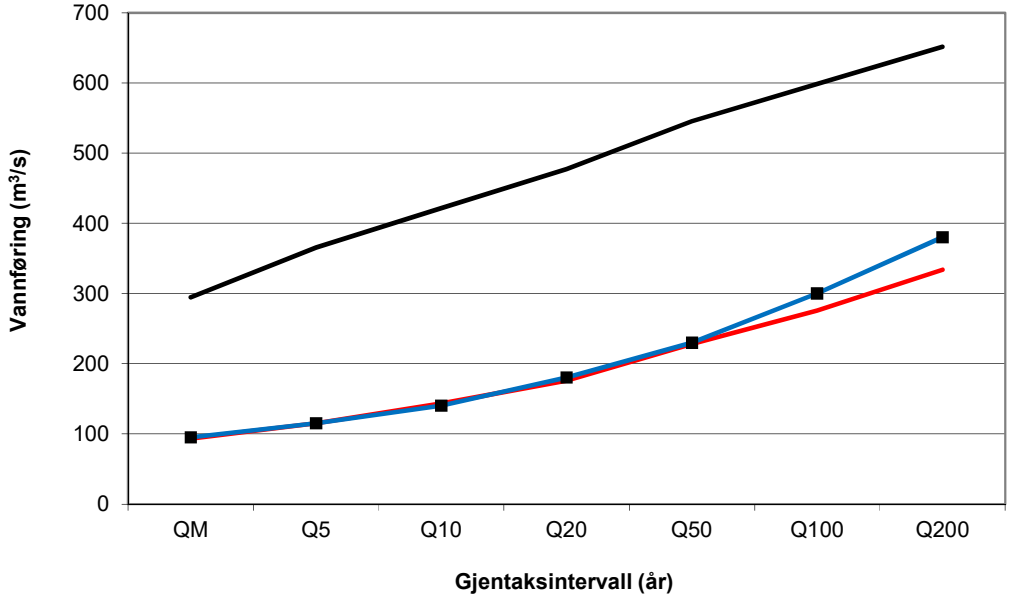
Figur 5. Flomfrekvensanalyse for 72.7 Vassbygdvatn, data fra perioden 1909-1973. Den rød kurven viser tilpasning ved bruk av General Extreme Value- fordeling.



Figur 6. Flomfrekvensanalyse for 72.7 Vassbygdvatn, data fra perioden 1981-2018. Den rød kurven viser tilpasning ved bruk av General Extreme Value- fordeling.

Etter regulering er flomstørrelsene redusert betydelig. Flomfrekvensanalyse er utført på 36 år med data. Dataene fra 72.7 Vassbygdvatn er benyttet, men er korrigert mot 72.22 Låvisbrua når største flom faller i perioden 16/9-30/4. Det virker å være noe forskjell på vannføringskurven mellom de to målestasjonene (72.22 Låvisbrua gir litt mindre vannføringer under flom). Her velger vi konservativt og benytter største verdi av disse. Dette vil gi et noenlunde godt bilde på hva en kan vente av flommer ved lavere gjentaksintervaller. I 1985-1988 er flommene ikke korrigert da det ikke er observasjoner fra 72.22 Låvisbrua i denne perioden. Av disse årene er 1985 flommen ganske stor.

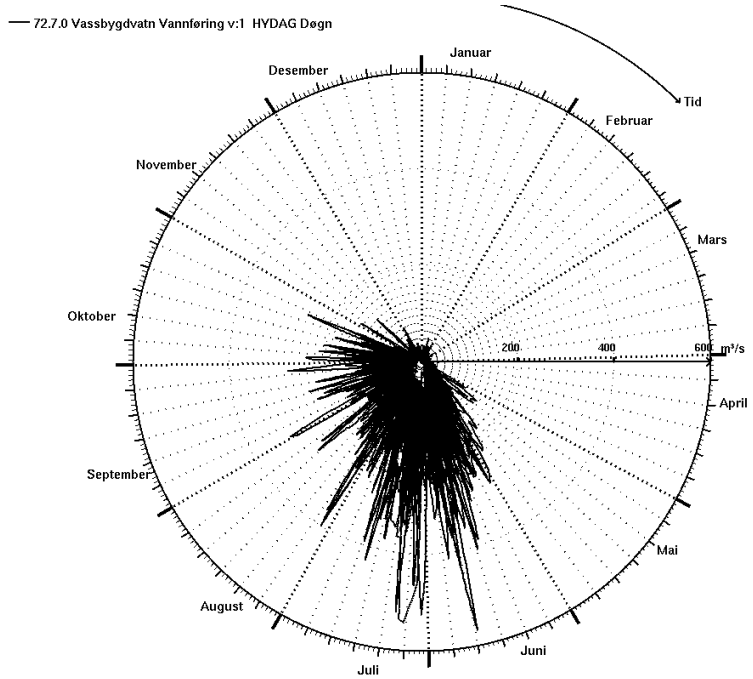
Det antas at regulert observasjonsserie gir et godt bilde av flommer opptil rundt 50-års gjentaksintervall. I flomsonekart sammenheng er det vanlig å anta at vassdraget går mot uregulerte forhold for ekstreme flommer. Siden vassdraget har svært stor reguleringsgrad, vil dette være en svært konservativ antakelse. Siden vi ikke har noen god metode for å kvantifisere flomdempningen som følge av reguleringene i vassdraget, må antakelsene som her legges til grunn nødvendigvis inneholde en stor grad av usikkerhet. I figur 7 er det vist hva som legges til for resultatene. Her vises flomfrekvensanalysen for uregulerte og regulerte forhold, samt valgte flomverdier. For en 200-års flom er det regnet med en reduksjon på rundt 40 % fra uregulerte forhold.



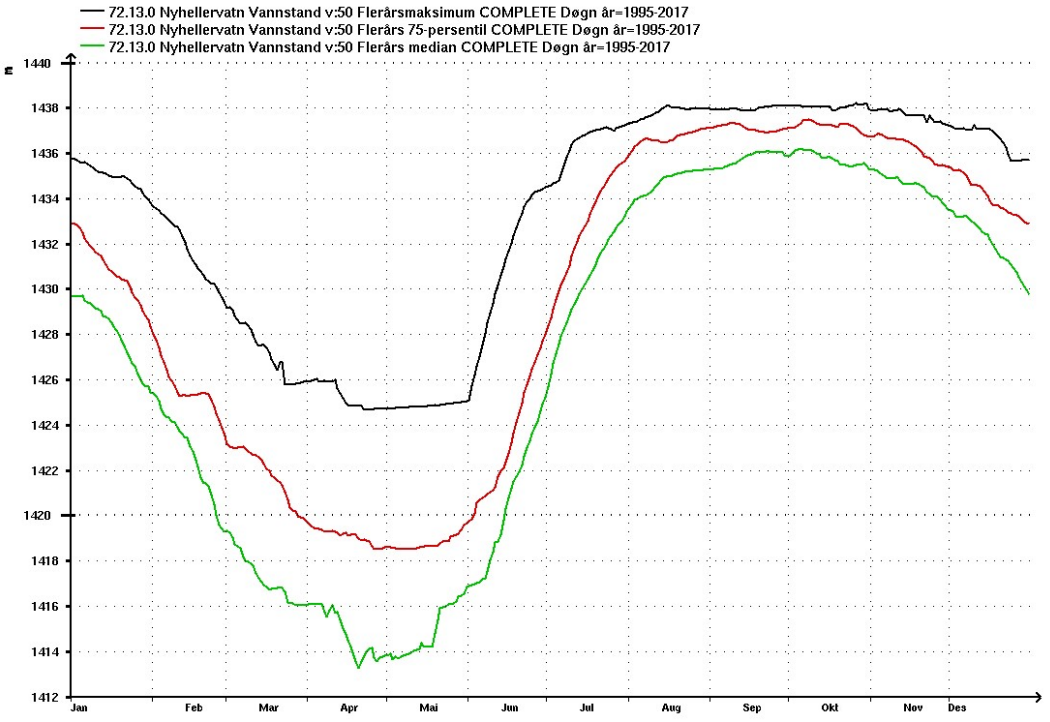
Figur 7. Flomverdier for aktuelt beregningspunkt for uregulert periode (svart kurve), regulert periode (rød kurve) og valgte verdier (blå kurve), døgnmiddelverdier.

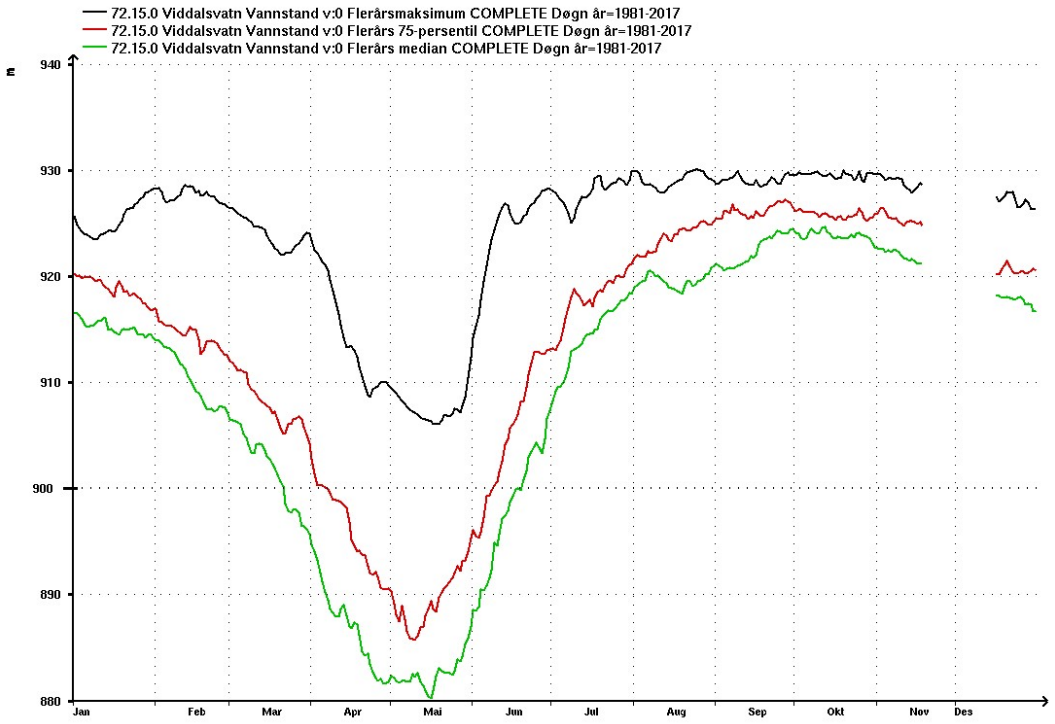
3.1.1 Effekt av regulering

For å vurdere magasinfyllingen i vassdraget er det sett på persentiler av fyllingen i noen store magasiner. Kurvene viser at det normalt er god kapasitet i magasinene frem mot slutten av juli. Utover høsten er det nå opp mot fulle magasiner. Dvs. at i perioden det historisk har vært størst flommer, har magasinene mulighet til å lagre tilsiget under flom. Samtidig er det også store høstflommer i vassdraget, se figur 8.

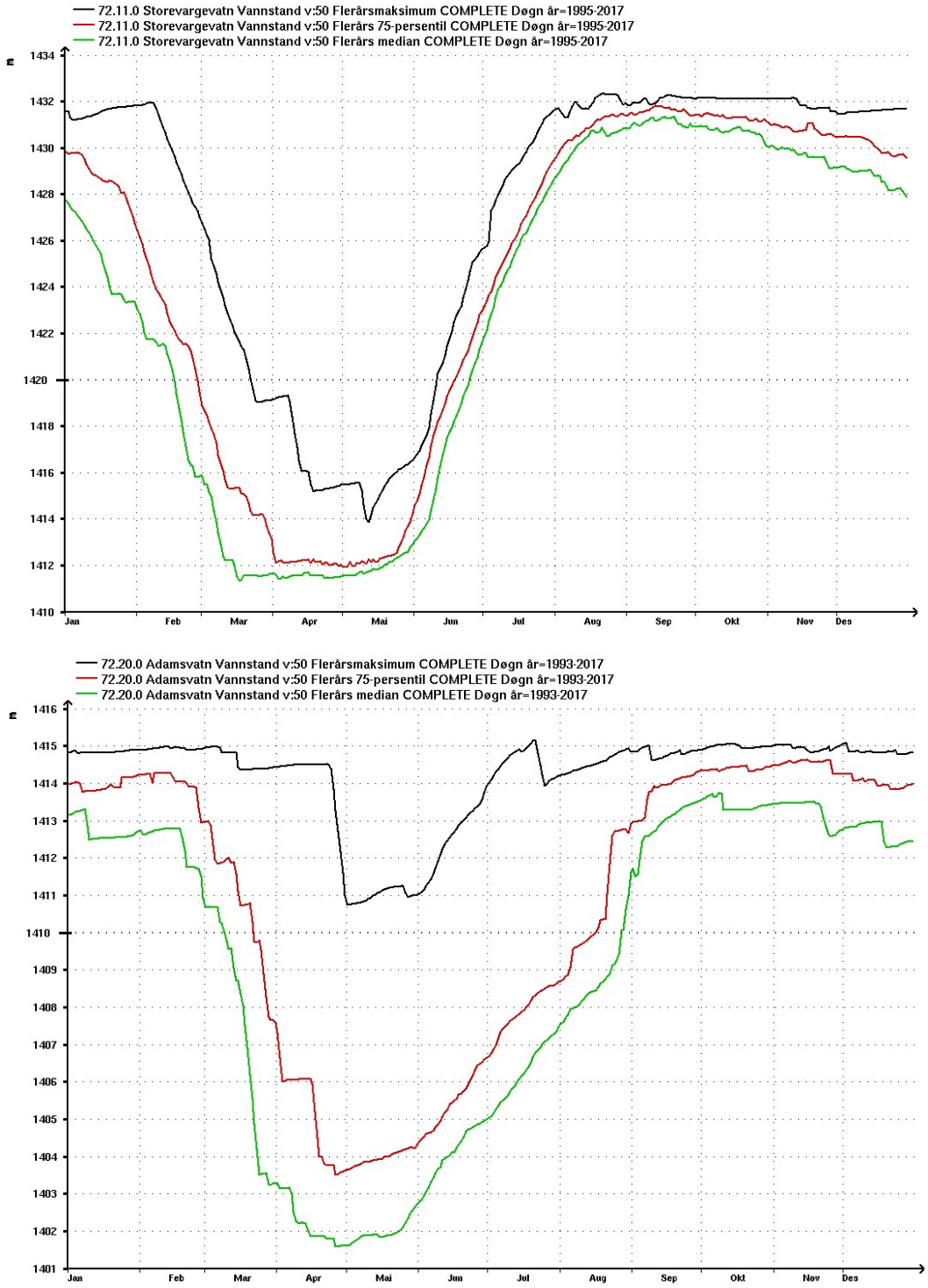


Figur 8. Flomrose som viser når på året flommene historisk har inntruffet, periode 1909-1973.





Figur 9. Historisk magasinfylling i Nyhellervatn og Viddalsvatn.



Figur 10. Historisk magasinfylling i Storevargvatn og Adamsvatn.

3.2 Kulminasjonsvannføring.

Estimert forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelflom for uregulerte forhold ut fra regionalt formelverk (Sælthun m.fl., 1997) er 1,12 for vårflom og 1,21 for høstflom for Vassbygdvatn. Nytt formelverk (RFFA-2018) gir et forholdstall på 1,1.

Analyser av findata ved 72.22 Låvisbrua etter 1989 gir en variasjon mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring som varierer fra 1,1 til 1,9, hvor det er høstflommen i 2014 som har det høyeste forholdstallet. Det er sett på flommer innen samme døgnet. For tidligere relativt store høstflommer har forholdstallene vært mellom 1,1 og 1,4. Et gjennomsnittet av 15 årsflommer er på 1,27.

Ved å sammenligne resultatene fra en flomfrekvensanalyse på kulminasjon og døgn, får vi et forholdstall som varierer fra drøyt 1,2 ved middelflom og opp mot 1,4 for de høyeste gjentaksintervallene.

Reguleringen i vassdraget kan nok i enkelte tilfeller gi kunstig høye forholdstall.

Ut fra dette er det konkludert med å benytte et forholdstall på 1,2 i de videre analysene. For flommer med 20-års gjentaksintervall eller mer er det valgt å runde av kulminasjonsvannføringene til nærmeste 10 m^3/s. Dette gir følgende flomverdier i Aurlandselvi ved Vassbygdvatn (tabell 4).

Tabell 4. Flomverdier for Aurlandselvi ved 72.7 Vassbygdvatn.

	Areal	**Kulm./**	**Q_M**		**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	km^2	**døgn**	m^3/s	$l/s \cdot km^2$	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
Døgnmiddelvannføring	760	-	95	125	115	140	180	230	300	380
Kulminasjonsvannføring	760	1,2	115	150	140	170	220	280	360	460

Ut fra dette hadde flommen 28.-29. oktober 2014 et gjentaksintervall på 10 - 20 år beregnet ut fra kulminasjonsvannføringen (170-190 m^3/s) og et gjentaksintervall på rundt middelflom ut fra beregnet døgnmiddelvannføring (90 m^3/s).

De største flommene er normalt i sommersesongen, når kraftverket står.

3.3 Klimaendringer.

I henhold til NVEs klimastrategi (NVE-rapport 15-2010, Klimatilpasning innen NVEs ansvarsområder) skal det tas hensyn til et endret klima for tiltak/ beslutninger med lang levetid. For eksempel ved å ta hensyn til endringer i flomstørrelser ved arealplanlegging og bygging/ ombygging av viktig infrastruktur.

I Lawrence (2016) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall. Aurlandselvi ligger i en av områdene hvor en venter størst økning i flomvannføringer på grunn av klimaendringer. Det anbefales å vurdere en økning av flommer på både 20 og 40 prosent på grunn av klimaendringer. Det gir følgende flomverdier i vassdraget (tabell 5).

Tabell 5. Flomverdier i et endret klima (20 og 40 % økning) for Aurlandselvi ved Vassbygdvatn. Verdiene er avrundet til nærmeste 10 m^3/s.

	Q_M		Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
	m^3/s	$l/s \cdot km^2$	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
Klimapåslag 20 %	140	184	170	202	260	330	430	550
Klimapåslag 40 %	160	210	190	240	300	390	500	640

Gitt dette, blir det som i dagens klima er beregnet til en 100-årsflom i morgensdagens klima (frem mot år 2100) rundt en 50-års flom.

4 Sammenligning mot tidligere flomberegninger

Norconsult utførte i 2012 en flomberegning for Vassbygdvatn på oppdrag for E-CO Energi AS. Der ble det benyttet data før regulering for 72.7 Vassbygdvatn, og konstruert et forløp over 5-døgn. Etter routing gjennom vassdraget ble 1000-års avløpsflom beregnet til ca. 770 m3/s ut av Vassbygdvatn. I denne beregningen er tilsvarende flom beregnet til 680 m^3/s. Forskjellen tilsvarer omtrent slukeevnen i Aurland IV (Vangen) kraftverk.

Normalt vil en flomberegning utført for damsikkerhet være mer konservativ.

5 Usikkerhet

Det er en hel del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer, dvs. også observerte" flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet.

Videre er det knyttet usikkerhet til om flomdataene fra før 1989 representerer reelle døgnmidler eller ikke. Disse er avlest kun en gang pr døgn. Og det er også usikkerheter knyttet til omregning fra døgn- til kulminasjonsvannføringer og ved valg av flomfrekvensfordeling.

Vi har relativt godt datagrunnlag med en lang uregulert periode, samt nesten 40 år med data etter regulering. På tross av dette må datagrunnlaget for flomberegningen kan klassifiseres som middels, med en inndeling fra godt, middels og til dårlig. Dette skyldes usikkerhet på hvordan vassdraget vil oppføre seg for de aller største flommene, og om det da fortsatt er stor demning av flommer grunnet reguleringen.

6 Referanser

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2 – 2015.

Holmqvist, E., 2015: Flomberegning for Flåmselvi ved Brekke bru (072.2Z). NVE Rapport nr. 27 – 2015.

Lawrence, D., 2016: Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport Nr. 81 – 2016 .

Norconsult, 2012: Flomberegning for Aurland IV. Oppdragsnr. 5111971.

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

NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no