Flomberegning for Dale i Bergdalsvassdraget (061.Z)

Ann-Live Øye Leine

21
2017

RAPPORT

Rapport nr 21-2017
Flomberegning for Dale i Bergdalsvassdraget (061.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Ann-Live Øye Leine

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 10
Forsidefoto: 61.8 Kaldåni (Foto: NVE)
ISBN 978-82-410-1573-1
ISSN 1501-2832

Sammendrag: Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som skal danne grunnlaget for et evt. nytt flomsonekart for tettstedet Dale i Bergdalsvassdraget. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for nøkkelpunkter i vassdraget.

Emneord: Flomvannføring, Dale, Bergdalsvassdraget

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

2017

Innhold

Innhold 1
Forord 2
Sammendrag 3
1. Beskrivelse av oppgaven 4
2. Beskrivelse av vassdraget 5
2.2 Reguleringer i vassdraget 5
2.3 Karakteristiske vannføringer 6
3. Hydrometriske stasjoner 9
4. Beregning av flomverdier 12
4.1. Korrigering av flomstørrelser ved Storfossen 12
4.1. Flomfrekvensanalyser – valg av vekstkurve 14
4.2. Beregning av middelflom 16
4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring 18
4.4 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer 20
5. Observerte flommer 22
6. Sammenligning med andre flomberegninger 24
7. Usikkerhet 26
Referanser 28

Forord

Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Beregning av flomvannføringer på flomutsatte elvestrekninger er en del av dette arbeidet. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer som blant annet benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med at det er behov for oppdaterte flomsonekart for tettstedet Dale i Bergdalsvassdraget i Hordaland. Rapporten er utarbeidet av Ann-Live Øye Leine og kvalitetskontrollert av Thomas Væringstad. Arbeidet ble utført i februar/mars 2017.

Oslo, mars 2017.

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Dale omfatter et beregningspunkt i Daleelvi i Vaksdal kommune i Hordaland. Beregningspunktet ligger rett nedstrøms Dale sentrum og skal danne grunnlaget for oppdatering av flomsonekartet ved Dale.

Store flommer kan forekommer hele året, men de største flommene er som regel rene regnflommer i løpet av høsten og vinteren, hvor de aller største flommene gjerne er en kombinasjon av snøsmelting og regn.

Der har vært flere store flommer i Bergdalsvassdraget siden flomberegningene i 2002. Største registrerte flom ved dam Storefossen skjedde 14.november 2005.Skadeomfanget ved tettstedet Dale var stort. Flommen i oktober 2014 var også stor, men flomsikringstiltakene etter flommen i 2005 ga god effekt og ingen større skader skjedde.

Bergsdalsvassdraget er regulert, det er derfor noe utfordrende å ta hensyn til reguleringer slik at gjentaksintervallet på de beregnede flomverdiene blir riktig. Observerte flomdata av tilstrekkelig kvalitet i vassdraget er noe begrenset.

Flomberegningen er basert på frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i vassdraget, representative målestasjoner fra nabovassdragene, regionale flomformler og flomberegninger gjort ifb. med dimensjonering av damsikkerhet.

Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall opp til Q_{1000}. Vannføringene er inkl. driftsvannføring fra Dale II kraftverk (Maks slukeevne 45 m^3/s). Resultatene av beregningene ble:

Tabell 1. Flomverdier i Bergdalsvassdraget for det aktuelle beregningspunktet, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	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
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	165	205	238	269	310	386	426	481	526

Tabell 2. Flomverdier inkl. anbefalt klimapåslag (20 %) for Bergdalsvassdraget, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	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
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	198	246	286	323	372	463	511	577	631

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Usikkerheten er stor pga. måten data er registrert på, at observerte data er påvirket av reguleringer i vassdraget og fordi man ikke har lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over ca. 50 år.

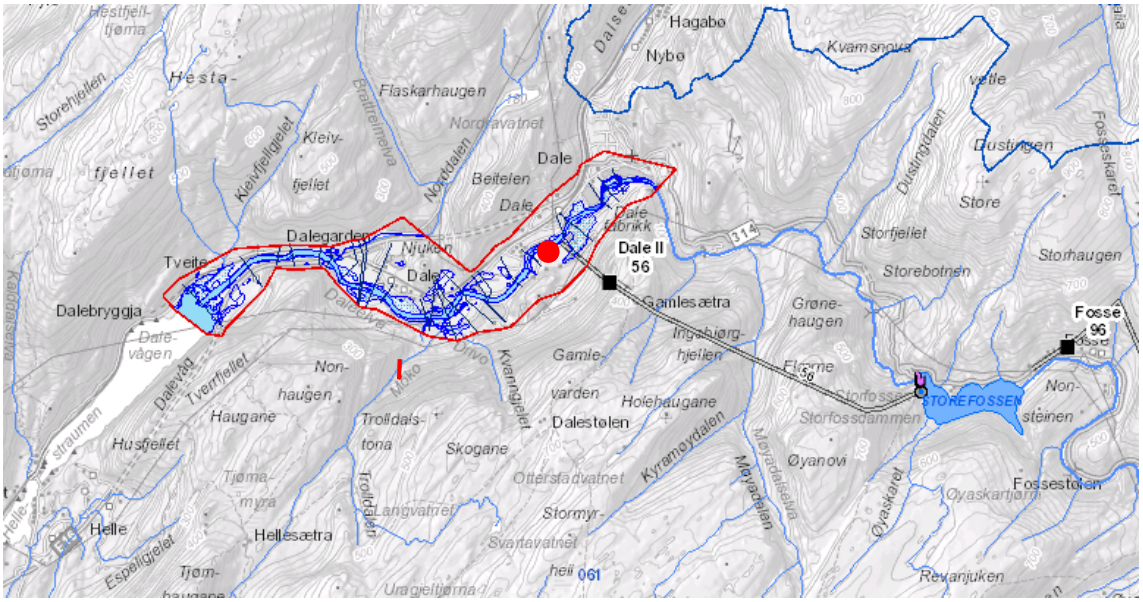
Det at det finnes målestasjoner i vassdraget og driftsdata fra kraftverkene gjør at det hydrologiske grunnlaget for flomberegningen er brukbart og dermed settes til klasse 2, på en skala fra 1 til 3, hvor 1 tilsvarer beste klasse.

1. Beskrivelse av oppgaven

I 2002 gjorde NVE en flomberegning (Pettersson, 2002) som la grunnlag for flomsonekartlegging av Dale (Edvardsen og Larsen, 2003). Etter storflommen i 2005 ble det gjort nye flomberegninger (NVE-notat, Pettersson, 2008). Det er behov for å gjøre beregningene som inkluderer flommen i 2005 lettere tilgjengelig, og fordi man har tilgang på lengre måleserier (stor flom i regionen i 2014 og 2015) er det bestemt at flomberegningen skal revideres.

Figur 1 viser strekningen som er aktuell i forbindelse med revisjon av flomsonekartplanene. Beregningspunktet fra 2002 skal også benyttes for den nye beregningen.

Som grunnlag for arbeidet med hydraulisk modell i Daleelva skal normalvannføring, middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år beregnes.



Figur 1. Kart over strekning som er flomsonekartlagt er rammet inn i med rød strek. Rød prikk viser beregningspunkt for flomberegningen, rett nedstrøms utløpet til kraftverket.

2. Beskrivelse av vassdraget

Største delen av Bergsdalsvassdraget ligger i Vaksdal kommune i Hordaland, men nedbørfeltet strekker seg også inn i kommunene Voss, Kvam og Samnanger. Nedbørfeltet ned til fjorden er på 199 km^2. Høyeste punkt er på ca. 1200 moh., mens feltets midlere høyde er 740 moh. Bergsdalsvassdraget grenser mot Vossovassdraget i nordøst og mot Samnangervassdraget i sørvest, og har ellers mindre vassdrag rundt seg. Øverst i feltet ligger Hamlagrøvatnet, 587 moh. Fra utløpet i sørvestenden renner Bergsdalselvi mot nordvest 15-20 km til tettstedet Dale hvor elven dreier mot sørvest og munner ut i fjorden. Den nederste strekningen av elven kalles Daleelvi. Den eneste sideelven av noen størrelse er Kaldåni, som renner til fra nordøst 5 km nedstrøms Hamlagrøvatnets utløp.

Aktuelle feltparametere for beregningspunktene er oppsummert i Tabell 3.

Den naturlige middelvannføringen i vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk avrenning på 101 $l/s \cdot km^2$ for Daleelvi ved utløpet mot fjorden. Middelavrenningen varierer innenfor vassdraget fra 55 $l/s \cdot km^2$ i de lavereliggende områdene omkring Dale, til omkring 140 $l/s \cdot km^2$ i de høyereliggende områdene sørvest i Bergsdalsvassdraget. Storfossen viser en naturlig spesifikk avrenning på ca. 104 $l/s \cdot km^2$, dette tilsvarer ca. 3330 mm/år. Avrenningskartet har en usikkerhet på ± 20 % og øker normalt for små arealer.

Tabell 3. Feltparametere for utvalgte punkter i Bergdalsvassdraget inkl. normalavrenningen.

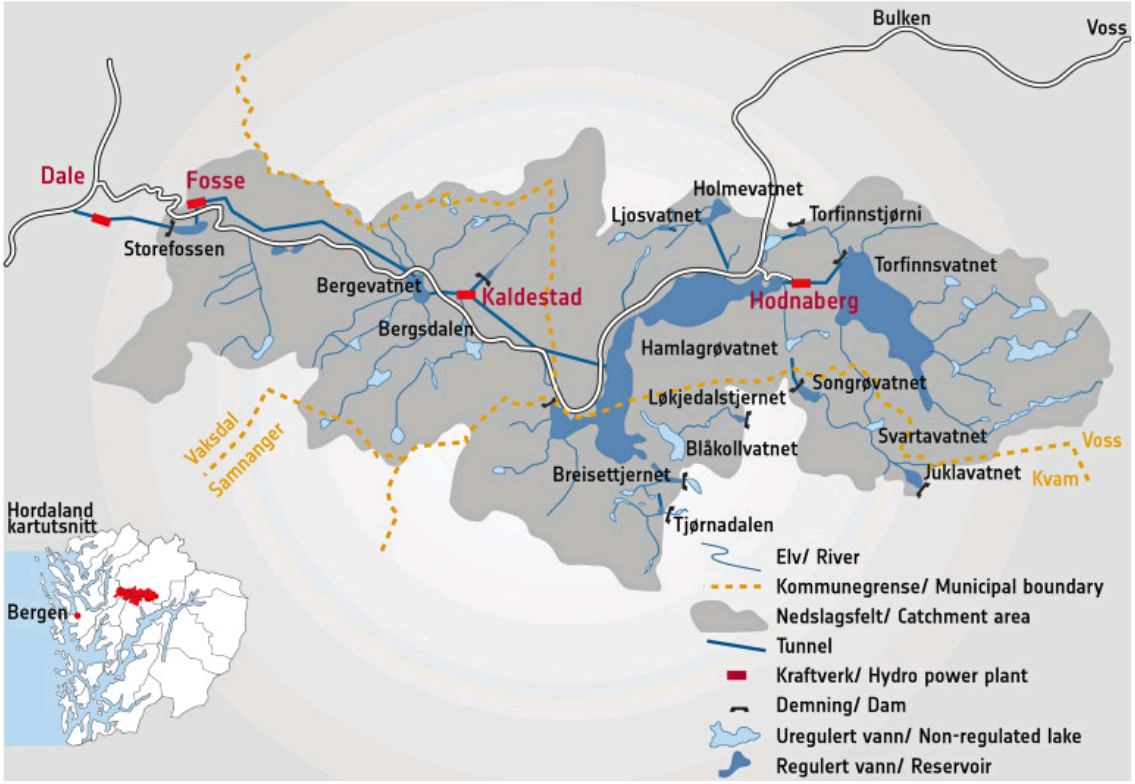
Beregningspunkter	Feltareal (km^2)	Eff. sjø (%)	Q_N* ($l/s \cdot km^2$)	Q_N (m^3/s)	H_{50} (moh.)	Snaufjell (%)
Storfossen, lokalfelt	102,3	0,46	108,0	-	-	-
Storfossen	171,6	3,0	103,8	18	768	71,3
Daleelvi, nedstr. utløp til krv.	182,3	2,6	102,9	19	761	70,2
Daleelvi, ved utløp til fjorden	198,8	2,2	101,4	20	742	67,2

** Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990.

BKK sin egen nedbørmåler ved Fosse (nær Storfossen, 420 moh.) har for perioden 2002-2012 en gjennomsnittlig årsnedbør på ca. 3200 mm.

2.2 Reguleringer i vassdraget

Bergsdalsvassdraget ble utbygd for kraftproduksjon i slutten av 1920-årene, da Dale kraftverk nederst i vassdraget ble anlagt. I 1932 ble et felt i Torfinno, en sideelv til Vosso, overført til Bergsdalsvassdraget. Denne overføringen, som også omfattet en regulering av Torfinnsvatnet, var den første store vassdragsoverføringen som det er gitt konsesjon på i Norge. Senere er flere, mindre felt overført fra nabovassdragene til Bergsdalsvassdraget oppstrøms Hamlagrøvatnet. Totalt er ca. 78 km^2 overført til Bergsdalsvassdraget, og maks totalkapasitet er ca. 65-70 m^3/s (BKK, 2015).



Figur 2. Oversikt over Bergsdalsvassdraget (www.BKK.no)

Det er 4 kraftverk i vassdraget. Hodnaberg kraftverk ble bygd i 1950-årene og utnytter fallet fra Torfinnsvatnet til Hamlagrøvatnet. Hamlagrøvatnet, som ble regulert første gang i 1928, har et areal på 10,3 km^2 og et nedbørfelt på 69 km^2. Halmagrøvatnet er intaksmagasin for Kaldestad kraftverk. Dette kraftverket ble satt i drift i 1964 og ligger 5 km nedstrøms magasinet. Like nedstrøms Kaldestad kraftverks utløp ligger Bergsvatnet, som er inntaksmagasin for Fosse kraftverk. Fra Bergsvatnet fører en drøyt 7 km lang driftstunnel til kraftverket, som ble bygd i første delen av 1950-årene. Litt nedenfor Fosse kraftverk ligger Storefossdammen ca. 400 moh. Den har et lite areal, 0,2 km^2, og er inntaksmagasin for Dale kraftverk. Dammen sto ferdig i 1948. Kraftverket, som ligger like nedstrøms Dale sentrum, utnytter et fall på om lag 375 m gjennom den 2,1 km lange driftstunnelen. De første aggregatene ble satt i drift i 1927, og senere har flere utvidelser funnet sted. I årene 1987 til 1990 bygget BKK en helt ny kraftstasjon i fjell på Dale. Fire av aggregatene i gamlestasjonen ble pensjonert og avløst av ett nytt aggregat. I 2007 kom et nytt aggregat på plass i det nye kraftverket, og da var det ikke lenger behov for å fortsette driften i det gamle kraftverket (www.bkk.no). Før 1990 var maksimal driftsvannføring ca. 30 m^3/s, men er nå 45 m^3/s.

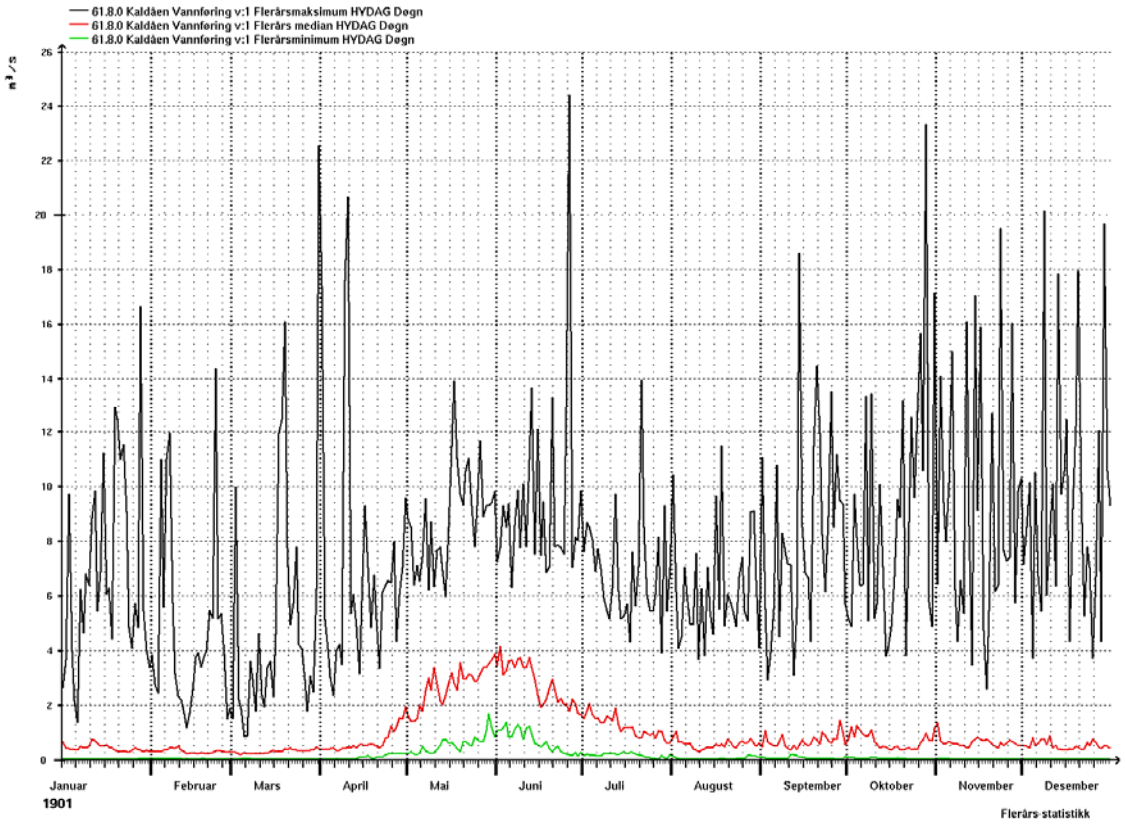
BKK har nylig revidert flomberegningene for flere av dammene i Bergdalsvassdraget; Storfossen dam (2015), Hamlagrøvatnet dam (2016) og Torfinnsvatn dam (2017).

2.3 Karakteristiske vannføringer

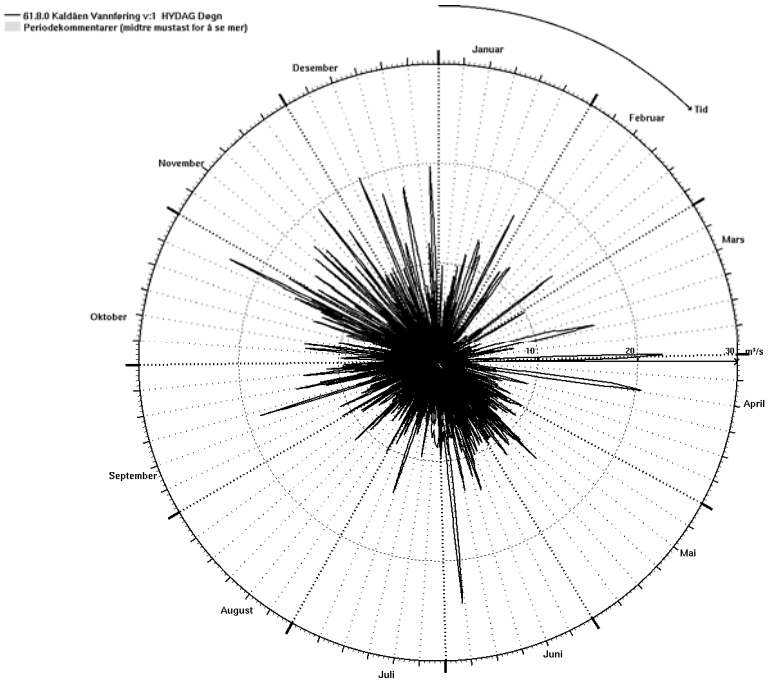
Bergsdalsvassdraget ligger så nært kysten at det er utsatt for regnvær og flom så å si hele året, men med flest flommer på høsten/vinteren. En kombinasjon av regn og snøsmelting gir de aller største flommene. Flommene i vassdraget er meget raske og

intense på grunn av få innsjøer i den nedre delen av vassdraget. Hamlagrøvatnet demper ofte flombidraget fra den øvre delen av vassdraget, inklusive overføringene, men dersom magasinet er fullt, er dempningseffekten begrenset.

I figurene 3-4 illustreres de hydrologiske forholdene i vassdraget. Karakteristiske vannføringer ved 61.8 Kaldåen kan illustrere avrenningsforholdene i de uregulerte delene av vassdraget. Figur 3 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året for perioden 1987-2016. Øverste kurve (maksimum) i diagrammet viser største observerte vannføring og nederste kurve (minimum) viser minste observerte vannføring i løpet av måleperioden. Den midterste kurven er mediankurven, dvs. at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne. Figuren viser at flommer forekommer til alle årstider. Dette fremgår også av figur 4. Informasjon om de største flommene finnes i kap.5.



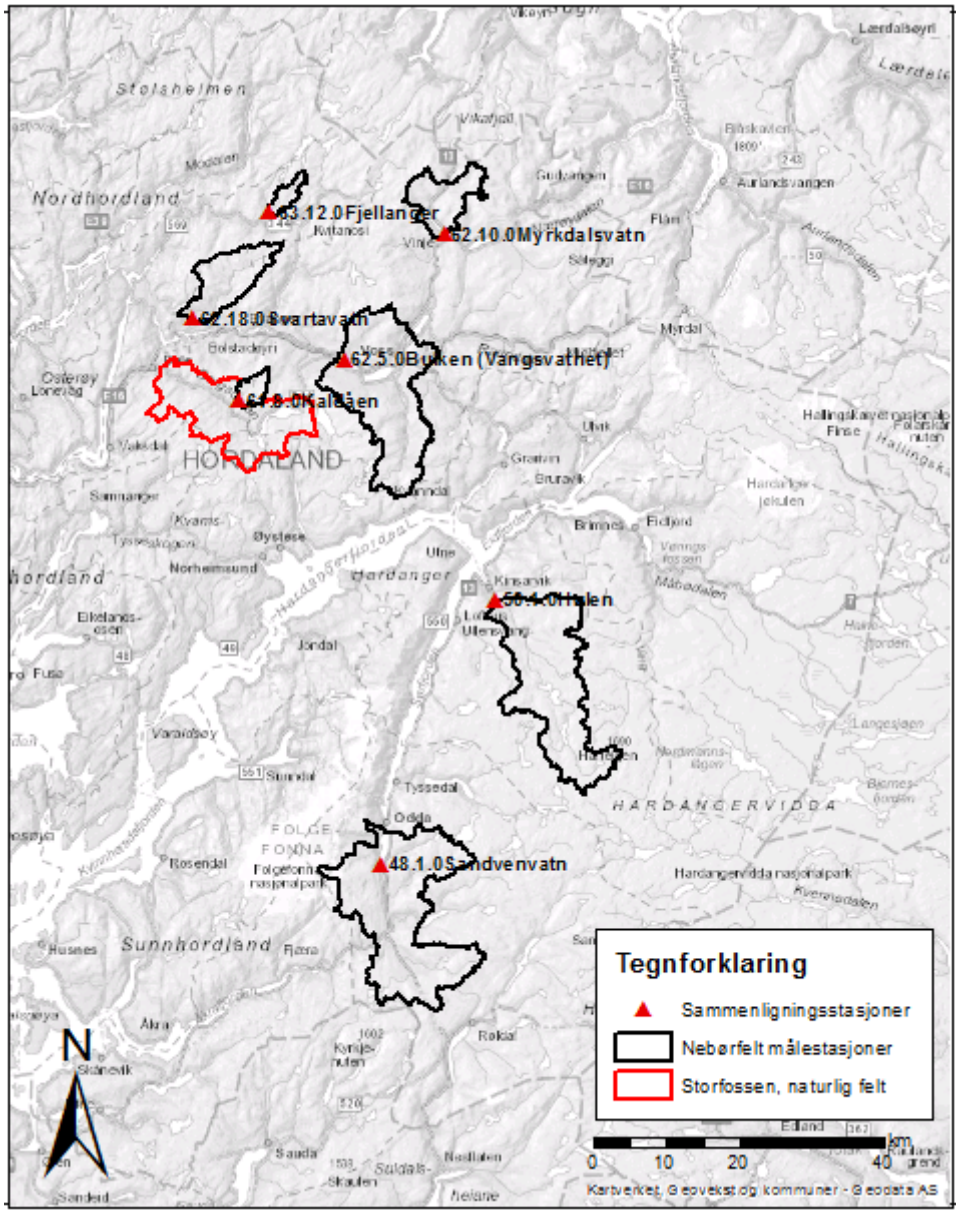
Figur 3. Flerårsstatistikk for 61.8 Kaldåen. Figuren viser observerte min, median og maksvannføring over et døgn for hver enkelt dag i året for perioden 1988 – 2016. Årene 1985-1987 er ikke med fordi de ikke er komplette eller har usikre data i de årene.



Figur 4. Årsplott for 61.8 Kaldåen, 1988-2016

3. Hydrometriske stasjoner

Det er bare en uregulert vannføringsstasjon i Bergdalsvassdraget, men der er flere uregulerte målestasjoner i nabovassdragene. Figur 5 viser beliggenheten og nedbørfelt til aktuelle sammenligningsstasjoner. Feltparameterne er oppsummert i Tabell 6.



Figur 5. Oversikt over målestasjoner benyttet i beregningene for Bergdalsvassdraget

Tabell 4. Feltparametere for målestasjoner benyttet/vurdert i analysene for Bergdalsvassdraget.

Stasjon	Feltareal (km^2)	Eff. sjø (%)	Normalavløp, Q_N ($l/s \cdot km^2$)*	Normalavløp, Q_N Obs. ($l/s \cdot km^2$)	Medianhøyde (moh.)
Bergdalsvassdraget:					
61.8 Kaldåen	15	0,10	108	101**	884
Arbeidsserie, Storfossen***	102	0,46	108	-	-
Arbeidsserie, Storfossen****	172	3,00	104	-	768
Nabovassdrag:					
62.10 Myrkdalsvatn	158	1,12	76,3	75,6**	975
62.16 Kvitno	42	0,10	57,5	73,9**	898
62.18 Svartavatn	72	0,32	103,0	112,1**	754
62.5 Bulken	1092	0,89	64,6	64,3	867
63.12 Fjellanger	13	0,89	95,0	95,4**	913
50.1 Hølen	233	2,00	53,3	51,8	1277
48.1 Sandvenvatn	568	1,22	87,2	77,3	1090

* Normalavløp funnet fra avrenningskartet for perioden 1961 – 1990.
** Hele observasjonsperioden, har ikke data fra hele perioden 1961-1990.
*** Lokalfelt til Storfossdammen, eks. Hamlagrøvatn.
**** Naturlig areal, inkl. Hamlagrøvatn (eskl. overføringer inn i feltet)

Arbeidsserie[1] er en konstruert vannføringsserie for å beskrive tilsiget til Storefoss. Målestasjon **61.10 Storefoss** registrerer vannstand ved Storefossdammen. Vannstanden er omregnet til vannføring, dvs. flomtap over det faste overløpet, ved bruk av følgende overløpsformel[2]:

$$Q = 90 \cdot (H - 402.00)^{1.5}$$

Vannføringen fra overløpet vil sammen med driftsvannføringen, beregnet for **61.14 Dale II kraftverk**[3], representere den totale vannføringen ved Storefossdammen. Det er ikke gjort kontrollmålinger i felt som bekrefter at den teoretiske overløpsformelen gir riktig vannføringskurve.

Arbeidsserien har data f.o.m 1965 – 2016, med brudd i 1969,1970 og 1990-1994 på grunn av manglende vannstandsobservasjoner ved 61.10 Storefoss. For perioden frem til 1995 antas det at de største registrerte vannstandene representerer momentanverdi ved kulminasjon, men dette kan også være vannstander registrert ved et fast klokkeslett (Pettersson, 2002). Fra og med 1995 viser data fra 61.10 Storefoss vannstand ved døgnstart og ikke et reelt døgnmiddel. Beregning av døgnmiddelvannføringen kan derfor være både under- og overestimert i forhold til den riktige døgnmiddelvannføringen. For bruk av data i frekvensanalysene er flommene i 2000,

[1] Dale II kraftverk , arbeidsserie i Hydra II med nr. 61.14.0.1001.99.
[2] Overløpskoeffisient C = 2, effektiv lengde på overløpsterskel, L= 44,5m. H_0 =402, overløpshøyde.
[3] 61.14 Dale II kraftverk, inkl. data fra 61.9 Dale kraftstasjon fra 1963-1989. Verdiene repr. et døgnmiddel og er beregnet ut ifra produksjonsdata.

2005, 2007 (Pettersson, 2008) og alle større flommer f.o.m 2008 justert til korrekte døgnmiddel pga. tilgang på timesdata. Mer om dette i avsnitt 4.1.1

61.8 Kaldåen ligger i elva Kåldåni og er den eneste uregulerte målestasjonen i Bergdalsvassdraget. Stasjonen har observasjoner siden 1985, men de to første årene er av tvilsom kvalitet. Lite nedbørfelt og liten effektiv sjøprosent gir en rask avrenning. Målestasjonen har et fast bestemmende profil og vannføringskurven er beregnet teoretisk med kontrollmålinger opp mot vannføring 18 m^3/s (Q_M=15 m^3/s). Vannføringskurven er vurdert som ok av felthydrolog, men høy vannhastighet forbi målestasjonen, gjør de største flommene usikre. Stasjonen er is-og snøoppstuvet. Det er gjort forholdsvis mange korrigeringer i tidsserien, også av flomverdier.

62.10 Myrkdalsvatn ligger i Vossovassdraget ca. 40 km nordøst for Storfossdammen. Målestasjonen har data fra 1964.

62.16 Kvitno lå i Vossovassdraget ca. 35 nordøst for Storfossdammen. Målestasjonen har data fra 1983-1999. Feltet er lite, med tilnærmet ingen demping. Data er av ukjent kvalitet.

63.12 Fjellanger er et lite felt som ligger ca. 25 km nordøst for Storfossdammen. Observasjoner fra 1994.

62.18 Svartavatn ligger i Vossovassdraget, ca. 8 km nordøst for Storfossdammen. Stasjonen har observasjoner siden 1987. Liten selvreguleringsevne pga. lite areal og liten effektive sjøprosent. Målestasjonen har data av god kvalitet ifølge felthydrolog.

62.5 Bulken, som ligger i Vangsvatnet ca. 20 km nordøst for Storfossdammen har Norges lengste vannføringsserie med data fra 1892. Stor dempning pga. stort areal og Vangsvatnet. Målestasjonen har data av god kvalitet ifølge felthydrolog.

50.1 Hølen ligger ca. 45 km sørøst for Storfossdammen. Stasjonen har data tilbake til 1923. Store deler av feltet ligger forholdsvis høyt. Feltet har en noe dempet avrenning pga. større effektiv sjøprosent.

48.1 Sandvenvatn ligger i Opo ved Odda, ca. 70 km sør-sørøst for Storfossdammen. En av Norges lengste vannføringsserier med data fra 1908. Data fra de eldste periodene er av dårlig kvalitet, og det har også vært usikkerhet knyttet til profilet ved utløpet av vannet pga. div. bru- og veiutvidelser. NVEs felthydrologe vurderer stasjonen i dag til å gi gode data på alle vannføringer. Noe vanskelige måleforhold for vannføring.

4. Beregning av flomverdier

Grunnlaget for flomsonekartleggingen er flomvannføringer for gitte gjentaksintervall som beskrevet i kapitel 1. Siden det finnes observasjon av vannstand ved Storfossen og driftsvannføring ved Dale kraftverk med inntak i Storfossen dam, er utgangspunktet for flomfrekvensanalysen en konstruert vannføringsserie for Storfossen, men også regionale flomfrekvenskurver (Sælthun *m.fl.*, 1997) og data fra sammenlignbare referansestasjoner er brukt for å vurdere om vannføringsserien ved Storfoss gir fornuftige verdier.

Observasjoner ved Storfossen viser at man for flommer opp til nivå med 2005-flommen har hatt ingen/lite bidrag fra Hamlagrøvatn under flomsituasjoner på grunn av ledig kapasitet i Hamlagrøvatn og bevist manøvrering fra regulanten. Oppgaven løses dermed ved at man gjør en vurdering av flomvannføringer til Storfossen (lokalfelt) for gjentaksintervall opp mot Q_{50}, men at man for større gjentaksintervall ilegger et bidrag fra Hamlagrøvatn. Bidragene fra Hamlagrøvatn er basert på informasjon om simulert avløp fra Hamlagrøvatn i forbindelse damsikkerhetsvurderinger (BKK, 2015). Det beregnes også et tilsig fra det uregulerte restfeltet, før endelig vannføring nedstrøms utløpet til Dale II kraftverk fastsettes.

4.1. Korrigering av flomstørrelser ved Storfossen

For å få et best mulig estimat på døgnmiddelvannføring og representativ vekstkurve for Storfossen bør vannføringsdata for årets største flom korrigeres der man har grunnlagsdata for å gjøre dette. Dette fordi databasen viser en døgnverdi som representerer vannføring ved døgnstart. For de største flommene i perioden hvor man har tilgang på timesdata (2008-2016) og for flommen i 2005 er døgnmiddelflommen korrigert.

Seriens høyeste registrerte vannstand 28.11.71 er en feilregistrering (Pettersson, 2002). Flommen i 01.11.2007 er registrert med 183 m^3/s som døgnmiddel i databasen, men ble i beregningene fra 2008 nedjustert til 113 m^3/s. Det antas at dette er basert på informasjon fra regulant, og at 113 m^3/s er reell døgnmiddelvannføring. Seriens 10 største flommer er gjengitt i Tabell 5.

Døgnmiddelflom for to ulike perioder er presentert i Tabell 6. For å unngå å inkludere kulminasjonsflommer ved beregning av døgnmiddelflom, og fordi det har vært mulig å korrigere flomverdiene pga. tilgang på timesdata, er det valgt å benytte data fra perioden 1995-2016. Det antas at 22 år med data er tilstrekkelig til å gi et godt bilde av middelflommen ved Storfossen.

Forbitapping fra Hamlagrøvatn kan gjøres gjennom luken «Dyrasteget». Fram mot 2009 er forbitapping kun registrert i en notatlogger. Etter 2009 er verdiene tastet inn i regulantens database med varierende kvalitet. Det er i tillegg nålestengsler i dam Hamlagrø som kan benyttes som forebyggende tiltak i tillegg til forbitappingen.

Tabell 5. De 10 største observerte flommer ved Storfossen (1965-2016), basert på Arbeidsserie 61.14.0.1001.99.

Dato	Reg. databasen	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Kommentar
15.11.2005	119	*180*	282	Justert døgnverdi via timesverdier
20.12.2015	163	*175**	190	Justert døgnverdi via timesverdier
10.01.1971	171	171	-	Momentanverdi, enten ved fast klokkeslett eller kulminasjon
11.11.1986	168	168	-	Momentanverdi, enten ved fast klokkeslett eller kulminasjon
27.10.1983	167	167	-	Momentanverdi, enten ved fast klokkeslett eller kulminasjon
28.01.1998	165	165	-	Antatt verdi ved døgnstart.
28.10.2014	135	*156*	229	Justert døgnverdi via timesverdier
15.10.1967	145	145	-	Momentanverdi, enten ved fast klokkeslett eller kulminasjon.
18.11.1978	128	128	-	Momentanverdi, enten ved fast klokkeslett eller kulminasjon
27.10.1995	127	127	224	Antatt verdi ved døgnstart.

*Forbitapping på ca. 24 m^3/s 20.12.2015, «uregulert» døgnmiddelverdi er derfor 151 m^3/s.

Kaldestad kraftverk som har inntak i Hamlagrøvatn og i elven Kaldåna, har en slukeevne på 37,9 m^3/s. Overløpet til Kaldåni ligger i samme høgde som HRV i Hamlagrøvatnet, slik at det teoretisk sett ikke vil overføres vann fra Kaldåni til Hamlagrøvatnet. Ved drift av Kaldestad under store flomhendelser vil mesteparten av vannet som går gjennom kraftverket komme fra bekkeinntaket i Kaldåni (BKK, 2016). Under moderate flommer vil kjøringen av Kaldestad variere, da dette avhenger av vannstanden i de ulike magasinene. Nedstrøms Kaldestad er det et mindre magasin (Bergsvatn), mens Hamlagrø er et stor magasin som ofte har stor demping. I mange tilfeller vil det derfor være gunstig å holde litt igjen i Hamlagrø for å unngå overløp nedstrøms Kaldestad.

Under flommen 14.11.05 var bidraget fra Hamlagrøvatn minimalt, da kraftverket i snitt ble kjørt på ca. 40 % (ca.15 m^3/s) av maks slukeevne. Man kan da anta at tilnærmet alt vann kom fra Kaldåni (observert døgnmiddel var 19 m^3/s ved 61.8 Kaldåen). Data fra Kaldestad kraftverk (data tilgjengelig f.o.m 2008) og 61.8 Kaldåen viser at bidraget fra Hamlagrøvatn varierer fra 0 – 30 m^3/s for de største flommene. Under flommen i 2014 ble ikke Kaldestad krv. kjørt.

I perioden 2009-2016 er det kun registrert forbitapping ved 6 perioder/tilfeller ifølge BKK sin logg. Under flommen i 2015 ble det i snitt tappet 24 m^3/s (20.12), og 43 m^3/s (21.12). Flommen i 2015 er derfor korrigert ved bruk i frekvensanalysen. De andre forbitappingene har skjedd på tidspunkt hvor det ikke har vært stor flom, eller så har tappingen har vært så liten at flommene ikke er korrigert.

Det har heller ikke vært overløp fra Hamlgrøvatn under årets største flom i perioden 1965- 2007 (Petterson, 2008). Det er heller ikke registrert overløp ved flommen i 2005

eller 2014. Moderat kjøring av Kaldestad kraftverk tyder på kontroll og at man dessuten ikke har åpnet nålestengslene under flommen i 2005 (BKK, pr. mail.2017).

Man kan derfor anta at observert døgnmiddelflom ved Storfossen (lokalefeltet nedstrøms Hamlagrøvatn) representerer en tilnærmet uregulert middelflom. Det betyr at nesten 70 km^2 av det totale feltet (+ overføringer inn i feltet) bare har bidratt i begrenset grad til flommene ved Storefossen. Spesifikk middelflom, som er beregnet til drøyt 590 $l/s \cdot km^2$ i Tabell 6, skal være ca. 990 $l/s \cdot km^2$, hvis man legger arealet nedenfor Hamlagrøvatn, 102 km^2, til grunn. Fordi Hamlagrøvatnets felt har bidratt noe ved vannføring gjennom Kaldestad kraftverk er middelflom sannsynligvis mellom 850-900 $l/s \cdot km^2$.

For større flommer enn det man har observert til nå er det naturlig å anta at areal oppstrøms Hamlagrøvatn (inkl. overføringene) også vil bidra.

4.1. Flomfrekvensanalyser – valg av vekstkurve

En skiller gjerne mellom vårflommer og høstflommer. Store vårflommer er ofte en kombinasjon av snøsmelting og regn. Høstflommer kommer som regel fra en ren regnhendelse. De underliggende mekanismene er forskjellige og kan ha ulike fordelinger. Vårflommene er årvisse, har ofte stort volum og lang varighet og øker moderat mot høye gjentaksintervall. Høstflommer kan være små eller mangle helt enkelte år, men stiger ofte raskere for sjeldne hendelser. I vassdrag med hyppighet av både høst- og vårflommer er det vanlig å utføre separate analyser av vår- og høstflommene, og ekstrapolere frekvenskurvene hver for seg (Sælthun *m.fl.*, 1997).

I flomsonekartprosjektet er det bestemt at frekvensanalyse av årsflommer skal legges til grunn for beregningene (NVE, 2000 (rev. 2013)). Det vil si at frekvensanalysen er basert på en serie som består av den største observerte døgnmiddelvannføringen for hvert år. Bakgrunnen for dette er at en flomepisode, enten den inntreffer vår eller høst, ofte er en kombinasjon av både snøsmelting og regn, og tilhører derfor nødvendigvis ikke en av to forskjellige populasjoner. Dette er også tilfellet for mange flommer i Bergdalsvassdraget.

Med bakgrunn i dette er det utført flomfrekvensanalyser av årsflommer ved målestasjonene beskrevet i kapitel 3. For hver stasjon tilpasses ulike fordelingsfunksjoner, og den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene velges. Frekvensfordeling for de forskjellige stasjonene er sammenfattet i Tabell 7 sammen med regionale vekstkurver. Middelflom (Q_M) er oppgitt i absolutte og spesifikke verdier og flommer for ulike gjentaksintervall (Q_T) som forholdstallet (flomfrekvensfaktor) til middelflom (Q_T/Q_M). Normalvannføringen finnes i Tabell 3. Frekvensfordelingen som er benyttet direkte videre i beregningene er uthevet.

Tabell 6. Flomfrekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun *m.fl,* 1997).

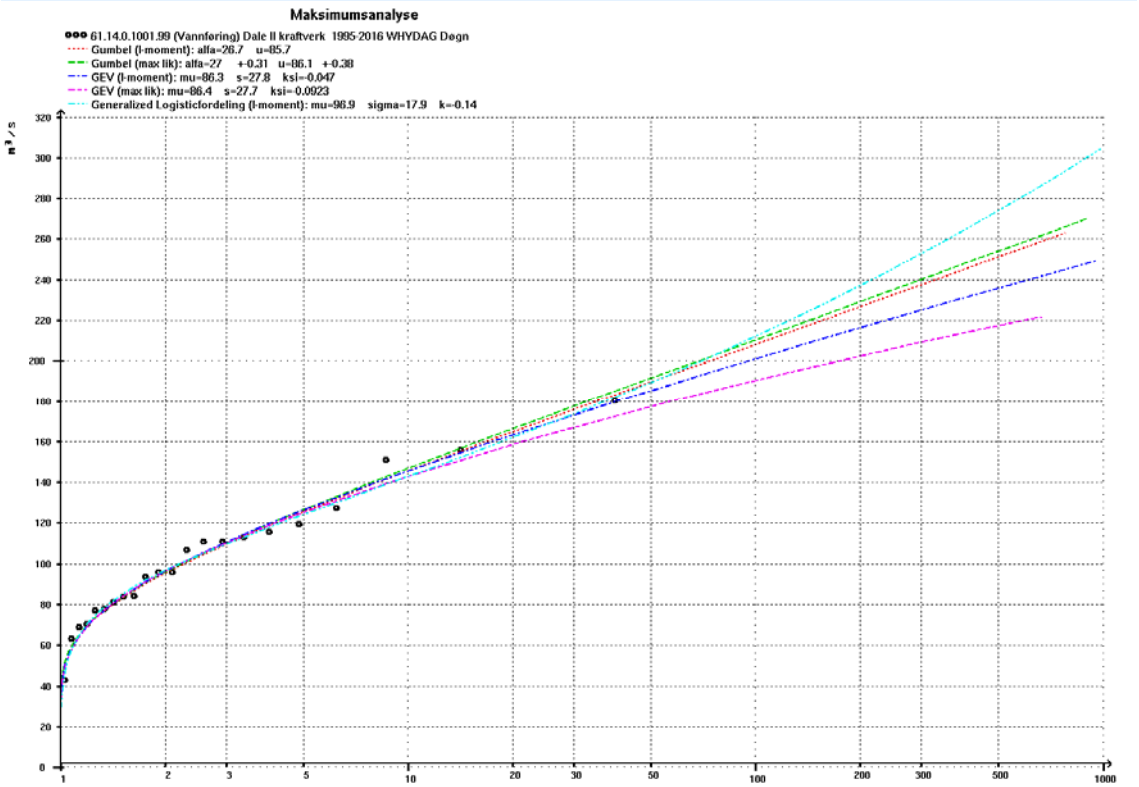
Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km^2	Q_M		Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M	Fordeling
				l/s·km^2	m^3/s									
61.10 Storfossen	1965-2016	45	172	602	103,3	1,25	1,45	1,65	897	2,09	2,27	2,52	2,71	GEV
	1965-2016	45	102	1014	103,3									
61.10 Storfossen	1995-2016	22	172	588	101,1	**1,24**	**1,44**	**1,63**	**1,90**	**2,06**	**2,24**	**2,49**	**2,67**	Gumbel
	1995-2016	22	102	992	101,1									
61.8 Kaldåen	1985-2016	28	15,3	1005	15	1,23	1,42	1,60	1,83	2,00	2,2	2,41	2,57	Gumbel
62.5 Bulken*	1892-2015	124	1092	321	351	1,18	1,33	1,47	1,67	1,84	2,0	2,27	2,49	GL
62.5 Tilløp,Bulken	1892-2014	123	1092	469	429	1,17	1,32	1,48	1,71	1,91	2,13	2,47	2,76	GL
62.10 Myrkdalsvatn	1964-2016	53	158	511	81	1,18	1,35	1,53	1,78	1,98	2,20	2,51	2,76	GEV
	1964-2016	53	158	511	81	1,17	1,33	1,51	1,79	2,03	2,3	2,77	3,17	GL
62.16 Kvitno	1983-1998	16	41,6	736	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62.18 Svartavatn	1987-2016	29	72	1110	80	1,20	1,36	1,51	1,71	1,86	2,0	2,21	2,36	Gumbel
63.12 Fjellanger	1994-2016	22	13	793	10	1,15	1,26	1,38	1,52	1,63	1,70	1,89	2,00	Gumbel
48.1 Sandvenvatn	1909-2016	108	470	513	241	1,19	1,37	1,55	1,81	2,02	2,25	2,57	2,83	GEV
50.1 Hølen	1923-2016	94	233	323	75	1,19	1,33	1,48	1,70	1,87	2,06	2,34	2,57	GL
H1 – regionale				706		1,3	1,6	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	
K2 – regionale				1040		1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	
NIFS	-	-	102	1247**	**	1,20	1,39	1,59	1,89	2,16	2,45	2,92	3,33	

*Resultat fra beregninger gjort i 2015, data fra 2016 gir minimale endringer.
** Kulminasjonsvannføring

Flomforholdene i et nedbørfelt påvirkes både av klimatiske og fysiografiske forhold. Ved valg av representativ frekvensfordeling for umålte felt, er det antatt at klimatiske forhold har større betydning enn de fysiografiske. Ideelt sett bør man ha tilgang på lange dataserier som representerer dagens vannføringsforhold for å få et riktig bilde av vassdraget i fremtiden.

De korteste seriene fra sammenligningsstasjonene er ikke vektlagt, da de alle har en dårlig tilpasset vekstkurve, som gir urimelige gjentaksintervall på noen av de større flommene. Der er flere lange tidsserier i nærheten. Alle de lengre tidsseriene i området rundt Bergdalsvassdraget er forholdsvis samsvarende. Både 48.1 Sandvenvatn og 50.1 Hølen er inkludert i frekvensanalysene pga. lengden på seriene, men man skal være klar over at disse stasjonene ligger i et området som kan gjøre de noe lite representative for Bergdaslvassdraget da begge stasjonene har innhold av bre og at de lokale forskjellene i vær er forholdsvis stor i denne delen av landet. Disse to stasjonen blir derfor ikke tungt vektlagt. Forholdstallet Q_{200}/ Q_M ligger mellom 2,1 og 2,3, mens for Q_{1000}/Q_M er spriket noe større, 2,5-2,8 (3,1).

Vekstkurven fra de to tidsperiodene ved Storfossen gir verdier som ligger i midtsjiktet sammenlignet med verdier fra de lengre tidsseriene, og de samsvarer også med de regionale vekstkurvene for årsflommer (K2). De to periodene har forholdsvis like vekstkurver. Fordi det antas at den lengste serien både har kulminasjonsflommer og døgnmiddelverdier (og derfor noe dårligere tilpasning til valgt fordeling), er den korte serien valgt, se Figur 6.



Figur 6. Frekvensfordelinger for 61.14.0.1001.99 Dale II kraftverk (1995-2016). De fire største flommene er hhv. 2005, 2014, 2015 og 1995. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet Q_T/Q_M.

4.2. Beregning av middelflom

Ved beregning av absolutte flomstørrelser bør feltkarakteristika som effektiv sjøprosent og feltareal i større grad inngå i vurderingen av representative nedbørfelt enn i frekvensanalysen. Spesifikk middelflom antas å avta med økt størrelse på nedbørfeltet, ved at flomtoppene fra de ulike delfeltene vil nå hovedvassdraget til litt forskjellig tid. Spesifikk middelflom vil også avta med økt effektiv sjøprosent, ved at sjøer har en flomdempende effekt.

Representativ sammenligningsstasjoner som 61.8 Kaldåen, 62.18 Svartavatn, 63.12 Fjellanger (små, raske felt) viser at spesifikk middelflom for lokalfeltet til Storfossen bør ventes å være mellom 800-1000 l/s·km^2. Spesifikk middelflom bør være mindre enn 61.8 Kaldåen (1005 l/s·km^2) og Svartavatn (1110 l/s·km^2) på grunn av at Storfossen har et større areal og større effektiv sjøprosent.

Ref. kapittel 4.1 gir den konstruerte vannføringsserien ved Storfoss (Areal =102 km^2) en middelflom på 990 l/s·km^2 Denne verdien anses som representativ for dagens forhold.

Trekker man ifra et bidrag fra Hamlagrøvatn via Kaldestad kraftverk på ca.150 l/s·km^2 [4]ligger middelflom for lokalfeltet på ca. 850 l/s·km^2. Dette samsvarer også med vurderinger gjort i 2002. For det uregulerte restfeltet settes dermed en spesifikk middelflom til 850 l/s·km^2. Denne verdien kan anses som konservativ, da det er naturlig å anta at flom fra restfeltet kulminerer noe før.

Til sammenligning så har man også sett på regionale flomformler. I Sælthun *m.fl.*, (1997) er det utarbeidet regionale flomformler for beregning av spesifikk middelflom i uregulerte felt som bygger på regresjon mot feltparametere. Bergsdalsvassdraget ligger så nært kysten at det er utsatt for regnvær og flom så å si hele året, men med flest flommer på høsten/vinteren. En har derfor valg å se på formelverket både for høstflommer (H1) og årsflommer (K2). Formlene høstflommer estimerer lavere verdier (ca.700 l/s·km^2) enn observert middelflom, mens verdier basert på formler for årsverdier ligger noe over (ca.1000 l/s·km^2).

Som et alternativ er formelverket for små felt (bare gyldig opp til ca. 50 km^2) (Glad mfl., 2015) også vurdert. Dette gir en spesifikk middelflom, kulminasjonsverdi, på hhv. 1247 og 1767 l/s·km^2 for Storfossen og Kaldåni. Omregnet til døgnverdi[5], gir dette en spesifikk døgnmiddelflom på hhv. 831 og 950 l/s·km^2.

Middelflom basert på observasjoner er lagt til grunn for videre vurderinger, ved Storfossen.

NB! Det er ikke inkludert et ekstra bidrag fra Hamlagrøvatn for gjentaksintervall Q_{100}-Q_{1000} i tabell 7 og 8. Dette må gjøres dersom døgnmiddelvannføringene skal brukes direkte i noen form for analyser. Bidragene er derimot lagt til ved kulminasjonsvannføring, og er større enn evt. bidrag for døgnmiddelflommen, se kap. 4.3.

Tabell 7. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for beregningspunkter i Bergdalsvassdraget, døgnmiddelvannføringer.

Sted	**Areal** km^2	**Q_M**		**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{500}**	**Q_{1000}**
		m^3/s	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
Frekvensfaktorer, Q_T/Q_M				1,24	1,44	1,63	1,88	2,06	2,24	2,49	2,67
Storfossen, lokalfelt*	102,3	101	988	126	146	165	190	208	227	251	270
Bidrag fra Hamlagrøvatn	69,3**	-	-	-	-	-	-	***	***	***	***
Restfelt, Storfossen – utl .krv.	10,7	9	850	11	13	15	17	19	20	23	24
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	182,3	110	-	137	159	180	207	227	247	274	294

*Inkl. noe bidrag fra Hamlagrøvatn i form av driftsvannføring fra Kaldestad krv.

**ekskl. overført areal inn til Halmagrøvatns nedbørfelt.

***Antatt bidrag fra avløp fra Hamlagrøvatn i form av overløp.

[4] Data fra Kaldestad kraftverk viser at det er stor variasjon i hvor mye kraftverket bidrar ved de ulike flommene. Ved å trekke fra observert vannføring ved 61.8 Kaldåni fra vannføring gjennom kraftverket, sitter man igjen med antatt bidrag fra arealer oppstørms Hamlagrøvatn. Fordelt på arealet til lokalfeltet til Storfossen, varierer dette fra 0-300 l/s·km^2.

[5] Via formelverk for høstflommer, Sælthun *m.fl.*,(1997).

Tabell 8. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for beregningspunkter i Bergdalsvassdraget, døgnmiddelvannføringer – i spesifikke verdier.

Sted	Areal km²	Q_M		Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}
		m³/s	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²
Frekvensfaktorer , Q_T/Q_M				1,24	1,44	1,63	1,88	2,06	2,24	2,49	2,67
Storfossen, lokalfelt	102,3	-	988	1228	1424	1612	1855	2037	2217	2457	2637
Bidrag, Hamlagrøvatn	69,3*	-	-	-	-	-	-	-	**	**	**
Restfelt, Storfossen – utl .krv.	10,7	-	850	1057	1225	1386	1595	1752	1907	2114	2269
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	182,3	-	604	751	871	985	1134	1245	1356	1503	1613

* ekskl.. overført areal inn til Halmagrøvatns nedbørfelt.

** Antatt bidrag fra avløp fra Hamlagrøvatn.

4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvannføring. I små vassdrag vil kulminasjonsvannføring være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Små nedbørfelter med lav effektiv sjøprosent vil typisk ha et raskere og spissere flomforløp sammenlignet med større nedbørfelter med høyere effektiv sjøprosent. I større vassdrag er situasjonen ofte slik at avløp fra forskjellige deler av feltet ankommer et og samme punkt i hovedvassdraget på forskjellige tidspunkt. Dermed senkes forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring (Q_{mom}/Q_{mid}).

Smelteflommer har en relativt lang varighet og et stort volum. Dette gir et dempet avløp, og ofte et moderat avvik mellom kulminasjon- og døgnmiddelflommen. Intens og kraftig nedbør gir derimot forholdsvis raske flommer, som i de fleste tilfeller vil gi et større forholdstall/avvik mellom kulminasjon- og døgnmiddelflom.

Forholdet mellom Q_{mom}/Q_{mid} anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. For Storfossen (uten Hamlagrøvatn) er forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring vurdert med bakgrunn i observerte flommer for arbeidsserien som er konstruert ved Storfossdammen og med regionale formler (Sælthun *m.fl.*,1997).

I Sælthun *m.fl.*,(1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet Q_{mom}/Q_{mid} og feltkarakteristika for vår- og høstsesong. For vårflommer gjelder formelen:

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 1{,}72 - 0{,}17 \cdot \log A - 0{,}125 \cdot A_{SE}^{0,5},$$

mens formelen for høstflommer er:

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 2{,}29 - 0{,}29 \cdot \log A - 0{,}270 \cdot A_{SE}^{0,5},$$

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

Tabell 9. Beregning av forholdstall Qmom/Qmid basert på formelverk. Arealene er uten bidrag fra Hamlagrøvatn.

Beregningspunkt	Areal (km^2)	Eff. Sjø (%)	Vårflom (Q_{mom}/Q_{mid})	Høstflom (Q_{mom}/Q_{mid})
Storfossen lokalfelt	102,3	0,46	1,29	**1,52**
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	113,0	0,37	1,29	**1,53**

Via den konstruerte arbeidsserien ved Storfoss er de største flommene (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvannføringer.

Tabell 10 viser kulminasjonsvannføring, døgnmiddelvannføring og forholdstallet, Q_{kulm}/Q_{mid} , mellom disse, samt forholdstall beregnet med den regionale formlene for høstflom.

Tabell 10. Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved Storfoss via arbeidsserie 61.14.0.1001.99 Findata tilgjengelig fra 2008 i NVE sin database (samt 2005). Døgnverdier er justert til å representere kalenderdøgn.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{Kulm}/Q_{mid}	Kommentar
14.11.2005 12:00	180	282	1,56	
28.10.2014 17:00	156	229	1,47	
20.12.2015 18:04	175	190	1,09	Usikker pga. forbitapping ved Hamlagrøvatn.
25.19.2008 19:00	110	162	1,47	
29.11.2011 00:00	107	145	1,36	
31.12.2016 06:00	69	101	1,47	
Formelverk, høst			1,52	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,5**	

*Kulminasjonstidspunkt

Formelverket for høstflommer (regndrevne flommer) samsvarer godt med observerte data ved Storfossen. De største flommene vektlegges mest. Valgt forholdstall på 1,5 ved Storfossen, antas også som representativ nedstrøms utløpet til Dale kraftverk II. Dette forholdstallet er for lokalfeltet til Storfossen beregnet til 1,4 ved bruk av nedbør-avløpsmodell (BKK, 2016).

Det er vanlig å anta at man for de største gjentaksintervallene nærmer seg uregulerte forhold. Rapportene gjort ifb. damsikkerhet ved Halmgrøvatn dam og Storefossdammen viser også at det vil være naturlig å inkludere et bidrag fra Hamlagrøvatn.

For gjentaksintervall > Q_{100} er det derfor ilagt et bidrag som representerer avløpet fra Hamlagrøvatn. Størrelsen fra bidraget er satt ved å ta utgangspunkt i beregnet avløpsflom fra damsikkerhetrapporten. Det er regnet med en tidsforsinkelse i elvestrengen på 3 timer. På grunn av at man ved flomberegninger for damsikkerhet setter et krav om at man ligger på HRV ved flommes start, og at døgnmiddelverdiene

ved Storfossen allerede inkluderer et lite bidrag fra Hamlagrøvatn via driftsvannføring fra Kaldestad kraftverk, justeres bidraget ned etter skjønn.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentaksintervall i Bergdalsvassdraget er vist i Tabell 11.

Tabell 11. Flomverdier i Bergdalsvassdraget for de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Q_{mom}/ Q_{mid}	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Storfossen, lokalfelt	1,50	152	188	218	247	285	313	340	377	405
Bidrag, Hamlagrøvatn	-	-	-	-	-	-	45	55	70	85
Storfossen + Hamlagrøvatn	-	152	188	218	247	285	358	395	447	490
Restfelt, Storefoss – utløp krv.	1,50	14	17	20	22	26	28	30	34	36
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	-	165	205	238	269	310	386	426	481	526

Tabell 12. Flomverdier i Bergdalsvassdraget for de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer, spesifikke verdier.

Punkt i vassdraget	Q_{mom}/ Q_{mid}	Q_M $l/s\ km^2$	Q_5 $l/s\ km^2$	Q_{10} $l/s\ km^2$	Q_{20} $l/s\ km^2$	Q_{50} $l/s\ km^2$	Q_{100} $l/s\ km^2$	Q_{200} $l/s\ km^2$	Q_{500} $l/s\ km^2$	Q_{1000} $l/s\ km^2$
Storfossen, lokalfelt	1,50	1482	1842	2136	2417	2782	3055	3326	3686	3956
Bidrag, Hamlagrøvatn	-						-	-	-	-
Storfossen + Hamlagrøvatn	-	884	1098	1273	1441	1659	2083	2303	2605	2854
Restfelt, Storefoss – utløp krv.	1,50	1275	1585	1837	2080	2393	2628	2861	3171	3403
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	-	906	1127	1306	1478	1701	2115	2335	2638	2885

4.4 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 NVE-rapport 81-2016 «Klimaendring og fremtidige flommer i Norge» (Lawrence, 2016) samt rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen Bauer mfl., 2015) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til forventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall.

I nevnte rapport (Lawrence, 2016) er det gjort spesifikke anbefalinger for elvestrekninger som er flomsonekartlagt. For Bergdalsvassdraget er det anbefalt et klimapåslag på 20 %. Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) blir dermed som i Tabell 13.

Klimapåslaget skal ilegges tilløpsflom, og ikke avløpsflommen. Bidraget fra Hamlagrøvatn skal derfor tilleggs tilløpsflommen, og deretter routes igjennom magasinet før effekt av endring pga. klima kan for avløpsflommen kan beregnes.

Flomberegningsrapport for damsikkerhet ved Hamlagrøvatn (BKK, 2015) viser at avløpet ved Q_{500} øker med ca. 15 % når man gir et påslag på tilløpsflommen på 20%. Det er ikke gjort tilsvarende beregninger for Q_{1000}.

Fordi Hamlagrøvatns bidrag ved Q_{1000} bare utgjør ca. 15 % av kulminasjonsvannføring ved Daleelvi nedstrøms utløp av kraftverket, og økningen i avløpet ikke er vesentlig forskjellig fra økningen i tilløpsflommen, antas det som ok å legge klimapåslaget direkte på kulminasjonsvannføringen (totalvannføring) ved beregningspunktet i Daleelvi.

Verdiene i Tabell 13 må derfor anses som noe konservative.

Tabell 13. Bergdalsvassdraget med klimapåslag 20 %, kulminasjonsvannføringer.

Beregningspunkt	**Areal** km²	**Q_M** m³/s	**Q_5** m³/s	**Q_{10}** m³/s	**Q_{20}** m³/s	**Q_{50}** m³/s	**Q_{100}** m³/s	**Q_{200}** m³/s	**Q_{500}** m³/s	**Q_{1000}** m³/s
Daleelvi, nedstr. utløp v/krv.	182,3	198	246	286	323	372	463	511	577	631

5. Observerte flommer

2005

Det var to store flommer høsten på Vestlandet i 2005, 14. september og 14. november. Nedbøren i november var mindre intens for de ytre områdene enn nedbøren i september. Det spesielle for flommen i november, var at det kom to intense nedbørepisoder etter hverandre med en ukes mellomrom, og magasiner og vassdrag var dermed forholdsvis fulle, og konsekvensen av denne flommen ble derfor stor.

Flommen 14. november er største registrerte flom ved Storfossen, med en kulminasjon på 238[6] m^3/s. I tillegg gikk det 45 m^3/s gjennom Dale II kraftverk. Samlet gir dette en vannføring ved Storfossdammen på ca. 282 m^3/s.

Det ble iverksatt en rekke tiltak for å redusere flommen til Storfossen (BKK, 2016). Halmagrøvatn ble godt tappet ned i forkant av flommen, og en unngikk dermed overløp ved dammen. Tapping gjennom Dyrastegen ble avsluttet på morgenen den 14. november, bare timer før flommen kulminerte. Regulant har vurdert tilsiget til Hamlagrøvatn i disse timene til å være ca. 170 m^3/s. BKKs nedbørmåler på Fosse registrerte en 24-timersverdi på 179 mm.

Flommen førte til en god del masseavlagring og erosjonsskader, og skadeomfanget var stort ved Dale. Blant annet ble 40 personer evakuert ved Dale of Norway sitt fabrikklokale. Beregningen fra 2017 gir denne flommen et gjentaksintervall på ca. 50 år (kulminasjonsvannføring). Med mindre muligheter til å manøvrere i forkant av flommen, hadde denne flommen hatt et vesentlig større gjentaksintervall.

Ved 61.8 Kaldåen var også kulminasjonsflommen størst i november, mens døgnmidlet var størst under flommen i september.

Gjentaksintervallet for 2005-flommene spriker stort i regionen. Ved 62.5 Bulken er flommen i november 7. største flom.

2014

28.oktober 2014 er nest største kulminasjonsflom registrert ved Storfossdammen. Kulminasjonsvannføring inkl. driftsvannføring var på 229 m^3/s. Med kun mindre skader på plastringen som ble gjort etter flommen i 2005, kan man konkludere med at sikringstiltakene har hatt god effekt. Registrert nedbør ved Fosse var ca. 100 mm på et døgn, og 240 mm på tre døgn (BKK, 2017).

Flommen i 2014 er største registrerte døgnmiddel ved 61.8 Kaldåen, mens kulminasjonsverdien var mindre enn flommen i 2005. Ved 62.5 Bulken er samme flom største registrerte flom etter at målingene startet i 1892. Beregnet gjentaksintervall ved Bulken er ca. 200 år.

[6] Konsulent oppgir verdien til å være ca. 250 m^3/s. Verdiene på 238 m^3/s er beregnet via tilsendte timesverdier ved 61.10 Storfossdammen.

Andre store flommer i Bergdalsvassdraget

I **1931** hadde man en storflom i Bergdalsvassdraget. Denne skal ha vært større enn flommen i november 2005. Flomstørrelsene på flommen i 1931 er dokumentert på tegning, og er etterberegnet til ca. 310 m^3/s (BKK, 2015). Kraftstasjonen hadde den gang en slukeevne på 10 m^3/s, men det er ikke kjent om denne gikk. Bidrag fra Hamlagrøvatn var i størrelsesorden 20-40 m^3/s. Med beregningen fra 2017 vil denne flommen ha hatt et gjentaksintervall på ca. 70 år.

26. oktober **1995** var kulminasjonsvannføring (inkl. driftsvannføring) ved Storfossen 224 m^3/s. Registrert nedbør ved Fosse var ca. 129 mm på et døgn (BKK, 2017). Samme flom er 5. største flom ved 62.5 Bulken.

21. desember **2015** var kulminasjonsvannføringen (inkl. driftsvannføring) ved Storfossen 190 m^3/s. Dette inkluderer også forbitapping via Dyrastegen. Flommen i 2015 var ikke spesielt stor ved Kaldåen. Samme flom var derimot den nest største registrerte flommen ved 65.2 Bulken.

6. Sammenligning med andre flomberegninger

Flomberegningen i 2017 viser vesentlige forskjeller fra tidligere beregninger gjort av NVE for punktet i Daleevli nedstrøms utløpet til Dale kraftverk. I 2002 ble kulminasjonsvannføringen for Q_{1000} beregnet til 300 m^3/s, i 2008 til 421 m^3/s. I dagens beregning (2017) er Q_{1000} beregnet til 526 m^3/s, altså 25 % større enn beregningen gjort i 2008.

Flomberegningen i 2002 som ligger til grunn for flomsonekartet, ble revidert i 2008 fordi flommen i 2005 fikk et gjentaksintervall på mer enn 500 år, noe som antas som vel høyt. Dagens flomberegning (2017) og den i 2008 er gjennomført med lignende tilnærminger/metoder, men i beregningen i 2017 antas det at for gjentaksintervall over 50 år at Storfossen også får et bidrag fra Hamlagrøvatn. Det er dette som er hovedårsak til økningen på 25 % i kulminasjonsvannføringen.

BKK har gjort en rekke flomberegninger for dammene i Bergdalsvassdraget de siste årene, se Tabell 14. Forutsetningene for flomberegninger for damsikkerhet er strengere enn beregninger for konstruksjon av flomsonekart. Blant annet ligger vannstand i magasinene ved HRV ved flommens start. For alle beregninger har konsulent valgt å route flommene igjennom vassdraget ved bruk av en nedbør- avløpsmodell. Nedbør-avløpsmodellene har generelt en tendens til å gi noe høyere verdier enn FFA, men for områder som er dominert av regn og har liten demping i feltene, er det ikke uvanlig at FFA og NA-modell gir tilsvarende verdier.

Flomberegninger for flomsonekartene baserer seg i stor grad på flomfrekvensanalyser og regionale formelverk. I de fleste tilfeller (forutsatt likt datagrunnlag) vil derfor flomberegninger for damsikkerhet ligge noe over flomberegninger som skal inngå i et flomsonekart.

Kulminasjonsvannføringen for Q_{1000} ved Storfossdammen er tilnærmet lik ved sammenligning av flomverdier fra konsulent (2016) og flomberegningen i 2017, hhv. 496 m^3/s og 490 m^3/s. Forholdstallet Q_{mom}/Q_{mid} er noe mindre i damsikkerhetsrapporten, men bidraget med vann fra Hamlagrøvatn er større.

Det er forholdsvis liten spredning i Q_{1000}-verdier for døgntilsig til Storfossdammens lokalfelt, fra ca. 2500-2800 $l/s \cdot km^2$, se Tabell 14. I og med at beregnet Q_{1000} (2017) ligger tett opp til Q_{1000} beregnet med nedbør- avløpmodell i 2016, og det at man vet at noe bidrag fra Kaldestad krv. er med i datagrunnlaget, tilsier at beregnet Q_{1000} kan være noe konservativ.

Tabell 14 Sammenligninger av ulike uregulerte Q_{1000} – verdier (døgnmiddelvannføring), tilknyttet Bergdalsvassdraget

Dato	Areal km^2	Q_{1000} l/s·km^2	Utført av	Kommentar
Storfossen	102	2666	NVE,2008	Inkl. noe bidrag fra Kaldestad krv.,
Storfossen	102	2637	NVE,2017	Inkl. noe bidrag fra Kaldestad krv.
Storfossen	102	2656	BKK,2016	NA-modell, nedbør + snøsmelting
Storfossen	102	2800	NVE,2017	K2, regionalt formelverk.
Storfossen	102	2461	NVE,2017	H1, regionalt formelverk.
Storfossen	102	2764	NVE,2017	NIFS-formelverk. Døgnverdier beregnet via formel for Q_{mom}/Q_{mid}
Hamlagrøvatn	69	3018	BKK,2015	NA-modell, nedbør + snøsmelting
Torfinnsvatn	47	3257	BKK,2017	NA-modell, nedbør + snøsmelting

Gjennomsnittlig årsnedbør målt ved Fosse kraftverk (420 moh., ca. 1 km øst for Storfossdammen) er 3200 mm for perioden 2002-2012. Feltene man har beregnet for i tabellen over har en høyere medianhøyde, og inputverdien fra MET på 3600 mm/år virker dermed rimelige.

Sammenligner man derimot mot de regionale formelverkene og erfaringstall fra regionen, virker ikke beregnet Q_{1000}- verdi for Storfossen spesielt høy. I retningslinjer for flomberegninger viser erfaringstall at for vassdrag mindre enn 500 km^2 på Vestlandet kan man vente døgnmiddelverdier for Q_{1000} på mellom 1000-3000 l/s·km^2, med de største verdiene et stykke innenfor kysten.

7. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Bergdalsvassdraget kan karakteriseres som brukbart, da det finnes observasjoner i vassdraget. Det er relativt store variasjoner i spesifikk middelflom for felter i denne regionen, og frekvensfaktorene for sammenligningsstasjonene varierer. Datakvaliteten til målestasjonene som er benyttet i analysen er av felthydrolog vurdert fra ok til god på flomvannføringer.

Det er knyttet opp til ± 20 % usikkerhet ved estimering av spesifikk avrenning fra avrenningskartet. Usikkerheten vil i alminnelighet øke for avtakende feltstørrelse (Beldring m.fl., 2002).

Det er også 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 målingene 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.

Hydrologisk avdelings database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være større eller lik største kalenderdøgnmiddel.

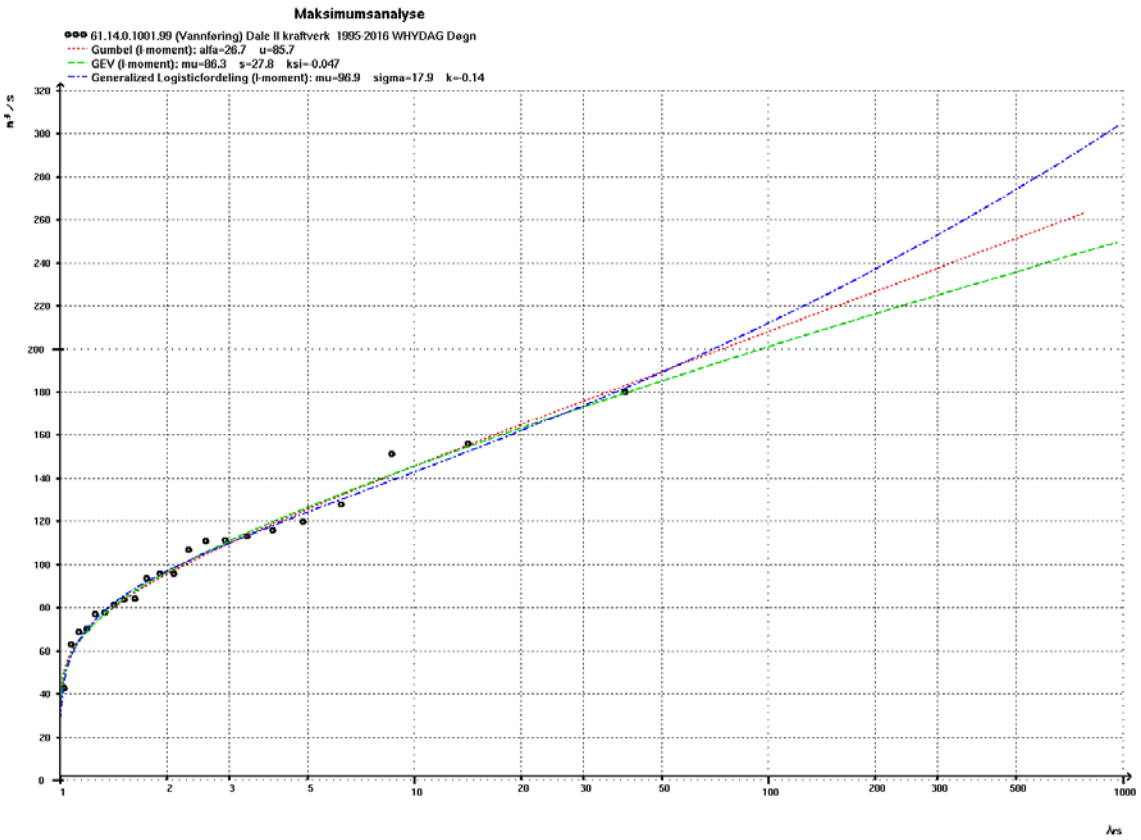
En annen faktor som øker usikkerheten i data, er at de eldste dataene i databasen er basert på én daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmiddelet. Vannstander ved Storfossen f.o.m 1995 er dessuten registrert ved døgnstart, og representerer ikke et reelt døgnmiddel. Dette har det bare vært mulig å korrigere for der hvor man har timesdata tilgjengelig.

Det foreligger ikke data med fin tidsoppløsning på databasen lenger enn fra 2008 ved Storfossen, og det er derfor ikke optimalt å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Å vurdere flomvannføringer som er påvirket av regulering bidrar også til større usikkerhet. Flomvannføringene vil f.eks være påvirket av måten vassdraget er manøvrert i forkant en flom, hvordan data er registrert (f.eks. så er det ikke gjort kontrollmålinger av at den teoretiske overløpsformelen gir riktig vannføring, og driftsvannføring er beregnet ut ifra kraftverkets effekt) og fravær av systematisk registrering forbitapping (ikke gjort ved Hamlagrøvatn før 2009).

Å kvantifisere den totale usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Man mangler vannføringsmålinger for ekstreme flommer, og man har ikke lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over 50 år. Det er også knyttet usikkerhet til valg av frekvensfordelinger. Figur 7 viser at man ved valg av

en annen frekvensfordeling vil kunne få en brattere stigning vekstkurven og dermed større verdier for de største gjentaksintervallene.



Figur 7 Flomfrekvensfordeling for 61.14.0.1001.99 Dale II kraftverk ved Storfossen (døgnmiddeldata). Rød kurve viser valgt frekvensfordeling Gumbel (l-moment), den grønne viser GEV (l-moment), mens den blå viser Generalized Logistic- fordeling.

Det at det finnes målestasjon i vassdraget hvor man skal gjøre beregninger for, er bra, men kvaliteten på de hydrologiske grunnlagsdataene er noe begrenset og hydrologiske grunnlaget for flomberegningen vurderes dermed til klasse 2, på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse. Det at det hydrologiske grunnlaget tilhører klasse 2, er *ikke* ensbetydende med at det er liten usikkerhet i flomstørrelser med høye gjentaksintervall.

Det anbefales derfor at det gjøres en sensitivitetsanalyse på +/- 20 % i flomvannføringene som inngår i flomsonekartet.

Referanser

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

BKK Produksjon (2016). Flomberegning for Storefossdammen. Bergdalsvassdraget. Vassdragsnummer 061.Z.

BKK Produksjon (2015). Flomberegning for Hamløgrøvatn. Bergdalsvassdraget. Vassdragsnummer 061.Z.

BKK Produksjon AS (2017). Flomberegning for dam Trodommsvatnet. Vossovassdraget 062.CBCB.

Edvardsen, S-M (2003). Flaumsonekart, Delprosjekt Dale. NVE Rapport nr. 3 – 2003.

Glad, P., Reitan, T. og Stenius, S., 2015: Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE-Rapport 2015:13.

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 80-2015.

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. (2015) Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015.

Lawrence, D. (2016). Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport Nr. 81-2016.

NVE 2000: Prosjekthåndbok - Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.

Petterson, L-E. (2014). Aktive vannføringsstasjoner i Norge. NVE-Rapport nr.71 -2014.

Pettersson, L.E (2002). Flomberegning for Dale i Bergdalsvassdraget (061.Z), NVE-rapport nr.18 - 2008.

Pettersson, L.E (2008). Flomberegning Bergdalsvassdraget, Internt notat, 2008.

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og 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